Le Linee di campo: cardine per la comprensione del concetto di campo

F . Bradamante

▶ **To cite this version:**

F . Bradamante. Le Linee di campo: cardine per la comprensione del concetto di campo. Physics Education [physics.ed-ph]. Univeristé Denis Diderot Paris 7; Universita Degli Studi di Udine, 2007. Italian. NNT: . tel-01286457

HAL Id: tel-01286457

https://theses.hal.science/tel-01286457

Submitted on 10 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Università degli Studi di Udine
Dottorato di Ricerca in Matematica e Fisica, Ciclo XIX
Linea di ricerca in Didattica della Fisica

Université Denis Diderot (Paris 7)
École Doctorale Savoirs Scientifiques
Didactique des Sciences Physiques

TESI IN COTUTELA

Le linee di campo: cardine per la comprensione del concetto di campo

Les lignes de champ: charnière pour la compréhension du concept de champ

Dottoranda
Francesca Bradamante

Responsabili scientifici:
Marisa Michelini
Laurence Viennot
Direttori dei dottorati:
Pietro Corvaja
Dominique Lecourt

Commissione giudicante:
Jean Jacques Dupin, IUFM d'Aix-Marseille
Paolo Guidoni, Università di Napoli
Marisa Michelini, Università di Udine
Laurence Viennot, Université Denis Diderot (Paris 7)

Thèse soutenue le 22 janvier 2007 à l'Université de Udine

"L'important n'est pas seulement d'enseigner quelque chose à l'enfant, mais plutôt de former son esprit à l'observation et à la réflexion, à la critique dans la recherche et à l'amour pour la vérité"

Dr Serge Raynaud de la Ferrière

INDICE DELLA TESI

CAP 0: Introduzione della tesi

0.1) Introduzione 1

0.2) Approccio didattico e aspetti metodologici delle sequenze di insegnamento-apprendimento 4

Prima parte: *aspetti storici sul campo, le ricerche sui problemi d'apprendimento del concetto di campo.*

CAP 1: Alcuni aspetti storici del campo :

1.1) Introduzione: il concetto di campo.....7

1.2) Cenni storici sui modelli del magnetismo e sul concetto di campo :

A) Modello *vitalista/animista* 9

B) Modello *materialista* 10

C) Modello del *fluido unico* 11

D) Modello *dell'azione a distanza*.....11

E) Modello delle *azioni contigue* 14

E1) Le linee di forza di Michael Faraday (1791-1867).....15

E2) I tubi di flusso (Maxwell).....20

E3) Le celle esagonali.....23

F) Modello di campo di Maxwell 24

G) Dopo Maxwell fino ad A. Einstein e le moderne teoria dei campo.....32

H) Modello di campo di Einstein e le moderne teorie di campo.....32

1.3) Le linee e i tubi di flusso 35

CAP 2: Rassegna delle ricerche sui problemi di apprendimento associati al concetto di campo

2.1) Introduzione.....38

2.2) Rappresentazioni grafiche del campo e il ruolo delle linee di campo

2.2.1) La rappresentazione grafica dei campi elettrico e magnetico.....39

2.2.2) La forma della Terra e il suo campo gravitazionale.....46

2.3) Il campo e le sue sorgenti: la natura delle sorgenti del campo, la sovrapposizione di campi, l'azione di un campo.....52

2.4) Le concezioni degli studenti sui tipi di campo

2.4.1) L'azione a distanza, la gravità, il peso e la caduta dei gravi.....57

2.4.2) Il campo magnetico e i modelli del magnetismo.....61

2.4.3) Il campo elettrico. 68

2.5) Correlazione tra i vari tipi di campo nelle concezioni degli studenti:

2.5.1) Correlazione tra gravità e magnetismo.....70

2.5.2) Correlazione tra magnetismo ed elettrostatica.....70

2.6) La necessità dei bambini di rappresentarsi l'azione di una sorgente di campo attraverso l'elemento grafico.....72

2.7) Conclusioni.....75

CAP 3: Il nostro approccio di ricerca

3.1) Introduzione: i problemi di ricerca della tesi.....77
3.2) Le ipotesi di ricerca della tesi. 79
3.3) Coerenza della scelta dei contenuti e dei problemi di ricerca. 82
3.3.1) Il momento magnetico di un dipolo e la forza in un campo magnetico.....84
3.3.2) La distinzione tra la linea di partenza di un esploratore e le linee di campo.....86

CAP 4: Analisi dei libri di testo

4.1) Introduzione.....91
4.1.1) I programmi ufficiali in Italia.....93
4.1.2) I programmi ufficiali in Francia.....97
4.2) I criteri di analisi dei tesi.....99
4.3) Analisi dei testi della scuola secondaria.....101
0) Come viene definito il campo (in particolare quello magnetico) 101
1) Distinzione tra i due effetti di un campo magnetico: orientazione e attrazione.....104
1a) La bussola è trattata esplicitamente come un magnete?.....105
2) Le linee di campo magnetico vengono definite come linee di orientazione (o linee di orientazione) oppure come linee di forza?.....106
3) Viene esplicitata la distinzione tra campo centrale o monopolare (campo gravitazionale e elettrico) e campo dipolare (campo magnetico)?.....113
4.4) Conclusioni.....114

Seconda parte: le ricerche

CAP 5: Prima investigazione sul campo gravitazionale e magnetico nella scuola primaria (5-11 anni)

5.1) Introduzione.....116
5.2) I problemi di apprendimenti indagati.....118
5.3) La ricerca, il contesto e il campione.....119
5.4) Analisi dei dati e risultati
5.4.1) La ricerca sul campo gravitazionale.....121
5.4.1a) Analisi dei disegni 121
5.4.1b) Interpretazione della caduta dei corpi sulla Terra.....124
5.4.1c) La *gravità* secondo i bambini.....125
5.4.2) Il confronto tra i campi gravitazionale e magnetico 126
5.5) Conclusioni 129

CAP 6: La rappresentazione dei campi gravitazionale e magnetico attraverso le linee di campo nella scuola primaria (9-11)

6.1) Introduzione 131
6.2) Le ipotesi di ricerca.....133
6.3) Metodi e campione.....134

6.3.1) Le interviste di insegnamento – apprendimento....134
6.3.2) Il post test....137
6.4) Analisi dei dati e risultati....138
6.4.1) Rispetto all'ipotesi di ricerca A....138
6.4.2) Rispetto all'ipotesi di ricerca B....141
6.4.3) Rispetto all'ipotesi di ricerca C....146
6.4.4) Analisi delle risposte al post test....147
6.5) Conclusioni....149

CAP 7: La sequenza sul magnetismo per la scuola primaria (9-10 anni)
7.1) Introduzione....151
7.2) Le ipotesi di ricerca....153
7.3) La sequenza....155
7.4) Analisi dei dati e risultati....164
7.4.1) Rispetto all'ipotesi di ricerca A'....164
7.4.2) Rispetto all'ipotesi di ricerca B'....184
7.4.3) Rispetto all'ipotesi di ricerca C'....189
7.4.4) Modelli e schemi di ragionamento emersi nella ricerca....197
7.5) Conclusioni....199

CAP 8: La sequenza sul magnetismo per la scuola secondaria (18-19 anni)
8.1) Introduzione....203
8.2) Le ipotesi di ricerca....204
8.3) La sequenza....206
8.4) Analisi dei dati e risultati....217
8.4.1) Rispetto all'ipotesi di ricerca A"....217
8.4.2) Rispetto all'ipotesi di ricerca B"....224
8.4.3) Rispetto all'ipotesi di ricerca C"....237
8.4.4) Alcune riflessioni sui tubi di flusso....241
8.4.5) Modelli e schemi di ragionamento emersi nella ricerca....247
8.5) Conclusioni....251

CAP 9: Conclusioni della tesi
9.1) Conclusioni del lavoro di ricerca....255
9.2) Critiche e limiti del lavoro....259
9.3) Implicazioni nell'insegnamento....261

Bibliografia....263
Riassunto della Tesi in francese....273
Ringraziamenti....275

ALLEGATI

Allegati 1: Capitolo 5

1.1) Protocollo d'intervista del CLOE sulla gravità.....I
1.2) L'analisi del CLOE sul campo magnetico in dettaglio.....IV

Allegati 2: Capitolo 6 (percorso sul magnetismo e gravitazione)

2.1) Il post test.....X
2.2) L'analisi delle schede in dettaglio.....XI
2.3) Esempi delle trascrizioni delle interviste.....XIX

Allegati 3: Capitolo 7 (la sequenza nella scuola primaria)

3.1) Le schede del percorso.....XXVI
3.2) Il post test.....XXXIII
3.3) L'analisi delle schede in dettaglio.....XXXIV

Allegati 4: Capitolo 8 (la sequenza nella scuola secondaria)

4.1) Le schede del percorso..... LII
4.2) Il post test.....LXVI
4.3) L'analisi delle schede in dettaglio.....LXXII
4.4) L'analisi del post test in dettaglio.....LXXXIV

CAP O

INTRODUZIONE ALLA TESI

0.1. Introduzione

Storicamente il concetto di campo è stato introdotto per spiegare l'azione a distanza[1]. Faraday introduce il concetto di campo in opposizione all'idea dell'azione a distanza e definisce le linee di campo in modo esplicito e operativo[2].

In termini moderni i campi sono definiti come funzioni dei punti dello spazio, e quando sono vettoriali, è possibile (in condizioni di continuità) definire le linee di campo come quelle linee a cui il vettore campo è tangente in ogni punto (una definizione che si avvicina molto alla definizione operativa di Faraday). I campi possono anche essere considerati, nella teoria della relatività, come una deformazione dello spazio quadri-dimensionale, ma per la nostra ricerca, considereremo solo l'idea di una funzione vettoriale associata alle linee di campo, con un'idea di "mappatura" ("*mapping*") dello spazio tridimensionale. Tale rappresentazione del campo permette inoltre di predire alcuni fenomeni che avvengono in ogni punto.

E' ben noto che il concetto di campo costituisce un ostacolo anche per gli studenti universitari. Numerose ricerche infatti (Viennot & Rainson (1992), (1999), Tornkwist et al. (1993), Borges & Gilbert (1998), Furio et al. (1999), Hermann et al. (2000), Galili (2001), Maloney et al. (2001), Martin et al. (2001), Guisasola et al. (2003), Bar et al. (1994), (1997),...) evidenziano diversi problemi di apprendimento (si veda capitolo 2) legati al concetto di campo e alle sue sorgenti, alla rappresentazione del campo attraverso le linee di campo, alla distinzione tra linee di campo e traiettorie e tra il campo e la forza, al principio di sovrapposizione, all'applicazione del terzo principio di Newton, ecc..

I bambini possiedono già un'idea di quello che chiamiamo un "campo"; in diversi stati i programmi ufficiali includono la trattazione sia della gravità che del magnetismo. Inoltre avendo ricevuto o no un insegnamento su questi temi, i bambini hanno delle idee di senso comune riguardo alla gravità e al magnetismo. Negli ultimi venti anni diverse ricerche hanno messo in evidenza i problemi di

---

[1] "*It is, probably, of great importance that our thoughts should be stirred up at this time to a reconsideration of the general nature of physical force, and especially to those forms of it which are concerned in action at a distance*" (Faraday (1855)).

[2] *From my earliest experiments on the relation of electricity and magnetism, I have had to think and speak of lines of magnetic force as representations of the magnetic power; not merely in the points of quantity and direction, but also in quality;*" or, "*A line of magnetic force may be defined as the line which is described by a very small magnetic needle, when it is moved in either direction correspondent to its length, that the needle is constantly a tangent to the line of motion ....*" (Faraday (1855)).

apprendimento e le difficoltà dei bambini rispetto questi due tipi di interazioni, le loro idee sul magnetismo (Erikson (1994), Borges & Gilbert (1998)), sulla gravità e sulla relazione con il magnetismo (Bar et al (1994), (1997), Galili (2001)), sulle loro concezioni riguardo la forma della Terra e la relazione con la direzione del campo gravitazionale (Nussbaum et al. (1976), Ruggero et al. (1985), Vosniadou et al. (1992), Arnold et al. (1995)).

In questa tesi di dottorato, svolta in cotutela tra l'Università di Udine (URDF: Unità di Ricerca in Didattica della Fisica) e l'Università Denis Diderot di Parigi (LDSP: Laboratoire de Didactique des Sciences Physiques), ci proponiamo di sondare la possibilità di introdurre fin dallo scuola primaria una visione del campo gravitazionale e magnetico legata alle linee di campo, e di studiarne il ruolo rappresentativo sia a livello della scuola primaria, che secondaria.

L'obiettivo principale di questo lavoro (si veda il capitolo 3), infatti, è di investigare il potere rappresentativo delle linee di campo sia per fornire una visione globale del campo, sia per differenziare i vari tipi di campo rispetto alla loro natura polare o dipolare.

Considerando le difficoltà evidenziate dalle precedenti ricerche, potrebbe sembrare piuttosto complesso e problematico introdurre tali concetti alla scuola primaria, pensiamo però che questo approccio sia utile in quanto, nonostante il loro significato astratto, le linee di campo possono essere legate a effetti visivi, il che può aiutare i bambini a riconoscere che le proprietà dello spazio intorno a una sorgente di campo sono modificate; inoltre questo può favorire anche la percezione delle differenze tra i fenomeni legati ai diversi campi, attraverso il riconoscimento della diversa configurazione delle rispettive linee di campo.

Considerando le difficoltà dei bambini (evidenziate in un primo lavoro di esplorazione delle idee dei bambini sulla gravità e sul magnetismo, si veda capitolo 5), nell'identificazione della Terra come sorgente del campo gravitazionale e la ben nota facilità nel caso della del magnete (anche se non sempre esplicitata nelle ricerche in letteratura), abbiamo scelto di utilizzare i fenomeni magnetici sia per riconoscere e identificare il magnete come sorgente del campo, sia per introdurre la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo; i fenomeni magnetici infatti facilitano il riconoscimento dell'esistenza di alcune specifiche proprietà (orientazione di una bussola) nello spazio circostante un magnete. L'idea della rappresentazione del campo attraverso le linee di campo è stata successivamente estesa anche al campo gravitazionale terrestre.

Per mettere in evidenza nel modo più semplice possibile il legame concettuale tra le situazioni proposte ai bambini e l'idea delle linee di campo, abbiamo scelto, dopo una prima fase esploratoria (capitolo 5), di trattare campi costanti nel tempo e di utilizzare rivelatori di campo statici. Il significato della linea di campo è quindi associato all'orientazione di diversi esploratori nello spazio attorno alla sorgente.

L'attenzione all'orientazione rende necessario la differenziazione tra i due effetti dell'interazione magnetica: orientazione e attrazione globale. Tale differenziazione permette anche di distinguere i due campi, in quanto essi si comportano in modo differente rispetto a questi due aspetti; ciò è dovuto, come vedremo nel capitolo 3, alla natura polare o dipolare degli stessi.

A livello della scuola secondaria la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo viene estesa anche al caso elettrico e non solo quello gravitazionale e magnetico con l'obiettivo di sfruttare il potere rappresentativo delle linee sia per fornire una visione globale del campo, sia per differenziarne la distribuzione spaziale (ossia la "forma"). Inoltre a questo livello scolare ci proponiamo di differenziare esplicitamente i campi in base alla loro natura polare o dipolare. Tale differenziazione può essere evidenziata oltre che dalla forma delle linee di campo anche attraverso la distinzione tra gli effetti di un campo su un opportuno sistema esploratore, ossia tra la direzione di partenza di un esploratore libero di muoversi e le linee di campo.

0.2. Approccio didattico e aspetti metodologici delle sequenze di insegnamento-apprendimento

Il punto di partenza di questo studio è l'analisi dei ragionamenti degli studenti e dei loro problemi di apprendimento rispetto al concetto di campo, con particolare attenzione alla rappresentazione del campo attraverso le linee di campo. Nel capitolo 2 è presentata una rassegna critica dei vari problemi di apprendimento individuati dalle ricerche in letteratura.

Su queste basi, dopo alcuni studi preliminari attraverso laboratori cognitivi, interviste semi-strutturate (sulla gravità e sul magnetismo nella scuola primaria, capitolo 5) e interviste di insegnamento-apprendimento (sulla rappresentazione dei campi gravitazionale e magnetico attraverso le linee di campo nella scuola primaria, capitolo 6), sono state costruite e realizzate due sequenze di insegnamento-apprendimento, una alla scuola primaria e una alla scuola secondaria (capitoli 6 e 7).

Per sequenza di insegnamento-apprendimento (*teaching-learning sequences*) si intende, secondo Meheut & Psillos (2004, si veda anche Meheut (1997), Artigue (1988)), "sia un'attività di ricerca sia un prodotto, come un'unità didattica curricolare, che includa delle opportune attività di insegnamento-apprendimento adattate empiricamente ai ragionamenti degli studenti". In esse si complementano (in diversi modi a seconda dei rispettivi approcci) una dimensione "epistemologica" di riflessione sui contenuti e una dimensione "pedagogica". Secondo questa analisi, gli autori identificano due principali approcci di valutazione di una sequenza di apprendimento-insegnamento: il primo, che si rifà al "*production engineering*", è centrato sulla fattibilità e/o efficienza di una globale unità (*package*) di insegnamento-apprendimento; il secondo, invece, più vicino all'"*experimental research*", risulta un approccio più analitico nel senso di descrivere percorsi di apprendimento e valutare la validità di particolari ipotesi di ricerca.

Il lavoro presentato in questa tesi si rifà piuttosto al secondo approccio, ossia abbiamo utilizzato una sequenza di insegnamento-apprendimento per la ricerca (e non solo per l'apprendimento), nel senso che ci siamo posti delle specifiche ipotesi di ricerca (che saranno discusse nei corrispondenti capitoli) e in base a queste abbiamo costruito dei percorsi guidati per gli studenti.

Dal punto di vista dell'insegnamento abbiamo specificato gli obiettivi che ci sembrano importanti per la comprensione della fenomenologia considerata (principalmente quella magnetica), mentre dal punto di vista della ricerca abbiamo formulato le specifiche ipotesi la cui validità è stata discussa in base ai risultati dell'analisi delle sequenze svolte in classe.

Il lavoro di questa tesi si inserisce nell'ambito dell'approccio costruttivista. La conoscenza viene costruita in modo attivo dal singolo attraverso l'esperienza, l'interazione del soggetto con il contesto oggettuale e lo scambio con gli altri soggetti. Già Piaget (Piaget 1969) aveva evidenziato che le conoscenze non possono essere semplicemente trasmesse o convogliate già pronte da un'altra persona[3]; egli aveva sottolineato il ruolo attivo del singolo e la funzione importante dell'errore nella costruzione dei processi cognitivi. Bachelard (1938) definisce a questo proposito la nozione di "*ostacolo epistemologico*[4]", che non coincide con quella dell'"errore", ma che sviluppa comunque l'idea di Piaget che noi conosciamo in contrapposizione a una conoscenza anteriore. Dunque entrambi pongono l'azione del soggetto al centro dello sviluppo delle conoscenze. Sulla stessa linea diverse ricerche, come quelle di Dewey & Dykstra (1992), Driver & Bell (1986), Driver & Erickson (1983), Nussbaum (1989), Nussbaum & Novack (1982), sono focalizzate sulla "destabilizzazione" di idee non corrette (denominate idee "alternative" per quelli che vogliono evitare di dare loro una connotazione negativa, rispetto a una conoscenza considerata come incontestabile), che risultano in contraddizione rispetto all'osservazione dei fenomeni.

Le espressioni "conflitto cognitivo" e "cambio concettuale" hanno invaso il campo della didattica, non senza suscitare successive sintesi e puntualizzazioni. Recentemente, Meheut et Psillos (ibid) sottolineano che negli anni '80 sono nati due tipi di costruttivismo, "psico-cognitivo" e "epistemologico" (il primo basato sullo sviluppo delle idee dei ragazzi, il secondo sullo sviluppo dei contenuti scientifici della disciplina) che oggi tendono a essere integrati in un duplice riferimento sia alle conoscenze e concezioni dei ragazzi sul mondo fisico, sia alla conoscenza scientifica della disciplina stessa. Gil Perez (2003) specifica il tipo di "costruttivismo" che secondo lui è appropriato per l'educazione scientifica, sottolineando che "*constructivist proposals are not a recipe*" e mettendo l'accento sull'interesse di "*to organise learning as a treatment of problematic situations that pupils can identify as worth thinking about*", le quali non sono scelte per generare un conflitto. Questa parte dello statuto delle situazioni trattate, più o meno pertinente per gli alunni, è messa in risalto dalla linea che gli autori denominano "Educational reconstruction" (Duit & Treagust 2003), che definisce un terzo fattore rispetto a due aspetti già rivendicati classicamente da diversi lavori di ricerca sulla base delle sequenze di insegnamento (Fensham et al. (1994), Bernardini et al. (1995), Viennot (2002), (2003)), ossia il tener conto sia delle idee degli studenti, sia dell'analisi dei contenuti.

---

[3] "*Conoscere non consiste in effetti nel copiare il reale, ma nell'agire su di esso e nel trasformarlo …*" Piaget

[4] Bachelard (Bachelard 1938) afferma che: "*Infatti conosciamo in opposizione a (contre) una conoscenza anteriore, distruggendo delle conoscenze mal fatte, …*"

Questa preoccupazione per la componente motivazionale si inserisce nella linea della corrente della Scienza, Tecnica e Società, ma non si identifica necessariamente con essa[5].

Per quanto riguarda l'approccio che abbiamo adottato, condividiamo il punto di vista ampiamente diffuso che ritiene che lo sviluppo della conoscenza debba essere accompagnato, guidato, in quanto la sola nozione del conflitto è utile ma non sufficiente. Non essendo sufficiente presentare i soli fenomeni, il contenuto di una sequenza rivela la scelta molto più precisa che il semplice enunciato di un tema della fisica (i magneti) o di un capitolo (i campi di induzione magnetica).

Come abbiamo già specificato nel paragrafo precedente, nel capitolo 3 illustreremo in dettaglio le nostre scelte per la strutturazione dei contenuti e gli aspetti più significativi di questi contenuti, sui quali ci siamo soffermati con l'obiettivo di un progresso dell'apprendimento conforme alle nostre aspettative.

Gli strumenti metodologici utilizzati in questa tesi sono molteplici e saranno illustrati in dettaglio nei rispettivi capitoli, qui di seguito li elenchiamo brevemente:

- esplorazione delle idee dei bambini o dei ragazzi;
- laboratori cognitivi CLOE (Cognitive Laboratories of Operative Exploration): costituiti da interviste semistrutturate nel contesto di un'esplorazione sperimentale con i bambini, integrate da discussioni in gruppo;
- interviste semi-strutturate;
- interviste di insegnamento;
- sequenze di insegnamento-apprendimento in un contesto ordinario in classe (sia alla scuola primaria che secondaria);

La tesi è organizzata in due grandi parti, la prima (capitoli 1-2-3-4) introduttiva in cui sono presentati alcuni aspetti storici del concetto di campo, legati in particolare alla sua rappresentazione attraverso le linee di campo (capitolo 1); l'analisi delle ricerche in letteratura su questo argomento (capitolo 2), il nostro approccio di ricerca (capitolo 3) e l'analisi dei testi scolastici (capitolo 4).

Nella seconda parte (capitoli 5-6-7-8) sono presentate le ricerche effettuate in questi tre anni di lavoro di dottorato: nel capitolo 5 è presentata un prima investigazione sul campo gravitazionale e magnetico nella scuola primaria (5-11 anni), nel capitolo 6 viene introdotta la rappresentazione dei campi gravitazionale e magnetico attraverso le linee di campo nella scuola primaria (9-11); in base a questi primi lavori di ricerca è stata programmata e realizzata in classe una sequenza sia per la scuola primaria (capitolo 7) sia per quella secondaria (capitolo 8).

[5] Non sempre risulta evidente qual'è una situazione che "valga la pena considerare" o come trattare la componente motivazionale.

CAPITOLO 1

Alcuni aspetti storici del campo.

"Un nuovo concetto appare in fisica, l'invenzione la più importante dal tempo di Newton: il campo. C'era bisogno di una potente immaginazione scientifica per concepire che non sono le cariche, né le particelle, ma è il campo nello spazio tra le cariche e le particelle che è essenziale per la descrizione dei fenomeni fisici. Questo concetto si rivela estremamente proficuo e conduce alla formulazione delle equazioni di Maxwell, che descrivono la struttura del campo elettromagnetico e governano tanto i fenomeni elettrici come quelli ottici." **A. Einstein**

1. Introduzione: il concetto di campo

Il concetto di campo si è costruito attraverso un processo di elaborazione dei concetti sia sul piano storico, sia sul piano del formalismo matematico, sia nel rapporto matematica-fisica. Tale concetto è centrale nella descrizione che attualmente la fisica fornisce del mondo reale. Esso è prioritariamente fondamentale, sia in fisica classica sia in fisica quantistica seppure con significati diversi, nella trattazione dei processi di interazione e di propagazioni di ogni forma di perturbazione delle proprietà dello spazio. In questa tesi ci limiteremo ai campi classici.

Anche solo nell'ambito classico il campo può essere definito a vari livelli di profondità, dall'analisi di diversi testi universitari abbiamo individuato tre modalità principali di intendere e definire tale concetto: da una prima accezione come funzione matematica del punto, a descrittore delle interazioni tra due sistemi che godono delle stesse proprietà, in termini di azione a distanza, fino ad assumere una realtà fisica come ente fisico con una sua dinamica, ossia una realtà che esiste indipendentemente dalle sorgenti e dal rivelatore.

Dal punto di vista generale i campi vengono divisi in campi scalari, vettoriali, tensoriali, ecc... I primi (ad esempio campi di temperatura, campi di pressione) sono sempre intesi come funzione matematica del punto. I secondi invece nel caso statico (campo gravitazionale, elettrostatico e magnetico) possono esser visti sia come una funzione matematica del punto, sia come un descrittore delle interazioni; mentre nel caso dinamico (campo elettromagnetico) il campo assume una realtà fisica come ente fisico con una sua dinamica, ossia il suo stato evolve secondo leggi proprie.

Il lavoro di questa tesi è mirato a costruire una proposta didattica che si sviluppa con continuità dalla scuola primaria alla secondaria su alcuni concetti fondamentali legati alla rappresentazione grafica del campo attraverso le linee di campo, con l'obiettivo di ricercare come interpretare, attraverso l'aspetto rappresentativo grafico, elementi e proprietà formali dei vari tipi di campo, che permettano non solo di descriverli ma anche di differenziarne la loro natura polare o dipolare.

Anche storicamente l'approccio grafico[1] è stato il primo modo di capire alcuni aspetti del concetto di campo e del suo formalismo, anticipando dei concetti formali quali, per esempio il rotore e la divergenza.

Faraday introduce il concetto di campo in opposizione all'idea dell'azione a distanza ("*It is, probably, of great importance that our thoughts should be stirred up at this time to a reconsideration of the general nature of physical force, and especially to those forms of it which are concerned in action at a distance*", Faraday (1855)), definendo le linee "di forza" in modo esplicito e operativo: "*From my earliest experiments on the relation of electricity and magnetism, I have had to think and speak of lines of magnetic force as representations of the magnetic power; not merely in the points of quantity and direction, but also in quality;*" or, "*A line of magnetic force may be defined as the line which is described by a very small magnetic needle, when it is moved in either direction correspondent to its length, that the needle is constantly a tangent to the line of motion*" (Faraday (1855)).

Nella prima metà del XIX secolo tale concetto venne applicato per descrivere i fluidi, infatti la stessa terminologia (linee di flusso, flusso attraverso una superficie, divergenza, ecc..) deriva dalla fluidodinamica.

In questo capitolo tratteremo alcuni aspetti storici della nascita del concetto di campo e in particolar modo della sua rappresentazione attraverso le linee di campo e i tubi di flusso; siccome nella tesi prestiamo particolare attenzione al campo magnetico[2], nel prossimo paragrafo illustreremo inizialmente alcuni dei principali modelli descrittivi e/o interpretativi del magnetismo che si sono succeduti nei secoli fino ai giorni d'oggi.

[1] Anche nella letteratura didattica esiste una discussione sul ruolo della rappresentazione grafica come passo necessario per passare dall'osservazione, descrizione interpretazione informale della fenomenologia, a quella matematica formale (Winn 1984, Mc Dermott et al. (1987), Rogers (2001)).

[2] Infatti come illustreremo ampiamente nella tesi (si veda capitolo 3) riteniamo che il campo magnetico si presti in modo particolare all'introduzione e alla costruzione del concetto di campo, distinto da quello di forza.

2. Cenni storici sui modelli del magnetismo e sulla nascita del concetto di campo

Brevemente enunceremo i principali modelli descrittivi e/o interpretativi del magnetismo[3] che si sono succeduti nella storia fino ad arrivare al modello di campo introdotto da M. Faraday e formalizzato in seguito da J.C. Maxwell.

A) **Modello *vitalista/animista*** (Aristotele, Santo Tommaso, Gilbert)

B) **Modello *materialista*** (Descartes)

C) **Modello del *fluido unico*** (Aepinus)

D) **Modello dell'*azione a distanza*** (newtoniano) (Coulomb, Ampère, Weber)

Primi modelli di campo:

E) **Modello delle *azioni contigue*** (Faraday, Maxwell):

E1) le linee di forza di Faraday

E2) i **tubi di flusso** di Maxwell (modello analogico di un fluido incomprimibile)

E3) le celle esagonali (primi modelli meccanici di Maxwell)

F) **Modello di campo di Maxwell**

G) **Dopo Maxwell fino ad A. Einstein e le moderne teoria dei campo**

Lorentz (passaggio da sorgenti a campo), **Poynting** (modello dei tubi di forza)

H) **Modello di campo di Einstein e le moderne teorie di campo**

Analizziamo sinteticamente le principali caratteristiche di ogni modello:

A) **Modello *vitalista/animista*:**

secondo tale modello il magnetismo è dovuto alla struttura innata di alcuni materiali.

Aristotele (IV a.C.) influenzò fortemente con il suo modello di magnetismo durante tutto il Medioevo; egli considerava che i fenomeni magnetici conosciuti fossero dovuti a una "qualità magnetica occulta", tale "qualità occulta" caratterizza i magneti e si diffonde attraverso lo spazio fornendo al ferro un potere di auto-movimento che lo fa muovere fino a unirlo con il magnete (Heilbron (1979)).

Santo Tommaso (XIII sec) invece elabora un nuovo modello (che è presente nelle idee comuni dei bambini e dei ragazzi e che oggi viene definito da Borges & Gilbert (1998) "modello a nuvola"), nel quale l'azione magnetica si produce solo a piccole distanze dal magnete; il magnetismo resta una proprietà intrinseca dei magneti, che attraggono il ferro trasferendogli un qualche potere attrattivo soltanto quando questo è nell'"area di influenza del magnete". San Tommaso per primo cercò di distinguere la gravità dal magnetismo, osservando che un corpo cade da qualsiasi distanza dalla Terra, mentre il ferro viene attratto soltanto se è dentro l'"area di influenza del magnete".
Questi primi modelli davano una spiegazione soltanto qualitativa, inoltre non riconoscono né spiegano la repulsione tra magneti.

Sempre nel XIII secolo **Pierre de Maricourt** scopre e definisce i poli di un magnete e analizza per primo il fenomeno della repulsione tra magneti, stabilendo la famosa regola secondo la quale i "poli uguali si respingono e poli opposti si attraggono". Anche lui però si limita a un piano qualitativo, infatti non viene ancora fatta un'approssimazione neanche semiquantitativa della variazione di questa "forza" rispetto alla distanza.

Il modello di **Gilbert** (1544-1603) invece si propone come un modello intermedio tra quello vitalista-animista e quelli che sorgeranno nel secolo XVIII. Il magnetismo è considerato come una proprietà caratteristica della materia e viene per la prima volta distinto chiaramente dall'interazione elettrica. Infatti gli effetti magnetici conosciuti vengono associati a una "forma", mentre quelli elettrici sono dovuti alla materia. Questa "forma" era inerente alla struttura dell'Universo e si manifestava solo in presenza di un corpo magnetizzato (Heilbron (1979)).

B) Modello *materialista*[4]

Descartes (secolo XVII) elabora un modello (Fig. 2) dove l'attrazione e la repulsione sono spiegate mediante gli impulsi meccanici, il magnete agisce su un pezzo di ferro attraverso un flusso di materia che esce dal magnete e ritorna a lui. E' un modello materialista, nel quale il magnetismo si produce

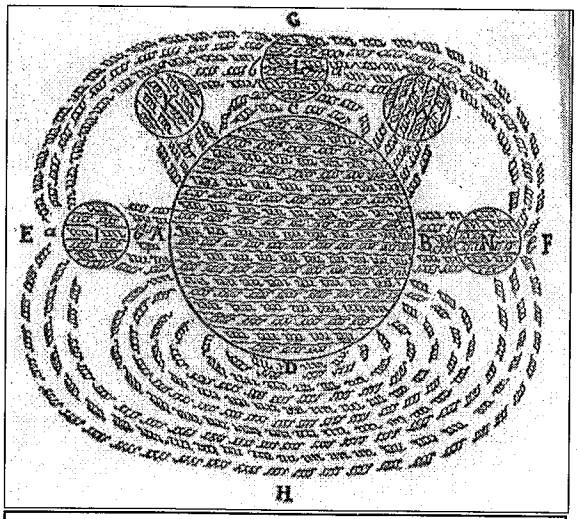


Figura 2: Modello meccanico dell'azione di un magnete elaborato da Descartes [tratto da Fauvel (1988)]

[3] Per i primi quattro modelli si è preso spunto inizialmente dalla tesi di dottorato di Almudí (Almudí (2001))
[4] Nel periodo tra il XVII e il XVIII secolo nasce il materialismo storico, superando sia l'illusione di un ordine finalistico del mondo, sia il sogno newtoniano di dominare con leggi matematiche il meccanismo cosmico, sia il progetto di recuperare in un quadro scientifico la storia della natura. Nasce così una nuova visione che prevede un ordine e una organizzazione microscopica dei sistemi che si riflette in una organizzazione macroscopica (Bernardi (1980)).

attraverso l'emanazione di particelle elementari, che possono penetrare[5] soltanto nei materiali simili al ferro, a causa della forma delle particelle e della forma dei "pori" di questi materiali (Almudí (2001)).

C) **Modello del *fluido unico*** :

secondo questo modello il magnetismo è una sostanza composta da particelle che si respingono tra di loro e attraggono le particelle del ferro e dell'acciaio.

Il modello di **Aepinus** (1724-1802) è un modello intermedio tra il modello di "fluido unico" (utilizzato in quell'epoca per spiegare i fenomeni elettrici, come la teoria del fluido unico di Franklin) e il modello dell'azione a distanza (che inizia a essere dominante in quell'epoca).

In questo modello i poli sono + o – a seconda della quantità di fluido magnetico che hanno, tutti i fenomeni magnetici dipendono dallo spostamento del fluido, e la magnetizzazione è spiegata come l'induzione elettrica. Inoltre Aepinius afferma che i poli possono agire a distanza: le particelle di fluido si respingono tra di loro e attraggono le particelle del ferro o dell'acciaio. Il fluido magnetico può attraversare facilmente tutte le sostanze tranne il ferro, l'acciaio e i magneti.

Anche questo modello permane su un piano qualitativo, pur rilevando la dipendenza inversa della "forza" con la distanza non la quantifica, né spiega l'inseparabilità dei poli.

D) **Modello dell'*azione a distanza*** (newtoniano) :

in questo modello l'interazione avviene a distanza, è istantanea e il mezzo non influisce nell'interazione.

Coulomb (1736-1806)

Il modello di Coulomb, di ispirazione newtoniana, affronta anche il piano quantitativo, trovando un modello matematico che descriva la legge della forza magnetica (viene dimostrata la dipendenza della "forza" magnetica dall'inverso del quadrato della distanza nelle prossimità dei poli di magneti "molto lunghi"). Introduce una metodologia quantitativa, simile a quella utilizzata nella meccanica newtoniana e che serve per definire operativamente, a partire dagli effetti dinamici, i concetti di polo magnetico e forza magnetica di tipo "centrale" (Heilbron (1979), citato in Almudí (2001)).

---

[5] Osserviamo che il magnetismo come flusso o come qualcosa che "passa" o "si trasferisce" dal magnete al materiale ferromagnetico è un'idea comune presente anche negli studenti (è emerso in diverse interviste a studenti dei primi anni di scienze della formazione); mentre in alcuni testi scolastici (Der Karlsruher Physikkurs) viene ancora oggi sfruttata l'analogia del campo magnetico con una molla elastica: "*Se avviciniamo due poli di due magneti diversi, il campo magnetico tra i poli si comporta come una molla elastica* (pag 54)".

Questo modello tuttavia mantiene a livello molecolare l'esistenza di due fluidi per poter spiegare l'inseparabilità dei poli: infatti la magnetizzazione della materia viene spiegata con l'esistenza di due fluidi magnetici (magnetismo Nord e Sud, le cui particelle obbediscono alla legge dell'inverso del quadrato), che differiscono dai fluidi elettrici solamente per il fatto che non possono essere separati.

La teoria di Coulomb estende la meccanica newtoniana al magnetismo, tuttavia questo modello, pur dando una prima trattazione quantitativa delle forze magnetiche, non spiega né le "forze non centrali" che già Gilbert aveva scoperto nei suoi lavori con magneti e bussole, né alcuni fenomeni conosciuti all'epoca, dovuti all'induzione (alcuni materiali, se colpiti da raggi, attraevano in seguito chiodi, la scarica della bottiglia di Leyden si magnetizzava un ago metallico,...).

Ampère (1775-1836)

Ampère formalizza matematicamente l'azione tra fili paralleli attraverso una forza di tipo newtoniano, che però dipende dagli angoli che formano gli "elementi di corrente" (che agiscono come le masse puntuali di Newton, (Almudì (2001)).

Per spiegare il comportamento delle sostanze ferromagnetiche, Ampère elaborò un modello che affonda le sue radici nell'azione a distanza e mette in relazione l'elettricità e il magnetismo. All'interno di un materiale ferromagnetico egli suppose l'esistenza di spire circolari estremamente piccole percorse da corrente; ognuna di esse genera un campo magnetico, come fosse un magnete. In condizioni normali le spire sono orientate casualmente in tutti i modi (Fig. 3a) e i loro effetti magnetici si elidono a vicenda. L'introduzione di un campo magnetico esterno, tende a dare a tutte il medesimo orientamento (Fig. 3b); in questo modo le azioni di tutti i magnetini elementari si sommano e, allineandosi secondo il campo inducente, producono un effetto esterno molto evidente che rinforza tale campo. Quindi la magnetizzazione della materia si produce per allineamento delle

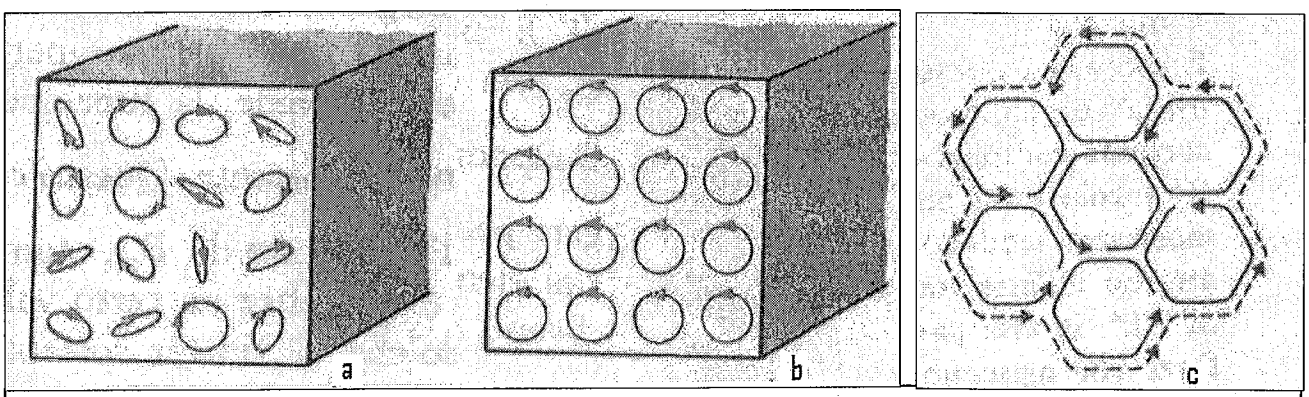


Figura 3a e 3b: Rappresentazione simbolica del modello di Ampère.
Figura 3c: Circoletti di corrente, secondo Ampère, all'estremità di una sbarra magnetica. All'interno le correnti si annullano a vicenda, la linea tratteggiata indica la corrente risultante alla superficie.

correnti molecolari grazie all'azione di una forza esterna; in questo modello si allineano le correnti molecolari, a differenza di quello di Coulomb, dove si allineano le molecole stesse, si passa quindi da un modello "sostanzialista" a uno di "elementi di corrente" (Williams (1965)).

Questa spiegazione del magnetismo, che precede circa di sessant'anni la scoperta dell'elettrone, anticipò molti elementi utili alla correlazione tra struttura atomica e interpretazione del magnetismo. La somma dei contributi elementari del campo magnetico generato da ogni singolo elettrone di un materiale ferromagnetico risulta molto inferiore al campo magnetico esterno misurato, infatti una spiegazione esauriente di questo argomento richiede l'uso della meccanica quantistica. Oggi sappiamo che ogni campione di materiale ferromagnetico a temperatura ambiente è costituito da domini macroscopici (dell'ordine di alcuni millesimi di centimetro) in cui gli atomi sono completamente orientati. In un campione non magnetizzato tali domini sono orientati in modo casuale; il processo di magnetizzazione consiste nel progressivo orientamento dei domini per mezzo di uno spostamento dei loro contorni: i domini orientati favorevolmente rispetto al campo crescono di dimensione a spese degli altri.

Il modello di Ampère, per quanto oggi superato, si basa comunque su un'assunzione molto importante, in conseguenza agli esperimenti di Oersted, ossia l'interazione tra magneti e correnti non è altro che un'interazione tra correnti, ossia egli identifica le fonti del magnetismo conosciute all'epoca in un'unica (le correnti).

Weber (1804-1891)

Nel secolo XIX, mentre in Inghilterra il modello imperante era quello di "campo" introdotto da Faraday, nel continente europeo (in particolare in Francia e Germania), il modello adottato per l'interpretazione dei fenomeni magnetici era quello newtoniano di "azione a distanza". La fisica di diversi ricercatori (Newmann, Helmholtz, Weber,..) all'epoca era dunque era fortemente radicata nell'azione a distanza.

Weber cerca di formalizzare e unificare diversi fenomeni in un'unica "Legge della Forza" generale che include: la forza di Coulomb, la forza tra due fili percorsi da corrente (di Ampère), e anche il fenomeno di induzione scoperto da Faraday. Nel suo modello la corrente elettrica è formata da cariche elettriche di diverso segno che si muovono nel senso opposto attraverso il conduttore; mentre la magnetizzazione della materia è dovuta all'esistenza di correnti molecolari permanenti nei materiali magnetici.

La nascita del concetto di campo e la sua rappresentazione attraverso le linee di "forza":

La storia del concetto di campo nasce nel terzo decennio dell'Ottocento in un periodo in cui c'era un grande dibattito tra fisici (e anche i chimici) sulle nozioni generali di materia, di spazio, di vuoto, di etere e dell'ipotesi dell'azione a distanza.

Veniva messa in discussione la tradizionale distinzione tra una materia "ponderabile" (ossia soggetta ad effetti gravitazionali) ed "imponderabile" (costituita da una classe di fluidi elettrici, magnetici, calorici). Nel 1820, con le esperienze di Oersted (1777-1851) si era aperto un nuovo fronte di ricerca: le interazioni tra elettricità e magnetismo. L'ipotesi stessa di Ampère sulla natura elettrica del magnetismo, rimetteva in discussione il significato delle leggi coulombiane, e negava l'autonomia dei due fenomeni. In quegli anni la scuola francese (Laplace) aveva creduto di scoprire per mezzo di applicazioni, all'elettrostatica e alla magnetostatica, una teoria basata sulla funzione potenziale, in cui era in qualche modo presente l'idea di campo, in quanto faceva riferimento a un potenziale distribuito nello spazio.

Comunque, anche se il concetto di campo era stato introdotto in alcuni settori della fisica settecentesca, in particolare, nella fluidodinamica (da cui deriva soprattutto la nomenclatura: linee di campo, flusso, ecc..) tali concezioni non erano d'ausilio nella situazione delle conoscenze elettromagnetiche. Infatti è negli anni 1839 che si fa risalire la nascita del concetto di campo, grazie al lavoro di due scienziati in particolare: Michael Faraday e James Clerk Maxwell.

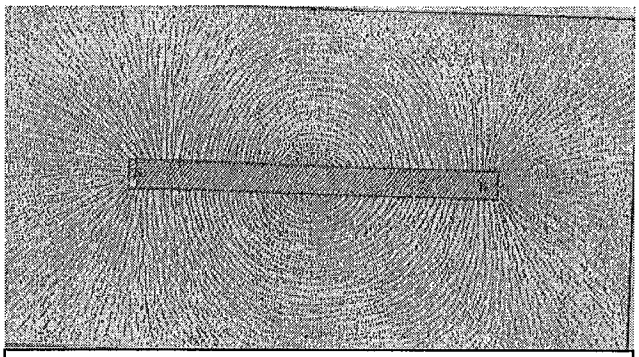


Figura 4: Rappresentazioni delle linee di forza fatta da Faraday [Faraday (1855)]

Primi modelli di campo:

E) Modello delle *azioni contigue*

Faraday introduce il modello delle linee di forza non in termini di forze a distanza, ma di azioni contigue nel mezzo. Rifiuta i modelli di azione a distanza o di fluidi elettrici o magnetici, caratterizza invece i fenomeni sia elettrici che magnetici attraverso le diverse configurazioni ("*patterns*") geometriche (Fig. 4,5) nello spazio delle forze vettoriali a cui sono soggetti i rivelatori di campo (elettrico o magnetico, *"electrical or magnetic test bodies"*). Le linee di forza, intese da Faraday o come *"un'entità teorica"* che descrive i fenomeni oppure come "*linee fisiche*" (ossia "entità reali"), rappresentano il campo intorno alla sua sorgente: a ogni punto dello spazio viene

associata un'intensità, una direzione e un verso. Il mezzo, l'etere o la materia, assume un ruolo fondamentale nella trasmissione delle interazioni, che non sono più istantanee.

E1) Le linee *di forza* di Michael Faraday (1791-1867)

Faraday fu uno dei maggiori scienziati sperimentali di tutti i tempi e, anche se non utilizzava un formalismo matematico, ragionava in termini teorici di grande portata: "*Man mano che procedevo nello studio di Faraday, mi rendevo conto che il suo metodo di concepire i fenomeni era anche di tipo matematico, sebbene non si esprimesse nella forma convenzionale dei simboli matematici*" (Maxwell, introduzione al *Treatise of Electricity and Magnetism* del 1873).

Il concetto di campo e di linea di forza sono stati introdotti da Faraday all'interno del dibattito sull'azione a distanza. A quei tempi si pensava che la forza tra le particelle cariche fosse dovuta ad un'interazione diretta ed istantanea tra le due particelle e con questo concetto di azione a distanza si descrivevano pure le azioni magnetiche e gravitazionali. Faraday è stato il primo che si è posto il problema di superare l'idea di forza come azione a distanza: "*It is, probably, of great importance that our thoughts should be stirred up at this time to a reconsideration of the general nature of physical force, and especially to those forms of it which are concerned in action at a distance*" [Faraday (1855), pag. 570]. Secondo Faraday la propagazione delle forze avviene attraverso un mezzo e non a distanza, introdusse il concetto di linea di forza come un metodo per rappresentare la natura, la condizione, la direzione e l'intensità (comparativa) della forza magnetica ("as a *method to represent the nature, condition, direction and comparative amount of the magnetic force*").

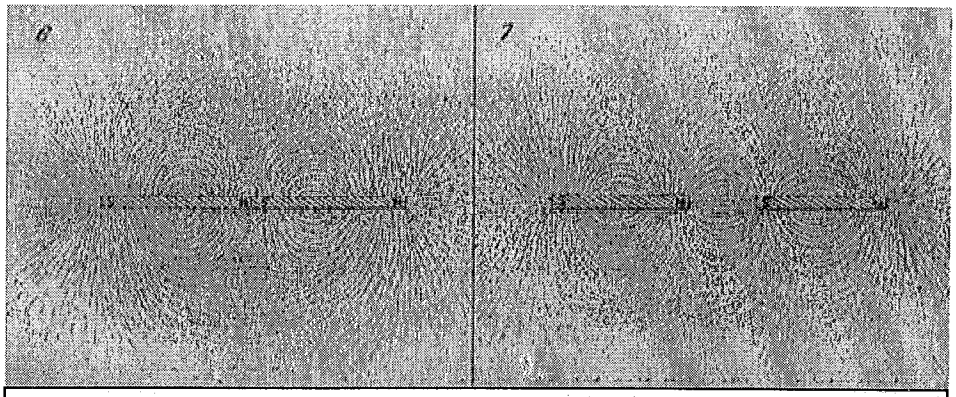


Figura 5: Rappresentazioni delle linee di forza fatta da Faraday [Faraday (1855)]

A partire dal 1851, Faraday iniziò a sviluppare definire il significato delle linee di forza magnetica (concepite trant'anni prima), sosteneva che questo metodo è migliore di quello che rappresenta le forze come concentrate in centri di azioni (" a *method which represents the forces as concentrated in centres of action*"): *"From my earliest experiments on the relation of electricity and magnetism, I have had to think and speak of lines of magnetic force as representations of the magnetic power; not merely in the points of quality and direction, but also in quantity*" (Faraday (1855)).

"*A line of magnetic force may be defined as the line which is described by a very small magnetic needle, when it is moved in either directions correspondent to its length, that the needle is constantly a tangent to the line of motion; ...*", "*The magnetic lines of force .. are made known to us, as respect their direction and intensity, by their action on small standard magnets*" (Faraday (1855)).

La caratteristica delle linee di forza magnetiche è che sono linee curve, mentre nel caso elettrico possono essere sia curve che rette: *"by "line of magnetic force", or "magnetic line of force", or "magnetic curve", I mean that exercise of magnetic force which is exerted in the lines usually called magnetic curves, and which equally exist as passing from or to magnetic poles, or forming concentric circles round an electric current. By "line of electric force", I mean the force exerted in the lines joining two bodies, acting on each other according to the principles of static electric induction, whixh may also be either in curved or straight lines"* (Faraday (1855)). Maxwell nell'introduzione al *Treatise of Electricity and Magnetism* scrive che "*Faraday.. saw lines of force traversing all space where the mathematicians saw centres of force, ...saw a medium where they saw nothing but distance ...*" (Maxwell (1954)).

Faraday associava quindi le linee a un'idea di energia o "potere magnetico" (*magnetic power*), le linee di forza sono rappresentative dell'azione del magnete anche se all'epoca il campo era identificato con la forza. Infatti egli chiamava le linee del campo magnetico *linee di forza*, anche se oggi sappiamo che sono invece linee di orientazione dei momenti magnetici e non linee di forza. La forza infatti nel caso magnetico non ha la stessa direzione del campo, come invece risulta nel caso gravitazionale e elettrico[6]. Osserviamo inoltre che il concetto delle linee di "forza" inizialmente nasce per i fenomeni magnetici e non era concepito né applicato per il campo gravitazionale ("*Siamo obbligati a sviluppare queste riflessioni rispetto a numerosi poteri naturali e, per la verità, quello della gravità è l'unico caso cui tali riflessioni non appaiono pertinenti*", Faraday (1855)).

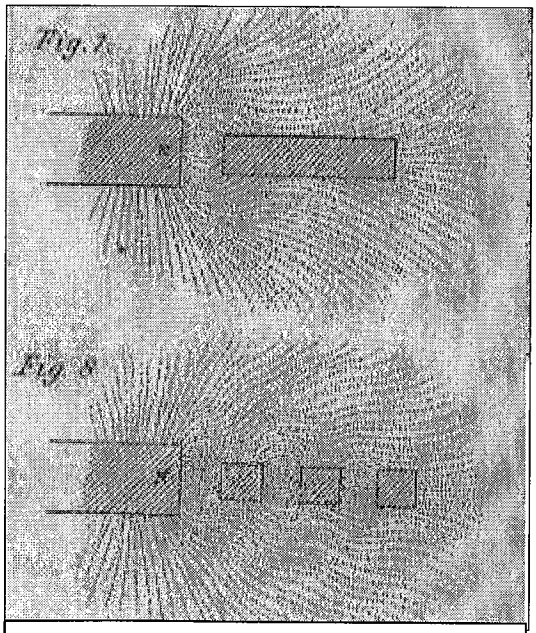


Figura 6: Rappresentazioni delle linee di forza fatta da Faraday [Faraday 1855]

Faraday stesso distingue due concezioni di linee di forza magnetica (Giuliani (2002)):

[6] E' interessante osservare che il concetto di campo e di linee di campo nasce proprio per descrivere i fenomeni magnetici; anche se a quell'epoca il concetto di campo non era distinto dalla forza, il caso magnetico si presta in modo particolare, rispetto agli altri tipi di campo (gravitazionale o elettrico), a tale distinzione.

a) Linee di forza come "***un'entità teorica***" usata per descrivere i fenomeni:

"Sono stato recentemente impegnato nella descrizione e definizione delle linee di forza magnetica (3070), i.e. di quelle linee che sono mostrate, in generale, dalla disposizione della limatura di ferro o dei piccoli aghi magnetici intorno o tra magneti; ho mostrato, spero in modo soddisfacente, **come queste linee possano essere assunte quali indicatori del potere magnetico**, sia per quanto concerne la disposizione che la quantità; inoltre [ho mostrato] come esse possano essere riconosciute da un filo in moto in un modo del tutto differente, in linea di principio, dalle indicazioni fornite da un ago magnetico, e, in numerosi casi, con grandi e peculiari vantaggi. La definizione data non fa alcun riferimento alla natura fisica della forza nel luogo in cui agisce, e si applica con la medesima accuratezza qualunque sia questa natura; essendo ciò molto chiaro, sto per abbandonare per un poco la linea del ragionamento rigoroso per sviluppare alcune riflessioni intorno al carattere fisico delle linee di forza, ed al modo in cui si può supporre che esse si prolunghino nello spazio." (Faraday (1855), citato in Giuliani (2002))

b) Linee di forza che possono essere "entità reali", ossia avere un'esistenza fisica:

"Nelle precedenti considerazioni non mi sono riferito alla concezione che recentemente ho sostenuto con evidenze sperimentali, che le linee di forza, considerate semplicemente come indicatori del potere magnetico, sono curve chiuse che passano in una parte del loro corso attraverso il magnete, e nell'altra parte attraverso lo spazio intorno ad esso. Queste linee sono identiche, per quanto riguarda la loro natura, qualità e quantità sia dentro il magnete sia fuori. Se a queste linee, prima definite, noi aggiungiamo **l'idea di esistenza fisica,** e poi riprendiamo in considerazione i casi appena ricordati come assunti sotto la nuova concezione, si vede subito che la probabilità di linee di forza esterne e curve, e pertanto della loro esistenza fisica, è altrettanto grande, ed anche maggiore di prima..."

"Avendo applicato il termine di ***linee di forza magnetica*** **ad un'idea astratta**, che io penso descriva accuratamente la natura, la condizione, la direzione e la grandezza relativa delle forze magnetiche, senza alcun riferimento ad alcuna condizione fisica della forza, ho applicato ora il termine di ***linee di forza magnetica*** **includendo l'idea ulteriore della loro esistenza fisica**. Il primo insieme di linee si basa direttamente sull'evidenza sperimentale. Il secondo insieme di linee è introdotto essenzialmente per porre la questione della loro esistenza; e sebbene io non avrei sollevato la questione se non l'avessi ritenuta importante e tale da ricevere alla fine una risposta positiva, continuo a sostenere questa opinione con qualche esitazione, come, pertanto succede per qualunque conclusione io mi sforzi di trarre a proposito di punti concernenti le profondità della scienza, come, per esempio, quello concernente uno, due, o nessun fluido elettrico; oppure la vera natura di un raggio di luce, o la natura dell'attrazione, persino quella della gravitazione, o la natura generale della materia.
(Faraday (1855), citato in Giuliani (2002)).

Egli stesso afferma che il suo modello è superiore a quelli precedenti dei centri di azione (dei poli) o del fluido diffuso ai poli: "*A point equally important to the definition of these lines is, that they represent a determinate and unchanging amount of force. [...] Now it appears to me that these lines may be employed with great advantage to represent the nature, condition, direction and comparative amount of the magnetic forces; and that in many cases they have, to the physical reasoner at least, a superiority over that method which represents the forces as concentrated in centres of action, such as the poles of magnets or needles, or some other methods, as, for instance, that which considers north or south magnetism as fluids diffused over the ends or amongst the particles of a bar* " (Faraday (1855)). Faraday dava inoltre un ruolo alle linee sia nel contesto statico dell'azione su un ago magnetico, sia nel contesto dell'induzione magnetica su un conduttore in moto, distinguendo chiaramente i due effetti: "*Lines of magnetic force may be recognized, either by their action on a magnetic needle, or a conducting body moving across them. Each of these actions may be employed also to indicate, either the direction of the line, or the force exerted at any given point in,... The actions are however different in their nature. The needle shows its results by*

attraction and repulsion; the moving conductor or wire shows it by the production of a current of electricity" (Faraday (1855)).

L'intensità della "forza magnetica" viene relazionata alla concentrazione delle linee: "*If the intensity is to be considered as expressing the amount of force which passes through any given place, then, in consequence of a definite amount of power which belongs to any section of a given amount of lines of magnetic force, a concentration of these lines towards the middle P will cause an increase of intensity at that part...*".

L'insieme delle linee era geometricamente raffigurabile come gruppi o famiglie di curve che attraversavano lo spazio tra conduttori e magneti; inoltre erano ritenute responsabili della stessa induzione elettromagnetica. "Un filo che, muovendosi nello spazio attraversava una famiglia di curve, diventava sede di correnti indotte, ed era proprio l'attraversamento delle linee di forza a provocare l'induzione. Infatti, se il filo rimaneva in quiete rispetto alle linee, non erano osservabili fenomeni d'induzione" (Bellone (1990)).

La sua scoperta fondamentale fu l'induzione elettromagnetica nel 1831, in cui dimostrava la produzione di correnti elettriche a partire dal magnetismo e l'esistenza di una sorta di "identità d'azione" tra magneti ed elettromagneti o correnti voltaiche. Secondo Giuliani in base alle riflessioni di Faraday sui fenomeni di induzione elettromagnetica "possiamo affermare che la sua descrizione teorica di questi fenomeni è una teoria di campo, nel senso che le interazioni fisiche sono interazioni locali tra i conduttori e linee di forza magnetica" (Giuliani (2002)). Rispetto all'induzione magnetica attraverso linee curve, Faraday affermava che: "*Amongst those results deduced from the molecular view of induction , which, being of a peculiar nature, are the best tests of the truth or error of the theory, the expected action in curved lines is, I think, the most important at present; for, ..., I do not see how the old theory of action at a distance and in straight lines can stand, or how the conclusion that ordinary induction is an action of contiguous particles can be resisted*" (Faraday (1855)). Infatti per spiegare il fenomeno dell'induzione egli non faceva appello all'azione a distanza (come celebri studiosi dell'epoca, quali Aepinius, Cavendish o Poisson), ma ad un'azione per contatto: "*l'induzione è un'azione di particelle contigue consistente in una specie di polarità, e non un'azione a distanze sensibili tra particelle o masse*"; inoltre l'azione elettrica a distanza non si realizzava mai se non grazie all'influenza della materia interposta. La nozione di spazio interposto tra i corpi elettrizzati, correnti e magneti era connessa a problemi di elettrolisi e, quindi di elettrochimica, infatti Faraday riteneva che le forze sin'ora indicate con i nomi di affinità chimica e di elettricità fossero in realtà una cosa sola, e che bisognava concepire in un nuovo modo la particella materiale. "Faraday proponeva di sostituire la tradizionale ipotesi atomica con una congettura che si poteva far risalire a Boscovich e secondo la quale la parola "atomo" designava

semplicemente un centro di forza. Quindi tra due atomi non esiste propriamente uno spazio vuoto: si ha semplicemente un continuo, e "la materia è *continua* ovunque" (Bellone (1990)).

Veniva quindi messa in crisi l'intera concezione della struttura della materia, per permettere una transizione da una visione di tipo newtoniano a una visione di tipo faradayano, che non fu immediata, come vedremo nelle discussioni tra Faraday e Maxwell. "Ciò che veramente contava, per Faraday, era la visione generale d'un universo completamente denso d'una materia concettualmente ridisegnata su trame alternative a quelle atomiche, e governato da una sola legge unificante che riconduceva tutti i fenomeni alle forze dell'elettricità (Bellone (1990)).

Faraday non solo nega la visione newtoniana dell'azione a distanza (nello scritto *On the conservation of Force* del 1857) considerando l'azione di contatto di particelle contigue, ma nel saggio intitolato *Thoughts on Ray-Vibrations* afferma la possibilità che tutte le azioni fisiche si propaghino con una velocità non istantanea e finita. La visione delle linee di forza come realtà fisiche lo portano a supporre un loro ruolo sostitutivo all'etere come mezzo di trasmissione dell'interazione: Faraday si chiedeva "*se non sia possibile che le vibrazioni assunte in una certa teoria per render conto della radiazione e dei fenomeni radianti, possano verificarsi nelle linee di forza che collegano tra loro le particelle e, conseguentemente, le masse materiali: questa è una concezione che qualora venga ammessa potrà dispensarci da quell'etere che, secondo una concezione diversa, viene ipotizzato come il mezzo entro il quale quelle vibrazioni hanno luogo*" (Thoughts on Ray-Vibrations, citato in Bellone (1990)). La propagazione della luce, e dell'"azione radiante" in generale, avveniva quindi nel tempo con velocità finita e per mezzo di vibrazioni trasversali delle linee. Faraday a questo punto si chiedeva se anche la gravitazione poteva essere interpretata come il risultato di una perturbazione "laterale" di linee di forza che si propagava a velocità finita.

James Clerk Maxwell

Il concetto di campo nasce inizialmente in termini molto materiali, abbiamo visto come le linee di forza sono intese da Faraday in senso "fisico", non viene infatti concepito il campo nel vuoto, ma soltanto in un mezzo, l'etere; il campo inoltre ed è intrinsecamente legato alla materia.

Anche prima di Maxwell tra i fisici c'era l'antagonismo tra i modelli di interazione della materia basati sui modelli discreti e quelli basati su modelli continui. L'azione si propagava attraverso un mezzo continuo (idea della materia continua) e non attraverso il campo. E' con Maxwell che si incominciano a porre le basi per un nuovo concetto di campo anche se egli stesso è fermamente convinto dell'esistenza dell'etere.

Maxwell dà una rappresentazione matematica della teoria di Faraday del campo magnetico e sviluppa una teoria del *"continuum etereo"* come espressione fisica del *"plenum di forze"* di Faraday. Maxwell, oltre a completare la teoria elettromagnetica con le equazioni che portano il suo nome, fornì una prima chiara definizione del termine campo, attribuendogli il ruolo di *mediatore* delle interazioni tra i sistemi. Il campo era visto come un mezzo continuo o discreto (l'etere) di particelle interagenti oppure come una distribuzione spaziale di forze. Maxwell elaborò anche un "modello geometrico" del campo, in cui le linee di forza di Faraday costituivano una rappresentazione puramente geometrica della struttura di campo.

Vediamo ora più in dettaglio i primi modelli meccanici elaborati da Maxwell nei tre articoli precedenti al *A Treatise on Electricity and Magnetism*, ossia:

- *"On Faraday's lines of force"* 1855: in cui il campo è visto come supporto geometrico (tubi di flusso)
- *"On Physical Lines of Force"* 1861: in cui Maxwell costruisce un modello meccanico per il campo e trova le equazioni per i campi elettrico e magnetico;
- *"A dynamical Theory of Electromagnetic Field"* 1865: in cui partendo dai lavori di Faraday ricava le equazioni per i campi E e B come proprietà vettoriali in un mezzo meccanico (etere).

Primi modelli meccanici di Maxwell:

E2) I tubi di flusso (modello analogico di un fluido incomprimibile)

Già **Thomson** negli anni 1840 inizia ad associare, su basi analogiche, le linee di forza di Faraday con le condizioni di

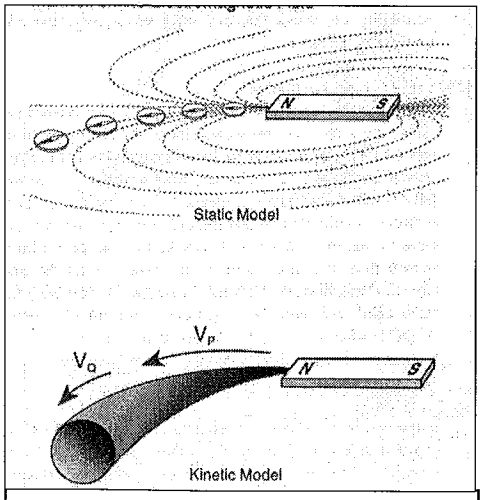


Figura 7: Il modello dei tubi di flusso, tratta da [Simpson 1997]

un mezzo. Egli osserva che le relazioni tra le sorgenti di calore e il suo flusso sono analoghe a quelle tra l'elettricità e l'attrazione elettrica nel campo dell'elettrostatica sviluppata da Coulomb: "*It is no doubt, possible that ... [electrical forces] may be discovered to be produced entirely by the action of contiguous particles of some intervening medium, and we have the analogy for this in the case of heat, where certain effects which follows the same laws are undoubtedly propagated from particle to particle. It might also be found that magnetic forces are propagated by means of a second medium, and the force of gravitation by means of a third*"(Thomson, citato in Cantor & Hodge (1981)). Dimostra inoltre dal punto di vista matematico e in termini operativi (*operational terms*) che i modelli dell'azione a distanza e delle linee di forza (di Faraday) sono equivalenti nella trattazione dell'elettrostatica.

Maxwell, allievo di Thomson, nei suoi primi lavori elabora dei modelli, che più tardi definirà ausiliari, per render conto dei fenomeni osservati; nel primo articolo ***"On Faraday's Lines of Force"*** (1855) propone un'analogia tra le forze attrattive, la cui intensità dipende dalla distanza come $1/ r^2$, e il flusso di calore. Egli stesso afferma che in questo contesto non vuole dare una descrizione matematica dei fenomeni fisici osservati, ma piuttosto affrontarne il significato fisico attraverso l'analogia, intesa come mezzo strumentale per la comprensione.

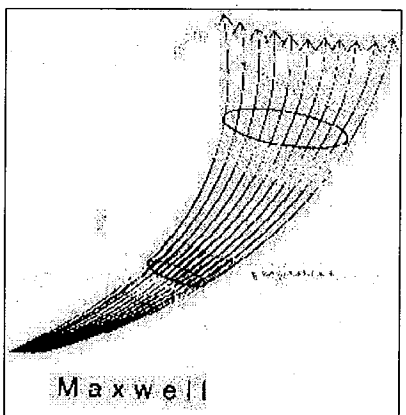


Figure 8 e 9: Il modello dei tubi di flusso di Maxwell, tratte da [Simpson (1997)]

Maxwell considera l'analogia come una forma di parziale somiglianza tra le leggi di un gruppo di fenomeni e le leggi di un altro gruppo: "*By a physical analogy I mean that partial similarity between the laws of one science and those of another which makes each of them illustrate the other*", (Maxwell, citato in Cantor & Hodge (1981)). Già in alcuni lavori di Thomson era stata messa in evidenza una stretta analogia tra le leggi sulla conduzione del calore in mezzi omogenei e le leggi relative all'attrazione in funzione $1/r^2$. L'analogia riguardava la forma matematica di tali leggi, e non entrava nel merito delle differenze essenziali tra la teoria del calore, che era centrata sull'azione per contatto, e la teoria dell'attrazione, che si basava sull'azione a distanza (Bellone (1990)).

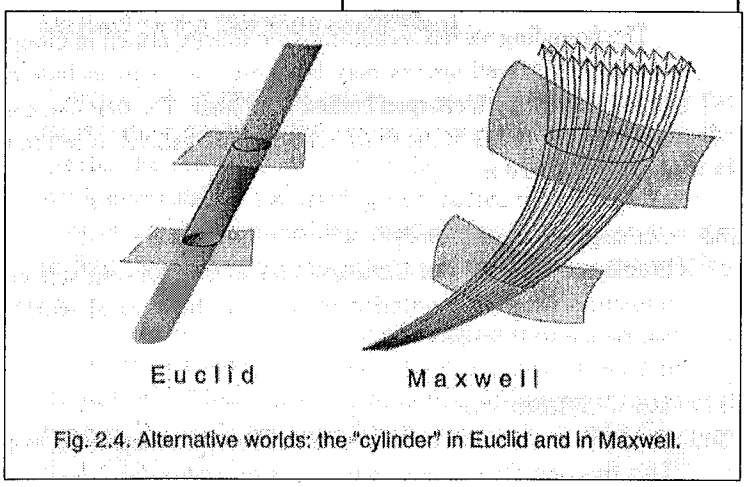


Fig. 2.4. Alternative worlds: the "cylinder" in Euclid and in Maxwell.

Dalla nozione di linea di forza Faraday aveva proposto un modello geometrico

dei fenomeni fisici: lo spazio è un intreccio di curve che forniscono informazioni sulla direzione delle forze agenti punto per punto. Le "linee di forza" di Faraday però ci danno solo delle indicazioni sulla direzione e il verso delle forze, ma non sull'intensità.

Maxwell stesso in questo primo articolo afferma che: "*We should thus obtain a geometrical model of the physical phenomena, which would tell us the* ***direction*** *of the force, but we should still require some methods of indicating the* ***intensity*** *of the force at any point. If we consider these curves not as mere lines but as fines tubes of variable section carrying an incompressible fluid, then since the velocity of the fluid is inversely as the section of the tube,...* ***by regulating the section of the tube,*** *... we might* ***represent the intensity of the force as well as the direction by the motion of the fluid in these tubes***" (Simpson (1997)).

Egli dunque suggerisce di sostituire il modello delle linee geometriche di "forza" con il modello dei tubi sottili (fig. 7-9) di sezione variabile al cui interno scorre un fluido incomprimibile. "Sembrava lecito cercare conoscenze sulle direzioni e sulle intensità delle forze facendo appello alle leggi matematiche già note dell'idrodinamica e applicandole al comportamento del fluido mobile in tubi di forza a sezione variabile" (Bellone (1990)).

L'analogia consiste quindi nel modellizzare le "inverse square forces" (le forze che dipendono dalla distanza come $1/r^2$) attraverso il moto uniforme di un fluido incomprimibile: "*...by adopting for the definition of forces of which we treat, that they may be represented in magnitude and direction by the uniform motion of an incompressible fluid*".

Le forze quindi vengono definite non da una formula, ma dallo stesso modello dei tubi di flusso, come commenta Simpson: "Here is the announcement of the revolution in thought which Maxwell has determined to pursue: to set aside the usual theories of action between points and to undertake a new "definition of the forces" in question. In the old view, they were called "inverse square" forces. Under the new, **they are to be defined, not by a formula, but by *the model – defined*,** that is, by the tube of flow as a model."(Simpson (1997)).

Quella che Maxwell definiva come la "pura idea geometrica" del moto di un fluido immaginario[7], doveva avere la funzione di evitare le congetture sulla natura fisica dell'elettricità e dare spazio a ragionamenti matematici capaci di crescere ad un livello di generalità e precisione, senza mai pretendere di individuare le cause dei fenomeni osservabili. L'appello di Maxwell era, nella sostanza, un appello alle potenzialità di un approccio idrodinamico alla fenomenologia elettromagnetica (Bellone (1990)).

[7] Nota: Maxwell per fare la sua analogia considera una grandezza di confronto di tipo cinematico (la velocità del fluido) e non dinamico. Non esisteva ancora l'idea di campo vettoriale né l'idea di flusso di campo vettoriale!!!

L'analogia era comunque intesa solo in termini esplicativi, come una collezione di "proprietà immaginarie" che permettevano di render conto della fenomenologia: *"is not even a hypothetical fluid which is introduced to explain actual phenomena. It is merely a collection of imaginary properties which may be employed for establishing certain theorems in pure mathematics in a way more intelligible to many minds and more applicable to physical problems than that in which algebraic symbols alone are used"* (Maxwell, citato in Cantor & Hodge (1981)).

E3) <u>Le celle esagonali</u>

Con il secondo articolo, *"On Physical Lines of Force"* 1861, Maxwell vuole dare alle linee di "forza" non solo un significato geometrico, ma anche fisico (si pensava infatti che le linee di forza fossero la traccia "di qualcosa di reale"). Mentre nel primo articolo erano state proposte "illustrazioni meccaniche" per render conto dei fenomeni osservabili, per aiutare l'immaginazione del lettore attraverso l'analogia, nel secondo invece Maxwell punta a risultati di carattere fisico. Egli considera l'azione magnetica come un'azione tra le parti contigue di un corpo (modello delle azioni contigue) e vuole trovare un supporto per lo studio matematico di tale fenomeno. Ispirandosi sempre all'idrostatica e all'idrodinamica ipotizza che gli "eventi magnetici siano il risultato di tensioni lungo la direzione delle linee di forza e di pressioni di tipo idrostatico, sorge quindi il quesito sulla natura e sulle caratteristiche di un mezzo capace di essere la sede per quella combinazione di tensioni e di pressioni" (Bellone (1990)).

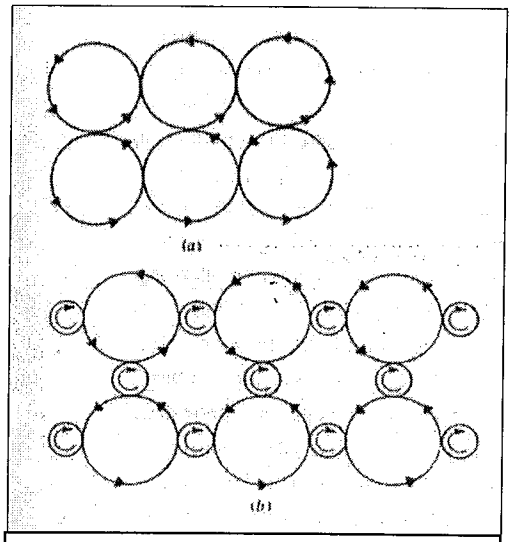


Figura 10: Modelli dei vortici rotanti di Maxwell:
a) modello iniziale in cui la frizione nei punti di contatto dei vortici porta alla dissipazione dell'energia rotazionale)
b) modello "a cuscinetto" dove si previene la dissipazione dell'energia rotazionale dei vortici. [Russo (2003)].

Maxwell quindi elabora un modello (Fig. 10, 12) di celle esagonali di etere magneticamente polarizzabili, basato sui vortici. Il vortice è una turbolenza entro un fluido, e si muove avendo un asse privilegiato di rotazione che giace parallelamente alla linea di forza: le forze centrifughe dei vortici sono responsabili delle pressioni che si esercitano nel fluido. I vortici erano già stati utilizzati in passato per descrivere il movimento dei pianeti (vortici circolari), come illustra la figura 11 tratta da un libro del XVIII secolo (citato in Fauvel (1988)),

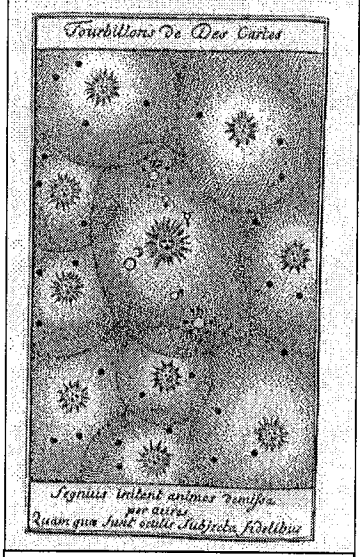


Figura 11: Modello di Cartesio dei vortici materiali per spiegare il moto dei pianeti [tratto da Fauvel (1988)]

che rappresenta un modello Cartesiano, fortemente confutato nei Principia (libro II) di Newton.

I segni + e – nel modello dei vortici di Maxwell non sono da intendersi come cariche elettriche nel senso attuale, il concetto che egli ha di carica elettrica è ben distinta da quella di oggi: Maxwell considera il campo Elettrico come la causa, mentre quello magnetico B è la risposta del mezzo (la sollecitazione del mezzo).

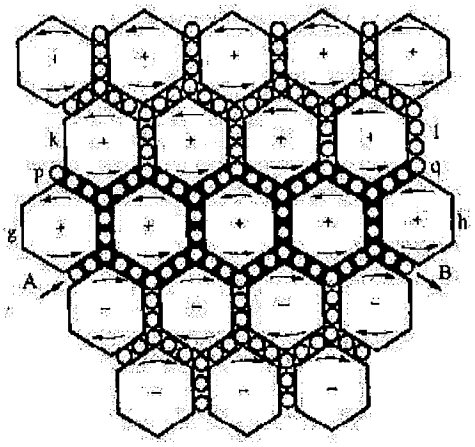


Figura 12: Il modello dei vortici di Maxwell, tratta da [Simpson (1997)]

Questi primi modelli, pur essendo ben diversi da quelli che oggi sono adottati per il magnetismo, hanno generato però la formulazione delle quattro ben note equazioni che hanno una validità generale e sono ancora attuali nel quadro interpretativo classico dell'elettromagnetismo (equazioni di campo stazionario).

Bisogna osservare che la concezione che Maxwell ha dell'elettricità è ben distinta da quella odierna: egli definisce la carica elettrica per mezzo dello spostamento elettrico che è strettamente legato alla materia, ossia al mezzo elastico, etere (oggi si considera invece che è la carica elettrica a generare uno spostamento). L'elettricità è considerata un fenomeno elastico, una risposta elastica del mezzo, la stessa relazione tra D ed E nel trattato è una relazione di tipo elastico come nel caso della forza elastica di una molla (una forza E genera una reazione elastica nel mezzo D, i dielettrici sono visti come molle elastici, mentre i conduttori come delle molle snervate). Comunque una definizione dell'elettricità risulta problematica, nel Trattato si possono riscontrare tre visioni dell'elettricità (come fluido incomprimibile, movimento di ioni o come discontinuità della distribuzione) ma Maxwell afferma che è difficile armonizzarle.

F) Il modello di campo di Maxwell

Dopo i primi modelli meccanici (celle esagonali) ed analogici (tubi di flusso) Maxwell nel Treatise non ne fa più menzione, ritenendoli solo modelli ausiliari che gli hanno permesso di formalizzare dal punto di vista matematico il campo. "Le equazioni generali, che Maxwell, all'inizio del suo programma di lavoro, aveva tentato di collegare ad analogie geometriche e a modelli idrodinamici riferiti a turbolenze e a vortici, nel *Trattato* avevano in buona parte perso quel riferimento a ipotesi meccaniche che le rendeva più facili da capire nel linguaggio diffuso delle comunità scientifiche" (Bellone (1990)). Nel quinto capitolo della Parte IV del *Treatise* Maxwell si rifaceva alla meccanica di Lagrange per esprimere una teoria "dinamica" dell'elettromagnetismo: *"The theory I propose*

may ... be called a theory of "Electromagnetic Field", because it has to do with the space in the neighborhood of the electric or magnetic bodies, and it may be called a "Dynamical Theory", because it assumes that in that space there is a matter in motion, by which the observed electromagnetic phenomena are produced" (Cantor & Hodge (1981)) Il campo elettromagnetico era dunque costituito da quelle parti di spazio che contenevano corpi in "condizioni elettriche o magnetiche (Bellone (1990)). Secondo Maxwell lo spazio è permeato da un mezzo etereo il quale penetra nei corpi materiali e ha una struttura che consente la trasmissione del movimento da punto a punto; in quegli anni si pensava che l'etere stesso avesse caratteristiche fisiche, quali densità, ecc. (Thomson nel 1854 ricavò addirittura il limite inferiore per la sua densità). Quindi il campo richiede necessariamente un mezzo per propagarsi e la sua propagazione è dovuta alle azioni elastiche del mezzo stesso.

All'epoca in cui Maxwell scrive il *Treatise* erano presenti due correnti di pensiero:

a) la tradizione delle azioni a distanza (iniziata con Coulomb, Ampère e Weber)
b) la tradizione delle azioni contigue (iniziata con Faraday e che culmina con Maxwell

Maxwell afferma che l'elettromagnetismo può essere trattato coerentemente in entrambi i modi, anzi nel *Treatise* dimostrerà l'equivalenza matematica dei due approcci, però i due modelli sono concettualmente ben distinti, e secondo Maxwell il secondo è migliore in quanto permette una concezione unitaria dell'etere. Egli indica nell'energia il fattore discriminante dei due approcci: il primo (dell'azione a distanza) colloca l'energia nei corpi elettrizzati o nelle correnti, mentre il secondo (delle azioni contigue) nel mezzo.

Quelle che Maxwell indicava come le equazioni generali del campo erano formate da un gruppo di venti relazioni tra venti variabili e permettevano di esprimere l'energia del campo in funzione di tali variabili. Considerando la versione sintetica delle quattro equazioni che oggi sono chiamate equazioni di Maxwell, possono essere rappresentate (Bordoni (1995)) in due gruppi:

a) le prime due legate al modello delle azioni a distanza:

$$\iiint\left(\frac{1}{2}A\cdot c\right)dv$$

Rappresenta **l'Energia elettrocinetica**, collocata nella **corrente**

(A = potenziale vettore, c = corrente)

$$\iiint\left(\frac{1}{2}q\cdot\varphi\right)dv$$

Rappresenta **l'Energia elettrostatica**, collocata nella **carica elettrica**

(q = carica, φ = potenziale elettrostatico

b) le seconde due legate al modello delle azioni contigue

$$\iiint\left(\frac{1}{2}\mu \cdot H^2\right)dv$$

Rappresenta **l'Energia magnetica**, collocata nel **mezzo**

(H = secondo Maxwell è la forza magnetica, o campo inducente, μ = permeabilità magnetica)

$$\iiint\left(\frac{1}{2}\varepsilon \cdot E^2\right)dv$$

Rappresenta **l'Energia elettrica**, collocata nel **mezzo**

(E = campo elettrico inducente ε = proprietà elastica del mezzo, l'etere)

(Nota: secondo Maxwell H è il campo inducente, mentre B è il campo indotto)

Maxwell dimostra che le prime due equazioni sono uguali matematicamente alle seconde (possono essere trasformate le une nelle altre), però il significato è concettualmente diverso. Egli considera l'energia localizzata e immersa nella materia ("non esiste materia senza energia, né energia senza materia"), per questo considera superiore il secondo approccio che colloca l'energia nel mezzo. Questa doppia visione dell'energia percorre tutto il trattato, anche quando costruisce la Lagrangiana e tenta l'interpretazione dinamica delle equazioni.

La concezione delle linee di forza in Faraday e Maxwell

Nell'introduzione "A Treatise on Electricity and Magnetism" Maxwell afferma che "*Faraday , in his mind's eye, saw lines of force traversing all space where the mathematicians saw centers of force attracting at a distance: Faraday saw a medium where they saw nothing but distance ...* (Maxwell (1954), pag.ix).

C'è da considerare che da un lato Maxwell, in base agli studi di Faraday, sviluppa l'innovativo formalismo matematico che descrive l'elettricità, il magnetismo e la teoria dinamica del campo elettromagnetico, dall'altro lato i due grandi scienziati divergono rispetto alla visione newtoniana (meccanica) di Maxwell delle linee di forza, e l'intuitiva comprensione di Faraday delle forze energetiche e non materiali, in base a risultati sperimentali . Infatti Maxwell cercava di formalizzare un sistema newtoniano "*of dynamic, ponderable matter*", mentre gli esperimenti di Faraday dimostrano la scoperta di forze non meccaniche e energia radiante. Il problema viene evidenziato da Maxwell in una lettera del 9 novembre 1857 (Maxwell (1957)) nella quale critica l'uso non scientifico (non-newtoniano) di faraday del termine "forza":

> "Now first I am sorry that we do not keep our words for distinct things more distinct and speak of the 'Conservation of Work or of Energy' as applied to the relations between the amount of 'vis viva' [mechanical work] and of 'tension' in the world; and of the 'Duality of Force' as referring to the equality of action and reaction. Energy is the power a thing has of doing work arising either from its own motion or from the 'tension' subsisting between it and other things.

Force is the tendency of a body to pass from one place to another and depends upon the amount of change of 'tension' which that passage would produce.

Now as far as I know you are the first person in whom the idea of bodies acting at a distance by throwing the surrounding medium into a state of constraint has arisen, as a principle to be actually believed in. We have had streams of hooks and eyes flying around magnets, and even pictures of them so beset, **but nothing is clearer than your descriptions of all sources of force keeping up a state of energy in all that surrounds them, which state by its increase or diminution measures the work done by any change in the system.** You seem to see the lines of force curving round obstacles and driving plumb at conductors and swerving towards certain directions in crystals, and carrying with them everywhere the same amount of attractive power spread wider or denser as the lines widen or contract.

You have also seen that the great mystery is not how like bodies repel and unlike attract but how like bodies attract (by gravitation). But if you can get over that difficulty, either by making gravity the residual of the two electricities or by simply admitting it, then your lines of force can 'weave a web across the sky' and lead the stars in their courses without any necessarily immediate connection with the objects of their attraction.

The lines of Force from the Sun spread out from him and when they come near a planet *curve out from it* so that every planet diverts a number depending on its mass from their course and substitutes a system of its own so as to become something like a comet, *if lines of force were visible.*

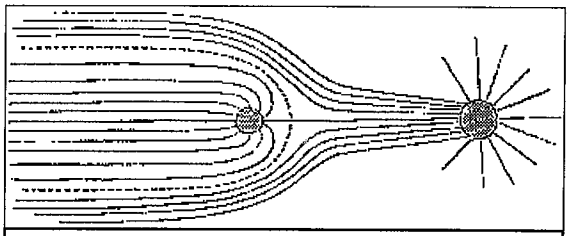


Figura 13: linee di forza gravitazionale tra il sole e un pianeta, disegnate da Maxwell [lettera del 1857, citata in Williams (1971)]

Now conceive every one of these lines (which never interfere but proceed from sun & planet to infinity) to have a *pushing* force, instead of a *pulling* one and then sun and planet will be pushed together with a force which comes out as it ought proportional to the product of the masses & the inverse square of the distance. (*Maxwell's letter of 9 November 1857,* citato in Williams (1971)).

"Maxwell comunque riconosceva a Faraday il merito di avere per la prima volta pensato che l'azione tra corpi separati fosse interpretabile mediante uno stato di tensione o di sforzo del mezzo circostante i due corpi in questione. Ciò doveva valere anche per la gravitazione, e Maxwell in questa lettera, aveva tracciato un disegno delle linee di forza gravitazionale tra il sole e un pianeta (come si può osservare nella figura 13). Nel trattato quelle linee tornavano in forma più elegante" (Bellone (1990)). Nel capitolo VII del primo volume disegna le linee di forza e le superfici equipotenziali nel caso di due punti A e B caricati con carica dello stesso segno e in proporzione di 4 a 1 (vedi fig. 14). Dopo alcune considerazioni del diagramma in figura, Maxwell scriveva: "Si può assumere questo diagramma anche per

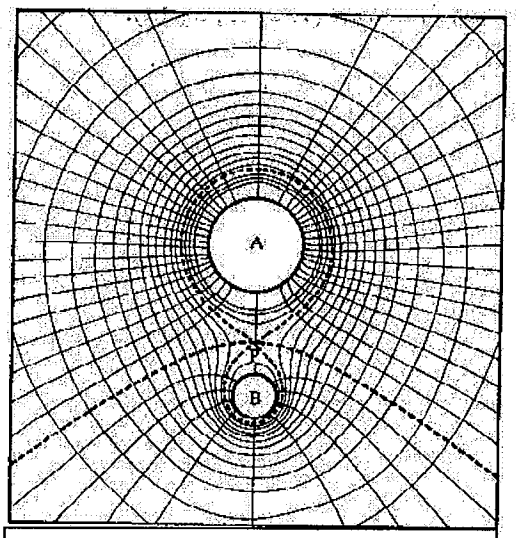


Figura 14: Linee di forza e superfici equipotenziali tracciate da Maxwell [Bellone (1990)]

rappresentare le linee di forza e le superfici equipotenziali appartenenti a due sfere di materia soggetta a gravitazione, le cui masse stiano nel rapporto di 4 a 1." (Maxwell 1973, citato da Bellone (1990)).

Le linee sono intese come linee di forza, non di campo:

"Now the mode of looking at Nature which belongs to those who can see the **lines of force** deals very little with **'resultant forces'** but with a network of lines of action of which these are the final results. So that I for my part cannot realise your dissatisfaction with the law of gravitation provided you conceive it according to your own principles. It may seem very different when stated by the believers in 'forces at a distance' but there can be only differences in form and conception not in quantity or mechanical effect between them and those who trace force by its lines." (*Maxwell's letter of 9 November 1857,* citato in Williams (1971)).

Faraday risponde a Maxwell dicendogli che la sua concezione di forza è più ampia, legata all'idea di energia, e non si riduce alla concezione classica newtoniana di forza meccanica (intesa come "tendenza di un corpo di passare da una posizione ad un'altra":

> "Your letter is to me the first intercommunication on the subject with one of your mode and habit of thinking. [...] I perceive that I do not **use the word 'force'** as you define it, 'the tendency of a body to pass from one place to another.' **What I mean by the word is the source or sources of all possible actions of the particles or materials of the universe,** these being often called the powers of nature when spoken of in respect of the different manners in which their effects are shown." (Jones (1870), *pag 385-386*)

A.T. Williams evidenzia l'importanza di questa concezione di Faraday di forza non materiale: "*As we enter the 21st century CE, Faraday's novel concept of nonmaterial "force" can unambiguously be described and understood as the non-Newtonian, nonmechanical, nonmaterial physical energy which is the fundamental, irreducible foundation not only of the four fundamental forces presently acknowledged by contemporary physics, but also of particulate matter itself.*"

Riguardo all'aspetto polare e dipolare dei campi, quindi come abbiamo visto già nelle discussioni di Maxwell e Faraday, veniva menzionato l'aspetto dipolare del campo magnetico, però per molti anni si trattò il magnetismo in termini polari, descrivendolo tramite una forza Colombiana, in analogia al caso elettrico: $F = k\, m_1 m_2 / r^2$, con m_i masse magnetiche monopolari, si veda il Perrucca (Perrucca (1963), pag. 458). Il vero passaggio da una visione in termini monopolari a una in termini bipolare fu formalmente possibile solo grazie agli strumenti differenziali, che permisero inoltre di determinare la forza di interazione tra un magnete e un dipolo: $\mathbf{F} = -\nabla(\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B})$.

Gli altri scienziati (Neumann, Helmotz, Weber, Thomson , Hertz, Lorentz)

Hertz nell'articolo *Electric Waves* del 1893 riassume **quattro differenti modelli esplicativi per l'elettromagnetismo**, che portarono dalla visione di Coulomb a quella di Maxwell. "*Quando vediamo dei corpi agire uno sull'altro a distanza, possiamo formarci diverse concezioni sulla natura di questa azione. Possiamo ritenere che sia l'effetto di un'azione a distanza diretta, irradiantesi attraverso lo spazio, o possiamo considerarla come la conseguenza di un'azione che si propaga da punto a punto in un mezzo ipotetico.*" (Hertz (1962)).

Identifica quattro modelli:

a) Azione a distanza

Richiama il concetto di forza a distanza di Coulomb, intesa come relazione tra A e B: "*Il primo punto di vista considera l'attrazione tra due corpi come una specie di affinità spirituale tra di essi. La forza che ciascuno dei due esercita è legata alla presenza dell'altro corpo. Affinché questa forza si manifesti devono essere presenti almeno due corpi. [...] Questo è il concetto puro di azione-a-distanza, il concetto della legge di Coulomb.*"

b) Teoria del potenziale

In questo modello (Fig. 15) è ancora presente l'azione a distanza, ma si parla di un corpo che "emana forze" nello spazio circostante. Il mezzo non ha un ruolo importante, infatti se togliessimo una parte B del dielettrico (come indicato in figura 15), non cambierebbe nulla, il campo elettrico agirebbe lo stesso.

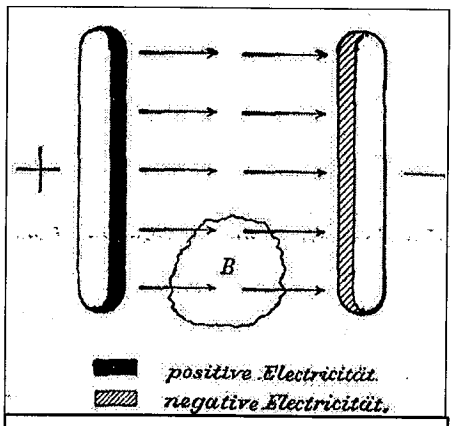


Figura 15: Modello del potenziale [tratta da Hertz (1962)]

Hertz definisce così questo modello: "*Il secondo punto di vista considera l'attrazione dei corpi ancora come una specie d'influenza spirituale dell'uno sull'altro. Ma ... si suppone anche che ciascuno dei corpi agenti tenda a eccitare su tutti i punti circostanti attrazioni di grandezza e direzione definite, anche se non vi sono corpi simili nelle vicinanze. (...) il corpo agente è ancora sia la sede che la sorgente della forza.*"

c) Teoria di Helmholtz

La Teoria di Helmholtz si divide in due modelli che segnano la transizione da una concezione di azione a distanza a una concezione in cui il mezzo assume un ruolo sempre più importante e determinante:

c.1) In un primo modello (Fig. 16) l'azione tra due corpi dipende sia da un aspetto interno, una forza a distanza, sia da un aspetto esterno, ossia il mezzo che si polarizza. Dunque l'interazione tra due corpi dipende da una sovrapposizione di una forza a distanza e delle forze di polarizzazione: "*Si suppone piuttosto che le forze inducano cambiamenti nello spazio (supposto non vuoto), e che questi ancora diano luogo ad altre forze a distanza. L'attrazione tra due corpi distanti dipende, quindi, in parte dalla loro azione diretta, in parte dall'influenza dei cambiamenti del mezzo. Il cambiamento nel mezzo in sé è considerato una polarizzazione elettrica o magnetica delle sue parti più piccole ...*"

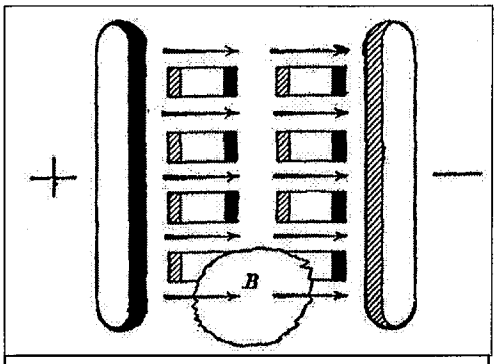


Figura 16: primo modello di Helmholtz [tratta da Hertz (1962)]

c.2) Nel secondo modello (Fig. 17) invece il ruolo del mezzo diventa sempre più determinante, l'energia è in gran parte nel mezzo (le forze a distanza risultano "infinitamente piccole"), infatti se togliessimo una parte B del dielettrico (come indicato in figura 17) l'azione del campo elettrico sarebbe minima in quella zona: "*Possiamo aumentare quella parte dell'energia totale che risiede nei corpi elettrificati a scapito di quella parte che poniamo nel mezzo, e viceversa. Ora, nel caso limite, noi poniamo tutta l'energia nel mezzo. (...) le forze a distanza devono diventare infinitamente piccole. Ma per questo è condizione necessaria che non sia presente nessuna elettricità libera. L'elettricità deve comportarsi come un fluido incomprimibile. E quindi abbiamo solo correnti chiuse ...*"

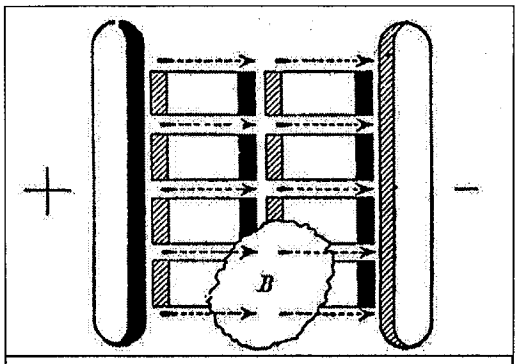


Figura 17: secondo modello di Helmholtz [tratta da Hertz (1962)]

d) Modello di Maxwell

Nella concezione di Maxwell (Fig. 18) l'azione a distanza scompare, nel dielettrico c'è tutta l'energia, infatti se togliessimo una parte B del dielettrico (come indicato in figura 18) allora il campo elettrico in quella zona sarebbe nullo. Ossia, se non c'è il mezzo il campo è nullo: "*Il quarto punto di vista corrisponde al concetto puro di azione attraverso un mezzo. [...]. Ma non ammette che tali*

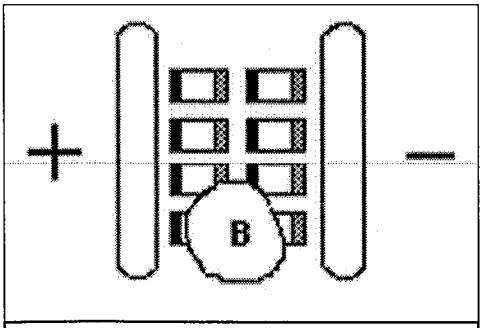


Figura 18: modello di Maxwell [tratta da Hertz (1962)]

polarizzazioni siano il risultato di forze a distanza; di fatto nega completamente l'esistenza di queste forze a distanza e abolisce le elettricità dalle quali si supponeva che queste forze fossero prodotte. Ora piuttosto si considerano le polarizzazioni come le sole cose che sono realmente presenti; ..."

La fisica di Newmann, Helmholtz e Weber era fortemente radicata nell'azione a distanza.
Franz Neumann (1798-1895) osservò come fosse possibile presupporre una sola fonte alla base dell'induzione e delle leggi elettrodinamiche e ragionare in termini di potenziale. **Helmholtz**, invece, operò tentativi in riferimento alle leggi di Ampère e al principio di conservazione delle forze. Questi due sviluppi si verificarono sul finire del quinto decennio dell'Ottocento, e la loro dinamica storica è correlata al lavoro del loro contemporaneo **Wilhelm Weber** (1804-1891), secondo il quale bisognava in base ai risultati sia teorici che sperimentali di Faraday, Gauss, Neumann, H. Friederich Emil Lenz, ampliare la ricerca nel campo dell'elettrodinamica e definire con maggior precisione le azioni elettromagnetiche e elettrodinamiche. Weber nel tentativo di determinare una causa comune della complessa fenomenologia "galvanica" ed elettrodinamica suggeriva di ricondurre la fenomenologia a forze agenti tra cariche elettriche in stato di moto, facendo dipendere le forze dalle cariche, dalle velocità e dalle distanze.

G. Stokes (1819-1903), costruì delle importanti teorie matematiche sull'idrodinamica e formalizzò le caratteristiche fisiche matematiche del mezzo capace di trasportare i segnali luminosi nello spazio, ossia le "vibrazioni" della luce; l'etere risultava quindi assimilabile, dal punto di vista matematico, a un peculiare solido elastico.
Il ben noto teorema di Stokes[8] rese possibile un'interpretazione della rappresentazione delle linee di campo in termini di flusso e circuitazione. Infatti se un campo ha divergenza nulla in ogni punto dello spazio, allora il flusso del campo attraverso una qualsiasi superficie chiusa è sempre nullo, e viceversa.

William Thomson invece, in base alle teorie matematiche si Stokes, mostrò che le "forze elettriche" e le "forze magnetiche" erano riconducibili a potenziali causati rispettivamente da un'"unità di elettricità" e da un "piccolo magnete", dove il caso magnetico coinvolgeva rotazioni infinitamente piccole del solido elastico. Il grande apporto di Thomson fu proprio l'aver formalizzato l'idea secondo cui un'azione elettrica si trasmette in un continuo, e cioè la tesi centrale della nuova fisica di Faraday, quest'idea verrà poi ripresta da Maxwell.

G) Dopo Maxwell fino ad A. Einstein e le moderne teoria dei campo

La conferma della teoria di Maxwell venne dagli esperimenti di Hertz, che permisero di evidenziare direttamente la propagazione delle onde elettromagnetiche.

Lorentz proviene invece dalla scuola tedesca delle azioni a distanza (Helmholtz) e realizza una sintesi delle teorie di Maxwell e quelle di Helmholtz, unendo alle quattro equazioni di Maxwell la quinta ($\mathbf{F} = q\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}$) relativa alle forze esercitate dai campi sulle particelle. Egli distingue i campi nell'etere dalle forze esercitate sulle particelle, ossia vi è il passaggio dalle sorgenti ai campi: i campi generati dalle sorgenti sono in grado di esercitare una forza sulle particelle cariche. Lorentz, infine, descrisse l'interazione tra campi e materia, separando completamente i concetti di etere e materia, fondando una teoria che sviluppava una fisica universale basata sull'elettromagnetismo.

Poynting ha una visione più ampia dell'energia, che non è più legata alla materia, ma acquista una sua autonomia: "l'energia elettromagnetica richiede tempo per propagarsi e acquista un significato autonomo e indipendente dal e anteposto al meccanismo dell'etere materiale." (Bevilacqua, 1994). Poynting reinterpreta i risultati di Maxwell, considerando il mezzo come il luogo dove le energie sono trasferite: egli riprende le linee di forza di Faraday, ma elabora un modello dei tubi di forza: vuole associare il flusso elettrico a qualcosa di concreto, a un supporto materiale (i tubi di forza appunto) a cui è associata la propagazione dell'energia. "Poyting raggiunse un meraviglioso perfezionamento della teoria di Maxwell, spostando definitamene la priorità dalle cariche e correnti alle intensità elettriche e magnetiche. Egli attribuì importanza al flusso di energia e trovò che questo flusso di energia è proporzionale a ExB" (Bevilacqua, 1994).

H) Modello di campo di Einstein e le moderne teorie di campo

E' con Albert Einstein che il campo assume una sua realtà fisica: l'etere viene eliminato (egli afferma che "l'immobilità è l'unica proprietà rimasta all'etere di Lorentz"), il supporto del campo diventa lo spazio-tempo, la realtà fisica è lo spazio-tempo.

Einstein in particolare individua un'asimmetria elettromagnetica nel fenomeno dell'induzione elettromagnetica, distinguendo due casi:

a) il magnete in quiete e il circuito in movimento
b) il magnete in movimento e il circuito in quiete

---

[8] *Il Teorema di Stokes* afferma che il flusso del rotore di H attraverso una superficie chiusa S è uguale alla circuitazione del vettore H lungo il contorno di tale superficie ∂S: $\Phi_S(rotH) = \int_S rotH \cdot dS = \int_{\partial S} H \cdot d\gamma$

nel primo caso si genera una forza (Forza di Lorentz), nel secondo caso invece non c'è una forza, ma il magnete in moto genera un campo magnetico variabile, il cui flusso non è costante, per cui si crea una forze elettromotrice indotta f.e.m. = - $d\Phi_B$ / dt.

Rispetto alla luce il processo di irradiazione contigua della teoria di Maxwell è in conflitto con la teoria dei quanti di Einstein. Egli individua una simmetria tra la materia (atomo divisibile) e la radiazione elettromagnetica (che anch'essa non è un continuum), mentre rileva un'asimmetria tra il campo gravitazionale e quello elettromagnetico, essendo il primo intrinsecamente connesso alla struttura dello spazio (il campo gravitazionale è la curvatura dello spazio), il secondo è invece un'aggiunta allo spazio-tempo.

Con l'eliminazione dell'etere e la scoperta della natura quantistica del campo elettromagnetico (Einstein, 1905) si ha il passaggio dalla fisica classica a quella moderna, basata sulla teoria quantistica, giungendo alla moderna concezione del campo. La teoria dei campi ha portato ad una ridefinizione sia del modello fisico, sia dei significati e del ruolo attribuito al campo, evidenziando anche la necessità di costruire una visione unitaria dei campi.

Alcuni riferimenti storici:

Riguardo alla distinzione tra i campi centrali (monopolari) e i campi non centrali (dipolari) e alla loro rappresentazione tramite linee di campo che, come abbiamo visto, in un caso sono linee di forza, mentre nell'altro sono linee di momento, diversi fisici hanno messo in rilievo l'azione dipolare del campo magnetico o l'effetto rotatorio (momento) che genera su un magnete esploratore.

Faraday non distingueva tra linee di campo o di forza (come ancora oggi diversi testi sia universitari che della scuola secondaria superiore), chiamandole semplicemente linee di forza, però nelle discussioni che aveva con Maxwell questi menziona la distinzione di un'azione dipolare: ***"The difference between this case and that of the dipolar forces is,*** *that instead of each body catching the lines of force from the rest all the lines keep as clear of other bodies as they can and go off to the infinite sphere against which I have supposed them to push. Here then we have conservation of energy (actual & potential) as every student of dynamics learns, and besides this we have conservation of 'lines of force' as to their number and total strength for "every" body always sends out a number proportional to its own mass, and the pushing effect of each is the same. All that is altered when bodies approach is the "direction" in which these lines push. When the bodies are distant the distribution of lines near each is little disturbed. When they approach, the lines march round from between them, and come to push behind each so that their resultant action is to bring the bodies together with a resultant force increasing as they approach. "(Maxwell's letter of 9 November 1857,* citato in Williams (1971)).

Anche Thomson considera la rotazione come "caratteristica della forza magnetica": *"On a mechanical representation of electric, magnetic, and galvanic forces, Thomson considered states* ***of linear and rotational strain*** *in an elastic solid, showing that their distributions in space would be analogous respectively to distributions of electric force (for the case of a point charge) and magnetic force (for the cases of magnetic dipoles and electric currents). Once again the basic thrust* ***was analogical****, but one again there was an undercurrent of physical significance.* ***This was evident in the choice of a rotational mechanical strain to represent magnetic force****, in consonance with Faraday's finding that the magnetic action on light was rotary in character."* (Cantor & Hodge (1981)). Come sottolinea anche Bellone (1990): *"****William Thomson*** *invece, in base alle teorie matematiche si Stokes, mostrò che le "forze elettriche" e le "forze magnetiche" erano riconducibili a potenziali causati rispettivamente da un'"unità di elettricità" e da un "piccolo magnete",* ***dove il caso magnetico coinvolgeva rotazioni infinitamente piccole del solido elastico"****.*

Tra i nodi disciplinari ce n'è uno che è stato affrontato anche storicamente e riguarda la rappresentazione del campo, Feyman stesso si interroga sul ruolo delle linee di campo, convenendo però che esse possono dare soltanto un approccio qualitativo, ma non quantitativo:
"molti fisici erano soliti dire che un'azione diretta senza nulla come intermediario era inconcepibile. Qual'è la maniera più comoda di considerare gli effetti elettrici? Alcuni preferiscono rappresentarli come interazioni a distanza di cariche, usando una legge complicata. Altri sono affezionati alle linee di campo[...], sembrando loro che descrivere i vettori E e B sia troppo astratto. Le linee di campo, tuttavia, sono soltanto un modo grossolano di descrivere il campo ed è molto difficile dare le leggi quantitative corrette direttamente per mezzo delle linee di campo." (Feyman (1969)).

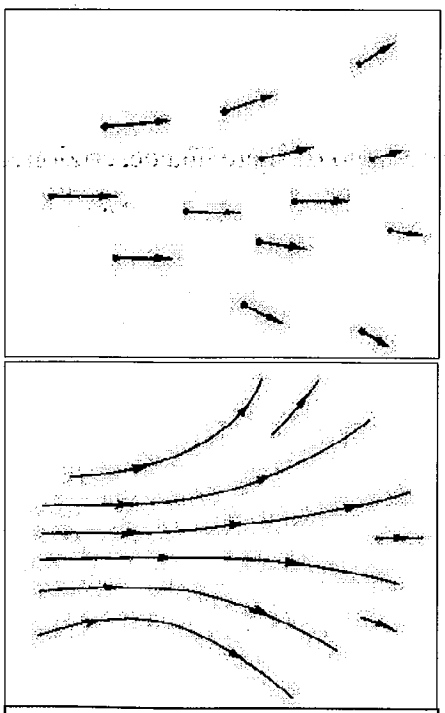


Figura 1a e 1b: i due modi di rappresentare il campo secondo Feyman [tratte da Feyman 1969]

Feyman afferma che un campo vettoriale può esser rappresentato o *"tracciando un sistema di frecce le cui grandezze e direzioni indicano i valori del campo vettoriale nei punti dai quali le frecce sono spiccate"* (Fig.1a), oppure *"tracciando delle linee che sono tangenti alla direzione del campo vettoriale in ogni punto e prendendo la densità di queste linee proporzionale al modulo del campo"* (Fig. 1b). In questo modo attraverso le linee di campo, è possibile dare una descrizione del campo non solo qualitativa ma anche quantitativa.

1.3 Le linee e i tubi di flusso

In questo paragrafo illustriamo alcuni brevi chiarimenti in merito alle linee di campo[9] e ai tubi di flusso[10].

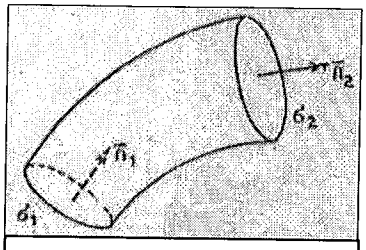


Figura 28: Un tubo di flusso (Graffi (1972))

In fluidodinamica il flusso uscente da una superficie chiusa S nel campo di una corrente fluida rappresenta il volume complessivo di fluido uscente dalla superficie nell'unità di tempo, cioè la somma algebrica dei volumi che escono e che entrano. Se si tratta di un fluido incompressibili, tale flusso può essere diverso da zero soltanto nel caso che all'interno della superficie considerata si trovino delle sorgenti positive o negative, che emettono o "ingurgitano" fluido. Quindi il flusso lungo un tubo di corrente di un fluido incompressibile dove non vi sono sorgenti è costante attraverso tutte le sezioni (Ristagni(1957)).

Quindi se un campo non ha sorgenti né pozzi (come il caso magnetico) allora il flusso che attraversa un tubo è costante; questo può essere utilizzato come chiave interpretativa delle proprietà e distribuzione del campo (ossia di come varia l'intensità del vettore campo, per esempio lungo una linea di campo).

Nel campo gravitazionale esistono sorgenti di un solo segno: i flussi si mantengono sempre all'infinito. Nei campi elettrici e magnetici le condizioni sono analoghe a quelle delle correnti fluide: vi sono sorgenti di due segni, ma ci sono delle differenze sostanziali tra i due campi.

Il flusso del campo elettrico e magnetico:

Si può ottenere una descrizione visiva del flusso del campo elettrico e di quello magnetico usando le linee di campo. Con la convenzione sopra menzionata (si veda fig. 19b) il modulo del vettore E o B può esser considerato come una misura del numero delle linee di campo riferito all'unità di area in un punto arbitrario, mentre la direzione e il verso (l'orientamento) del vettore di campo indicano la direzione e il verso in cui fluiscono le linee di campo. Talvolta si dice che il flusso Φ del vettore del campo attraverso la superficie S è il numero di linee di campo che attraversano S, ma secondo diversi autori (Olenick (1989)) questa terminologia è destinata soltanto a comunicare informazioni qualitative, mentre secondo altri è possibile ottenere informazioni quantitative (Rostagni (1957)) dividendo il campo in *tubi di flusso unitario*(Φ =1) e tracciando una linea di flusso per ogni tubo

---

[9] Dato un campo vettoriale H, si definisce "*linea di flusso* o *linea di campo* viene chiamata nei campi vettoriali una linea che ha per tangente in ogni suo punto il vettore H del campo in quel punto" (Ristagni (1957).
Si definisce flusso del campo H attraverso una superficie limitata: $\Phi_S(H) = \int_S d\Phi = \int_S H \cdot dS$

[10] Un tubo di flusso in un campo vettoriale viene definito (Graffi (1972)) come "l'insieme delle linee del vettore che passano attraverso una curva chiusa che non coincide con nessuna delle suddette linee". Se la curva è piana e racchiude un'area infinitesima il tubo di flusso si dice elementare; una linea del vettore racchiusa dentro il tubo elementare o meglio la linea passante per il baricentro (il vettore n_1 e n_2 nella Fig. 28) di quell'area si dirà asse del tubo.

unitario nella rappresentazione grafica. In questo secondo caso il numero di linee per unità di sezione ortogonale fornisce direttamente il valore del vettore H, mentre il numero complessivo di linee che attraversa la superficie S fornisce il flusso attraverso essa.

Il Teorema di Gauss stabilisce che per il campo elettrico (o analogamente per un campo qualunque che sia centrale) il flusso attraverso una superficie S è direttamente proporzionale alla carica totale racchiusa nella superficie S.

$$\Phi_S(E) = \int_S E \cdot dS = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Le cariche positive sono dette sorgenti, poiché le linee di campo si irraggiano da esse, mentre quelle negative sono dette pozzi, poiché le linee di campo convergono in esse.
Nel caso dei campi magnetici, invece, le linee di campo sono sempre chiuse, infatti in questo caso non esistono né pozzi né sorgenti. Il teorema di Gauss per il magnetismo stabilisce che il flusso magnetico attraverso una superficie chiusa è sempre nullo:

$$\Phi_S(B) = \int_S B \cdot dS = 0$$

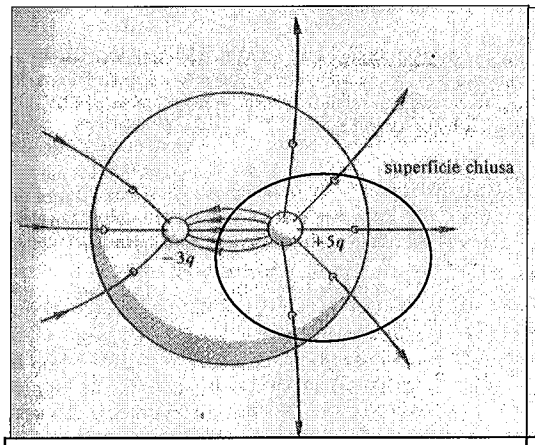


Figura 27: Il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa può essere diverso da zero se la superficie racchiude una carica totale non nulla.

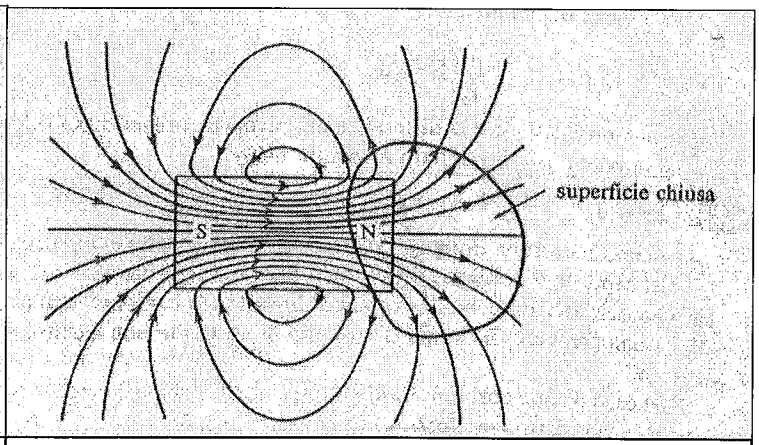


Figura 28: Il flusso del campo magnetico attraverso una superficie è sempre nullo, sia che la superficie racchiuda tutta la sorgente (in questo caso il magnete) oppure una parte come indicato in figura (figure tratte da Olenick (1989)).

"Si dimostra che **se il campo è solenoidale**[11] **allora il flusso attraverso qualunque sezione del tubo è identico, ossia il flusso si conserva lungo il tubo di flusso.**

Semplice conseguenza di questo risultato è che in un campo solenoidale un tubo di flusso non può convergere in un punto del dominio, un tubo dovrà quindi iniziare o terminare al contorno del dominio in cui è definito il campo vettoriale, o all'infinito se il dominio è illimitato, oppure potrà essere chiuso su se stesso" (Graffi (1972), pag 45).

In altri termini, in un campo solenoidale, una linea di campo non può interrompersi in un tubo di flusso, ma tutte le linee che entrano anche escono.

Dato un campo vettoriale H, quindi valgono le seguenti relazioni attraverso ogni superficie chiusa S:

$$\text{H è solenoidale} \iff \underset{\text{per ogni punto dello spazio}}{\nabla \cdot \mathrm{H} = 0} \iff \underset{\text{per ogni superficie chiusa S}}{\Phi_S(H) = 0} \iff \text{non separabilità delle sorgenti}$$

[11] Un campo H si dice **solenoidale** se per ogni punto del dominio si ha che la divergenza di H è nulla (*divH*=0 dove $divH = \nabla \cdot H = \frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} + \frac{\partial H_z}{\partial z}$ Si dimostra (Ristagni (1957)) che H è solenoidale se e solo se esiste un vettore v tale che **H** = rot **v**.

CAPITOLO 2

Rassegna ricerche sui problemi di apprendimento associati al concetto di campo.

"Nella ricerca in didattica della fisica è universalmente riconosciuta l'importanza del concetto di campo per una descrizione unificata dei fenomeni fisici e per un'organizzazione cognitiva di vari settori della fisica (meccanica, elettromagnetismo,...)[1].

2.1 Introduzione

Una vasta letteratura ha messo in luce i problemi di apprendimento legati al concetto di campo, o ai vari tipi di campo, a partire dalla scuola primaria fino all'università (Viennot & Rainson (1992) (1999), Tornkwist et al. (1993), Galili, (1995), Borges & Gilbert (1998), Galili (2001), Furio et al. (2001), (1999), Maloney et al. (2001), Guisasola et al. (2003), (2004)). Difficoltà emergono in diversi aspetti: l'identificazione delle sorgenti del campo, la distinzione tra il campo e la forza, la sovrapposizione di campi e l'interpretazione delle formule matematiche, la rappresentazione del campo[2] (le linee di campo vengono *oggettualizzate*, ossia intese come delle linee "fisiche oggettuali" dove "fluisce" il campo, oppure vengono identificate con le traiettorie di un mobile che risente del campo in gioco); inoltre frequentemente vengono confusi e/ o associati tra loro i vari tipi di campo, quello elettrico e/o gravitazionale con quello magnetico.

In questo capitolo presentiamo un'analisi sui problemi di apprendimento del concetto di campo, limitata ai campi classici e stazionari; abbiamo raggruppato le ricerche in base ai problemi rilevati e/o affrontati, riassumendo inizialmente i principali risultati di ogni gruppo, e fornendo in seguito alcuni dettagli sulle singole ricerche.

---

1 M. Vicentini Report Durban (2004).

[2] Il campo è spesso inteso (soprattutto nei bambini) come una proprietà di una regione finita di spazio, che richiede la presenza di un mezzo (generalmente l'aria) per la trasmissione dell'interazione.

2.2 Rappresentazioni grafiche del campo e il ruolo delle linee di campo.

Le prime ricerche sulla rappresentazione grafica del campo attraverso le linee di campo riguardano il campo elettrico; in seguito sono stati fatti degli studi sia sul campo magnetico che elettrico, ma non ci sono dei lavori che riguardano le rappresentazioni di tutti i tre i campi.

Per questo abbiamo suddiviso il seguente paragrafo in due sottoparagrafi, nel primo tratteremo le ricerche riguardanti il campo elettrico e/o magnetico, il secondo riguardo quello gravitazionale.

2.2.1 La rappresentazione grafica dei campi elettrico e magnetico

(Galili (1995), Torknwist et al. (1993), Greca & Moreira (1997[3]), Guisasola et al. (2003), Herrmann et al. (2000))

Negli anni '90 diverse ricerche mettono in evidenza alcuni problemi d'apprendimento legati alle rappresentazioni del campo attraverso le linee di campo (Galili (1995), Torknwist et al. (1993)):

- L'interpretazione del campo attraverso le linee di campo
- *L'oggettalizzazione* delle linee di campo
- La difficoltà a riconoscere e integrare diverse rappresentazioni del campo (linee di campo, superfici equipotenziali,...)
- L'identificazione della traiettoria di una particella (oggetto) con la linea di campo (previsione comune è che la traiettoria di una particella, inserita in un campo con velocità iniziale nulla o diversa da zero, coincida sempre con le linee di campo)

Le ricerche di Torknwist et al. (1993) e Galili (1995) hanno un ruolo fondamentale essendo alcune delle prime a evidenziare i problemi di apprendimento relazionati alla rappresentazione grafica del campo attraverso le linee di campo (figura 1), in particolare la loro identificazione con le traiettorie. Tuttavia, pur cercando di distinguere la forza dal campo, la prima propone soltanto il caso del campo elettrico, in cui la direzione dei due vettori coincide, mentre la seconda propone anche il caso del campo magnetico ma in entrambe manca un'analisi disciplinare sui contenuti e in particolar modo sulle differenze dei due campi (magnetico ed elettrico). Nella prima ricerca (Torknwist et al. (1993)) per esempio nell'introduzione si parla in generale di concetti di "forza" e di "campo di forza", ma non viene discussa dal punto di vista disciplinare la differenza tra i

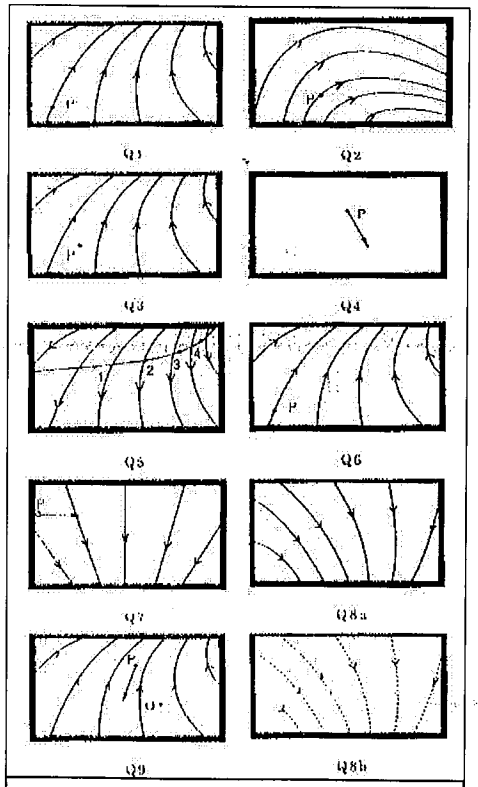


Figura 1: alcuni esempi dei diagrammi relativi ai quesiti (direzione del campo in un punto della linea, direzione della forza, distinzione traiettorie e linee di campo, ...) sulla rappresentazione delle linee di campo proposti nella ricerca di Torknwist (Torknwist et al. (1993))

[3] Questo articolo verrà analizzato in dettaglio nel paragrafo 4.2.

campi polari e dipolari (non tutti i campi sono campi di forza).

Per quanto riguarda la rappresentazione delle linee di campo, in entrambe le ricerche (domanda Q6 della prima, "*disegna una traiettoria di una particella posta nel punto P con velocità iniziale zero*" [figura 2], e domanda 1 della seconda, [figura 1]) il confronto proposto è tra la traiettoria e la linea di campo: globalmente quasi l'80% (76% nella prima ricerca, 70-80% nella seconda) degli studenti identificano le linee di campo con le traiettorie.

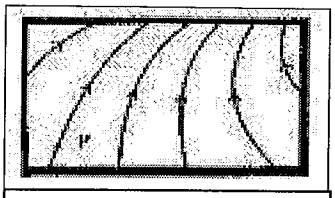


Figura 2: il diagramma relativo alla domanda Q6 sulla distinzione tra le linee di campo e le traiettorie (Torknwist et al. (1993)).

Nelle ricerche di Guisasola (Guisasola et al. (2003)) viene considerato anche il caso del campo magnetico e oltre a evidenziare l'identificazione tra le linee di campo, la forza e il movimento, viene anche identificata la tendenza degli studenti a considerare il modello delle linee di campo per interpretare i fenomeni magnetici: le linee di campo sono considerate come entità reali che "producono" l'interazione magnetica. Inoltre mette in evidenza la tendenza dei ragazzi a considerare le interazioni magnetiche come azioni di una forza centrale, e sottolinea l'importanza di distinguere l'azione centrale del campo elettrico da quella non centrale di quello magnetico. Pur tuttavia in nessuna di queste ricerche viene sottolineato il fatto che le linee di campo magnetico no sono linee di forza, né viene posta attenzione alla rotazione come effetto dell'interazione magnetica (si parla principalmente di attrazione e repulsione).

Proprio per questo aspetto riteniamo favorevole (si veda capitolo 3) considerare anche il caso del campo magnetico, in cui la forza non coincide con il campo, e quindi le linee di campo non sono linee di forza come nel caso elettrico (Guidoni (2004)), questo secondo noi favorisce la distinzione tra il campo e la forza. Infatti il considerare la traiettoria e la linea di campo (Torknwist et al. (1993)) oltre a introdurre le problematiche relative alle situazioni dinamiche (legate ai concetti di traiettoria, forza e velocità , rilevate dagli stessi autori non mette in luce il diverso comportamento nel caso di campo polari (che si comportano nello stesso modo rispetto alla distinzione tra traiettoria e linea di campo).

Per questo nel nostro approccio (si veda capitolo 3) abbiamo scelto di considerare piuttosto che la distinzione tra traiettoria e linee di campo quella tra direzione di partenza di un oggetto libero di muoversi e linee di campo; in questo caso il comportamento dei campi polari e dipolari è differente in quanto nel primo caso le due direzioni coincidono, mentre nel secondo caso no (come nel campo magnetico).

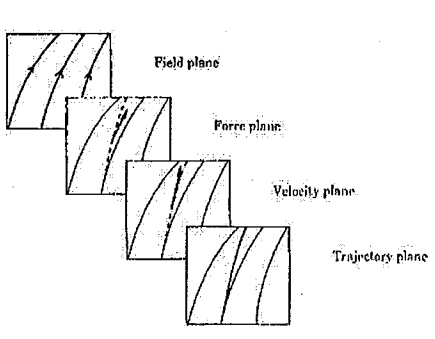


Fig. 5. Four isomorphic planes.

Figura 3: gli studenti evidenziano delle difficoltà nel relazionare i quattro piani della rappresentazione: il campo, la forza, la velocità e la traiettoria. tratta da (Torknwist et al. (1993)).

Dettagli sulle ricerche:

Torknwist, Pettersson, Transtromer (1993) "Confusion by representation: On student's comprehension of electric field concept" *Am. J. Phys.* 61(4), 335-338.

Obiettivi del lavoro: investigare sui modi di apprendere, comprendere e utilizzare il concetto di campo e le linee di campo da parte degli studenti.

Metodologia: esplorazione in produttiva con un test con 566 studenti del secondo anno di università; successive interviste a un terzo degli studenti.

Da questa ricerca emerge che gli studenti universitari invece di considerare le linee di campo in termini matematici (unicità e continuità), spesso attribuiscono loro realtà fisica, considerandole come "entità isolate in uno spazio euclideo, e non come un insieme di curve che rappresentano una proprietà vettoriale dello spazio". Inoltre non comprendono completamente la sequenza gerarchica tra i concetti (geometria della carica – linea di campo – vettore di forza – vettore velocità - traiettoria – vedere figura 3). Gli autori suggeriscono che questa "confusione derivante dalla rappresentazione" è la causa della ben note "misconceptions" degli studenti sulla forza, sottolineata da Viennot (1979) e Johansson (1981).

Riteniamo che questo potrebbe anche risultare dal fatto che spesso nei libri di testo scolastici (si veda figura 4) nello stesso grafico vengono rappresentate entità fisiche diverse quali il campo, la forza, le linee di campo, le traiettorie; nella figura 4 sono presentati degli esempi tratti da un libro di testo della scuola secondaria superiore in cui vengono rappresentati insieme i vettori della forza e del campo.

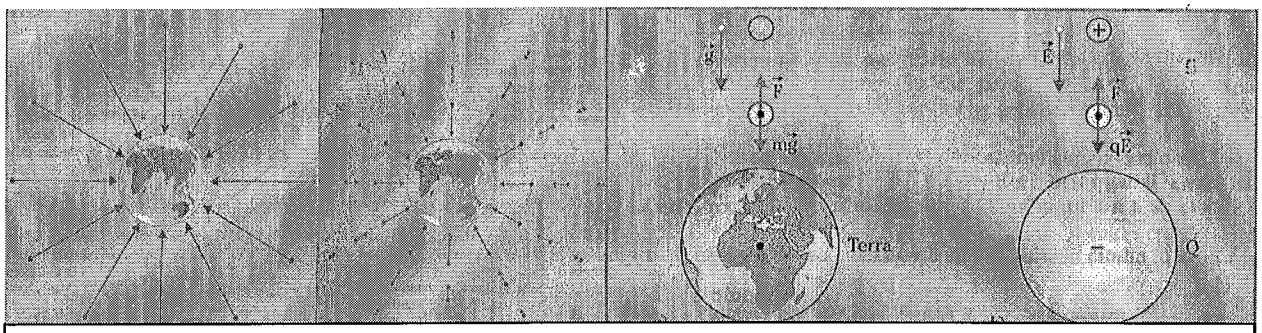


Figura 4: un esempio di rappresentazioni delle linee di campo (a sinistra) dell'intensità del campo gravitazionale (al centro) e del vettore forza e campo nella stessa figura nel caso gravitazionale ed elettrico (a destra), tratte da un libro di testo della scuola secondaria (Caforio e Ferilli (1999)).

I Galili, (1995) "Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism", *Int. J. Sc. Educ.* 17 (3) pag. 371-387

Obiettivi del lavoro: individuare problemi di apprendimento in e.m. che nascono da difficoltà in meccanica; far emergere quanto siano radicate le convinzioni sulla meccanica e illustrare l'importanza che queste hanno nell'influenzare l'apprendimento in altri settori.

L'ipotesi di questa ricerca è che l'esistenza di alcune interpretazioni errate degli studenti derivi dalla errata sovrapposizione (*mismatch*) delle metodologie applicate in meccanica e in e.m., così come esse sono usualmente pensate: meccanica – senza l'uso del concetto di campo;

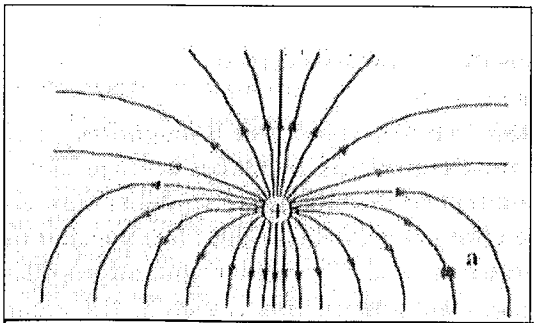


Figura 5: i ragazzi dovevano prevedere la traiettoria di una particella carica posta nel punto a e inizialmente ferma (Galili (1995)).

e.m. – con un uso estensivo del concetto di campo come concetto centrale in questo dominio.
La ricerca é stata condotta su un campione di 4 gruppi classe (ordinarie e di elite – 99 studenti di 16-18 anni) e un gruppo di insegnanti in formazione (28 studenti di 23-30 anni). É di tipo diagnostico effettuata con test carta e penna e domande qualitative *random* sui seguenti obiettivi: rilevare la confusione tra linee di campo e traiettorie (figura 5); studiare l'applicazione e l'applicabilità della III legge della dinamica a interazioni elettrostatiche e a interazioni magnetiche; correlazione tra lavoro e energia.

I risultati evidenziano che una larga parte degli studenti (70-80%) identifica le linea di campo con le traiettorie (figura 6).
Solo un terzo applica correttamente la terza legge al caso di cariche interagenti in situazioni non simmetriche.

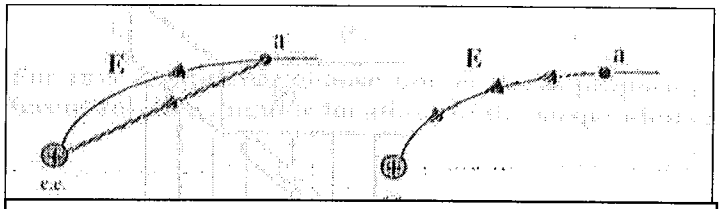


Figura 6: due concezioni degli studenti: a sinistra la traiettoria è diretta verso la carica in linea retta, a destra invece coincide con la linea di campo (tratto da Galili 1995)

Vi sono forti problemi a riconoscere l'origine dell'energia associata al campo elettrico e/o magnetico (meno di 1/3 la riconosce/associa al lavoro necessario per creare il campo). Gli autori sottolineano che l'introduzione del concetto di campo non può limitarsi ai soli aspetti formali, ma deve includere una sua esplicita rielaborazione, unita alla discussione delle ragioni per introdurre il concetto di campo (meta-apprendimento sul processo di apprendimento). Propongono le seguenti strategie: discussione del retroterra storico, uso di problemi qualitativi in contesti semplici, introduzione del concetto di campo durante i corsi di meccanica, formazione insegnanti su questo argomento.

Guisasola, J., Almudi, J. Zubimendi (2003) "Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teroìa de campo magnético y elecciòn de los objetivos de enseñanza", *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 79-94

In questa vengono messi in evidenza i diversi modelli interpretativi della fenomenologia magnetica che i ragazzi adottano progressivamente da delle concezioni più intuitive fino alla comprensione della natura relativistica dei fenomeni magnetici. L'analisi è stata effettuata somministrando un questionario aperto (per stimolare il ragionamento degli studenti) a quattro livelli di studenti: 1) studenti dell'ultimo anno della scuola secondaria (70), 2) e 3) studenti dell'università del 1° e 2° anno di Ingegneria Tecnica Industriale (65,60), 4) studenti del 3° anno di Fisica (40).
L'articolo ha come obiettivo analizzare le idee degli studenti sulla natura del campo magnetico, con particolare attenzione alle fonti del campo magnetico. Nel paragrafo 2.3 verranno illustrati i dettagli

della ricerca e i vari modelli interpretativi, in questo paragrafo ci limitiamo al secondo modello[4] chiamato dagli autori "ingenuo e realista" in quanto considera le linee di campo come un'entità reale, che determina e produce le interazioni (attrazione e repulsione). Inoltre le linee di campo vengono identificate con la forza magnetica[5]: "*Il magnete ha un campo magnetico e delle linee di forza che entrano dal Sud e escono dal Nord* (fa un disegno), *quindi, essendo la carica negativa, il magnete la respinge attraverso le linee di forza* (studente del 2° anno di ingegneria)", "*Io credo che no, perché le linee di campo effettuano un'azione* (e inserisce il disegno) *di repulsione del magnete uno e di attrazione del magnete due; pertanto, la carica si dirige verso il polo sud del magnete due*" (1° anno di ingegneria). In alcuni casi esplicitamente identificano le linee di campo con le traiettorie: *"Non sono d'accordo, in quanto a un magnete viene associato un campo e anche delle linee di campo, che vanno dal polo nord a quello sud. Se la carica si trova nel campo del magnete, questo tenderà a muoversi nello stesso verso delle linee di campo e quindi si metterà in movimento*" (1° anno di ingegneria).

Guidoni, P. (2004) "Re-thinking physics for teaching: Some research problems (part II)." *Proceedings International School of Physics 'Enrico Fermi', Varenna, Course CLVI 'Research on Physics Education'*, July 2003, Italy (E.F. Redish and M. Vicentini (Eds.), Varenna, IOS Press), 235-259.

In questo lavoro che raccoglie osservazioni riguardo a diversi argomenti, l'autore espone la sua visione di campo come un "oggetto" o sistema fisico, ossia come "una realtà fisica globale e strutturata". Ritiene che il concetto di campo dovrebbe essere introdotto fin dai primi livelli scolari (ovviamente in forma adeguata), inoltre sottolinea che il campo gravitazionale si presta bene in quanto corrisponde alla nostra prima esperienza impressa di campo e che i vari campi possono essere combinati tra loro.
Da un punto di vista cognitivo ritiene importante che venga acquisita una certa familiarità con i campi intesi come realtà fisiche globali e strutturali (sistemi fisici) prima di definire operativamente i campi stessi attraverso esperimenti e formule. Il campo infatti, secondo l'autore, non è altro che una "complessa costruzione concettuale" strettamente dipendente dal suo modello rappresentativo, in base alle sue caratteristiche intrinsecamente fisiche: "*spatial*" (ossia matematica) e "*coupling*" (ossia materiale).
Rispetto al campo magnetico viene sottolineato il fatto che in questo caso le linee di campo non sono linee di forza ma "linee di momento[6]": il campo magnetico può essere visualizzato

[4] Gli autori individuano 4 modelli negli studenti, tra cui quello delle linee di campo varia a seconda delle domande intorno a 9%-12%.
[5] Nell'articolo non viene però sottolineato che questo problema comprende anche quello della concezione delle linee di campo magnetico come linee di forza, mentre sono linee di momento.
[6] Nel capitolo 3 riprenderemo questo aspetto delle linee di campo come linee di momento.

direttamente attraverso dei "mini-magneti" posizionati nello spazio circostante la sorgente. Inoltre le oscillazioni di tali magneti intorno al punto di equilibrio possono fornire informazioni qualitative sull'intensità del momento, mentre in un modo meno diretto le informazioni sul gradiente del campo possono essere associate alla forza netta sperimentata (per esempio nei magneti galleggianti).

Il campo elettrico invece è direttamente connesso, come quello gravitazionale, alla forza e solo indirettamente al momento, quando vengono "costruiti" i dipoli elettrici.

Per concludere questo parte sulla rappresentazione grafica dei campi menzioniamo altre ricerche (Herrmann 2000) che sono orientate non tanto sui problemi di apprendimento relativi alla rappresentazione dei campi, quanto piuttosto sulle potenzialità e sul ruolo che le linee di campo hanno nella rappresentazione del campo.

F. Herrmann, H. Hauptmann, M. Suleder, (2000) "Representations of electric and magnetic fields", *Am. J. Phys.* 68, 171-174

In questo articolo viene discusso il ruolo delle immagini e delle rappresentazioni grafiche dei campi elettrico e magnetico nella comprensione del campo stesso.

La rappresentazione grafica del campo attraverso le linee di campo è la più diffusa e risulta molto utile per dare un'idea della direzione del vettore campo in ogni punto, dei punti nello spazio dove div **E**(x,y,z) o div **B**(x,y,z) sono non nulle, inoltre forniscono informazioni sulla distribuzione delle "sorgenti del flusso" del campo (esprimono in modo immediato la terza e quarta legge di Maexwell in quanto ci dicono che le sorgenti del flusso del campo elettrico sono localizzate sulle cariche elettriche mentre non esistono né pozzi né sorgenti nel caso magnetico).

I campi scalari come i campi di potenziale, di densità di energia o della divergenza possono essere visualizzati con delle linee di contorno o con un codice di colore; i campi vettoriali come i campi di forza, il rotore di un campo, o il flusso dell'energia possono essere visualizzati attraverso delle frecce ai vertici di una griglia quadrata o da linee di campo o linee di flusso (*stream lines*) rispettivamente, mentre i campi di tensore, come il flusso del momento, possono essere rappresentati con delle linee di campo in tre dimensioni (three field line pictures) oppure in alcuni casi da un campo di ellissoidi (Herrmann 1985).

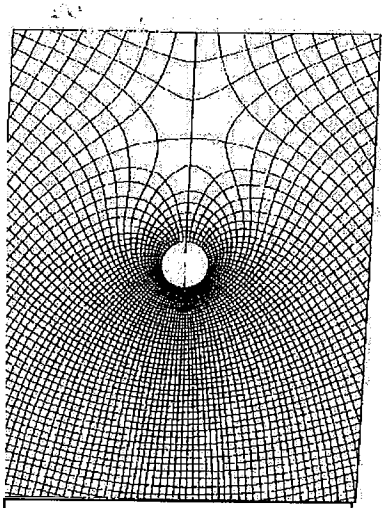


Figura 7: sovrapposizione del campo magnetico di una corrente lineare e di un campo magnetico omogeneo (tratto da Maxwell citato in Herrmann 2000).

Gli autori suggeriscono che la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo risulta molto più utile se è completata dalle corrispondenti superfici ortogonali. Propongono di rappresentare queste superfici non solo nel caso dei campi di potenziale elettrostatico e magnetostatico, ma anche

per i campi elettrici e magnetici a circuitazione non nulla. Quindi in una rappresentazione in due dimensioni, un campo elettrico o magnetico appare come una griglia di linee di campo e le loro traiettorie ortogonali; Maxwell stesso utilizzò sia "linee di forza" che "superfici di livello" in tutte le sue rappresentazioni di campi, a circuitazione nulla e non nulla (figura 7)[7].

Gli autori suggeriscono quindi di non limitarsi alle sole linee di campo, ma utilizzare anche le superfici ortogonali, in questo modo è possibile identificare non solo le sorgenti di flusso ma anche quelle della circuitazione (ossia i punti nello spazio dove la circuitazione è non nulla, dati dai bordi di tali superfici).

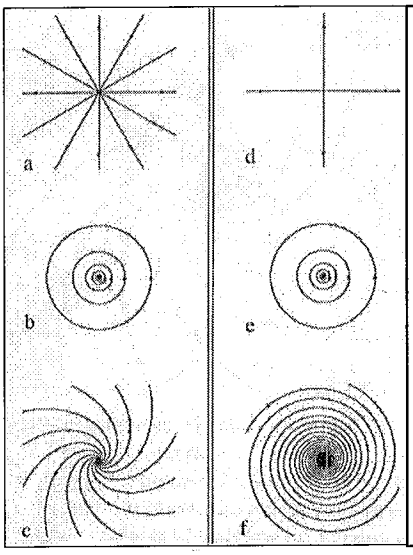


Figura 8:
La densità delle linee di campo non corrisponde all'intensità del vettore campo descritto: Esempio (tratto da Herrmann 2000): a) campo elettrico di una linea carica (perpendicolare al piano del foglio); b) campo elettrico di un sottile solenoide con un flusso magnetico che aumenta linearmente nel tempo; c) sovrapposizione dei campi in a) e in b); d) campo di una linea carica con una densità minore di carica; e) stesso campo di b); f) sovrapposizione dei campi d) ed e). (tratto da Hermann et al. (2000))

Riguardo alle linee di campo gli autori osservano che diverse ricerche (Wolf et al. (1996)) mettono in guardia dal considerare che la densità delle linee di campo fornisca delle indicazioni sull'intensità del campo. Infatti questo può essere osservato per ogni campo (per esempio elettrico **E**) in cui in ogni punto dello spazio si abbia che div **E** $\neq 0$ e nello stesso punto o in un altro punto si abbia, per lo stesso campo, che rot E $\neq 0$. Sembra che il problema sussista nella sovrapposizione dei campi, in cui la densità delle linee non risulta più essere indicatore dell'intensità del campo ottenuto; gli autori presentano un semplice esempio illustrato nella figura 8, dove nella 8a sono rappresentate le linee del campo elettrico generato da una linea carica perpendicolare al piano del foglio, la cui densità è proporzionale all'intensità del campo. La figura 8b mostra il campo di un sottile solenoide di estensione infinita perpendicolare al piano del foglio, si suppone che la corrente elettrica che attraversa il solenoide, e quindi il flusso del campo magnetico del solenoide, aumenti linearmente nel tempo; come conseguenza il solenoide è circondato da un campo elettrico costante nel tempo, le cui linee di campo sono circolari e sono rappresentate in modo che la loro densità sia proporzionale all'intensità del campo. Nella figura 8c è

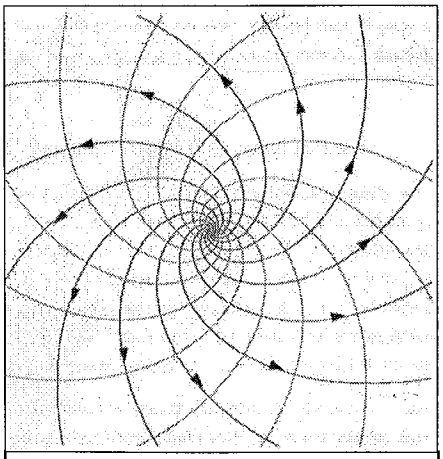


Figura 9: in questa figura viene rappresentato lo stesso campo della figura ...c attraverso le linee di campo e le linee ortogonali ad esse (tratto da Hermann et al. (2000))

[7] Gli autori osservano che utilizzando i colori si possono rappresentare con colori diversi le linee di campo e le superfici

proposta la sovrapposizione dei due campi elettrici (fig 8a e 8b) che determina una forma a spirale delle linee di campo, nel centro del disegno abbiamo sia una linea carica sia un flusso magnetico variabile.

Se viene riprodotta la sovrapposizione di campi considerando però il primo campo elettrico più debole, le cui linee quindi sono meno dense (figura 8d), il risultato che otteniamo dalla sovrapposizione con lo stesso campo elettrico della figura 8b (ossia 8e) otteniamo una configurazione delle linee di campo, data dalla figura 8f, a forma di una spirale, le cui linee sono molto più dense; questo non corrisponde alla reale intensità del campo ottenuto dalla sovrapposizione dei due precedenti[8].

Nella figura 9 viene invece rappresentato lo stesso campo della figura 8c utilizzando sia le linee di campo che le linee ortogonali ad esse, i due insiemi di linee finiscono nel piccolo cerchio nel centro della figura, quindi questo cerchio deve contenere le sorgenti del flusso sia quelle della circuitazione del campo.

2.2.2 La forma della Terra e il suo campo gravitazionale:

(Nussbaum & Novak (1976), (1978), Nussbaum (1985), Bar et al. (1994), (1997), Arnold et al (1995), Galili (2001), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001)).

Nel caso del campo gravitazionale diversi studi analizzano le rappresentazioni dei bambini della Terra, della sua forma e la relazione con la direzione del campo gravitazionale (Nussbaum & Novak (1976), (1978), Nussbaum (1985), Bar et al. (1994), (1997), Arnold et al (1995), Galili (2001), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001)). Nussbaum negli anni 80 (Nussbaum (1976)) formula una prima classificazione delle idee dei bambini sulla Terra, sottolineando tre elementi essenziali correlati al concetto della Terra: la forma della Terra, la posizione del cielo e delle nuvole, e la direzione degli oggetti che cadono da diversi punti della Terra. Nussbaum è inoltre il primo a porre il problema della visione locale – globale della gravità (figura 10) spiegata in termini di concezione del "giù" ("down") verticale al suolo nel primo caso e invece diretto verso il centro della Terra nel secondo caso.

Ritroviamo lo stesso tipo di classificazione realizzato da Nussbaum negli studi di Vosniadou riguardanti i cambiamenti concettuali nell'insegnamento della scienza (Vosniadou & Brewer

---

ortogonali.

[8] La densità delle linee di campo suggerisce quindi una maggiore intensità del campo rispetto a quella che in realtà ha. Questa contraddizione secondo gli autori è dovuta al fatto che per determinare la densità delle linee di campo è stato scelto una piccola superficie perpendicolare alla linea di campo, però la stessa linea di campo passa diverse volte attraverso questa superficie e fa credere che diverse linee di campo la attraversino.

(1992), Vosniadou (2001), nei quali classifica i modelli mentali sulla Terra dei bambini (figura n° 16).

Arnold (Arnold et al (1995)) invece mette in relazione lo sviluppo del concetto della Terra nei bambini con la comprensione della direzione del campo gravitazionale e la disposizione delle figure umane in vari punti della Terra.

Consideriamo che l'acquisizione della simmetria della Terra e dell'attrazione gravitazionale sia un requisito necessario per l'introduzione del campo gravitazionale terrestre. Pur tuttavia le ricerche (Nussbaum, Arnold, Baxter) che mettono in relazione la forma della Terra e il campo gravitazionale, mirano a introdurre la centralità dell'attrazione gravitazionale attraverso le traiettorie di caduta di oggetti (caduta della pioggia dalle nuvole disposte tutto intorno alla superficie terrestre, oppure la caduta di un sasso dalla mano di diversi bambini disposti sulla superficie terrestre), è bene però distinguere anche a questo livello scolare che quando si chiede ai bambini di disegnare la linea che segue il sasso mentre cade, questo rappresenta la traiettoria e non la linea di campo (anche se in questo caso particolare coincidono), essendo l'identificazione linea di campo-traiettoria un ben noto problema di apprendimento (come è stato illustrato precedentemente).

Dettagli sulle ricerche:

Nussbaum, J. (1976) "An assessment of children's concepts of earth utilizing structured interviews" *Science Education* 60, 535-550 , (1985) "*The Earth as a cosmic body Children's Ideas in Science*" Driver Gnesnes Tibershien (Eds) Open Univ Press Miltan Keynes pag 170

Come abbiamo accennato Nussbaum formula una prima classificazione delle idee dei bambini sulla Terra, sottolineando tre elementi essenziali correlati al concetto della Terra: la forma della Terra (che è considerata piatta o sferica), la posizione del cielo e delle nuvole, e la direzione degli oggetti che cadono da diversi punti della Terra. Per quanto riguarda la direzione dell'attrazione gravitazionale utilizza diversi strumenti: dalla caduta di un sasso da più punti intorno alla Terra (figura 10), alla disposizione dell'acqua in un vaso (figura 11), fino al ben noto quesito della caduta di un oggetto in un buco dentro la Terra (figura

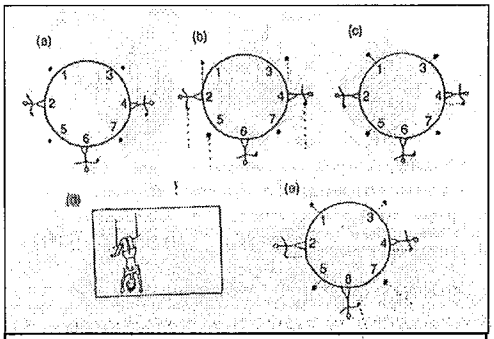


Figura 10: alcuni esempi dei disegni dei bambini sulla caduta degli oggetti (Nussbaum 1985).

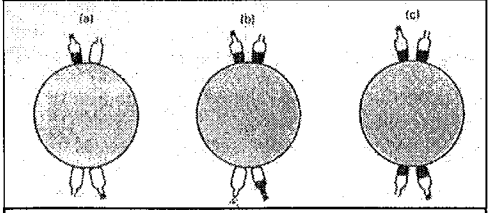


Figura 11: la disposizione dell'acqua in due bottiglie (una chiusa con un tappo) da diversi punti intorno alla terra (Nussbaum 1985) .

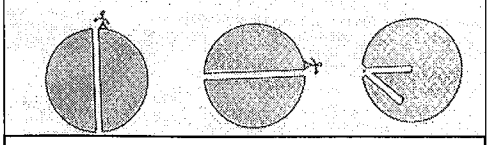


Figura 12: il quesito della caduta di un oggetto in un buco dentro la Terra (Nussbaum (1985)).

12).

In particolare è il primo a porre quello che, secondo noi, può essere definito come il problema della visione locale – globale[9] della gravità: infatti il bambino deve passare da una visione dell'attrazione gravitazionale e della conseguente caduta degli oggetti verso il basso (giù dal foglio) a una visione dell'attrazione verso il centro della Terra (figura 13). Nussbaum considera che questo problema derivi da quello che Piaget chiamava il punto di riferimento "egocentrico", infatti i bambini hanno la tendenza a interpretare la realtà nel modo in cui loro stessi la percepiscono; l'autore suggerisce che l'unico modo per realizzare l'operazione mentale che porta il bambino a sviluppare una concezione sferica della Terra è di richiedergli di immaginare la realtà come se fosse vista da un altro punto di riferimento, questo porta a superare il punto di vista egocentrico[10].

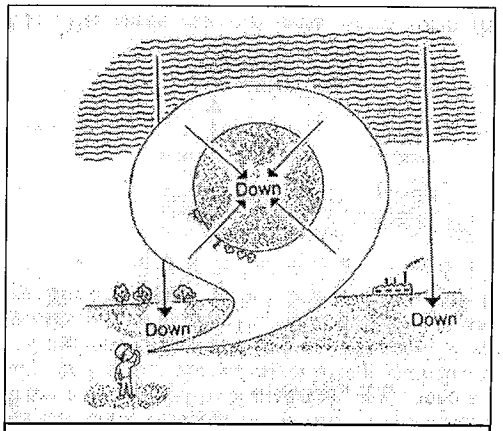


Figura 13: il problema del passaggio da una visione locale della gravità a una globale[8]. (Nussbaum (1985)).

Sneider, C. & Steven, P (1983) "Children's cosmographies: understanding Earth shape and gravity", *Science Education* 67 (2), pag. 205-221.

Sneider e Steven riprendono la classificazione di Nussbaum delle idee dei bambini sulla forza della Terra e la direzione dell'attrazione gravitazionale per vedere come queste evolvono nelle varie età (59 bambini dagli 8 ai 15 anni).

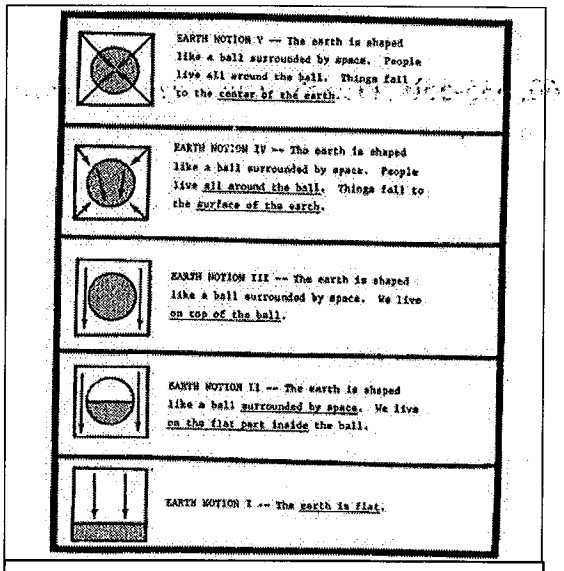


Figura 14 : la classificazione delle concezioni dei bambini sulla forma della Terra e dell'attrazione gravitazionale secondo Nussbaum (Sneider & Steven (1983)).

GRADE	AGE	N						
3	9	30	30	30	13	27	0	0
4	10	16	31	13	31	25	0	0
5	11	21	10	14	48	24	5	0
6	12	23	26	0	22	22	22	9
7	13	26	8	12	4	0	23	54
8	14	28	14	18	4	14	11	39

Figura 15: i risultati delle ricerche di Sneider sulle concezioni dei bambini e la direzione dell'attrazione gravitazionale in base alle fasce di età dei bambini dai 9 a 14 anni, (tratto da Sneider & Steven (1983))

[9] Premettiamo che gli autori non parlano esplicitamente di "visione locale-globale" della gravità, questa è una nostra interpretazione e trattazione del problema.

[10] Nelle nostre ricerche (capitolo 5 e 6) abbiamo chiesto ai bambini di immaginare la Terra come se fosse vista da lontano.

Nella figura 14 sono esposti i risultati della ricerca, troveremo che i risultati dei diversi autori non sono sempre in accordo rispetto alle varie età, anche nella nostra ricerca troviamo che nessun bambino di 9-10 anni disegna la Terra piatta (si veda capitolo 5).

Arnold, P., Sarge, A. and Worrall L. (1995) "Children's knowledge of the earth's shape and its gravitational field", *International Journal of Science Education* 17(5), 635-641.

Obiettivo: esaminare le relazioni tra i disegni dei bambini della Terra (e della disposizione degli uomini sulla Terra) e della loro concezione della gravità.

Metodologia e campione: sono stati analizzati i disegni di 108 bambini dai 7-11 anni.

Diversi studi mostrano come i modelli intuitivi sulla forma della Terra e sul campo gravitazionale terrestre cambino gradualmente nello sviluppo del bambino fino ad arrivare al modello accettato scientificamente della Terra sferica. P. Aranold, A. Sarge, L. Worrall hanno studiato e investigato lo sviluppo delle concezioni dei bambini riguardo alla Terra e alla direzione del suo campo gravitazionale. Individuano e classificano i diversi tipi di disegni e rappresentazioni della Terra e della posizione degli abitanti del pianeta stesso.

L'importanza e le implicazioni didattiche di questa classificazione risiedono nella relazione tra la forma della Terra e la direzione del suo campo gravitazionale nel contesto dello sviluppo delle idee spontanee dei bambini. In particolare gli autori hanno evidenziato una concezione "contraddittoria e paradossale" della "gravità": secondo diversi bambini la "gravità" (intesa in questo caso come forza gravitazionale) opera contemporaneamente sia verso il centro della terra sia verso il basso. Inoltre la maggior parte dei bambini intervistati non concepivano l'attrazione della forza gravitazionale verso il centro della terra, o anche se lo comprendevano non erano in grado di rappresentarlo correttamente tramite i disegni.

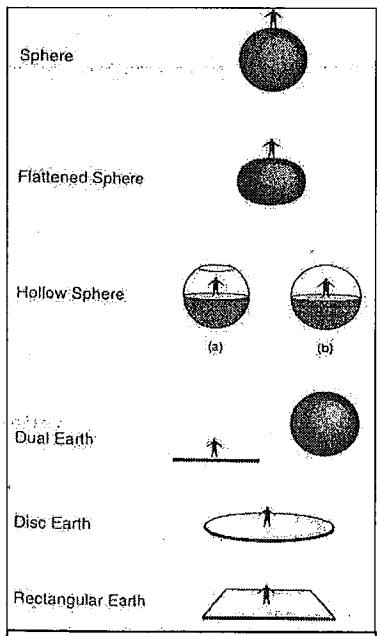


Figura 16: i modelli mentali sulla forma della Terra (Vosniadou & Ioannides 1998)

Vosniadou &Brewer (1992) "Mental Models of the Earth: A study of conceptual change in childhood" *Cognitive Psychology* 24, 535-585. ; ***Vosniadou & Ioannides*** (1998) "From conceptual development to science education" *Int.J.Sci.Educ.* 20(10) p. 1213-1230; ***Vosniadou*** (2001) "Conceptual change Research and Teaching of Science" in H. Behndt et al. (eds) *Research in Science Education Past, Present, and Future*, Kluwer Academic Publischers Printed in the Netherlands, pag 177-188.

Le ricerche di Vosniadou si inseriscono nel campo della ricerca cognitiva. Nei suoi studi infatti viene descritto il quadro teorico della ricerca cognitiva e dello sviluppo secondo la quale l'apprendimento scientifico è un graduale processo nel quale le concezioni iniziali dei bambini, basate sulle loro interpretazioni delle esperienze quotidiane, sono continuamente arricchite e ristrutturate. In particolare viene discusso il cambio concettuale nell'apprendimento scientifico, e gli aspetti che comporta: coscienza metacognitiva, flessibilità cognitiva e coerenza teoretica.

Per quanto riguarda le concezioni dei bambini sulla forma della Terra, l'autore riprende la classificazione realizzata da Nussbaum, specificandola come indicato nella figura 16.

Secondo Vosniadou la rappresentazione della Terra piatta si basa sull'assunzione che la Terra sia un corpo fisico, mentre ritiene che i bambini debbano comprendere che la Terra è un oggetto astronomico piuttosto che fisico. In particolare afferma che nel campo dell'astronomia gli studenti comprendono la forma sferica della Terra soltanto dopo aver acquisito qualche nozione elementare sulla gravità; quindi ritiene particolarmente importante insegnare un primo concetto di gravità ai bambini per far loro comprendere che possiamo vivere su una Terra sferica.

Baxter, J. (1989) "Children's understanding of familiar astronomical events" *International Journal of Science Education* vol. 11, Special Issue 502-513.

Obiettivo: questa ricerca mira a descrivere le idee spontanee dei bambini e ragazzi anni riguardo alcuni semplici e osservabili fenomeni astronomici (la Terra e la gravità, il giorno e la notte, le fasi della luna, le stagioni. I metodi utilizzati sono: interviste individuali e i disegni di 100 bambini e ragazzi dai 9-16 anni.

Per quanto concerne la Terra e la gravità ai bambini veniva richiesto di immaginare di allontanarsi dalla terra su una navicella spaziale e di guardare la Terra dallo spazio. Veniva loro chiesto di disegnare come loro pensassero sia la Terra, e in seguito di disegnare delle persone e mostrare dove potessero vivere, di rappresentare delle nuvole e infine la pioggia che cade giù dalle nuvole.

Baxter trova quattro tipologie di rappresentazione dei bambini (figura 17) che sono simili a quelli individuati precedentemente da Nussbaum (1979), però i risultati sono piuttosto singolari rispetto alle percentuali delle singole categorie. Infatti dai risultati emerge che la concezione maggiormente

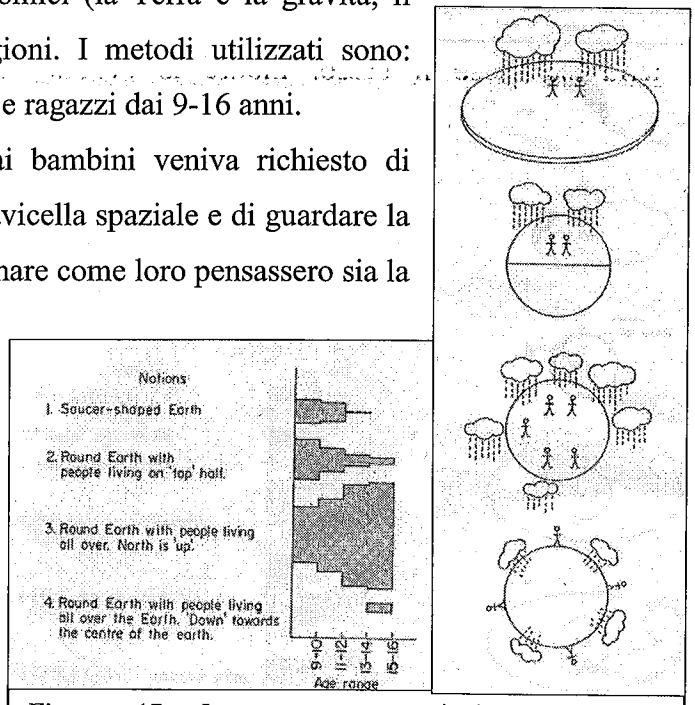


Figura 17: Le quattro concezioni dei bambini categorizzate da Baxter e le relative percentuali trovate nei bambini rispetto alle età (Baxter (1989)).

presente in tutte le fasce di età è la terza categoria (categoria D), mentre la concezione corretta non solo è poco presente, ma nelle fasce di età più giovane (9-10 anni) non compare[11].

Eddy Masclet (2003) "L'explication du phénomène des saisons chez les élèves de cycle III. Test d'une séquence d'enseignement et ingénierie didactique", tesi di Dottorato, *UFR de Physique, Université Paris VII.*

La tesi di Eddy Masclet dell'Università di Parigi 7 è incentrata sulla spiegazione del fenomeno delle stagioni alla scuola primaria. La concezione della forma della Terra è una premessa fondamentale per l'obiettivo della tesi, l'autore mette a confronto i dati di alcune ricerche riguardo alle concezioni della forma della Terra e della disposizione degli uomini sulla sua superficie (si veda tabella 1).

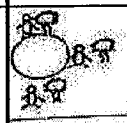
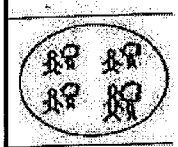
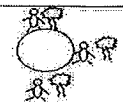
Categorie dei disegni	Concezioni schematizzate	Nussabum 10 anni Israele	Vosniadou 8-10 anni USA	Baxter 9-10 anni Inghilterra	Merle 9-10 anni Francia	E.Masclet 9-10 anni Francia
A		50 %	7,5 %	17 %	8,5 %	26%
B		12 %	25 %	-	-	-
C		20 %	7,5 %	83 %	47 %	40%
D		18 %	50 %	-	44 %	33%

Tabella 1 *Confronto tra i risultati in letteratura, selezionati solo per l'età 9-10*

Nella tesi sono illustrati sia i risultati dei disegni dei bambini sia dei professori (tabella 2):

Classes 1999/2001 2001/2002	 1	2	3
CE2 (96)	28%	38%	32%
CM1 (276)	26%	40%	33%
CM2 (62)	20%	14%	66%

		PE 1ere année (244)	PE 2ème année (103)	PE Titulaires (210)
Questions				
1) Forme	Correct	97%	98%	100%
	Non Correct	3%	2%	0%
2) Boussole	Aimant	97%	98%	100%
	Autre	3%	2%	0%
3) Gravitation				
	Correct	74%	88%	72%
	Perspective	22%	12%	11%
	Haut/bas	4%	0%	2%
	Rien	0%	0%	14%

Tabella 2: concezioni dei bambini (a sinistra) e degli insegnanti (a destra) riguardo alla forma della Terra e alla disposizione degli uomini in Francia e in Australia.

[11] Vedremo nel capitolo 5 che nelle nostre ricerche confermiamo piuttosto i dati di Vosniadou, con un ulteriore miglioramento delle percentuali di risposte corrette, presenti anche in fasce di età inferiori ai 9 anni.

2.3 Il campo e le sue sorgenti: la natura delle sorgenti del campo, la sovrapposizione di campi, l'azione di un campo.

(Galili (1995), Guisasola et al. (2003), Maloney et al. (2001), Viennot & Rainson (1992),(1999), Rainson et al. (1994))

Diverse ricerche evidenziano che gli studenti, anche universitari, hanno difficoltà ad identificare correttamente le sorgenti del campo magnetico, e distinguere tra l'interazione elettrostatica e magnetica (spesso considerano una carica elettrostatica come sorgente del campo magnetico).

I risultati mostrano che gli studenti (dai 13 ai 20 anni) identificano correttamente il magnete come sorgente del campo magnetico, però pensano che la differenza tra le interazioni degli oggetti con la calamita sia dovuta alla loro differente carica elettrostatica.

Le ricerche mostrano inoltre che gli studenti di ogni livello non hanno una completa comprensione né su quali oggetti il campo agisce, per esempio pensano che un campo magnetico può interagire con cariche elettrostatiche (Guisasola et al. (2003), Maloney et al. (2001)), né dell'applicazione del 3° Principio della Dinamica (Galili (1995), Maloney et al. (2001)). Infatti gli studenti, dalla scuola elementare (Bar et al. (1994), (1997), Galili (2001)) fino all'università (Galili (1995), Maloney et al. (2001)), difficilmente riconoscono la reciprocità dell'interazione nei diversi campi: quello gravitazionale (Ruggiero et al. (1985), Bar et al. (1994), (1997), Galili (2001), Palmer (2001)), electtrico (Galili (1995), Furio et al. (2001)), ed elettromagnetico (Galili (1995), Maloney et al. (2001), Guisasola et al. (2003)).

Altri studi a livello universitario (Guisasola et al. (2003)) mettono in evidenza la difficoltà degli studenti nell'applicazione della legge della forza magnetica $F = qv \times B$, dovuto prevalentemente, secondo gli autori, alla non comprensione del prodotto vettoriale.

Rainson e Viennot (Viennot & Rainson (1992), (1999)) nello studio dei ragionamenti degli studenti in elettrostatica, hanno identificato due problemi principali: "il campo solo se c'è movimento"("field only if mobility") e "la causa nella formula" ("cause in the formula": gli studenti non considerano le sorgenti del campo che non sono rappresentate dal loro simbolo nella formula che fornisce il valore del campo).

Dettagli sulle ricerche:

Le ricerche di Guisasola, Almudi e Furio (1999, 2001, 2003)

Guisasola, Jenaro, Almudi, Jose Zubimendi (2003) "Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teroìa de campo magnético y elecciòn de los objetivos de enseñanza . *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 79-94

Il campione e le metodologie adottate in questa ricerca sono stati già illustrati nel paragrafo 2.2.

L'obiettivo principale di questa ricerca è di analizzare le idee, gli schemi di ragionamento e le rappresentazioni mentali, degli studenti sulla natura del campo magnetostatico, in particolare focalizzando sulle fonti del campo magnetico come prerequisito basico per il ragionamento corretto sui fenomeni magnetici. Da questo studio emergono le difficoltà degli studenti (dalla fine della scuola secondaria superiore fino al 3° anno di università) a identificare le fonti del campo magnetico: anche se dimostrano di sapere che una carica in movimento genera un campo magnetico, la maggior parte (più di tre quarti del campione preso in esame) affermano che un campo magnetico agisce su una carica a riposo. Gli autori, in una visione costruttivista, individuano nei ragazzi quattro modelli interpretativi della fenomenonologia magnetica: 1) concezione iniziale e ingenua che attribuisce la causa del magnetismo a delle qualità" proprie della materia (in questo caso dei magneti); 2) modello delle linee di campo come entità reale che determina le interazioni[12]; 3) concezione definita dagli autori "elettrica" secondo cui sia la carica a riposo che quella in movimento sono identificate come fonti del campo magnetico, i magneti sono considerati come corpi carichi, si confondono i campi elettrici e magnetici per cui le interazioni magnetiche vengono descritte e spiegate attraverso una forza centrale di tipo colombiano; 4) concezione definita "amperiana" che identifica le cariche in movimento come fonti del campo magnetico, utilizza il modello di ampère per spiegare la relazione tra magneti e spire di correnti come fonti di campo magnetico. Gli autori propongono come obiettivo finale per una corretta interpretazione dei fenomeni magnetici il riconoscimento del carattere relativistico del campo magnetico, in quanto a differenza degli altri campi (elettrici e gravitazionali) oltre a dipendere dalla massa, dipende anche dall'osservatore attraverso la velocità della carica creatrice del campo; viene definito quindi un quinto modello "concezione amperiana e relativista" che riconosce l'importanza del sistema di riferimento nell'analisi dei fenomeni magnetici[13].

Nelle implicazioni didattiche per una corretta comprensione di fenomeni magnetici gli autori sottolineano diversi aspetti tra cui[14] l'importanza di: saper interpretare l'azione del campo magnetico attraverso il concetto del campo e delle linee di campo conoscere le analogie e le differenze tra i campi elettrici e magnetici stazionari, conoscere le caratteristiche delle linee di campo magnetico e elettrico, distinguere l'azione centrale del campo elettrico e non centrale di quello magnetico, così come il differente risultato del teorema di Gauss applicato al campo elettrico e magnetico.

[12] questo modello è già stato spiegato nel paragrafo 2.1

[13] Tale modello ammette quindi che per uno stesso fenomeno possano essere osservati due diversi risultati.

[14] Ci preme sottolineare questi aspetti in quanto sono direttamente relazionati con il lavoro di questa tesi di dottorato.

Viennot, L. & Rainson, S., (1992) "Students' reasoning about superposition of electric fields" *International Journal of Science Education*, 14(4), 475-487; e (1999) "Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field" *International Journal of Science Education, Special Issue Conceptual Development in Science Education* 21(1), 1-16.

Rainson, S., Tranströmer, G. And Viennot, L. (1994) "Students' understanding of superposition of electric fields". *American Journal of Physics*, 62 (11), pp 1026-1032

Riguardo al campo e alle sorgenti di campo, Rainson e Viennot, nello studio dei ragionamenti degli studenti in elettrostatica, hanno identificato due problemi principali: "il campo solo se c'è movimento"("*field only if mobility*") e "la causa nella formula" ("*cause in the formula*"). Il primo problema concerne la difficoltà degli studenti nell'accettare l'esistenza del campo elettrico in un mezzo dove le cariche non si muovono. Gli studenti spesso ragionano come se una causa esistesse soltanto se si manifesta un effetto, inoltre tendono sia ad associare una causa con un solo effetto, dimenticando gli altri, sia a considerare una sola causa per un dato effetto. Il primo punto (considerare che la causa esiste solo se si manifesta un effetto) li porta a rifiutare l'esistenza del campo in un punto dove le cariche non possono muoversi. Per questo non sono in grado di distinguere la differenza tra il comportamento dei conduttori e degli isolanti e di riconoscere il contributo del campo generato dalla carica q al campo totale nell'isolante.

I risultati dimostrano che nei due gruppi di studenti del 2° anno di università che hanno realizzato il questionario (3 gruppi 153 in totale) in un primo quesito una parte consistente degli studenti[15] (42-48% o 23%[16]) afferma che il campo generato dalla carica q non contribuisce a quello totale nell'isolante (ossia non "entra" nell'isolante, si veda la figura 18 che illustra il problema posto), giustificandolo in base o al ruolo "bloccante dell'isolante" (28-44% o 18% nel terzo gruppo), o al fatto che le cariche non possono muoversi (campo solo se esiste la mobilità 20-25% o 13% nel terzo gruppo).

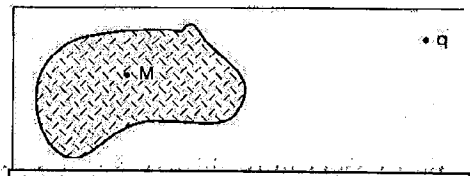


Figura 18: una domanda proposta nel questionario: "una carica puntuale q è posta all'esterno di un isolante. In un punto M all'interno dell'isolante creerà campo elettrico? [Viennot & Rainson (1999)]

Mentre in un altro quesito (figura 19) più dell'80% considera che la unica causa del campo magnetico in un isolante è la carica interna e non tiene conto di quella esterna.

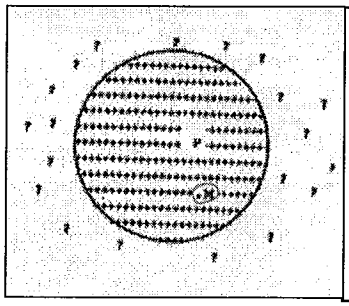


Figura 19: una sfera di materiale isolante di raggio R ha una densità di carica r uniforme. La distribuzione della carica fuori dalla sfera non è nota. Si vuol calcolare il campo elettrostatico nel punto M all'interno dell'isolante . E' possibile trovare il campo nel punto M senza conoscere la distribuzione della carca fuori della sfera? [Viennot & Rainson (1999)]

Il secondo problema invece è stato individuato attraverso un questionario sul Teorema di Gauss e consiste nell'ignorare le sorgenti del campo che non sono rappresentate dal loro simbolo nella formula che fornisce il valore del campo. Gli studenti

[15] La percentuale dei ragazzi che ragiona correttamente in base alla polarizzazione del dielettrico è molto bassa (da 0% a 8%)
[16] La percentuale più bassa (23%) si ha con quegli studenti che avevano appena terminato un corso completo di elettromagnetismo.

attribuiscono uno statuto causale abusivo alle "formule": una grandezza X, menzionata in un'espressione algebrica di un'altra grandezza G, tale che G = f(X), è interpretata come una "causa" esclusiva del fenomeno associata alla grandezza G (figura 20).

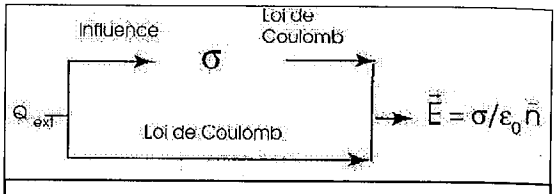
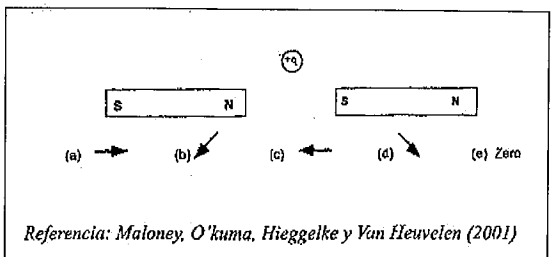


Figura 20: *Effetti di una carica esterna su un campo vicino a un conduttore all'equilibrio elettrostatico* (la teoria fornisce due vie di ragionamento). Risulta problematico per gli studenti considerare che la variabile σ (densità superficiale di carica), a prima vista molto locale, è in realtà determinata da tutto l'insieme di cariche presenti intorno all'isolante, quindi anche quella esterna.
Un ragionamento lineare invece porta a considerare : $Q_{ext} \rightarrow \sigma \rightarrow E = \sigma/\varepsilon_0 n$ [Viennot & Rainson (1999)]

Gli autori considerano che il principio di sovrapposizione è un prerequisito per una comprensione di base dell'elettrostatica e per una visione unificata dell'elettrostatica e dei circuiti elettrici, suggeriscono inoltre l'utilità di lavorare con tale principio in situazioni statiche per poi analizzare i circuiti elettrici.
In diverse ricerche gli autori descrivono e analizzano una sequenza d'insegnamento di Matematiche Speciali e Tecnologiche per la costruzione dei concetti di carica e campo elettrico, in particolare sulla sovrapposizione dei campi elettrici, sperimentata in due versioni successive durante 5 anni.

D P Maloney, T L O'Kuma, C J Hieggelke, A V an Heuvelen, (2001) "Surveyings students' conceptual kwnowledge of electricity and magnetism", *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.* 69 (7), pp S12-S23

L'obiettivo di questa ricerca è di sviluppare uno strumento come pre-test e post test per corsi di fisica di base che sia utile per stabilire la conoscenza iniziale in elettricità e magnetismo, così pure per valutare l'effetto di vari tipi di istruzione. Viene così creato il CSEM (*Conceptual Survey of Electricity and Magnetism*), un test composto da 32 domande a scelta multipla che analizza le basi conoscitive degli studenti in elettricità e magnetismo. Gli autori suggeriscono che il CSEM possa fungere da guida per ricerche indirizzate nella direzione delle idee di senso comune dei ragazzi in questo campo. Non copre l'intero dominio dell'elettromagnetismo, ma tocca i punti salienti del settore (conduttori e isolanti, sovrapposizione di forze e campi, la legge di Coulomb, forze, campi, lavoro e potenziale elettrico, la forza magnetica, la legge di Faraday e la terza legge di Newton). Il test è stato studiato e raffinato durante quattro anni nei quali è stato somministrato a più di 5000 studenti in un corso introduttivo di fisica.



Referencia: Maloney, O'kuma, Hieggelke y Van Heuvelen (2001)

Figura 21: un quesito che si riferisce alla possibile interazione magnetica tra magneti e cariche elettriche (Maloney et al. (2001)).

Riportiamo solo i risultati rispetto agli argomenti inerenti a questo paragrafo. Emerge che in generale i ragazzi hanno difficoltà ad usare correttamente la legge di Coulomb soprattutto quando si propongono

variazioni (sia delle cariche, sia delle distanze) a partire da situazioni assegnate; in particolare si osserva un uso corretto in situazioni simmetriche, un'applicazione più difficoltosa per situazioni asimmetriche. Il 60% non applica correttamente la terza legge della dinamica, mentre il concetto di sovrapposizione di forze e campi è applicato correttamente solo nei casi più semplici. Si evidenzia confusione tra gli effetti del campo magnetico con quelli del campo elettrico, unita alla tendenza a creare continue connessioni tra magnetismo e elettrostatica; ad esempio una corrente che esce dal foglio è associata a una carica positiva, di conseguenza i campi generati vengono assimilati; mentre due terzi dei ragazzi considera che il magnete agisce su una carica a riposo (69% nel pre-test, 65% nel post test, figura 21). A questo proposito il CSEM indica che è necessario aiutare i ragazzi ad abbandonare analogia con l'elettrostatica per comprendere il magnetismo. Infine per quanto riguarda la forza magnetica, per lo più vengono confusi campo elettrico e campo magnetico: i ragazzi indicano che una carica in un campo magnetico compie un moto circolare uniforme, indipendentemente dal tipo di campo e dalle condizioni iniziali.

2.4 Le concezioni degli studenti sui tipi di campo.

La spiegazione dell'interazione come *azione a distanza* è stata oggetto di discussioni sia storicamente come abbiamo visto nel capitolo 1 sia nelle ricerche in campo educativo (Ruggero et al. (1985), Bar et al. (1994), (1997), Palmer (2001), Furio et al. (1999), Guisasola et al. (2003)).

Infatti questo approccio comporta diversi presupposti, che numerose ricerche hanno messo in evidenza tra cui: la necessità de una *connessione* tra due oggetti che interagiscono a distanza, la necessità di un mezzo per la trasmissione dell'interazione e l'idea dell'azione del campo come una regione limitata dello spazio. Diversi bambini considerano l'aria come un mezzo necessario per l'attrazione gravitazionale e magnetica e l'atmosfera come il limite dell'azione gravitazionale (Bar et al. (1994), (1997)), l'azione di un magnete è vista come limitata a una regione finita d'influenza (modello del magnetismo a "nuvola" (Borges & Gilbert (1998)), inoltre anche nell'interazione magnetica sembra necessaria l'azione di un mediatore (Maarouf (1997)).

Verranno qui di seguito analizzate in dettaglio le concezioni degli studenti sui diversi tipi di campo[17] : gravitazionale, elettrico e magnetico.

2.4.1 L'azione a distanza, la gravità, il peso e la caduta dei gravi

(Bar et al. (1994), (1997), Galili (2001))

La spiegazione dell'azione della forza di gravità è stata sempre vista come problematica, sia storicamente sia nelle ricerche in campo educativo ci si è confrontati con la difficoltà di relazionare concetti più o meno definibili e definiti, quali "l'azione a distanza", "la forza di gravità", "la gravità".

Secondo diversi studi in letteratura (Ruggero e al. (1985), Bar et al. (1994), (1997)) i bambini solitamente considerano la forza come un'azione per contatto, quindi anche nel caso della forza gravitazionale utilizzano questo modello interpretativo, chiamando in causa i concetti di *supporto* e *connessione.*

Newton stesso formulò la legge di gravitazione interpretando i dati osservati nell'ambito di un contesto matematico coerente ma non tentò di spiegare *perché* la forza gravitazionale agisce attraverso il vuoto, ma nei *Principia,* scrisse: *"Hypothesis non fingo"*. Come abbiamo visto nel capitolo 1 è pero solo con Faraday che viene introdotto il concetto di campo, unito alla sua rappresentazione attraverso le linee di campo.

Diversi autori non considerano dunque sorprendente che anche i bambini necessitino di un'idea di "connessione" per spiegare l'interazione gravitazionale. Nel caso del campo gravitazionale nella

scuola primaria risulta inoltre critica la relazione tra le concezioni dei bambini sulla forma della Terra e il suo campo (come abbiamo visto nel paragrafo 2.2.2), la gravità è considerata come una proprietà di uno specifico sistema (la Terra) mentre l'atmosfera viene vista come il limite dell'azione gravitazionale terrestre (Bar et al. (1994), (1997)).

Nel linguaggio comune e purtroppo anche in diversi testi scolastici, al termine "gravità" viene utilizzato senza precisare il referente fisico, che dà significato al termine; vengono così associati diversi concetti: la forza, il campo , l'accelerazione e il potenziale gravitazionale. Questo genera confusione negli studenti che si vedono raggruppati in un singolo termine quattro concetti fisici ben distinti e con proprietà differenti. In letteratura sono stati fatti diversi studi sulle idee dei bambini riguardo alla "gravità", individuando nelle loro concezioni dei legami tra il peso, la "gravità" e l'aria, ed è stato osservato che i bambini legano la "gravità" alla pressione dell'aria, separando il concetto di forza di gravità da quello del peso, identificando invece il peso con la massa (Bar et al. (1994), (1997), Ruggero et al. (1985)).

Da una parte viene individuata la necessità dell'aria come un mezzo conduttore dell'azione delle forze, mentre dall'altra la gravità *fa da supporto* alle altre due forze (magnetica ed elettrostatica), ma a sua volta viene vista dai bambini come causata dal magnetismo terrestre. Bar (Bar et al. (1997)) analizza (con ragazzi dai 9-18 anni) la possibile connessione tra l'attrazione magnetica e l'aria come il suo mezzo conduttore, la relazione tra la gravità e il magnetismo e quella tra elettricità e magnetismo.

Dettagli delle ricerche:

Bar, V., Zinn, B. And Rubin, E. (1997) "Children's ideas about action at a distance" *International Journal of Science Education* 19(10), 1137-1157.

Bar, V., Zinn, B., Goldmuntz And Sneider, C. (1994) "Children's concept about weight and free fall", *Science Education* 78(2), 149-69.

Ricerca del 1997

Obiettivo: analizzare le idee dei bambini sull'azione a distanza in relazione a tre concezioni del senso comune: a) unicità della Terra, b) necessità di una connessione per l'interazione, c) la relazione tra i vari tipi di forze: gravitazionale, elettrica e magnetica).

Metodologia e campione: la ricerca è stata organizzata in tre fasi: 1) sulla relazione tra magnetismo, aria e gravità con 300 bambini dai 9 ai 17 anni; 2) la ricerca è stata estesa alla relazione tra aria, elettrostatica o suono (172 bambini dai 14 ai 18 anni); 3) un'ultima parte dedicata alla necessità

[17] Il campo elettromagnetico non verrà trattato in questa tesi, ma ci limitiamo ai campi magnetici, gravitazionale e

dell'aria per la propagazione del calore e della luce, unita alle possibili connessioni tra elettrostatica e gravità (con 80 bambini tra i 9 ai 18 anni). Sono stati somministrati tre test scritti a risposta aperta nelle fasi 1 e 3, mentre a scelta multipla (con possibilità di fornire spiegazioni) nella fase 2.

Da questa ricerca emerge che i bambini considerano che la gravità sia indotta dalla pressione dell'aria, trasmessa dall'aria stessa e che aumenti con il peso. Questo porta alla conseguenza che la gravità non esiste nello spazio e neanche vicino o sulla Luna in quanto è presente solo se c'è l'aria. Inoltre la forza agisce solo per contatto, quindi l'azione a distanza necessita di un mezzo conduttore per l'interazione gravitazionale, magnetica e elettrostatica.

Gli autori individuano inoltre due idee fondamentali provenienti dalla teoria del senso comune: la necessità il concetto di ***supporto*** e di una ***connessione*** per l'interazione a distanza. Infatti i bambini identificano frequentemente la causa della caduta degli oggetti sulla Terra al fatto che non sono sostenuti o da noi stessi ("li lasciamo andare") o dal mezzo (spesso è l'aria che li sostiene) o dalla gravità stessa (concetto di *reverse gravity*).[18] Inoltre spesso considerano l'aria come il mezzo naturale per creare una connessione, attraverso il quale la forza di gravità si trasmette o agisce sui corpi. Non accettando l'idea di un'azione a distanza, i bambini inventano una connessione "tra sorgente della forza e l'oggetto su cui agisce tale forza"(Bar et al. (1994), Ruggero et al. (1985)); Andersson (1990) osserva che idee simili riguardo alla gravità permangono fino ai 15 anni.

Ricerca del 1994

Obiettivo: ricercare e interpretare le idee di senso comune dei bambini riguardo al peso e alla caduta dei gravi, verificando il ruolo della Terra nel processo di caduta libera.

Metodologia e campione: la ricerca è stata realizzata in base alle interviste di 400 bambini dai 4 – 13 anni.

Da questo lavoro emerge un'idea alternativa sulla caduta dei gravi: quella di "reverse gravity", che lega i concetti di caduta dei corpi, gravità e supporto in un modo diverso. Gli oggetti cadono perchè non c'è abbastanza gravità per "tenerli su", ossia la gravità è quella forza che esiste nello spazio e sostiene tutte le cose, impedendo loro di cadere. Anche in bambini più piccoli è stata riscontrata quest'idea, alcuni inoltre danno un doppio ruolo alla gravità: "far cadere" alcuni oggetti, e contemporaneamente "sostenere su" e impedire la caduta di altri. Viene infine messo in evidenza come le idee dei bambini non contemplino una "mutua interazione gravitazionale", ma piuttosto unidirezionale come è stato evidenziato anche nelle prime ricerche di questa tesi (capitolo 5).

---

elettrico.

[18] Nei primi due casi le risposte possono essere interpretate (si veda il capitolo 5) nei termini di *causa efficiente* e *contingente* (Halbwachs (1971), Bachelard (1949), Besson (2004)), ossia i bambini non si preoccupano della causa efficiente, ma piuttosto di quella contingente, come la persona che "lascia andare" la pallina.

Già nelle ricerche precedenti a quella di Bar, Andersson (1990) mette in evidenza che i ragazzi presentano delle difficoltà nel concepire ed accettare la conservazione del peso. Bar evidenzia in questa ricerca alcune idee comuni dei bambini sul peso, quali: il supporto, la pesantezza e leggerezza, il peso come una forza di pressione, la necessità di un mezzo per trasmettere le forze (in assenza di aria non c'è il peso). La forza di gravità è associata con la caduta dei corpi, il peso agli oggetti che vengono identificati come pesanti; infatti il concetto di pesantezza e leggerezza è inteso come una proprietà dei corpi.

All'età di 5-7 anni la caduta dei corpi è vista, secondo il modello di Whitelock (1991) come un moto naturale: gli oggetti cadono perchè manca il supporto. In questa fascia d'età i bambini definiscono il peso come una "forza di pressione", o "una forza che supera la resistenza". Mentre i più grandi lo definiscono come un ammontare di materia, simile alla massa, però slegato alla forza di gravità.

All'età di 7-9 anni si ha un profondo cambiamento nella concezione del peso: il 75% dei bambini hanno compreso che un pezzo di plastilina non cambia quando viene trasformata.

Il concetto di peso quindi non è identificato solo come una percezione concreta della pressione esercitata sulla mano, ma come una proprietà degli oggetti che contengono una quantità di materia "*il peso è quanto può contenere ...*". Questo cambio nella concezione del peso è connesso al cambio delle motivazioni della caduta dei gravi: il concetto di "pesantezza" è visto come causa della caduta dei corpi. Secondo gli autori il modello basato sul senso comune della "caduta in mancanza di supporto" permane ancora, ma il concetto di supporto è specificato nel senso che "solo gli oggetti pesanti cadono quando non sostenuti"[19].

All'età di 9-13 anni la causa della caduta degli oggetti sulla Terra è attribuita invece alla forza attrattiva della Terra che agisce sul peso dell'oggetto: l'oggetto cadrà se è pesante.

Riguardo alla non caduta degli oggetti lontani dalla Terra gli autori osservano che nella fascia d'età dai 9-13 anni sorge una nuova idea: gli oggetti lontani dalla Terra non cadono sulla Terra perchè non sono soggetti alla forza di gravità, infatti l'atmosfera viene considerata come limite dell'azione della forza di gravità.

Nelle nostra attività (capitolo 5) si è potuto osservare la concezione dell'atmosfera come limite dell'azione gravitazionale, mentre è emerso che diversi bambini già in età inferiore ai 9 anni menzionavano la gravità come causa della caduta dei corpi.

Una ricerca successiva (Galili (2001)) mira alla distinzione tra la forza gravitazionale e il peso, discutendo anche da un punto storico le definizioni di peso e le implicazioni didattiche.

---

[19] A nostro avviso il concetto di "supporto", come specificato prima, si riferisce all'interpretazione del fenomeno considerando soltanto la causa contingente e non efficiente, quindi non può essere considerato un modello.

2.4.2 Il campo magnetico e i modelli del magnetismo

I modelli del magnetismo secondo Erikson (1994): livello scuola primaria - media

Obiettivi del lavoro: esplorare in dettaglio la natura della relazione tra "practical work" e apprendimento scientifico, ricercando differenze nella progressione di tale apprendimento nei bambini.

Campione: 120 bambini in ognuno dei 3 livelli considerati: grade 4° (9 anni), grade 7° (12 anni), grade 10° (15 anni). Metodologia: problem-solving.

In gruppi di due i bambini dovevano risolvere il seguente problema: "Quale dei tre magneti presentati (simili in dimensioni, massa e aspetto) è il più forte?"

Constatando i seguenti tre modelli (classificati nella tesi di dottorato di Karen Meyer (1991)):

- **modello del tirare** ("*pulling model*", figura 22): è il più primitivo, si rifà alla semplice fenomenologia osservata dell'attrazione, vista in un senso "animistico" (capacità del magnete: "suking", "pulling")
- **modello dell'emanazione** ("*emanating model*", figura 23): il secondo e terzo modello sono un livello di ragionamento o interpretazione maggiore, in quanto riescono a spiegare la fenomenologia, ammettendo l'esistenza di un semplice meccanismo per spiegare un'azione a distanza attraverso dei "raggi" o un sottile fluido emanato dal magnete interagisce con i metalli e produce una forza attrattiva.
- **modello chiuso o limitato** ("*enclosing model*", figura 24): in questo modello vediamo tali "raggi" dissiparsi e creare una "definita area di influenza"[20]. Negli studi di Meyer[21] (1991) alcuni dei ragazzi si riferiscono a quest'area in termini di campo magnetico.

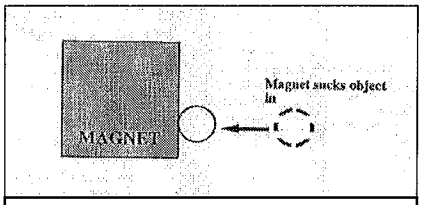


Figura 22: il magnetismo come tirare ("*pulling model*", Erikson (1994))

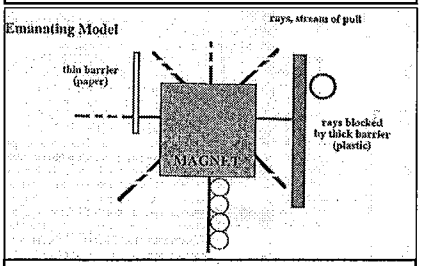


Figura 23 : modello dell'emanazione ("*emanating model*", Erikson (1994))

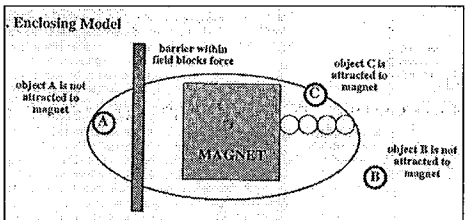


Figura 24: modello chiuso o limitato ("*enclosing model*", Erikson (1994))

I modelli di magnetismo secondo Borges & Gilbert (1998)

Obiettivo: sui modelli di magnetismo e sulla interpretazione microscopica dell'origine del magnetismo naturale.

Metodologia e campione: La ricerca, condotta in Brasile nel 1994 con ragazzi di scuola superiore (9 ragazzi di 15 anni e 9 di 18 anni), di istituti tecnici (10 ragazzi), con insegnanti di scuola secondaria (11), tecnici (10) e ingegneri (7). L'indagine è stata svolta utilizzando un protocollo aperto di intervista (interviste semi-strutturate) proponendo ai ragazzi una situazione concreta (un magnete

[20] Questo modello può essere messo in relazione al modello di "nuvola" definito da Borges e Gilbert (1998)

che viene avvicinato ad un pezzo di ferro appoggiato sul banco), e adottano la metodologia POE (prediction-observation-explanation).

Vengono evidenziati cinque schemi mentali.

a) Magnetismo come tirare.

I ragazzi più giovani evidenziano quello che gli autori chiamano modello del "magnetismo come tirare". Mostrano che tale spiegazione non fornisce capacità previsionali, in genere è accompagnata dal riconoscimento dei soli effetti di attrazione tra magneti o tra magneti e oggetti ferromagnetici. Non viene invece riconosciuta l'esistenza dei poli magnetici e della varietà della fenomenologia delle interazioni magnetiche (es.: repulsione tra poli opposti). Aggiungono inoltre che i magneti attraggono gli altri corpi "perché è nella loro natura" produrre tali effetti. Questo modo di guardare ai fenomeni magnetici può considerarsi un primo stadio (modo spontaneo, ingenuo, immediato).

Tale modello era già stato evidenziato da precedenti studi (Erickson (1994)).

b) Il magnetismo come "nuvola" o regione di influenza.

Il magnetismo come nuvola o regione di influenza (figura 25) coinvolge il concetto di campo per interpretare l'interazione tra magneti e oggetti ferromagnetici. In tale modello, evidenziato da ragazzi più grandi (13-14 anni), è previsto che un magnete eserciti una forza attrattiva su alcuni oggetti in una regione di estensione limitata ad esso attigua. Quando l'oggetto è posto al di fuori di detta regione il magnete non esercita alcuna influenza sull'oggetto stesso. Anche in questo modello, dicono gli autori, non vengono previsti i poli magnetici.

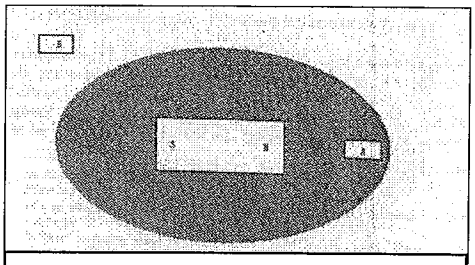


Figura 25: il modello del magnetismo come "nuvola" o regione di influenza (Borges & Gilbert (1998)).

Gli autori evidenziano una analogia in questo modo di considerare il magnetismo e il modo con cui spesso viene rappresentata la gravitazione. Essi evidenziano inoltre che le proprietà magnetiche dei magneti vengono assunte dai ragazzi come proprietà intrinseche dei magneti che non necessitano di spiegazione.

c) Il magnetismo come elettricità.

Il modello "magnetismo come elettricità" (figura 26) è tipicamente evidenziato da quei ragazzi (e quegli adulti) che hanno già affrontato a scuola i fenomeni elettrostatici. Emerge però anche in un contesto di vita

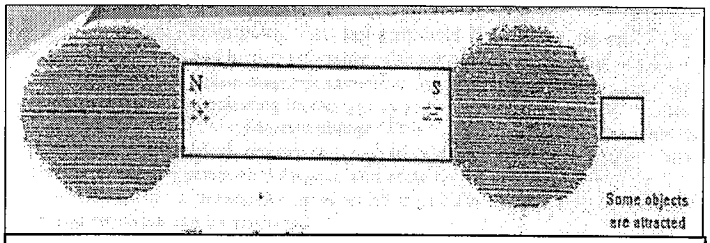


Figura 26: il modello del magnetismo come elettricità (Borges & Gilbert (1998)).

[21] Meyer teorizzò questi 3 tipi di modelli nella sua ricerca di dottorato svolta con bambini dai 9 ai 14 anni.

quotidiana in cui i fenomeni elettrostatici sono comunque più presenti di quelli magnetici. Esso prevede il riconoscimento dei poli magnetici e la loro identificazione con zone in cui ci sono eccessi di cariche positive e negative rispettivamente. È un modello che non implica una visione microscopica della materia, ma resta ad un livello macroscopico. Questo modello viene anche evidenziato da chi si rende conto che i fenomeni magnetici e quelli elettrici sono di diversa natura. In questo caso esso viene evocato in senso analogico o metaforico (il magnetismo è come l'elettricità, o è un tipo di elettricità).

Si può qui aggiungere quanto emerso in precedenti ricerche (Haupt (1952), Barrow (1987)) in cui era stato già evidenziato che i ragazzi tendono ad identificare il magnetismo e la gravitazione. Anche qui si tratta di una identificazione spesso espressa in forma metaforica.

d) Il magnetismo come polarizzazione elettrica

Tale modello (figura 27) è caratterizzato dall'uso di un meccanismo più elaborato per spiegare il fenomeno osservato, importato dal dominio dell'elettrostatica. Si evidenzia in ragazzi che hanno già studiato almeno tre anni fisica, in insegnanti, in ingegneri. Si differenzia dal precedente, perché fornisce una spiegazione microscopica del magnetismo. I fenomeni magnetici sono spiegati assumendo che vi sia una separazione di cariche elettriche positive e negative nel magnete dando luogo ai poli magnetici. Ciò può valere solo se si assume che il magnete sia fatto di materiale non conduttore, ma questo non sembra creare problemi ai soggetti che hanno evidenziato il modello.

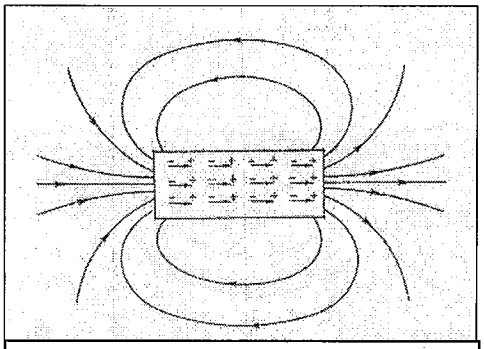


Figura 27: il modello del magnetismo come polarizzazione (Borges & Gilbert (1998)).

Per spiegare l'induzione magnetica si suppone che il magnete agisca su un oggetto metallico orientando le sue cariche così da creare una estremità con cariche positive e una con cariche negative (il normale processo di polarizzazione elettrica in un conduttore). Infatti molti soggetti osservano che l'oggetto attratto era un conduttore elettrico. L'interazione include poli positivi e negativi così che si possono spiegare sia l'attrazione sia la repulsione. I soggetti che presentano questo modello assumono che solo il magnete sia elettricamente polarizzato e spiegano l'azione su un oggetto non magnetizzato con l'azione di un campo. Questo modello consente di spiegare numerosi effetti e consente previsioni, richiama inoltre da vicino il modello di Coulomb per il magnetismo.

e) Il magnetismo come campo

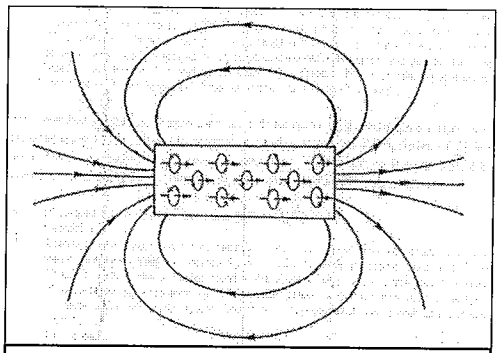


Figura 28: il modello del magnetismo come campo (Borges & Gilbert (1998)).

In questo modello (figura 28) l'interazione diretta tra un magnete e un oggetto é sostituita da una mediazione del campo. Qui il magnetismo esiste a livello microscopico come risultato di particelle cariche che si muovono negli atomi presenti nel magnete. Attrazione e repulsione sono riconosciute, come pure la natura dipolare dei magneti. Nella maggior parte dei casi il modello non é completamente strutturato: prevalentemente il meccanismo con cui il campo interagisce con la materia non é chiaro anche per quelli laureati in fisica. Così molti sono soliti usare ancora il modello dell'interazione a distanza. Si riconoscono tre modelli per spiegare l'origine del magnetismo:a) microcorrenti (tipo modello di Ampere spesso indicato nei libri di testo), b) esistenza di piccoli dipoli magnetici permanenti all'interno del magnete (ricorda il modello di Weiss), c) spin e momento magnetico.

I M Greca & M A Moreira, (1997), "The kinds of mental rapresentations-models, propositions and images-used by college physics students regarding the concept of field", *Int. J. Sci Educ.*, 19 (6), pag. 711-724

Obiettivo: Questa ricerca mira a investigare le costruzioni e i cambiamenti concettuali che favoriscono l'apprendimento dei concetti scientifici in particolare in relazione al concetto di campo. Nello specifico si vuol ricercare a quale livello di rappresentazione (proposizioni, immagini e modelli mentali), gli studenti operano riguardo al concetto di campo, in particolare nel dominio dell'elettricità e del magnetismo.

Metodologia e campione: test e discussioni in classe e individuali su 5 esperimenti realizzati in laboratorio, interviste individuali a fine corso. L'indagine è stata condotta su studenti del secondo anno di ingegneria (24 che hanno concluso e passato il corso – 10 si sono ritirati e non sono stati esaminati) osservati durante un semestre (marzo-giugno 1994) di elettricità e magnetismo in relazione al livello di rappresentazione mentale che essi usarono quando risolvevano problemi e questioni proposte nelle guide di studio e in quiz di valutazione. Nel semestre successivo è stato somministrato un testo per 30-45 minuti e in seguito dei problemi da risolvere in gruppo (max 4 studenti).

Riteniamo molto interessante investigare le costruzioni e i cambiamenti concettuali che favoriscono l'apprendimento del concetto di campo, e in particolare ricercare a quale livello di rappresentazione

(di proposizioni, di immagini o di modelli mentali) gli studenti operano riguardo a tale concetto nell'elettricità e del magnetismo.

Dai risultati emerge che gli studenti di college lavorano più con proposizioni, che non sono poste in relazioni a o interpretate con modelli mentali[22] (ci sono anche studenti che tali correlazioni le fanno). Alcuni sanno operare con immagini per prefigurare soluzioni anche se non sanno trovarle poi matematicamente. Infine alcuni studenti riescono a organizzare modelli parziali, ma non riescono a raggiungere livelli organizzativi superiori[23].

Ci sono studenti che sviluppano modelli simili a quelli degli specialisti, e si differenziano da questi perché tali modelli sono semplicemente meno estesi; d'altro canto quelli che non sviluppano tali modelli mostrano una costruzione concettuale povera e procedono per prova ed errore, raggruppamenti, procedure euristiche, ecc..

Non è stata rilevata correlazione tra le tecniche di *problem solving* e la costruzione di modelli, ma piuttosto tra questi e i concetti; ciò forse è dovuto al tipo di problemi proposti, che sono di tipo tradizionali, non concettuali, ma piuttosto di calcolo[24].

In questa ricerca non viene però fatto un approfondimento sui concetti della fisica coinvolti, vengono realizzate le categorie di modelli mentali ponendo come esempio frasi di ragazzi senza osservare alcune incongruenze che riteniamo importanti, dal nostro punto di vista. In particolare: 1) in nessun caso si fa menzione della distinzione tra campi polari e dipolari; 2) non viene evidenziato che il campo elettrico e magnetico non dipendono dalla distanza nello stesso modo come afferma questo ragazzo[25]: "*I just cannot imagine the lines of force of a field. I define the electromagnetic field from Maxwell equations. But I could also start with them and deduct the whole course.... There is an amazing analogy between the electric and magnetic fields. Both follow inverse square laws...*[26] "; 3) non viene evidenziato che le linee di campo non sono linee di forza nel caso del campo magnetico, né si pone attenzione quando si parla delle rappresentazioni grafiche del campo attraverso le linee di campo alle differenze nei due casi (elettrico e magnetico), ma viene così definita la categoria A2 (pag 717): "Imagine the lines of force of the electric and magnetic fields[27] in a way similar to that presented in the textbooks; tend to adapt the graphical representations of the electric field for the magnetic case. Examples: "*I can understand* ***B*** *thinking in lines of force*[14]*, as*

[22] Ossia lavorano con formule senza porsi il problema del loro significato.

[23] Questi studenti sembrano cominciare a usare immagini mentali associate con tali concetti.

[24] Chi ha uno stile proposizionale riesce a risolvere efficientemente questi problemi.

[25] pag 717, frase posta come esempio della categoria A (prima ricerca): si creano un modello "di lavoro" per il campo elettromagnetico

[26] il campo elettrico di una carica isolata dipende dall'inverso del quadrato della distanza, mentre sia il dipolo elettrico che quello magnetico dipendono dall'inverso del cubo della distanza

[27] Come verrà ampiamente spiegato nel capito 3 chiamare le linee di campo magnetico linee di forza risulta non solo non corretto (in quanto la forza in questo caso, a differenza da quello magnetico, non ha la stessa direzione del campo),

those of the electric field, and it ends up easier than the electric field ", "In the electromagnetic field I can imagine lines of force[27]*, where the components cannot be separated.", "The magnetic field has a treatment similar to that of the electric field, however, now the generating charges are in motion", "I always make a diagram before, using lines of force*[14]*, identifying the directions of the vectors: Then, I put the data and after I look for the formulae. If I don't do this way, it doesn't work"."*

Riteniamo comunque interessante la necessità che emerge nei ragazzi di crearsi una rappresentazione del campo magnetico: *"I play with the formula and the visualization of the problem", "I don't see the physics of the Maxwell equations. I am remembering only the formulae. Before, I used to imagine what was going on."; "It's difficult to imagine the magnetic field, much more the electromagnetic field"*

I modelli interpretativi della fenomenologia magnetica (Guisasola et al. (2003))

Nel paragrafo 2.3 abbiamo già illustrato i quattro modelli interpretativi della fenomenologia magnetica individuati da Guisasola: concezione iniziale del magnetismo, modello delle linee di campo come entità reale, concezione "elettrica", concezione "amperiana".

Maarouf, A. and Benyamna, S. (1997) "La construction des sciences physiques par les representations et les erreurs: cas des phenomènes magnétiques" *Didaskalia*, 11 , pp. 103-120

Obiettivo della ricerca è analizzare le rappresentazioni che i ragazzi si costruiscono nell'interpretazione dei fenomeni magnetici, in particolare la magnetizzazione e smagnetizzazione dei materiali ferromagnetici, l'interazione magnetica e l'induzione magnetica.

E' stato somministrato un test scritto a 40 ragazzi divisi in quattro gruppi di 10 di età dai 13 ai 20 anni, mentre sono state realizzate delle interviste individuali con 20 ragazzi delle stesse età.

Rispetto alla magnetizzazione i risultati evidenziano che i ragazzi hanno la necessità di rappresentarsi un mediatore dell'interazione magnetica, ossia considerano che la magnetizzazione avviene grazie a un mediatore che determina il passaggio di "qualcosa". Le proprietà attribuite al mediatore possono essere diverse: 1) 9 alunni del 1° gruppo (13-15 anni) considerano il mediatore come qualcosa di astratto e richiamano nozioni di "energia" o "forza"; 2) gli studenti del 2° gruppo (14-16 anni) e parte del terzo (16-18) considerano il mediatore sempre come qualcosa di astratto ma lo definiscono come "proprietà del magnete" o "magnetizzazione"; 3) quattro ragazzi del gruppo secondo invece lo identificano come una forma di materia ("elettroni", "ioni", "materia magnetica"); 4) tutti i ragazzi del 4° gruppo (18-20 anni) e parte del terzo (5 ragazzi) attribuiscono una proprietà materiale al mediatore identificandolo unicamente a dei portatori di cariche elettriche, questi ragazzi considerano che quando il magnete viene a contatto con le graffette passano delle

---

ma, secondo noi, didatticamente infruttuoso, perché non favorisce l'introduzione (e soprattutto la comprensione della necessità di tale introduzione) di un nuovo concetto diverso dalla forza (il campo appunto) e di distinguerlo da essa.

cariche dal magnete alla graffetta. Globalmente gli studenti identificano il magnete come sorgente del campo magnetico o grazie alla propria natura del magnete, oppure in quanto i corpi interagiscono in base alle differenti cariche elettrostatiche.

Riguardo l'interazione magnetica le situazioni proposte sono di tipo attrattivo rispetto ai materiali ferromagnetici (figura 29) mentre per quanto riguarda un ago magnetizzato (bussola) vengono presentare situazioni che dovrebbero far emergere anche la repulsione e la rotazione (figura 30). Dalle risposte dei ragazzi in nessun caso emerge il riconoscimento della rotazione dell'ago magnetizzato quando i poli affacciati sono uguali, mentre in alcuni casi viene riconosciuta la repulsione. Nell'articolo non viene messo in evidenza questo aspetto, gli autori si focalizzano sulle rappresentazioni che gli studenti si costruiscono nell'interpretazione dell'interazione magnetica in base alle esperienze proposte, da cui emerge che c'è la tendenza a considerare il magnetismo come un'entità astratta oppure una sostanza localizzata in alcuni precisi punti del magnete. Quest'entità viene chiamata o "forza" o "materia del magnete", sarebbe stato interessante vedere se con un'attività più specifica mirata al riconoscimento dei due effetti dell'interazione magnetica (anche la rotazione e non solo l'attrazione) i ragazzi continuano a considerare il magnetismo come "forza" ("*J'explique cette experience* [attraction entre l'aiguille aimantée et le barreau de fer*] par le fait que l'aimant laisse une force dans l'aiguille dans un certain temps, ce qui permet au fer d'attirer l'aiguille parce que la force se trouve toujours dans l'aiguille*", "*la cause de la repulsion est que les deux extremités ont la meme charge électrique ... La repulsion est due à des charges qui sont identiques et l'attraction à des charges qui sont opposées*").

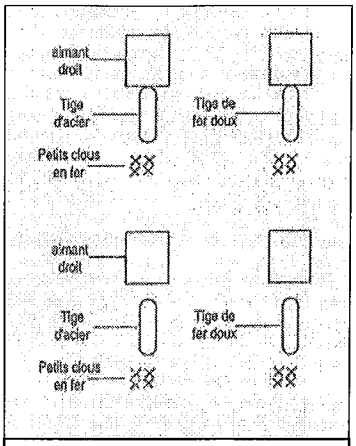


Figura 29: un magnete viene avvicinato a una graffetta e a dei chiodi di ferro, descrivi e spiega i fenomeni osservati (da Maarouf et al. (1997)).

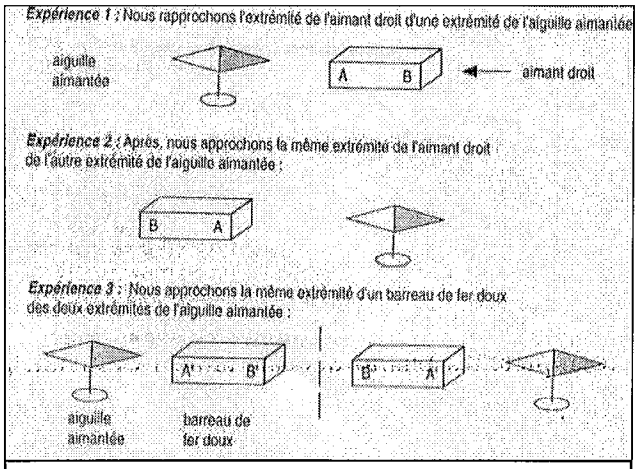


Figura 30: quesito proposto sull'interazione magnetica: si avvicinano successivamente le due estremità di un magnete a un ago magnetizzato, in seguito viene riproposto lo stesso esperimento con un pezzo di ferro al posto del magnete.
Descrivi e spiega i fenomeni osservati
(tratto da Maarouf et al. (1997)).

Bagheri-Crosson, R., Venturini, P. (2006) "Analyse du raisonnement d'étudiants utilisant les concepts de base de l'électromagnétisme" *Didaskalia* n°28, pp 33-53

Questa ricerca si pone come obiettivo studiare i ragionamenti degli studenti del secondo anno di università riguardo ai concetti di base dell'elettromagnetismo. In particolare, attraverso delle interviste registrate e poi trascritte, sono stati analizzati i ragionamenti di 17 studenti rispetto al campo magnetico in diverse situazioni proposte (induzione magnetica, l'azione di un campo magnetico su una corrente, propagazione del campo magnetico).

Viene illustrato in modo approfondito il quadro teorico in cui si situa la ricerca, ma non viene fatta nessuna analisi di contenuto sui concetti fisici coinvolti. Gli autori fanno riferimento alla teoria dei campi concettuali[28] di Vergnaud (Vergnaud (1990)) per identificare gli "invarianti operatori" (*invariants opératoires*) utilizzati dagli studenti e la loro organizzazione logica e coerenza.

I risultati mostrano che gli studenti più frequentemente formulano (43%), a volte combinandoli (27%), gli invarianti operatori legando un elemento del reale a un elemento concettuale, oppure legando due elementi concettuali affrontati nella scuola secondaria (questi sono enunciati formalmente e in modo generico senza una comprensione dei concetti fisici ai quali si riferiscono). Molto più raramente invece (3%) gli invarianti sono enunciati in modo significativo e parzialmente contestualizzato, combinandoli tra di loro e richiamando anche i concetti affrontati a livello universitario.

Gli autori infine evidenziano globalmente diversi problemi, quali: l'uso delle formule, l'assenza di contestualizzazione, il raro richiamo a conoscenze universitarie, l'assembramento senza combinazione degli invarianti operatori nei ragionamenti, l'assenza di controllo sui ragionamenti effettuati.

2.4.3 Il campo elettrico.

Anche se questa tesi di dottorato tratta prevalentemente i campi gravitazionali e magnetici, per completezza diamo qui una sintesi di alcuni problemi di apprendimento rilevati in letteratura, pur non entrando nei dettagli di ogni singola ricerca.

Come abbiamo già sottolineato nel paragrafo 2.2, l'analisi delle difficoltà nella comprensione e utilizzazione delle linee di campo viene in realtà fatta prevalentemente per il campo elettrico (identificazione delle linee di campo con le traiettorie, Tornkwist et al. (1993)).

Anche la difficoltà di comprendere e applicare il principio di sovrapposizione dei campi è studiata per il campo elettrico (Viennot & Rainson (1999)) ed è stata già illustrata nel paragrafo 2.3, unito agli ostacoli individuati : il campo solo se c'è movimento (questo è dovuto al fatto che ragionano spesso come se una causa non esistesse se non nel caso di un effetto manifesto) e la "causa nella formula. Inoltre da queste ricerche emerge anche la difficoltà dei ragazzi nella comprensione e applicazione del Teorema di Gauss.

Altre ricerche (Solbes & Martín (1991), Guisasola et al. (1999)) mettono in evidenzia le difficoltà degli studenti universitari di comprendere il significato fisico del campo indipendentemente dalla

[28] Verganud definisce il campo concettuale come "un sensemble de situations dont les traitements impliques des

forza, infatti la maggior parte di loro identifica il vettore intensità del campo elettrico con la forza esistente tra le cariche in questione. Infatti quando viene richiesto loro di discutere e disegnare il campo generato da una carica posta in un punto dello spazio in diverse situazioni (l'intensità della carica diversa, tra cui anche l'assenza di carica), si ha solo un 2%-5% di risposte corrette a questo proposito, in quanto la maggior parte affermano che se non c'è carica allora non c'è campo.

Questo viene confermato quando viene chiesto agli studenti di confrontare i campi e le forze esercitate reciprocamente da due cariche Q1 e Q2 di intensità diversa: si ha solo un 26-31% di risposte corrette, mentre la maggior parte dei ragazzi non distingue chiaramente la forza dal campo: sembra che il campo serva solo per calcolare la forza, pertanto risulta un mero artificio, anche più complicato della forza; non viene quindi compreso né il suo significato né la sua utilità.

Diverse ricerche (Steinberg (1992), Benseghir & Closset (1996), Furio & Guisasola (1999)) invece considerano le difficoltà di apprendimento nel concetto di campo e di potenziale elettrico: spesso gli studenti considerano il potenziale come una conseguenza del flusso di cariche più che come a una sua causa, per cui se un circuito è aperto affermano che la differenza di potenziale è zero.

Infine sono stati rilevati i problemi di apprendimento legati al campo elettrico e ai circuiti (Rainson et al. (1994), Eylon & Ganiel (1990), Psillos (1995)), ossia a difficoltà degli studenti a connettere i concetti appresi in elettrostatica e quelli dei circuiti elettrici, che vengono invece considerati temi non relazionati e soprattutto indipendenti. Sembra che anche il concetto di campo elettrico è fortemente legata e condizionata dalla natura del fenomeno: il campo elettrico non è lo stesso concetto quando le cariche sono stazionarie o quando si muovono su un filo.

schèmes, concepts et théorèmes en étroite connexion".

2.5 Correlazione tra i vari tipi di campo nelle concezioni degli studenti

2.5.1 Correlazione tra gravità e magnetismo

(Bar et al. (1994), (1997), Borges & Gilbert (1998), Galili (2001))

Tra le difficoltà evidenziate in letteratura riguardo questi due tipi d'interazione, diversi studi (Nussbaum (1976), Arnold et al. (1995), Bar et al. (1994), (1997), Galili (2001), Palmer (2001)) negli ultimi venti anni, hanno analizzato le idee di senso comune dei bambini e dei ragazzi sulla gravità e la sua relazione con il magnetismo. Questi studi mostrano come gli studenti (9-18 anni) identificano effetti gravitazionali con quelli magnetici, considerando l'attrazione gravitazionale come una magnetica. Essi inoltre legano la gravità al magnetismo, considerando la gravità come necessaria per l'esistenza del campo magnetico sulla Terra (unicità del sistema Terra); infatti diversi bambini affermano che "la calamita non funziona senza la gravità", mentre altri che "l'elettrostatica non funziona senza la gravità", instaurando in quest'ultimo caso un legame tra la gravità e l'elettrostatica.

Le ricerche di Bar et al. (1997), illustrate nel paragrafo 2.2.2, mettono in evidenza l'associazione che i ragazzi fanno della gravità e del magnetismo, unendo spesso anche il fattore aria come necessario per l'interazione sia gravitazionale che elettrica (come un mezzo per la trasmissione della stessa).

In particolare viene proposta una domanda riguardo all'interazione magnetica sulla luna: *un astronauta è sulla superficie della luna e con una calamita tenta di attrarre dei chiodi.* Tra i ragazzi intervistati (dai 9 ai 18 anni) la maggior parte (71%) rispondono che l'astronauta non riuscirà a far attrarre i chiodi, dando diverse spiegazioni: perché il magnete non può funzionare senza né aria né gravità (29%), perché sulla luna non c'è gravità per cui il magnete non può funzionare senza gravità (45%), perché sulla luna non c'è aria e quindi il magnete non può funzionare senza aria, perché il magnete funziona solo sulla Terra, in quanto la terra ha poli magnetici.

2.5.2 Correlazione tra magnetismo ed elettrostatica: le idee degli studenti sul magnetismo descritte attraverso effetti elettrostatici.

Diversi studi (Borges & Gilbert (1998), Furio et al. (2001), Guisasola et al. (2003), (2004), Maloney (1985), Maloney et al. (2001)) mettono in luce le difficoltà di apprendimento legate al concetto di campo magnetico e la confusione tra magnetismo ed elettrostatica anche all'università o negli ultimi anni della scuola secondaria, come: la descrizione del campo magnetico mediante le rappresentazioni del campo elettrico (Guisasola et al. (2003)); i modelli del magnetismo in termini di effetti elettrostatici (Borges & Gilbert (1998)).

Alcuni autori (Bar et al. (1997)) considerano che il "legame tra l'elettricità ed il magnetismo debba essere enfatizzato durante l'insegnamento, per favorire negli studenti la comprensione della spiegazione di Ampere per il magnetismo. In questo modo si pone in relazione il magnetismo con le micro-correnti e le particelle di materia con le onde elettromagnetiche.

Altri invece (Maloney et al. (2001)) evidenziano l'identificazione dei poli con delle cariche elettriche (Maloney (1985)) e le difficoltà nel riconoscere le fonti del magnetismo e su quali oggetti/sistemi il campo magnetico agisce (Guisasola, Maloney), ritenendo necessario aiutare i ragazzi ad abbandonare analogia con l'elettrostatica per comprendere il magnetismo.

Nel paragrafo 2.3 abbiamo già illustrato le ricerche di Guisasola dove viene messo in evidenza che gli studenti non comprendono le differenze tra il campo elettrico e magnetico, in particolar modo riguardo ai loro effetti, per esempio attribuiscono effetti elettrici a un campo magnetico stazionario: il 76% degli studenti del primo anno di ingegneria, e l'82% di quelli del terzo anno ritengono che un magnete generi una forza su una carica ferma (Guisasola et al (2003)).

La confusione tra questi due campi emerge anche dalla convinzione degli studenti che un filo percorso da corrente generano un campo elettrico dovute alle cariche che si muovono in quanto sono percorsi da un'intensità di corrente. I risultati delle ricerche (Pais de Sousa, citato in Guisasola et al. (2003)) dimostrano che solo il 20% di studenti di primo o terzo anno di università rispondono correttamente alla domanda[29] riguardo l'interazione attrattiva o repulsiva di due fili percorsi da corrente nello stesso verso o di verso opposto; la maggior parte dei ragazzi considera che l'interazione sia elettrica, mentre quella magnetica sia nulla.

Dettagli sulle ricerche

Maloney, D.P. (1985) "Charged poles?" *Physics Education* (20) pag. 310-316

Questo articolo mira ad analizzare, attraverso un questionario, le difficoltà dei ragazzi (204 studenti per la maggior parte di biologia, chimica e psicologia tra i 19-20 anni, tra cui una parte aveva già fatto un corso di elettromagnetismo) di comprendere le interazioni tra i magneti, in particolare focalizzandosi sull'identificazione dei poli con le cariche elettriche, che porta alla convinzione che i poli magnetici possano esercitare delle forze elettriche sulle cariche elettriche. I risultati di entrambi i gruppi sono molto simili e evidenziano la tendenza ad associare i poli con le cariche elettriche, in particolare il polo nord viene generalmente identificato come positivo (quindi capace di attrarre le cariche negative).

[29] Il problema proponeva di descrivere l'interazione attrattiva o repulsiva di due fili percorsi da corrente (di verso uguale o opposto) scegliendo una delle seguenti due risposte: a) l'interazione elettrica è nulla e quella magnetica attrattiva/repulsiva; b) l'interazione elettrica è attrattiva/repulsiva, e quella magnetica nulla.

2.6 La necessità dei bambini di rappresentarsi l'azione di una sorgente di campo attraverso l'elemento grafico.

Diverse ricerche evidenziano la necessità dei bambini di rappresentarsi il campo o l'azione di una sorgente (in particolare elettrica o magnetica) nello spazio circostante attraverso l'elemento grafico: delle linee. Tali linee possono essere di varia forma: tratteggiate, continue, ...

Già negli anni '90 Erikson (1994) aveva individuato diversi modelli del magnetismo, tra cui anche il modello dell'emanazione (si veda l'*emanating-model*, figura 23), secondo il quale i bambini spiegano l'azione a distanza attraverso dei "raggi"[30] o un fluido sottile emanato dal magnete.

Alcune ricerche dell'URDF[31] sul campo magnetico alla scuola primaria:

L'URDF dell'Università di Udine ha realizzato diversi studi sul magnetismo nella scuola primaria (Scialino (2004), Fedele et al. (2005), Michelini (2004), (2006)). L'impostazione di queste ricerche, mirata al pensiero formale, è basata su dei laboratori cognitivi CLOE[32] (Cognitive Laboratories of Operative Exploration), come strumenti di indagine che, grazie alla combinazione di richieste sul piano grafico e scritto, forniscono delle indicazioni sulle rappresentazioni dei bambini e sui modelli a cui queste fanno riferimento.

Nella tesi di laurea di Emanuela Scialino (2004) sono emersi diversi modelli interpretativi che i bambini utilizzano nel rappresentare l'interazione magnetica, in particolare è stata evidenziata la necessità dei bambini di rappresentarsi tale interazione con l'elemento grafico (figure 31-35).

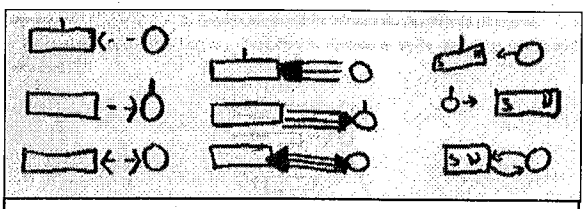


Figura 31: disegni dei bambini del primo gruppo [Scialino (2004)]

Ai bambini (46 bambini di 9-10 anni) veniva richiesto di fare delle previsioni e disegnare su dei fogli quello che sarebbe successo in tre particolari situazioni: 1) tengo ferma una calamita sul tavolo e le avvicino una pallina di acciaio; 2) tengo ferma la pallina e avvicino la calamita; 3) avvicino lentamente sia la calamita che la pallina l'una all'altra.

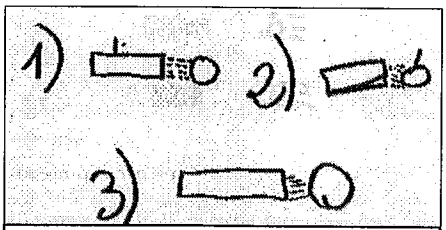


Figura 32: disegni dei bambini del secondo gruppo [Scialino (2004)]

[30] Nelle nostre ricerche (capitolo 6) in un caso è emersa la necessità di un bambino di descrivere l'azione attrattiva della Terra attraverso dei "raggi" (che sembrerebbero in questo caso quasi dei precursori dell'idea delle linee di campo):

D .. au début vous avez dit que les choses tombent...
B4 ah oui c'est que la Terre est un peu aimantée...
D: la Terre est un peu aimantée..
B3 mais non si je fais tomber.. ce n'est pas la Terre qui...
B4 non ... mais c'est des rayons...

[31] Unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università degli Studi di Udine

[32] I CLOE sono costituiti da interviste semistrutturate in un contesto di un'esplorazione sperimentale, integrate da discussioni in gruppo con parti di interviste di tipo rogersiano.

Dai risultati emerge che la metà dei bambini (24/46) rappresenta l'attrazione e/o il movimento nello stesso modo, ossia con una freccia, mentre nella terza situazione proposta in cui entrambi gli oggetti sono liberi di muoversi disegnano una doppia freccia (figura 31).

In questo primo gruppo in realtà sembra che i bambini utilizzino la rappresentazione grafica per rappresentare l'interazione e/o il movimento ma non un "qualcosa" che avvenga nello spazio, come invece è il caso del secondo gruppo (composto da 9 bambini, figura 32) che utilizza dei trattini posti tra i magnete e la biglia e sembra riconoscere il fatto che nelle tre situazioni il tipo di interazione è lo stesso. Tre bambini ripetono lo stesso disegno in tutte e tre le situazioni proposte (figura 33), mentre un quarto gruppo (composto da tre bambini) disegnano invece delle linee nel lato esterno sia del magnete che della biglia (figura 34), sembra quasi a indicare esplicitamente il movimento senza riconoscere o voler rappresentare l'attrazione (come nel primo gruppo); in questo caso il movimento potrebbe essere dovuto semplicemente alla spinta e non viene espressa in alcun modo l'attrazione.

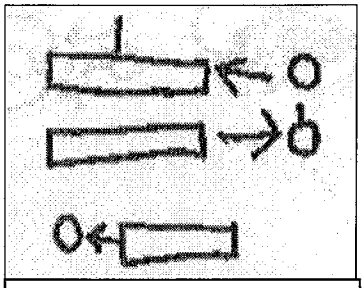


Figura 33: disegni dei bambini del terzo gruppo [Scialino (2004)]

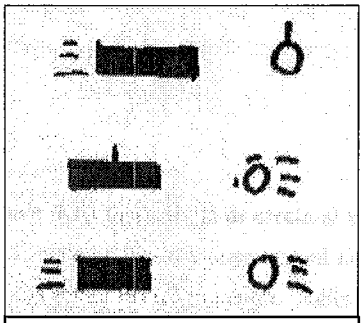


Figura 34: disegni dei bambini del quarto gruppo [Scialino (2004)]

Infine due bambini sembrano indicare una prima idea di campo o per lo meno di azione o proprietà nello spazio circostante il magnete che viene rappresentata con l'elemento grafico in due differenti modi: in un caso (figura 35 in alto) viene rappresentata con una forma che richiama quella delle linee di campo anche se le linee si richiudono al centro del magnete[33]; mentre nel secondo caso (figura 35 in basso) il bambino disegna delle linee a raggiera che sembrano rappresentare la zona di influenza dei magneti ed è molto simile al modello del magnetismo come elettricità rilevato da Borges e Gilbert (1998). Osserviamo che nel primo caso sembra che il bambino voglia rappresentare anche la bipolarità del magnete, mentre nel secondo sembra che il magnete venga considerato come un tutt'uno; sarebbe stato interessante chiedere ai bambini di prevedere e raffigurare la situazione di due magneti piuttosto che

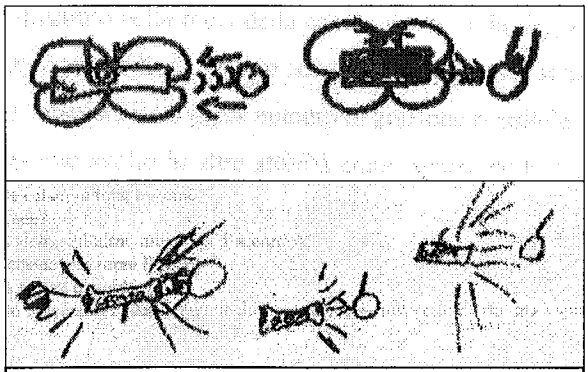


Figura 35: due bambini sembrano evidenziare una primordiale idea di campo, rappresentando delle linee simili alle linee di campo (figura in altro) oppure delle linee radiali dai poli (figura in basso [Scialino 2004]

[33] Sembra che lo stesso bambino anche durante l'attività in classe aveva fatto un disegno simile a questo e lo aveva spiegato affermando che le linee si "chiudevano" in mezzo al magnete perché i due poli erano diversi. Notiamo che la biglia viene attratta anche se è al di fuori delle linee disegnate.

di un magnete e un materiale ferromagnetico, per analizzare come viene interpretata l'interazione magnetica esplicitando tutti gli effetti di un magnete sull'altro: l'attrazione, repulsione e rotazione.

Nel caso invece di una bacchetta carica elettricamente anche i ragazzi della scuola media (Mossenta & Michelini (2006)) ricorrono spesso all'elemento grafico, rappresentando delle linee per raffigurarsi l'attrazione elettrica di piccoli pezzetti di carta: alcuni disegnano delle linee quasi radiali che partono dalla sorgente, mentre altri rappresentano solo la situazione proposta indicando con delle frecce la direzione dell'attrazione dei pezzettini (figura 36).

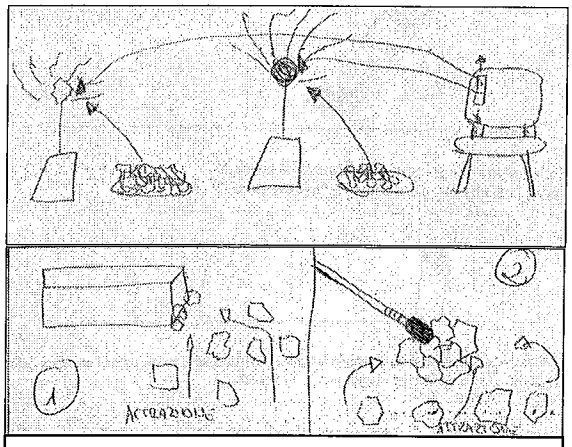


Figura 36: due esempi di disegni dei bambini riguardo l'interazione elettrica: in alcuni casi (figura in alto)vengono rappresentate delle line radiali che partono dalla sorgente, mentre in altri (in disegno in basso) viene solo indicata con una freccia la direzione dell'attrazione dei pezzetti di carta [Michelini et al (2006)].

Queste prime osservazioni sembrano indicare la necessità dei bambini di rappresentarsi un "qualcosa" nello spazio intorno al magnete e quindi l'importanza della rappresentazione grafica del campo. Non è ancora ben chiaro se questa è una necessità di rappresentarsi qualcosa nel mezzo (necessità del mezzo per trasmettere l'interazione, vedi concezione dell'aria necessaria per l'attrazione gravitazionale) oppure di rappresentarsi semplicemente l'interazione, o il movimento o la sua causa. Quello che possiamo dire è che esistono diverse rappresentazioni che possono essere legate a diversi modelli, come abbiamo accennato dai dati della tesi di Emanuela Scialino.

Fedele, B., Michelini, M., Stefanel, A. (2005) 5-10 year old pupils explore magnetic phenomena in Cognitive Laboratory (CLOE). *Proceedings ESERA conf – Barcelona*

Atre ricerche infine analizzano le idee dei bambini nell'esplorazione dei fenomeni magnetici, attraverso dei laboratori cognitivi CLOE (Cognitive Laboratories of Operative Exploration), realizzati con 295 bambini dai 5 ai 10 anni[34].

In particolare riguardo all'interazione tra due magneti emerge che la maggior parte riconosce soltanto l'attrazione, alcuni la rotazione e repulsione, mentre pochi riconoscono anche la rotazione[35]. La maggior parte dei bambini riconosce operativamente i poli, anche se la loro caratterizzazione rimane ancora problematica, infatti alcuni bambini ritengono che solo il polo Nord

[34] Il campione di 295 bambini è così suddiviso rispetto alle età: 25 di 5-6 anni, 25 di 7 anni, 36 di 8 anni, 71 di 9 e 138 di 10 anni.

attiri degli spilli, mentre quello Sud o non li attira oppure li respinge. Più della metà dei bambini riconosce la reciprocità dell'interazione osservando che il magnete attira una monetina e viceversa la monetina attira il magnete. Alcune volte il termine "campo" viene menzionato e usato correttamente nel contesto, identificandolo con l'oggetto magnetico o altre quantità fisiche, a volte viene anche identificato come una guida ("*questo magnete guida quello sospeso*") o come un "qualcosa" presente tra i magneti, anche se non è ben specificato.

2.6 Conclusioni

Come abbiamo detto nell'introduzione le ricerche in letteratura sul concetto di campo sono molto numerose, considerata la vastità dell'argomento e riguardano i diversi livelli scolari, dalla scuola primaria fino all'università.

Questi studi hanno messo in luce sia i problemi di apprendimento relativi al campo e alla sua rappresentazione, alle sue sorgenti, alla distinzione tra campo e forza, alla sovrapposizione dei campi e all'applicazione del terzo principio di Newton (Tornkwist et al. (1993), Viennot & Rainson (1992), (1999), Greca & Moreira (1998), Furio et al. (1999), Hermann et al. (2000), Galili (1995), (2001), Maloney et al. (2001), Martin et al. (2001), Guisasola et al. (1999), (2001), (2003)), sia i modelli che gli studenti si costruiscono per interpretare i fenomeni magnetici, elettrici e gravitazionali (Borghes & Gilbert (1998), Erikson (1994), Greca & Moreira (1997), Nussbaum & Novack (1976), Bar et al. (1994), (1997), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001)).

Osserviamo che non è molto frequente una riflessione sui contenuti della fisica riguardanti i campi, in particolare quello magnetico, a nostro avviso il più problematico; né vi è l'obiettivo di mettere a confronto i tipi di campo (gravitazionale, elettrico e magnetico), in base alla loro natura polare e dipolare.

Diverse ricerche evidenziano la tendenza degli studenti a identificare o ad associare i campi (o in generale i fenomeni) magnetici ed elettrici (Borges & Gilbert (1998), Guisasola et al. (2003), Maloney et al. (1998), (2001)), o quelli magnetici e gravitazionali, ma in nessun caso si è scelto di indagare il ruolo della rappresentazione grafica nel comprendere, ma soprattutto distinguere, la

[35] Gli autori propongono la ricostruzione analogica del processo di rotazione (ruotando le spalle dei bambini con le mani) per far riconoscere ai bambini che il magnete esercita sull'altro una coppia di forze.

natura dei vari campi. Al contrario, spesso invece si imputa la non comprensione del concetto di campo e della forza alla mancata comprensione delle loro rappresentazioni grafiche[36].

Anche le specifiche ricerche sulle rappresentazioni del campo (Tornkwist *et al.* (1993), Galili (1995), Greca & Moreira (1998)) attraverso le linee di campo sono incentrate principalmente sui problemi d'apprendimento relativi al concetto di campo e alla sua rappresentazione (oggettualizzazione delle linee, identificazione delle linee di campo con le traiettorie), piuttosto che utilizzare la rappresentazione del campo per identificare e/o differenziare i campi.

Sempre riguardo alle linee di campo non viene sottolineato (tranne in pochi casi) che le linee di campo non sempre sono linee di forza, come per esempio nel caso magnetico dove sono linee di momento (Guidoni (2004)). Inoltre viene studiata la distinzione tra la traiettoria e la linea di campo (Torknwist et al. (1993)), che oltre a introdurre diverse problematiche relative alle situazioni dinamiche (legate ai concetti di traiettoria, forza e velocità) non mette in luce il diverso comportamento nel caso di campo polari e dipolari[37].

Per questo nel nostro approccio (che verrà illustrato nel prossimo capitolo) abbiamo scelto di considerare piuttosto la distinzione tra la direzione di partenza di un oggetto libero di muoversi e le linee di campo; in questo caso il comportamento dei campi polari e dipolari è differente in quanto nel primo caso le due direzioni coincidono, mentre nel secondo caso no. Vedremo come il campo magnetico si presta bene a distinguere il campo dalla forza (associata alla direzione di partenza di un oggetto).

Riguardo alla forma della Terra e il suo campo gravitazionale diverse ricerche (Nussbaum & Novack (1976), Bar et al. (1994), (1997), Arnold et al. (1995), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001)) mettono in luce che la difficoltà di alcuni bambini nel concepire che l'attrazione gravitazionale è diretta sempre verso il centro, è legata a quello che secondo noi è un problema di passaggio da una visione locale a una globale della gravità (si veda il prossimo capitolo).

Infine alcune ricerche (Michelini (2004), (2006)) sembrano evidenziare la necessità dei bambini di rappresentarsi un "qualcosa" nello spazio intorno al magnete e quindi l'importanza della rappresentazione grafica del campo, anche se non è ancora ben chiaro se questa è una necessità di rappresentarsi il mezzo oppure semplicemente l'interazione, o il movimento o la sua causa.

---

[36] Nell'*abstract* dell'articolo di Tornkwist et al. (1993) si afferma che: "*It is argued that university students' diffuse ideas about the two related concepts of force and force field could be due to the lack of mastery of the graphical representation of these and related concepts*".

[37] Come abbiamo visto nei campi polari e dipolari la traiettoria è sempre distinta dalla linea di campo.

CAPITOLO 3

IL NOSTRO APPROCCIO DI RICERCA

3.1 Introduzione: i problemi di ricerca della tesi

Nel capitolo 1 sono stati messi in evidenza alcuni nodi sul concetto di campo emersi dal punto di vista storico, mentre nel capitolo 2 sono stati analizzati i problemi di apprendimento che le ricerche presenti in letteratura hanno evidenziato riguardo a questo tema.

In questo capitolo andiamo a delineare i problemi di ricerca che ci siamo proposti di affrontare, in modo trasversale, a vari livelli scolari, anche se con modalità diverse in base alle specifiche richieste e caratteristiche delle due fasce principali di età considerate (4° e 5° della scuola primaria, 5° secondaria); in seguito illustreremo i nodi disciplinari ad essi collegati.

Abbiamo dunque scelto di soffermarci principalmente su due problemi di ricerca che costituiscono l'asse di questa tesi:

1) **il potere rappresentativo delle linee di campo sia per fornire una visione globale del campo, sia per differenziare la distribuzione spaziale (ossia la "forma") delle linee di ogni campo.**

Andiamo a chiarire il duplice significato che diamo alla "visione globale del campo".

Un primo passo è considerare la visione globale dell'azione di un campo: ci proponiamo quindi come obiettivo di ricerca sondare se e in che modo la rappresentazione delle linee di campo favorisca il passaggio da una visione locale di una proprietà osservata (nel caso gravitazionale la caduta di un oggetto o l'orientazione di un pendolo sospeso a un albero, nel caso magnetico l'orientazione dell'ago di una bussola in un dato punto dello spazio) a una visione globale, ossia alla consapevolezza che esiste una proprietà in tutto lo spazio circostante la sorgente. Tale proprietà è rappresentabile attraverso una "mappatura[1]" (*mapping*) dello spazio: la rappresentazione delle linee di campo.

Un secondo passo è considerare una visione globale[2] del concetto di campo, ossia di introdurre un concetto unificante dei vari casi considerati (campo gravitazionale, magnetico e elettrico).

---

[1] Con il termine "mappatura" facciamo riferimento al significato del termine inglese "*mapping*" o a quello francese "*carte, cartographie*", nella tesi utilizzeremo il termine inglese, in quanto ci sembra corrispondere meglio al concetto che vogliamo esprimere.

[2] Abbiamo scelto di lavorare soltanto in contesto classico, quindi non considereremo la fisica quantistica, anche se siamo ben consci che il concetto di "globale" o concetto di campo unificante potrebbe essere ulteriormente ampliato. Nella nostra ricerca ci limiteremo alla fisica classica e ai campi magnetico, gravitazionale e elettrico.

A livello della scuola primaria ci siamo limitati al primo passo (passaggio da visione locale a globale del campo), considerando come primo obiettivo quello di legare la rappresentazione attraverso le linee di campo alla sua sorgente (la Terra o il magnete), e in seguito differenziarne la forma a seconda dei tipi di campo considerati (magnetico e gravitazionale[3]).
A livello della scuola secondaria questo obiettivo si complementa con l'intento di utilizzare le linee di campo per fornire una visione unificante del campo come un ente che si differenzia a seconda della natura delle sue sorgenti (polare e dipolare)[4].

Il secondo problema di ricerca che ci poniamo è:

2) **la differenziazione tra campi polari e dipolari che può essere evidenziata oltre che dalla forma delle linee di campo** (relazionato al problema 1) **anche attraverso la distinzione tra gli effetti di un campo su un opportuno sistema esploratore: a) tra la direzione di partenza di un esploratore libero di muoversi e le linee di campo, b) tra l'attrazione (o movimento) globale e l'orientazione.**

Ci proponiamo di studiare se e in che modo gli studenti sono in grado di differenziare i vari tipi di campo. Proponiamo tre principali strumenti di analisi della diversa natura dei campi polari e dipolari: 1) la forma delle linee di campo: radiali e aperte nel caso dei campo polari, chiuse e ricurve in quelli dipolari; 2) la distinzione tra la direzione di partenza di un esploratore libero di muoversi e le linee di campo, che coincidono nel caso di un campo polare e non coincidono in quello dipolare; 3) la direzione dell'attrazione (o movimento) globale e la direzione dell'orientazione di un opportuno esploratore, che coincidono nel caso di un campo polare e non coincidono in quello dipolare.
Osserviamo che in letteratura (si veda capitolo 2) le ricerche sono incentrate piuttosto sulla distinzione tra la traiettoria e la linea di campo nel caso dinamico e generalmente nel caso di un campo polare (elettrico, Tornkwist et al. (1993)), mentre nelle nostre ricerche, dopo alcuni studi anche nel caso dinamico[5], abbiamo scelto di considerare il caso statico (come illustreremo nel paragrafo 3.3 le situazioni dinamiche risultano più complesse e inoltre non distinguono i vari campi) e la differenza tra la linea di partenza (moto incipiente) di un esploratore libero di muoversi

[3] A livello della scuola secondaria si considera anche il campo elettrico, unito a quello gravitazionale e magnetico.
[4] Vedremo nel capitolo 8 come anche il solo fatto di considerare il campo gravitazionale come un campo con una sua rappresentazione attraverso le linee di campo non è affatto scontata per i ragazzi, che al contrario inizialmente considerano alcune proprietà caratteristiche (quali il "possedere" delle linee di campo, l'aver bisogno di un rivelatore per determinare il campo...) come caratteristiche soltanto dei campi elettrici e magnetici, ma non gravitazionali.
[5] Le situazioni dinamiche sono state considerate in un lavoro di ricerca riguardante in particolare il campo gravitazionale (Bradamante & Michelini (2004), (2006)), essendo questo un campo polare, mentre nel caso di campi dipolari una ricerca iniziale sul confronto tra i campi gravitazionali e magnetici mise in evidenzia come la trattazione di situazioni dinamiche nel caso di campi dipolari risulta più complessa (Bradamante et al. (2005), Bradamante & Michelini (2005)).

nella regione di campo considerata e la linea di campo passante per il punto dov'è situato inizialmente l'esploratore, ossia la direzione della forza (o della risultante delle forze, come nel caso magnetico) e quella del campo.

3.2 Le ipotesi di ricerca della tesi

Nei capitoli che illustrano i risultati delle ricerche nei vari livelli scolari (rispettivamente i capitoli 6-7 per la scuola primaria e 8 per quella secondaria) verranno trattate in dettaglio le ipotesi di ricerca che ci siamo proposti in base ai due problemi di ricerca generali illustrati nel paragrafo 3.1. In questo paragrafo ci limitiamo solo a elencale in quanto verranno discusse negli specifici capitoli.

- **Prime ipotesi per la scuola primaria (capitolo 6)**

La prima ipotesi (A) risulta soltanto un'ipotesi preliminare, formulata in base ai risultati ottenuti nelle ricerche precedenti sulla gravità (capitolo5), mentre l'ipotesi centrale e primaria della ricerca è l'ipotesi B, l'ipotesi C infine è di minore rilevanza e riguarda l'estensione della *mappatura* delle linee di campo al caso del campo gravitazionale della Luna (in letteratura è ben noto il problema d'apprendimento che considera necessaria l'aria per l'interazione gravitazionale).

A) ***per i bambini di 9-11 anni la struttura centrale dell'attrazione terrestre è accessibile e acquisita.***

B) la rappresentazione delle linee di campo (al di là di semplice disegno):

- ***è accessibile ai bambini della scuola primaria (4° anno), e trasferibile anche al caso gravitazionale (B1).***
- ***può facilitare i bambini ad associare la "forma" delle linee di campo con la rispettiva sorgente del campo (la Terra e il magnete) per differenziare i due tipi di campo, nonostante in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva (B2).***

C) L'interazione gravitazionale è riconosciuta anche per la Luna, e conseguentemente i bambini sono in grado di rinunciare alla necessità dell'aria per l'azione gravitazionale.

- **Ipotesi della sequenza per la scuola primaria (capitolo 7)**

In base ai risultati della precedente ricerca (capitolo 6) la prima ipotesi della sequenza (ipotesi A) propone un lavoro specifico sul riconoscimento e sulla distinzione dei due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti (attrazione globale e orientazione) per superare l'ostacolo evidenziato nella ricerca precedente (attrazione globale *versus* orientazione).

A') ***I bambini sono in grado di riconoscere e distinguere i due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione (o movimento) globale e l'orientazione.***

- ***I bambini individuano le caratteristiche delle sorgenti di campo magnetico, ossia riconoscono la bipolarità[6] (A'1)***

B') ***La distinzione tra attrazione e orientazione (unito al riconoscimento della bipolarità) favorisce (o induce) un passaggio dal ragionamento in termini di attrazione globale a uno in termini di poli.***

Riteniamo che il ragionamento in termini di poli (anche se in termini di contributo di ogni singolo polo) risulta essere un passaggio obbligatorio per abbandonare un'idea di azione globale del magnete su un altro magnete alla successiva interpretazione della fenomenologia come azione globale del magnete sull'esploratore in termini di bipolarità (questo ragionamento verrà raggiunto solo nella scuola secondaria[7]).

C') ***Riguardo all'approccio del "mapping" delle linee di campo:***

- ***è accessibile ai bambini della scuola primaria (4° anno)(C'1)***
- ***i bambini sono in grado di associare le linee di campo magnetico a linee di orientazione (C'2)***
- ***la rappresentazione delle linee di campo magnetico è trasferibile anche al caso gravitazionale (C'3).***
- ***può facilitare i bambini ad associare la "forma" delle linee di campo con la rispettiva sorgente del campo (la Terra e il magnete) (C'4)***
- ***è utilizzabile dai bambini per differenziare i due tipi di campo, nonostante in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva (C'5)***

- **Ipotesi della sequenza per la scuola secondaria (capitolo 8)**

Nella scuola secondaria riprendiamo i due problemi di ricerca considerati nella scuola primaria, anche se ampliati da ulteriori richieste: il primo (potere rappresentativo delle linee di campo) si complementa con la necessità di dare una visione più ampia al campo, includendo la considerazione anche dei fenomeni gravitazionali in termini di campo (cosa che vedremo non è così ovvia per i

[6] Il *riconoscimento* della bipolarità è necessario per poter distinguere i due effetti dell'interazione magnetica (attrazione e rotazione).

[7] Nella scuola secondaria (si veda capitolo 8) verrà raggiunto il passaggio da un ragionamento in termini di contributi di ogni polo a uno in termini di azione globale (attraverso un momento o una coppia di forze) della sorgente sull'esploratore che tiene conto della bipolarità ("*il magnete esercita una coppia di forze che fa ruotare il magnete appeso*").

ragazzi), mentre il secondo si arricchisce di un elemento che aiuta la differenziazione tra campi polari e dipolari[8], ossia la distinzione tra il campo e la forza.

A'') ***Il riconoscimento della distinzione dei due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione (o movimento) globale e l'orientazione, può aiutare a identificare la specificità dell'interazione magnetica.***

- ***I ragazzi sono in grado di superare il ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità (A"1).***

B'') ***la rappresentazione delle linee di campo (al di là di semplice disegno) può assumere un ruolo determinante:***

- ***nel dare una visione globale del concetto di campo, includendo anche il campo gravitazionale in questa categoria (B"1)***
- ***nel distinguere il campo dalla forza, in particolare distinguendo la direzione di partenza dalle linee di campo (B"2)***

C'') ***i ragazzi sono in grado di differenziare i campi polari e dipolari e in che modo sono significativi per tale distinzione i seguenti elementi:***

- ***la forma delle linee di campo, che sono radiali e aperte per i campi polari, mentre sono chiuse in quelli dipolari (C"1)***
- ***la direzione di partenza e la direzione dell'orientazione di un esploratore, che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2a)***
- ***la direzione di partenza e le linee di campo[9], che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2b)***

[8] Nel caso della scuola secondaria superiore a differenza della scuola primaria, dove ci si è soffermati su due soli campi (magnetico e elettrico), si considera il confronto tra i tre campi gravitazionale elettrico e magnetico.

[9] Formalmente il confronto deve esser fatto tra la direzione di partenza del moto incipiente dell'esploratore e la tangente alla linea di campo nel punto di partenza dov'è posizionato l'esploratore; per brevità indicheremo tale confronto menzionando "la direzione di partenza e le linee di campo".

3.3 Coerenza della scelta dei contenuti con i problemi e le ipotesi di ricerca

I due problemi di ricerca illustrati nel primo paragrafo sono stati scelti in base a un'analisi dei contenuti sul concetto di campo e in quanto ritenuti cruciali per questo argomento.

Come accennato nell'introduzione alla tesi intendiamo introdurre il concetto di campo come funzione del punto, inteso come proprietà riconoscibile nello spazio attraverso l'interazione con un opportuno esploratore[10] (sia esso una bussola, un pendolo, ...).

A livello della scuola secondaria generalmente il concetto di campo viene presentato agli studenti nel caso del campo elettrico (o gravitazionale) ma questi non vedono l'utilità di introdurre un ulteriore concetto diverso dalla forza (per esempio definiscono operativamente il campo elettrico come **F**/q e lo associano alla forza, senza distinguere i due concetti).

Nell'introduzione e costruzione del concetto di campo come un ente che si differenzia dalla forza riteniamo che il caso magnetico si presta in modo particolare per riconoscere lo specifico ruolo del campo distinto dalla forza, in quanto la proprietà dei punti in questo caso non è associata alla forza (come per il caso gravitazionale e elettrico) ma a un'altra grandezza fisica: il momento (sia magnetico, in quanto la proprietà del campo è quella di allineare i momenti magnetici, sia meccanico in quanto il campo agisce attraverso un momento meccanico su un esploratore per orientarlo lungo le linee di campo). Infatti la specificità dell'interazione magnetica è data da due effetti l'attrazione e la rotazione (determinata da un momento meccanico).

L'interazione magnetica di un momento magnetico di dipolo $\boldsymbol{\mu}$ con un campo **B** può essere descritta attraverso una forza risultante, o "forza traslatoria"[11], che dipende dal $\mathbf{F} = \text{grad}(\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B})$ e da un momento meccanico ($\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$). Nella nostra ricerca abbiamo scelto di focalizzare l'attenzione sul momento meccanico di sistemi vincolati (come la bussola) e, nonostante dal punto di vista fisico forza risultante e momento meccanico sono accoppiati[12], abbiamo voluto porre l'accento sulla distinzione tra i due, per poter identificare il campo con una grandezza fisica distinta dalla forza[13].

La rappresentazione del campo attraverso le linee di campo non solo può facilitare una visione globale del campo generato da una o più sorgenti, ma la sua forma (come già accennato nel paragrafo 3.1) è caratteristica della natura del campo (polare e dipolare).

Inoltre il significato fisico delle linee di campo è legato alla natura del campo, infatti nel caso di campi polari (per esempio gravitazionale ed elettrico) il vettore campo ha la stessa direzione e verso

---

[10] A livello della scuola secondaria non consideriamo il concetto più astratto di funzione del punto inteso come modello matematico che descrive un'unica entità (il campo appunto).

[11] Guidoni, comunicazione privata 2006

[12] Infatti quando uno è massimo l'altro è minimo, senza attrito infatti l'ago magnetico si dispone rapidamente lungo la linea di campo, posizione di energia rotazionale minima e di energia potenziale traslatoria massima, che continua a crescere avvicinandosi al polo (Guidoni, comunicazione privata 2006).

[13] E' ben noto in letteratura (si veda capitolo 2) il problema dell'identificazione del campo con la forza.

del vettore forza, quindi le linee sono indicatrici non solo della direzione del campo, ma anche della forza, vengono per questo definite in molti testi linee di forza.

Nel caso di campi dipolari invece le direzioni del campo e della forza non coincidono, le linee di campo quindi indicano la direzione solo del campo e non della forza, come nel caso magnetico.

In molti testi (si veda capitolo 4) le linee di campo magnetico vengono erroneamente definite come linee di forza, mentre alcuni autori (Guidoni (2004)) sottolineano che sono invece linee di momento ("*lines of momentum*").

Riteniamo opportuno specificare che mentre nella lingua inglese vi sono due termini distinti per indicare il momento magnetico[14] (*momentum*) e quello meccanico o torcente[15] (*torque*), in italiano si utilizza lo stesso termine momento[16] quindi d'ora in poi specificheremo se si tratta di un momento magnetico o meccanico.

Nel caso delle linee di campo magnetiche esse sono linee di momento magnetico, ossia linee lungo le quali i momenti magnetici si orientano (linee di orientazione di una bussola o di un magnete appeso in un dato punto). Inoltre se un ago magnetico viene posto in un campo magnetico B, quest'ultimo orienta l'ago lungo le linee di campo esercitando un momento meccanico ($\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$ dove $\boldsymbol{\mu}$ è il momento magnetico dell'ago, **B** è il vettore di campo magnetico), dove $\boldsymbol{\tau}$ è ortogonale sia a $\boldsymbol{\mu}$ che al campo **B**; ossia potremmo dire che il momento meccanico è l'effetto del campo.

Per ovviare questo problema linguistico abbiamo deciso di introdurre le linee di campo magnetico come linee **di orientazione** piuttosto che linee di momento (anche se il significato è lo stesso: linee di orientazione di momenti magnetici) e di associare l'azione del campo magnetico su un esploratore al momento meccanico.

Queste prime considerazioni giustificano l'attenzione particolare che è stata data in tutta la tesi alla distinzione tra i due effetti dell'interazione magnetica : l'attrazione globale e l'orientazione. L'azione del campo magnetico su un rivelatore di campo è quindi duplice, ma le linee di campo sono associate alla rotazione o orientazione dei rivelatori di campo.

Riteniamo comunque importante sottolineare che le linee di campo possono sempre essere considerate e definite come **linee di orientazione**[17] per esploratori vincolati nello spazio (bussole magnetiche, pendoli gravitazionali), come vedremo nel capitolo 6 e 7 dove viene proposta la costruzione delle linee di campo anche nel caso gravitazionale come le linee di orientazione di

---

[14] Il momento magnetico è generalmente indicato con μ

[15] Il momento meccanico o torcente è generalmente indicato con τ

[16] In fisica oltre al momento di dipolo magnetico μ si hanno diversi altri tipi di momento: 1) Il momento della quantità di moto φi della singola particella di massa m è dato da: $\boldsymbol{\varphi i} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$, dove p è la quantità di moto ($\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}$); 2) Momento di inerzia: $\mathbf{I} = \Sigma\, m_i r_i^2$; 3) Momento angolare: dal momento della quantità di moto di una singola particella si passa al momento della quantità di moto di un sistema, ossia il momento angolare $\boldsymbol{\varphi} = \Sigma\, \boldsymbol{\varphi}_i$; 4) Momento torcente (di una forza F) : $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$

[17] Anche se nel caso gravitazionali le linee di orientazione coincidono con le linee di "attrazione" o linee di Forza.

"*pseudodipoli*[18]" gravitazionali vincolati (nel caso specifico costituiti da pendoli attaccati ai rami di alcuni alberi sulla superficie terrestre).

Abbiamo scelto di introdurre i fenomeni magnetici attraverso l'interazione di due magneti, le correnti sono state introdotte successivamente ma solo per analizzare le caratteristiche comuni (continuità e chiusura delle linee) alla configurazione delle linee di campo di tutte le diverse sorgenti del campo magnetico; nel caso del solenoide è stata evidenziata l'equivalenza con il caso del magnete cilindrico. Non abbiamo trattato né l'azione meccanica su un circuito né la Forza di Lorentz.

Infine osserviamo che anche nei programmi e nelle indicazioni ministeriali in Francia viene evidenziato come il magnetismo si presta meglio (rispetto al caso elettrico e gravitazionale) a introdurre il concetto di campo[19] (anche se questo campo viene comunque chiamato "campo di forza"[20]) in quanto la forza è facilmente distinguibile dal vettore campo, cosa che non avviene nel caso dei campi elettrici e gravitazionali.

3.3.1 Il momento magnetico di un dipolo e la forza in un campo magnetico

Il *momento di dipolo magnetico* $\boldsymbol{\mu}$ è una grandezza fisica vettoriale che esprime le proprietà di un dipolo magnetico, vale a dire di una magnete o di una spira, di un solenoide o di un circuito qualunque, percorsi da corrente.

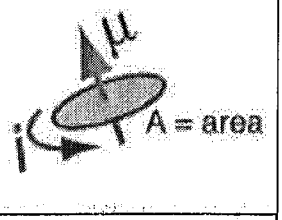


Figura 1: Il momento magnetico μ di una spira percorsa da corrente.

Nel caso di una spira percorsa da corrente, il momento magnetico è definito come il prodotto dell'intensità di corrente i che vi circola, per l'area racchiusa dalla spira A, ossia: $\boldsymbol{\mu} = iA$ (Fig. 1). Ha direzione perpendicolare al piano individuato dal circuito e verso dato dalla regola della mano destra (se le dita si avvolgono nel senso della corrente, il verso del momento magnetico è indicato dalla punta del pollice).Nel caso del solenoide invece il momento magnetico μ è uguale al numero di spire N per la corrente i per la sezione del solenoide A, ossia: $\boldsymbol{\mu} = NiA$.

[18] Bradamante & Viennot 2006

[19] "Le choix a été fait d'introduire la notion de champ (vectoriel) uniquement à propos du magnétisme. Les difficultés que rencontrent les élèves avec la notion de champ sont bien connues : ils confondent le champ et la force et donnent bien souvent à celui-ci des attributs de celle-là."

[20] "De tous les champ de forces, le champ magnétique est sans doute celui qui permet le mieux d'établir cette différence."

Quanto detto sul momento magnetico di una corrente elettrica permette di definire anche il momento di corpi magnetizzati, vale a dire di magneti. Per un magnete cilindrico, o un ago magnetico di una bussola, la direzione del momento magnetico è quella individuata dalla congiungente i due poli, il verso, quello che va dal polo Sud al polo Nord. Non solo le sbarrette magnetiche o i circuiti percorsi da corrente possiedono un momento di dipolo magnetico, ma anche la maggior parte delle particelle subatomiche compresi gli elettroni, i protoni e i neutroni[21].

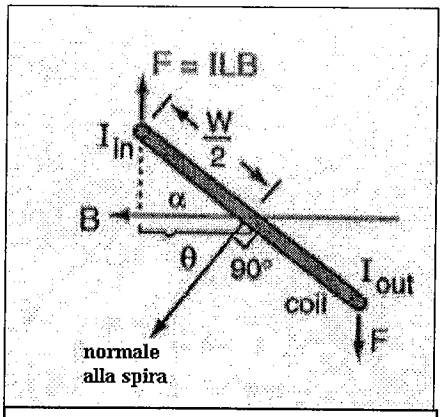


Figura 2: una spira percorsa da corrente e immersa in un campo magnetico **uniforme è soggetta a un momento torcente τ.**

Nel caso del dipolo elettrico, se questo è immerso in un campo elettrico uniforme **E**, alle due estremità cariche del dipolo agiscono, in direzioni opposte ma con la stessa intensità, le forze elettrostatiche $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$ che esercitano sul dipolo un momento meccanico di forza, chiamato, per via dell'effetto di rotazione che induce, *momento torcente*[22] netto $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$ (dove **p** è il momento magnetico di dipolo elettrico).

La forza esercitata da un campo magnetico B su un dipolo magnetico:

Il dipolo magnetico immerso in un campo magnetico **B** (uniforme o non uniforme) è soggetto non solo al momento torcente, ma, come abbiamo già sottolineato, a una "forza traslatoria" data da : $\mathbf{F} = -\nabla(\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B})$. A livello della scuola secondaria tale forza risulta difficilmente trattabile in termini formali, nel prossimo paragrafo presenteremo come è possibile trattarla sperimentalmente in modo semplice e darne una spiegazione con un modello parziale in termini di insieme di forze agenti sui poli.

C'è da sottolineare che non va confusa questa forza con la forza che un campo magnetico **B** esercita su una particella di prova dotata di una carica q che si muove in un campo magnetico con velocità v: $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ (Forza di Lorenz). Infatti queste due forze intervengono in situazioni ben differenti: la prima descrive la reciproca interazione tra due magneti (o elementi magnetici) ed esplicita la caratteristica fondamentale dell'interazione magnetica (il momento meccanico e magnetico) ed è strettamente legata alla fenomenologia che noi andremo a considerare nelle sequenze sia della scuola primaria sia secondaria, mentre la seconda è la forza prodotta da un campo pre-esistente B su una carica in movimento. Generalmente nei testi universitari viene illustrato come nel caso di una spira la forza agente su un dipolo $\mathbf{F} = -\nabla(\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B})$ è derivabile dalla forza di Lorentz.

---

[21] Per esempio il momento di dipolo magnetico di un protone è di $1{,}4 \cdot 10^{-26}$ J/T, mentre quello di un elettrone è di $9{,}3 \cdot 10^{-24}$ J/T.

[22] Nella tesi specificheremo quando si parla di momento meccanico (torcente) oppure momento magnetico.

Il dipolo elettrico e magnetico

Osserviamo che seppure il momento di dipolo è definito sia nel caso magnetico che elettrico, l'isomorfismo tra i due casi è solo approssimato, infatti vi sono sostanziali differenze dovute alla diversa natura vettoriale e pseudovettoriale dei due campi (elettrico e magnetico). Infatti seppure la forma esterna delle linee di campo sia simile, la non separabilità dei poli determina la continuità delle linee all'interno del dipolo magnetico, mentre nel caso elettrico le linee iniziano in un polo e finiscono sull'altro (separabilità delle sorgenti e dei pozzi).

La diversa natura dei campi determina anche la natura dei rivelatori di campo che nel caso magnetico sono sempre dei dipoli mentre nel caso elettrico possono essere dei dipoli oppure delle cariche isolate.

Anche per quanto riguarda la distinzione tra le linee di campo di un dipolo elettrico e la direzione di partenza di un esploratore, se quest'ultimo è a sua volta un dipolo le due direzioni non coincidono, ma se l'esploratore è una carica isolata le due direzioni (linee di campo e linea di partenza) coincidono in quanto le linee di campo nel caso elettrico sono linee di forza.

3.3.2 La distinzione tra la linea di partenza di un esploratore e le linee di campo.

Come già sottolineato nel paragrafo 3.1 ci siamo proposti di distinguere la linea di partenza dalle linee di campo piuttosto che considerare la distinzione tra traiettoria e linea di campo (studiata in letteratura). Riteniamo che questo non solo faciliti la distinzione tra il campo e la forza (la linea di partenza è più facilmente associabile alla forza "traslatoria") ma possa evitare alcuni problemi legati alle situazioni dinamiche e rilevati in altre ricerche riguardanti la distinzione tra la traiettoria e le linee di campo (Tornkwist et al. (1993)).

Il caso dinamico da un lato comporta diversi problemi quali l'identificazione della forza con la velocità, la concezione delle traiettorie di un oggetto come una caratteristica intrinseca all'oggetto e non come un qualcosa che cambia rispetto al sistema di riferimento[23] (Maury et al. (1977), Saltiel & Malgrange (1979)), dall'altro lato, nel nostro contesto, non mette in luce il diverso comportamento nel caso di campo polari (in entrambi i casi la traiettoria non coincide con la linea di campo). Nel caso della direzione di partenza di un oggetto libero di muoversi e linee di campo il comportamento dei campi polari e dipolari è differente come abbiamo indicato[24] nel paragrafo 3.1.

[23] In queste ricerche vengono evidenziati diversi problemi d'apprendimento legati ai cambiamenti di sistemi di riferimento: gli approcci "geometrici" e cinematici non conciliati, i punti di vista puramente descrittivi (cinematici) e i punti di vista causali (dinamica)... (si veda anche Viennot (1996), pag 153)

[24] Nei campi polari le due direzioni coincidono, mentre in quelli dipolari no (come nel campo magnetico).

Le linee di campo ci permettono di distinguere il tipo di campo, e in alcuni casi di distinguere anche il campo dalla forza; nel caso del campo magnetico infatti è facilmente dimostrabile che la direzione della forza "traslatoria" è ben distinta da quella del campo (in alcuni casi, come vedremo qui di seguito, addirittura perpendicolare).

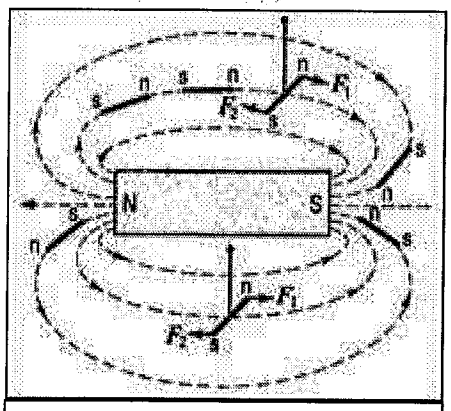


Figura 3: rappresentazione della coppia di forze agenti su un ago magnetico posto in diverse posizioni attorno a un magnete [illustrazione tratta da internet]

E' ben noto che un magnete determina un campo magnetico nello spazio circostante che si manifesta su un ago magnetico (rilevatore di campo) attraverso l'azione di un momento meccanico.

A livello universitario abbiamo visto che il momento meccanico è dato da $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$, ma spesso viene spiegato attraverso l'azione di una coppia di forze come illustrato nella figura 3, ossia come una coppia di forze uguali (in modulo), con direzione parallela e verso opposto; inoltre il caso in cui l'ago sia disposto lungo la linea di campo sembra risultare un caso di equilibrio, ossia l'ago in questa situazione non dovrebbe muoversi.

Quindi si è portati a concludere che un piccolo magnete (il cui campo magnetico è trascurabile rispetto a quello del magnete grande) disposto come indicato in figura 4, ossia sull'asse del magnete grande, dovrebbe rimanere fermo essendo in equilibrio. Tale ragionamento è molto comune, come vedremo (capitolo 8), anche nei ragazzi.

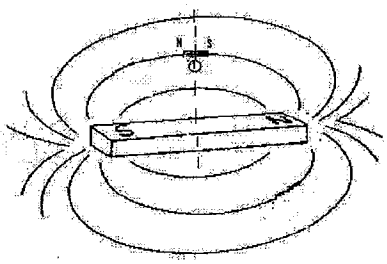


Figura 4: un piccolo magnete esploratore è posto sull'asse di simmetria del magnete grande e lungo la linea di campo passante in quel punto (questa situazione è stata proposta nella sequenza sperimentata in classe)

In realtà il magnete piccolo, se lasciato libero di muoversi nella posizione indicata in figura, non resterà fermo, ma si muoverà verso il magnete in direzione perpendicolare alle linee di campo in quel punto (figura 5).

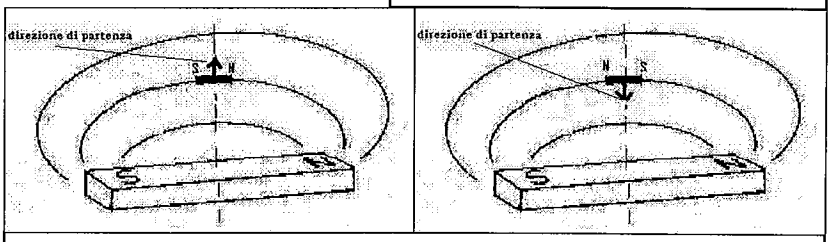


Figura 5: la linea di partenza di un magnetico libero di muoversi non coincide con la linea di campo (in questi due casi risulta perpendicolare)

Questo semplice esperimento, realizzabile in classe (figura 5b) senza nessun dispositivo particolare se non due magneti, dimostra chiaramente che nel caso del campo magnetico la direzione di partenza di un oggetto magnetico o ferromagnetico (relazionata alla forza "traslatoria"), è ben distinta dalla direzione del campo; questo giustifica ancor più la necessità di introdurre un nuovo concetto, ossia il campo.

Figura 5b :
L'esperimento proposto in classe sulla distinzione tra la direzione del moto incipiente di un magnetino posto lungo la linea di campo (serie delle tre figure in alto), o obliquamente ad essa (serie delle tre figure in basso) e la direzione della linea di campo.
Queste direzioni non coincidono (nel primo caso risulta addirittura perpendicolare)

Un modello intermedio presentato agli studenti

Nell'esempio presentato in figura 4 e 5, la forza come abbiamo visto nel paragrafo precedente viene descritta a livello universitario come il gradiente $\mathbf{F} = -\nabla(\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B})$.

A livello della scuola secondaria questa descrizione risulta a un livello di formalizzazione troppo alto, per cui abbiamo scelto un modello esplicativo in termini di azioni di ogni singolo polo, ben consci del fatto che risulta un modello parziale, non completamente corretto dal punto di vista fisico, in quanto non è possibile separare i poli magnetici e quindi parlare di "contributo" o di "forza" esercitata da ogni singolo polo.

Pur tuttavia riteniamo che tale modello permetteva non solo di dare una parziale spiegazione della direzione di partenza del magnetino proposto nelle figure 4 e 5, ma anche di dare le basi ai ragazzi per distinguere il campo con la forza, associando l'azione del primo a una coppia di forze (ossia a un momento meccanico)[25]. Questo, secondo noi, favoriva nei ragazzi da un lato l'identificazione o l'associazione del campo con una grandezza fisica diversa dalla forza (il momento meccanico appunto), dall'altro costituiva un passo quasi-obbligato per passare da un ragionamento in termini di poli a uno che consideri l'azione del magnete (sorgente) sull'esploratore in termini di momento meccanico (o coppia di forza)[26].

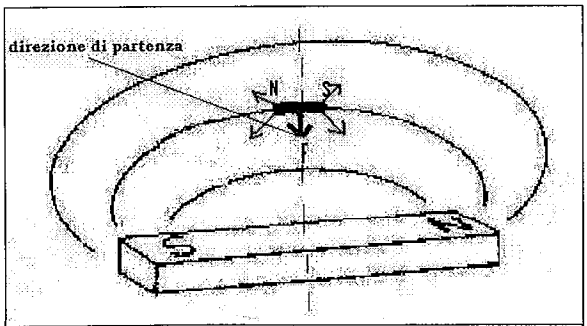


Figura 6: Un primo modello esplicativo della direzione di partenza di un magnete libero di muoversi non (è un modello parziale)

[25] Siamo consci tuttavia che il momento (o la coppia di forze) e la forza sono fortemente legati, pur tuttavia la direzione delle linee di campo è ben distinta dalla direzione della forza traslatoria, e quindi può favorire, secondo noi, la costruzione di un concetto diverso, anche se connesso a quello di forza, il campo appunto.

[26] Nei capitoli 7 e 8 verrà spiegato in dettaglio come i modelli interpretativi dei bambini e dei ragazzi evolvono a partire da una visione globale dell'azione del magnete sull'altro senza riconoscere i poli (nei bambini in particolare) a un

Ritornando quindi al problema posto precedentemente, sul piccolo magnete esploratore, posto lungo la linea di campo sull'asse di simmetria del magnete, considerando questo modello interpretativo parziale, possiamo affermare che ci sono quattro contributi o "forze[27]" (indicate in figura 6), la cui risultante (indicata in figura) non è nulla, ma è diretta perpendicolarmente alla linea di campo in quel punto, ossia verso il magnete.

Se poniamo infatti una bussola nella stessa posizione, risulta che l'ago magnetico si disporrà lungo la linea di campo, mentre l'attrito del tavolo compenserà la risultante F, per cui la bussola rimarrà ferma. Se invece diminuiamo l'attrito disponendo la bussola sull'acqua, allora sarà possibile osservare che la bussola si muoverà secondo la direzione della forza risultante.

Riconsiderando la figura iniziale (figura 3) riteniamo che può non risultare chiara e indurre in errore lo studente, va quindi reinterpretata alla luce di quanto detto.

Se consideriamo l'azione di ogni polo di un magnete sui poli dell'altro allora troviamo quattro "forze" (indicate in rosso nella figura 7) che non sono uguali in modulo, in quanto dipendono dalla distanza dai poli. Sommando vettorialmente a due a due tali forze otteniamo le risultanti F1 e F2, agenti su ogni polo del magnete piccolo. La somma vettoriale di F1 e F2 darà sempre F.

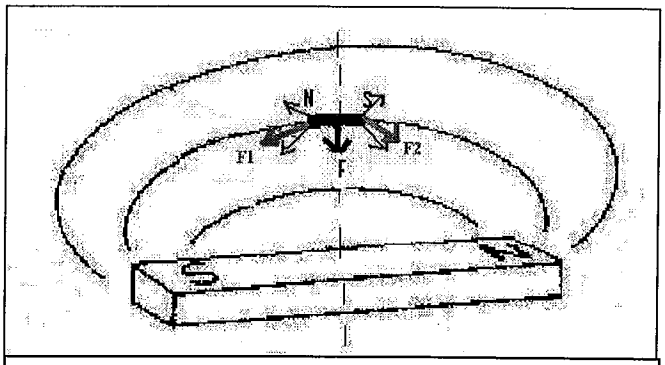


Figura 7: le risultanti F1 e F2 delle forze agenti su ogni singolo polo del magnete esploratore.

A questo punto, dimenticandoci delle quattro forze agenti sui singoli poli, consideriamo (Fig. 8) soltanto le risultanti F1 e F2, ciascuna delle quali possono essere scomposte in due componenti, una (g1 e g2 rispettivamente) lungo l'asse longitudinale del magnete piccolo (ossia lungo la linea di campo), mentre l'altra (h1 e h2 rispettivamente) perpendicolare alle linee di campo. Siccome il magnete esploratore

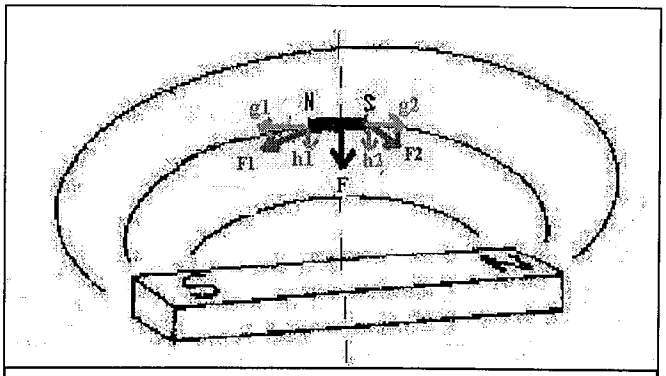


Figura 8: le componenti lungo la linea di campo (g1 e g2) e perpendicolari ad essa (h1 e h2) delle due forze F1 e F2.

ragionamento in termini di contributo di ogni singolo polo, fino a un ragionamento in termini di azione globale (attraverso un momento)del magnete sull'altro tenendo in conto della bipolarità.

[27] Siamo ben consci che non è corretto parlare di singole forze dei poli

è equidistante dai poli del magnete grande allora g1 e g2 saranno uguali in modulo e di verso opposto, mentre h1 e h2 sono uguali in verso e modulo. Le prime due si annullano, mentre le seconde due hanno risultante non nulla (la forza F appunto).

In conclusione ritornando alla figura iniziale, in generale un ago magnetico posto in un campo magnetico è soggetto a una coppia di forze che non sono generalmente in modulo uguale (dipendendo dalla distanza) e la cui risultante può essere, a seconda delle situazioni, contrastata dalla forza d'attrito.

CAPITOLO 4

Analisi dei libri di testo

4.1 Introduzione

Nei libri di testo si possono trovare complessivamente due approcci generali nell'introduzione del campo magnetico: 1) (nel caso dinamico) attraverso la forza di Lorentz agente su una carica in movimento immersa nel campo stesso, 2) (nel caso statico) azione di un magnete su un altro magnete o su un materiale ferromagnetico.

Nel primo caso (molto diffusa nei testi universitari, ma anche in alcuni testi di scuola secondaria superiore), si considera la corrente sia come sorgente del campo, sia come rilevatore del campo. Viene misurata la forza magnetica a cui è soggetto il rilevatore di campo, la quale però ha la stessa direzione del campo, ma è perpendicolare ad esso. Spesso viene introdotto il campo B in analogia al campo elettrico, definendo le linee di "forza" del campo magnetico, ma come abbiamo già osservato più volte, le linee di campo magnetico non sono linee di forza. La forza di Lorentz risulta utile per misurare il modulo del vettore B, ma è necessario chiarire che l'analogia con il caso elettrico potrebbe essere fuorviante, in quanto in questo caso la direzione è perpendicolare al vettore B. Alcuni testi per aumentare la confusione definiscono tale forza come una forza "strana", essendo essa perpendicolare il campo; riteniamo più utile invece chiarire la differenza nella natura dei campi polari e dipolari, e come i campi elettrico e gravitazionale possono essere definiti "campi di forza", mentre quello magnetico è un "campo di momenti[1]".

Secondo una precedente analisi di 30 libri di testo sull'elettromagnetismo, realizzata da Antoniazzi & Giuliani (1996) è possibile individuare tre tipi di definizione del concetto di campo elettrico che si ritrovano anche in quello magnetico:

> 1. La definizione più diffusa è caratterizzata da **un approccio operativo e dall'uso della legge di Coulomb** e, quindi, dell'azione a distanza. Il campo elettrico viene poi definito come $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q$ ove $\mathbf{F}$ è la forza di Coulomb e q la carica su cui essa si esercita (definita usualmente "carica di prova"). Nella maggior parte dei casi il campo elettrico è considerato come una entità realmente esistente. In questo primo tipo di definizione si ritrovano concetti - azione a distanza e campo - che sono stati storicamente in contrapposizione e che sono ricomponibili in una sintesi unitaria solo rinunciando ad una interpretazione realista del campo (vedi la terza definizione). Inoltre il campo - nonostante l'importanza attribuitagli - appare come un concetto subordinato, perché derivato da quello di forza.
>
> 2. Un secondo approccio si basa sulla asserzione che una **carica elettrica modifica le proprietà dello spazio circostante** (anche nel vuoto); tale modificazione è descritta mediante un campo vettoriale, denominato campo elettrico. Questo approccio non viene, tuttavia, sviluppato con coerenza. Infatti, salvo rare eccezioni, i manuali introducono dapprima, anche in questo caso, la legge di Coulomb; sviluppano poi il concetto di campo mediante considerazioni di vario tipo, per definire infine il campo elettrico come $\mathbf{E} = \mathbf{F}/q$ ove $\mathbf{F}$ è la forza di Coulomb agente

[1] Nel senso che orienta i momenti magnetici.

sulla carica q. Ritroviamo qui la sovrapposizione dei concetti di azione a distanza e di campo, già presente nel primo tipo di definizione. Ci sono, tuttavia, importanti differenze dal punto di vista ontologico: la realtà del campo elettrico è asserita esplicitamente e con convinzione; viene così esclusa la possibilità di azione a distanza.

3. Nel terzo approccio, che è il meno diffuso, il **campo elettrico** non viene considerato come realmente esistente, **ma come un modello matematico atto a descrivere l'azione a distanza tra due cariche**. (Antoniazzi & Giuliani (1996)).

Per quanto riguarda la definizione di campo magnetico:

è possibile ricondurre i vari approcci alle tre classi già individuate per il campo elettrico. Tuttavia, all'interno di questa classificazione, si può individuare una ulteriore distinzione riguardante il tipo di sorgente utilizzata per la definizione. La definizione più diffusa (almeno nei manuali di scuola superiore) utilizza i magneti permanenti come sorgenti del campo, anche per seguire esplicitamente il percorso storico. Questo approccio conduce ad una definizione operativa attraverso la forza esercitata su un polo magnetico o la coppia esercitata su un ago magnetico. La definizione che si basa sul concetto di polo magnetico non è accurata perché il polo magnetico non viene, in generale, definito con precisione e perché un polo magnetico non può essere isolato. Il campo magnetico generato da correnti viene introdotto solo successivamente facendo riferimento alle osservazioni sperimentali riguardanti le forze esercitate dalle correnti su poli o aghi magnetici e utilizzando, talora, il principio di azione e reazione.
L'altro modo di procedere prende l'avvio dal campo magnetico prodotto dalle correnti o dalle cariche in moto. Questo approccio ha il pregio di condurre ad una definizione radicata nelle equazioni di Maxwell per il vuoto in cui compaiono solo le cariche e le correnti. (Antoniazzi & Giuliani (1996)).

L'analisi dei libri di testo che presentiamo in questo capitolo è stata condotta rispetto alcuni specifici criteri, relazionati al nostro lavoro di ricerca, riguardanti la rappresentazione grafica del campo attraverso le linee di campo, la distinzione tra i campi elettrico, magnetico e gravitazionale, in base alla diversa natura (polare o dipolare) dei campi.

Per questo abbiamo analizzato come i libri di testo introducono il campo magnetico, in particolare se distinguono i due effetti dell'interazione magnetica (attrazione globale e rotazione), come vengono introdotte e definite le linee di campo magnetico, e quale uso ne fanno.

Dall'analisi emerge che nei libri di testo non viene data particolare rilevanza alla distinzione dei due effetti (rotazione attrazione globale), inoltre anche nella stessa definizione delle linee di campo magnetico, si nota una confusione dei due effetti che spesso porta a delle contraddizioni: vengono definite linee di "*forza magnetica*" in analogia ai casi elettrico e gravitazionale però si afferma che rappresentano l'orientazione di un ago magnetico o di una bussola inserita nel campo.

4.1.1 I programmi ufficiali in Italia

In Italia da 30 anni stiamo aspettando una riforma della scuola, nel frattempo ci sono stati vari programmi pilota (brocca, PNI, ecc..) che hanno cercato di rispondere alle esigenze della scuola e dell'innovazione dell'insegnamento.

Attualmente nei programmi ministeriali dei licei scientifici ordinari (si veda tabella 1) la forza di gravità e la caduta dei gravi è trattata nelle classi terze, mentre il magnetismo è previsto in quinta. Negli indirizzi sperimentali PNI (Piano Nazionale per l'introduzione dell'Informatica) invece la fisica viene insegnata già dal biennio e tali argomenti sono introdotti già nei primi due anni (si veda tabella 2).

PROGRAMMI DEL LICEO SCIENTIFICO
III Classe
Meccanica: Moto di un punto; velocità ed accelerazione come scalari e come vettori. Moto rettilineo uniforme. Forza e sua misura statica. Equilibrio di due o più forze applicate ad un solido. Centro di forze applicate ad un solido. Centro di forze parallele. Equilibrio nei solidi con un punto od un asse fisso. Macchine semplici: bilancia. Principio di inerzia. Proporzionalità tra forza ed accelerazione. Massa e peso; misura dinamica delle forze. Eguaglianza fra azione e reazione: forza centripeta e reazione centrifuga. Caduta dei gravi libera e su di un piano inclinato. Cenno sul moto dei proiettili. Pendolo. Lavoro e potenza: unità relative. Energia, sue forme e sua conservazione (non senza qualche discreta riserva in armonia con le moderne concezioni sull'equivalenza tra energia e perdita di massa). Cenni sulle resistenze di attrito e del mezzo. Pressioni nei fluidi. Principi di Pascal e di Archimede. Vasi comunicanti. Pressione atmosferica. Legge di Boyle. Cenni sul moto di un solido immerso in un fluido: navi, dirigibili e velivoli.
IV Classe
Termologia: Temperatura e termometri. Quantità di calore; caloria; calore specifico. Cenni sulla propagazione del calore. Dilatazione termica nei solidi e nei liquidi. Variazione termica del volume di un gas a pressione costante e della pressione a volume costante. Equazione caratteristica dei gas perfetti. Temperatura assoluta. Cambiamenti di stato: fusione e solidificazione. Evaporazione: ebollizione; liquefazione degli aeriformi. Vapori saturi e non saturi. Cenni di igrometria. 1° principio della termodinamica; equivalente meccanico della caloria: cenni sul 2° principio. Cenni sui motori termici. Acustica: Vibrazioni sonore e loro propagazione; velocità del suono. Altezza e intensità di un suono semplice; timbro. Eco, risonanza, interferenza. Fonografo. Ottica: Luce e sua propagazione. Brevi cenni di fotometria. Riflessione; specchi piani e specchi sferici. Rifrazione e riflessione totale, lastre e prismi; lenti e costruzione delle immagini relative. Strumenti ottici più comuni. Colori; dispersione della luce. Spettro; cenni sui raggi infrarossi e ultravioletti. Cenni sulla velocità della luce e sulla sua natura ondulatoria; frequenza e lunghezza d'onda. Cenni di spettroscopia e cenni sulla interferenza.
V Classe
Elettricità e Magnetismo: Cariche elettriche e loro mutue azioni; legge di Coulomb. Conduttori ed isolanti. Principali fenomeni di elettrostatica e grandezze che vi intervengono. Condensatori. Cenni sulle macchine elettrostatiche. Poli magnetici e loro mutue azioni; legge di Coulomb per il magnetismo. Calamite; campo magnetico terrestre; bussola. Corrente elettrica: elettrolisi, pila di Volta e cenni sulle pile a depolarizzante. Accumulatori. Legge di Ohm. Calore prodotto dalla corrente e sue principali applicazioni. Campo magnetico prodotto da una corrente; applicazione alla misura della corrente e alla trasmissione dei segnali. Induzione elettromagnetica. Telefono. Cenni sulle correnti alternate e sugli alternatori, motori, dinamo, trasformatori statici. Cenni sulla produzione, sul trasporto e sulla distribuzione dell'energia elettrica. La corrente nei gas: ionizzazione, arco elettrico. Raggi catodici e raggi X. Cenni sui fenomeni di radioattività. Cenni sulle onde elettromagnetiche, sulla radiotelegrafia e radiotelefonia. Brevi cenni sulla teoria elettromagnetica della luce. Cenno sulla costituzione della materia: molecole, atomi, nuclei, elettroni.

Tabella 1: I programmi ministeriali di fisica[2] in Italia per il triennio del liceo scientifico.

CONTENUTI DEL BIENNIO DELL'INDIRIZZO PNI
Tema n. 1 - L'equilibrio ed i processi stazionari Il tema è articolato in quattro parti per permettere agli allievi un approccio più organico con concetti che di regola nelle trattazioni, trovano collocazione in momenti successivi: in meccanica, in termologia e in elettricità a) - Le forze e l'equilibrio in meccanica - Concetto di forza, sua rappresentazione vettoriale e sua misura statica; - vari tipi di forza: peso, forza elastica, attrito e resistenza in un fluido, **forza gravitazionale fra due corpi**, forza di Coulomb, forza di Ampère; - statica del punto materiale (composizione di forze); - statica del corpo rigido, corpi appoggiati e leve (la bilancia); - energia potenziale per la forza peso, concetto di lavoro; - statica dei gas, legge di Boyle; - statica dei liquidi, pressione idrostatica, legge di Archimede; - pressione atmosferica. b) - L'equilibrio termico

[2] Tratto da : http://www.edscuola.it/archivio/norme/programmi/scientifico.html#FISICA

- Conduttori e isolanti termici (esperimenti sulla propagazione del calore);
- equilibrio termico e concetto di temperatura, dilatazione, termometri e scale termometriche (costruzioni di un termometro a gas o a liquido);
- quantità di calore e sua misura;
- stati di aggregazione ed equilibrio fra diverse fasi;
- misure del calore di cambiamento di stato.

c) - L'equilibrio elettrostatico
- Fenomenologia elementare, potenziale elettrostatico, condensatori.

d) - Processi stazionari
- Flusso stazionario di un fluido in un condotto, velocità portata, relazione fenomenologica tra differenze di pressione e portata, viscosità
- corrente elettrica continua, conduttori lineari e non lineari; circuiti logici;
- **magnetismo: fenomenologia elementare;**
- **effetto magnetico di una corrente elettrica, amperometro, voltometro;**
- memorie magnetiche e a semiconduttori.

Il tema si propone di offrire agli allievi situazioni:
- confrontabili concettualmente;
- storicamente affrontate in modo parallelo;
- trattate da capitoli della fisica che nella loro sistemazione attuale appaiono molto distanti (esempio flusso di un fluido, di calore, di elettricità).

Tabella 2: Una parte (riferita al tema 1) dei programmi ministeriali di fisica[3] del biennio dell'indirizzo PNI in Italia.

Gli OSA: Obiettivi Specifici di Apprendimento

I programmi risultano essere molto sintetici, e riguardano solo i contenuti, sono stati quindi definiti gli Obiettivi Specifici di Apprendimento come indicazioni per gli insegnanti dei vari livelli scolari.

Dal rapporto del gruppo di lavoro della commissione didattica congiunta AIF–MIUR–SAIt–SIF[4] riportiamo alcuni passi che definiscono gli OSA:

> "La definizione degli **Obiettivi Specifici di Apprendimento (OSA)** per la fisica intende fornire un quadro di riferimento per lo sviluppo coerente di conoscenze e abilità che coniughino gli a-spetti cognitivi con quelli più specificamente culturali della disciplina: da un lato la disciplina come strumento di conoscenza scientifica della realtà, dall'altro l'analisi di come la fisica si col-loca all'interno del pensiero scientifico e di come, interagendo e integrandosi con altre forme di pensiero (matematico, filosofico, tecnologico, ...) contribuisce all'evoluzione storica delle idee.
>
> L'obiettivo per la scuola secondaria è quello di procedere, attraverso un processo già iniziato nella scuola primaria e nella secondaria inferiore, al completamento della acquisizione di una consapevolezza diretta e fenomenologica degli aspetti fisici del mondo, a una loro gestione effi-cace in termini di enti astratti: "grandezze fisiche astratte" basate su relazioni invarianti fra va-riabili osservate; "sistemi fisici astratti" basati sulla loro efficacia come modelli intercontestuali; "metodi di formalizzazione" che offrono il supporto essenziale all'intero processo di concettua-lizzazione fisica".

Osserviamo che i fenomeni elettrici e magnetici compaiono già come obiettivi nel biennio dei licei, però vengono menzionate (tabella 3) le "forze elettriche e magnetiche (fra magneti, fra corrente e-lettrica e magnete, fra correnti elettriche)", ossia forze attrattive e repulsive senza menzionare la rotazione né la distinzione tra i fenomeni elettrici e magnetici; sembra quindi che in questo primo livello ci sia il rischio che i ragazzi identifichino le interazioni magnetiche ed elettriche, che però nel secondo biennio dovranno differenziare (si veda tabella 4).

---

[3] Dati tratti dalla **Circolare Ministeriale 6 febbraio 1991, n. 24** (Oggetto: Piano Nazionale per l'introduzione dell'Informatica nelle scuole secondarie superiori - Innovazione dei programmi di Matematica e Fisica nei bienni e nei trienni) che presenta gli obiettivi e i programmi per l'indirizzo PNI). Riportiamo solo il tema 1 che riguarda i fenomeni magnetici, i temi sono complessivamente quattro: Tema n. 1 - L'equilibrio ed i processi stazionari, Tema n. 2 - Il movimento; Tema n. 3 - La propagazione della luce; Tema n. 4 - L'energia: sue forme, conservazione e trasformazione

[4] (sito internet: http://www.a-i-f.it/DOCUMENTI/OSA-Licei.pdf#search=%22OSA%20obiettivi%20specifici%20di%20aprendimento%20Fisica%22)

OSA per il 1° biennio di tutti i licei: fenomeni elettrici e magnetici	
Conoscenze	**Abilità**
Forze elettriche e magnetiche - Forze tra cariche elettriche. Legge di Coulomb. - Capacità elettrica. - Differenza di potenziale elettrico. - Intensità di corrente. - Isolanti e conduttori: solidi, liquidi e gassosi. - Resistenza elettrica. Legge di Ohm. - Potenza elettrica. Potenza dissipata. Effetto Joule. - Forze magnetiche (fra magneti, fra corrente e-lettrica e magnete, fra correnti elettriche).	**Forze elettriche e magnetiche** - Eseguire esperimenti in cui si evidenziano forze di attrazione e repulsione tra cariche elettriche. - Risolvere problemi sulle forze reciproche agenti su due o più cariche elettriche puntiformi. - Eseguire e interpretare esperimenti in cui si evidenziano fenomeni di induzione e di polarizzazione elettrostatica. - Realizzare semplici circuiti elettrici con alimentatori, carichi ohmici, interruttori, deviatori, collegamenti in serie e parallelo. - Misurare intensità di corrente, differenze di potenziale e resistenze elettriche, utilizzando le corrette unità di misura e riconoscendo relazioni di conservazione e di proporzionalità.
Aspetti storici - Le origini della teoria dell'elettricità e del ma-gnetismo.	- Riconoscere sperimentalmente materiali isolanti e conduttori dell'elettricità. - Misurare variazioni di resistenza elettrica con la temperatura. - Spiegare il funzionamento del condensatore. - Misurare i tempi di scarica di un condensatore in un circuito RC ed elaborare un semplice modello descrittivo dei dati. - Eseguire esperimenti in cui si evidenziano for-ze di attrazione e repulsione magnetica. - Realizzare una elettrocalamita. - Spiegare l'andamento del campo geomagnetico.
Integrazioni per il 1° biennio dei licei scientifico e tecnologico	
Conoscenze	**Abilità**
Forze elettriche e magnetiche - Nodi e maglie nei circuiti elettrici.	**Forze elettriche e magnetiche** - Riconoscere in circuiti semplici la conservazione della corrente (prima legge di Kirchhoff). - Risolvere semplici problemi relativi al bilancio energetico del circuito elettrico (seconda legge di Kirchhoff). - Lampade e rendimenti luminosi.

Tabella 3: Gli OSA di fisica per il primo biennio dei licei

La rappresentazione grafica del campo attraverso le linee di campo viene introdotta solo nel secondo biennio della scuola secondaria (tabella 4), come anche la descrizione di analogie e differenze tra i vari campi.

In questo livello si propone il "confronto tra le caratteristiche di campi elettrici e magnetici", e l'individuazione delle "somiglianze e differenze tra campi elettrostatici e campi gravitazionali", ossia il confronto non è esplicitamente proposto tra tutti e tre i campi insieme (gravitazionale, magnetico ed elettrico), ma a due a due (elettrico-gravitazionale, e elettrico-magnetico), né viene sottolineata la natura polare o dipolare. Infine osserviamo che per il campo gravitazionale non viene proposta la rappresentazione grafica delle linee di campo, questa tendenza viene confermata anche dall'analisi dei libri di testo (paragrafo successivo).

OBIETTIVI PER IL 2° BIENNIO DI TUTTI I LICEI FENOMENI ELETTROMAGNETICI	
Conoscenze	**Abilità**

Campi e onde elettromagnetiche - Campo elettrico: definizione e proprietà. - Campo magnetico: definizione e proprietà. - Campi variabili nello spazio e nel tempo. - Induzione e autoinduzione. Legge di Faraday-Neumann. - Onde elettromagnetiche. - Raggi X e raggi gamma. **Aspetti storici** - Lo sviluppo della teoria classica dell'elettromagnetismo. - L'ipotesi dell'etere.	**Campi e onde elettromagnetiche** - Rappresentare graficamente i vettori di campo elettrico generati da una o più sorgenti puntiformi. - Evidenziare sperimentalmente le tracce delle superfici equipotenziali associate al campo elettrico e verificare le loro relazioni direzionali con le linee del campo. - Descrivere somiglianze e differenze tra campi elettrostatici e campi gravitazionali. - Confrontare le caratteristiche di campi elettrici e magnetici. - Evidenziare sperimentalmente e rappresentare graficamente i vettori di campo magnetico generati da correnti elettriche di semplice geometria. - Effettuare esperimenti che mettono in evidenza fenomeni di induzione elettromagnetica. - Descrivere i modi di trasformazione di energia elettrica in meccanica e viceversa e il funzionamento di dispositivi elettromagnetici. - Individuare le proprietà di sorgenti e di rivelatori di onde elettromagnetiche. - Classificare le radiazioni elettromagnetiche e descriverne le interazioni con la materia (anche vivente) in base alle diverse lunghezze d'onda.

Integrazioni per il 2° biennio dei licei scientifico e tecnologico fenomeni elettromagnetici

Conoscenze	Abilità
Campi e onde elettromagnetiche - Contributo elementare al campo elettrico o magnetico da parte di cariche elettriche. - Flusso del campo elettrico e teorema di Gauss. - Flusso del campo magnetico. - Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici. - Corrente alternata. - Derivazione qualitativa delle equazioni di Maxwell e delle equazioni di propagazione delle onde elettromagnetiche. - Connessione tra elettromagnetismo, velocità della luce e relatività.	**Campi e onde elettromagnetiche** - Applicare il concetto di flusso dei campi elettrici e magnetici per la soluzione di semplici problemi. - Descrivere il moto di cariche elettriche in presenza di campi elettrici e magnetici e la sua applicazione in alcuni dispositivi. - Analizzare il comportamento di semplici circuiti oscillanti. - Risolvere problemi su semplici circuiti elettrici in corrente alternata. - Risolvere problemi numerici riguardanti produzione, trasporto, e trasformazione di energia mediante corrente elettrica alternata.

Tabella 4: Gli OSA di fisica per il secondo biennio dei licei

Infine nei commenti sugli OSA nei licei (tabella 5), viene menzionata l'importanza "di affrontare per tutti i licei una riflessione sul concetto di campo e sulle caratteristiche generali dell'interazione e dell'energia trasmesse attraverso il campo".

Commenti sugli osa della fisica nei licei :FENOMENI ELETTRICI E MAGNETICI

1° BIENNIO

A partire dalla interazione di origine elettrica (già parzialmente sperimentata al primo biennio nell'area tematica *Fenomeni Meccanici-Interazione e Forza*) si introducono:

- il concetto di carica elettrica e la legge di Coulomb,
- il condensatore come magazzino temporaneo di cariche elettriche,
- la corrente come moto reale di cariche elettriche,
- il collegamento tra aspetti macroscopici e microscopico-strutturali che possono spiegare i fenomeni di elettrizzazione, induzione e polarizzazione in elettrostatica,
- il collegamento tra aspetti macroscopici e microscopico-strutturali che possono spiegare la corrente e la resistenza elettrica (moto delle cariche in un mezzo con attrito, da cui l'effetto Joule),
- il raccordo tra circuiti elettrici e campo magnetico,
- il collegamento tra aspetti macroscopici e microscopico-strutturali che possono spiegare la polarizzazione magnetica della materia

2° BIENNIO

Si propone di affrontare per tutti i licei una riflessione sul concetto di campo e sulle caratteristiche generali dell'interazione e dell'energia trasmesse attraverso il campo, fino a introdurre a livello qualitativo l'onda elettromagnetica, che trasporta a distanza l'interazione e l'energia. Tali concetti vengono proposti a tutti i Licei nei suoi elementi di base, sufficienti però per far capire la portata dell'idea e le sue implicazioni, con approfondimenti per i Licei Scientifico e Tecnologico su aspetti più avanzati, in particolare, sugli aspetti formali riguardanti le equazioni di Maxwell e su diversi temi di interesse per le applicazioni di corrente ed energia elettrica.

Tabella 5: I commenti sugli OSA di fisica per i licei

4.1.2 I programmi ufficiali in Francia

- *Bulletin Officiel du ministre de l'Education Nationale et du ministre de la Recherche HS du 31 août 2000, Classe de première : Physique-chimie.*
- *Ministère de l'Education Nationale, direction de l'enseignement scolaire : "Accompagnement des Programmes Physique", classe première S, cndp.*

In Francia, nei programmi e nelle indicazioni ministeriali per le classi di "Première" (penultimo anno della scuola secondaria, età degli studenti: 16 anni), molto più dettagliate e definite che in Italia, anche se il concetto di campo è inteso nella sua più amplia accezione[5], ossia come una funzione di punti che descrive delle proprietà e può essere scalare (campo di pressione, di temperatura..) o vettoriale (campo elettrico, magnetico), da un punto di vista didattico viene suggerito di introdurre il concetto di campo solo quando viene affrontato il magnetismo[6] (anche se questo campo viene comunque chiamato "campo di forza"[7]) e non nel caso gravitazionale e elettrico (come nel caso dei programmi italiani), in quanto in questi la forza non risulta così facilmente distinguibile dal campo.

Il campo magnetico non solo è il più adatto per differenziare i due concetti, ma anche in quanto è facilmente "manipolabile"[8], ossia si può facilmente spostare la sorgente, aumentare l'intensità del campo, sovrapporre più campi, ecc.. In altre parole in questo caso è possibile spostare e inserire a piacimento la causa efficiente (la sorgente che genera il campo), mentre nel caso gravitazionale, per esempio, la causa efficiente (la terra) non è "manipolabile" da noi, quello che possiamo determinare è soltanto la causa contingente (l'atto di lasciare la pallina). Proprio per questo i fenomeni magnetici facilitano l'introduzione del concetto di campo e il riconoscimento delle sue sorgenti (si veda anche il capitolo 5 a questo proposito). Infine il campo gravitazionale è "onnipresente"[9] e quindi risulta difficile esperimentarne una sua sovrapposizione. L'interesse pedagogico di introdurre il campo elettrico a livello della classe "première" è meno forte di quella del campo magnetico.

Nella tabella 6 sono riassunti riguardo al magnetismo: i contenuti, le conoscenze e i saper fare richiesti, unito a degli esempi di attività. Osserviamo che non viene menzionata la rotazione, né la

---

[5] "On appelle "champ" toute grandeur, fonction des coordonnés de position d'un point de l'espace, utilisée pour décrire localement les propriétés de la matière ou pour interpréter les phénomènes qui s'y produisent : on parle ainsi de "champ de pression" ; de même la distribution spatiale de température est un "champ de température"... se sont deux exemples de champ scalaire. SI la grandeur est vectorielle, on parle de champ vectoriel, exemples : champ électrique, champ magnétique, champ de vitesse dans un fluide."

[6] "Le choix a été fait d'introduire la notion de champ (vectoriel) uniquement à propos du magnétisme. Les difficultés que rencontrent les élèves avec la notion de champ sont bien connues : ils confondent le champ et la force et donnent bien souvent à celui-ci des attributs de celle-là."

[7] "De tous les champ de forces, le champ magnétique est sans doute celui qui permet le mieux d'établir cette différence."

[8] "... la notion de champ vectoriel, comme propriété affectée de l'espace, s'est dégagée de l'examens des situations physiques où les effets du champ magnétique, macroscopiques, sont facilement repérables, et où ce champ est facilement "manipulable" par déplacement des courants ou des aimants".

[9] "... le champ de gravité est en quelque sorte trop simple, trop omniprésent pour que son introduction en première soit clairement ressentie comme un avantage conceptuel par rapport à la force de gravité."

distinzione tra orientazione e attrazione, le linee di campo magnetico vengono chiamate linee di campo e on linee di forza, però non viene sottolineata la differenza con il campo elettrico, né quella più generale tra campi polari e dipolari. Nei programmi francesi viene posta molta più attenzione alle applicazioni dei fenomeni magnetici, in particolare per comprendere il funzionamento di un motore elettrico e di un generatore elettromagnetico.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
	1 - Champ magnétique	
Étude documentaire sur l'histoire du magnétisme et de l'électromagnétisme*. *Expérience de l'aimant brisé.* Comparaison de deux champs magnétiques. Mise en œuvre d'expériences montrant les caractéristiques du champ magnétique crée par: - un courant rectiligne ; - une bobine ou un solénoïde. Comparaison du champ externe d'un solénoïde et celui d'un barreau aimanté. Mise en évidence du champ magnétique terrestre.	Action d'un aimant, d'un courant continu, sur une très courte aiguille aimantée. Vecteur champ magnétique B : direction, sens, valeur et unité. Exemples de lignes de champ magnétique; champ magnétique uniforme. Superposition de deux champs magnétiques (addition vectorielle) **2 - Champ magnétique créé par un courant** Proportionnalité de la valeur du champ B et de l'intensité du courant en l'absence de milieux magnétiques. Champ magnétique crée par: - un courant rectiligne ; - un solénoïde.	Une petite aiguille aimantée permet d'obtenir la direction et le sens du champ magnétique dans une petite région de l'espace. Les caractéristiques du vecteur champ magnétique. *Réaliser des spectres magnétiques.* *Utiliser une sonde à effet Hall.* Les lignes de champ magnétique se referment sur elles-mêmes. Connaître la topographie du champ magnétique créé par: - un courant rectiligne ; - un solénoïde. Savoir que la valeur de B dépend de la géométrie du courant, de son intensité ainsi que du point de mesure.
Utiliser la loi de Laplace pour interpréter qualitativement des expériences telles que: - barre mobile sur rails, - action entre courants parallèles, - mouvement d'une bobine au voisinage d'un aimant. Mise en évidence du principe de fonctionnement d'un haut-parleur électrodynamique, d'un moteur à courant continu. Observer le fonctionnement en microphone d'un HP électro-dynamique.	**3 - Forces électromagnétiques** Loi de Laplace; direction, sens, valeur de la force : $F = IlB\sin\alpha$. **4 - Couplage électromécanique** Conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. Rôle moteur des forces de Laplace. Observation de l'effet réciproque associé au mouvement d'un circuit dans un champ magnétique : conversion d'énergie mécanique en énergie électrique.	Appliquer la loi de Laplace pour évaluer la force qui s'exerce sur une portion rectiligne de circuit. Sur un schéma de principe donné, représenter la force de Laplace qui explicite le fonctionnement : - d'un haut-parleur électrodynamique ; - d'un moteur à courant continu. Connaître les ordres de grandeur de la puissance des moteurs électriques usuels.

Tabella 6: Indicazioni ministeriali su contenuti, conoscenze, saper fare richiesti, e esempi di attività sul magnetismo per le classi "Première" (penultimo anno del liceo, età 16 anni) [BO n°7 31 agosto 2000]

4.2 I criteri di analisi dei testi

Sono stati utilizzati i seguenti criteri di analisi dei testi:

0. Come viene definito **il campo,** e in particolare quello **magnetico.**

1. Distinzione tra i due effetti di un campo magnetico: **orientazione e attrazione globale**

1a) La bussola è trattata esplicitamente come un magnete?

2. Le **linee di campo magnetico** vengono definite come **linee di orientazione** oppure come **linee di forza**?

2a) Sono presenti delle ***contraddizioni*** o frasi poco chiare, che scambiano o usano alternativamente il concetto di *forza e orientazione*?

Frasi del tipo: "la limatura di ferro o la bussola *si orientano* lungo le linee di *forza magnetica*"

2a.1) Vengono definite le linee di campo (o forza) per il **campo gravitazionale?**

2b) Che **uso** ne fa il libro delle linee di campo?

2c) Il libro menziona **caratteristiche delle linee** del campo magnetico (chiuse, ...):

- fornisce una spiegazione di cosa vuol dire che le linee sono chiuse?
- ne dà una giustificazione?

2d) **La rappresentazione grafica dei campi magnetici generati da correnti**

2d.1) Viene evidenziato che le linee sono sempre chiuse anche per campo generato da un filo, una spira o un solenoide percorsi da corrente? (tranne che nel piano di antisimmetria del filo)

2d.2) Viene sottolineata l'analogia tra la configurazione delle linee del campo generato dal solenoide percorso da corrente e da un magnete cilindrico?

3. Viene esplicitata la **distinzione tra campo centrale o monopolare** (campo gravitazionale e elettrico) **e campo dipolare** (campo magnetico)?

In particolare viene menzionata:

3a) La **non separabilità** dei **poli** e la **separabilità** delle cariche elettriche

3b) **Linee chiuse** per il campo magnetico**, aperte** per il campo elettrico

Sono stati analizzati i seguenti libri di testo della scuola secondaria superiore:

A) Marita Palladino Bosia (1997) "Fisica", Petrini editore

B) Vittorio Zanetti (1996) "Fisica", Zanichelli editore

C) E. Amaldi, G. Amaldi, U. Amaldi (1989) "Ottica Elettromagnetismo Struttura della materia", Zanichelli editore

D) P. W. Zitzewitz, R. F. Neff (1994) "Fisica principi e problemi, per la scuola secondaria", Mc Graw-Hill

E) D. Halliday, R Resnick (1999) "Fondamenti di Fisica 3, ad uso delle scuole secondarie"; Zanichelli editore

F) FISICA a cura del PSSC (Comitato per lo studio della scienza fisica), (1999) 4° edizione Zanichelli.

G) Fazio, M., Montano, M.C. (1991) "FISICA per i licei scientifici", vol. 3, Arnoldo Mndadori.

H) Caforio, A., Ferilli A. (1999) "Fisica sperimentale", Le Monnier

I) Progetto di Fisica PPC (1986), 2° edizione, Zanichelli.

J) Violino, P. e Robutti O. (1995) "La Fisica e i suoi modelli", Zanichelli.

Nell'analisi per brevità indicheremo i vari libri di testo con le lettere indicatrici (A, B, ecc...).

4.3 Analisi dei testi della scuola secondaria superiore

0. **Come viene definito il campo, e in particolare quello magnetico.**

Premettiamo che nei libri di testi il termine "campo" viene menzionato per la prima volta nel caso del campo gravitazionale, ma viene il suo concetto viene definito in modo esplicito solo in seguito quando vengono affrontati i fenomeni elettrici. Nel caso gravitazionale, infatti sui 10 testi analizzati ben 5 (testi B, E, F, I, J) non definiscono che cos'è il campo, pur menzionando tale concetto generalmente quando vengono affrontate le leggi di Keplero, e relazionandolo o alla velocità di fuga dei satelliti (testo B "*Se la velocità di lancio è esattamente uguale a v_l, il corpo giungerà all'infinito con energia cinetica nulla, ma non potrà più tornare indietro perché all'infinito non risente del campo gravitazionale terrestre*") o in generale all'accelerazione di gravità (testo E: "*Se l'accelerazione g dovuta alla gravità è la stessa in ogni punto di un certo volume, diciamo che ivi esiste un campo gravitazionale uniforme*") a volte fornendo solo la formula $g = F/m = GM_T/r_T^2$.
Quattro testi (testi A, C, G, H) invece lo definiscono in termini di regione di spazio "che circonda la Terra" in cui si manifesta una forza attrattiva (testo A:"*... osserviamo che tutti i corpi che ci circondano sono attirati dalla Terra; chiamiamo questo fenomeno la caduta dei gravi (da grave = pesante) e* ***campo gravitazionale*** *la zona che circonda la Terra e in cui questa forza attrattiva si manifesta*") oppure come sostituto del concetto di azione a distanza (testo C: "*non esistono forze a distanza ma si deve far uso di un nuovo concetto fondamentale, quello di* ***campo di forza gravitazionale****, o semplicemente di* ***campo gravitazionale****. Questo va pensato come un particolare stato di cose esistente in tutto lo spazio che circonda il corpo di massa m_1, il cui valore nel punto P dove si trova il corpo di massa m_2 dà luogo alla forza di Newton. Più precisamente si definisce come campo gravitazionale generato da m_1, il vettore* ***g****, detto intensità del campo, che in ogni punto P a distanza r da O ha modulo $g = F/m_2 = G_0\, m_1/r^2$*"). Infine in un solo caso (testo D) la spiegazione del concetto di campo gravitazionale viene relazionata al caso magnetico, il libro infatti sottolinea che storicamente Faraday introduce il concetto di campo per spiegare l'azione a distanza nel caso del magnetismo e che in seguito questo concetto viene applicato al caso della gravitazione.

Il campo viene definito in modo più approfondito quando vengono affrontati i fenomeni elettrici, nei vari libri esaminati per la maggior parte dei casi (7/10) esso è inteso come **proprietà o funzione dei punti dello spazio** (*"campo indica l'insieme dei valori che una certa grandezza fisica assume in ogni punto di una certa regione di spazio", "diciamo che lo spazio attorno ad un magnete o a un conduttore percorso da corrente è sede di un campo magnetico, così come abbiamo detto che lo spazio nelle vicinanze di una bacchetta carica è sede di un campo elettrico")*, a volte esplicitando che tale concetto sostituisce quello dell'azione a distanza (1 dei 7 casi [testo D]: "*introducendo il*

concetto di campo elettrico, non è più necessario parlare di interazione a distanza". Il campo elettrico viene definito come una "*grandezza vettoriale la cui intensità è la forza per unità di carica*", mentre quello magnetico viene introdotto in analogia al campo elettrico e gravitazionale, ossia per spiegare le *"forze" magnetiche*). In due testi viene definito come **descrittore delle interazioni** (2/10, [testi H, J]: "*L'interazione tra due magneti s'interpreta, in analogia alle forze gravitazionali ed elettriche, come azione del campo magnetico generato da un magnete e agente sull'altro magnete*"), mentre in uno come **perturbazione dello spazio** (1/10 [testo A]: "*un corpo carico... crea nel suo intorno una perturbazione, nella zona che circonda la carica si manifestano forze capaci di agire su altre cariche elettriche, diremo meglio che in quella zona c'è un campo elettrico"*).

Abbiamo analizzato quale proprietà viene associata ai vari campi: in quattro casi si parla esplicitamente di campo di forza per tutti i campi, gravitazionale, elettrico ma anche magnetico; quest'ultimo viene introdotto, analogicamente a quello elettrico, per passare da un concetto di forza a uno di campo (4/10 [testi B, C, D, G]: "*Abbiamo fin qui interpretato i fenomeni magnetici in termini di forze. Tuttavia, come nel caso dell'elettricità e della gravitazione, conviene interpretare le cose anche servendosi del concetto di campo, e più precisamente del concetto di campo magnetico.*", "*in tutti i casi in cui i corpi sono dotati di particolari proprietà risentono l'azione di una forza (elettrica, magnetica, gravitazionale, ecc..) in tutti i punti di una regione di spazio, si dice che questa regione costituisce, per quei corpi, un* ***campo di forza****", "Le forze attrattive e repulsive, che si esercitano tra i magneti compaiono anche quando i magneti non sono a contatto tra loro. Così come si possono spiegare le forze elettriche e quelle gravitazionali in base all'esistenza di campi elettrici e gravitazionali, si possono spiegare le* ***forze magnetiche*** *ammettendo l'esistenza di un campo magnetico nello spazio attorno a un magnete*").

In cinque casi vengono invece distinte le proprietà dei campi elettrici e gravitazionali da quelle dei campi magnetici, per lo più parlando di forze esercitate nei primi due e di orientazione degli aghi magnetici nel terzo (4/10 [testi A, E, F, I]: "*nella zona che circonda la carica si manifestano forze capaci di agire su altre cariche elettriche [...]. Un campo magnetico orienta gli aghi magnetici liberi di muoversi in una precisa direzione*", "*Diremo che in una regione di spazio esiste un campo magnetico quando in tale regione un ago magnetico libero di ruotare tende a disporsi secondo una precisa direzione*"), mentre in un solo caso viene giustificata la rotazione di un ago magnetico in termini di momento (testo H: "*Più in generale diciamo che in una certa regione dello spazio è presente un campo magnetico tutte le volte che un ago magnetico è soggetto, in quella regione, ad azioni meccaniche, cioè ad un momento dovuto alle forze agenti sui poli*"). Infine in un caso (testo

J) si introduce il campo B come induzione magnetica, ma senza specificare la natura diversa dai campi elettrici e gravitazionali.

Nonostante ciò, anche se in questi cinque testi sembra si voglia distinguere la proprietà relazionata al campo magnetico, emergono diverse contraddizioni, due esempi: 1) il testo H, che parla di momento che genera la rotazione, definisce in seguito le linee di campo magnetico come linee di forza; 2) il concetto di forza è spesso associato esplicitamente a quello di campo non solo per i campi elettrici e gravitazionali ("*analogamente alla Terra che esercita una forza su altre masse, un corpo carico esercita una forza su altri corpi carichi; di conseguenza è utile definire la forza elettrica che un corpo carico esercita su una carica unitaria in posizione qualsiasi nello spazio. Questa forza riferita all'unità di carica è detta intensità del campo elettrico*[10] *(o più semplicemente campo elettrico) ed è denotata con il simbolo* ***E****: E = F/q*."), ma anche per il campo magnetico dove la rotazione di un ago magnetico è dovuta a delle forze (*"l'ago di una bussola libero di ruotare attorno a un suo asse verticale si orienta nella direzione nord-sud: diciamo che si orienta nel campo magnetico della Terra. [...] In ogni zona dello spazio in cui un ago magnetico è soggetto a forze che tendono a orientarlo, si dice che esiste un campo magnetico"*), a volte esplicitamente dichiarate "azioni attrattive" dei poli ("*I granuli di ferro diventano a loro volta minuscoli magneti che si allineano l'uno di seguito all'altro e aderiscono alle estremità della calamita per le* ***azioni attrattive*** *fra estremi di nome opposto*").

[10] Anche se dal punto di vista della relazione matematica che intercorre tra F ed E è corretto, riteniamo che definire la forza (anche se riferita a un'unità di massa) come l'intensità di campo, possa essere un po' problematico per gli studenti, che difficilmente riuscirebbero a distinguere i due concetti e a comprendere quello di campo.

1. Distinzione tra i due effetti di un campo magnetico: orientazione e attrazione globale

In tre libri non vengono distinti i due effetti dell'interazione magnetica: o vengono menzionate solo l'attrazione e la repulsione (1 caso, testo B) oppure (2 casi, testi E, J) introducono il campo magnetico a partire dalle correnti e dalla Forza di Lorentz, mentre l'interazione tra i magneti non viene trattata, né viene esplicitata l'effetto rotatorio del campo. Si parla piuttosto di *forza trasversale* che agisce su una carica in movimento, mentre solo in seguito nel caso di una spira immersa nel campo, si interpreta l'azione del campo su di essa in termini di momento o coppia di forze[11] (trattato a un livello universitario).

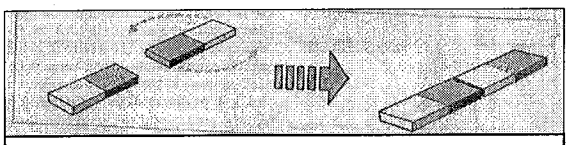


Figura 1: la rotazione tra due magneti, evidenziata nel testo A.

In altri quattro testi (C, D, F, I) viene menzionata la rotazione, però la rotazione però è intesa come effetto di una forza che agisce "globalmente" sul magnete esploratore (testo D: *"Il campo magnetico prodotto da un magnete esercita una forza su un altro magnete. Ad esempio il campo magnetico terrestre esercita una forza sull'ago magnetico di una bussola, facendola ruotare,..."*), oppure è l'effetto "delle" forze (testo F: *"in ogni zona dello spazio in cui un ago magnetico è soggetto a forze che tendono a orientarlo, si dice che esiste un campo magnetico"*), anche l'interazione tra due magneti è spesso descritta in termini vaghi di "insieme di forze" (*"i due aghi si influenzano reciprocamente: ciascuno esercita forze sull'altro. Ciascuno dei due aghi genera un campo magnetico e tende a orientarsi nel campo dell'altro"*).

Infine in tre testi (A, G, H) vengono riconosciuti e distinti i due effetti, giustificando la rotazione in base all'azione di una coppia di forze (*"poli dello stesso tipo si respingono, poli di tipo diverso si attirano. Notiamo inoltre l'azione di una forza a distanza, anzi di una* ***coppia di forze****, poiché l'effetto ottenuto è una rotazione della calamita. Possiamo dire che la calamita ... crea attorno a sé un campo magnetico e che quella appoggiata sul tavolo e libera di muoversi sente l'azione delle forze del campo"*) o di momento (testo H *"un ago magnetico, libero di ruotare, assume in ogni punto di un campo magnetico una determinata posizione di equilibrio, coincidente con quella in cui il momento delle coppie di forze agenti sui poli è nullo"*).

Nonostante alcuni testi evidenzino la differenza tra i due effetti troviamo in seguito diverse contraddizioni già menzionate nel punto precedente, come ad esempio nel testo H che pur menziona il momento delle coppie di forze, ma poi definisce le linee di campo magnetico come linee di forza.

Anche il testo I (focalizzato sull'approccio storico), che sottolinea come Oersted osservò per prima volta un fenomeno nel quale la forza non agisce lungo la retta che unisce la sorgente della forza all'oggetto su cui essa si esercita, evidenzia la distinzione tra attrazione/repulsione e rotazione

[11] Anche in questi testi (con un approccio universitario) ritroviamo delle contraddizioni, infatti le linee di campo vengono definite linee di forza.

identificando quest'ultima come determinante e principale: "*l'ago magnetico non è attratto o respinto dal filo percorso da corrente: è sottoposto a una* ***rotazione*** *dalle forze che agiscono sui poli magnetici spingendoli lateralmente*". Però anche in questo caso si notano alcune contraddizioni, in quanto il testo parla di "due forze uguali" piuttosto che di "coppia" (riguardo al doppio significato di coppia come la somma di due forze o come coppia che genera un momento, si veda il capitolo 8), oppure di una singola forza (sembra principale) che agisce sul polo nord dell'ago ("*la rotazione dell'ago è causata da due forze uguali in grandezza e opposte in verso, che agiscono sui due poli, secondo la nostra definizione, il campo B ha la direzione e il verso della forza che agisce sul polo nord dell'ago*"); in nessun caso comunque si parla di momento.

Infine osserviamo che anche se in alcuni (3/10) testi menzionano la coppia, però in **nessuno** viene considerato o evidenziato il fatto che la coppia di forze è una coppia di forze non uguali in modulo, se non in alcuni casi particolari (asse di simmetria del magnete e ago disposto lungo la linea di campo,..), ossia nessun testo menziona il fatto che l'ago solo si orienta perché l'attrito del tavolo contrasta la risultante delle forze che NON è nulla (essendo le forze non uguali) tranne che nel caso di un campo magnetico uniforme. Solo nel libro B viene menzionato il caso dei campi uniformi ("*una carica elettrica di prova posta in un campo elettrico uniforme risente l'azione di una forza che tende ad accelerarla; invece un aghetto magnetico, posto in un campo magnetico uniforme, ruota fino a fermarsi in una posizione di equilibrio, il che vuol dire che esso è sottoposto all'azione di una coppia di forze*"), ma non viene discusso il caso di un campo magnetico non uniforme[12].

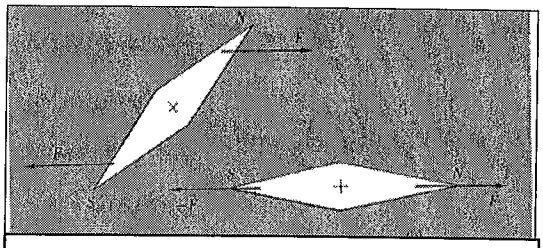


Figura 2: il testo non parla di coppia di forze, se la rappresenta però è sempre nel caso particolare di un campo uniforme, dove le forze sono uguali in modulo. Anche i testi che menzionano la coppia di forze, le intendono sempre uguali in modulo. [testo B]

1a) **La bussola è trattata esplicitamente come un magnete?**

Globalmente 7 testi su 10 menzionano la bussola, ma generalmente (6 dei 7 casi) danno per scontato che essa è un magnete, a volte accennando solo qualche riferimento storico (testo I: "*la prima descrizione scritta dell'uso della calamita come bussola per la navigazione risale, nei paesi occidentali, alla fine del XII secolo..*".), un solo testo (D) spiega la sua natura di magnete: "*l'ago di una bussola non è altro che un piccolo magnete a sbarra montato su un perno pressoché privo di attrito in modo che sia libero di ruotare in un piano orizzontale*". Infine 3 testi (A, E, J) non viene menzionata la bussola, due dei quali (E, J) non considerano neanche i magneti permanenti, ma introducono i fenomeni magnetici direttamente e soltanto con le correnti.

[12] Nel caso di un campo magnetico non uniforme (per esempio quello generato da un magnete), in cui la risultante delle forze non è nulla, l'aghetto magnetico non solo ruoterà ma verrà anche attratto lungo una direzione distinta da quella delle linee di campo (si veda capitolo 3).

2. **Le linee di campo magnetico vengono definite come linee di orientazione oppure come linee di forza?**

   ***2a)* Sono presenti delle *contraddizioni* o frasi poco chiare, che scambiano o usano alternativamente il concetto di *forza e orientazione*?**

La rappresentazione del campo attraverso le linee di campo viene introdotta per il caso elettrico in tutti i libri consultati, tranne in un caso in cui questa viene proposta già per il campo gravitazionale. Osserviamo che la "linea di forza" del campo elettrico, pur essendo sempre definita come quella linea la cui tangente in ogni punto ha la stessa direzione e verso del vettore campo, in alcuni casi viene costruita graficamente non con il vettore campo E (figura 3), ma con il vettore forza (testi B e C, si veda figura 4); riteniamo che anche se il vettore forza ha la stessa direzione del vettore campo, questo possa favorire l'insorgenza del ben noto problema di apprendimento che porta a identificare il concetto di forza con il campo.

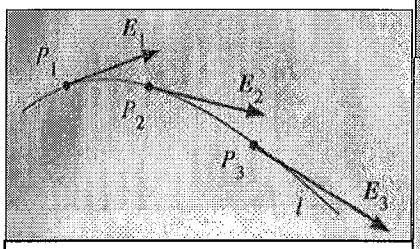


Figura 3: la linea di campo costruita utilizzando il vettore campo e non il vettore forza come nella figura 3 (testo G)

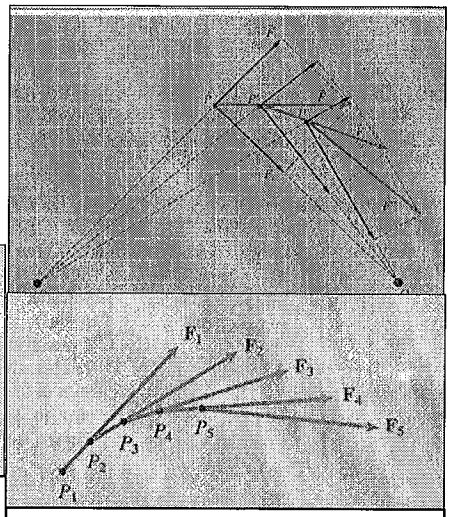


Figura 4: la linea di campo costruita con il vettore forza F e non con il vettore campo E (testi B e C)

Per quanto riguarda il campo magnetico, il risultato più saliente è che ben metà dei libri consultati (5/10, testi B, C, D, H, J) definisce esplicitamente le linee di campo magnetico come **linee di forza** la cui tangente in ogni punto coincide con la direzione della *forza magnetica* (testo B e C: "*un ago magnetico si dispone sempre secondo la linea di forza passante per il punto in cui esso è situato: infatti una* ***linea di forza del campo magnetico*** *è definita proprio come* ***quella linea la cui tangente coincide in ogni punto con la direzione della forza magnetica***", "*un campo magnetico, dunque, può essere descritto disegnando le linee di forza magnetiche proprio come un campo elettrico può essere descritto disegnando le sue linee di forza*"). A volte vengono chiamate equivalentemente linee di campo o di forza (testo H: "*ponendo una serie di aghetti magnetici in un campo magnetico si può osservare che essi, nella posizione di equilibrio, si dispongono su particolari linee, dette linee di campo o* ***linee di forza***...*"*), comunque spesso emergono diverse contraddizioni, in quanto viene riconosciuta la bussola come rivelatore del campo, però si afferma che essa si orienta lungo le linee di forza (testo D "*con il suo orientamento, l'ago della bussola mostra qual è il verso delle linee di forza*

del campo") oppure che il campo genera un momento meccanico che orienta gli aghi lungo le linee di forza (testo H: "*un filo percorso da corrente genera nello spazio circostante un campo magnetico per mezzo del quale esercita su un ago magnetico un momento meccanico, che fa ruotare l'ago fino a disporlo secondo la direzione del campo. Si trova che, se il filo è sufficientemente lungo, l'andamento delle linee di forza è quello evidenziato in figura..*").

In due testi (2/10) le **linee di campo** magnetico non vengono chiamate linee di forza ma sono definite, seppur in analogia alle linee di forza del campo elettrico, come "linee di campo" in generale, non viene però specificato se hanno o meno un significato diverso dalle linee di forza dei campi elettrici e gravitazionali (testi A e I: "*Noi useremo semplicemente la rappresentazione grafica, mediante **linee di campo** (analoghe alle linee di forza dei campi elettrici), la cui direzione è determinata dalla posizione che assumono gli aghi magnetici").*

In due casi invece le linee di campo magnetico sono chiamate **linee di induzione o linee magnetiche**, esplicitamente distinte dalle linee di forza del campo elettrico (2/10 testi E, G: "*il vettore fondamentale B del campo magnetico, ..., è chiamato induzione magnetica: esso può venire rappresentato mediante **linee di induzione**, così come il campo elettrico è stato rappresentato da linee di forza*", "*come si rappresenta un campo elettrico mediante linee di forza, così si descrive un campo magnetico mediante **linee di induzione** o più semplicemente **linee magnetiche***"); però non vengono associate esplicitamente alla rotazione o al momento (si parla di momento meccanico solo per la spira percorsa da corrente inserita in un campo uniforme), né viene data spiegazione del perché le linee di induzione non sono linee di forza.

Infine in un testo (F) le linee di campo sono definite come **linee di orientazione** in tutti i casi, sia elettrico che magnetico, ossia non si parla di linee di forza neanche per il caso elettrico: "*...le linee del campo elettrico si possono visualizzare sperimentalmente in virtù del fatto che corpi di piccole dimensioni **si orientano** parallelamente ad esse. Per esempio .... Se si genera un campo elettrico introducendo corpi carichi nel liquido, i semi si orientano visualizzando il campo elettrico.*" Le linee di campo magnetico anch'esse sono linee di orientazione: "*si possono descrivere i campi magnetici tracciando le linee del campo magnetico, così come si descrivono i campi elettrici disegnando le linee di campo elettrico. [...] si possono visualizzare le linee di campo con della limatura di ferro... i granuli di ferro si allineano lungo le linee di campo come i semi d'erba si allineano in un campo elettrico".* Consideriamo interessante introdurre le linee di campo come linee di orientazione in tutti i campi (si veda capitolo 7), però osserviamo che questo libro (F) ha introdotto il campo elettrico associandolo alla forza, che è direttamente legata all'attrazione e non la rotazione, andrebbe allora spiegato come si orientano questi semini

(è necessario che si creino dei piccoli dipoli elettrici), inoltre non vengono messe in evidenza le differenze nei due campi (elettrico e magnetico).

2a.1) Vengono definite le linee di campo (o forza) per il campo gravitazionale?

Per il quanto riguarda il campo gravitazionale 9 dei 10 testi esaminati non lo rappresenta attraverso le linee di campo, di questi 9 ben 6 non propongono nessuna rappresentazione grafica del campo, mentre in tre casi (testi B, D, H) esso viene rappresentato attraverso dei vettori di lunghezza proporzionale all'intensità del campo (con l'obiettivo di evidenziare la dipendenza dall'inverso del quadrato della distanza, si vedano le figure 5, 6 [a sinistra] e 7 [a destra]); in uno di questi (testo D) viene anche presentata l'analogia dell'azione gravitazionale di una massa con la curvatura di un telo di gomma (figura 6 a destra).

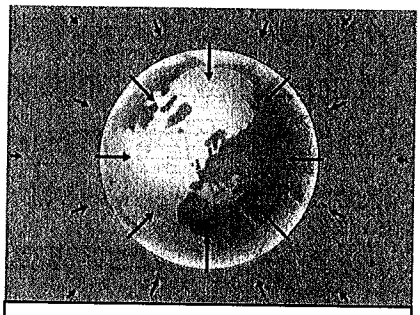


Figura 5: rappresentazione del campo gravitazionale attraverso vettori di lunghezza proporzionale all'intensità del campo (testo B)

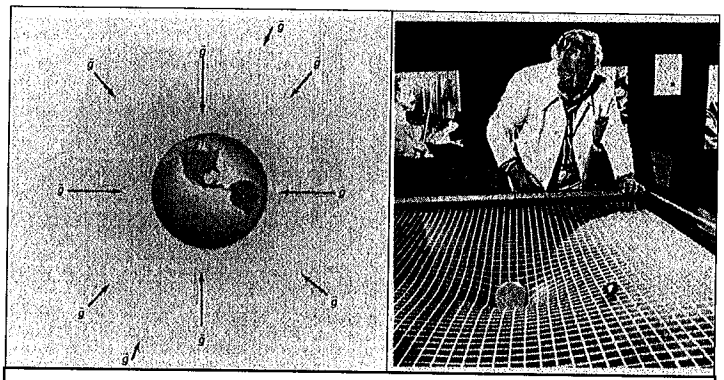


Figura 6: rappresentazione del campo gravitazionale attraverso vettori di lunghezza proporzionale all'intensità del campo (a sinistra) oppure (a destra) utilizzando l'analogia con un telo elastico (testo D)

In realtà il testo H definisce le linee di forza gravitazionali "*come quelle linee che in ogni punto hanno la stessa direzione dell'intensità* ***g*** *del campo*", però per rappresentarle graficamente non utilizza delle linee ma dei vettori di lunghezza costante (figura 7, a sinistra), il che può generare confusione nei ragazzi che si vedono rappresentare il campo gravitazionale in due modi ma con lo stesso strumento grafico: con dei vettori, o di lunghezza proporzionale all'intensità (figura 7 a destra) o di lunghezza costante (figura 7 a sinistra).

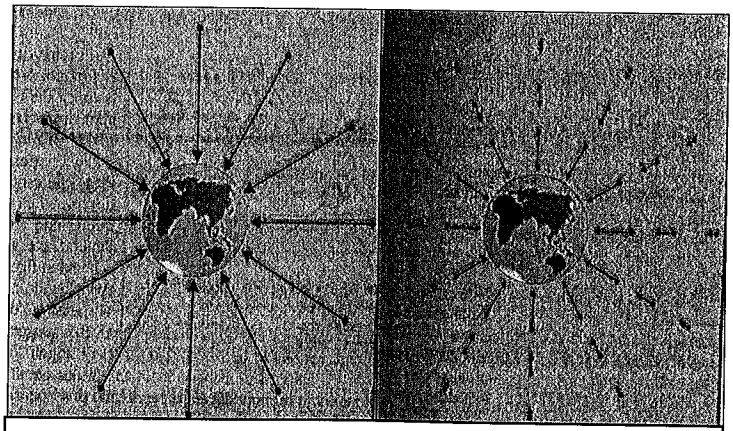


Figura 7: un esempio di rappresentazioni delle linee di "forza" tramite di vettori di lunghezza costante (a sinistra) e di lunghezza proporzionale all'intensità del campo gravitazionale (a destra) (testo H).

Infine un solo testo (G) definisce e rappresenta esplicitamente le linee di forza anche per il caso gravitazionale (figura 8 a sinistra): "*Un campo viene solitamente rappresentato da linee di forza, definite come quelle linee che hanno la proprietà di essere in ogni punto tangenti al vettore campo.*" Propone inoltre la sovrapposizione di due campi generati da due masse uguali (figura 8 a destra) e la convenzione della densità delle linee di campo come indicatrice del modulo del campo già per il caso gravitazionale.

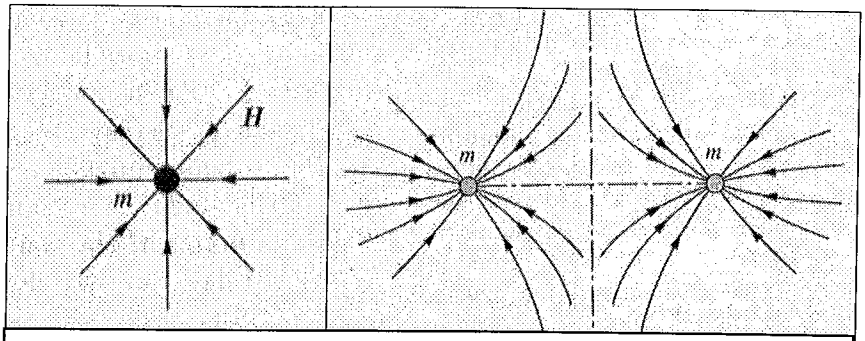


Figura 8: L'unico testo (Fazio1991) tra quelli analizzati che introduce le linee di campo (chiamate linee di forza) anche per il caso gravitazionale, proponendo inoltre la sovrapposizione di due campi generati da due masse uguali (figura a destra).

***2b)* Che uso ne fa il libro delle linee di campo?**

Due dei testi analizzati (B, J) non fanno nessun uso delle linee di campo, mentre tutti gli altri (8/10) fanno riferimento alla densità delle linee di campo per dare un'idea quantitativa del campo: 3 libri (A, F, H) affermano che "*le linee di forza (campo E) risultano più vicine, quindi più dense, proprio dove il campo è più intenso*" (oppure che "*dove le linee di campo sono più ravvicinate l'intensità del campo è maggiore*"), senza però spiegare il perché (infatti le linee di forza per definizione sono in numero infinito); mentre 4 (C, E, G, I) menzionano la convenzione secondo la quale le linee di campo vengono disegnate in modo da dare informazioni anche quantitative dell'intensità del campo (testo E: "*Le linee di induzione sono disegnate in modo che il numero di linee per unità di superficie, normale alle linee stesse, è proporzionale all'intensità del vettore B. Dove le linee sono fitte, B è grande, dove sono lontane le une dalle altre, B è piccolo*", testo G: "*... un criterio per risalire, da un tracciato di linee di forza, anche all'intensità di E: si è convenuto di disegnare le linee di forza con densità direttamente proporzionale all'intensità di E*", testo C: "*Faraday suggerì il seguente criterio convenzionale, che permette di ricavare dal disegno anche l'intensità del campo: il numero di linee di forza che viene disegnato è scelto in modo che il numero di linee che attraversano l'unità di superficie, disposta perpendicolarmente alla direzione del campo, sia, in ogni punto, proporzionale al valore della intensità del campo in quel punto*"). Infine nel testo D gli autori osservano che le linee di campo non esistono però sono uno strumento utile per avere un'immagine del campo magnetico e perché ci danno informazioni non solo sul verso e la direzione, ma anche l'intensità del campo, non viene però menzionata la convenzione utilizzata negli altri libri di testo sopra-

menzionati, ma viene giustificato in termini di flusso e di "vicinanza" tra due linee: "*Il numero delle linee di forza che attraversano perpendicolarmente una superficie è chiamato* ***flusso magnetico****. Il flusso magnetico per unità di superficie è proporzionale all'intensità del campo magnetico. Le linee di forza del campo magnetico sono più fitte in corrispondenza dei poli del magnete, dove il flusso magnetico per unità di superficie, e quindi il campo magnetico, è massimo.*"

2c) **Il libro menziona caratteristiche delle linee del campo magnetico (chiuse, ...)**:

- fornisce una spiegazione di cosa vuol dire che le linee sono chiuse?
- ne dà una giustificazione?

Otto dei libri (7/10) analizzati evidenziano la chiusura delle linee, però in ben 5 casi (A, C, F, H, I) tale caratteristica non viene giustificata né approfondita in nessun modo, mentre due testi (D, G) relazionano la chiusura delle linee alla non separabilità dei poli (testo D: "*poiché non possono esistere i poli magnetici isolati, in corrispondenza dei quali le linee di forza possano cominciare o terminare, le linee di forza di un campo magnetico sono linee chiuse, cioè si richiudono ciascuna su se stessa*") in un caso menzionando anche la chiusura all'infinito della linea di campo rettilinea (testo G: "*Tutte le linee magnetiche sono chiuse, anche quella rettilinea centrale, che si chiude all'infinito. Le linee magnetiche non si chiuderebbero se potessimo separare un polo nord da uno sud; ma ciò è impossibile*").

Due testi (B e J) non sottolineano nessuna caratteristica delle linee del campo magnetico, mentre il testo E lo fa, anche se non esplicitamente solo per il caso del campo generato da un filo percorso da corrente (le cui "*linee magnetiche formano circonferenze chiuse attorno al filo*"), però non viene né riconosciuta per gli altri campi magnetici.

2d) **I campi magnetici generati da correnti**

2d.1) **Viene evidenziato che le linee sono sempre chiuse anche per campo generato da un filo, una spira o un solenoide percorsi da corrente?** (tranne che nel piano di antisimmetria del filo)

Per quanto riguarda la rappresentazione grafica dei campi magnetici generati dalle correnti, 8 testi su 10 illustrano le linee di campo magnetico per il filo, la spira e il solenoide percorsi da corrente, mentre un testo (E) propone solo il caso del filo e del solenoide e un altro (testo A) soltanto il caso del filo. Rispetto alle caratteristiche delle linee di campo, la maggior parte dei

libri (7/10) non evidenzia nessuna caratteristica particolare, mentre solo tre libri (D, F, G) sottolineano la loro chiusura.

Globalmente invece solo due testi su 10 (D, F) sottolineano che la chiusura delle linee di campo è una caratteristica di tutti i campi magnetici, sia quelli generati da magneti permanenti che quelli generati da correnti (testo D: "*come avviene per le linee di forza dei campi magnetici generati dai magneti permanenti, anche le linee di forza del campo magnetico generato da una corrente sono chiuse su se stesse.*").

Infine solo 3 testi su 10 (testi F, G, I) mettono in risalto la differenza tra le caratteristiche delle linee del campo magnetico e elettrico "*le linee di campo, in questo caso circolari, sono linee chiuse intorno al filo percorso da corrente che genera il campo, mentre nel caso elettrico le linee uscivano dalle cariche*". Viene menzionato solo il caso del filo, mentre non viene sottolineato che la chiusura delle linee è una caratteristica di tutti i campi magnetici. Inoltre non viene data nessuna spiegazione della differenza della configurazione delle linee dei due campi (elettrico e magnetico), non viene neanche menzionata la natura polare e dipolare dei due campi.

2d.2) **Viene sottolineata l'analogia tra la configurazione delle linee del campo generato dal solenoide percorso da corrente e da un magnete cilindrico?**

Solo in quattro testi viene fatto un confronto tra il magnete e il solenoide, anche se non sempre si evidenzia l'analogia della configurazione delle linee di campo nei due casi: infatti il testo E propone l'analogia solo del comportamento di ogni estremo del solenoide come un polo di un ago magnetico ("*Solenoide di lunghezza finita. L'estremo destro, dal quale emergono le linee di B si comporta cime il polo nord di un ago magnetico. L'estremo sinistro si comporta come il polo sud*"), senza però fare riferimento alla forma delle linee di campo (anche perché le linee di campo magnetico generato da un magnete cilindrico permanente non sono mai proposte nel testo); mentre i testi B e I suggeriscono l'analogia per le linee di campo esterne, senza discutere l'esistenza di linee interne al magnete ("*il campo magnetico è molto simile a quello generato da una calamita, a forma di sbarra per quanto riguarda l'esterno della bobina*"), infine il testo F illustra le configurazioni delle linee di campo nei due casi (si veda figura 9)

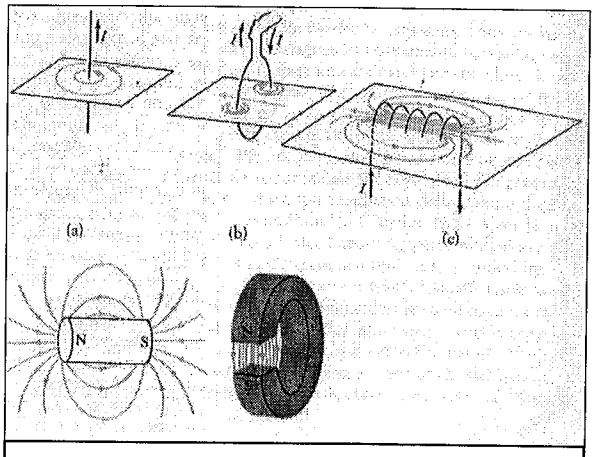


Figura 9: differenti configurazioni delle linee di campo magnetico illustrate nel testo F.

però l'analogia nei due campi viene data per scontata, anche se in base alla continuità delle linee si afferma che anche dentro il magnete esistono le linee di campo ("*Le linee dei campi magnetici generati da magneti permanenti (figura...) sembrano iniziare e terminare sulla superficie dei magneti, ma ciò è dovuto soltanto al fatto che non sono state disegnate le linee all'interno dei magneti, dove non è possibile collocare un comune ago magnetico*").

Negli altri testi o non vengono neanche presentate le linee di campo del solenoide (testo A), oppure anche se vengono illustrate non sono confrontate con quelle del campo generato da un magnete cilindrico (3 testi: C, D, J). Infine in due testi (G, H) presentano l'analogia tra la configurazione delle linee di campo generato dal magnete e quello della spira (e non il solenoide) percorsa da corrente ("*... dal verso delle linee di forza del campo magnetico di una spira circolare percorsa da corrente si può dedurre che la spira, agli effetti del campo magnetico generato, si comporta come un magnete i cui poli coincidono con le due facce*".).

3. **Viene esplicitata la distinzione tra campo centrale o monopolare (campo gravitazionale e elettrico) e campo dipolare (campo magnetico)?**

Tutti i testi analizzati tranne uno non mettono in evidenzia nessuna differenza tra la natura dei campi elettrici e magnetici, abbiamo visto solo che rispetto alle linee di campo in tre casi si sottolineava come le linee di campo nel primo caso fossero aperte e nel secondo chiuse, ma non veniva fornita nessuna giustificazione di tale fatto. Non abbiamo riscontrato inoltre nessun riferimento alla natura polare e dipolare.

Un solo testo (C) non menziona esplicitamente la natura monopolare o dipolare dei campi, però parla di "*natura fisica diversa del campo elettrico e magnetico*" (non viene considerato il campo gravitazionale) e dedica un intero paragrafo alla distinzione tra i due campi (E e B).

***3a)* La non separabilità dei poli e la separabilità delle cariche elettriche**

Quasi tutti (9/10) i testi analizzati mettono sottolineano la non separabilità dei poli e la giustificano sperimentalmente (spezzando un magnete si riforma un magnete), senza legarla alle proprietà di chiusura delle linee, ma solo in tre casi (G, H, I) confrontano e mettono in risalto le differenze con il caso elettrico.

***3b)* Linee chiuse per il campo magnetico, aperte per il campo elettrico**

Solo 4 testi su 10 (testi C, F, G, I) mettono in evidenzia la differenza tra le linee di campo magnetico ed elettrico (chiuse nel primo caso, aperte nel secondo), anche se tranne per il testo C ("*Tutte le linee magnetiche sono chiuse, anche quella rettilinea centrale, che si chiude all'infinito. Le linee magnetiche non si chiuderebbero se potessimo separare un polo nord da uno sud; ma ciò è impossibile*".), per gli altri tre non viene generalizzato a tutti i campi magnetici, ma viene messo in evidenzia solo per quelli generati dalle correnti ("*nel caso elettrico le linee di campo hanno origine e termine nelle cariche che generano il campo, mentre le linee di campi magnetici generati da correnti non hanno né origine né termine ma circondano i fili percorsi da corrente*") o da un solo tipo di correnti (filo percorso da corrente, del testo I).

4.3 Conclusioni

Nei testi scolastici consultati il concetto di campo viene menzionato nel caso gravitazionale, ma è introdotto e definito in modo esplicito solo quando vengono affrontati i fenomeni elettrici.

Quasi metà dei testi consultati parlano esplicitamente di campo di forza per tutti i campi, gravitazionale, elettrico ma anche magnetico, e l'altra metà, anche se inizialmente distingue, in modo generale, le proprietà dei campi elettrici e quelle dei campi magnetici, per lo più facendo riferimento a forze esercitate nel primo caso e di orientazione degli aghi magnetici nel secondo, non è esente da contraddizioni nella trattazione del campo magnetico.

Generalmente non si pone l'accento sulla distinzione dei due effetti dell'interazione magnetica, in alcuni casi la rotazione non viene neanche menzionata, in altri casi è intesa come effetto di "una" forza che agisce "globalmente" sul magnete esploratore oppure in modo generico "delle forze" o di un "insieme di forze", piuttosto che relazionarla a un momento meccanico o a una coppia di forze.

Nella rappresentazione del campo magnetico ben metà dei libri consultati definisce esplicitamente le linee di campo magnetico, in analogia a quelle del campo elettrico, come *linee di forza* la cui tangente in ogni punto coincide con la direzione della *"forza magnetica"*, a volte vengono chiamate equivalentemente linee di campo o di forza, però si afferma che il campo genera un momento meccanico che orienta gli aghi lungo le linee di forza. Anche quando sono chiamate linee di induzione o linee magnetiche (o di orientazione), non vengono però associate esplicitamente alla rotazione o al momento né viene esplicitamente sottolineato e spiegato che le linee di induzione non sono linee di forza.

Per questo riteniamo sia opportuno distinguere esplicitamente i due effetti dell'interazione magnetica (attrazione globale e rotazione) e identificare le linee di campo magnetico come linee di orientazione. Inoltre se si vuole fornire un'idea globale del concetto di campo, è bene integrare anche il caso gravitazionale, proponendo la rappresentazione grafica delle linee di campo anche in questo caso.

Infatti è emerso che tutti i testi esaminati tranne uno non rappresentano il campo gravitazionale attraverso le linee di campo, al contrario la maggior parte non propone nessuna rappresentazione grafica in questo caso, mentre alcuni utilizzano dei vettori di lunghezza proporzionale all'intensità del campo, ma non le linee di campo.

Per quanto riguarda la rappresentazione grafica dei campi magnetici generati dalle correnti, quasi tutti[13] i libri illustrano le linee di campo magnetico per il filo, la spira e il solenoide percorsi da corrente.

[13] solo due testi non illustrano tutti e tre i casi ma almeno uno sì

Nonostante ciò fanno un uso limitato delle linee di campo, la maggior parte menziona la densità delle linee come indicatore dell'intensità del campo, ma solo alcuni fanno riferimento a una convenzione nella rappresentazione delle linee, che infatti per definizione risulterebbero infinite. La non separabilità dei poli è messa in evidenzia da quasi tutti i testi, ma non viene relazionata alla proprietà di chiusura delle linee. Inoltre solo in quattro testi viene fatto un confronto tra il magnete e il solenoide, anche se non sempre si evidenzia l'analogia della configurazione delle linee di campo nei due casi, e comunque ci si riferisce solo a quelle esterne. In un solo caso si discute l'andamento delle linee di campo interne al magnete, ma non si sfrutta l'analogia con il solenoide.
La chiusura delle linee di campo magnetico viene evidenziata da una buona parte (7/10) dei testi solo per il campo generato da un magnete (e generalmente tale proprietà non viene approfondita né giustificata), mentre per i campi generati da sorgenti la maggior parte (sempre 7/10 anche se non gli stessi) non evidenzia nessuna caratteristica geometrica delle linee.
Globalmente solo due testi su 10 sottolineano che la chiusura delle linee di campo è una caratteristica di tutti i campi magnetici, sia quelli generati da magneti permanenti che quelli generati da correnti.

Infine quasi nessun testo mette in evidenzia la differenza tra la natura dei campi elettrici e magnetici, né fa riferimento alla natura polare e dipolare. Solo quattro testi su dieci mettono in evidenzia la differenza tra le linee di campo magnetico ed elettrico (chiuse nel primo caso, aperte nel secondo), anche, se tranne in un caso, non viene generalizzato a tutti i campi magnetici, ma viene messo in evidenzia o per quelli generati dalle correnti.

CAPITOLO 5

Prima investigazione sul campo gravitazionale e magnetico nella scuola primaria (5-11 anni)

"O grandi del passato,
voi che avete scoperto e risolto più di un mistero del moto
dove altri non videro mistero.
Voi che avete riportato il remoto e l'arcano al vicino e al palese:
la caduta di una mela all'orbita della Luna,
l'inerzia qui alla massa laggiù,
la velocità della luce alle configurazioni dello spazio-tempo.
Grazie al vostro intuito, duramente conquistato
si svela ora a noi in una sola frase, tutta la grande fiaba della gravità:
lo spazio domina la massa ordinandole come muoversi
e la massa domina lo spazio tempo ordinandogli come curvarsi.
Con il vostro fanciullesco spirito indagatore ricordate a noi, tutti fanciulli,
che solo poco a poco stiamo scoprendo con occhi nuovi
questo universo strano e affascinante, la nostra casa comune."
J.A. Wheeler

5.1 Introduzione

Come abbiamo visto nel capitolo 2, una vasta letteratura ha messo in luce i problemi di apprendimento legati al concetto di campo, o ai vari tipi di campo, a partire dalla scuola primaria fino all'università. Gli specifici problemi di apprendimento legati al caso gravitazionale, possono essere così riassunti:

1) l'azione a distanza *(Bar, Galili, Borghes and Gilbert):* la convinzione che vi sia necessità di un mezzo per la trasmissione dell'interazione, associata all'idea di campo come regione finita di spazio (l'atmosfera è vista come il limite dell'azione gravitazionale terrestre, Bar et al. (1994) e (1997), Palmer (2001)).
2) la forma della Terra e il suo campo gravitazionale (Arnold (1995), Nussbaum et al. (1976), (1985), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001))
3) la dissociazione tra il peso, la caduta dei gravi e il campo gravitazionale (Galili (1997), Bar (1994), (1997), Ruggero et al. (1985))
4) la connessione tra gravità e magnetismo: diversi studenti associano i fenomeni gravitazionali con quelli magnetici (Bar (1994), (1997)).
5) La difficoltà a riconoscere la reciprocità nell'interazione (3° Legge dinamica) (Bar (1994), (1997), Galili (1997), Ruggero et al. (1985)).

6) il diverso modo di guardare a condizioni statiche e dinamiche e l'identificazione della traiettoria[1] di un oggetto in movimento in presenza di un campo con le linee di campo (Bradamante & Michelini (2005))
7) la rappresentazione del campo e il ruolo delle linee di campo[2]: (Galili (1995), Torknwist et al. (1993), Greca & Moreira (1997), Guisasola et al. (2003))

In tutte queste ricerche sono state utilizzate diverse metodologie (questionari, interviste aperte o chiuse, disegni, ...) e su campioni differenti in numero di soggetti e fasce di età (livello prescolare (4-6 anni), elementare (6-11), secondario (11-18) e universitario). Ciascuna di queste ricerche ha quindi un valore parziale e non è confrontabile direttamente con le altre, però nonostante le differenze metodologiche e di impostazione ognuna ha trovato gli stessi nodi concettuali; tutto ciò avvalora il fatto di considerare e studiare il problema.

Seguendo la linea di lavori di ricerca realizzati da diversi anni a Udine (Michelini (2004), Boris et al. (1997)) che prendono come punto di vista il contesto informale e la dimensione ludica, è stata realizzata un'esplorazione dei ragionamenti comuni sulla caduta dei gravi e sul campo gravitazionale (descritta nel paragrafo 5.4.1).
Questa prima ricerca[3] è stata inoltre messa a confronto con un'attività simile sul campo magnetico[4]; entrambe le attività sono state realizzate nel contesto informale di una manifestazione di diffusione culturale e scientifica (marzo scientifico 2004 organizzato dall'Università degli Studi di Udine).
L'esplorazione dei ragionamenti dei bambini è stata condotta a partire da una situazione (la caduta di una pallina) per il caso gravitazionale, mentre per il caso magnetico dalla rappresentazione delle linee di campo magnetico, costruite utilizzando diversi elementi esploratori (bussola, limatura di ferro) nello spazio circostante un magnete. In questa prima ricerca, per entrambi i campi, sono state proposte sia situazioni statiche che dinamiche, qui presenteremo solo in dettaglio solo i risultati nel caso statico. Dal confronto delle due ricerche (Bradamante & Michelini (2004), (2006), Fedele et. al (2005)) è emerso che il campo magnetico risulta utile per riconoscere il processo di interazione in situazioni statiche, mentre in situazioni dinamiche la trattazione è complessa (data la natura bipolare del campo), il campo gravitazionale invece nel caso dinamico si presta per riconoscere il ruolo delle condizioni iniziali.

---

[1] Questo problema di apprendimento è stato studiato per il campo elettrico e oggetto di un nostro studio relativo ai fenomeni gravitazionali e magnetici i cui dettagli sono riportati nel complemento 1.
[2] Anche per questo problema di apprendimento è stato studiato prevalentemente per il campo elettrico e magnetico.
[3] Il contenuto di questo capitolo è illustrato negli articoli: Bradamante & Michelini (2004), (2005), (2006), Fedele et al. (2005)
[4] L'attività sul campo magnetico è stata realizzata, in base a ricerche precedenti dell'URDF (Stefanel et al. (2002)) dalla Dr.ssa Barbara Fedele nell'ambito della sua tesi di laurea (Fedele (2005)) presso l'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica (URDF) dell'Università degli Studi di Udine. Si ringrazia la Dr.ssa Barabara Fedele per i dati forniti.

L'analisi comparata dei risultati delle interviste semistrutturate e dei prodotti scritti e grafici, sembra fornire alcuni suggerimenti riguardo all'introduzione del concetto di campo sia gravitazionale che magnetico.

5.2 I problemi di apprendimenti indagati

In base alle ricerche in letteratura riguardo ai fenomeni gravitazionali, in questo lavoro abbiamo preso in considerazione alcuni problemi di apprendimento, ponendoci le seguenti domande:

a) la forma della Terra e la struttura centrale (o radiale)[5] dell'attrazione gravitazionale: è riconoscibile dai bambini?
b) interazioni tra sorgenti ed esploratori: viene riconosciuto che nello spazio circostante la sorgente si generano proprietà rilevabili da un esploratore? Viene riconosciuta l'azione della sorgente sull'esploratore nel caso gravitazionale e magnetico? La proprietà riguarda tutti i punti dello spazio?
c) le giustificazioni sono in termini di causa contingente o efficiente?
d) Il mezzo e l'azione a distanza: il mezzo è considerato necessario per spiegare l'interazione? L'interazione è associata a una visione globale di forza gravitazionale?
e) Il caso magnetico costituisce veicolo concettuale, utile anche al caso gravitazionale, rispetto al passaggio da una visione locale a una globale della fenomenologia[6]?
f) Il modello oggettuale di campo gravitazionale può avere un ruolo di mediazione tra la rappresentazione globale e locale dei fenomeni? Come viene percepito dai bambini?
g) La distinzione tra le linee di campo e le traiettorie: quali modalità operative attivano la distinzione tra le due rappresentazioni?

I punti f), g) sono stati affrontati nel caso dinamico (Bradamante & Michelini 2005, 2006), in questo capitolo ci soffermeremo maggiormente sui primi quattro problemi di apprendimento.

[5] Per "struttura centrale dell'attrazione gravitazionale" intendiamo il riconoscimento che da tutti i punti sulla superficie della Terra, l'attrazione gravitazionale è diretta verso il centro della Terra. Rispetto alla fisica la forza gravitazionale è una forza centrale, essendo la natura del campo gravitazionale polare (le linee di campo, considerando un'unica sorgente sono radiali).

[6] Questa ipotesi nasce dalla considerazione che il campo magnetico permette un controllo degli aspetti locali e globali in una regione di spazio limitata, e quindi potrebbe prestarsi come contesto analogico al passaggio tra la visione della caduta dei gravi da un punto intorno alla Terra a quella a livello planetario.

5.3 La ricerca il contesto e il campione

Sono state realizzati due laboratori cognitivi CLOE (Cognitive Laboratories of Operative Exploration) di 30 minuti, uno sulla gravità e uno sul magnetismo[7]. I CLOE (Michelini (2004), Stefanel et al. (2001)), come spiegato nel capitolo 2, sono costituiti da interviste semistrutturate nel contesto di un'esplorazione sperimentale con i bambini, integrate da discussioni in gruppo. Facilitano l'individuazione e lo studio degli schemi di ragionamento dei bambini, infatti il contesto informale e il personale coinvolgimento del soggetto con l'oggetto di studio favorisce l'esplicitazione di sequenze di ragionamento interpretativo, attraverso l'esplorazione di ipotesi e il confronto tra le diverse ipotesi interpretative dei singoli partecipanti.

Il campione è composto da due gruppi di 74 bambini (età dai 5 ai 10 anni), la maggior parte dei quali ha realizzato una sola[8] delle due attività (sul magnetismo o sulla gravità) nel contesto informale di una "caccia al tesoro" inserita nell'ambito di una manifestazione di diffusione scientifica (la XIV edizione delle Giornate di Diffusione Scientifica e Tecnologica organizzata dall'Università degli Studi di Udine), che includeva l'esposizione della mostra interattiva GEI (Bosio et a. (1997), Bosatta et al. (2001)), organizzata ogni anno per le scuole della zona. I due gruppi di 74 bambini che hanno partecipato alle attività sono stati scelti in modo casuale tra tutti i 258 bambini che hanno partecipato alla "caccia al tesoro"(figura 1).

Figura 1: Caccia al Tesoro durante la mostra GEI

Nell'attività svolta sono stati utilizzati strumenti e metodi differenziati: 1) dialoghi con domande stimolo sui nodi concettuali considerati, in base ad un protocollo scritto; 2) discussioni a piccoli gruppi per esplorare possibili sequenze di ragionamento; 3) un questionario scritto basato su elementi grafici ed iconici (disegni dei bambini) per esplorare le idee intuitive sull'attrazione gravitazionale terrestre; 4) l'uso di un modello *oggettuale* di campo gravitazionale (si veda complemento 1) proposto da Eddington (Eddington (1978)).

[7] Come già detto la parte sul magnetismo è stata svolta dalla Dr.ssa Barbara Fedele.
[8] Alcuni gruppi hanno realizzato entrambe le attività, prima quella sul cmapo gravitazionale e poi quella sul campo magnetico.

L'indagine, da un punto di vista cronologico per entrambi i campi[9], veniva svolta in trenta minuti rispetto ai seguenti *steps*: 1) domande e discussioni a piccolo gruppo; 2) disegni dei bambini riguardo alla forma della terra e alla traiettoria degli oggetti che cadono sulla superficie della terra / osservazione delle linee di campo magnetico utilizzando diversi rivelatori di campo (limatura di ferro, bussola); 3) domande orali sulla previsione del moto di oggetti in quiete o in movimento nella regione di campo (gravitazionale / magnetico) considerata ; 4)[10] uso di un modello di campo gravitazionale / pallina d'acciaio con velocità diversa da zero in una campo magnetico stazionario.
Veniva richiesto ai bambini di analizzare e predire il comportamento di un sistema che interagisce con il campo nei due casi (gravitazionale e magnetico) e sia in situazioni statiche (direzione di caduta di un oggetto inizialmente fermo, interazione tra un magnete e un rilevatore di campo), sia dinamiche (discussione delle possibili traiettorie di una pallina posta nel modello analogico *oggettuale* di campo, mentre per il caso magnetico è stato considerato il moto di una pallina di acciaio in un campo magnetico stazionario). Infine i bambini osservavano il comportamento del sistema considerato, confrontandolo con le loro previsioni e discutendone in gruppo e con l'intervistatore.

5.4 Analisi dei dati e risultati

Sono stati raccolti i disegni dei bambini e trascritte le interviste dalle registrazioni, poi sono state analizzate organizzandole per classi di categorie.

Nell'analisi per semplicità indicheremo con G_g e G_m rispettivamente il gruppo che ha svolto l'attività sul campo gravitazionale e magnetico.
Inizialmente nel paragrafo 3.1 illustreremo in dettaglio i risultati delle risposte e dei disegni dei bambini riguardo all'attività sul campo gravitazionale, mentre nel paragrafo 3.2 metteremo a confronto i risultati delle due ricerche. Per quanto riguarda la ricerca sul campo magnetico verranno considerati solo i dati utili al nostro confronto, mentre per i dettagli su tale ricerca si rimanda alla tesi di laurea di Barbara Fedele (Fedele (2005)).

---

[9] Per i dettagli delle attività si veda l'allegato 1. Per quanto riguarda il CLOE sul magnetismo, i passi svolti sono stati i seguenti: a) Esplorazione della calamita come sorgente; b) Previsione dell'interazione del magnete con oggetti vari.; c) Esplorazione dell'attrazione o no della calamita di diversi oggetti; d) Interazione calamita – limatura di ferro (descrizione ed interpretazione delle linee di campo); e) La calamita come sorgente e il suo ruolo nel processo di attrazione, e) Riconoscimento delle proprietà della bussola, f) Previsione del percorso della pallina inizialmente ferma inserita in particolari punti sulle linee di campo; g) Previsione della caduta pallina dallo scivolo in assenza di campo magnetico, h) Previsione della traiettoria della pallina in un campo magnetico.
[10] I punti 3 e 4 si riferiscono al caso dinamico, per i dettagli dell'analisi si rimanda all'allegato 1.

5.4.1) La ricerca sul campo gravitazionale

5.4.1a) Analisi dei disegni

Ai bambini veniva richiesto inizialmente di rappresentare la caduta di una pallina in diversi punti intorno alla Terra. Dall'analisi dei disegni ne emergono cinque tipologie, di cui l'ultima risulta legata a una visione locale della Terra. I disegni sono fatti individualmente dai bambini nella fase precedente all'uso del modello.

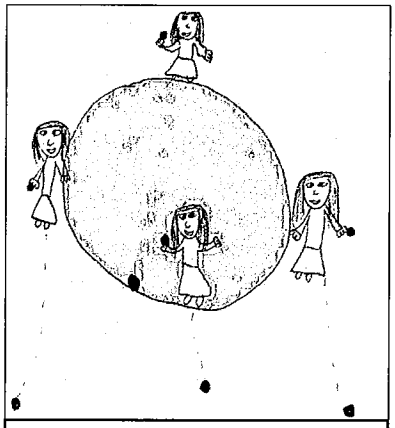


Figura 2: Disegno della caduta della pallina: punto di vista parzialmente locale

Disegno 1: **Punto di vista parzialmente locale 23%**

Nella figura 2 è riportato il punto di vista parzialmente locale, in quanto la Terra non è disegnata piatta, ma sferica, però il punto di riferimento sia per la disposizione (verticale) delle figure umane e sia per la caduta delle palline è la parte finale del foglio.

È da notare che questa interpretazione è data non solo dai bambini più piccoli (5-6 anni) ma anche da un certo numero (37,5% dei bambini che hanno fatto il disegno 1) di bambini di 7 anni.

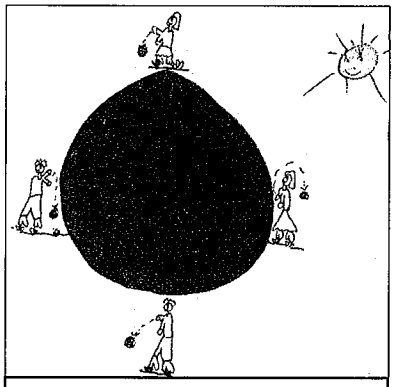


Figura 3 Disegno della caduta nei vari punti della Terra: rappresentazione di aspetti locali in un sistema globale.

Disegno 2: **Rappresentazione di aspetti locali in un sistema globale 20 %**

Nella figura 3 si osserva come il fenomeno della caduta viene riconosciuto identico in ogni punto della Terra, però ogni evento viene tradotto in termini locali. Vi è quindi un automatico cambio di sistema di riferimento rispetto a quello in cui si rappresenta la Terra, dovuto alla necessità di rappresentare la caduta dei gravi come si presenta nelle osservazioni a livello locale.

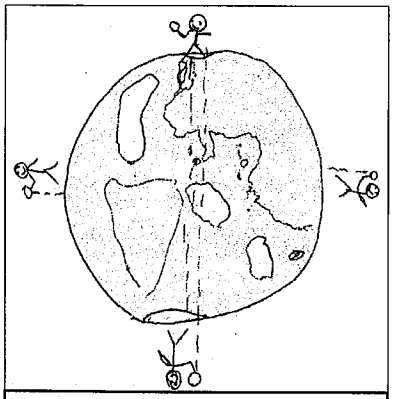


Figura 4: Disegno della caduta nei vari punti della Terra: la pallina può attraversare la Terra.

Disegno 3: **Struttura radiale, con possibilità per la pallina di attraversamento della Terra 8 %**

Nel disegno riportato nella figura 4 si assume come sistema di riferimento la Terra (per tutte le figure umane con una visione globale) nella rappresentazione della caduta, ma in alcuni casi viene prevista per la pallina la possibilità di attraversare la Terra.

La maggior parte dei bambini che hanno rappresentato questo disegno hanno in seguito cambiato idea quando veniva loro chiesto di rapportarsi sul piano dell'esperienza[11].

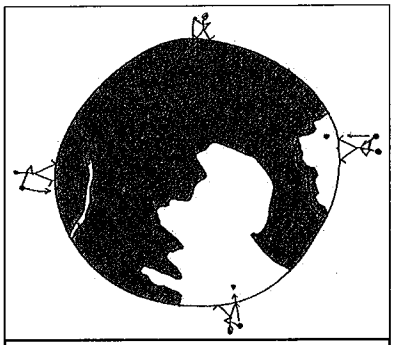


Figura 5 La caduta delle palline da tutti i punti della Terra è radiale, ossia è diretta verso il centro della Terra.

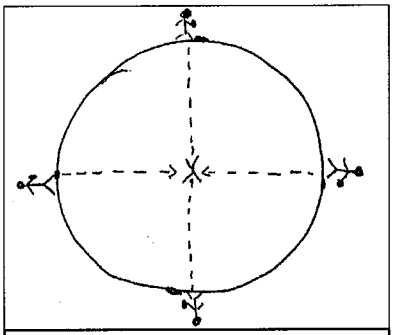


Figura 6: La caduta della pallina nei vari punti della Terra, che evidenzia il centro della Terra come riferimento per le traiettorie delle palline.

Disegno 4 **Struttura radiale 49%**

Metà (49%) dei bambini (considerando solo i bambini dai 9 ai 10 anni la percentuale aumenta al 64%) rappresenta la caduta della pallina in modo radiale, diretta verso il centro della Terra in tutti i punti sulla sua superficie (figura 5). Un 4,1% dei casi (figura 6) esplicita la direzione della caduta con una linea tratteggiata, implicando un elemento interpretativo che evidenzia il centro della Terra come riferimento per le traiettorie delle palline dai vari punti in cui vengono lasciate cadere.

Una piccola percentuale 2,7 % esalta tale aspetto interpretativo del centro della Terra, fino a farlo diventare una conseguenza fenomenologia che fa cadere la pallina non sulla sua superficie, ma al suo centro (questo veniva esplicitato dai bambini su richiesta di precisazioni, ma, in seguito alla discussione in gruppo, essi stessi cambiavano parere).

In conclusione possiamo affermare che un primo elemento è dato dal riconoscere che l'attrazione gravitazionale terrestre è diretta verso il centro della Terra (raggiunto dal 57% dei bambini, categorie dei disegni 4 e 5, tabella 1), mentre un secondo dal dare un ruolo interpretativo al punto di caduta.

Disegno 5: la Terra piatta 13 %

Una minima parte (13 % di tutti i bambini) dei bambini più piccoli (5-6 anni) ha disegnato inizialmente Terra piatta (punto di vista totalmente locale). In questo caso venivano messi a confronto i vari disegni e discusse le differenze, affinché i bambini stessi, attraverso la discussione in gruppo, giungessero alla conclusione che erano solo differenti punti di vista: uno locale (da vicino) e l'altro globale (come se la terra fosse vista da lontano, dallo spazio) ed all'accordo di disegnarla tutti nello stesso modo, cioè rotonda perché vista "da lontano".

[11] Veniva loro chiesto se fosse dunque possibile, secondo la loro rappresentazione, passarsi la palla con bambini dall'altra parte del globo terrestre, domanda alla quale tutti rispondevano negativamente e riflettendo giungevano alla conclusione che la pallina doveva fermarsi sulla superficie della Terra.

La tabella 1 riassume l'analisi dei disegni dei bambini, suddivisa rispetto a tre fasce d'età dei bambini che hanno partecipato all'attività: 9-10 anni, 7-8 anni, 5-6 anni.

Tipi di disegni	Tutte le età	9-10	7-8	5-6
1) Punto di vista parzialmente locale	**23%**	-	30%	37%
2) Rappresentazione di aspetti locali in un sistema globale	**20%**	16%	20%	29%
3) Struttura radiale, con possibilità per la pallina di attraversamento della Terra	**8%**	20%	0	0
4) Struttura radiale	**49%**	64%	50%	29,2%
5) Terra piatta ([12])	**13 %**	0	0	37,5%

Tabella 1 Disegni dei bambini della forma della Terra e della caduta dei corpi (G_g).

Nella Tabella 2, invece, sono messi a confronto i risultati di diverse ricerche sulle concezioni iniziali dei bambini della fascia di età dei 9-10 anni sulla disposizione degli uomini tutto intorno alla Terra, prendendo come riferimento le 4 concezioni schematizzate in letteratura (Masclet 2003). Osserviamo che le rappresentazioni A e D emergono in tutte le ricerche, e nel nostro caso ricoprono l'intero campione di dati[13]. Nella nostra ricerca interessante e significativo è il dato riguardo al modello D, dal quale emerge che la maggior parte dei bambini (84%[14]) adotta tale rappresentazione, che risulta compatibile con uno schema coerente con una visione globale[15] di gravità come forza centrale, in quanto dispone le figure umane secondo questa visione.

Riteniamo che questo possa esser dovuto al modo in cui è stato affrontato il problema, che nel nostro caso viene affrontato sul piano interpretativo, ossia al bambino viene richiesto di interpretare la caduta dei gravi inizialmente nel locale (sulla superficie terrestre) e in seguito nel globale, disponendo delle figure umane intorno alla Terra. Nelle altre ricerche invece la questione è posta in altri contesti, come quello della descrizione delle stagioni, come nel caso di Masclet (Masclet (2003)).

[12] Con i bambini che disegnavano la Terra piatta veniva instaurata una discussione in gruppo fino ad arrivare alla conclusione che quella non era nient'altro che una visione locale della Terra, e il gruppo concordava di disegnare la Terra vista da lontano, in seguito veniva dato loro un foglio in più per fare un altro disegno. Quindi la categoria 5 non rientra nel conteggio del 100% del numero dei bambini.

[13] La categoria A corrisponde ai disegni 1 e 2 della Tabella 1, la categoria D ai disegni 4 e 5, mentre le categorie B e C non sono presenti nella nostra ricerca.

[14] L'84% si riferisce solo ai bambini di età tra i 9 e 10 anni, mentre per le altre fasce di età i dati sono riportati nella tabella III.

[15] Per visione locale di gravità intendiamo la caduta degli oggetti sulla terra (le cui direzioni sono perpendicolare alla superficie terrestre e parallele tra loro), mentre per visione globale intendiamo la concezione della gravità considerando la Terra vista da lontano, in cui viene riconosciuto che l'attrazione gravitazionale è diretta verso il centro della Terra.

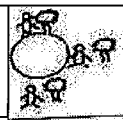
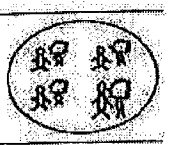
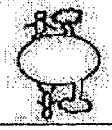
Concezioni schematizzate		Nussabum 10 anni Israele	Vosniadou 8-10 anni USA	Baxter 9-10 anni Inghilterra	Merle 9-10 anni Francia	E.Masclet 9-10 anni Francia	**F.B.,M.M. 9-10 Italia**
A		50 %	7,5 %	17 %	8,5 %	26%	**16%**
B		12 %	25 %	-	-	-	-
C		20 %	7,5 %	83 %	47 %	40%	-
D		18 %	50 %	-	44 %	33%	**84%**

Tabella 2 Confronto tra i risultati in letteratura e quelli ottenuti in questo lavoro, selezionati solo per l'età 9-10([16])

5.4.1b) Interpretazione della caduta dei corpi sulla Terra:

Due aspetti salienti emergono dalla visione interpretativa dei bambini riguardo alla caduta dei corpi:

1) la causalità **contingente**: metà dei bambini motiva la caduta dei corpi considerando soltanto le cause **contingenti,** piuttosto che quella **efficiente**[17]**:** secondo loro infatti gli oggetti cadono perchè non sono sostenuti da qualcuno "*li lasciamo andare*", o dal mezzo *"l'aria li sostiene"*
2) il **contesto rappresentativo** : generalmente viene considerato quello locale (la Terra attira gli oggetti), piuttosto che quello globale, o planetario (interazione tra masse).

Analizzando la tabella 3 si osserva che i bambini non hanno la completa visione del processo d'attrazione gravitazionale: infatti il 50% considera solo la causa contingente, circa il 20% dei bambini attribuisce alla caduta dei corpi la mancanza di proprietà locali (magnetiche o gravitazionali) che sono considerate necessarie per l'equilibrio del sistema; il 17,5% fa riferimento a una proprietà di uno specifico sistema: o la Terra (il 6,5%) oppure del corpo (11%); il 10,8% (4,3% e 6,5%) menziona la gravità o la forza gravitazionale intese come entità "animate"; infine soltanto il 2% dei bambini menziona l'interazione tra due masse. Si osserva però che, anche in questo ultimo caso, l'interazione è intesa soltanto in un verso, ossia dall'oggetto più grande a quello più piccolo, e non reciproca.

[16] Dati ricavati dalla Tesi di Dottorato di E. Masclet [Masclet (2003)].

[17] La causa efficiente è quella che è direttamente responsabile del fenomeno, mentre quella contingente è quella che permette ad esso di manifestarsi. Nel caso specifico della caduta dei gravi, la causa efficiente è la forza gravitazionale tra la massa della Terra e quella del corpo, mentre la causa contingente è l'atto di lasciare andare l'oggetto, che quindi cade [sulla causalità si veda: Halbwachs (1971), Bachelard (1949), Besson (2004)].

A) Causa contingente: 50,0%	*A1 Perchè la molli* ***43,5%*** *A2 perchè così è la vita della pallina/ perchè può cadere!* ***6,5%***
B) Assenza di proprietà locali 19,6%	*Perchè non c'è magnetismo* *Perchè non c'è il magnete* *Perché non c'è forza gravitazionale*
C1) 4,3 % gravità intesa come un'entità **animata** **C2) 6,5 % forza** gravitazionale intesa come un'entità **animata**	*C1: Perchè la gravità attira le cose di massa più piccola* *C2: Perché la forza di gravità attrae tutte le cose*
D) Proprietà di uno specifico sistema: **D1:** proprietà della**Terra** 6,5% **D2:** proprietà del **corpo**[18] 11%	*D1: Perchè la Terra attira gli oggetti* *D2: Perchè è pesante*
E) Interazione tra due masse 2,2 %	*Perchè la massa maggiore attira la massa minore*

Tabella 3: Interpretazione dei bambini sulle cause della caduta della pallina sulla Terra (G_g)

5.4.1c) La *gravità* secondo i bambini

Durante le interviste veniva richiesto ai bambini di spiegare la caduta dei corpi, ma soltanto se qualcuno nominava la "gravità" o la forza di gravità venivano richieste ulteriori precisazioni. Nella maggior parte dei casi i bambini evitano di attribuire un significato al termine, preferendo: 1) spiegare la situazione, con la descrizione di cosa succede in presenza della "gravità", 2) attribuire alla Terra tale proprietà specifica (unicità di tale sistema), 3) attribuire proprietà al corpo (peso), 4) riferirsi all'interazione tra due masse (raramente). Quando viene nominato il concetto di gravità viene associato a quello di forza, e il concetto di forza a quello di "azione", oppure la "gravità" è associata agli effetti che produce; a volte viene intesa come un ente "*animato*" capace di attrarre (Tabella 3, categorie C1 e C2), oppure viene considerata come una proprietà intrinseca dei corpi "*la pallina ha forza di gravità*".

Dalla Tabella 4 si osserva che il 34% relaziona la forza di gravità alla Terra, come proprietà del sistema di "fare qualcosa", mentre il 12% la paragona ad una "*calamite gigante che ci tiene i piedi attaccati alla Terra*" oppure ad "*una calamita che attira tutte le cose verso il centro della Terra*". È interessante notare come i bambini colgono la fenomenologia analogica e collegano la forza di gravità con il magnetismo, sebbene associno spesso il sistema con le sue proprietà ("*La forza di gravità* ***è*** *come un grande magnete*" invece di "*La forza di gravità è* ***prodotta da*** *un grande magnete*").

Il 10% evidenzia un primitivo concetto di forza legato al tirare ("*è una cosa che tira / attira*") spingere, relazionando però la fenomenologia a questa unica azione, senza specificare la sua causa efficiente (chi è che tira / attira) o contingente (chi permette il manifestarsi del fenomeno di caduta, ossia l'atto di lasciare andare la pallina); mentre l'interazione tra masse (anche in questo caso

[18] La letteratura ha evidenziato come in diversi campi i bambini tendono a considerare le varie proprietà che individuano come proprietà del sistema e non di stato: per esempio resta un nodo da affrontare il riconoscimento della temperatura come proprietà di stato e non di sistema.

riconosciuta solo in un verso) è riscontrata solo nel 7% dei casi. Viene confermata in diversi casi (14%) l'idea, ben nota in letteratura (Arnold et al. (1995), Bar et al. (1994), Galili (2001)), dell'aria come un mezzo di trasmissione della forza gravitazionale e quindi della conseguente concezione dell'atmosfera come limite dell'azione gravitazionale (secondo i bambini nello spazio non c'è la gravità), dalla nostra analisi in alcuni casi la gravità viene associata all'aria, sembrerebbe quasi ad indicare un "qualcosa" che è presente nello spazio circostante (Tabella 4 categoria 7: "*La forza di gravità è qualcosa tipo l'aria*").

1) La Terra protagonista 34%	*La Terra attira gli oggetti verso il basso.* *È la forza sulla Terra che ci permette di stare con i piedi per terra .*
2) Elemento equilibrante 16%	*E' quella cosa che tiene su il mondo!* *È quella cosa che tiene su tutte le cose nello spazio,.. anche i pianeti.*
3) Proprietà dell'atmosfera 14%	L'atmosfera come limite dell'azione gravitazionale
4) Proprietà magnetica 12%	*La forza gravitazionale è come un grande magnete che ci tiene i piedi attaccati per terra.* *La gravità è un forte magnete che attrae ogni cosa verso il centro della Terra*
5) Concetto primitivo di forza 10%	*È una cosa che tira / È una cosa che attira.*
6) Interazione tra masse 7%	*È la capacità di attirare a se gli oggetti di massa più piccola* *È la forza attrattiva tra due masse*
7) La gravità associata all'aria 7%	*La forza di gravità è qualcosa tipo l'aria*

Tabella 4 Spiegazioni dei bambini sulla gravità (G_g).

5.4.2 Il confronto dei due campi (gravitazionale e magnetico)

Nell'analisi per semplicità indicheremo con G_g e G_m rispettivamente il gruppo che ha svolto l'attività sul campo gravitazionale e magnetico.

Dall'analisi delle previsioni, osservazioni e motivazioni riguardo al comportamento dei sistemi considerati, emerge i bambini che riconoscono facilmente il magnete come sorgente del campo, mentre nel caso gravitazionale la situazione non è così evidente.

Infatti nel caso magnetico (tabella 5) la maggior parte dei bambini (94%) interpreta correttamente il ruolo del magnete, riconoscendolo come sorgente del campo magnetico (42% dei bambini, si veda tabella 1) o della forza 54%), in alcuni casi (5%) evidenziando una sua funzione "di guida" (*"La seguono come se hanno una guida"*).

Il magnete come sorgente del campo magnetico, o il magnetismo inteso come "energia" **42%**	*"C'è il campo magnetico", "C'è un'energia, il magnetismo" "Ci sono delle onde magnetiche"*
Il magnete come sorgente della forza 54 %	*"La forza proviene dalla calamita", "La forza proviene dal ferro"*
L'aria come un mezzo per la trasmissione dell'interazione magnetica **4%**	*"C'è l'aria che li muove"*

Tabella 5 Interpretazione dell'interazione magnetica fornita dai bambini *(G_g)*

Nel caso gravitazionale invece, dall'analisi delle risposte dei bambini (Tabella 3) emerge che i bambini non hanno la completa comprensione del processo d'attrazione: infatti solo il 10,8% spiega la caduta considerando la gravità o la forza gravitazionale come sorgenti che sono causa o hanno qualche proprietà, il 5% fa riferimento a una proprietà di uno specifico sistema (unicità del sistema Terra), il 2% menziona l'interazione tra due masse, mentre il 61% interpreta il processo considerando la causa contingente, e circa il 20% attribuisce la caduta dei corpi alla mancanza di proprietà locali (magnetiche o gravitazionali).

Anche nel caso in cui i bambini menzionino la gravità o la forza di gravità abbiamo visto (tabella 4) che il 34% la relaziona alla Terra (che ha una certa proprietà oppure ha la capacità di fare qualcosa), il 12% a proprietà magnetiche, il 10% evidenzia un primitivo concetto di forza, mentre solo il 7% menziona l'interazione tra masse.

Nel caso del campo magnetico invece, come già sottolineato precedentemente i bambini dimostrano una comprensione più chiara e completa del processo; nella previsione e interpretazione dell'interazione calamita limatura di ferro (tabella 6), i bambini riconoscono l'attrazione della calamita o come generica "attrazione" (78%:*"Vengono attirati", "Sentono la calamita lì e tutti vengono"*), oppure in termini di azione a distanza (17%: *"Lo fa anche se tu non la stai toccando perché c'è una potenza che attira ... che è proprio fatta per attirare l'acciaio e il ferro"),* è interessante già in questa fase preliminare (di sola previsione senza realizzazione dell'esperimento)

la spontanea considerazione della fenomenologia in movimento da parte del 5% dei bambini (*"Se muovi la calamita si muovono"*).

Cosa succede se avvicino la calamita a questi pezzetti di acciaio?		
95%	1a) (29%) Riconoscimento della fenomenologia: la limatura di ferro si attacca	*"Si attacca", ."Si uniscono", "Vanno sopra""Vengono attirati"*
	1b) (49%) Riconoscimento dell' attrazione della calamita verso la limatura di ferro	*"Sentono la calamita lì e tutti vengono"*
	1c) (17%) Riconoscimento dell' attrazione della calamita come attrazione a distanza	*"Lo fa anche se tu non la stai toccando perché c'è una potenza che attira ... che è proprio fatta per attirare l'acciaio e il ferro" "Questa potenza è talmente forte che può attraversare degli oggetti"*
5%	Spontanea considerazione della fenomenologia della calamita in movimento	*"Se muovi la calamita si muovono", . "Si muovono"*

Tabella 6 Previsioni e interpretazioni dei bambini riguardo all'interazione calamita -limatura di ferro

Nell'osservazione della disposizione della limatura di ferro, in presenza di una calamita, il 59% descrive come si è sistemata la limatura di ferro (*"Sembra una montagna", "Sembra una cipolla", "A forma di mela"*), alcuni (32%) proponendo forme e disegni, altri (27%) identificando la forma ottenuta con quella della calamita stessa (la calamita perde la sua forma e diventa ciò che ha prodotto: *"Si mettono a forma di calamita"*). Il 41% relaziona la distribuzione della limatura in presenza della calamita con il sistema preesistente (distribuzione della limatura senza calamita) in termini fisici (es. *"Quelli lontani non sentono la calamita"*), causali (es. *"La calamita le tiene"*), tautologici (es. *"Si avvicinano tutti perchè la calamita è più vicina per cui anche se sono sparsi tutti si avvicinano"*) o fenomenologici (es. *"Si riuniscono tutti"*).

Nel caso dinamico (Bradamante & Michelini (2005), (2006)) sono state proposte due situazioni: per il campo gravitazionale l'uso di un modello analogico oggettuale per la previsione delle possibili traiettorie di un'altra massa inserita nella regione di campo considerata, mentre nel caso del campo magnetico a conclusione dell'attività (si veda nota 9) veniva richiesto ai bambini di prevedere la traiettoria di una pallina con velocità iniziale non nulla (acquisita rotolando giù da uno scivolo, si veda figura 7) in presenza di un campo magnetico generato da un magnete disposto obliquo rispetto allo scivolo. Dal confronto è emerso che nel caso magnetico la maggior parte dei bambini (68%) identificava le traiettorie con le linee di campo, mentre nel caso gravitazionale, essendo un campo polare, la situazione risultava più semplice.

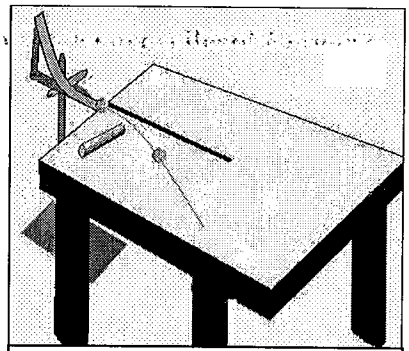


Figura 7 : della traiettoria di una pallina che scivola giù dallo scivolo.

Nelle successive ricerche, come già ampiamente illustrato nel capitolo 3, abbiamo però voluto introdurre la distinzione tra linea di partenza e linea di campo piuttosto che considerare le traiettorie e le linee di campo.

Dal confronto emerge inoltre che il campo magnetico risulta utile per riconoscere il processo di interazione in situazioni statiche, mentre in situazioni dinamiche la trattazione è complessa (data la natura bipolare del campo).

5.5 Conclusioni

Rispetto agli specifici problemi di apprendimento considerati nella ricerca, i dati ci permettono di concludere che:

- Riguardo alla forma della Terra e la struttura radiale dell'attrazione gravitazionale (punto a), i bambini non mostrano grosse difficoltà nel rappresentare la forma sferica della Terra, infatti soltanto una parte dei bambini più piccoli (5-6 anni) inizialmente disegna la Terra piatta. Inoltre più della metà (globalmente il 57%, ma l'84% dei bambini di 9-10 anni) dei bambini disegna correttamente la caduta dei corpi da diversi punti intorno alla Terra, riconoscendo che l'attrazione gravitazionale è diretta verso il centro della Terra, una percentuale nettamente superiore a quanto trovato dalle ricerche precedenti (Nussbaum et al. (1976), (1985), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001), Masclet (2003)).
- Riguardo al mezzo e l'azione a distanza (punto d), viene confermata l'idea, ben nota in letteratura (Arnold et al. (1995), Bar et al. (1994), Galili (2001)), dell'aria come un mezzo necessario per l'interazione gravitazionale e quindi della conseguente concezione dell'atmosfera come limite dell'azione gravitazionale.
- Rispetto alle interazioni tra sorgenti ed esploratori (punto b), dal confronto delle due ricerche sul campo gravitazionale e magnetico sono emerse alcune difficoltà nell'identificazione della Terra come sorgente del campo gravitazionale, mentre nel caso magnetico tutti i bambini riconoscono il magnete come sorgente del campo o della forza.
- Rispetto all'ipotesi che il caso magnetico costituisca veicolo concettuale, utile anche al caso gravitazionale, rispetto al passaggio da una visione locale a una globale della fenomenologia (punto e), considerando la ben nota facilità nel caso della del magnete (anche se non sempre esplicitata nelle ricerche in letteratura), possiamo utilizzare i fenomeni magnetici sia per riconoscere e identificare il magnete come sorgente del campo, sia per introdurre la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo.
- Infatti i fenomeni magnetici facilitano: 1) il riconoscimento dell'esistenza di alcune specifiche proprietà (orientazione di una bussola) nello spazio circostante un magnete che possono essere rilevate attraverso l'interazione con dei rilevatori di campo posti in diversi punti; 2) il riconoscimento della sorgente del campo (anche perché in questo caso è possibile muoverla,

mentre nel caso gravitazionale ciò non è possibile); 3) la materializzazione e visualizzazione delle linee di campo, attraverso i diversi rivelatori di campo (orientazione delle bussole o dei pezzetti di limatura di ferro).

- Nel caso gravitazionale invece la situazione non risulta così chiara: più di metà dei bambini interpreta il processo considerando la causa contingente (*noi lasciamo andare le cose perciò cadono*) piuttosto che considerare quella efficiente (punto c). Anche nell'interpretazione della gravità o della forza gravitazionale solo un terzo dei bambini considerano la Terra come protagonista, mentre gli altri danno spiegazioni di diverso tipo: riferendosi o a proprietà magnetiche "magiche", o a proprietà dell'atmosfera, o a un primitivo concetto di forza, oppure considerandola come un elemento equilibratore.

CAPITOLO 6

La rappresentazione dei campi gravitazionale e magnetico attraverso le linee di campo nella scuola primaria (9-11 anni)

6.1 Introduzione

In questo capitolo[1] illustreremo i risultati di un percorso concettuale "guidato" sui due campi per la scuola primaria (9-11 anni), che porti i bambini a mettere in relazione le sorgenti (gravitazionali o magnetiche) con le rispettive linee di campo.

I campi possono essere definiti come funzione dei punti dello spazio e in questa ricerca consideriamo l'idea di una funzione vettoriale associata alle linee di campo, con un idea di *mapping* lo spazio tridimensionale. Questo *mapping* permette inoltre di predire alcuni fenomeni che avvengono in ogni punto.

Come abbiamo illustrato nel capitolo 2 il concetto di campo comporta tutta una serie di problemi di apprendimento anche a livello universitario[2] (il concetto di campo e le sue sorgenti, la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo, la differenza tra campo e forza, il principio di sovrapposizione dei campi, ...).

I bambini, fin da piccoli possiedono già un'idea di quello che chiamiamo un campo; avendo ricevuto o no un insegnamento a riguardo, i bambini hanno delle idee di senso comune riguardo alla gravità e al magnetismo (si veda capitoli 2 e 5). Negli ultimi venti anni diverse ricerche hanno messo in evidenza i problemi di apprendimento e le difficoltà dei bambini rispetto questi due tipi di interazioni, le loro idee sul magnetismo (Erikson (1994), Borges & Gilbert (1998)), sulla gravità e sulla relazione con il magnetismo (Bar et al (1994), (1997), Galili (2001)), sulle loro concezioni riguardo la forma della Terra e la relazione con la direzione del campo gravitazionale (Nussbaum et al. (1976), Ruggero et al. (1985), Vosniadou & Brewer (1992), Arnold et al. (1995)).

Dai risultati del capitolo precedente (capitolo 5) emerge che per i bambini dai 9 agli 11 anni sembra non essere un problema il riconoscimento della caratteristica radiale dell'attrazione gravitazionale, infatti la maggior parte dispone appropriatamente le figure umane intorno alla Terra. Inoltre considerando le difficoltà emerse nell'identificazione della Terra come sorgente del campo gravitazionale e la ben nota facilità nel caso della del magnete (anche se non sempre esplicitata

[1] Il contenuto di questo capitolo è illustrato negli articoli: Bradamante & Viennot (2005, 2006)

[2] Viennot & Rainson (1992), (1999), Tornkwist et al. (1993), Borghes & 1998, Furio et al. (1999), Hermann et al. (2000), Galili (2001), Maloney et al. (2001), Martin et al. (2001), Guisasola et al. (2003).

nelle ricerche in letteratura), possiamo utilizzare i fenomeni magnetici sia per riconoscere e identificare il magnete come sorgente del campo, sia per introdurre la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo; i fenomeni magnetici infatti facilitano il riconoscimento dell'esistenza di alcune specifiche proprietà (orientazione di una bussola) nello spazio circostante un magnete (si veda capitolo 5).

Quindi se i bambini sono in grado di legare la forma delle linee di campo (generate dalla limatura di ferro) e un tipo di interazione (quella magnetica), questo potrebbe costituire un punto di partenza per raggiungere una comprensione simile nel caso della gravità. Per "comprensione simile" non intendiamo solo il fatto che la Terra determina globalmente una funzione di punti che rende possibile predire l'orientazione di alcuni rivelatori statici del campo, ma l'obiettivo è di estendere quest'idea di *mapping* al campo gravitazionale terrestre.

Nella ricerca illustrata in questo capitolo ci proponiamo quindi di sondare la possibilità di introdurre a questo livello scolare una visione del campo gravitazionale e magnetico legata alle linee di campo. Pensiamo che questo approccio sia utile per diverse ragioni:

- nonostante il loro significato astratto, le linee di campo possono essere legate a effetti visivi, il che può aiutare i bambini a riconoscere che le proprietà dello spazio intorno a una sorgente di campo sono modificate
- questo può favorire anche la percezione delle differenze tra i fenomeni legati ai due campi, introducendo la differenziazione tra i due attraverso la diversa configurazione delle rispettive linee di campo
- una visione globale della Terra (ossia vista "da lontano") potrebbe essere più facilmente accessibile ai bambini se il fenomeno stesso della gravità è considerato globalmente.

Per mettere in evidenza nel modo più semplice possibile il legame concettuale tra le situazioni proposte ai bambini e l'idea delle linee di campo, abbiamo scelto, come punto di partenza, campi costanti nel tempo, con un'unica sorgente e dei rivelatori di campo statici. Quindi il significato della linea di campo è associato all'orientazione di diversi esploratori in uno spazio tridimensionale.

L'attenzione all'orientazione rende necessario la differenziazione tra orientazione e attrazione globale, che permette anche di distinguere i due campi, in quanto si comportano in modo differente rispetto a questi due aspetti. Questa differenza è legata, come abbiamo visto nel capitolo 3, alla natura polare o dipolare dei campi.

6.2 Le ipotesi di ricerca

Le ipotesi di ricerca che ci proponiamo in questa ricerca, in base ai due principali[3] problemi di ricerca (si veda il capitolo 3) della tesi, sono tre: la prima ipotesi (A) risulta soltanto un'ipotesi preliminare, formulata in base ai risultati ottenuti nelle ricerche precedenti sulla gravità (capitolo5), mentre l'ipotesi centrale e primaria della ricerca è l'ipotesi B, l'ipotesi C infine è di minore rilevanza e riguarda l'estensione del *mapping* delle linee di campo al caso del campo gravitazionale della Luna (in letteratura è ben noto il problema d'apprendimento della necessità dell'aria per l'interazione gravitazionale).

Vediamo dunque le tre ipotesi:

A) ***per i bambini di 9-11 anni la struttura centrale (o radiale)[4] dell'attrazione gravitazionale terrestre è accessibile e acquisita.***

B) la rappresentazione delle linee di campo (al di là di semplice disegno):

- ***è accessibile ai bambini della scuola primaria (4° anno), e trasferibile anche al caso gravitazionale (B1).***
- ***può facilitare i bambini ad associare la "forma" delle linee di campo con la rispettiva sorgente del campo (la Terra e il magnete) per differenziare i due tipi di campo, nonostante in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva (B2).***

C) L'interazione gravitazionale è riconosciuta anche per la Luna, e conseguentemente i bambini sono in grado di rinunciare alla necessità dell'aria per l'azione gravitazionale.

[3] I due problemi di ricerca in sintesi sono: 1) il potere rappresentativo delle linee di campo, 2) la differenziazione tra campi polari e dipolari, in questo caso tra il campo gravitazionale e magnetico (si veda il capitolo 3).

[4] Come già spiegato nel capitolo precedente, per "struttura centrale (o radiale) dell'attrazione gravitazionale" intendiamo il riconoscimento che da tutti i punti sulla superficie della Terra, l'attrazione gravitazionale è diretta verso il centro della Terra.

6.3 Metodi e campioni.

6.3.1 Le interviste di insegnamento – apprendimento

Sono state realizzate, registrate e trascritte 17 "interviste di insegnamento-apprendimento", di 45 minuti ognuna, condotte con coppie di bambini appartenenti alle ultime due classi di due scuole primarie di Parigi (due gruppi : "G_1" = 4° classe scuola primaria (classe CM1 in Francia), N_1= 17 bambini di 9-10; "G_2" = 5° classe scuola primaria (classe CM2 in Francia), N_2=16 bambini di 10-11 anni). Per "interviste di insegnamento-apprendimento" (che d'ora in poi, per brevità, indicheremo semplicemente con "interviste") intendiamo una discussione orientata verso un'acquisizione concettuale, ossia una discussione fortemente strutturata e guidata, che però permetta ai bambini di esprimere i loro iniziali e spontanei ragionamenti e le loro reazioni alle diverse questioni poste durante l'intervista stessa. Le due classi non avevano visto a scuola nessuno dei due argomenti presentati (magnetismo e gravità); in ogni classe ogni bambino ha partecipato in una sola intervista.

Dei materiali che abbiamo utilizzato, il più importante risulta una scatola (figura 1) con diversi aghi ferromagnetici (che svolgono il ruolo di piccolo bussole[5]). La riteniamo particolarmente appropriata in quanto gli aghi possono solo girare (essendo inseriti in delle piccole nicchie sferiche), e quindi rendono possibile la chiara differenziazione tra un effetto di orientazione e un movimento globale.

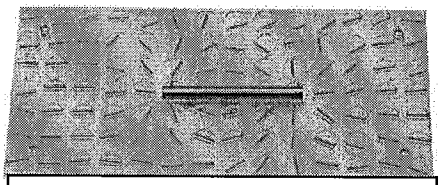


Figura 1: la scatola di aghi ferromagnetici con un magnete situato nel centro.

Le interviste sono state strutturate in 8 passi, ognuno dei quali corrisponde a una discussione che verrà analizzata nel paragrafo successivo:

1) Introduzione alla gravità

In una fase introduttiva, veniva chiesto ai bambini di prevedere e interpretare cosa succede a una penna tenuta in mano se viene lasciata andare.

2) Introduzione ai magneti

L'intervistatore mostrava ai bambini un magnete, chiedendo loro se sapevano cos'è e come può essere utilizzato, e se ha un effetto sugli oggetti intorno a lui, anche "a una certa distanza".

Le idee iniziali dei bambini venivano espresse rispetto a entrambi i fenomeni, ma non veniva approfondita la discussione in questa fase. L'ordine di queste prime due fasi (prima introduzione della gravità e poi del magnete) è stato scelto appositamente per non rinforzare la tendenza dei bambini ad associare la gravità al magnetismo, identificando i due fenomeni.

[5] Anche se essendo di materiale ferromagnetico sono dei magneti temporanei, mentre la bussola è un magnete permanente.

3) Osservazione, costruzione e utilizzo delle linee di campo magnetico

Una volta mostrata la scatola con gli aghi ferromagnetici (figura 1), veniva chiesto ai bambini di predire cosa sarebbe successo se il magnete fosse stato disposto al centro della stessa. In seguito veniva posto il magnete in tale posizione e i bambini potevano osservare e disegnare l'orientazione degli aghi; infine i risultati venivano discussi.

4) Interpolazione

Ai bambini veniva consegnato un foglio (figura 2) con l'orientazione di tutti gli aghi intorno al magnete (precedentemente osservata) e veniva chiesto loro di predire e disegnare la disposizione degli aghi di diverse bussole poste o tra due linee o su una linea. Infine la previsione veniva verificata con una bussola disposta nei punti indicati (figura 3).

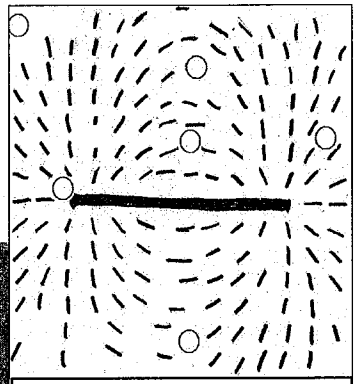


Figura 2 : fase dell'interpolazione: foglio consegnato ai bambini e utilizzato per predire l'orientazione degli aghi delle bussole posizionate nei punti indicate in rosso in figura.

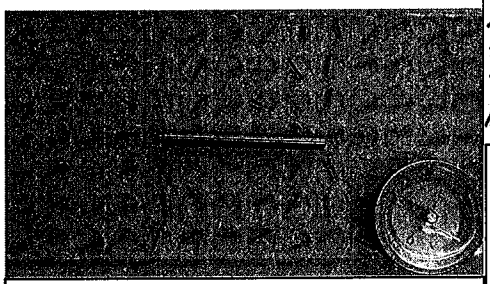


Figura 3: La previsione dell'orientamento degli aghi ferromagnetici (interpolazione) è stata verificata con una bussola.

5) Influenza magnetica in tre dimensioni

Veniva discussa, sperimentata (con due scatole di aghi ferromagnetici poste perpendicolarmente, si veda figura 4) e commentate l'influenza magnetica nello spazio tridimensionale.

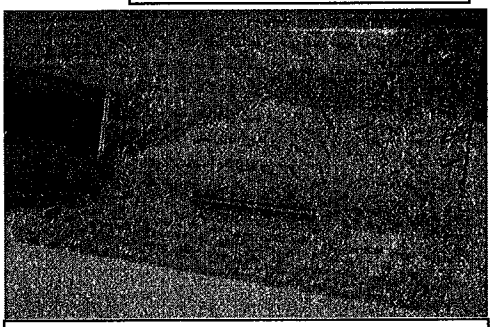


Figura 4. per verificare l'influenza del campo magnetico in tre dimensioni sono state utilizzate due scatole con gli aghi ferromagnetici.

6) Un altro rivelatore di campo: la limatura di ferro

Nuovamente viene discusso, sperimentato e commentato in gruppo la disposizione della limatura di ferro intorno a un magnete.

L'obiettivo era quello di riconoscere la configurazione simile al caso della scatola con gli aghi ferromagnetici e di evidenziare l'interazione magnetica vicino ai poli.

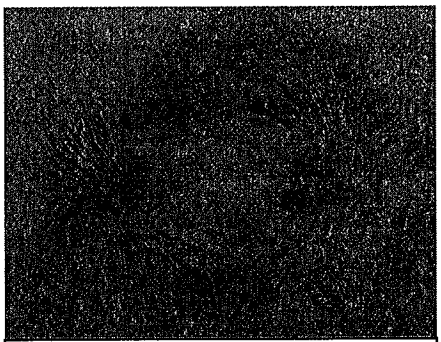


Figura 5. La distribuzione della limatura di ferro intorno al magnete.

7a) Ritorno alla gravità: trasferimento dell'idea di *mapping* al caso gravitazionale e costruzione delle linee di campo

Analogamente viene proposta l'idea di *mapping* nel caso gravitazionale: i bambini in questo caso erano chiamati a immaginare due rivelatori di campo (pendoli appesi agli alberi, palloni con una cordicella legata ad essi) e la loro disposizione,

Osserviamo che i rivelatori di campo statici possono essere considerati degli "pseudodipoli gravitazionali" in quanto sono soggetti, a causa della gravità, a due forze opposte, una ad ogni lato (si veda anche Guidoni (2004)). Nonostante ciò bisogna considerare che la similitudine con i dipoli magnetici è solo parziale (per questo sono stati chiamati "pseudodipoli") in quanto questi sono intrinsecamente dipolari. Nel caso dei pendoli solo un lato (dove è appesa la massa) è soggetto alla gravità, mentre nell'altro una forza di contatto agisce sulla corda. Nel caso dei palloni, la forza che agisce nel punto più basso (l'estremo della cordicella) è anch'essa una forza di contatto, se la cordicella è attaccata a qualcosa, mentre nell'altro estremo (dove il pallone è attaccato alla cordicella) la direzione verso l'alto della forza totale di pressione sull'involucro del pallone è una conseguenza indiretta della gravità, che è responsabile del gradiente della pressione dell'aria.

Quindi i palloni possono essere considerati in due modi differenti: 1) come "pendoli rovesciati", quando la parte bassa della cordicella è attaccata a qualcosa; 2) come cordicelle che pendono da dei palloni "quasi-statici", il peso delle cordicelle determina la loro disposizione verticale quando non sono attaccate a nulla. In entrambi i casi la gravità è responsabile della disposizione verticale dei rivelatori di campo, e il campo viene evidenziato dall'orientazione piuttosto che da un movimento globale (anche se in questo caso le due direzioni coincidono) come nel caso delle bussole in un campo magnetico.

Dopo aver disegnato la Terra (vista "da lontano") e alcuni alberi sulla sua superficie, veniva richiesto ai bambini di prevedere l'orientazione dei pendoli e dei palloni, in condizioni statiche (si veda figura 6, paragrafo 6.4.2).

Infine l'intervistatore introduceva l'idea di "mapping" anche in questo caso come per quello del magnete.

7b) Guardando le due rappresentazioni ottenute per la Terra e per il magnete, i due tipi di effetti sono simili o no?

In questa fase venivano discusse le similarità e differenze tra i due casi, ossia in termini scientifici, tra i due campi. La prima reazione che ci aspettavamo era quella che entrambi gli oggetti (la Terra e il magnete) possono attrarre delle cose, ossia il modello del tirare ("*pulling model*") proposto da

Erickson (1994) per descrivere le concezioni dei bambini (9,12,15 anni) e ritrovato da Borges e Gilbert (1998) per gli studenti di scuola secondaria.

In questo lavoro ci siamo proposti di considerare l'orientazione di diversi rivelatori dei campi e le differenze nelle rispettive rappresentazioni grafiche (*maps*), per riconoscere infine che la "forma dell'azione" non è la stessa per i due oggetti considerati (la Terra e il magnete).

Nel gruppo G_1 abbiamo utilizzato anche un magnete di forma circolare, per evitare un'idea inizialmente espressa da due bambini nel gruppo G_2, ossia che le differenze tra le due rappresentazioni grafiche (*maps*) fosse dovuta alla forma o "geometria" dei due oggetti e che un magnete "tondo" avrebbe generato una stessa configurazione (*map)* della Terra.

8) Gli effetti gravitazionali sono gli stessi sulla Luna o su un altro pianeta?

E' stata posta la stessa domanda della fase 7a, in questo caso l'obiettivo era sondare le concezioni dei bambini rispetto a quella che, in termini fisici, viene detta l'universalità del campo gravitazionale.

6.3.2 Il post test

Dopo 10 giorni è stato somministrato agli stessi bambini un questionario carta e penna, per valutare se le loro idee espresse alla fine dell'intervista fossero stabili o no.

Le due domande proposte sono direttamente relazionate alle ipotesi di ricerca B e C, mentre nessuna domanda è stata posta riguardo all'ipotesi A (la forma della Terra e centralità della forza gravitazionale (diretta verso il centro della Terra)). Questo è dovuto a due ragioni: in primo luogo non volevamo introdurre nessun riferimento alle rappresentazioni grafiche delle linee di campo realizzate durante le interviste; in secondo luogo da una prima analisi delle interviste era emerso, come ci aspettavamo rispetto alle precedenti ricerche (capitolo 5) che i bambini riuscivano a riconoscere, anche se con un leggero aiuto (veniva richiesto loro di considerare la Terra come "vista da lontano") la forma della Terra e a prevedere correttamente l'orientazione di diversi rivelatori.

La prima domanda posta ai bambini è la necessità o meno dell'aria per l'attrazione gravitazionale (q1, riferita all'ipotesi C), mentre la seconda riguarda la distinzione tra i due campi (ai bambini veniva proposta come la distinzione tra l'azione delle due sorgenti, la Terra o il magnete) e si riferisce all'ipotesi B. Abbiamo scelto in questo caso (q2) una domanda aperta per sondare il possibile utilizzo spontaneo delle linee di campo per differenziare i due campi, senza quindi suggerire nessun riferimento alle rappresentazioni grafiche ottenute (*maps*).

Le domande sono le seguenti:

q1) Est-ce que selon toi il peut y avoir une attraction comme celle de la Terre dans une autre planète qui n'aurait pas d'air ni aucun d'autre gaz autour d'elle? Explique bien...
Secondo te può esistere un'attrazione come quella sulla Terra su un altro pianeta che non ha né l'aria né nessun altro gas intorno ?

q2) Quand on compare l'action de la Terre avec celle d'un aimant :
- Est-ce qu'il y a des choses pareilles ?
- Si oui lesquelles ? Explique bien...

Se confrontiamo l'azione della Terra con quella di un magnete, secondo te ci sono delle cose simili ? (se si quali ?) ci sono delle differenze ? (se si quali ?)

6.4 Analisi dei dati e risultati

Abbiamo analizzato le varie fasi della sequenza rispetto ad ognuna delle tre ipotesi illustrate nel primo paragrafo.

Globalmente abbiamo osservato nei bambini una reazione positiva al lavoro svolto, nonostante la natura guidata dell'interviste i bambini in diverse occasioni hanno espresso chiaramente le loro idee e i loro personali ragionamenti.

Qui di seguito verranno prese in considerazione le singole ipotesi, discusse in base sia all'analisi delle interviste che dei disegni dei bambini.

Premettiamo che nelle interviste il "ruolo della Terra" è discusso soltanto in relazione all'orientazione dei pendoli e dei palloni (ossia, in termini fisici, al suo campo gravitazionale), ma siamo ben consci che questo potrebbe creare delle ambiguità in quanto la Terra è anche sorgente di un campo magnetico che orienta le bussole; menzioneremo i casi in cui il doppio ruolo della Terra perturberà l'interpretazione.

6.4.1 Rispetto all'ipotesi di ricerca A

per i bambini di 9-11 anni è acquisita la struttura centrale dell'attrazione terrestre? (Fase 1 e 7a)

Le fasi 1 e 7a sono particolarmente rilevanti rispetto a questa ipotesi. Osserviamo che per depersonalizzare la questione, abbiamo scelto di utilizzare oggetti esterni rispetto al bambini, contrariamente a quanto fatto precedentemente (capitolo 5) e che generalmente viene proposto in letteratura (Nussbam et al. (1976), Vosniadou & Brewer (1992), Bar et al. (1994)).

L'ipotesi A è composta da due parti: menziona l'attrazione della Terra e il fatto che questo fenomeno presenta una (approssimata) forma sferica (fase 7a e disegni).

- Rispetto al primo punto, osserviamo che l'idea dell'attrazione della Terra è espresso da 12/33

bambini (tutti in G_2) nella fase 1 e in un ulteriore bambino nella fase 7a. Un altro bambino (G_2) fornisce un interessante ruolo causale ai "raggi della Terra": "*I raggi della Terra fanno cadere le cose*". Infine 12/33, per la maggior parte in G_2 (11 in G_2 e solo uno in G_1), affermano esplicitamente che la Terra è responsabile della caduta dei corpi, anche se a volte considerano questa proprietà come specifica solo della Terra (si veda Bar et al. (1994), (1997)):

I (intervistatore) : il va tomber, mais qu'est-ce qui fait que ça tombe?
B9 l'attraction terrestre, c'est ça ? un truc comme ça...j'ai déjà vu ça...
[...]
I : la même chose,... l'attraction terrestre....donc la Terre est capable d'attirer...
B10 oui c'est pour cela que en dehors de la Terre on flotte dans l'air...
I : et qu'est-ce qui fait que la Terre puisse attirer, c'est une propriété seulement de la Terre ou même sur la Lune....ça se passe la même chose ?
B9 je ne sais pas
(gruppo 5, G_2)

Bisogna osservare che, comunque un terzo dei bambini, per lo più nel gruppo G_1 (12/33: 10 in G_1 e 2 in G_2), nei commenti fa riferimento a quello che secondo le categorie aristoteliche, può essere chiamata la "causa contingente" o "occasionale" (si veda capitolo 5, Halbwachs 1971, Bachelard 1949, Besson 2004): "*la penna cade perché l'hai lasciata andare*".

I: Si je lâche un stylo ou un objet, qu'est-ce qui va se passer?
B11-12 il va tomber
I il tombe, mais qu'est-ce qui fait que ça tombe?
B11 qu'on le lâche !!
I et selon toi il y a quelque chose qui le fait tomber ?
B12 parce qu'il est léger, il n'est pas très lourd [...]
I et pourquoi elles tombent ?
B12 bah je ne sais pas, quand on les bouscule ... les choses tombent..
(gruppo 6, G_1)

Osserviamo una differenza tra i due gruppi rispetto al tipo di causalità a cui fanno riferimento nella spiegazione del fenomeno. Possiamo comunque affermare che il ruolo della Terra è riconosciuto da una buona parte dei bambini alla fine della scuola secondaria (G_2).

- Rispetto all'associazione della gravità con il magnetismo, nella fase 7a (la fase 7b sarà discussa in seguito) osserviamo che solo due bambini (G_2) inizialmente associano le due interazioni, riferendosi all'idea dell'attrazione.

- I bambini nella fase 7a (si veda la tabella 1 che riassume i disegni dei bambini) sembrano disporre in modo appropriato i rivelatori statici della gravità (pendoli e palloni) intorno alla Terra. In un solo caso (in G_1) la Terra è rappresentata inizialmente piatta, ma in seguito su richiesta dell'intervistatore di immaginare la Terra come fosse vista "da lontano", la forma è stata cambiata per un cerchio, rappresentando in due dimensioni una sfera.

In diversi disegni (24/33: 10 in G_1, 14 in G_2), i due tipi di rivelatori sono rappresentati verticalmente, ossia diretti verso il centro della Terra, in due casi (in G_2) evidenziando le linee radiali fino al centro della Terra.

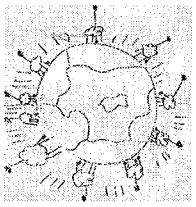
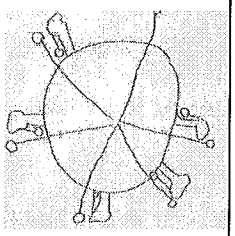
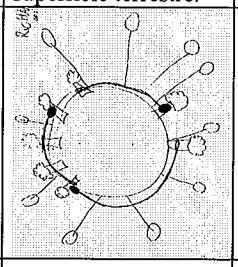
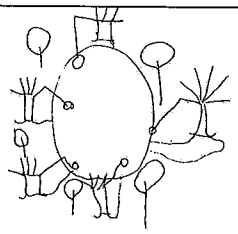
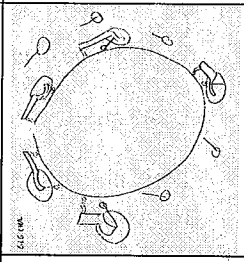
	Disposizione verticale dei pendoli e dei palloni	Disposizione verticale dei pendoli e dei palloni + linee fino al centro della Terra	Misto (a): Disposizione verticale dei palloni e i pendoli disposti paralleli alla superficie terrestre.	Misto (b) Disposizione verticale dei pendoli. Alberi e palloni paralleli a un lato del foglio	Altro: Disposizione verticale di alcuni pendoli, palloni e alberi paralleli alla superficie terrestre.
					
G_1 N_1=17	10	-	4	2	1
G_2 N_2=16	12	2	1	1	-

Tabella 1 : *Mapping* dell'interazione gravitazionale: I disegni dei bambini sulla disposizione dei rivelatori statici del campo.

Troviamo alcuni disegni (8/33: 6 in G_1, 2 in G_2) nei quali i pendoli o i palloni o entrambi gli oggetti sono disposti in tondo alla Terra, mentre in un solo caso (G_1) gli alberi e i palloni sono disposti paralleli a un lato del foglio. Globalmente i bambini sembrano non avere grossi problemi nel riconoscere la forma della Terra e la disposizione degli alberi sulla sua superficie, e neanche quella di figure umane quando occasionalmente alla fine dell'intervista veniva loro richiesto di disporle intorno alla Terra; un'interessante analogia è fornita da un bambino: "*è come se noi fossimo una formica su un uovo*".

Nonostante ciò, I bambini generalmente non hanno espresso nessun bisogno di rappresentare attraverso una "mappatura" (*mapping*) dello spazio la gravità, ma è stato sempre l'intervistatore ad introdurre esplicitamente tale idea.

Riassumendo le fasi 1 e 7a evidenziano come i bambini sembrano riconoscere la forma della Terra, l'esistenza di un'attrazione gravitazionale e la disposizione dei rivelatori della gravità. Questo conferma l'ipotesi A per una buona parte dei bambini, in particolare per i più grandi (gruppo G_2), ma non possiamo certamente affermare che in questa fase spontaneamente pensano all'idea di "*mapping*" l'azione della Terra.

6.4.2 Rispetto alle ipotesi di ricerca B:

la rappresentazione delle linee di campo (al di là di semplice disegno):

- ***è accessibile ai bambini della scuola primaria (4° anno), e trasferibile anche al caso gravitazionale (B1).*** (Fase 7a)
- ***può facilitare i bambini ad associare la "forma" delle linee di campo con la rispettiva sorgente del campo (la Terra e il magnete) per differenziare i due tipi di campo, nonostante in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva (B2).*** (Fasi 2-3-4-5-6 e 7b)

Prima di discutere l'ipotesi B è necessario analizzare tutte le fasi (dalla 2 alla 6) nelle quali sono state discusse le proprietà del magnete e le linee di campo.

- Nella fase 2 (introduzione al magnete) osserviamo che le idee che emergono (attrazione, incollarsi, raggiungersi, muoversi, cambiare,..) hanno in comune il fatto che non fanno riferimento all'orientazione. La maggior parte dei bambini menziona spontaneamente la specificità dei metalli e il fatto che i magneti non attirano gli oggetti non metallici.

In questo caso la causa contingente (o occasionale) dei fenomeni osservati, ossia l'azione di posizionare il magnete vicino agli aghi ferromagnetici o l'azione di allontanarlo, sottolinea in modo esplicito il ruolo di magnete (la causa efficiente). Questo potrebbe spiegare il fatto che spesso i bambini menzionano questo ruolo nel caso del magnete, come in questi commenti. "bene, ... si attacca, e se muoviamo il magnete gli aghi si muovono" (gruppo G_1).

Nel caso della Terra e della caduta degli oggetti, invece, la situazione è diversa, infatti la causa contingente o occasionale (ossia l'azione di lasciare andare la penna), è relazionata al supporto e non coincide, in questo caso, con la sorgente del campo, la Terra (la causa efficiente). A questo probabilmente è dovuto il fatto che il supporto viene menzionato spesso nelle interviste nel caso della gravità.

- Nella fase 3 (osservazione e costruzione delle linee di campo magnetico con una scatola di aghi ferromagnetici), i bambini sono particolarmente interessati alla forma della disposizione degli aghi, e generalmente evidenziano come in prossimità dei poli sono tutti diretti verso di essi:

I est-ce qu'elles se sont toutes dirigées vers l'aimant ?
B9 behh, je ne sais pas celle là oui,.. celle là aussi
B10 il y en a non...
B9 oui en effet elles se dirigent toutes vers les bouts
I elles se dirigent toutes vers les bouts...
B10 ah oui !! c'est vrai *!! (avec une exclamation de stupeur)*
Celles là ne vont pas par là....
(gruppo 5, G_2)

La forma caratteristica della configurazione delle linee di campo magnetico è facilmente riconosciuta, così come la sua simmetria:

I on essaye?... qu'est ce que vous observez ?
B15 ça fait un arc-en-ciel
I ça fait un arc-en-ciel...

B15 : oui
[...]
B16 bah oui là !! il y a un pont... et là c'est un reflet
(gruppo 8, G_2)

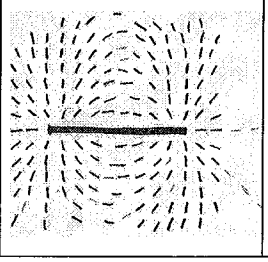
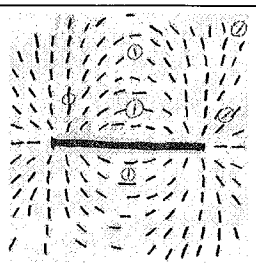
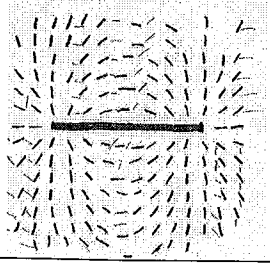
Nonostante ciò in alcune risposte i bambini cercano una spiegazione semplice e quantitativa, secondo la quale gli aghi disposti su entrambi gli assi di simmetria dovrebbero essere diretti verso il centro del magnete:

I : là au milieu il y a une ligne toute droite... *(parallelo al magnete)* mais pourquoi tu dis que ça devrait être pareil *(perpendicolare al magnete)*?
B11 ça devrait être pareil.. parce que là il y a le plus de l'aimant tandis que là (*at the ends)* elles ne sont pas droites (les aiguilles...
I oui tu dis que au centre ça devrait être pareil parce qu'il y a plus d'aimant...
B11 oui
(gruppo 6, G_1)

Un aspetto che emerge in questa fase preliminare delle interviste è che spesso non vi è una distinzione tra un'attrazione globale e l'azione di orientazione ("*il magnete attira gli aghi*").
Nonostante ciò, in alcuni commenti dei bambini possiamo intravedere l'idea dell'orientazione, che anche se non è menzionata esplicitamente. Infatti sembra che metà degli alunni (principalmente in G_1) faccia riferimento a questo concetto quando afferma che: "gli aghi girano", "si dirige verso il magnete", "si dispone nella stessa direzione del magnete".
Globalmente, 20/22 (9 in G_1, 11 in G_2) bambini nella fase 3 sono in grado di riconoscere che non tutti gli aghi sono diretti verso il centro di simmetria del magnete. In particolare, 11/33 (6 in G_1, 5 in G_2) descrive spontaneamente la forma della distribuzione della limatura di ferro nella fase 3 ("forma un cerchio", "sembrano delle linee, diagonali", "vicino agli estremi del magnete gli aghi sono disposti verso gli estremi mentre vicino al centro sono paralleli al magnete").

- Fase 4: interpolazione

Dopo questa prima fase di interesse e osservazione, la fase 4 risultò critica, rilevando le difficoltà dei bambini. Solo un terzo (tabella 2: 11/33, 4 in G_1, 7 in G_2) dei casi realizza correttamente l'interpolazione tra le linee di campo per prevedere la disposizione degli aghi disposti in diverse posizioni intorno al magnete.

	Corretta	Misto a Corretta vicino ai poli del magnete, mentre gli aghi sono disposti verso il magnete nel piano di simmetria del magnete	Misto b Disposizione mista, in diversi punti gli aghi sono disposti perpendicolari o obliqui alla disposizione degli aghi vicini (ossia delle linee di campo)
			

G_1 N_1=17	4	4	9
G_2 N_2=16	7	5	4

Tabella 2: Interpolazione dell'interazione magnetica: I disegni dei bambini sulla disposizione degli aghi di diverse bussole disposte intorno al magnete

Nelle previsioni, 22/33 bambini (tabella 2, seconda e terza colonna) rappresentano alcuni aghi disposti verso il centro del magnete, evidenziando l'ostacolo di identificare i due fenomeni (attrazione globale e orientazione) nell'idea dell'attrazione globale. Infatti emerge la difficoltà dei bambini nel distinguere l'attrazione globale e l'orientazione.

- La fase 5 non rivela nessuna particolare difficoltà per 20/33 bambini (9 in G_1, 11 in G_2) nel riconoscere l'azione tridimensionale del magnete.

- Analogamente nella fase 6 i bambini riconoscono facilmente la stessa disposizione della limatura di ferro e degli aghi in presenza di un magnete.

I: est-ce que ça ressemble à quelque chose que vous avez déjà vu ?
B16 bah à un arc-en-ciel !! euh... à un pont !!
I: et ce qu'on vient de dessiner... est-ce que ça ressemble ?
B16 bah oui là !! il y a un pont... et là c'est un reflet...
(gruppo 8, G_2)

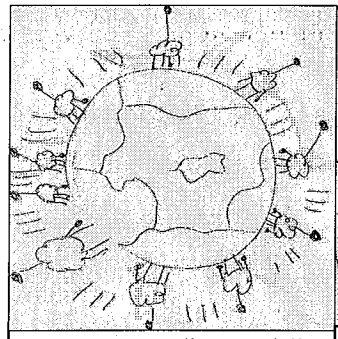


Figura 6: un disegno della disposizione dei pendoli e dei palloni realizzato da un bambino del gruppo G_2.

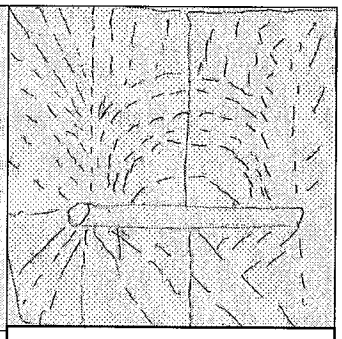


Figura 7: il disegno di un bambino della disposizione degli aghi ferromagnetici in presenza di un magnete (gruppo G_2)

Utilizzare la rappresentazione delle linee di campo per differenziare l'azione dei campi: le reazioni dei bambini

- Nella fase 7b è stata affrontata la questione principale di questo studio esploratorio: *i bambini sono in grado di differenziare l'azione dei due campi in base alla configurazione delle linee di campo* (figure 6 e 7) *nonostante in entrambi i casi è osservabile un'attrazione?*

Quando è stato chiesto ai bambini se l'azione della Terra è simile o no a quella del magnete, un terzo (Tabella 3: 11/33, 4 in G_1, 7 in G_2) risponde che sono differenti:

I: Donc est-ce qu'on peut dire que la Terre est comme un aimant..?
B1 non
I: ou elle fait aussi quelque chose d'autre..
B1 c'est l'attraction terrestre... C'est comme un aimant si on voudrait l'expliquer à quelqu'un qui ne soit pas vraiment un scientifique...

Domanda:	Primo passo: i due tipi di azioni sono simili o no?			Secondo passo: le linee disegnate sono simili o differenti?	
Risposte dei bambini	Azione differente	Azione simile	Non risponde	Si	No
G_1 (N_1=17)	7	10	-	15	1
G_2 (N_2=16)	5	8	3	13	2

Tabella 3: Confronto dell'azione del magnete e della Terra.

Tutti questi bambini (11/33) menzionano spontaneamente che le due rappresentazioni grafiche sono differenti, in base alle diverse orientazioni dei rivelatori di campo:

B4 bah les ballons ils vont aller tout droit vers la Terre tandis que pour l'aimant ils vont aller sur les cotés...
I: les ballons ils vont aller tout droit vers la Terre tandis que pour l'aimant ils vont aller sur les cotés...
Donc est-ce qu'il y a des différences... ça c'est une différence?
B4 oui
I:: donc est-ce qu'on peut dire que la *forme de l'action* de l'aimant est différente de celle de la Terre?
B4 bah oui!
(gruppo 2 G_1)

B17 *(actions)* différent*(e)*s...
I: différents, en quoi ils sont différents ?
B17 c'est qu'ils ne sont pas alignés comme ils sont alignés là...
I: ils ne sont pas alignés comme la Terre... où ils ne sont pas alignés ?
B17 Partout un peu
I: partout un peu
B17 parce que là c'est horizontal face à l'aimant, tandis que là j'ai fait vertical face à la Terre...
(gruppo 9, G_1)

Osserviamo che, nella fase 7b come nella fase 3, diversi bambini spontaneamente fanno riferimento alla "forma" delle linee ("forma un arcobaleno / un cerchio", "ha la stessa forma,...")
Comunque più della metà dei bambini (18/33: 8 in G_1, 10 in G_2) afferma che l'azione dei due oggetti è la stessa; nelle giustificazioni alcuni (5/33: 3 in G_1, 2 in G_2) menzionano esplicitamente l'idea dell'attrazione, come già menzionato per due casi nella fase 7a. Gli esempi qui di seguito riportati evidenziano le loro perplessità e come l'idea di attrazione globale è dominante:

I: donc est-ce qu'on peut dire.. en regardant les deux dessins.. que ce qui fait la Terre.. que l'action de la Terre a une forme différente de ce qui fait l'aimant.. selon vous?
B5 pas beaucoup..
I: pas beaucoup pourquoi?..
B5 l'aimant ça fait comme la Terre...ça attire...
(Gruppo 3, G_2)

B11 ah ... oui les ballons .. ils restent tout le temps droits (= perpendiculaire à la Terre)!
I: ... oui ils restent tout le temps droits ... tandis que sur l'aimant...
B11 beh ... ils se tournent
I: ils se tournent ... donc là au milieu il n'y a pas le même dessin ... donc est-ce qu'on peut dire que la forme de l'action de l'aimant est différente de la forme de l'action de la Terre ?
B12 beh.. pas ça ..
B11 beh non ...
(Gruppo 6, G_2)

In un secondo passo, dopo un'esplicita domanda sulle rispettive configurazioni delle linee di campo, il numero di bambini che le differenzia aumenta a 23/33.

B3 Oui la Terre c'est comme un aimant on dirait..
B4 oui
B3 elle attire...
I:. oui parce qu'elle attire des choses, mais est-ce qu'on peut dire que la forme dont elle attire les choses.. est différente..
B3 oui elle est très différente parce que... elle fait comme ça .. tandis qu'eux (*gli aghi*) ils font comme ça (*e indica le direzioni degli aghi....)*
(gruppo 1, G_2)

Nonostante ciò i bambini evidenziano delle grosse difficoltà nel passare dalla differenziazione della rappresentazione delle linee di campo alla differenziazione delle azioni delle due sorgenti (Terra e magnete), i risultati sembrano indicare che l'idea dell'attrazione è troppo dominante (un magnete prima di tutto attira li oggetti). Comunque come primo risultato i punti di vista di alcuni bambini, che inizialmente avevano identificato i fenomeni magnetici e gravitazionali, vengono perlomeno destabilizzati e a volte si genera un conflitto, che può risultare una base per una successiva costruzione concettuale:

B14 moi je dis qu'il n'y a pas de différences… ça c'est la Terre... ça attire comme les ballons… et là ça s'accroche…[…]
I: ça se renferme.. donc est-ce qu'on peut dire que la FORME de l'ACTION de l'aimant est différente à celle de la Terre ?
B14 eh non!.. oui!
B13 non..
B14 oui différent!
I: oui différent ou pas? ...Toi tu viens de dire que c'est seulement là.. parce que là ça se renferme…
B14 beh ce n'est pas vraiment la même chose quoi…les aiguilles…
I: depuis les dessins .. c'est différent ou pas? …
B14 beh je ne sais pas … c'est bizarre parce que là c'est droit *(verso i poli del magnete)*!… là aussi c'est près… alors que c'est droit… alors que ici.. si c'est près beh… c'est horizontal…*(parallelo al lato lungo del magnete)*
I: c'est horizontal…
B14 alors que là *(vicino alla Terra)* même si c'est près.. ça a la même distance…ça reste comme ça.. alors moi je ne sais pas!
(gruppo 7, G_2)

Anche nel caso in cui i bambini mantengono la loro iniziale idea riguardo ai due fenomeni, questo non significa che sia una completa identificazione; spesso quando confrontano l'azione della Terra e del magnete (fase 7b, 4 casi in G_2) affermano che la Terra "*è come* un magnete" e non la Terra "*è* un magnete". L'azione dei due oggetti è detta simile, in quanto entrambi *attirano* le cose, e non perché anche la Terra orienta gli aghi magnetici.

La forma del magnete versus la forma delle linee di campo.

Nel gruppo G_2 alcuni bambini avevano espresso l'idea che le differenze tra le due configurazioni delle linee di campo ottenute, dipendesse dalla "forma" o "geometria" dei due oggetti, e che un magnete "tondo" avrebbe potuto generare la stessa configurazione di linee della Terra.
Per affrontare questo punto con il gruppo G_1 abbiamo utilizzato anche un magnete tondo. Siamo ben coscienti che la Terra ha una forma sferica, mentre il magnete tondo utilizzato è piuttosto simile a un disco, come un bambino ha osservato:

I: D'accord. Mais il y a plusieurs enfants qui m'ont dit que pour eux la Terre c'est comme un grand aimant, qu'est-ce que vous en dites ?
B16 non
B15 La Terre elle est ronde et là c'est un aimant
I: oui la Terre elle est ronde, tandis que là on a pris un aimant
B15 aplati

Nonostante ciò osserviamo che le interviste di alcuni bambini suggeriscono che sono in grado di dissociare la forma delle linee di campo da quella della sorgente; infatti riconoscono anche nel caso del magnete tondo la stessa configurazione vista per il magnete cilindrico:

I: J'ai pris un aimant rond... et je le mets au-dessous.. et on va voir ce que ça donne...
B13 ah ça part par là !!! L'aimant il est où ?
I: l'aimant il est là...
B14-13 ah oui !!
B14 Ah !! ça fait la marque ! ça fait la même face...
B13 oui! ça fait la même face autour ... en fait c'est rond... et c'est tout autour...
(gruppo 7, G_1)

6.4.3 Rispetto all'ipotesi C

L'interazione gravitazionale è riconosciuta anche per la Luna, e conseguentemente i bambini sono in grado di rinunciare alla necessità dell'aria per l'azione gravitazionale. (Fase 8)

La proposta di prevedere la disposizione degli pseudodipoli gravitazionali sulla Luna risulta piuttosto problematica per i bambini; infatti solo 12/33 (tabella n°4, 5 bambini in G_1, 7 in G_2) orientano i pendoli in modo radiale, anche se complessivamente più della metà (19/33: 7 in G_1, 12 in G_2) menziona che l'attrazione della Luna è diretta verso il centro della Luna.

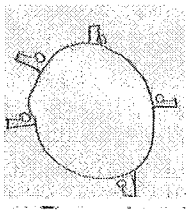
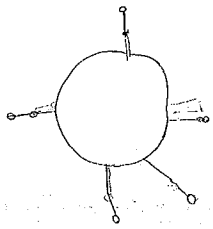
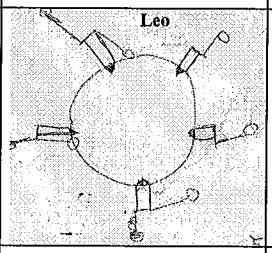
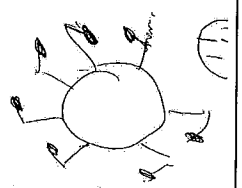
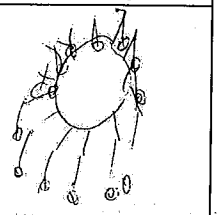
	Disposizione radiale dei pendoli	Pendoli verso l'esterno	Azione predominante della Terra	Pendoli paralleli alla superficie della Luna	Pendoli paralleli al lato lungo del foglio
					
G_1 N1=15	5	2	-	4	4
G_2 N2=16	7	5	1	3	-

Tabella 4: Disposizione dei pendoli nel caso della Luna.

Emergono alcune difficoltà nei ragionamenti dei bambini: la presenza della Terra nelle vicinanze, la minore intensità della gravità sulla Luna (entrambe menzionate dai bambini nelle discussioni). Alcune risposte che sembrano "scorrette" possono risultati coerenti rispetto a un ragionamento quantitativo, come nell'esempio illustrato nella figura 8 dove un bambino (G_2) mostra in modo evidente che la Terra (a destra) essendo più grande della Luna, è responsabile dell'orientazione dei pendoli vicino ad essa, in quanto attira i pendoli più di quanto la Luna sia in grado di fare.

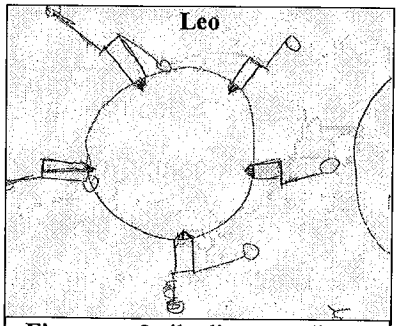


Figura 8 il disegno di un bambino G_2): la disposizione dei pendoli sulla Luna è dovuta alla Terra (cerchio a destra del foglio)

La stessa idea porta alcune volte a considerare che la Luna non compia nessuna azione sugli oggetti:

B14 ah je sais.. je sais pourquoi ils ont … c'est parce que la Lune n'attire pas autre chose
I: toi tu dis que la Lune n'attire pas les choses, et c'est pour cela que tu les as dessinés tous à l'extérieur … et toi tu les as dessinés où ?
B13 toujours vers l'extérieur…
I: toujours vers l'extérieur.. et qu'est-ce qui fait qu'ils se disposent comme ça ?
B14 parce que la Lune..
B13 parce que c'est la Terre…
B14 qui attire les choses
I: c'est la Terre qui attire les choses, même celles qui sont sur la Lune ?
B14 oui d'autres planètes… le soleil …
(gruppo 7, G_1)

In conclusione osserviamo che anche se emerge una reale perplessità nei bambini riguardo alla disposizione dei pendoli sulla Luna, in questa fase delle interviste non abbiamo riscontrato nessun riferimento al fatto che sulla Luna non ci fosse aria, ma il principale ostacolo fosse piuttosto legato al considerare simultaneamente due interazioni di diversa intensità.

6.4.4 Analisi delle risposte del post test

Come già osservato le domande nel post test erano domande molto aperte, in quanto l'obiettivo era vedere se dopo due settimane i bambini utilizzassero spontaneamente la configurazione delle linee di campo nel confronto tra i due tipi di interazioni (i due campi).

I bambini (32 in totale, uno era assente) utilizzano svariati argomenti (tabella 5): la direzione o orientazione degli aghi (2/32), l'attrazione (13/32), le caratteristiche degli oggetti metallici (4/32), la forma delle linee di campo (5/32) e gli aspetti quantitativi (2/32).

	La gravità senza l'aria?			SOMIGLIANZE nell'azione della Terra e del magnete?				DIFFERENZE nell'azione della Terra e del magnete?			Riferimento alle LINEE di campo
	SI	NO	Non so	SI + attrazione	SI	NO	Non risponde	SI	NO	Non risponde / Non so	
G_1	9	7	-	1	9	4	1	7	3	6	1
G_2	6	6	4	7	3	4	-	4	8	2	4

Tabella 5: Le risposte dei bambini al post test

Tra le diversi tipologie di risposte 5/32 (4 in G_2, 1 in G_1) bambini spontaneamente utilizzano o fanno riferimento alle linee di campo. Nonostante ciò l'idea di attrazione rimane dominante in tutti e due i gruppi e, generalmente, le rappresentazioni grafiche delle linee di campo generalmente non sono utilizzate in modo esplicito per differenziare i due campi. Anche nel caso in cui questo venga fatto, emergono le difficoltà evidenziate nelle interviste, come è illustrato nella figura 9, dove un bambino utilizza lo stesso strumento grafico per evidenziare sia le analogie ("si dirige verso la Terra", "attira le cose"), disegnando le linee di campo dirette verso la sorgente nei due casi (anche

per il magnete), sia le differenze, in questo caso disegnando correttamente le linee di campo nei due casi.

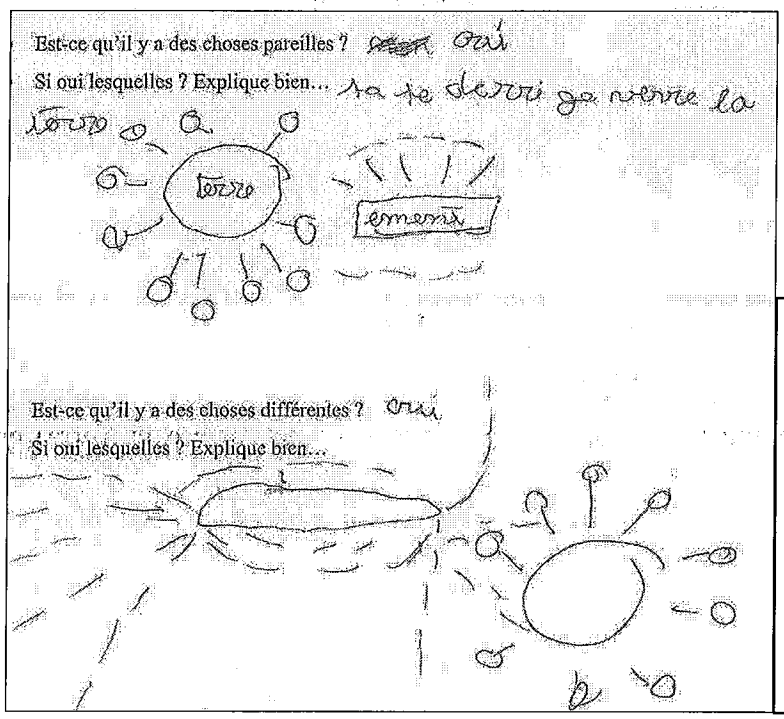


Figura 9: il disegno di un bambino (G_2) nel post test: Utilizza lo stesso strumento grafico (le linee di campo) sia per illustrare le analogie, sia le differenze nei due campi. Nel primo caso disegna le linee radiali anche per il magnete, nel secondo disegna correttamente la forma delle linee di campo nei due casi.

Un altro esempio è illustrato nella figura 10, in cui un bambino disegna le linee di campo vicino a un magnete, ricordando la loro forma, ma più lontano le linee tendono a orientarsi verso il centro del magnete.

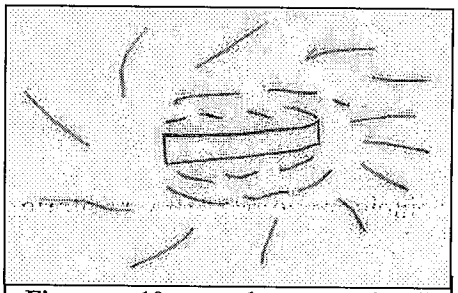


Figura 10: un altro esempio di disegno nel post test (G_2)

In conclusione i risultati del post test sembrano indicare che per alcuni bambini le linee di campo hanno assunto una certa rilevanza, ma non è stato sufficiente per superare l'ostacolo di considerare la sola attrazione, che rimane un'idea dominante.

Rispetto al ruolo dell'aria, contrariamente a quanto emerso dalle interviste, un terzo dei bambini (tabella 5: 13/32 bambini, di cui 7 in G_1, 6 in G_2) evidenziano la necessità dell'aria per l'attrazione gravitazionale. Questo può esser dovuto al fatto che l'aria non è stata menzionata dall'intervistatore durante l'attività, mentre nel post test veniva esplicitamente posto il problema del ruolo dell'aria nell'interazione gravitazionale.

6.5 Conclusioni

La ricerca illustrate in questo capitolo aveva come obiettivo sondare se l'idea di "*mapping*", ossia di rappresentare il campo gravitazionale e magnetico attraverso le linee di campo, è accessibile ai bambini di 9-11 anni, e se può aiutare loro a differenziare i due campi.
Rispetto all'ipotesi di ricerca A (l'attrazione gravitazionale terrestre è diretta verso il centro della Terra), anche se i bambini più piccoli sono inclini a menzionare la causa occasionale piuttosto che efficiente nella spiegazione della caduta dei gravi, la maggior parte del nostro campione riconosce, anche se con un leggero aiuto (veniva richiesto loro di considerare la Terra come "vista da lontano") la forma della Terra e a prevede correttamente l'orientazione di diversi rivelatori.

Rispetto all'ipotesi B1, l'idea di *mapping* l'azione delle due sorgenti (il magnete e la Terra) era introdotta dall'intervistatore. La configurazione delle linee dei rispettivi campi era riconosciuta e caratterizzata facilmente dai bambini, così come le loro simmetrie nello spazio tridimensionale e la loro diversa forma nei due casi considerati: magnetico (i bambini utilizzavano metafore per caratterizzare le linee di campo magnetico, quali "ponti" e "arcobaleni") e gravitazionale. Non ritenevamo ovvio, *a priori,* che i bambini prendessero in considerazione in diverse fasi dell'intervista la forma di oggetti non materiali, come le linee di campo.
Nonostante ciò nelle interviste e in particolare nella fase dell'interpolazione è emersa la difficoltà di discriminare tra i due effetti dell'interazione magnetica, ossia l'orientazione e l'attrazione globale dei rivelatori. Nel caso del campo magnetico, di natura dipolare, le due direzioni corrispondenti non coincidono e l'effetto rotatorio non può essere spiegato con un'unica causa come nel caso dell'azione gravitazionale della Terra. In due terzi dei bambini è stata riscontrata questa difficoltà in diversi modi, in particolare cercando di conciliare la forma di un "arcobaleno" con le loro previsioni rispetto alla disposizione degli aghi magnetici disposti sul piano di antisimmetria del magnete: i bambini prevedono che gli aghi si dispongano verso il centro dell'oggetto (magnete) "dove c'è più magnete".
Di conseguenza, una reale difficoltà emerge quando viene chiesto ai bambini di compiere un ulteriore passo in avanti: discutere e/o accettare che le due interazioni sono differenti (ipotesi B2).
I bambini facilmente distinguono la forma delle due configurazioni delle linee di campo (per il magnete e per la Terra), ma risulta problematico per loro considerare che, in base a questo, le azioni delle due sorgenti sono differenti; i risultati sembrano indicare che l'idea dell'attrazione è troppo dominante (un magnete prima di tutto attira li oggetti). Nonostante ciò abbiamo osservato che i punti di vista dei bambini vengono perlomeno destabilizzati e a volte si genera un conflitto, che può risultare una base per una successiva costruzione concettuale.

Infine, anche se il fatto che i bambini associno i due fenomeni è ben noto in letteratura (Bar et al. (1994), (1997), Palmer (2001)), osserviamo che non è detto che questo implichi una completa assimilazione della Terra (considerando gli effetti gravitazionali e il magnete); la maggior parte delle volte i bambini stabiliscono un'analogia, affermando che la "Terra è come un magnete", in quanto attira gli oggetti, specificando però che, contrariamente al magnete, la Terra attira tutti gli oggetti.

Riguardo all'attrazione gravitazionale della Luna (ipotesi C) anche se l'aria viene raramente menzionata nelle interviste, quando nel post test viene esplicitamente chiesto ai bambini il ruolo dell'aria nell'interazione gravitazionale più di un terzo dei bambini afferma la necessità dell'aria per una tale interazione. Inoltre emergono delle difficoltà rispetto al combinare due sorgenti gravitazionali di diversa intensità (la Terra e la Luna); sembra quindi che sia forse più agevole discutere l'universalità dell'interazione gravitazionale rispetto a un pianeta (supposto) isolato, per ovviare l'ulteriore problema di un sistema a tre corpi.

Nel post test abbiamo riscontrato alcuni segnali di una comprensione (seppur parziale) mantenuta durante le due settimane, ma globalmente le risposte evidenziano la persistenza delle difficoltà sopra-citate. L'ostacolo principale osservato è la predominanza nei bambini (anche i più grandi) di una visione degli effetti dei campi in termini di attrazione unipolare, qualsiasi sia il campo (sia gravitazionale che magnetico).

In base a questa ricerca abbiamo voluto costruire una sequenza d'insegnamento per la scuola primaria da svolgere in classe (in 16 ore), focalizzata sulla distinzione dei due effetti dell'interazione magnetica (l'attrazione globale e la rotazione) e sull'introduzione delle linee di campo magnetico come linee di orientazione di diversi rivelatori di campo (bussole, magneti appesi, limatura di ferro,...). Si è voluto sondare se il riconoscimento e la distinzione dei due effetti (attrazione globale, orientazione) facilitasse i bambini nel passaggio dalla differenziazione tra le configurazioni delle linee di campo e la distinzione dell'azione dei due campi (gravitazionale e magnetico). Nel prossimo capitolo illustreremo i risultati ottenuti con questa sequenza alla scuola primaria.

CAPITOLO 7

La sequenza sul magnetismo per la scuola primaria (9-10 anni)

7.1 Introduzione

La letteratura (si veda capitolo 2) ha messo in evidenza i seguenti aspetti problematici riguardo al concetto di campo al livello della scuola primaria[1]:

- l'azione a distanza: nei bambini vi è la convinzione della necessità di un mezzo per la trasmissione dell'interazione, inoltre l'azione del campo è spesso considerata limitata a una regione finita di spazio (Bar et al. (1997), Galili (1995), Borges & Gilbert (1998));
- i bambini hanno diversi modelli del magnetismo (Borges & Gilbert (1998), Erickson (1994));
- la forma della Terra e il suo campo gravitazionale: vi è una relazione tra le concezioni dei bambini sulla forma della Terra e la direzione del campo gravitazionale (Arnold et al. (1995), Nussbaum (1985), Vosniadou & Brewer (1992)).
- la dissociazione tra il peso, la caduta dei gravi e il campo gravitazionale (Andersson (1990), Bar et al. (1994), Galili (2001), Ruggero et al. (1985));
- la connessione tra gravità e magnetismo: i bambini identificano gli effetti gravitazionali con quelli magnetici, considerando l'attrazione gravitazionale come un'attrazione magnetica (Bar et al. (1994), (1997)).

Nei nostri primi lavori a livello della scuola primaria (capitolo 5) sulla gravità e sul magnetismo vengono confermati invece i seguenti aspetti:

- considerando le difficoltà emerse nell'identificazione della Terra come sorgente del campo gravitazionale e la ben nota facilità nel caso della del magnete (anche se non sempre esplicitata nelle ricerche in letteratura), possiamo utilizzare i fenomeni magnetici sia per riconoscere e identificare il magnete come sorgente del campo, sia per introdurre la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo.
- Infatti i fenomeni magnetici facilitano: 1) il riconoscimento dell'esistenza di alcune specifiche proprietà (orientazione di una bussola) nello spazio circostante un magnete che possono essere

[1] Esistono altri due problemi di apprendimento che la letteratura ha evidenziato piuttosto a livello della scuola secondaria o a livello dei primi anni dell'università, ma che consideriamo importanti rispetto al nostro lavoro di ricerca nella scuola primaria e sono:

- la **rappresentazione del campo e il ruolo delle linee di campo**: l'interpretazione delle rappresentazioni del campo attraverso le linee di forza, l'*oggettualizzazione* delle linee di campo da parte degli studenti (Borges & Gilbert (1998), Greca & Moreira (1997), Viennot & Rainson (1992), Saverlsberg (2002), Tornkvist et al. (1993))
- **l'identificazione della traiettoria** di un oggetto in movimento in presenza di un campo con **le linee di campo** (Tornkvist et al. (1993))

rilevate attraverso l'interazione con dei rilevatori di campo posti in diversi punti; 2) il riconoscimento della sorgente del campo (anche perché in questo caso è possibile muoverla, mentre nel caso gravitazionale non è possibile); 3) la materializzazione delle linee di campo, attraverso i diversi rivelatori di campo (orientazione delle bussole o dei pezzetti di limatura di ferro).

Sulla base della letteratura e di questi primi risultati è stata progettata una ricerca (capitolo 6) mirata all'introduzione dell'idea del *"mapping"* dello spazio attraverso le linee di campo magnetico, di trasferimento di questa idea del *"mapping"* al caso gravitazionale e infine di differenziazione dei due campi. Questa ricerca ha messo in luce le difficoltà dei bambini:

- nel distinguere tra i due effetti di un magnete su un altro, ossia: l'attrazione (o movimento) globale e l'orientazione
- nel differenziare i due campi magnetici e gravitazionali[2], in quanto in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva

Dall'analisi dei dati è emerso che i bambini sono capaci di differenziare la forma delle linee di campo nei due casi considerati, ma l'idea dell'attrazione centrale è dominante a tal punto da interferire sulla nuova conoscenza acquisita, infatti la differenza tra la forma delle due rappresentazioni non viene legata alla differenza tra l'azione dei due campi (o delle sorgenti[2]). Comunque, come primo risultato, osserviamo che in generale la differenziazione tra le "mappature" sembra aver per lo meno destabilizzato il punto di vista di quei bambini che inizialmente avevano affermato che i fenomeni gravitazionali e magnetici erano identici.

[2] ai bambini il problema veniva posto in termini di differenziare l'azione del magnete e della Terra su un esploratore (ovviamente non si utilizzava il termine "campo", ma si parlava piuttosto di azione del magnete nello spazio circostante)

7.2 Le ipotesi di ricerca

In base a questi risultati si è deciso di costruire un percorso sul magnetismo (soltanto in condizioni statiche) per la scuola primaria, incentrato sui due principali problemi di ricerca che guidano tutto il lavoro di questa tesi e che sono già stati illustrati nel capitolo 3[3]. L'ipotesi di ricerca rimane in parte la stessa del lavoro precedente[4] (capitolo 6), ossia identificare e differenziare i campi attraverso la rappresentazione delle linee di campo.

Nel percorso sul magnetismo esposto in questo capitolo le ipotesi di ricerca che permettono raggiungere tale obiettivo vengono complementate dall'ipotesi A': si considera che un lavoro specifico e molto approfondito di osservazione, previsione e interpretazione della fenomenologia, basato principalmente sul riconoscimento e sulla distinzione dei due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti (attrazione e orientazione), permetta il superamento dell'ostacolo evidenziato nella ricerca precedente (attrazione globale *versus* orientazione) e il riconoscimento della natura bipolare dell'interazione magnetica. Questo costituisce la prima e principale ipotesi (A') della sequenza, che si ritiene possa facilitare inoltre l'introduzione e l'identificazione delle linee di campo magnetico come linee di orientazione e la successiva differenziazione tra le forme delle linee di campo e tra l'azione dei due campi considerati (ipotesi C'4 e C'5). Al livello della scuola primaria ci siamo focalizzati in modo particolare sul riconoscimento dell'interazione magnetica, attraverso diverse metodologie e strumenti didattici (esperimenti e discussioni a piccolo e grande gruppo, schede individuali e schede in gruppo, disegni e testi scritti dei bambini) che verranno analizzati in dettaglio nei successivi paragrafi.

Riassumendo quindi le ipotesi per la sequenza alla scuola primaria sono le seguenti:

A') ***I bambini sono in grado di riconoscere e distinguere i due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione(o movimento) globale e l'orientazione.***

- ***I bambini individuano le caratteristiche delle sorgenti di campo magnetico, ossia riconoscono la bipolarità[5] (A'1)***

B') ***La distinzione tra l'attrazione e l'orientazione (unito al riconoscimento della bipolarità[6]) favorisce (o induce) un passaggio dal ragionamento in termini di attrazione globale a uno in termini di poli.***

---

[3] Le ipotesi di ricerca, ricordiamo, sono due: il potere rappresentativo delle linee di campo e la differenziazione tra i campi centrali (polari) e bipolari, in questo caso tra il campo gravitazionale e magnetico.

[4] Le ipotesi A e C della ricerca illustrata nel capitolo 6 non vengono qui riconsiderate, in quanto ci si è voluti focalizzare sulla distinzione tra attrazione e rotazione come condizione necessaria per poter affrontare l'ipotesi principale del capitolo 6 (B) che in questo capitolo è presente nell'ipotesi C'.

[5] Il *riconoscimento* della bipolarità è necessario per poter distinguere i due effetti dell'interazione magnetica (attrazione e rotazione).

[6] Il fatto che un bambino riconosca (anche frettolosamente) che il magnete ha due poli non è garanzia che egli interpreti la fenomenologia in termini di azioni dei poli e non in termini di azione globale d'attrazione, come è emerso dalla

Riteniamo che il ragionamento in termini di poli (anche se in termini di contributo di ogni singolo polo[7]) risulta essere un passaggio obbligatorio per abbandonare un'idea di azione globale del magnete su un altro magnete alla successiva interpretazione della fenomenologia azione globale del magnete sull'esploratore in termini di bipolarità (questo ragionamento verrà raggiunto solo nella scuola secondaria[8]).

C') ***Riguardo all'approccio del "mapping" delle linee di campo:***

- ***è accessibile ai bambini della scuola primaria (4° anno)(C'1)***
- ***i bambini sono in grado di associare le linee di campo magnetico a linee di orientazione (C'2)***
- ***la rappresentazione delle linee di campo magnetico è trasferibile anche al caso gravitazionale (C'3).***
- ***può facilitare i bambini ad associare la "forma" delle linee di campo con la rispettiva sorgente del campo (la Terra e il magnete) (C'4)***
- ***è utilizzabile dai bambini per differenziare i due tipi di campo, nonostante in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva (C'5)***

La sequenza per l'indagine di ricerca messa in campo per la scuola primaria si è articolata su una griglia di obiettivi (riportata nella tabella 1, seconda colonna); soltanto alcuni di essi hanno costituito elemento di analisi di ricerca ai fini del presente lavoro. Gli altri sono stati perseguiti in termini di esiti di apprendimento a seguito di proposte operative sulle quali è stata effettuata una discussione finalizzata al riconoscimento di elementi propedeutici alla situazione oggetto di ricerca. Ad esempio ***(Ob.1) "Individuare le tipologie di interazione di un magnete con i materiali diversi (magneti, ferromagnetici, altro)***" è stato affrontato con una metodologia di tipo "*inquiring methods*" (Mc Dermott (1996)) con proposta di esplorazione operativa dell'interazione di un magnete con diversi materiali, riconoscimento e classificazione dei diversi comportamenti delle tre principali categorie (materiali magnetici, ferromagnetici e non ferromagnetici), consolidamento in base a successive discussioni a piccolo gruppo su situazioni di controllo della classificazione dei

---

ricerca illustrata nel capitolo 6, dove i bambini avevano evidenziato la tendenza a considerare il magnete come un'unica causa, che attira tutto (senza tener conto dei poli).

[7] Anche se il ragionamento in termini di contributo di ogni singolo polo può portare, come vedremo nella scuola secondaria, a considerare delle "forze" prodotte da ogni polo (fisicamente scorretto) riteniamo che questo modello interpretativo sia un passaggio necessario per superare l'iniziale idea del magnete senza poli causa sia dell'attrazione che della rotazione, presente nei bambini (si veda l'analisi dei dati di questo capitolo).

[8] Nella scuola secondaria (si veda capitolo 8) verrà raggiunto il passaggio da un ragionamento in termini di contributi di ogni polo a uno in termini di azione globale (attraverso un momento o una coppia di forze) della sorgente sull'esploratore che tiene conto della bipolarità ("*il magnete esercita una coppia di forze che fa ruotare il magnete appeso*").

materiali effettuata rispetto al loro comportamento in interazione con un magnete. Tale obiettivo era propedeutico all'indagine sul riconoscimento dei due effetti dell'interazione magnetica (attrazione globale e rotazione).

Analogamente l'obiettivo ***(Ob.2) "Riconoscere che la bussola è un magnete"*** è stato perseguito con un'attività esplorativa del comportamento di una bussola all'avvicinarsi ad essa di un piccolo magnete in diversi modi, ripercorrendo anche per la bussola tutti i passi che avevano precedentemente permesso di riconoscere e distinguere un magnete da altri materiali. La bussola come strumento nato per l'indicazione di una direzione, diventa uno esploratore privilegiato nella costruzione di linee di orientazione del campo quando è stato riconosciuto come magnete.

Per quanto equivalente rispetto al ruolo di esploratore la limatura di ferro, che risulta essere usualmente utilizzata nella costruzione delle linee di campo magnetico, non ha questo ruolo privilegiato di indicatore dell'orientazione, in quanto essa evidenzia anche un movimento globale[9].

7.3 La sequenza

La sequenza[10] inizia con la trattazione dei fenomeni magnetici e dei due effetti di un magnete su un altro (attrazione globale, orientazione), prosegue con il riconoscimento della bussola come un magnete, e della sua intrinseca caratteristica di "rivelatore delle orientazioni", per poi introdurre l'idea di "*mapping* delle orientazioni" di una bussola posta in vari punti dello spazio intorno al magnete.

Viene quindi rappresentato il campo attraverso le linee di campo, che nel caso dei fenomeni magnetici sono linee di "orientazione" e non di "attrazione".

L'introduzione e il *mapping* del campo gravitazionale avviene in un secondo momento attraverso esploratori analogici (quali pendoli, palloni, freccette...) e utilizzando i disegni dei bambini.

Campione

La sequenza sul campo magnetico (soltanto in condizioni statiche) è stata svolta in due classi di 4° della scuola primaria di Muzzana (provincia di Udine) rispettivamente di 12 e 13 alunni (totale 25 bambini di 9-10 anni). La durata complessiva della sequenza è stata di 16 ore.

---

[9] Proprio il movimento globale della limatura di ferro può essere utilizzato proficuamente per riconoscere la natura dinamica del campo.

[10] La sequenza riprende i punti essenziali del percorso svolto nella ricerca a Parigi (capitolo 6), però in base ai risultati di questa ricerca, viene complementata da una prima parte molto approfondita sul riconoscimento e sulla distinzione tra i due effetti dell'interazione magnetica tra due oggetti : l'attrazione e l'orientazione.

Metodologia

La metodologia che ha caratterizzato tutte le fasi sperimentali è la metodologia PEC "Prevision - Experiment - Comparison" : Previsione di quello che si andrà ad osservare, verifica delle ipotesi attraverso la Sperimentazione e Confronto tra le previsioni e i risultati sperimentali ottenuti.

Il ciclo di apprendimento PEC (figura 1) è ben noto in letteratura (Sassi E. (1992), (1997), Thornton (1993), Sokoloff & Thornton (1997), Contini & Sassi (1999)), la fase della previsione facilita l'espressione delle idee degli studenti e le loro difficoltà di apprendimento, la fase degli esperimenti può anche essere usata per generare dei possibili conflitti tra le previsioni fatte e cosa è invece misurabile (o come invece si comporta la fenomenologia), infine la fase del confronto tra i dati sperimentali (o il comportamento dei sistemi considerati) e le previsioni fatte aiuta gli studenti a distinguere gli aspetti rilevanti e a identificare le variabili significative, le relazioni e le regolarità (Contini & Sassi (1999)).

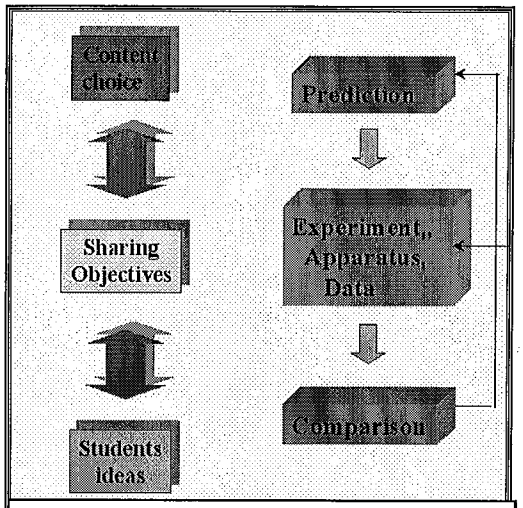


Figura 1: rappresentazione schematica del ciclo PEC "Prevision - Experiment - Comparison" (tratto da Contini et al. 1999)

Nel nostro caso i bambini erano posti di fronte a una situazione, dovevano prevedere (giustificando le loro affermazioni) il comportamento di un dato sistema o più sistemi fisici che interagiscono, in seguito veniva realizzato l'esperimento e il confronto era realizzato con discussione, a seconda delle situazioni, a piccolo o grande gruppo. Quando l'esperimento era svolto in piccoli gruppi (di due o tre bambini) le conclusioni venivano fatte individualmente, e in seguito discusse in gruppo, se invece l'esperimento era svolto dalla cattedra le conclusioni venivano discusse direttamente in gruppo. Le discussioni a piccolo e grande gruppo sono state videoregistrate.

La valutazione della sequenza è stata effettuata attraverso diversi strumenti durante la sequenza quali schede individuali, discussioni in piccolo e grande gruppo, registrazioni delle discussioni, diario di bordo. L'analisi e la discussione dei dati durante la sequenza ha portato alla validazione delle ipotesi di ricerca. Era prevista la somministrazione di un post test, che purtroppo non è stato possibile realizzabile per problemi contingenti della scuola accogliente.

Nella tabella 1 sono elencati in sintesi i punti essenziali della sequenza, con i rispettivi obiettivi, e metodologie utilizzate.

	Obiettivo	Metodologia	Attività
1) Introduzione alle proprietà magnetiche dei materiali	▪ Classificazione di oggetti magnetici, ferro-magnetici e non.	a)**Esperimento:** Dati vari oggetti classificarli (in piccolo gruppo) b) **Compilazione** di una scheda individuale sulla classificazione. **(scheda 1)** c)**Discussione** a grande gruppo sulla classificazione effettuata.	-Classificare una trentina **oggetti magnetici, ferro-magnetici e non** secondo criteri propri. -Riportare la classificazione su una scheda. -Discutere argomentando la classificazione effettuata.
2) Esplorazione degli effetti di un magnete su un altro magnete (e su un oggetto ferromagnetico)	▪ Riconoscere la bipolarità del magnete. ▪ Riconoscere l'attrazione globale e la repulsione. ▪ Riconoscere che la bussola è un magnete.	a)**Esperimento** b) **discussione** a piccolo gruppo.	Vedere come si comportano tra loro: 1. due magneti 2. un magnete e una graffetta 3. due oggetti metallici 4. un oggetto metallico e un magnete 5. un magnete e una bussola
	▪ Riconoscere che la bussola si comporta come il magnete appeso orientandosi.	a) **Compilazione** di una scheda di previsione. **(scheda 2)** b) **Discussione** semi-strutturata a *grande gruppo* e realizzazione di un cartellone con tutte le ipotesi formulate dai bambini. c) **Osservazione** guidata del fenomeno e **discussione** semi-strutturata simultanea.	- Prevedere come avvicinare si comportano un **magnete** ad un **magnete appeso** come si comportano. - Osservare come si comporta un **magnete appeso** e confrontarlo con la **bussola.**
	▪ Riconoscere che la bussola è un magnete	a) **Osservazione** guidata del fenomeno . b) **Discussione** semi-strutturata in *piccolo gruppo* simultanea all'osservazione.	▪ Osservare come si comporta l'ago di una **bussola** messa sul tavolo avvicinando un **magnete** tenuto in mano
		a)**Osservazione** guidata del fenomeno . b) **Discussione** semi-strutturata in *grande gruppo* simultanea all'osservazione.	▪ Spaccate **due bussole** far osservare ai bambini se gli aghi si comportano come due magneti. ▪ Osservare se una **bussola galleggiante** attira uno **spillo galleggiante**.
Distinzione attrazione globale e orientazione (rotazione)	▪ Identificare la rotazione come intrinseca all'azione del magnete su un altro magnete. ▪ Riconoscere che il magnete ruota anche quando ha il massimo grado di libertà.	a) **Presentazione** della situazione in forma problemica. b) **Simulazione** per la formulazione di ipotesi e simultanea discussione. c) **Esperimento** per la **verifica** delle ipotesi formulate e simultanea discussione. d)**Compilazione,** in piccolo gruppo, di una scheda sulla formulazione delle ipotesi e sull'esperienza. **(scheda 3)**	Gli alunni in piccolo gruppo devono : - Fare un'ipotesi di lavoro su che cosa succede quando si avvicinano due magneti galleggianti e su come avvicinarli, se muoverli tutte due o no, e decidere che prove fare, simulandole prima . - Discutere l'ipotesi - Eseguire l'esperimento - Rispondere per iscritto in gruppo alle domande della scheda 3.
Distinzione attrazione globale e orientazione (rotazione)	▪ Riconoscere che la bussola sull'acqua è come un magnete : può sia orientarsi che essere attratta.	a) **Presentazione** della situazione in forma problemica. b) **Compilazione** di una scheda sulla formulazione di ipotesi. **(scheda 4)** c) **Osservazione** guidata del fenomeno e **discussione** semi-strutturata in *grande gruppo* simultanea all'osservazione .	Gli alunni devono fare un'ipotesi su cosa farà una **bussola galleggiante** se posta in una vaschetta in cui c'è un **magnete fisso.**
Isolare l'orientazione	▪ Riconoscere che la bussola posta sul tavolo si orienta ma non viene attratta	a) **Osservazione** guidata del fenomeno . b) **Discussione** semi-strutturata in *grande gruppo* simultanea all'osservazione.	▪ Gli alunni riconoscono che una **bussola** posta su un tavolo rispetto ad un **magnete** ad essa avvicinato si orienta ma non si sposta a causa dell'attrito del tavolo.
3) Costruzione delle linee di campo magnetico generato da un magnete come linee di orientazione.	▪ Prevedere l'orientazione di una bussola rispetto ad un grande magnete. ▪ Costruire le linee di campo magnetico prodotte da un magnete (linee di orientazione).	a) **Presentazione** della situazione in forma problemica. b)**Formulazione** di ipotesi da parte del gruppo-classe attraverso una **discussione** semi-strutturata. c) Disegnare in gruppo le linee di campo. d) **Osservazione** guidata del fenomeno e **discussione** semi-strutturata simultanea.	▪ Dato **un grande magnete** posto su un foglio bianco gli alunni , con l'ausilio di **piccole bussole** devono tracciare le linee di campo disegnando linee corrispondenti all'ago delle bussole. Le bussole saranno poste dagli alunni prima accostate al magnete (non necessariamente ai poli) poi consecutivamente sempre più lontane.
	▪ Prevedere l'orientazione delle bussole intorno al magnete	c) **Compilazione** di una scheda individuale di previsione sull'orientazione delle bussole **(scheda 5)** d) **Discussione** semi-strutturata sulla compilazione della scheda.	▪ Prevedere l'orientazione di alcune bussole rispetto ad un magnete attraverso il completamento di un disegno.
4) L'attrazione nel campo magnetico.	▪ Riconoscere che l'attrazione dà un cambiamento dello stato di moto di un sistema..	a) **Presentazione** della situazione in forma problemica b) **Osservazione** guidata del fenomeno e **discussione** semi-strutturata simultanea.	▪ Osservare come si dispone la **limatura di ferro** rispetto ad un **magnete.**
	▪ Riconoscere che la linea di partenza di un oggetto libero di muoversi è distinta dalle linee di campo magnetico	a) **Presentazione** della situazione in forma problemica b) **Osservazione** guidata del fenomeno e **discussione** semi-strutturata simultanea a grande gruppo. c) **Compilazione** di una scheda individuale **(scheda 6)**	▪ Osservare come si dispongono gli **spilli** posti sull'acqua se vi viene immerso un **magnete.** ▪ Osservare come si muovono (variazione della velocità rispetto alla vicinanza ai poli). ▪ Formulare per iscritto l'ipotesi sul comportamento di alcuni magneti galleggianti rispetto ad un magnete posto sul fondo di una vaschetta .
5) Costruzione delle linee del campo gravitazionale terrestre	▪ Riconoscere l'orientazione di opportuni esploratori (bussole gravitazionali) nel campo gravitazionale	a) **Presentazione** della situazione b) **Formulazione** di una **ipotesi** tramite la **realizzazione** di un disegno individuale. c) **Osservazione** guidata del fenomeno	▪ Osservare un **telaio con delle masse appese** posto in orizzontale e ipotizzare,attraverso un disegno, cosa succede se lo si mette in verticale.

	terrestre (a livello locale).		
(passaggio dal livello locale a quello globale)	▪ Riconoscere l'orientazione nel campo gravitazionale terrestre a livello globale	a) **Presentazione** della situazione b) **Formulazione** di una **ipotesi** tramite la **realizzazione** di un disegno individuale.	▪ Disegnare la Terra vista da lontano + 5 alberi, + pendoli, + palloni. ▪ Disegnare tutta la Terra (Far fare un altro disegno per raffigurare le sole linee di campo (astrazione)
6) Confronto e differenziazione dell'azione del magnete e della terra	▪ Riconoscere che la forma delle linee di campo nei due casi sono diversi ▪ Distinguere l'azione della Terra e di un magnete in base alla differenza tra la forma delle linee di campo	a) **Presentazione** della situazione in forma problemica b) **Discussione** semi-strutturata a grande gruppo.	▪ Gli alunni discutono sulle analogie e differenze tra i campi magnetico e gravitazionale.

Tabella 1: sintesi dello schema della sequenza con obiettivi, metodologie e attività.

Lo schema della sequenza

1) Introduzione alle proprietà magnetiche dei materiali (scheda 1)

Nella prima scheda sono state introdotte le proprietà magnetiche attraverso l'esplorazione e la classificazione delle interazioni di un magnete con vari materiali, con l'obiettivo di distinguere tra oggetti magnetici, ferromagnetici e altri oggetti che non interagiscono.

I bambini lavoravano a gruppi di due, ma la scheda era svolta individualmente; per casa è stato loro chiesto di raccontare e spiegare per iscritto e con un disegno cosa avevano osservato nell'esperimento.

2) Esplorazione degli effetti di un magnete su un altro magnete (e su un oggetto ferromagnetico)

2a) Avvicino un magnete a un altro oggetto (ferromagnetico o magnete) posto sul tavolo

I bambini a gruppi di 3 discutevano tutti i possibili modi di avvicinare un magnete a un altro posto sul tavolo (figura 2) e ne descrivevano il comportamento; poi ripetevano l'esperimento con un magnete e una graffetta posta sul tavolo, infine con due pezzi cilindrici di materiale ferromagnetico (della stessa forma dei magneti utilizzati).

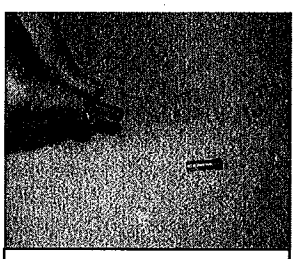


Figura 2: avvicino un magnete a un altro posto sul tavolo

L'obiettivo di questa parte era di distinguere e riconoscere i poli del magnete, osservare le differenze del comportamento tra i materiali ferromagnetici e i magneti (i primi vengono sempre attratti, i secondi attratti e respinti e possono ruotare[11]).

[11] In realtà anche un materiale ferromagnetico può ruotare, come abbiamo visto nel dispositivo che evidenzia le linee di campo utilizzato nella ricerca precedente (capitolo 6).

2b) Il comportamento di una bussola

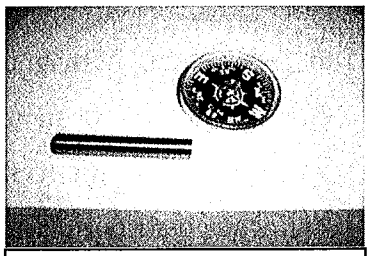


Figura 3: avvicino un magnete a una bussola posta sul tavolo

In una prima fase i bambini a gruppi di 3 esploravano il comportamento di una bussola posta sul tavolo (figura 3).

Per portare i ragazzi a riconoscere che la bussola è un magnete sono stati realizzati due esperimenti dalla cattedra: dimostrare la capacità di attirare oggetti ferromagnetici (uno spillo galleggiante sull'acqua), verificare che gli aghi delle bussole si comportano come piccoli magneti (spaccando due bussole si dimostra facilmente che da un lato si attraggono, dall'altro si respingono).

2c) Avvicino un geomag a un altro appeso (scheda 2)

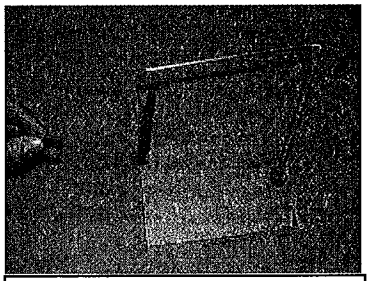


Figura 4: scheda 2, avvicino un magnete a un altro posto appeso.

Ai bambini veniva chiesto di trovare individualmente i possibili modi di avvicinare un magnete a un altro appeso (figura 4) e di prevedere[12] il comportamento di quest'ultimo. Veniva quindi realizzato e discusso in gruppo l'esperimento, infine si riassumevano le conclusioni generali in un cartellone e i bambini potevano appuntarsi sulla scheda le loro osservazioni in base alle previsioni fatte individualmente.

2d) due magneti sull'acqua (scheda 3)

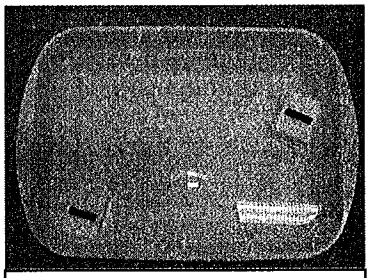


Figura 5: scheda 2c, due magneti galleggianti sono lasciati liberi di muoversi nelle due situazioni (poli opposti e poli uguali affacciati).

I bambini a gruppi di tre erano posti davanti al problema di scoprire che cosa succede quando si avvicinano due magneti galleggianti (Figura 5). In particolare dovevano decidere come avvicinarle, se muoverle tutte due o no, e decidere che prove fare, simulando con la vaschetta in cartone.

L'obiettivo di questo esperimento è far scoprire che il magnete ruota anche quando ha il massimo grado di libertà e identificare la rotazione come intrinseca all'azione del magnete su un altro magnete

2e) una bussola e un magnete sull'acqua (scheda 4)

L'ultimo esperimento di questa parte riguarda la bussola e il magnete galleggianti sull'acqua (figura 6), la previsione veniva fatta individualmente e poi veniva realizzato l'esperimento dalla cattedra,

[12] Nella previsione veniva esplicitamente richiesto se il magnete appeso ruota, si sposta, o ruota e si sposta.

osservando il comportamento del magnete tenendo ferma la bussola, e viceversa della bussola, tenendo fermo il magnete. L'obiettivo è sempre il consolidamento del riconoscimento che la bussola è un magnete, che può sia orientarsi che muoversi (se disposta sull'acqua per ridurre l'attrito).

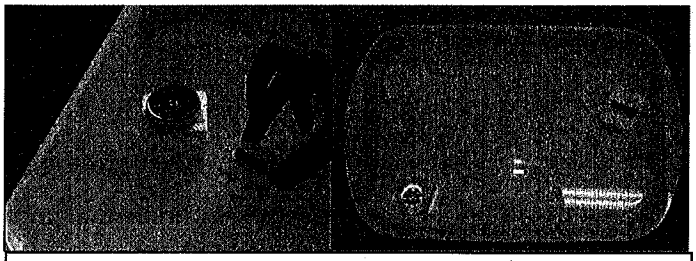


Figura 6: una bussola e un magnete sull'acqua

Vengono infine discussi i modi per isolare l'orientazione, concludendo che è possibile farle disponendo la bussola sul tavolo. Questo risultato ci permette di passare alla fase successiva, che consiste nella costruzione delle linee di campo come linee di orientazione di una bussola nei vari punti dello spazio intorno al magnete.

3) Costruzione delle linee di campo magnetico generato da un magnete come linee di orientazione. (scheda 5)

Una volta individuati i due effetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, si propone di studiarne e isolarne uno (l'orientazione), disponendo la bussola sul tavolo.

Viene introdotta l'idea di *"mapping"* delle orientazioni dello spazio intorno al magnete (figura 7), e costruita in gruppo per un magnete molto lungo[13] (figura 8). Tale magnete infatti genera nello spazio circostante delle proprietà osservabili e rilevabili da oggetti che si comportano come lui, come la bussola per esempio. Queste proprietà costituiscono il campo magnetico, e le linee che definiscono la mappa delle orientazioni che è stata costruita vengono chiamate linee di campo magnetico[14].

A conferma dell'acquisizione della forma delle linee di campo generate da un magnete viene proposta la scheda 5

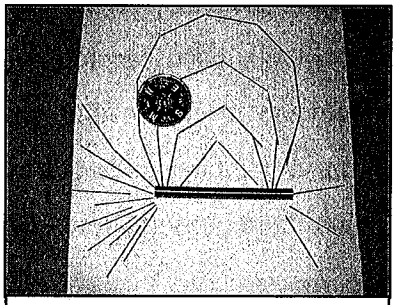


Figura 7: Rappresentazione del campo magnetico con l'ago di una bussola.

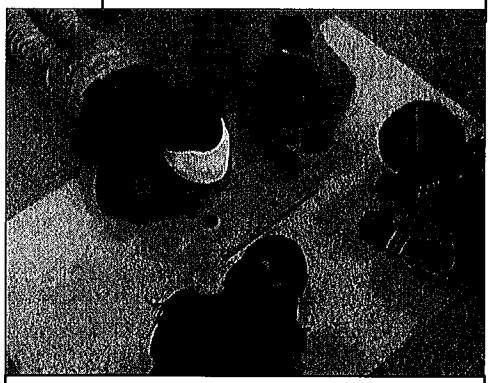


Figura 8: la costruzione in gruppo delle linee di campo.

[13] Per costruire le linee di campo magnetico utilizzando le bussole, è bene che il magnete sia sufficientemente lungo rispetto alle dimensioni della bussola (altrimenti la forma delle linee è difficilmente riscontrabile), quindi si è utilizzato un magnete molto lungo e costruito le linee di campo in gruppo su un cartellone disposto sul pavimento (si veda figura…).

[14] Le **linee di campo magnetico** sono quindi introdotte e definite come le **linee di orientazione** di un magnetino (o una bussola in questo caso) esploratore che possa solo ruotare. La "*mapping*" delle linee di campo ci permette di prevedere l'orientazione di particolari oggetti che hanno la stessa proprietà del magnete (esploratori del campo: bussole, magneti, ecc..) nello spazio circostante al magnete. Questo aspetto (sul ruolo della rappresentazione delle linee di campo) verrà ripreso nel caso gravitazionale.

in cui si richiede ai bambini di disegnare la disposizione degli aghi di diverse bussole disposte tutto intorno a un magnete, specificando anche il polo N e S di tali esploratori del campo (figura 9).

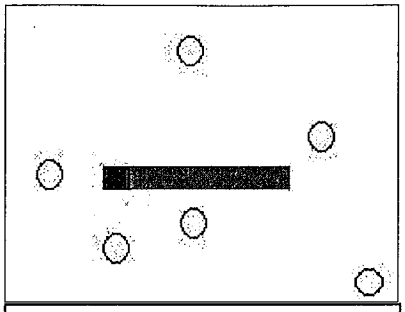


Figura 9: previsione della disposizione degli aghi di diverse bussole tutto intorno al magnete

4) L'attrazione nel campo magnetico.

L'obiettivo di questa fase è distinguere le linee di campo dalla forza, relazionata all'attrazione globale, ossia al moto incipiente di un esploratore libero di muoversi.

Inizialmente viene introdotto un nuovo esploratore del campo (oltre alle già citate bussole): la limatura di ferro, e si discute in gruppo la disposizione della limatura di ferro nello spazio circostante il magnete. Viene fatto osservare che se la limatura è inserita in un olio (per ridurne l'attrito) essa tenderà a disporsi tutto intorno ai poli.

In seguito per evidenziare la distinzione tra linea di partenza o forza e linee di campo è stato realizzato un esperimento qualitativo[15] in cui si dispongono in una bacinella piena d'acqua degli spilli, sul fondo della vaschetta sono state disegnate le linee di campo generate da un magnete cilindrico. Gli spilli sono inizialmente disposti in modo casuale, ma una volta inserito il magnete sul fondo della vaschetta, essi si muovono rapidamente fino ad arrivare sui poli. Si osserva (anche se il moto degli spilli è molto rapido) che la direzione di partenza degli spilli e le loro traiettorie non coincidono con le linee di campo. L'esperimento è stato svolto dalla cattedra a grande gruppo e sono state tratte le conclusioni in gruppo.

Infine come verifica di questa fase è stata proposta la scheda 6, in cui veniva richiesto ai bambini di prevedere il comportamento di tre magnetini (galleggianti sull'acqua, e quindi liberi di muoversi) disposti sulle linee di campo (figura 10).

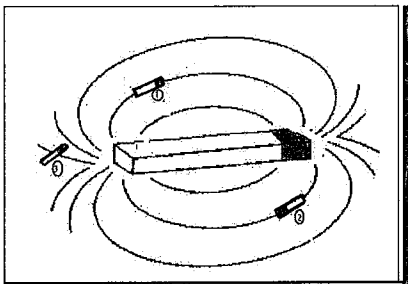


Figura 10.: la disposizione dei magnetini proposta nella scheda 6.

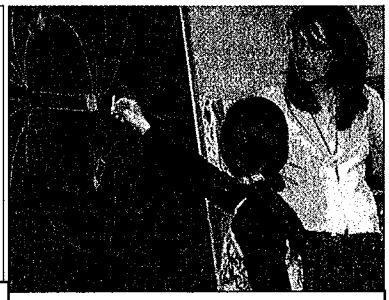


Figura 11 : la discussione delle previsioni della scheda 10

[15] In questa fase della ricerca non avevamo ancora individuato l'esperimento cruciale per la distinzione tra il moto incipiente e le linee di campo (si veda capitolo 8), per cui ci siamo limitati a questo esperimento, che anche se qualitativo e non così evidente (dovuto al fatto che gli spilli si muovono molto veloci, e non è così facilmente riconoscibile la direzione del moto incipiente o le traiettorie dei singoli spilli), per render conto di questa distinzione fondamentale. Alla luce del lavoro svolto alla scuola secondaria, si potrebbe migliorare questa fase della sequenza al livello inferiore aggiungendo la parte relativa all'esperimento del piccolo magnete disposto sulle linee di campo.

Anche in questo caso veniva esplicitamente richiesto ai bambini se i singoli magnetini ruotano, si spostano o ruotano e si spostano.

5) Costruzione delle linee del campo gravitazionale terrestre

A partire dalla *mappatura* del campo magnetico generato da un magnete cilindrico, viene introdotta la *mappatura* del campo gravitazionale.

Le linee di campo magnetico ci hanno permette di prevedere l'orientazione di particolari oggetti (esploratori del campo: bussole, magneti, ecc..) nello spazio circostante al magnete.

Nel caso della Terra, consideriamo una massa, essa avrà la proprietà di essere attratta, se è libera di muoversi, oppure di disporsi lungo una particolare direzione, se è appesa ad un filo (o in generale non libera di muoversi).

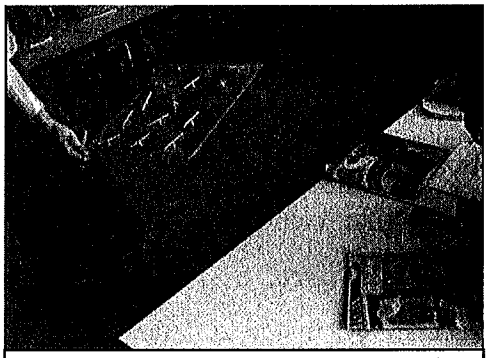


Figura 12: il telaio con i "pseudodipoli" gravitazionali.

In analogia al caso delle bussole, vengono costruiti degli "pseudodipoli" gravitazionali[16] composti da dei pezzettini di cannuccia con una piccola massa a un'estremità e vincolati nel punto medio (si veda figura 12).

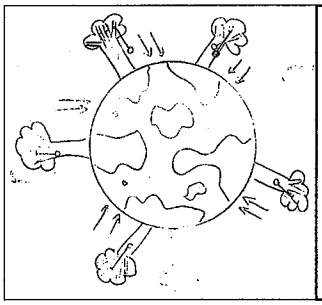


Figura 13: esempio di disegno dei bambini che dispongono i pendoli e le freccette del telaio entrambi verso il centro della Terra.

Costruito un telaio con queste freccette, se esso è posto orizzontalmente la loro disposizione è casuale (figura 13). Ai bambini viene richiesto di prevedere come si dispongono le freccette se il telaio viene posto verticale; si discute infine se la disposizione è la stessa in vari punti tutto intorno alla Terra.

In seguito i bambini disegnano la Terra "vista da lontano" e la disposizione di alcuni pendoli attaccati a diversi alberi disposti tutto intorno alla Terra.

Infine utilizzando un altro foglio si è chiesto ai bambini di disegnare di nuovo la Terra e questa volta non disegnare gli alberi né i pendoli, ma soltanto le linee che indicano la direzione che un pendolo assumerebbe se disposto in vari punti intorno alla Terra (figura 14).

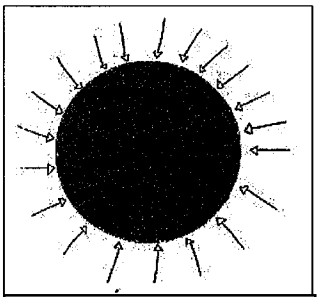


Figura 14: un esempio del terzo disegno dei bambini nel quale era richiesto di rappresentare soltanto le direzioni della disposizione dei pendoli intorno alla Terra.

[16] Nel campo gravitazionale l'orientazione non è così evidente nella fenomenologia, si può parlare di pseudodipoli gravitazionali (Bradamante & Viennot (2006)) e non dipoli veri e propri perché la sorgente è monopolare e non dipolare come nel caso magnetico.

Vengono così definite le linee del campo gravitazionale, come linee di orientazione dei pendoli disposti intorno alla Terra, in questo caso queste linee coincidono con la direzione dell'attrazione gravitazionale.

6) Confronto e differenziazione tra l'azione del magnete e della Terra

In base alla forma delle rappresentazioni delle linee di campo (figura 15) nei due casi considerati (campo generato da un magnete cilindrico, campo generato dalla Terra) si discutono in gruppo le analogie e differenze.

L'obiettivo della discussione finale è quello di distinguere l'azione dei due campi in base alla forma delle linee di campo.

Inoltre si vuol far osservare che le linee di campo possono essere considerate come linee di orientazione nei 2 casi, ma in un caso coincidono con la direzione di partenza degli oggetti, mentre nell'altro no.

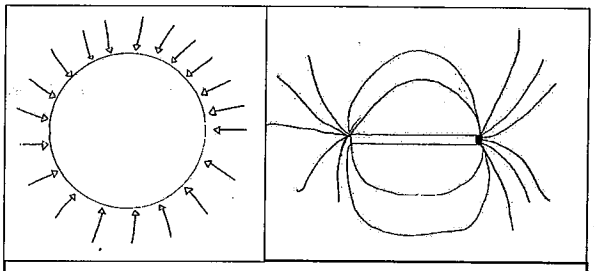


Figura 15: il confronto dei disegni di un bambino sulla la forma delle linee di campo gravitazionale della Terra e del campo magnetico generato da un magnete cilindrico.

7.4 Analisi dei risultati

Le singole schede sono state analizzate in dettaglio e riportate nell'allegato 3, mentre in questo paragrafo abbiamo selezionato e confrontato soltanto i dati della sequenza relativi a ogni ipotesi di ricerca che ci siamo proposti.

Passiamo quindi ad analizzare ogni singola ipotesi; per facilitare la lettura dei risultati all'inizio verrà richiamata l'ipotesi in questione e, prima di inoltrarsi nei dettagli dei dati (con le rispettive citazioni delle risposte dei bambini), sarà presentata una sintesi degli aspetti più salienti riguardanti la suddetta ipotesi. Questa prima sintesi[17], ha lo scopo di orientare il lettore nella successiva fase, nella quale si presenterà l'analisi dei dati in dettaglio per ogni singola scheda riguardanti l'ipotesi in questione.

Premettiamo che nell'analisi sono state considerate sia le schede e i disegni dei bambini, sia le interviste e alcuni testi scritti a casa dai bambini. Mentre tutti i bambini hanno consegnato le schede e i disegni, solo alcuni hanno consegnato gli scritti per casa, mentre non è stato possibile trascrivere tutte le interviste effettuate. Quindi negli ultimi due casi (le interviste e i testi scritti) non è stato possibile presentare un'analisi completa di tutto il campione dei bambini, ma solo alcuni esempi sintomatici.

7.4.1 Rispetto all'ipotesi di ricerca A'

" I bambini sono in grado di riconoscere e distinguere i due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione globale e l'orientazione."

In questa prima parte, prima di affrontare l'ipotesi A', tratteremo i risultati riguardanti l'ipotesi di ricerca A1 e i due obiettivi preliminari[18] . Inizialmente consideriamo l'ipotesi A'1 e il primo obiettivo:

- ***Individuare le caratteristiche delle sorgenti di campo magnetico, ossia riconoscere la bipolarità (A'1)***
- ***Individuare le tipologie di interazione di un magnete con i materiali diversi (magneti, ferromagnetici, altro) (Ob.1)***

L'ipotesi A'1 tocca tutta la sequenza, anche se le prime fasi della stessa sono rivolte in modo graduale al riconoscimento della bipolarità e all'individuazione delle tipologie di interazione di un magnete con i diversi materiali.

---

[17] In cui volutamente non si forniscono esempi delle risposte dei bambini, che invece sono presentate in dettaglio nella successiva fase.

[18] Ricordiamo che i due obiettivi preliminari (illustrati nel paragrafo 7.2) sono i seguenti:
(Ob.1): Individuare le tipologie di interazione di un magnete con i materiali diversi (magneti, ferromagnetici, altro)
(Ob.2): Riconoscere che la bussola è un magnete.

In particolare la scheda 1 introduce la trattazione dell'interazione magnetica, senza voler ancora esplicitare i due effetti dell'interazione magnetica, cosa che avviene invece nelle discussioni a piccolo gruppo (interazione tra due magneti, tra un magnete e una graffetta e tra un magnete e una bussola), e soprattutto nella scheda 2 dove vengono analizzati i possibili modi di avvicinare un magnete a un altro appeso, con l'obiettivo di esplicitare la rotazione.

Risultati:

L'interazione di un magnete con un altro magnete[19] viene identificata da ben 8/21[20] bambini, due dei quali lo esplicitano anche nella distinzione di una categoria diversa (in totale ne determinano tre), mentre gli altri sei evidenziano il suo diverso comportamento nelle spiegazioni (*"Si possono classificare in tre gruppi questi oggetti: 1° gruppo il geomag che si attacca e anche respinge, 2° gruppo i magneti le monete, lo spillo, le sfere, il chiodo, le forbici e il cilindro d'acciaio. Il 3° gruppo è quello dei non magneti cioè le monete da 10 e 20 centesimi, il pongo, la pallina da ping-pong, la vite, il cubetto di plastica e il cilindretto di rame", "No non è sempre la stessa, perché certi oggetti si attaccano e certi no. Però attenzione il geomag è diverso. Da una parte si attacca, mentre dall'altra la respinge. Per esempio prendiamo un temperino ci avviciniamo la calamita e succede che la calamita alza il temperino e si attacca"*).

Il comportamento è generalmente analizzato rispetto agli oggetti, solo alcuni casi ("*No se succede qualcosa non è sempre la stessa cosa perché tutte le cose di metallo e di acciaio si attaccano alla calamita invece le cose come il legno, il polistirolo, la biglia di vetro, il pongo il cilindro di cera, il cubo di plastica, l'alluminio non si attaccano alla calamita*") fanno riferimento a delle macro-categorie (i materiali), però viene sempre considerato solo il comportamento di uno rispetto all'altro ("*Alcuni oggetti disposti sul tavolo si attaccano alla calamite"*) e in soli due casi vengono esplicitati i poli ("*Il geomag forma il terzo gruppo perchè una calamita e da una parte la calamita riesce ad attirarlo dall'altra no: da una parte c'è positivo, dall'altra negativo, positivo con negativo si attacca ma se è positivo con positivo non si attaccano neanche negativo con negativo"*).

Globalmente tutti i bambini sono però focalizzati sugli esiti della classificazione, mentre risulta secondaria la descrizione e interpretazione del processo di interazione; infatti solo qualche caso isolato lo rappresenta con delle lineette (categorie A3 e C dei disegni). Nelle spiegazioni i bambini o si limitano a una spiegazione "dogmatica" ("è ammissibile che..." o "può succedere che"), o alla considerazione di una legge fenomenologica (che viene intesa e confusa con la spiegazione), mentre in due casi si pongono su un piano interpretativo in termini di modelli dei poli.

[19] Tra gli oggetti da classificare c'era anche un geomag.

[20] Nella sequenza alla scuola secondaria, soltanto 3/21 riconoscono che il geomag ha un comportamento diverso dai ferromagnetici e lo inserisce in una categoria a parte.

Nella scheda 1 in nessun caso comunque viene spontaneamente evidenziata la rotazione, cosa che avverrà invece nella fase successiva :le discussioni a piccolo gruppo sull'interazione tra un magnete e un altro posto sul tavolo (e in seguito anche nella scheda 2). Nelle interviste infatti la rotazione è riconosciuta facilmente dai bambini, il magnete però non sempre è inteso come bipolare, ma emerge la concezione del magnete come monopolo dove una sola parte è attiva. I bambini inoltre pur individuando i due effetti dell'interazione magnetica ne danno generalmente una descrizione in termini sequenziali, considerando la rotazione precedente alla traslazione (solo in un caso i due effetti sono riconosciuti come contemporanei). A volte la rotazione è vista come funzionale alla traslazione, evidenziando un modello interpretativo che sarà presente in tutta la sequenza e anche in quella alla scuola secondaria superiore (capitolo 8): il modello "gira per attaccarsi".
Inoltre non sempre è chiara la distinzione tra i materiali ferromagnetici e i magneti, a volte i primi sono considerati come dei magneti, altre volte questi sono considerati come dei "metalli speciali".

Risultati in dettaglio

SCHEDA 1:

La scheda 1 vuole sondare se i bambini, su una precisa tipologia di interazione (avvicino un magnete a oggetti di materiale diverso), riconoscono i comportamenti diversi dei materiali, i processi, gli esiti (ossia le 3 tipologie : non interagisce, viene solo attirato, viene attirato o respinto oppure ruota). Un obiettivo più specifico è inoltre quello di andare a vedere se i bambini nelle descrizioni dei comportamenti (punto 1) fanno riferimento al magnete che ho in mano (come preludio di un concetto di sorgente) ("*il magnete attira* ....") oppure all'oggetto ("*il ferro viene attratto*...").

Nei disegni (tabella 1) 8/21 bambini non realizzano alcun disegno, gli altri invece in 7 (categoria A) disegnano gli effetti attrattivi del magnete sugli altri oggetti (in due casi (A3) evidenziando anche delle linee, come a rappresentare un'area di influenza o semplicemente l'interazione), in 3 (categoria B) si limitano a rappresentare il contesto dell'esperimento, in 3 (categoria C) riportano invece l'esito della classificazione in 3 gruppi degli oggetti, infine uno solo in un linguaggio misto grafico-testuale rappresenta quello che succede dando un modello di poli. Quest'ultimo caso, anche se si concentra solo sull'attrazione (che si attirano o non si attirano) richiede un livello maggiore di astrazione, in quanto prende in considerazione gli elementi essenziali dell'interazione tra le sorgenti.

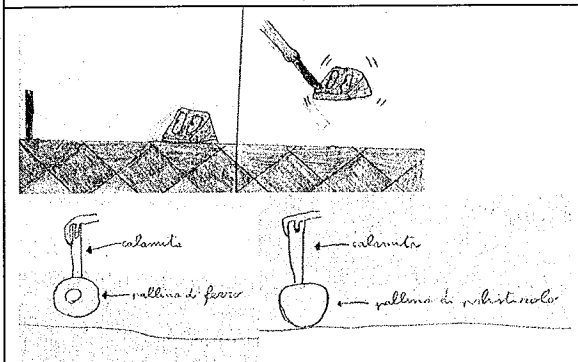
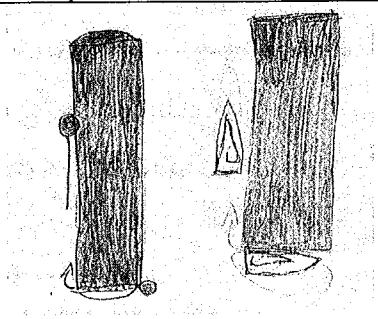
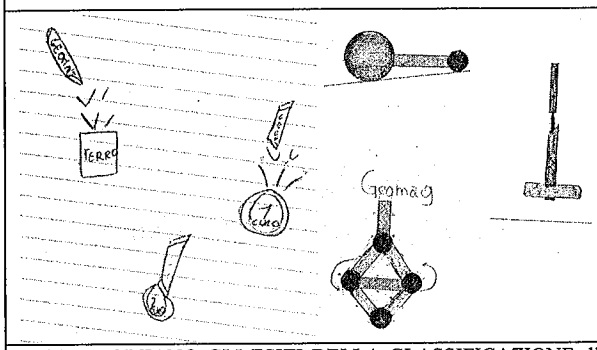
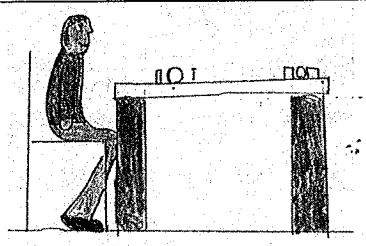
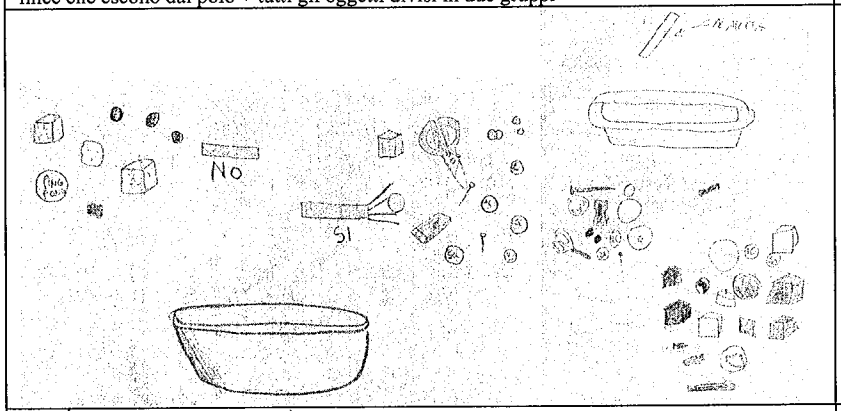
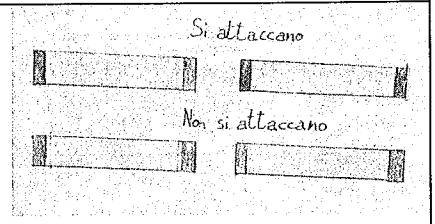
A (7) DISEGNANO GLI EFFETTI: Attrazione	
A1 (4) : la calamita che attira ferro e riesce a sollevarlo, mentre il polistirolo no.	A2 (1) la calamita con lo spillo e la graffetta che si spostano verso il centro del magnete.
	
A3 (2) disegna delle lineette piccole attorno al magnete e i ferromagnetici che si attaccano	B (3) DISEGNA IL CONTESTO DELL'ESPERIMENTO (tavolo e bambino)
	
C (3) RIPORTANO GLI ESITI DELLA CLASSIFICAZIONE disegna la calamite e delle linee che escono dal polo + tutti gli oggetti divisi in due gruppi	F (1) SPIEGA GLI ESITI CON IL MODELLO DEI POLI
	
8 nessun disegno	

Tabella 1 : I disegni dei bambini nella scheda 1

Dal punto di vista descrittivo il processo è visto sempre come un'interazione tra uno dei due oggetti e l'altro in tre modalità differenti[21]: A) gli oggetti rispondono a un "richiamo" o "si attaccano" del magnete (9 casi: "*No non succede sempre la stessa cosa, perché come ho spiegato prima, certi oggetti non rispondono, ma alcuni sì, appena la calamita li sfiora loro si attaccano a differenza degli altri.*", "*No non è sempre la stessa, perché certi oggetti si attaccano e certi no. Però attenzione il geomag è diverso. Da una parte si attacca, mentre dall'altra la respinge.*"); B) la calamita esercita un'azione (attirare o no) sugli oggetti (7 casi: "*Ho preso una calamita, alcuni oggetti sono stati attirati dalla calamita alcuni no. Il chiodo di metallo grigio, il temperino, il*

[21] Dei 21 bambini presenti 5 non hanno fornito nessuna descrizione.

fermaglio per carta, le forbici, la moneta da 100 lire, la moneta da 1 cent..."); C) esiste un'interazione tra magnete e oggetti (1 caso: "*Scopriremo che cosa può succedere tra la calamita e i vari oggetti disposti sul tavolo, succede che alcuni oggetti si attaccano, altri no.*")

In alcuni casi vi è un'eccessiva attenzione al particolare, ogni cosa viene vista con la stessa importanza, vi è infatti la difficoltà a distinguere le cose più o meno importanti ("*Durante l'esperimento ho notato che lo spillo e il fermaglio per la carta, appena attirati si spostavano fino al centro della calamita. Non tutte le monete venivano attirate tipo le monete da dieci e da venti centesimi.*").

Quando ai bambini veniva richiesto di spiegare quanto osservato, troviamo diversi approcci (tabella 2), da una spiegazione "dogmatica" ("è ammissibile che..." o "può succedere che", 1 caso: "*può succedere che degli oggetti non rispondano al richiamo, cioè che non si attaccano alla calamita*"), alla considerazione di una legge fenomenologica (che viene intesa e confusa con la spiegazione, ossia generalizzazione dei comportamenti osservati con riferimento agli oggetti e ai materiali, (9 casi) "*Ho scoperto che con alcuni oggetti si attacca, cioè roba di acciaio, ottone e metallo, tranne le due monetine di 10 e 20 cent, invece quelle di plastica pongo gomma polistirolo vetro e alluminio non si attaccano, "Gli oggetti di fero o di metallo vengono attirati dalla calamita e invece quelli di plastica o di legno non vengono attirati*"), a delle spiegazioni in termini di cambiamento di stato di quiete o di moto (1 caso, "*Quello che succede non è sempre la stessa cosa perché alcuni oggetti stanno fermi, altri invece rotolano verso la calamita*"), fino all'interpretazione in termini di modelli dei poli[22] (2 casi: "*Il geomag forma il terzo gruppo perchè una calamita e da una parte la calamita riesce ad attirarlo dall'altra no: da una parte c'è positivo, dall'altra negativo, positivo con negativo si attacca ma se è positivo con positivo non si attaccano neanche negativo con negativo.*", "*Se si prende una calamite e la si mette vicino a un metallo si può vedere che il metallo viene attratto. Alcuni sono: il temperino e le monete, altri come la biglia di vetro e le monete da 10 e 20 centesimi non vengono attratti. Invece due calamite possono attrarsi oppure possono respingersi. Dipende come le si mettono vicino e se sono uguali i poli si respingono se i due poli sono diversi si attraggono*").

1	A spiegazione "dogmatica"	*può succedere che degli oggetti non rispondano al richiamo, cioè che non si attaccano alla calamita*"
7	B legge fenomenologica	"*Ho scoperto che con alcuni oggetti si attacca, cioè roba di acciaio, ottone e metallo, tranne le due monetine di 10 e 20 cent, invece quelle di plastica pongo gomma polistirolo vetro e alluminio non si attaccano, "Gli oggetti di fero o di metallo vengono attirati dalla calamita e invece quelli di plastica o di legno non vengono attirati.*"
1	B1 solo un comportamento generale	"*succede che gli oggetti di ferro vengono attratti e si attaccano alla calamita.*"
2	B2: focalizza solo sull'attrazione	*Alcuni oggetti disposti sul tavolo si attaccano alla calamite*
1	C generalizzazione dei comportamenti osservati	rispetto alle categorie individuate "*Tra la calamita e gli oggetti disposti sul tavolo può succedere che: alcuni oggetti vengono attirati dalla calamita, altri respinti, oppure non vengono attirati.*"

[22] In questa prima fase solo esplorativa non erano stati ancora introdotti i poli.

1	D spiegazioni in termini di cambiamento di stato di quiete o di moto	*Quello che succede non è sempre la stessa cosa perché alcuni oggetti stanno fermi, altri invece rotolano verso la calamita*
2	E interpretazione in termini di modelli	*"Il geomag forma il terzo gruppo perchè una calamita e da una parte la calamita riesce ad attirarlo dall'altra no: da una parte c'è positivo, dall'altra negativo, positivo con negativo si attacca ma se è positivo con positivo non si attaccano neanche negativo con negativo.", "Se si prende una calamite e la si mette vicino a un metallo si può vedere che il metallo viene attratto. Alcuni sono: il temperino e le monete, altri come la biglia di vetro e le monete da 10 e 20 centesimi non vengono attratti. Invece due calamite possono attrarsi o senò possono respingersi. Dipende come le si mettono vicino e se sono uguali i poli si respingono se i due poli sono diversi si attraggono"*
6	no spiegazione	

Tabella 2 : le spiegazioni dei bambini nella scheda 1.

DALLE INTERVISTE (prima parte)

Dopo la prima scheda esploratoria dei comportamenti dei vari materiali all'avvicinarsi di un magnete, si passa a una fase in cui viene consolidata la classificazione in 3 categorie (vengono attratti, vengono attratti e respinti, non interagiscono), esplorando in dettaglio l'interazione di un magnete con un altro magnete posto sul tavolo (per vedere se i bambini notano e esplicitano la rotazione), con una graffetta o con una bussola. Come già accennato nell'introduzione all'analisi dei risultati per quanto concerne le interviste vengono qui presentati solo alcuni esempi sintomatici e rilevanti[23] (particolari modelli o schemi di ragionamento), in quanto non è stato possibile trascrivere tutte le interviste.

Nelle interviste trascritte globalmente tutti riconoscono la rotazione, però nella spiegazione della rotazione non viene richiamata facilmente la bipolarità ma emergono diversi modelli che i bambini si sono costruiti per render conto della fenomenologia osservata. In alcuni casi fanno riferimento al **magnete come un monopolo** dove solo una parte è attiva, infatti affermano che il magnete sul tavolo si è girato perché quello che tengono in mano è attivo solo da una parte:

B1: *L'altro magnete si è girato e si è attaccato perchè dall'altra parte non riusciva ad attaccarsi.*
B2: *Da un lato si può attaccare.* (conferma il modello)

B3: *si è girato*
I: *perché si è girato?*
B3: *Perché ha sentito l'attrazione perché era dal lato che non prendeva.*

In altri casi emerge il **modello "gira per attaccarsi"**, che considera la rotazione funzionale all'attrazione, tale modello come vedremo è presente in varie fasi della sequenza e verrà riscontrato anche a livello della scuola secondaria superiore: *"L'altro magnete si è girato e si è attaccato perchè dall'altra parte non riusciva ad attaccarsi"*. Tale modello, se le due azioni sono considerate

[23] Non è stato possibile quindi determinare il numero totale dei bambini che evidenziano i vari schemi o modi di ragionamento presentati.

contemporanee, è corretto sia fenomenologicamente sia fisicamente[24], però si è riscontrato che spesso i bambini (e anche i ragazzi della scuola superiore, si veda capitolo 8) considerano i due effetti come uno sequenziale all'altro, oppure uno causa dell'altro (con un predominio dell'effetto attrattivo).

La sequenzialità dell'attrazione e la rotazione

Ai livelli della scuola secondaria un ben noto problema in letteratura (Menigaux, 1991, Viennot 1996)[25] è la sequenzialità della rotazione e della traslazione, già nelle prime interviste emerge che anche i bambini spesso evidenziano la necessità di considerare sequenziali l'attrazione e la rotazione ("*Dall'altro lato si sposta e poi si gira*"); dalla nostra ricerca emerge che tale sequenzialità risulta complimentata da un'idea di "finalità", ossia la rotazione è considerata funzionale all'attrazione (modello di ragionamento che abbiamo definito "gira per attaccarsi").

C'è da notare che pur non avendo fatto nella sequenza nessun lavoro specifico per trattare questo punto né alla scuola primaria né in quella secondaria, nelle interviste un bambino spontaneamente mette in risalto la contemporaneità dei due effetti (mentre alla scuola secondaria nessuno la riconosce o evidenzia):

> I: *avvicina il magnete che tieni in mano a quello che è sul tavolo...*
> B11: *lo ha respinto e mentre lo ha respinto si è girato e si è attaccato*

I ferromagnetici e i metalli

In varie parti della sequenza emerge il problema del **metallo**[26] che a volte viene usato come categoria a se stante (metallo inteso come un materiale particolare, come il ferro, scheda 1: "*La calamita attira il metallo, l'acciaio e il ferro; mentre con gli oggetti di plastica, polistirolo ecc.. non si attaccavano*"), oppure a volte come **sinonimo dei ferromagnetici** (scheda 1, *"Se si prende una calamite e la si mette vicino a un metallo si può vedere che il metallo viene attratto. Alcuni sono: il temperino e le monete, altri come la biglia di vetro e le monete da 10 e 20 centesimi non vengono attratti. Invece due calamite possono attrarsi oppure possono respingersi", "No se succede*

---

24 "senza attrito infatti l'ago si dispone rapidamente ("continuamente", se lo spostamento è continuo) lungo le linee di campo, posizione di energia rotazionale minima e di energia potenziale traslatoria massima, che continua a crescere avvicinandosi al polo" (Guidoni, comunicazione privata, 2006).

25 Nella dinamica il problema della **simultaneità** della rotazione e della traslazione è ben noto in letteratura (si veda Menigaux (1991) e Viennot (1996), pag 181): infatti è emerso che in vari livelli scolari (alla fine della scuola secondaria) e universitari (primi anni) gli studenti tendono a considerare successivi i movimenti che invece si producono simultaneamente (in particolare considerano la traslazione sequenziale alla rotazione), inoltre anche quando la simultaneità è riconosciuta vi è la tendenza a considerare che un movimento influisce sull'altro.
Si ritiene (Viennot) che questo sia imputabile in parte a un ragionamento comune di tipo "lineare causale", che conduce a considerare fenomeni simultanei come successivi, in parte al tipo di insegnamento scolastico (e universitario) che generalmente tratta i fenomeni rotatori e traslatori separatamente, rinforzando in questo modo tale tendenza negli studenti.

26 Anche nella scuola secondaria superiore alcuni ragazzi tendono ad associare i ferromagnetici con la categoria dei metalli.

qualcosa non è sempre la stessa cosa perché tutte le cose di metallo e di acciaio si attaccano alla calamita invece le cose come il legno, il polistirolo, la biglia di vetro, il pongo il cilindro di cera, il cubo di plastica, l'alluminio non si attaccano alla calamita"), altre volte il **magnete** stesso viene considerato come un **metallo "speciale"**, come emerge in alcune interviste:

I. *provate a vedere cosa succede con questi due oggetti...* (ai bambini vengono dati due cilindri di materiale ferromagnetico della stessa forma e dimensione dei magneti cilindrici che hanno appena utilizzato)
B9*: non si attaccano*
I. *come ve lo spiegate?*
B9: *perché è un altro metallo, non è uguale al magnete*

Viceversa, a volte gli stessi materiali ferromagnetici vengono considerati come dei particolari magneti (un tipo di calamita), come ben evidenzia il bambini B11 in diverse fasi delle interviste (sia quando un magnete viene avvicinato a una graffetta o a una bussola, sia quando vengono avvicinati due ferromagnetici):

Magnete e graffetta:
I: *se ora mettiamo una graffetta sul tavolo e avviciniamo un magnete, cosa succederà?*
B10*: si attacca*
I*: e se giriamo il magnete cosa farà la graffetta?*
B11*: da una parte la graffetta è attirabile, dall'altra no!*
B9*: si attacca lo stesso..*
B11*: la respinge..*
I: *secondo te si attacca lo stesso e secondo te si respinge, come mai?*
B11*: perché ... perché da una parte la graffetta è attirabile, dall'altra no*[27]

Due cilindri ferromagnetici:
I: *quindi anche se hanno la forma simile....*
B11*: non si possono attaccare perché sono altri tipi di calamite*[28]

Magnete e bussola:
I: *Cosa possiamo dire dell'ago della bussola?*
B9*: Che da un parte respinge il rosso e dall'altra respinge il grigio...*
I: *e quindi di che cosa sarà fatto secondo voi? ... Ossia in quale delle categorie che avete fatto ieri sta?*
B9*: di... come il geomag*
B11: *questo ... è di metallo*(modello persistente dei ferromagnetici identificati con i magneti*)*
I: *Lei dice che è come il geomag, tu che cosa dici?*
B11: *questo è di metallo, questo non viene attratto questo viene attratto*

Anche quando viene introdotta la bussola, pur riconoscendo che il suo ago ruota, all'avvicinarsi del magnete e che cambia polarità spesso i bambini affermano che l'ago è di metallo o ferro, non riconoscendo (in questa fase iniziale solo esplorativa) che l'ago è un magnete:

B5: Le lancette si vede che sono di metallo - ferro, sentono la calamita e allora si girano.

Complessivamente comunque la maggior parte dei bambini prevede correttamente che la graffetta venga sempre attratta (confermando la classificazione proposta nella scheda 1) e che due

[27] B9 ha un suo modello ben definito per i materiali ferromagnetici ("*da tutte le due parti viene attirata dal magnete*"), mentre B11 pensa alla graffetta come un magnete che quindi ha la possibilità di attrarre da un lato e respingere dall'altro e nonostante la discussione, conferma il suo modello alla fine ("*perché da una parte la graffetta è attirabile, dall'altra no*")

[28] Il bambino B11 riconferma il suo modello dei ferromagnetici come un altro tipo di calamite (come ha affermato nella prima discussione da una parte si attirano dall'altra no).

ferromagnetici non possono attrarsi, giustificandolo generalmente con affermazioni un po' tautologiche (per la graffetta: "*perché solo una calamita con una calamita non si attacca da un lato*", "*perché solo calamite con calamite si respingono*", per i due ferromagnetici "*Non si attaccano perché non sono calamite*"). In alcuni casi invece i bambini riconoscono la bipolarità del magnete e si costruiscono un modello dei **ferromagnetici senza poli**:

> B3: *Da un lato si attacca e anche dall'altro, perché questa (la graffetta) non è una calamita*
> B5: *I poli non devono essere sempre gli stessi, devono essere uno diverso dall'altro.*(individua la bipolarità)
> B3: *Invece questa siccome non è una calamita non ha i poli e si attacca sempre.* (modello del ferromagnetico: non ha i poli)

Ora tratteremo i risultati rispetto al secondo obiettivo e all'ipotesi A':

- ***Riconoscere che la bussola è un magnete. (Ob.2)***
- ***"I bambini sono in grado di riconoscere e distinguere i due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione e l'orientazione." (A')***

Il secondo obiettivo riguarda sia l'ultima parte delle discussioni a piccolo gruppo sia la scheda 4, e precede la trattazione della distinzione tra attrazione e orientazione (ipotesi A'), che riguarda una parte molto ampia della sequenza (scheda 2, scheda 3, disegni e testi scritti dei bambini).

Risultati

Già in queste prime fasi preliminari il magnete viene comunque riconosciuto come sorgente che produce un "effetto" nello spazio circostante, anche se non è riconosciuta come proprietà dei punti e in generale l'azione del magnete è concepita in un'area limitata, richiamando la ben nota concezione del magnetismo a "nuvola" (Borges & Gilbert (1998)).

Nelle interviste a piccolo gruppo sull'interazione di un magnete con una bussola posta sul tavolo i bambini globalmente esplicitano la rotazione dell'ago e alcune volte riconoscono che è un magnete, ma per la maggior parte dei casi associano la bussola ai materiali ferromagnetici affermando che è di ferro.

L'uso della bussola, secondo le nostre aspettative, avrebbe dovuto favorire il riconoscimento della rotazione come uno degli effetti dell'interazione magnetica. Infatti il successivo esperimento proposto nella sequenza (la bussola sull'acqua) mirava a distinguere i due effetti (attrazione e orientazione), a introdurre in seguito la bussola come esploratore dell'orientazione e a utilizzarlo per costruire le linee di campo magnetico. Dall'analisi delle interviste a piccolo gruppo emerge però che la rotazione (già evidenziata nel caso dei due magneti sul tavolo) è generalmente intesa dai bambini come azione globale del magnete sulla bussola e non dovuta alla bipolarità, ossia non vie è la ricerca di una sua giustificazione in termini di poli.

Anche nella scheda 4 (la bussola sull'acqua), pur individuando i due effetti dell'interazione magnetica, sembra che la bipolarità venga dimenticata da diversi bambini, a favore di una prevalenza dell'attrazione globale del magnete: infatti considerano che l'ago ruota perché è attratto dalla bussola. In diverse interviste di questa prima parte (sia la bussola sul tavolo e il magnete, sia i due magnetini sull'acqua) emerge inoltre il modello del Nord come polo d'attrazione per tutti i magneti.

Sia nelle discussioni a piccolo gruppo sull'esperimento dei due magneti sull'acqua che nella scheda 4 emerge in alcuni casi l'idea dell'acqua come supporto e causa principale del movimento; infatti pur essendo le risposte corrette nella fenomenologia, nel ragionamento causale la rotazione è attribuita al magnete, mentre il movimento è attribuito all'acqua; questi bambini non riescono ad individuare nell'acqua il solo effetto di diminuzione dell'attrito osservato rispetto alla situazione della bussola posta sul tavolo.

Nella scheda 2 i bambini individuano le modalità di avvicinamento di un magnete a un altro appeso e elaborano i loro modelli interpretativi della fenomenologia, passando dall'analisi della situazione in termini di azione di un oggetto (magnete) su un altro oggetto, o di un oggetto come causa del movimento dell'altro, però sempre considerato in una visione globale dove i poli non sono esplicitati, a un'analisi in termini di parti distinte (la parte "rossa" o "verde"), che in seguito vengono identificate con i poli per arrivare a un'interpretazione in termini di modello dei poli.

Mentre nel considerare la bussola sembrava che i bambini avessero dimenticato la bipolarità del magnete (o per lo meno non giustificavano la rotazione dell'ago in termini di poli), nella scheda 2, dove viene considerato un magnete appeso, viene riconquistato un ragionamento in termini di poli che giustifica la rotazione. Anche in questa scheda emerge il modello "gira per attaccarsi", in cui la rotazione viene vista come funzionale all'attrazione, che risulta dominante.

Nella scheda 3 viene ulteriormente confermato il riconoscimento della rotazione, mentre nella scelta e descrizione delle situazioni sperimentali provate i bambini adottano tre diverse tipologie di approccio: A) descrizione di un movimento (3 gruppi), in cui non vi è un'interpretazione in termini di modello, ma soltanto una descrizione della situazione; B) attrazione dei poli (2 gruppi), in cui vengono considerate convenienti soltanto le situazioni attrattive (poli opposti); C) analisi più elaborata in termini di poli (3 gruppi).

Riguardo alla distinzione tra i due effetti dell'interazione magnetica i bambini dimostrano di distinguerli con facilità già nelle discussioni sia a piccolo che a grande gruppo; questo viene confermato anche nei disegni e nei testi scritti. Infatti diversi bambini associano le linee di campo all'orientazione delle bussole, o in alcuni casi in generale all'orientazione di un qualunque esploratore del campo, mentre per descrivere l'attrazione nessuno utilizza la configurazione delle

linee di campo, ma raffigura o l'attrazione di materiali ferromagnetici o l'attrazione tra i poli opposti di due magneti oppure descrive gli esperimenti proposti (spilli sull'acqua, bussola che attira un ago ferromagnetico sull'acqua). Possiamo quindi affermare che le linee di campo magnetico vengono riconosciute come linee di orientazione.

Risultati in dettaglio:

L'ultima fase delle discussioni a piccolo gruppo è stata mirata all'introduzione dell'interazione di un magnete con una bussola con l'obiettivo di esplicitare la rotazione e riconoscere che la bussola è un magnete.

Dall'analisi delle interviste a piccolo gruppo emerge che i bambini individuano facilmente la rotazione dell'ago, però la rotazione (già evidenziata nel caso dei due magneti sul tavolo) è generalmente intesa come azione globale del magnete sulla bussola e non dovuta alla bipolarità, ossia non vie è la ricerca di una sua giustificazione in termini di poli.

I: *cosa fa l'ago della bussola?*
B2: *Si gira nello stesso verso del magnete*[29].

B11: *l'ago della bussola segue la calamita.*

B5: *Le lancette si vede che sono di metallo - ferro, sentono la calamita e allora si girano.*

Globalmente esplicitano la rotazione dell'ago e alcune volte riconoscono che è un magnete:

I: dall'altra parte quando ahi girato il magnete cosa è successo?
B5: è cambiata la lancetta
I: quindi questo ago di che cosa è fatto?
B4: di metallo
B5: però si vede che una lancetta ha un polo e l'altra ne ha un altro.
I: quindi è solo di metallo?
B5: no! È metallico .... Magnetico

anche se nelle interviste a volte non concordano sullo stesso modello (come nel primo esempio qui di seguito riportato) e in diversi casi (secondo esempio riportato) associano la bussola ai materiali ferromagnetici affermando che è di ferro:

I: *Cosa possiamo dire dell'ago della bussola?*
B9: *Che da un parte respinge il rosso e dall'altra respinge il grigio...*
I: *e quindi di che cosa sarà fatto secondo voi? ... Ossia in quale delle categorie che avete fatto ieri sta?*
B9: *di... come il geomag* (identifica la bussola con il magnete)
B11: *questo ... è di metallo* (identifica la bussola con il metallo)
I: *Lei dice che è come il geomag, tu che cosa dici?*
B11: *questo è di metallo, questo non viene attratto questo viene attratto*
I: *in questo caso ... se lo giro..*
B11 *viene attratto...*
I: *viene attratto questo. Lei dice che è come un geomag... siete d'accordo voi?Tu vuoi spiegarlo ...*
B9: *perché da questa parte respinge il grigio, invece se lo giro respinge il rosso, quindi questo qua è come se fosse un lato del geomag e questo un altro.*(conferma la sua idea di bussola come un magnete)

I: *è sempre uguale l'ago secondo te? Prova a girare la calamite...*

[29] orientazione vista come azione globale e non dovuta alla bipolarità

B6*: ha cambiato colore! Prima era bianco-giallo, adesso rosso!*
I: quindi cosa possiamo concludere?
B6: cambia direzione.
I: quindi l'ago della bussola di che cosa è fatto secondo voi?
B7: di ferro!
I: di ferro?
B7 e B6: sì di ferro.
I: la lancetta di ferro? Si comporta quindi come un qualunque oggetto di ferro?
B7: sì
I: Giulia però prima ha detto che la lancetta cambia, prima era bianca e poi rossa? È un pezzo di ferro qualunque?
B7: non al 100%
B6: no.... Non lo so perché.... Altrimenti ... non fa come il ferro
B8: sarà di materiale diverso!
I : allora si comporta come che cosa?
B8: metallo
I: rispetto alle categorie che avete fatto prima a quale appartiene?
B7: agli oggetti che si attaccano

Dopo le interviste a piccolo gruppo si è ripresa la discussione a grande gruppo dove si è concluso che la bussola è un magnete, questo è stato confermato anche dall'esperimento delle bussole spezzate, grazie è stato possibile osservare l'attrazione e la repulsione dei rispettivi poli:

Discussione a grande gruppo, riassunto del comportamento del magnete e della bussola posta sul tavolo:
B5: *che c'era la lancetta rossa ma se magari giravi il polo del magnete non c'era più la lancetta rossa ma quella bianca*
I*: quindi la lancetta si comporta come?*
B3: *come una calamita* (identificano la natura di calamite della bussola)

Dopo esperimento delle bussole spezzate (discussione a grande gruppo):
I: se vogliamo vedere se sono delle piccole calamite, cosa vi aspettate se avvicino un ago all'altro?
B15: si sposta e si attacca
I: e se adesso ruoto una?
B8: Dovrebbe girarsi e attaccarsi

SCHEDA 4

Nella scheda 4 in cui veniva chiesto di prevedere il comportamento di una bussola sull'acqua all'avvicinarsi di un magnete, globalmente ben 14/24 rispondono che l'ago ruota e la bussola si sposta[30] (*"La bussola si sposta verso il magnete e l'ago gira.", "L'ago ruota e la bussola si sposta verso il magnete", "Mentre avvicino il magnete la bussola si sposta e l'ago ruota"*), 7 affermano che solo ruota ("ruota nella direzione del magnete"), mentre solo 3 non considerano la rotazione, affermando che la bussola si sposta (anche se in realtà uno di questi nelle spiegazioni dice che la bussola gira).

Nonostante ciò, pur individuando i due effetti dell'interazione magnetica, in questo caso (quando si passa alla bussola) sembra che la bipolarità venga dimenticata da diversi bambini, a favore di una prevalenza dell'attrazione globale del magnete[31]: infatti considerano che l'ago ruota perché è

[30] Inoltre la rotazione a volte è attribuita all'attrazione del Nord: "*Gira fino a quando trova il nord*".
[31] Sarebbe stato interessante chiedere ai bambini perché l'ago si gira, e la bussola si sposta.

attratto dalla bussola ("*l'ago ruota nella direzione del magnete perchè viene attirato dal magnete*", *l'"ago ruota perchè è attirato dalla calamita*", "*Perchè il geomag attira l'ago della bussola*")[32].
In diverse interviste di questa prima parte (sia la bussola sul tavolo e il magnete, sia i due magnetini sull'acqua) emerge inoltre il modello del Nord come polo d'attrazione per tutti i magneti (il N è un polo di attrazione per la bussola e per gli altri magneti):

> bussola e magnete
> *B3: Perché infatti la bussola per rimanere sempre a nord e per orientarsi prende delle calamite che sono a nord e proprio per quello è un po' di calamita per riuscire a sentire ... sì.*
> Magneti sull'acqua:
> *B13: "Si girano e si attaccano!".... Si può ripetere anche con la bussola?"*
> *B14:"Cosa succederà con la bussola secondo te?"*
> *B13"Con la bussola nell'acqua questo magnete andrà nella direzione nord insieme alla bussola!"*

Solo in un caso la rotazione della bussola viene attribuita in modo esplicito al fatto che la bussola è un magnete: "*mentre avvicino il magnete la bussola si sposta e l'ago ruota, perchè l'ago della bussola è un piccolo e sottile magnete*".
I ragionamenti in termini di poli infatti non sono così espliciti come in altre schede (scheda 2, 6 ecc.) in cui si indagava l'interazione tra due magnetini di ugual dimensione e non come in questo caso di un magnete e di una bussola, forse ciò è dovuto al fatto che vedono la bussola come rivelatore di direzione, e di conseguenza affermano che *l'ago ruota* senza dare un ruolo rilevante esplicito ai poli (tranne 4 bambini che menzionano i poli *"l'ago si ruota perchè se la bussola si sposta l'ago deve rimanere a nord²"*, "si spostano per segnare nord e sud")[33].

L'acqua come supporto e causa principale del movimento

In 4 casi su 24 emerge l'idea dell'acqua come supporto[34] e causa principale del movimento; infatti le risposte di questi bambini sono corrette nella fenomenologia, ma nel ragionamento causale la rotazione è attribuita al magnete, mentre il movimento è attribuito all'acqua, non riuscendo quindi ad individuare nell'acqua il solo effetto di diminuzione dell'attrito osservato rispetto alla situazione della bussola posta sul tavolo: *"L'acqua sposta la bussola e l'ago viene attirato dal magnete. L'acqua fa spostare il polistirolo con la bussola, il magnete attira l'ago della bussola e lo fa spostare", "L'ago quando ruota la bussola si sposta. L'acqua quando si muove la bussola gira da dove muove l'acqua", "L'ago ruota e la bussola si sposta perchè l'ago segue la direzione del*

[32] nell'ottica della prevalenza del ruolo dell'attrazione, emerge inoltre il modello "gira per attaccarsi", dove appunto la rotazione risulta funzionale all'attrazione.
[33] Potrebbero anche non ricordarsi che la bussola è un magnete, anche se riteniamo che sia poco probabile, in quanto alcuni esplicitamente chiariscono questo aspetto: "*la bussola si attacca perchè l'ago è un piccolo magnete*".
[34] Alcuni riferimenti bibliografici sul concetto di supporto: Gutierrez & Ogborn (1992), Viennot (1996), Mariani, M.C. & Ogborn, J. (1991).

magnete, invece la bussola si sposta con l'acqua[35]*", "Con l'acqua che si muove; / si sposta con l'acqua e si attacca con il magnete".*

L'idea dell'acqua come supporto e causa principale del movimento emerge fortemente anche nelle discussioni in gruppo durante l'esperimento della bussola in acqua o dei due magneti in acqua, come esemplificato negli estratti di discussione riportati qui di seguito. Qualche bambino esplicita la sua idea dell'acqua come supporto dell'interazione magnetica fino al punto di affermare che se ci fosse l'aria i due magneti non si muoverebbero (contro l'esperienza effettuata sia del magnete appeso che dei due magneti sul tavolo).

Prima fase: progettazione dell'esperimento delle vaschette:

B1 :"Perché poi quando l'acqua li muove loro si avvicinano."
I: "Quando l'acqua li muove si avvicinano...?"
B1: . "Si!" [...]Quando l'acqua si muove loro magari o si avvicinano o si allontanano."
I.:"Mmm...però l'acqua non la facciamo muovere quindi se li mettiamo a questa distanza sull'acqua cosa succederà?"
B1: "Dipende da come si muove l'acqua. Se l'acqua li fa muovere in una direzione.."
I."E' l'acqua che li fa muovere?"
B1:"Sì!"
I:"Però se l'acqua non si muove e quindi lei è ferma...?"
B1:"Si...se l'acqua non si muove la facciamo muovere noi..."
I:"MA NO! Non possiamo muoverla noi! Noi la lasciamo solo così. Si attaccano da soli se sono sull'acqua...tu dici...come mai?"
B1: Perché sono abbastanza vicino e ...
B2: (interrompe) ...è come se fossero in aria...
I: Ah,ah... E' come se fossero nell'aria. Cioè cosa succede se sono nell'aria? Rispetto a come ... a quello che sono lì adesso sulle vaschetta, senza acqua?
B1: Che lì stanno fermi e non li muove niente!
I: m..m...
B1: Invece nell'acqua c'è l'acqua che li muove perché l'acqua ...sì, bisogna aspettare abbastanza perché l'acqua si fermi.... (Idea dell'acqua come supporto dell'interazione, se ci fosse l'aria non si muoverebbero)
I: Secondo te ...se aspettiamo che l'acqua si fermi e poi li mettiamo lì non si muovono allora? Stanno come stanno lì fermi?
B1: Perché quando li appoggiamo , loro, l'acqua torna a muoversi lo stesso , quando li appoggiamo. Se no li dobbiamo appoggiare pian piano.
I: .. e se li appoggiamo piano,piano,piano? Cosa succede?
B1: Eh..può succedere che ...loro continuano a galleggiare senza mai avvicinarsi...dovrebbe succedere
B1: Dipende da come si muove l'acqua...perché se...
I: Mettiamo che l'acqua non si muove. Secondo Anna, allora, avreste ....restano lì fermi...no?
B3:Dipende se sono uniti!
B1: Dipende anche da quanto li mettiamo vicini perché se sono così (a 10 cm circa)è un po' difficile che si attachino...
B3:Forse sì, forse no!
I: Forse sì, forse no!
B2: Bho!....Secondo me non si attaccano!

Seconda fase: realizzazione dell'esperimento delle vaschette:

B1: Si sono attaccati come avevamo detto. Uno si è girato e si è attaccato come avevamo detto prima noi.
I: L'acqua era ferma, quindi, e si sono attaccati lo stesso!
B1: No! L'acqua non era ferma: si stava muovendo!
(idea persistente: l'acqua si muove!!)

[35] In questo caso i bambini distinguono facilmente l'orientazione e l'attrazione.

Già in queste prime fasi preliminari il magnete viene riconosciuto come sorgente che produce un "effetto" nello spazio circostante, anche se non è ancora riconosciuta come proprietà dei punti e in generale l'azione del magnete è concepita in un'area limitata, richiamando la ben nota concezione del magnetismo a "nuvola" (Borges & Gilbert (1998), *"Si, in più la forza del magnete arriva fin qua (indica il bordo della vaschetta)"*.

SCHEDA 2

La scheda 2 ha come obiettivo individuare le modalità di avvicinamento di un magnete a un altro appeso e ricercare i tipi di comportamento nell'interazione tra due magneti, in particolare quello rotatorio. I bambini[36] prevedono complessivamente 68 soluzioni (tabelle 3 e 6), suddivise in varie categorie presentate nella tabella 3, tra cui le più numerose sono le situazioni dei due magneti affiancati orizzontalmente con i poli uguali o opposti (categorie A e A1, 35 casi).

	Situazioni previste dai bambini (68 in totale)	
20	A	i due magneti sono sulla stessa linea poli uguali affiancati (rosso con rosso)
15	A1	i due magneti sono sulla stessa linea poli opposti affiancati (rosso con verde)
6	B	il magnete è avvicinato da sotto perpendicolare a quello appeso, polo rosso verso quello rosso
4	B1	il magnete è avvicinato da sotto perpendicolare a quello appeso, polo verde verso quello rosso
4	B2	
2	C	il magnete è avvicinato da sopra perpendicolarmente a quello appeso con il polo verde verso il rosso
2	C1	
2	C2	
4	D	giro in tondo con il magnete in mano
9	Situazioni non chiare	

Tabella 3: Le 68 situazioni previste dai bambini

Nella descrizione delle situazioni (tabella 4) si osserva che la bipolarità sembra riconosciuta e acquisita dai bambini, infatti la maggior parte (31/47[37]) parla di "parte rossa e/o verde"(14 casi *"con il magnete dalla parte rossa bisogna avvicinarla alla parte verde"*) oppure di poli (17 casi *"avvicinando polo nord con polo sud o l'incontrario"*) mentre solo in 13 casi considerano entrambi i magneti in termini globali, senza riferirsi ai poli (*"il magnete è leggermente sopra il magnete appeso, "il secondo magnete lo fai girare attorno a quello appeso"*), e in 3 casi considerano che solo il magnete appeso ha i poli (*"se noi mettiamo la calamita vicino al magnete dalla parte rossa, il magnete si sposta"*). Bisogna osservare che le situazioni A e A1 favoriscono sia una descrizione che un'interpretazione in termini di poli, mentre altre situazioni, in particolare quelle non chiare, favoriscono la descrizione in termini di azione globale di un magnete con l'altro (come per esempio le situazioni C e D).

[36] Complessivamente dei 23 bambini presenti (2 erano assenti): 7 bambini prevedono 4 situazioni, 8 ne prevedono 3, 8 ne prevedono 2.

[37] Il numero totale delle situazioni proposte è 68, però solo 47 la descrivono, tra questi 47 31 lo fanno in termini di poli o di parte rossa e verde.

	DESCRIZIONE SITUAZIONE	
6	A) parla solo di parte rossa	*"metto il magnete dalla parte rossa vicino alla parte rossa di quello appeso"*
8	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli	*"con il magnete dalla parte rossa bisogna avvicinarla alla parte verde"; "il magnete quando sono da uguale parte non si attaccano"*
17	C) parla di poli	*"avvicinando polo nord con polo sud o l'incontrario"*
3	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si.	*"se noi mettiamo la calamita vicino al magnete dalla parte rossa, il magnete si sposta"; "avvicino la calamita dal lato rosso"; "metto il magnete vicino alla parte rossa del magnete appeso"*
13	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)	*"il magnete è leggermente sopra il magnete appeso, "il secondo magnete lo fai girare attorno a quello appeso", "se la calamita la mettiamo da sopra forse gira"*

Tabella 4: Le descrizioni delle situazioni.

Nelle previsioni i bambini dimostrano globalmente di saper distinguere correttamente i due effetti (attrazione e rotazione) quando veniva chiesto loro esplicitamente di scegliere tra le tre possibilità: ruota, si sposta, ruota e si sposta. Sarebbe stato interessante studiare se di fronte ad una domanda più aperta spontaneamente avessero fatto questa distinzione.

Nelle previsioni elaborano i loro modelli interpretativi della fenomenologia (tabella 5), passando dall'analisi della situazione in termini di azione di un oggetto (magnete) su un altro oggetto (23/68 *"il magnete appeso si allontana e poi si attacca al magnete che ho in mano")*, o di un oggetto come causa del movimento dell'altro, però sempre considerato in una visione globale dove i poli non sono esplicitati (11/68: *"viene respinto dal magnete"; "la calamita fa girare il magnete")*, fino ad arrivare a un'interpretazione in termini di modello dei poli (21/68: *"il magnete appeso si gira perché i due poli sono uguali", "quando si mette il magnete dalla parte rossa di quello appeso si sposta e ruota perchè vengono respinti i due poli uguali*"), anche se a volte il modello elaborato è solo comportamentale (7 dei 21 casi: *"oscilla perchè i poli sono attratti"; "se metti il polo sud con il polo sud si spostano"*). Emergono anche dei modelli che invece sono persistenti come il modello "gira per attaccarsi", in cui la rotazione viene vista come funzionale all'attrazione, che risulta quindi dominante (4/68 *"ruota perchè così si attacca", "ruota per attaccarsi", "le due barchette non si attraggono e si girano perché la forza attrattiva prevale e così si attraggono fino a rovesciare le barchette"*[38])

Il ragionamento in termini di poli a volte non è esplicitato, o vengono menzionate le parti "rossa" o "verde" (*"si sposta perché quando metti il magnete sotto rosso con rosso si sposta"; "ruota perché quando avvicini un altro magnete rosso con rosso incomincia a girare"*) oppure i bambini parlano di poli in termini generali, ossia senza specificare se i poli sono uguali o no (*"avvicinando un polo con l'altro e si spostano respingendosi ", "si spostano respingendosi l'uno dall'altro").*

A volte emerge l'idea che il magnete appeso "segua" l'altro magnete per mettersi nella stessa direzione...: *"quando sposti il magnete (nord) e il magnete appeso (sud) va nella stessa direzione; il magnete segue l'altro; il magnete va nella stessa direzione dell'altro ruotando "; "Il magnete ruota e si sposta perché cerca il secondo magnete"*

[38] I primi due frasi sono di bambini della scuola primaria, mentre la terza è della scuola secondaria.

Emerge anche la sequenzialità della traslazione e rotazione: *il magnete appeso si gira e poi viene attirato dall'altro magnete; "prima di avvicinarsi il magnete si sposta per allontanarsi, si gira e si avvicina".*

ANALISI SITUAZIONI		
Rispetto ai ragionamenti[39]		
23	1) azione oggetto verso oggetto	*"che la calamita si attacca al magnete"; "il magnete si allontana e poi si attacca"*
11	2) azione oggetto causato da altro oggetto (magnete)	*"viene respinto dal magnete"; "la calamita la respinge da tutte e due le parti"; "la calamita fa girare il magnete"*
14	3) modello dei poli	*"quando si mette il magnete dalla parte rossa di quello appeso si sposta e ruota perchè vengono respinti i due poli uguali"; "nord con nord sono uguali e allora si respingono, si sposta per unirsi, ruota e si sposta per stare nord con sud"; "il polo nord e il polo nord si respingono, quando avvicini il magnete all'altro, il magnete appeso ruota"; "il magnete appeso si gira perché i due poli sono uguali"; "il magnete appeso viene attirato perché i poli sono diversi"*
7	3b) elaborano un modello anche se solo comportamentale	*"oscilla perchè i poli sono attratti"; "se metti il polo sud con il polo sud si spostano" (1 caso) "avvicinando un polo con l'altro e si spostano respingendosi*
4	4) modello ruota per attaccarsi	*"ruota perchè così si attacca", "ruota per attaccarsi"*
Rispetto ai poli		
6	A) parla solo di parte rosa	*"si sposta lentamente perchè è al lato rosso", "non si attacca a quello rosso", "si sposta perché quando metti il magnete sotto rosso con rosso si sposta"; "ruota perché quando avvicini un altro magnete rosso con rosso incomincia a girare"*
5	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli	*"il magnete gira e si attacca dalla parte verde"; "se metti le parti uguali non si attaccano"*
15	C) parla già di poli	*"il magnete appeso viene attirato perché i sue poli sono diversi"*
2	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si	*"la calamita la respinge da tutte e due le parti"*
28	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)	*"il magnete non si attacca ma ruota su se stesso"; "la calamita fa girare il magnete", "il magnete si avvicina perchè è attirato", "viene respinto dal magnete"*

Tabella 5: Le giustificazioni delle situazioni previste dai bambini

SIT. A	SIT. A1	SIT. B	SIT. B1	SIT. B2	SIT. C	SIT C1	SIT. C2	SIT. D	Sit. Non chiara	TOT.	DESCRIZIONE SITUAZIONI
2	1	1		1			1			**6**	A) parla solo di parte rosa
1	2	2	2						1	**8**	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli
9	6								2	**17**	C) parla già di poli
1	1								1	**3**	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si
		1	1	1	2			3	7	**15**	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)
											ANALISI SITUAZIONI
											Rispetto ragionamenti
1	6	4	1	3		1	1	3	4	**24**	1) azione oggetto verso oggetto
4	2		2		1				2	**11**	2) azione oggetto causato da altro oggetto (magnete)
7	4		1		1				1	**14**	3) modello dei poli
2	1	1							3	**7**	3b) modello solo comportamentale
2						1		1		**4**	4) modello ruota per attaccarsi
											Rispetto ai poli
2		2							2	**6**	A) parla solo di parte rosa
	1	2							2	**5**	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli
8	4		1		1				1	**15**	C) parla già di poli
			1					1		**2**	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si
4	7	1	2	3	1	2	1	3	5	**29**	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)

Tabella 6: La distribuzione dei tipi di descrizione e giustificazioni dei bambini rispetto alle varie situazioni previste.

[39] Delle 70 situazioni proposte in 10 casi non vengono fornite spiegazioni

SCHEDA 3

I bambini compilavano la scheda 3 in gruppo dopo aver effettuato l'esperimento dei due magneti sull'acqua, l'obiettivo era sempre quello di identificare la rotazione come uno degli effetti dell'interazione magnetica e nel caso non fosse stata prevista, riconoscerla dopo l'esperimento.

Globalmente tutti i gruppi riconoscono la rotazione e dimostrano di aver compreso il ruolo, il comportamento e l'interazione tra i poli; infatti nella spiegazione delle varie situazioni previste e sperimentate tutti fanno riferimento ai poli e 6 gruppi su 8 alla rotazione (dei due che non ne fanno menzione, uno considera situazioni solo attrattive, ossia poli opposti).

Nella scelta e descrizione delle situazioni sperimentali (tabella 7) abbiamo individuato tre tipologie di approccio: **A) descrizione del movimento** (3 gruppi), non vi è un'interpretazione in termini di modello, ma soltanto una descrizione della situazione (*"si avvicinano, si girano e si attaccano", "si girano tutte due in orizzontale e poi si attaccano"*); **B) approccio focalizzato sull'attrazione** (2 gruppi), in cui vengono considerate convenienti soltanto le situazioni attrattive (poli opposti) *("conviene avvicinare le barchette con il polo rosso vicino al polo blu, si avvicinano pian piano e poi si attaccano"*); **C)** analisi più elaborata**, in termini di poli** (3 gruppi), questi gruppi danno una spiegazione a volte in termini formalizzati (primo esempio citato), altre volte in termini descrittivi (secondo esempio citato) da cui emerge comunque una chiara identificazione dei poli e suo utilizzo come modello interpretativo (*"quando le avviciniamo nei vari modi il polo nord con il polo nord uno si gira e si attacca, la stessa cosa con il polo sud e il polo sud; quando avviciniamo il rosso e il blu si attaccano e se teniamo una barchetta in mano e l'latra in acqua dal polo nord e polo nord quello nell'acqua si gira e si attacca a quello in mano.*").

n° di gruppi	**In quale modo conviene avvicinare le due barchette?**	**cosa succede quando le avvicini nei vari modi?**
3	A: descrizione del movimento:	
	"1) metti le due barchette con angoli diversi con i poli disuguali 2) metti una barchetta orizzontale e l'altra in verticale 3) bisogna mettere le barchette con i poli uguali."	*1) si avvicinano, si girano e si attaccano 2)si girano tutte due in orizzontale e poi si attaccano 3) le barchette si attaccano*
2	B: attrazione dei poli:	
	"conviene avvicinare le barchette con il polo rosso vicino al polo blu"	*"si avvicinano pian piano e poi si attaccano."*
3	C: analisi più elaborata in termini di poli:	
	"le barchette conviene avvicinarle frontali, polo nord con polo sud se si vuole farli attaccare invece se si vuole farle allontanare conviene avvicinarle, lateralmente o frontalmente ma con i poli uguali"	*"quando le avvicini nei vari modi, o si respingono, o si attaccano o ruotano"*
	conviene avvicinarle in 4 modi: 1) rosso con rosso 2) blu con blu 3) rosso con blu 4)una barchetta era in acqua e l'altra in mano	*quando le avviciniamo nei vari modi il polo nord con il polo nord uno si gira e si attacca, la stessa cosa con il polo sud e il polo sud; quando avviciniamo il rosso e il blu si attaccano e se teniamo una barchetta in mano e l'latra in acqua dal polo nord e polo nord quello nell'acqua si gira e si attacca a quello in mano.*

Tabella 7: Le risposte dei gruppi alla scheda 3.

LA DIFFERENZA TRA ATTRAZIONE E ORIENTAZIONE

(nelle interviste, nei testi e nei disegni dei bambini)

Ai bambini è stato richiesto di esprimere la differenza tra attrazione e orientazione sia con l'uso dei disegni sia con un testo scritto.

Già nelle discussioni sia a piccolo che a grande gruppo i bambini dimostrano di distinguere con facilità i due effetti di un magnete su un altro, ossia l'orientazione e attrazione:

B13: "Questo si gira e si attacca con l'altro! (riprova)
B13:" Si gira e si attacca!"
I: "Prima avevate previsto che si allontanavano..."
B18:"Se gli metti la parte rossa con la parte blu si attraggono e le parti dello stesso colore si respingono!"
I:"Si respingono e basta?"
B18:"No! Poi uno ruota e si attacca!" (ripete l'esperienza)
B18:"E se lo metti laterale si gira!"
B13: "Si girano e si attaccano!"

Nei testi scritti alcune volte i bambini anche se distinguono i due effetti non riescono a esprimerne le differenze e utilizzano il termine "attrazione" per definire entrambi:

"L'orientazione è la direzione con cui alcuni oggetti vengono attirati dal magnete. Nel caso delle bussole la direzione è come si orientano le bussole. La differenza tra l'attrazione e l'orientazione è: L'attrazione è la forza con cui gli oggetti si attraggono o si respingono; invece l'orientazione è la direzione che prendono gli oggetti che vengono attratti."

Dall'analisi dei disegni (tabella 8) emerge che 11/20 bambini disegnano le linee di campo per descrivere l'orientazione. Bisogna premettere che in questa classe il lavoro è stato svolto in aula ed era stato lasciato appeso (erroneamente) il cartellone in cui i bambini avevano disegnato le linee di campo i giorni precedenti, si ritiene quindi che questo può aver influenzato i disegni dei bambini, un dato comunque interesante è che ben 3 di questi 11 bambini disegna anche diverse bussole il cui ago si dispone secondo le linee di campo, a evidenziare il riconoscimento delle linee di campo come linee di orientazione.

A parte questo aspetto complessivamente un dato rilevante è che nella descrizione dell'attrazione nessun bambino ricorre alle linee di campo, ma la maggior parte (12/20, categoria A) fa riferimento all'esperimento degli spilli, evidenziando i poli come punto di attrazione, in due casi (categoria B) si ripropone l'attrazione di oggetti ferromagnetici, mentre anche chi ricorre all'elemento grafico per descrivere l'attrazione tra i poli di due magneti lo fa non riproponendo la configurazione delle linee di campo, ma con delle linee tra i poli (categoria C), come ad indicare la necessità di rappresentarsi un "qualcosa" nello spazio (si veda il capitolo 2 a questo proposito).

In alcuni casi a supporto dei disegni i bambini nei testi descrivono l'esperimento degli spilli e dimostrano di identificare correttamente le linee di campo costruite con la bussola come linee di orientazione:

"Oggi invece abbiamo fatto un esperimento sull'attrazione. Abbiamo messo degli spilli sull'acqua; bisogna appoggiarli piano altrimenti affondavano. Sotto la vaschetta c'era un foglio con disegnate le linee di direzione per vedere quando mettevamo il magnete nell'acqua se gli spilli si mettevano allo stesso modo delle linee. Gli spilli si sono attaccati intorno al magnete specialmente sui due lati anche se non si disponevano affatto come il disegno sottostante. L'attrazione è la forza con cui il magnete attira a sé alcuni oggetti metallici .

L'orientazione è la direzione con cui alcuni oggetti vengono attirati dal magnete. Nel caso delle bussole la direzione è come si orientano le bussole."

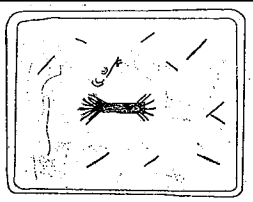
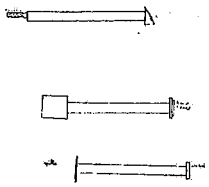
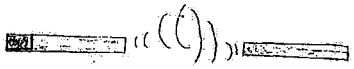
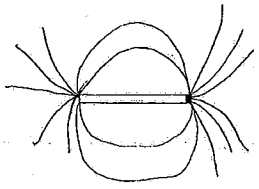
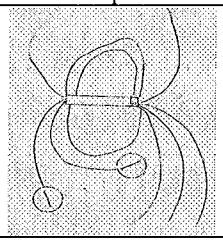
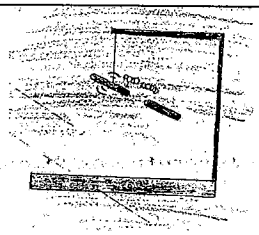
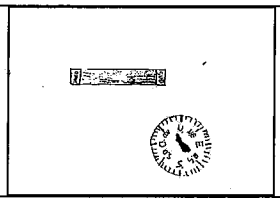
ATTRAZIONE (20 bambini presenti)		
A (12) magnete con intorno ai poli linee a raggiera	B (2) magnete attira oggetti	C (6) due magneti con i poli opposti vicini
		
ORIENTAZIONE		
A (8) magnete + linee di campo	A1 (3) magnete + linee di campo + bussola inserita sopra linee di campo	B (2) magnete appeso
		
C (4) magnete + bussola		3 non disegnano nulla
		

Tabella 8: I disegni dei bambini sull'attrazione e sulla rotazione.

In alcuni[40] testi scritti emerge l'idea che l'orientazione si ha solo con la bussola, mentre l'attrazione si ha tra due magneti:

> *"L'attrazione è formata da due magneti o da un magnete e un oggetto di metallo. L'attrazione avviene avvicinando due magneti con i poli diversi uno dall'altro oppure mettendo un magnete vicino ad un oggetto di metallo, però può attaccarsi o non attaccarsi, perché dipende dal metallo.*
> *L'orientazione si ottiene mettendo una calamita al centro di un foglio, si prende una bussola e la si avvicina. (In seguito si osserva la linea fatta dalla bussola). L'ago della bussola cambia continuamente direzione e forma una linea irregolare.* ***La differenza tra l'attrazione e l'orientazione è che avvicinando due magneti, o si attraggono o si respingono, invece avvicinando un magnete a una bussola vediamo che l'ago cambia continuamente direzione."***

Dai disegni però emerge anche che altri bambini riconoscono che l'orientazione non riguarda solo la bussola, ma qualunque magnete libero di orientarsi, come il magnete appeso (si veda figura 16) dove viene presentato l'esempio del disegno di un bambino).

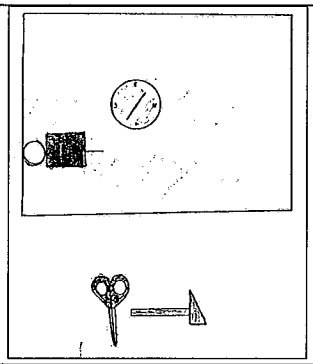
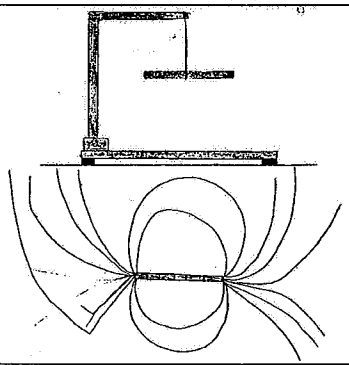
ATTRAZIONE	**ORIENTAZIONE**
	

Figura 16: l'esempio dei disegni di un bambino che per descrivere l'orientazione rappresenta sia le linee di campo, sia il magnete appeso, mentre per descrivere l'attrazione raffigura l'esperimento della bussola che attira un oggetto ferromagnetico sull'acqua. Questo dimostra che il bambino riconosce che la bussola è un magnete e che le linee di campo sono linee di orientazione di un qualunque rivelatore di campo.

[40] Ricordiamo che come nel caso delle interviste non avendo tutti i testi scritti dei bambini presentiamo solo alcuni esempi sintomatici senza poter fornire il numero dei bambini.

7.4.2 Rispetto all'ipotesi di ricerca B'.

B') La distinzione tra attrazione e orientazione (unito al riconoscimento della bipolarità) favorisce (o induce) un passaggio dal ragionamento in termini di attrazione globale a uno in termini di poli.

Risultati

Abbiamo visto che la bipolarità, inizialmente evidenziata solo da 2 bambini nella scheda esplorativa delle interazioni di un magnete con diversi materiali (scheda 1), viene poi riconosciuta nell'interazione tra due magneti (interviste a piccolo gruppo). Nell'introduzione della bussola sul tavolo (interviste a piccolo gruppo) veniva invece un po' persa nel senso che i bambini consideravano che la funzione prevalente della bussola è quella di orientarsi a Nord[41], la rotazione veniva quindi riconosciuta ma essa stessa era concepita come effetto di un'attrazione globale del magnete sull'ago della bussola e non della bipolarità. Questo viene riconfermato nella scheda 4 dove non si considerano due geomag, ma un magnete e una bussola sull'acqua.

Nella schede 2-3-6 la bipolarità viene invece recuperata quando si considera l'interazione tra due magneti (siano esso in acqua o sospesi in aria), i bambini dimostrano globalmente di riconoscere i due effetti dell'interazione magnetica e di interpretare la fenomenologia in termini di modelli dei poli, o almeno di parti "rosse e blu".

La bipolarità viene riconosciuta anche nel caso dell'interazione bussola- magnete nella scheda 5, nel momento in cui essa è funzionale all'interazione tra due elementi: in questo caso la bussola non è vista più come indicatore del nord terrestre, ma come rivelatore dell'azione di un magnete nello spazio circostante in termini di orientazione degli aghi. Nel paragrafo successivo, che riguarda l'acquisizione di una certa familiarità dei bambini nella configurazione delle linee di campo magnetiche, verrà analizzata in dettaglio la scheda 5, che sembra mettere in evidenza la capacità dei bambini di riprodurre l'orientazione delle bussole tutto intorno al magnete. Dopo aver disegnato in gruppo le linee di campo con la bussola come esploratore, sembra che questa abbia perso la funzione di indicatore del nord terrestre, assumendo quella di render conto dell'azione di una magnete nello spazio circostante.

Anche nella scheda 6 viene confermato il ragionamento in termini di poli dalla maggior parte dei bambini (16/22): i poli vengono intesi o come punto di arrivo e/o direzione del movimento e/o rotazione (ragionamento di tipo "finalista"), oppure come causa della rotazione e/o movimento; l'analisi in termini di visione globale del magnete risulta molto meno presente. Inoltre come in altre fasi della sequenza seppur i bambini riconoscano i due effetti dell'interazione magnetica, li

[41] Nel paragrafo precedente abbiamo visto come il modello del Nord come polo d'attrazione per tutti i magneti emergeva anche nelle interviste (bussola magnete)

considerano uno sequenziale all'altro, nella maggior parte dei casi è la rotazione a precedere e a volte essere funzionale alla traslazione. Globalmente dunque predomina l'effetto attrattivo, come verrà riscontrato anche nella scuola secondaria. Infine emerge in alcuni casi l'idea delle linee di campo come linee "piste" del movimento, ossia come "binari" lungo i quali avviene il movimento, in alcuni casi identificandole con le traiettorie. Questa idea, ben nota in letteratura (identificazione delle traiettorie con le linee di campo), in questa fase forse è stata indotta dalla figura in cui erano disegnate le linee di campo, inoltre a livello della scuola primaria non sono stati forniti gli strumenti per distinguere la direzione di partenza dalla linea di campo, cosa che avverrà nella sequenza della scuola secondaria (capitolo 8).

Risultati in dettaglio

SCHEDA 6

Dei 22 bambini presenti 16 hanno evidenziato un ragionamento in termini di poli, rispetto alle tre situazioni proposte (figura 17) si ha un totale di 42 casi su 66 (22x3 = 66 risposte complessive). Si riscontrano (tabella 9) però due tipi di ragionamenti in termini di poli: 1) i poli come **punto di arrivo e/o direzione del movimento** (e/o rotazione) (24 dei 42) del magnetino esploratore del campo, ossia un ragionamento di tipo **"finalista"** ("*ragionamento del + e del –*": il polo visto come punto d'arrivo, ossia "il polo positivo va verso il negativo": *si sposta e va a finire nel polo rosso", "il magnetino si sposta verso il lato rosso del magnete", "il magnetino ruota e si sposta dalla parte grigia del magnete potente", "si avvicina al magnete e si attacca dalla parte rossa*"); 2) come **causa della rotazione e/o movimento** (18 dei 42): *"se il polo rosso lo metti vicino all'altro polo rosso si gira", "polo sud con polo sud non si attacca allora si gira e si attacca", "viene respinto e si attacca, il verde respinge il verde e si attacca al magnete rosso".*

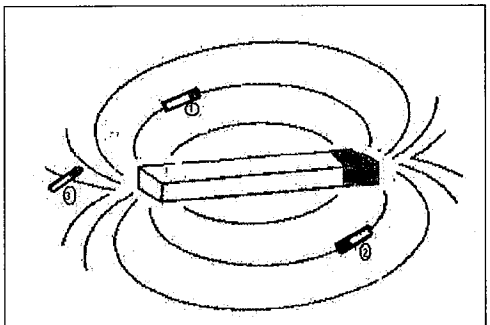


Figura 17: le tre situazioni proposte (magnete 1, 2 e 3) nella scheda 6.

Un terzo tipo di ragionamento è quello che corrisponde a una visione globale del magnete (22/66), senza considerarne i poli[42]: "*il magnetino ruota si sposta e poi si attacca", "si sposta perché viene attirato dal magnete", "ruota dalla parte opposta, perché il magnetino venga attirato deve ruotare così si può attrarre", "il magnetino si dirige verso il magnete e si attacca*". Nella tabella .... sono evidenziati i tipi di ragionamento per ogni situazione proposta.

[42] In alcuni casi vengono menzionati i poli, ma l'analisi è sempre in termini di visione globale del magnete: "*il magnetino si attacca al magnete grande perché i poli sono diversi*"

	Magnete 1	Magnete 2	Magnete 3	Totale
Ragionamento in termini di poli come punto di arrivo	8	8	8	24
Ragionamento in termini di poli come causa del movimento (rotazione/traslazione)	7	6	3	16
Visione globale del magnete (no poli)	6	7	9	22
altro	1	1	2	4
Totale	22	22	22	66

Tabella 9: I tipi di ragionamento dei bambini nelle 3 situazioni proposte.

La sequenzialità della rotazione e dell'attrazione:

Rispetto alla cronologia e gerarchia dei due aspetti rotazione e attrazione si osservano (si veda tabella 10) due tipi di ragionamenti: a) prima avviene la rotazione, in seguito lo spostamento (27 casi[43]: *"il magnetino ruota si sposta e poi si attacca", "si ruota e si sposta indietro e dopo può attaccarsi", "il magnetino ruota e si sposta con il polo verde va ad attaccarsi con il polo rosso"*, b) prima avviene lo spostamento e poi la rotazione (4 casi: *"andando da un polo all'altro e quando il polo rosso arriva al magnete dalla parte rossa si gira", "si sposta e quando è vicino si gira, perché i due poli sono uguali allora lui si gira e si attacca"*). Il primo schema di ragionamento risulta il più frequente, in alcuni casi (3) i bambini esplicitano il fatto che la rotazione precede l'attrazione, mentre in altri casi emerge il ben noto modello interpretativo "gira per attaccarsi", dove la rotazione è funzionale all'attrazione (*"si ruota perché deve riuscire ad attaccarsi", "perché venga attratto il magnetino deve ruotare per mettersi nell'altro polo", "ruota dalla parte opposta, perché il magnetino venga attirato deve ruotare così si può attrarre", "ruota e si sposta verso il polo opposto del magnetone, perché deve andare ad attaccarsi al magnetone"*).

Sequenzialità rotazione traslazione	**Magnete 1**	**Magnete 2**	**Magnete 3**	**Totale**
a) "gira e si attacca"	6	2	6	**14**
a1) prima gira poi si attacca	2	1	-	**3**
a2) "gira per attaccarsi" rotazione funzionale all'attrazione	4	1	5	**10**
b) prima trasla e poi ruota	3	1	-	**4**
c) solo trasla	2	13	10	**25**
d) solo ruota	-	2	-	**2**

Tabella 10 : L'analisi delle risposte dei bambini nelle 3 situazioni rispetto alla sequenzialità dell'attrazione e della rotazione.

Rispetto alla sequenzialità della rotazione e della traslazione c'è da osservare che a livello percettivo sembra che la rotazione preceda la traslazione, inoltre non è stata realizzata nessuna attività specifica mirata al riconoscimento della contemporaneità dei due movimenti.

L'attrazione sembra così predominante da non riconoscere il ruolo delle linee di campo, infatti nel magnete 3, visibilmente non disposto lungo le linee di

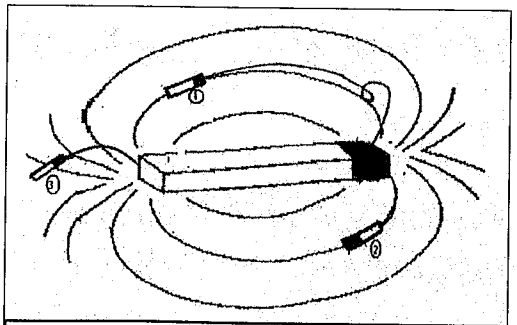


Figura 18: sequenzialità attrazione - orientazione, il bambino commenta il suo disegno: *"il magnetino va avanti fino a un certo punto, poi si gira e si attacca"*.

[43] Somma delle categorie a, a1 e a2 nella tabella 10.

campo, ben 10 ragazzi su 23 prevedono come unico movimento la traslazione, e non la rotazione (non riconoscendo quindi il ruolo di linee di campo come linee di orientazione). Questi stessi ragazzi (i 13) negli altri casi (magnete 1 o magnete 3) prevedono anche la rotazione, quindi la condizione iniziale sembra determinante, ossia la situazione locale (vicino, lontano) determina gli esiti della previsione dei bambini. Sembra emergere quindi l'idea che il magnetino vicino solo si sposta, lontano anche ruota, ossia che vicino predomina l'attrazione. Si potrebbe dunque affermare che per una buona parte dei bambini (la metà) il modello delle linee di campo non sia considerato vicino ai poli, dove viene considerato dominante l'attrazione, ossia il comportamento degli esploratori del campo è legato alla posizione in cui si trovano (al locale).

D'altro canto però abbiamo già osservato che spesso nei bambini emerge la necessità di vedere i due effetti (attrazione e rotazione) come sequenziali, e anche se nella maggior parte dei casi emerge l'idea che la rotazione preceda l'attrazione, in alcuni casi (anche se rari) viene esplicitata l'idea opposta, ossia che prima vi sia una traslazione e poi una rotazione, come ben evidenziato sia dal disegno che dalle spiegazioni dell'esempio illustrato in figura 18. In questo caso la rotazione avviene nella prossimità del polo, quindi viene a cadere (almeno per questo esempio) l'ipotesi che vicino ci sia solo l'effetto attrattivo e lontano anche la rotazione.

Possiamo solo affermare dunque che globalmente predomina l'effetto attrattivo, come verrà riscontrato anche nella scuola secondaria.

A volte risulta problematico non tanto il riconoscimento della rotazione e dello spostamento, ma piuttosto l'individuazione del verso dello spostamento. Infatti alcuni (2) bambini non tengono in conto il fattore della distanza dai due poli e quindi prevedono per la situazione 1 due possibilità di spostamento: verso i due poli (si veda figura 19).

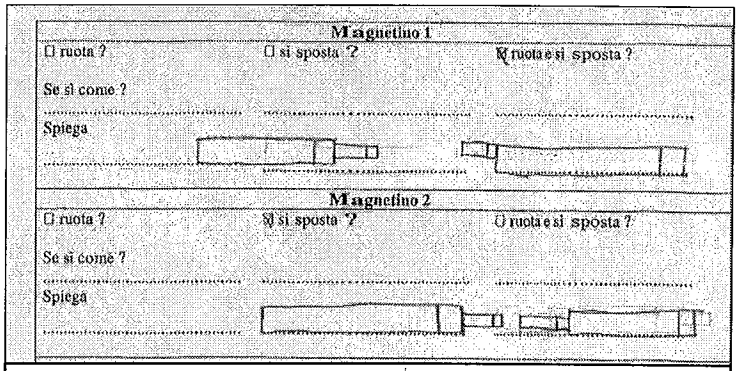


Figura 19: una bambina prevede due possibilità per entrambi i magnetini 1 e 2, su esplicita richiesta di spiegazioni ha affermato che "il magnetino può andare seguendo le linee o verso un polo o verso l'altro" (non viene quindi considerato il fattore distanza).

Le linee di campo viste come linee "piste" del movimento

Diversi bambini (6/20) utilizzano le linee di campo come "binari" lungo i quali avviene il movimento, in alcuni casi identificandole con le traiettorie (Figura 20). C'è anche chi invece considera che il movimento dei magnetini non è lungo le linee di campo (figura 21).

E' doveroso però osservare che la situazione proposta con le linee di campo disegnate inducono i bambini a considerarle come piste di movimento, inoltre a livello della scuola primaria non è stato

trattato il nodo della distinzione tra la linea di partenza e le linee di campo, cosa che verrà fatto nella scuola secondaria (capitolo 8).

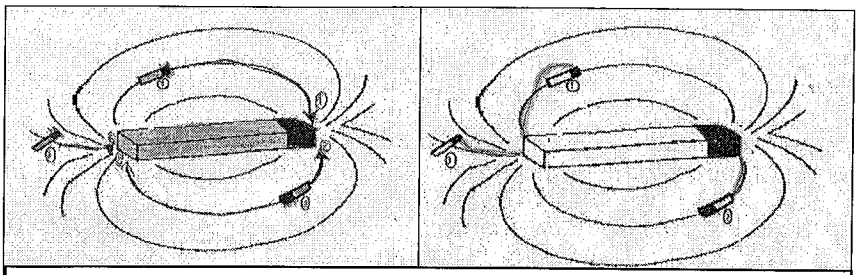


Figura 20: modello delle linee "piste" del movimento, 6/20 bambini prevedono il movimento dei tre magneti (o di due) lungo le linee di campo.

Anche nei testi scritti sulla distinzione tra orientazione e attrazione una bambina ha esplicitato l'idea dell'orientazione come strada che fa il magnete: *"L'attrazione è quando "nel caso del magnete " un magnete viene attirato dall'altro magnete. L'orientazione invece è la direzione, il percorso che fa il magnete. La differenza tra attrazione e orientazione è che l'orientazione è la strada che fa il magnete".*

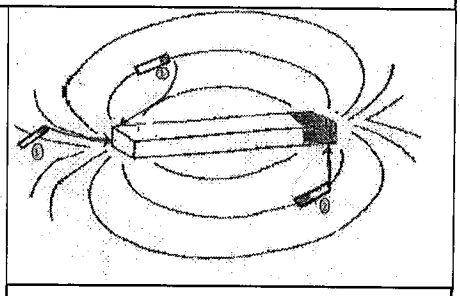


Figura 21: secondo altri bambini invece le traiettorie non coincidono con le linee di campo.

7.4.3 Rispetto all'ipotesi di ricerca C'.

C) *Riguardo al "mapping" delle linee di campo:*

- ***è accessibile ai bambini della scuola primaria (4° anno)(C'1)***
- ***i bambini sono in grado di associare le linee di campo magnetico a linee di orientazione (C'2)***

Risultati

Come già accennato nel paragrafo precedente la scheda 5 risulta cruciale per la conferma delle ipotesi C'1 e C'2, i quanto dimostra che i bambini sono in grado non solo di riprodurre la configurazione delle linee di campo, ma anche di riconoscerle come linee di orientazione. Quindi già al livello della scuola primaria è acquisito il riconoscimento e la familiarizzazione con la distribuzione delle linee come linee di orientazione.

Infatti il costruire le linee di campo punto a punto con un esploratore opportuno (la bussola) permette, in seguito, nella compilazione della scheda 5, alla metà dei bambini (9/20) di riprodurre correttamente la disposizione degli aghi di diverse bussole disposte intorno a un magnete. Inoltre dei 9 che hanno disegnato correttamente la disposizione degli aghi, uno disegna spontaneamente le linee di campo, identificandole in modo esplicito come linee di orientazione di una bussola; mentre 7 segnano correttamente anche il verso dell'ago di tutte le bussole, dimostrando di aver identificato correttamente i poli.

Se consideriamo i dati della ricerca svolta a Parigi (capitolo 6), seppure le due classi non possono essere considerate confrontabili, in quanto le età non coincidevano per tutti i gruppi considerati[44] e le condizioni di insegnamento e di ricerca erano diverse[45], si ottengono dei risultati simili nei due casi (le percentuali fornite nella tabella 11 sono date solo per la comodità del lettore, ma non hanno nessuna valenza statistica nel confronto dei due casi).

Nonostante ciò osserviamo che la scheda 5 presentava il problema in condizioni più difficile di quanto fosse stato presentato nella ricerca svolta a Parigi: infatti richiedeva di prevedere la disposizione (orientazione) degli aghi di diverse bussole introno al magnete ma non forniva nessun suggerimento riguardo alle linee di campo; nella ricerca precedente veniva richiesto di interpolare in base all'orientazione di diversi aghi ferromagnetici disposti intorno al magnete, la cui disposizione era esplicitamente disegnata nel foglio consegnato ai bambini (si veda figura 22).

---

[44] La ricerca di Parigi è stata effettuata con due classi, una di 4° (9-10) anni e una di quinta (10-11) elementare, mentre a Udine hanno partecipano due classi di 4° (9-10 anni).

[45] Nel caso di Parigi era una sequenza di insegnamento-apprendimento guidata della durata di 45-50 minuti e realizzata con gruppi di due bambini; mentre a Udine è stata realizzata una sequenza in classe di 16 ore che riprendeva e ampliava i passi essenziali della prima ricerca.

Questo sembra indicare la capacità dei bambini di superare l'ostacolo precedentemente individuato dell'"attrazione globale" verso il magnete.

Infine anche alcuni testi scritti dei bambini confermano il riconoscimento delle linee di campo magnetico come linee di orientazione.

Risultati in dettaglio

SCHEDA 5: 20 bambini presenti

Nella realizzazione della scheda 5, che chiedeva di prevedere la disposizione degli aghi di diverse bussole disposte tutto intorno a un magnete, ben 9/20 bambini disegnano correttamente la disposizione degli aghi, mentre 8/20, evidenziano l'ostacolo "attrazione globale" verso il magnete, ossia prevedono che tutti gli aghi delle bussole siano diretti verso il magnete. Inoltre dei 9 che hanno disegnato correttamente la disposizione degli aghi, uno disegna spontaneamente le linee di campo, identificandole in modo esplicito come linee di orientazione di una bussola (figura 22); mentre 7 segnano correttamente anche il verso dell'ago di tutte le bussole, dimostrando di aver identificato correttamente i poli[46].

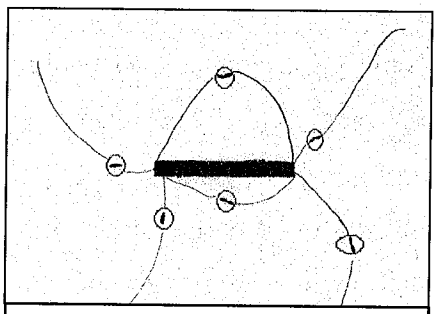


Figura 22: Un bambino (categoria A) disegna spontaneamente le linee di campo per giustificare l'orientazione degli aghi delle bussole tutt'intorno al magnete.

Nella tabella 11 sono presentati i risultati della scheda 5 con i risultati dell'interpolazione nella precedente ricerca svolta a Parigi[47] (capitolo 6), le percentuali sono fornite solo per la comodità del lettore, ma non hanno nessuna valenza statistica nel confronto dei due casi.

Seppure, come già accennato nelle pagine precedenti, le due classi non possono essere considerate confrontabili, si ottengono dei risultati simili nei due casi, nonostante il fatto che la scheda 5 presentava il problema in condizioni più difficili di quanto fosse stato presentato

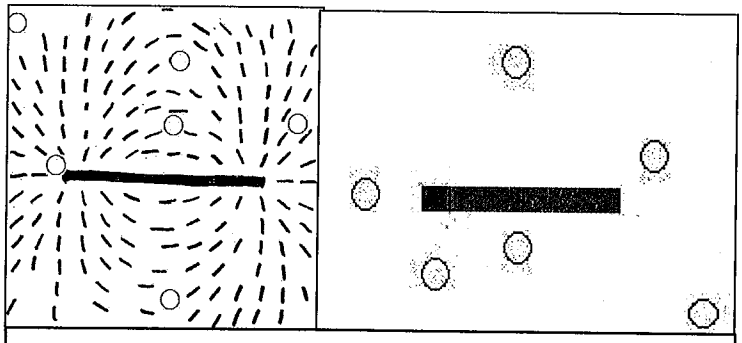


Figura 23: Ai bambini in entrambe le ricerche veniva richiesto di prevedere la disposizione degli aghi di diverse bussole disposte nei cerchietti indicati in figura, ma nella ricerca in Francia (figura a sinistra), l'interpolazione veniva richiesta fornendo la disposizione degli aghetti ferromagnetici che i bambini avevano visto precedentemente (le linee tratteggiate suggeriscono la forma delle linee di campo).
Nella ricerca svolta in Italia (figura a destra) veniva solo disegnato il magnete.

[46] Altri due bambini invertono i poli, però il verso di tutti gli aghi è coerente per tutti, quindi globalmente 9/20 sono coerenti nel segnare anche il verso degli aghi, mentre i restanti 11 segnano in modo misto le direzioni delle bussole.

[47] Anche se il numero dei bambini è piccolo per entrambe le ricerche e non giustifica un'analisi in percentuali, si è voluto fornire anche i dati in percentuale solo per poter effettuare un confronto più agevole tra le due ricerche, essendo il numero totale di bambini diverso nei due gruppi.

nella ricerca svolta a Parigi. Infatti si richiedeva di prevedere la disposizione (orientazione) degli aghi di diverse bussole intorno al magnete, ma non si forniva nessun suggerimento riguardo alle linee di campo; nella ricerca precedente invece veniva richiesto di interpolare in base all'orientazione di diversi aghi ferromagnetici disposti introno al magnete, la cui disposizione era esplicitamente disegnata nel foglio consegnato ai bambini (si veda figura 23).

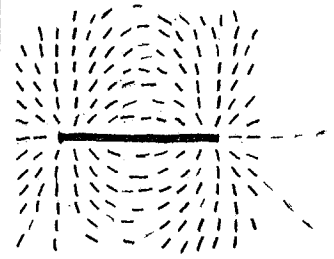
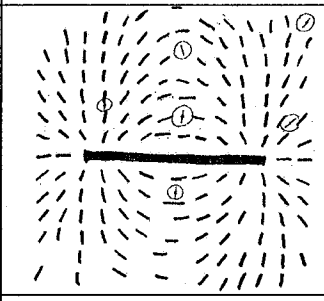
Udine (20 bambini)			**Parigi** (33 bambini)
n° di bambini (percentuale)	categoria	n° di bambini (percentuale)	
9 (45%)	corretta	11 (33%)	
8 (40%)	ostacolo attrazione (tutto rivolto verso il magnete)	22 (67%)	
3 (15%)	tutte parallele al magnete	-	

Tabella 11: i risultati[48] delle due ricerche riguardo la capacità di richiamare la forma delle linee di campo magnetico.

I risultati, probabilmente dovuti al tempo maggiore[49] dedicato a tutta questa prima parte (distinzione attrazione-orientazione), sembrano confermare le nostre aspettative, nel senso l'ostacolo dell'attrazione globale o centrale risulta meno determinante e sembra che sia la distinzione tra attrazione e orientazione, sia la rappresentazione delle linee di campo sono concetti accessibili al livello della scuola primaria.

Infatti nonostante la presentazione del problema fosse in termini più complessi non soltanto c'è un numero simile di risposte corrette, ma alcuni spontaneamente disegnano le linee di campo nel disporre gli aghi delle bussole (si veda l'esempio illustro in figura 21 dove il bambino disegna le linee di campo per giustificare l'orientazione degli aghi di diverse bussole tutto intorno al magnete).

[48] Come già sottolineato le percentuali fornite in questa tabella non hanno nessuna valenza statistica, ma sono dati solo per la comodità del lettore, infatti essendo i numeri dei campioni molto bassi, la differenza tra le due ricerche non è significativa dal punto di vista statistico.

[49] nella ricerca di Parigi l'intervista completa durava 45 minuti, mentre la sequenza intera è durata 16 ore e la prima parte sulla distinzione attrazione – orientazione è stata aggiunta nella sequenza svolta a Udine proprio in base ai risultati della precedente ricerca.

Inoltre riguardo al riconoscimento della bussola come magnete e come rilevatore di campo, dopo aver disegnato in gruppo le linee di campo, sembra che questa abbia perso la funzione di indicatore del nord terrestre, assumendo quella di render conto dell'azione di una magnete nello spazio circostante.

Nei testi scritti dei bambini:

Nei commenti scritti dei bambini sull'attrazione e l'orientazione in alcuni casi le linee di campo vengono identificate esplicitamente come linee di orientazione delle bussole, a conferma dell'acquisizione di tale concetto:

> *Oggi invece abbiamo fatto un esperimento sull'attrazione. Abbiamo messo degli spilli sull'acqua; bisogna appoggiarli piano altrimenti affondavano. Sotto la vaschetta c'era un foglio con disegnate le linee di direzione per vedere quando mettevamo il magnete nell'acqua se gli spilli si mettevano allo stesso modo delle linee. Gli spilli si sono attaccati intorno al magnete specialmente sui due lati anche se non si disponevano affatto come il disegno sottostante. L'attrazione è la forza con cui il magnete attira a sé alcuni oggetti metallici . L'orientazione è la direzione con cui alcuni oggetti vengono attirati dal magnete. Nel caso delle bussole la direzione è come si orientano le bussole.*

In altri casi invece alcuni bambini mettono spontaneamente in evidenza il carattere **chiuso** delle linee:

> *Sabato abbiamo fatto degli esperimenti sull'orientazione e l'attrazione. Dopo aver disposto un grande magnete su un cartellone abbiamo segnato gli aghi delle bussole. Alcune linee di orientazione partivano da una estremità del magnete e finivano dall'altra parte. Altre partivano anch'esse da una estremità del magnete però se noi le continuavamo dovevamo fare le linee anche sul pavimento. Abbiamo osservato che la maggior parte delle righe, anche se uscivano dal foglio, alla fine si incontravano all'altra estremità del grande magnete.*

➢ ***<u>la rappresentazione delle linee di campo magnetico è trasferibile anche al caso gravitazionale</u> (C3).***

Risultati

Le linee di campo gravitazionale sono state introdotte, in analogia al caso magnetico, come linee di orientazione di opportuni, esploratori, che in questo caso risultano essere degli pseudodipoli (pendoli, freccette (si veda figura 24) con una piccola massa a un'estremità).

A livello della scuola primaria ci siamo inizialmente focalizzati sul riconoscimento dell'interazione (magnetica e gravitazionale); le linee di campo vengono quindi riconosciute come indicatori dell'interazione tra la sorgente e l'esploratore. Secondo noi, questo risulta un passo preliminare per poter introdurre una visione globale dell'azione della Terra e del magnete (identificandoli come sorgenti del campo) e il riconoscimento che tutto intorno al magnete o alla Terra c'è una proprietà che può essere riconosciuta attraverso l'interazione con degli opportuni esploratori (che nei due casi assumeranno un'orientazione precisa).

Al livello della scuola secondaria (capitolo 8) nell'introduzione del campo e della rappresentazione attraverso le linee di campo il ruolo dell'esploratore (la bussola) risulta differente in quanto aiuta a capire come si orienta il campo in ogni punto dello spazio circostante.

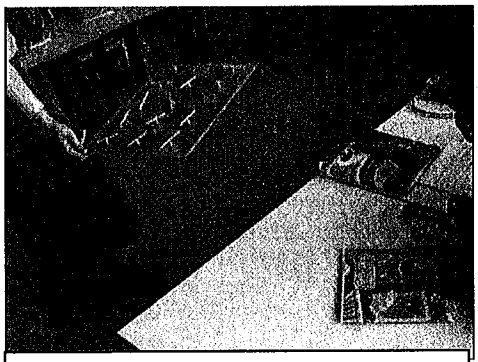


Figura 24: il telaio con le freccette (gli "pseudodipoli" gravitazionali).

Nella rappresentazione della Terra e delle linee di campo gravitazionale si riscontrano globalmente gli stessi risultati rispetto alle precedenti ricerche[50] (capitolo 6) nella disposizione dei rilevatori di campo, il che dimostra che l'idea di *"mapping"* del campo è trasferibile anche al caso gravitazionale. Da entrambe le ricerche emerge però il fatto che sembra che per i bambini l'uso dei pendoli come rilevatori statici del campo (in specifico rilevatori dell'orientazione) non risulti così naturale come si era ipotizzato nella costruzione della sequenza. Infatti alcuni bambini dispongono i pendoli in tondo oppure verso il basso, mentre disegnano correttamente la disposizione delle frecce o delle cordicelle dei palloni. Questo pone quindi la domanda, da approfondire in ulteriori ricerche, sui pendoli come naturali indicatori dell'attrazione gravitazionale per tutti i bambini, in quanto in alcuni casi (2) anche se isolati sembra che questi non lo siano. Osserviamo comunque che i pendoli, rispetto ai palloni, come "pseudodipoli" sono più direttamente legati all'attrazione gravitazionale, in quanto per i palloni interferisce anche la pressione dell'aria, quindi risultano degli "pseudodipoli" più complessi.

[50] Riguardo al confronto tra le due ricerche vale quanto affermato precedentemente (dal punto di vista statistico non sono confrontabili).

Risultati in dettaglio

I bambini erano chiamati a fare tre disegni: nel primo tutti prevedono correttamente la disposizione delle freccette, una volta disposto verticalmente il cartone; nel secondo disegno (tabella 12), in cui si ha il passaggio dal locale al globale, 16 bambini su 22 disegnano correttamente i pendoli e le frecce verso il centro della Terra, in 3 casi tutti gli esploratori sono disposti verso il basso, mentre in 4 casi la disposizione delle frecce è corretta però i pendoli o sono verso il basso o sono disposti in tondo, infine in un solo caso emerge la *perspective vue*. Nel terzo disegno, invece, in cui si richiede un'astrazione ai bambini (si chiede di disegnare solo la Terra e le direzioni di orientazione dei pendoli e delle freccette, senza però disegnare i pendoli), 20 su 24 disegnano correttamente le frecce verso il centro della Terra, mentre in soli 3 casi le frecce sono rivolte verso il basso del foglio (un bambino non fa il disegno).

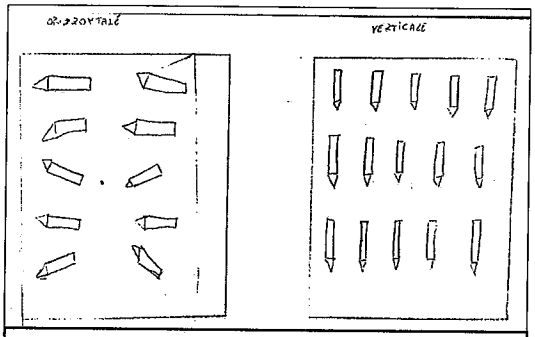


Figura 25: esempio del 1° disegno, tutti i bambini prevedono la disposizione delle freccette verso il basso se il telaio viene posto verticalmente.

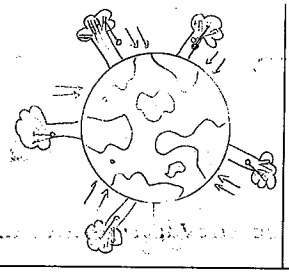
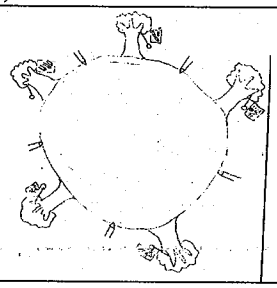
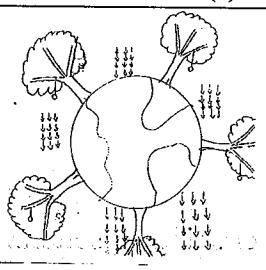
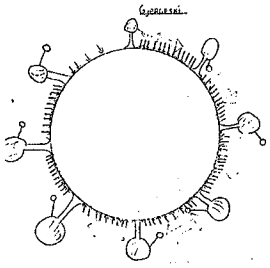
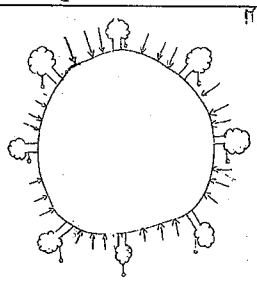
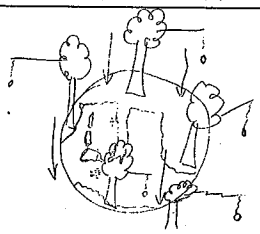
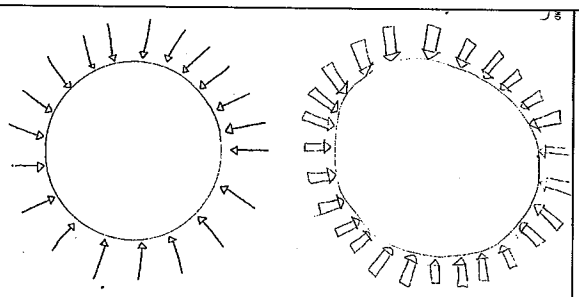
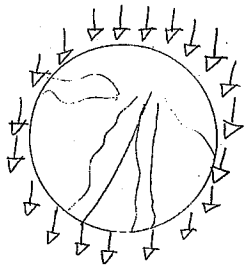
2° disegno (24 bambini)		
A corretta (16)		tutto verso il basso (3)
		
B2 Misto (pendoli in tondo) (2)	B1 Misto (pendoli verso il basso)(2)	Perspective vue (1)
		
3° disegno: dal locale al globale		
A 20		B 3
		

Tabella 12: I disegni dei bambini rispetto alla direzione delle linee di campo gravitazionale

Confronto con la ricerca di Parigi:

Mentre nella ricerca di Parigi sono stati utilizzati i pendoli e le cordicelle dei palloni come rilevatori statici del campo gravitazionale terrestre, in questa successiva attività a Udine sono stati utilizzati i pendoli e delle frecce (prima materializzate come frecce vere con possibilità di ruotare, vedi telaio con masse appese nella figura 23, poi formalizzate come indicatori della direzione dell'attrazione gravitazionale) tutto intorno alla Terra.

Nella rappresentazione della Terra e delle linee di campo gravitazionale si riscontrano globalmente gli stessi numeri di bambini[51] (si veda tabella 13) che dispongono correttamente i rilevatori di campo rispetto alla ricerca svolta a Parigi (capitolo 6). Anche nelle risposte non completamente corrette si riscontrano degli elementi comuni come la disposizione in tondo dei pendoli piuttosto che degli altri rilevatori di campo (palloni per Parigi, le frecce per Udine). Infatti diversi bambini interpretano i pendoli in termini dinamici, disponendoli in tondo (2 su 24 a Udine, 5 su 33 a Parigi) oppure verso il basso (2 a Udine), mentre disegnano correttamente la disposizione delle frecce o delle cordicelle dei palloni (vedi figure n°26 e 27).

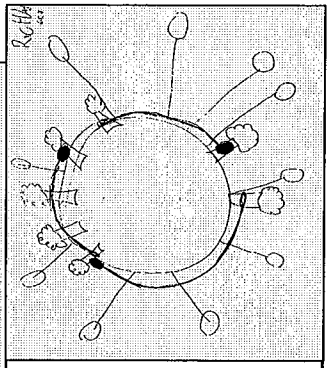


Figura 26: Paris (Francia) pendoli in tondo e cordicelle dei palloni correttamente dirette verso il centro della Terra

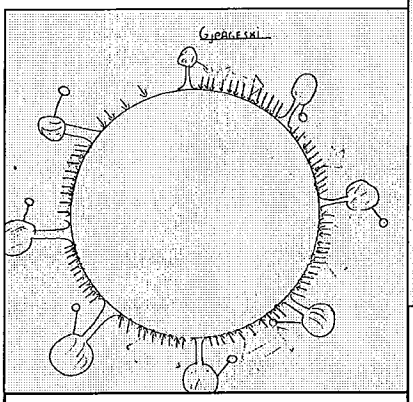
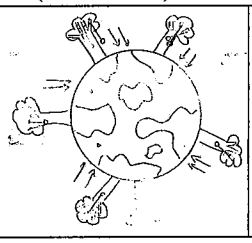
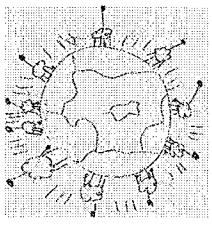
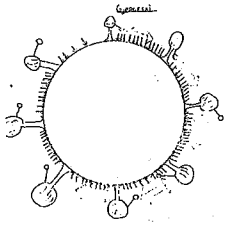
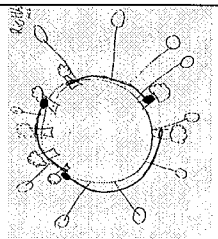


Figura 27: Udine (Italia) pendoli in tondo e frecce correttamente dirette verso il centro della Terra

Questo ci spinge a sottolineare alcuni dubbi sull'uso dei pendoli come rilevatori statici di campo, ponendo la domanda se per i bambini essi non siano dei naturali indicatori dell'attrazione gravitazionale.

Udine (24 bambini)				**Paris** (33 bambini)
n° di bambini (percentuale)	categoria		n° di bambini (percentuale)	
16 (67%)	corretta		24 (73 %)	
2 (8%)	Mista (pendoli in tondo)		5 (15 %)	

[51] [51] Riguardo al confronto tra le due ricerche vale quanto affermato precedentemente

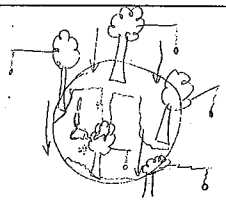
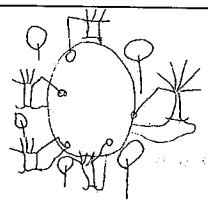
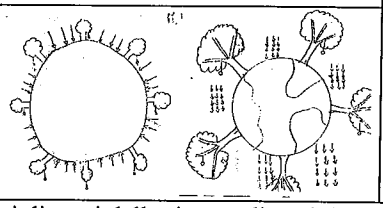
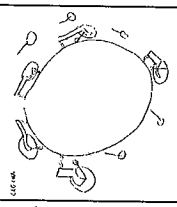
1 (4%)	Perspective vue		3 (9 %)	
5 (21%)	altro (pendoli verso il basso o tutto verso il basso)		1 (3 %)	

Tabella 13 : confronto tra i disegni della ricerca di Parigi e di Udine (i dati in percentuale non hanno valenza statistica, ma sono presentati solo per dare un'indicazione al lettore).

- ***La rappresentazione delle linee di campo può facilitare i bambini ad associare la "forma" delle linee di campo con la rispettiva sorgente del campo (la Terra e il magnete) (C4)***
- ***ed è utilizzabile dai bambini per differenziare i due tipi di campo, nonostante in entrambi i casi è osservabile un'interazione attrattiva (C5)***

Dai risultati della sequenza nella scuola primaria è emerso che i bambini sono in grado si relazionare la sorgente dei campi (la Terra o il magnete) con la forma della rappresentazione delle linee di campo. Sono anche in grado di differenziare la forma della configurazione delle linee di campo nei due casi, riconoscendone le diverse caratteristiche (linee chiuse e curve nel caso magnetico, come abbiamo visto in alcuni testi scritti dai bambini).

Pur tuttavia a questo livello scolare per i bambini risulta problematico utilizzare la stessa rappresentazione delle linee di campo per differenziare i tipi di campi (risultando l'attrazione l'effetto predominante in entrambi i casi).

Pur non essendo un obiettivo della sequenza, per i bambini sembra peraltro oltremodo difficile associare i due campi in un unico concetto o visione, anche perchè probabilmente in un caso è possibile muovere la sorgente (il magnete), mentre nell'altro no (la Terra).

7.4.4 Modelli e schemi di ragionamento emersi nella ricerca.

L'obiettivo della sequenza dal punto di vista degli schemi di ragionamento è quello di passare da una visione globale del magnete a un modello in termini di poli.

Dall'analisi dei dati emergono diversi schemi di ragionamento (che ritroveremo anche nella scuola secondaria) quali: le linee di campo come "piste di movimento", la sequenzialità della rotazione e dell'attrazione, l'acqua come supporto del movimento.

Rispetto al concetto di campo il magnete viene riconosciuto come sorgente che produce un "effetto" nello spazio circostante, anche se non è ancora riconosciuta come proprietà dei punti e in generale l'azione del magnete è concepita in un'area limitata, richiamando la ben nota concezione del magnetismo a "nuvola" (Borges & Gilbert (1998)), *"Si, in più la forza del magnete arriva fin qua (indica il bordo della vaschetta)"*. In altri casi emerge l'idea che "senza effetto non c'è campo" (ben nota in letteratura, Viennot & Rainson (1992), (1999)), come in questo esempio riguardo al campo gravitazionale: *"Oggi con la maestra Bruna e Francesca abbiamo fatto l'esperimento scientifico della gravità. La maestra Bruna ha costruito un oggetto con sopra delle freccette fatte di plastica e di pongo. Francesca ha messo il cartone con le freccette in orizzontale e le freccette andavano in tutte le direzioni* ***perché non c'era la forza di gravità.*** *Francesca poi ha messo il cartone con le freccette in verticale e si sono messe tutte con la punta rivolta verso il basso* ***perché c'era la forza di gravità".***

Vediamo ora gli schemi di ragionamento:

Il ragionamento in termini di poli

Il ragionamento in termini di poli viene spontaneamente espresso in alcuni casi nella prima scheda, ma emerge in modo evidente nelle interviste a piccolo gruppo sull'interazione tra due magneti e nelle schede 2, 3 e 6. I poli vengono intesi o come punto di arrivo e/o direzione del movimento e/o rotazione, ossia un ragionamento di tipo "finalista" (*"si sposta e va a finire nel polo rosso", "il magnetino ruota e si sposta dalla parte grigia del magnete potente"*), oppure come causa della rotazione e/o movimento (*"polo sud con polo sud non si attacca allora si gira e si attacca", "viene respinto e si attacca, il verde respinge il verde e si attacca al magnete rosso").*

La sequenzialità dell'attrazione e della rotazione

In diverse fasi della sequenza (interviste, schede 2, 3, 6) seppur i bambini riconoscano i due effetti dell'interazione magnetica, li considerano uno sequenziale (Menigaux (1991)) all'altro (solo in un caso nelle interviste i due effetti sono riconosciuti come contemporanei), nella maggior parte dei casi è la rotazione a precedere la traslazione. A volte la rotazione è vista come funzionale alla traslazione, evidenziando un modello interpretativo che sarà presente in tutta la sequenza e anche in quella alla scuola secondaria superiore (capitolo 8): il modello "gira per attaccarsi", che mette in

risalto la predominanza dell'effetto attrattivo ("*L'altro magnete si è girato e si è attaccato perchè dall'altra parte non riusciva ad attaccarsi*", *"Si è girato perché ha sentito l'attrazione*", *"gira per attaccarsi*", *"perché venga attratto il magnetino deve ruotare per mettersi nell'altro polo"*).

Le linee di campo come "piste" del movimento

In alcuni casi emerge l'idea delle linee di campo come linee "piste" del movimento, ossia come "binari" lungo i quali avviene il movimento, in alcuni casi identificandole con le traiettorie. Questa idea, ben nota in letteratura (identificazione delle traiettorie con le linee di campo), in questa fase forse è stata indotta dalla figura in cui erano disegnate le linee di campo, inoltre a livello della scuola primaria non sono stati forniti gli strumenti per distinguere la direzione di partenza dalla linea di campo, cosa che avverrà nella sequenza della scuola secondaria (capitolo 8).

Quest'idea dell'orientazione come strada che fa il magnete emerge anche in alcuni commenti "sintomatici" ("*il magnetino si attacca dalle due parti*", *"il magnetino può andare da un lato all'altro*") e in una fase successiva dove è stato chiesto ai bambini di spiegare a parole e con dei disegni la differenza tra orientazione e attrazione: *"L'attrazione è quando "nel caso del magnete " un magnete viene attirato dall'altro magnete. L'orientazione invece è la direzione, il percorso che fa il magnete. La differenza tra attrazione e orientazione è che l'orientazione è la strada che fa il magnete"*.

Idea di SUPPORTO: l'acqua come supporto e causa principale del movimento

Sia nelle discussioni a piccolo gruppo sull'esperimento dei due magneti sull'acqua che nella scheda 4 emerge in alcuni casi l'idea dell'acqua come supporto e causa principale del movimento; infatti pur essendo le risposte corrette nella fenomenologia, nel ragionamento causale la rotazione è attribuita al magnete, mentre il movimento è attribuito all'acqua; questi bambini non riescono ad individuare nell'acqua il solo effetto di diminuzione dell'attrito osservato rispetto alla situazione della bussola posta sul tavolo (*"L'acqua sposta la bussola e l'ago viene attirato dal magnete. L'acqua fa spostare il polistirolo con la bussola, il magnete attira l'ago della bussola e lo fa spostare", "L'ago quando ruota la bussola si sposta. L'acqua quando si muove la bussola gira da dove muove l'acqua",*).

7.5 Conclusioni.

Rispetto alla prima ipotesi di ricerca (riconoscimento e distinzione dei due effetti dell'interazione magnetica, ossia l'attrazione globale e l'orientazione) inizialmente nella prima scheda di esplorazione dei fenomeni magnetici in nessun caso viene spontaneamente evidenziata la rotazione, cosa che avverrà invece nelle fasi successive: le discussioni a piccolo gruppo sull'interazione tra un magnete e un altro posto sul tavolo[52], e in seguito anche nelle schede 2-3. L'uso della bussola nelle interviste a piccolo gruppo, secondo le nostre aspettative, avrebbe dovuto favorire il riconoscimento della rotazione come uno degli effetti dell'interazione magnetica. Dall'analisi delle interviste a piccolo gruppo emerge che questo avviene, però la rotazione viene generalmente intesa come azione globale d'attrazione del magnete sulla bussola e non dovuta alla bipolarità (*"l'ago ruota perché è attratto dal magnete"*), ossia non vi è la ricerca di una sua giustificazione in termini di poli.

Rispetto all'ipotesi A' possiamo comunque affermare che in base agli specifici esperimenti presentati nella sequenza, alle schede e ai disegni dei bambini, i bambini dimostrano di riconoscere e distinguere i due effetti dell'interazione magnetica: l'attrazione globale e la rotazione.

Anche se globalmente tutti identificano la rotazione e la distinguono dall'attrazione emerge però il problema della sequenzialità dei due effetti di un campo magnetico su un opportuno esploratore, infatti la maggior parte dei ragazzi considera la rotazione come il primo effetto che precede l'attrazione. La sequenzialità della rotazione e dell'attrazione è ben nota in letteratura (Menigaux (1991), Viennot (1996)), dalla nostra ricerca emerge che essa può sfociare in una sequenzialità funzionale della rotazione rispetto all'attrazione (evidenziato nello schema di ragionamento "gira per attaccarsi").

Rispetto all'ipotesi A'1 (il riconoscimento della bipolarità) la bipolarità, inizialmente poco evidenziata nella prima scheda, viene riconosciuta nell'interazione tra due magneti (interviste a piccolo gruppo), mentre viene invece sembra venga dimenticata nell'introduzione della bussola sul tavolo (interviste a piccolo gruppo) e nella scheda 4 (la bussola sull'acqua) in cui prevale una visione globale del magnete nella giustificazione della rotazione[53]. Nella schede 2-3-6 essa viene invece recuperata quando si considera l'interazione tra due magneti (siano essi in acqua o sospesi in aria): i bambini dimostrano globalmente di riconoscere i due effetti dell'interazione magnetica e di

[52] Nelle interviste la rotazione è riconosciuta facilmente dai bambini, il magnete però non sempre è inteso come bipolare, ma piuttosto come monopolo dove una sola parte è attiva.

[53] In diverse interviste di questa prima parte (sia la bussola sul tavolo e il magnete, sia i due magnetini sull'acqua) emerge inoltre il modello del Nord come polo d'attrazione per tutti i magneti, e in particolare le bussole.

interpretare la fenomenologia in termini di modelli dei poli, o almeno di parti "rosse e blu" (ipotesi B').

La bipolarità viene riconosciuta anche nel caso dell'interazione bussola- magnete nella scheda 5, nel momento in cui essa è funzionale all'interazione tra due elementi: in questo caso la bussola non è vista più come indicatore del nord terrestre, ma come rivelatore dell'azione di un magnete nello spazio circostante in termini di orientazione degli aghi.

Riguardo all'approccio del "*mapping*" delle linee di campo (ipotesi C', C'1) già al livello della scuola primaria è acquisito il riconoscimento e la familiarizzazione con la distribuzione delle linee di campo intese come linee di orientazione, la "*mappatura*" del campo risulta quindi accessibile a questo livello scolare.

La scheda 5 risulta cruciale in questo senso in quanto dimostra che i bambini sono in grado non solo di riprodurre la configurazione delle linee di campo, ma anche di riconoscerle come linee di orientazione (ipotesi C'2). Infatti il costruire le linee di campo punto a punto con un esploratore opportuno (la bussola) permette, in seguito, alla metà dei bambini di riprodurre correttamente la disposizione degli aghi di diverse bussole disposte intorno a un magnete, e in un caso vengono anche disegnate spontaneamente le linee di campo a giustificazione della disposizione degli aghi delle bussole. Anche se non è possibile confrontare (da un punto di vista statistico) i risultati della ricerca con quella precedente svolta a Parigi (capitolo 6) si ottengono un numero simile di risposte corrette, pur in condizioni più difficili[54], questo sembra dimostrare la capacità dei bambini di superare l'ostacolo precedentemente individuato dell'"attrazione globale" verso il magnete e confermare l'ipotesi C'1 e C'2. Ci preme sottolineare che dopo aver disegnato in gruppo le linee di campo magnetico con la bussola come esploratore, sembra che questa abbia perso la funzione di indicatore del nord terrestre, assumendo quella di render conto dell'azione di una magnete nello spazio circostante.

Riguardo alla rappresentazione della Terra e delle linee di campo gravitazionale (ipotesi C'3), introdotte, in analogia al caso magnetico, come linee di orientazione di opportuni esploratori ("pseudodipoli" gravitazionali: pendoli, freccette con una piccola massa a un'estremità), si riscontrano globalmente gli stessi risultati rispetto alle precedenti ricerche (capitolo 6), il che dimostra che l'idea di "*mapping*" del campo è trasferibile anche al caso gravitazionale.

[54] Ricordiamo che nella ricerca svolta a Parigi veniva presentata la disposizione degli aghetti tutto intorno al magnete e si chiedeva di predire la disposizione di un ago magnetico posto o tra due linee o tra due aghetti; mentre nella ricerca presentata in questo capitolo veniva solo disegnato il magnete.

Dai risultati della sequenza è emerso che i bambini sono in grado si relazionare la sorgente dei campi (la Terra o il magnete) con la forma della rappresentazione delle linee di campo (ipotesi C'4). Pur tuttavia a questo livello scolare per i bambini risulta problematico sia utilizzare la stessa rappresentazione delle linee di campo per differenziare (ipotesi C'5) i tipi di campi (risultando l'attrazione l'effetto predominante in entrambi i casi) sia associare i due campi in un unico concetto o visione.

Nella sequenza emergono diversi schemi di ragionamento alcuni ben noti in letteratura, quali la visione globale del magnete senza poli, il ragionamento in termini di poli, le linee di campo come linee "piste" del movimento (ossia come "binari" lungo i quali avviene il movimento, in alcuni casi identificate con le traiettorie), l'idea del supporto del movimento (nel nostro caso l'acqua), ... altri sono stati evidenziati dalla nostra ricerca, come il già citato modello "gira per attaccarsi" ("*affinché venga attratto il magnetino deve ruotare per mettersi nell'altro polo*"), che mette in risalto la funzionalità della rotazione verso l'attrazione (che risulta l'effetto dominante).

Inizialmente i bambini adottano piuttosto un ragionamento in termini di azione di un oggetto (magnete) su un altro oggetto, o di un oggetto come causa del movimento dell'altro, però sempre considerato in una visione globale dove i poli non sono esplicitati, per poi passare all'analisi della situazione in termini di parti distinte (la parte "rossa" o "verde"), che in seguito vengono identificate con i poli per arrivare a un'interpretazione in termini di modello dei poli, superando il primo modello interpretativo in termini di azione globale attrattiva del magnete (ipotesi B'). I poli vengono intesi o come punto di arrivo e/o direzione del movimento e/o rotazione, ossia un ragionamento di tipo "finalista" ("*si sposta e va a finire nel polo rosso*", "*il magnetino ruota e si sposta dalla parte grigia del magnete potente*"), oppure come causa della rotazione e/o movimento ("*polo sud con polo sud non si attacca allora si gira e si attacca*").

Riteniamo che il ragionamento in termini di poli (anche se in termini di contributo di ogni singolo polo[55]) risulta essere un passaggio obbligatorio per superare l'idea iniziale dei bambini di azione globale del magnete su un altro magnete (senza poli) alla successiva interpretazione della fenomenologia come azione globale del magnete sull'esploratore in termini di bipolarità (questo ragionamento verrà raggiunto solo nella scuola secondaria[56]).

Inoltre a livello della scuola primaria riteniamo che un altro risultato importante sia il riconoscimento dell'azione della sorgente (Terra o magnete) nello spazio circostante, tale azione

[55] Anche se il ragionamento in termini di contributo di ogni singolo polo può portare, come vedremo nella scuola secondaria, a considerare delle "forze" prodotte da ogni polo (fisicamente scorretto).

[56] Nella scuola secondaria (si veda capitolo 8) verrà raggiunto il passaggio da un ragionamento in termini di contributi di ogni polo a uno in termini di azione globale (attraverso un momento o una coppia di forze) della sorgente sull'esploratore che tiene conto della bipolarità ("*il magnete esercita una coppia di forze che fa ruotare il magnete appeso*").

può essere rappresentata attraverso un "*mapping*" dello spazio in termini di linee di campo, che in questo livello scolare rappresentano l'interazione della sorgente con l'esploratore e probabilmente non ancora la direzione e verso di un ente fisico quale il campo stesso.

CAPITOLO 8

La sequenza sul magnetismo nella scuola secondaria superiore (18-19 anni)

8.1 Introduzione

Dai risultati della sequenza nella scuola primaria (capitoli 6-7) è emerso che i bambini sono in grado si relazionare la sorgente dei campi (la Terra o il magnete) con la forma della rappresentazione delle linee di campo. Pur tuttavia a questo livello scolare per i bambini risulta problematico sia utilizzare la stessa rappresentazione delle linee di campo per differenziare i tipi di campi (risultando l'attrazione l'effetto predominante in entrambi i casi) sia associare i due campi in un unico concetto o visione (anche perchè in un caso è possibile muovere la sorgente - il magnete - mentre nell'altro no - la Terra -). Inoltre i ragazzi dimostrano di distinguere facilmente l'attrazione globale e la rotazione, però la loro descrizione e interpretazione dei fenomeni osservati è prevalentemente in termini di azione dei singoli poli.

Nella scuola secondaria riprendiamo i due problemi di ricerca[1] considerati nella scuola primaria, anche se ampliati da ulteriori richieste: il primo (potere rappresentativo delle linee di campo) si complementa con la necessità di dare una visione più ampia al campo, includendo la considerazione anche dei fenomeni gravitazionale in termini di campo (cosa che vedremo non è così ovvia per i ragazzi), mentre il secondo si arricchisce di un elemento che aiuta la differenziazione tra campi polari e dipolari[2], ossia la distinzione tra il campo e la forza. Inoltre vi è la richiesta di affrontare il passaggio da un ragionamento che interpreta la fenomenologia in termini di contributi di ogni singolo polo[3], a uno in termini di azione globale della sorgente sul rivelatore in termini bipolari[4].

Infine, rispetto alla rappresentazione del campo attraverso le linee di campo, viene aggiunto l'uso dei tubi di flusso come elemento interpretativo dell'intensità del campo stesso.

---

[1] I due problemi di ricerca guida della tesi (il potere rappresentativo delle linee di campo e la differenziazione tra campi polari e dipolari) sono già stati ampiamente illustrati nel capitolo 3.

[2] Nel caso della scuola secondaria superiore a differenza della scuola primaria, dove ci si è soffermati su due soli campi (magnetico e elettrico), si considera il confronto tra i tre campi gravitazionale elettrico e magnetico.

[3] A livello della scuola primaria l'obiettivo raggiunto è di passare da una visione di azione globale del magnete sull'altro senza considerazione dei poli, a un ragionamento di questo tipo, ossia in termini di azioni di ogni singolo polo (*"il magnete appeso gira perché il polo N con N si respinge", "poli opposti si attirano, poli uguali si respingono"*).

[4] Questa visione è ben diversa dalla iniziale visione globale riscontrata nei bambini, nella quale non è riconosciuta la bipolarità e la sorgnete viene trattata come un tutt'uno che prevalentemente attira (*"il magnete appeso ruota perché viene attirato dall'altro magnete"*), infatti viene riconosciuta l'azione in termini bipolari della sorgente sull'esporatore ("il magnete esercita una coppia di forze che fa ruotare il magnete appeso").

8.2 Le ipotesi di ricerca

In base a questi problemi ci siamo posti tre principali ipotesi di ricerca che richiamano quelle proposte per il livello della scuola primaria, anche se nell'ipotesi B" vi è maggior enfasi sulla distinzione tra forza e campo (avendo gli strumenti sia sperimentali[5] che formali più adatti) e l'ipotesi C è più dettagliata in quanto anche gli strumenti di valutazione delle ipotesi sono stati diversi e hanno permesso l'analisi richiesta[6].

Riassumendo quindi le ipotesi di ricerca per questo livello sono:

A") ***Il riconoscimento della distinzione dei due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione(o movimento) globale e l'orientazione, puo' aiutare a identificare la specificità dell'interazione magnetica.***

- ***I ragazzi sono in grado di superare il ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità (A"1).***

B") ***la rappresentazione delle linee di campo (al di là di semplice disegno) puo' assumere un ruolo determinante:***

- ***nel dare una visione globale del concetto di campo, includendo anche il campo gravitazionale in questa categoria (B"1)***
- ***nel distinguere il campo dalla forza, in particolare distinguendo la direzione di partenza dalle linee di campo (B"2)***

C") ***i ragazzi sono in grado di differenziare i campi polari e dipolari e in che modo sono significativi per tale distinzione i seguenti elementi:***

- ***la forma delle linee di campo, che sono radiali e aperte per i campi polari, mentre sono chiuse in quelli dipolari (C"1)***
- ***la direzione di partenza e la direzione dell'orientazione di un esploratore, che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2a)***
- ***la direzione di partenza e le linee di campo[7], che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2b)***

---

[5] L'esperimento del piccolo magnete o pallina posta sulle linee di campo e lasciato libero di muoversi (si veda riferimento nel capitolo 3) non era stato ancora progettato all'epoca della realizzazione della sequenza alla scuola primaria, per cui in quel caso non si ha avuto a disposizione uno strumento così potento e evidente per mettere in risalto la distinzione tra campo e forza.

[6] Ricordiamo che a livello della scuola primaria non è stato possibile realizzare il post test per motivi contingenti dell'insegnante accogliente.

[7] Formalmente il confronto deve esser fatto tra la direzione di partenza del moto incipiente dell'esploratore e la tangente alla linea di campo nel punto di partenza dov'è posizionato l'esploratore; per brevità indicheremo tale confronto menzionando "la direzione di partenza e le linee di campo".

Il riconoscimento della specificità del comportamento magnetico e il riconoscimento delle linee di campo come linee di orientazione, risulta, secondo noi, un prerequisito per riconoscere il campo come funzione del punto, inteso nella sua prima accezione di proprietà riscontrabile in ogni punto dello spazio (si veda capitolo 3). Inoltre per riconoscere lo specifico ruolo del campo è necessario distinguerlo dalla forza e il caso magnetico si presta in modo particolare a evidenziare tale distinzione, in quanto la proprietà dei punti in questo caso non è associata solo alla forza (come per il caso gravitazionale e elettrico) ma anche a un'altra grandezza fisica: il momento[8].

Ci siamo posti inoltre una quarta domanda rispetto alla possibilità di utilizzare i tubi di flusso come strumenti per fornire delle informazioni anche quantitative sul flusso e sul campo, però non abbiamo dati di ricerca sufficienti per approfondire questo aspetto, ma solo alcune indicazioni che verranno presentate in un paragrafo a parte.

Riguardo agli schemi di ragionamento uno degli obiettivi della sequenza, come già accennato, è quello di portare i ragazzi da un ragionamento in termini di poli (*"poli opposti si attraggono/ poli uguali si respingono"*) a un ragionamento in termini di azione globale (attraverso una coppia di forze o un momento meccanico) della sorgente sul rivelatore in termini bipolari e che associa le linee di campo magnetico alla rotazione, in particolare all'orientazione dei momenti magnetici, evidenziando così il riconoscimento della specificità dell'interazione magnetica.
Tuttavia ci aspettiamo di riscontrare anche altri schemi di ragionamento, intermedi o alternativi ai due sopramenzionati. Alcuni di questi sono ben noti in letteratura, come l'associazione delle linee di campo "piste" di movimento, oppure l'analogia o identificazione dei poli con le cariche elettriche, mentre altri sono emersi dalle nostre precedenti ricerche nella scuola primaria, come il ragionamento "gira per attaccarsi". L'ultimo paragrafo dell'analisi dati sarà dedicato agli schemi di ragionamento emersi sia nella sequenza che nel post test e alla discussione di come e se questi sono evoluti nel corso dell'attività in classe.

[8] Come abbiamo spiegato nel capitolo 3, il campo magnetico determina la rotazione di un ago magnetico attraverso un momento meccanico, le linee di campo risultano essere linee di orientazione dei momenti magnetici degli esploratori.

8.3 La sequenza

In base ai problemi e alle relative ipotesi di ricerca abbiamo quindi costruito una sequenza nella scuola secondaria in un contesto normale di insegnamento in classe con la necessità e possibilità di dare un insegnamento completo per questo livello. Il contesto ci ha portati a trattare l'argomento da un punto di vista più ampio, considerando degli aspetti (magneti permanenti e materiali ferromagnetici, correnti, ..) non direttamente finalizzati alla trattazione dei principali problemi di ricerca in cui ci siamo incentrati dal punto di vista della ricerca, ma che hanno permesso di inquadrarli da un punto di vista coerente e più completo rispetto al tema (il campo magnetico). Tali aspetti che a priori possiamo pensare non abbiano perturbato la trattazione dei punti focali della ricerca, ci hanno permesso di individuare importanti indicazioni sia sul piano didattico dell'insegnamento dell'argomento, sia per quanto riguarda possibili sviluppi di ricerche (si veda capitolo 9).

Campione

La sequenza sul campo magnetico è stata svolta in una classe quinta (18 anni) del liceo scientifico Copernico di Udine, indirizzo PNI, composta da 22 alunni (di cui 14 ragazze e 8 ragazzi).
La sequenza è durata 15 ore, compreso il test finale di un'ora.

Metodologia

La metodologia che ha caratterizzato tutte le fasi sperimentali è la metodologia PEC[9] (Previsione, Esperimento, Confronto) illustrata nel capitolo 7: i ragazzi sono posti di fronte a una situazione, devono prevedere (giustificando le loro affermazioni) il comportamento di un dato sistema o più sistemi fisici che interagiscono, in seguito gli alunni realizzano l'esperimento e traggono delle conclusioni.
Quando l'esperimento era svolto in piccoli gruppi (di due ragazzi) le conclusioni venivano fatte individualmente, e in seguito discusse in gruppo, se invece l'esperimento era svolto dalla cattedra le conclusioni venivano discusse direttamente in gruppo.
Durante tutta la sequenza sono state consegnate delle schede, sia in classe sia per casa, su ogni punto essenziale del percorso per valutare da un lato (con le schede in classe) le idee spontanee o le concezioni dei ragazzi sugli argomenti da trattare (non avendo realizzato un pre-test) e dall'altro (con le schede per casa) l'aquisizione dei concetti e argomenti affrontati nell'attività in classe.

[9] Alcuni riferimenti bibliografici sulla metodologia PEC : Sassi E. (1992), (1997), Thornton (1993), Sokoloff & Thornton (1997), Contini & Sassi (1999).

La valutazione della sequenza è stata effettuata attraverso diversi strumenti durante e dopo la sequenza (post test) quali schede individuali, discussioni in gruppo, diario di bordo. L'analisi e la discussione dei dati durante e dopo la sequenza ha portato alla validazione delle ipotesi di ricerca.

Lo schema della sequenza

Nella Tabella 1 sono riassunti i 9 passi della sequenza con le ore utilizzate per realizzarli, la durata complessiva della sequenza è di 15 ore, compreso il test finale di un'ora.

Si è deciso di non fare un pre-test ma in ogni attività veniva richiesto ai ragazzi di prevedere il comportamento dei sistemi in esame o di riflettere sulla fenomenologia osservata, di realizzare in seguito l'esperimento e di concludere.

1 h	**1) INTRODUZIONE ALLE PROPRIETA' MAGNETICHE DEI MATERIALI E AGLI EFFETTI DI UN MAGNETE SU UN ALTRO** - Isola 1: Proprietà magnetiche dei materiali - Isola 2a : Avvicino un magnete ad un magnete sul tavolo - Isola 2b: Avvicino un magnete ad un magnete appeso - Isola 2c: Due magneti galleggianti sull'acqua - Isola 3: Avvicino un magnete ad una bussola sul tavolo **2) RIEPILOGO GIORNATA 1 E INTRODUZIONE ALLA COSTRUZIONE DELLE LINEE DI CAMPO MAGNETICO** - ricapitolazione lavoro schede e riflessione sulle basi fisiche delle rotazioni e traslazioni - Esperimento della bussola sull'acqua - Scheda sintesi per casa
1 h	**3) COSTRUZIONE DELLE LINEE DI CAMPO MAGNETICO prodotte da un magnete** - le linee di campo come linee di orientazione - Definizione del vettore campo magnetico B - Scheda 7
2h 1 h	**4) Esplorazione del valore del campo magnetico B lungo le linee di campo:** - 4.1 Misura del momento meccanico attraverso il calcolo del periodo di oscillazione della bussola - 4.2) Misura del campo magentico B con la sonda Hall scheda 8.3 - 4.3) Misura campo B con il metodo della bussola delle tangenti Scheda 8.4 - per casa Fare il report - ANALISI DATI E CONCLUSIONI: sintesi in classe delle varie misure fatte da ogni gruppo
1 h	**5) LA FORZA E LE LINEE DI CAMPO MAGNETICO: analisi quantitativa** - 5.1) Limatura di ferro - 5.2) Limatura di ferro in olio al silicole o glicerina - 5.3) Esperimento pallina e magnete - SCHEDA 9
2 h	**6) INTRODUZIONE CAMPO GRAVITAZIONALE ED ELETTRICO e CONFRONTO TRA I VARI CAMPI: g, E, B** - scheda 10:
2 h	**7) IL FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO (Flusso attraverso una superficie chiusa)** - scheda 11A e 11B - introdurre concetto di flusso - il flusso di B attraverso una superficie chiusa è sempre zero (le linee di B sono chiuse)
1 h	**8) TUBI DI FLUSSO e Analisi qualitativa delle linee di campo attraverso i tubi di flusso**
1 h 2 h	**9) Le CORRENTI come sorgenti del camo magnetico:** - le correnti creano campi magnetici: forma delle linee di campo magnetico generato da un filo percorso da corrente, una spira e un solenoide (analogia solenoide-magnete) - conferma della direzione delle linee di campo interne al solenoide → linee chiuse di B - Misure con il metodo delle bussole delle tangenti del campo B di una spira e di un filo percorsi da corrente - analisi dati e conclusioni: sintesi in classe delle varie misure fatte da ogni gruppo - scheda 12
1 h	TEST FINALE

Tabella 1: Schema della sequenza svolta in classe

1) Introduzione alle proprieta' magnetiche dei materiali e agli effetti di un magnete su un altro (schede 1, 2a, 2b, 2c, 3)

Nella prima giornata con la prima "isola" di esperimenti sono state introdotte le proprietà magnetiche attraverso l'esplorazione e la classificazione delle interazioni di un magnete con vari materiali (tra cui anche un magnete e una bussola), mentre nelle due successive si considera l'interazione tra due magneti cilindrici uguali (in situazioni diverse: un magnete in mano e uno sul tavolo, o appeso, oppure due magneti galleggianti sull'acqua), oppure quella tra un magnete e una bussola posta sul tavolo.

Ogni singola scheda richiedeva la previsione, realizzazione e conclusione su ogni singolo esperimento e infine una conclusione finale; per quanto concerne l'isola 2 i ragazzi hanno svolto solo una delle varianti (2a, 2b, 2c) che poi sono state confrontate per vedere se le situazioni 2b e 2c favoriscano il riconoscimento della rotazione come effetto dell'interazione di due magneti.

Le singole isole:

- Isola 1*: Proprietà magnetiche dei materiali*
- Isola 2: interazione tra due magneti
  Isola 2a *: Avvicino un magnete ad un magnete sul tavolo*
  Isola 2b: *Avvicino un magnete ad un magnete appeso*
  Isola 2c: *Due magneti galleggianti sull'acqua*
- Isola 3: *Avvicino un magnete ad una bussola sul tavolo*

Infine per casa è stata data una scheda sintesi degli esperimenti effettuati nella prima giornata per verificare se erano state individuate le caratteristiche principali dei magneti e dell'interazione tra magneti, con particolare attenzione alla rotazione.

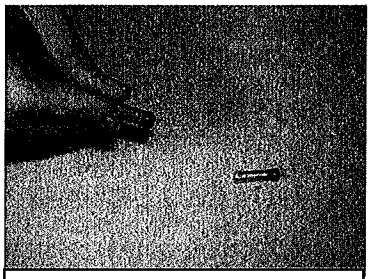


Figura 1: scheda 2a, avvicino un magnete a un altro posto sul tavolo nelle due situazioni (poli opposti e poli uguali affacciati).

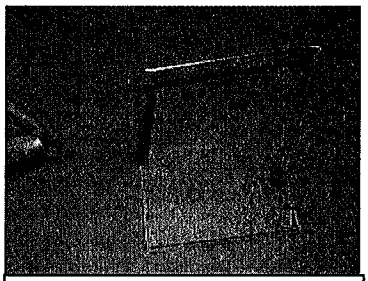


Figura 2: scheda 2b, avvicino un magnete a un altro posto appeso nelle due situazioni (poli opposti e poli uguali affacciati).

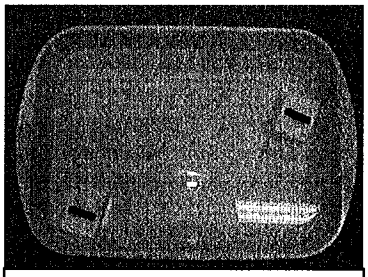


Figura 3: scheda 2c, due magneti galleggianti sono lasciati liberi di muoversi nelle due situazioni (poli opposti e poli uguali affacciati).

2) Riepilogo isole e introduzione alla costruzione delle linee di campo magnetico (scheda sintesi)

Nella seconda giornata si ripercorrono i risultati della prima giornata, soffermandosi sui nodi concettuali trattati: le tipologie dei materiali in base all'interazione con un magnete, l'esistenza dei due poli di un magnete, gli effetti osservabili di un magnete su un altro, ossia l'attrazione globale e l'orientazione.

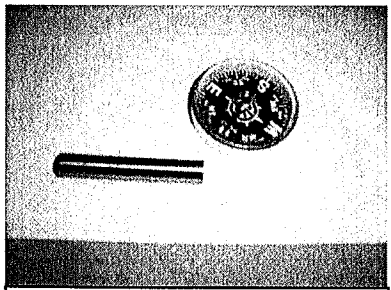


Figura 4: un magnete e una bussola disposta sul tavolo

Vengono discusse le condizioni fisiche per ottenere o una rotazione (una coppia di forze uguali, o almeno una forza applicata in un punto diverso dal centro di massa), o uno spostamento globale[10] oppure una rotazione unita a uno spostamento globale (quando l'insieme delle forze agenti è equivalente a una coppia di forze e una risultante non nulla[11]).

Per riconoscere che la bussola è un magnete non basta verificarne l'orientazione, ma anche l'attrazione globale, unita alla capacità di attrarre materiali ferromagnetici (come un aghetto su un pezzetto di sughero) o attrarre e respingere altri magneti, per questo essa viene posta sull'acqua. Infine vengono discusse le due diverse situazioni (bussola sull'acqua o sul tavolo) per concludere che se si vuole isolare la sola rotazione (dall'altro effetto che un magnete ha su un altro, ossia l'attrazione globale) utilizzando la bussola come rivelatore di campo è bene quindi disporla sul tavolo, dove l'attrito è maggiore per cui il movimento viene "impedito".

3) Costruzione delle linee di campo magnetico prodotte da un magnete (scheda 6)

Consolidata la distinzione tra i due effetti osservati, attrazione (o movimento) globale e rotazione di un dipolo posto in un campo magnetico, e sulle condizioni fisiche che generano una rotazione o una traslazione, nella terza giornata si introduce il concetto di campo magnetico attraverso la costruzione delle linee di campo, introdotte come linee di "orientazione" o di momneto e non linee di forza (questo punto verrà poi approfondito nella 5° giornata).

I ragazzi a gruppi di due costruiscono le linee di campo con rivelatori diversi (bussola, scatola di aghetti ferromagnetici[12]), e descrivono, individuando eventuali simmetrie, la geometria delle linee di campo[13].

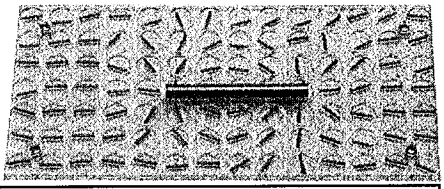


Figura 5: dispositivo in plastica con aghetti ferromagnetici vincolati per individuare le linee del campo magnetico.

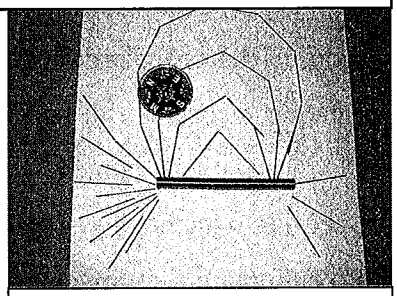


Figura 6: Rappresentazione del campo magnetico con l'ago di una bussola.

[10] Relazionato all'attrazione globale.

[11] Come abbiamo visto nel capitolo 3 nel caso del campo magnetico si ha questa situazione, ossia si ha contemporaneamente sia una rotazione (dovuta alla coppia di forze agenti agli estermi di un ago magnetico disposto nello spazio circostante il magnete) sia una traslazione (dovuta al fatto che la risultante non è nulla). Nel caso delle bussole disposte sul tavolo (figura 6) l'attrito compensa la risultante delle forze, per cui l'ago della bussola è soggetto alla sola rotazione.

[12] Un altro rivelatore del campo magnetico è la ben nota limatura di ferro, che abbiamo voluto introdurre successivamente come ponte tra un rivelatore vincolato (bussola, aghetti ferromagnetici) e uno libero di muoversi (limatura di ferro). Anche in questo caso l'attrito permette la visualizzazione delle linee di campo, nella fase 5 viene discusso il ruolo dell'attrito considerando la limatura di ferro in diverse condizioni (in olio al silicone, o disposta su un lucido, ...)

[13] Nella costruzione delle linee di campo con la bussola (Figura 6) è opportuno utilizzare un magnete cilindrico sufficientemente lungo rispetto alle dimensioni della bussola stessa.

Nella condivisione in gruppo dei risultati, si è sondato se i ragazzi riconoscono le linee di campo magnetico sono linee di orientazione, che le linee di campo magnetico non dipendono dall'esploratore[14] (viene verificata che la disposizione anche di magneti appesi è sulle linee di campo, figura 7), in particolare sulla geometria delle linee di campo se riconoscono le particolarità dei poli, la chiusura delle linee, le simmetrie rispetto agli assi del magnete. Vengono discussi infine il ruolo e l'utilità delle linee di campo: esse ci permettono di prevedere l'orientazione di particolari oggetti (esploratori del campo: bussole, magneti, ecc..) nello spazio circostante al magnete.

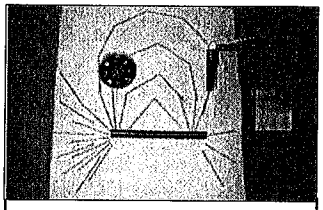


Figura 7: verifica della disposizione di in magnete appeso lungo le linee di campo.

Una volta riconosciuto che in ogni punto dello spazio intorno al magnete esiste una proprietà, e che tale proprietà insorge con la presenza del magnete, viene introdotto il concetto di campo magnetico come una funzione del punto dello spazio, di cui le linee di campo sono una rappresentazione. Il campo magnetico B viene definito come quel vettore che è tangente alle linee di campo e ha come direzione la direzione Nord-Sud.

4) Misura del campo magnetico B

Una volta definito il verso e la direzione del vettore di campo magnetico B, si è passati alla misura del suo modulo.

I ragazzi sono stati divisi in gruppi di due e hanno misurato la dipendenza dalla distanza del modulo del campo magnetico lungo l'asse longitudinale di un magnete cilindrico con metodi diversi: metodo della bussola delle tangenti, con il sensore di campo magnetico e attraverso la misura del momento meccanico di una bussola che oscilla nel campo magnetico. I dati trovati con il metodo della bussola delle tangenti e con la sonda del campo magnetico sono risultati una buona misura che ha permesso anche di vedere l'andamento polare (dell'inverso del quadrato della distanza) vicino al polo e dipolare (dell'inverso del cubo della distanza) da una certa distanza in poi dal polo, mentre la misura del momento meccanico di oscillazione di una bussola è risultata più problematica e meno precisa, a causa di un errore maggiore di misura[15] e alla difficoltà di misurare il periodo di oscillazione con gli strumenti forniti.

Infine, con il sensore di campo magnetico, si è misurato il valore del campo magnetico lungo una linea di campo, osservando come varia.

---

[14] In questa fase la limatura di ferro non viene introdotta come indicatore del campo magnetico, in quanto si è scelto di usare soltanto indicatori dell'orientazione (che, essendo vincolati, non possono avere un movimento traslatorio), essa verrà usata invece come ponte tra l'isolamento della sola orientazione e la trattazione anche del moto traslatorio, ossia della forza.

[15] Infatti il campo magnetico dipende dall'inverso del quadrato del periodo di oscillazione della bussola, quindi l'errore risulta maggiore, inoltre va aggiunta la difficoltà della misura del periodo di oscillazione sia vicino al magnete (le oscillazioni hanno una frequenza troppo elevata) si lontano (la frequenza è troppo bassa).

4.1) Misura campo B con il metodo della bussola delle tangenti

Questo metodo permette di misurare in unità di campo magnetico terrestre (BT) il campo magnetico lungo l'asse longitudinale di un magnete cilindrico (Bm), in base alla deviazione dell'ago della bussola rispetto alla direzione del campo magnetico terrestre (scheda 8.1).

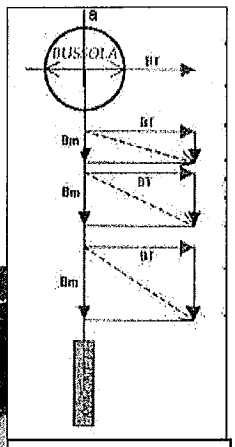


Figura 8: Il metodo della bussola delle tangenti per la misura del modulo del campo magnetico di un magnete

4.2) Misura del campo magnetico B con la sonda Hall

sensore di campo magnetico (ad effetto Hall, figura 9) permette di effettuare una misura diretta del campo magnetico generato da un magnete cilindrico (scheda 8.2).

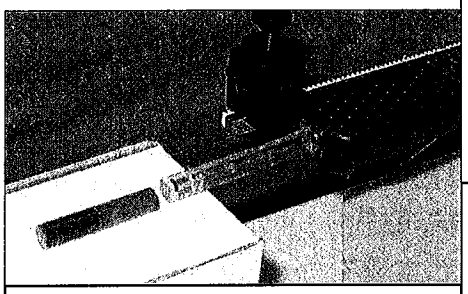


Figura 9: il sensore del campo magnetico per misurare la dipendenza dalla distanza del campo generato da un amgente cilindrico.

4.3) Misura del periodo di oscillazione di una bussola[16]*:*

con questo metodo (scheda 8.3), viene misurato il periodo di oscillazione dell'ago di una bussola posta lungo l'asse longitudinale del magnete.

Il momento meccanico **M** che agisce sull'ago magnetico posto in un punto dello spazio è dato da **M** = μ x **B** (dove μ è il momento magnetico della bussola). Se l'ago viene allontanato di un angolo β dalla posizione di equilibrio, e quest'angolo è sufficientemente piccolo per poter approssimare $\sin\beta$ con β, il teorema del momento angolare ci dà $M = -\mu B\beta = \frac{dL}{dt} = I\frac{d^2\beta}{dt^2}$, dove il segno meno indica che il momento meccanico è sempre opposto alla deviazione dall'equilibrio. Il periodo T delle piccole oscillazioni, quindi, è dato da $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\mu B}}$ (dove I è il momento d'inerzia della bussola).

Per piccole oscillazioni quindi il periodo T dipende dal campo magnetico B secondo la relazione: $T = k\frac{1}{\sqrt{B}}$, è possibile ricavare, a meno di una costante k ($k = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\mu}}$), il campo magnetico totale nel punto in cui è collocata la bussola, ossia $B = \frac{1}{T^2}$.

Questo metodo per quanto sia suggerito in diversi testi come misura del campo magnetico B risulta, come già osservato il meno preciso, per diversi fattori: l'errore di misura del periodo di oscillazione

[16] Le linee di campo, come già spiegato nel capitolo 3, sono linee di orientazione dei momenti magnetici degli esploratori del campo (in questo caso una bussola). Sull'ago della bussola viene esercitato un momneto meccanico che lo fa ruotare e allinearsi sulle linee di campo e che dipede dal campo B. La misura del periodo di oscillazione della bussola risulta un indicatore del valore del campo B in quel punto.

della bussola, che viene ampliato in quanto il periodo T viene elevato al quadrato per ottenere il campo B, le oscillazioni sono molto frequenti vicino ai poli del magnete mentre allontanandosi anche di poco diminuiscono molto (risultando difficile il loro conteggio in entrambi i casi: nel primo per una frequenza troppo elevata, nel seconto troppo bassa).
Riteniamo quindi che questo metodo sia molto utile solo per dare una visione qualitativa della misura del campo B e per associare il valore del campo al momento (e non quindi a una forza, come nel caso elettrico), però poco proficuo per una misura quantitativa della dipendenza del campo dalla distanza.

L'obiettivo della scheda 8 era individuare la dipendenza dalla distanza del campo magnetico lungo l'asse longitudinale di un magnete cilindrico (figura 9b a sinistra). Dall'analisi dei dati i ragazzi, passando ai logaritmi, studiavano la dipendenza del logaritmo del campo B dal logaritmo della distanza, per determinare la potenza α nella relazione di dipendenza $B = k\,(1/r)^{-\alpha}$ dall'inverso della distanza, osservando che (figura 9b a destra) in prossimità del polo l'andamento del campo è come $1/r^2$, mentre da una certa distanza è come $1/r^3$ (andamento dipolare).

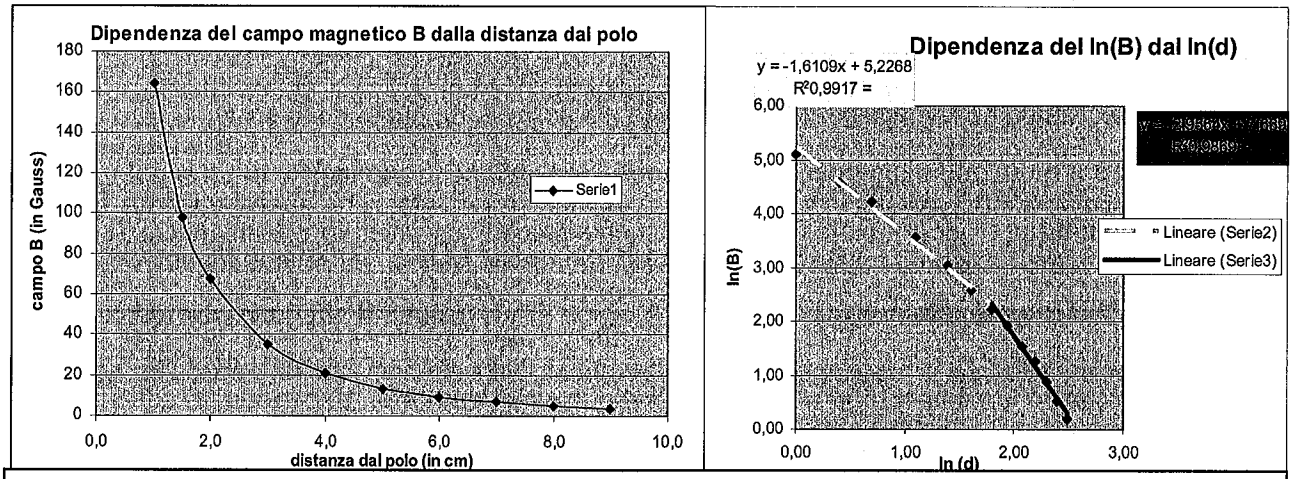


Figura 9b: Esempi di misure della dipendenza del campo magnetico B dalla distanza ($B = k\,(1/r)^{-\alpha}$), per determinare la potenza α si passa ai logaritmi dell'intensità del campo e della distanza (grafico a destra).

5) La forza e le linee di campo magnetico: analisi quantitativa

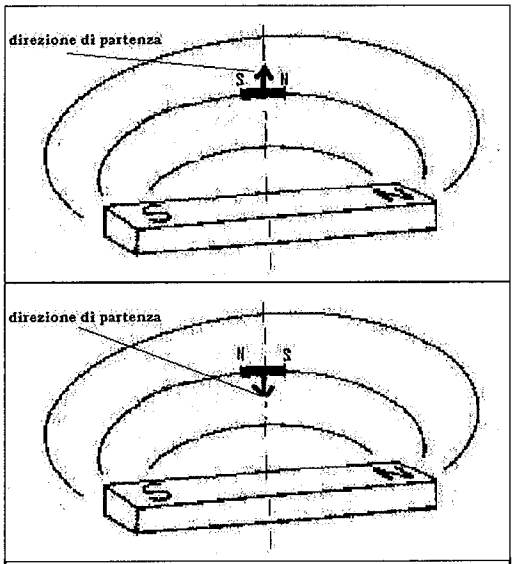


Figura 10a: la linea di partenza di un magnetico libero di muoversi non coincide con la linea di campo (nei due casi illustrati in figura risulta perpendicolare)

Questa fase della sequenza mira a distinguere la forza (relazionata al movimento (o attrazione) globale, ossia alla linea di partenza degli oggetti) dal campo (orientazione) e al consolidamento del fatto che le linee di campo magnetico sono linee di orientazione e non di forza.

Viene inizialmente utilizzata la limatura di ferro nella scatola che facilita il riconoscimento del movimento dell'esploratore del campo verso posizioni di equilibrio che ripropongono lo stesso pattern o rappresentazione ottenuta con le bussole (linee di campo), viene anche discusso il ruolo dell'attrito, che se fosse nullo non permetterebbe il riconoscimento della stessa coinfigurazione. La limatura di ferro si pone inoltre come ponte tra l'analisi delle linee di campo con rivelatori di campo vincolati (con possibilità di sola rotazione e non movimento traslatorio) e la trattazione anche degli effetti dell'attrazione globale.

Nella scheda 9 viene richiesto ai ragazzi inizialmente di predire il comportamento di una pallina ferromagnetica posta sulle linee di campo generato da un magnete a barra, poi viene realizzato e discusso in gruppo l'esperimento. L'esperimento viene proposto anche con un piccolo magnete (figure 10 e 10b) come esploratore e ha come obiettivo evidenziare come la direzione di partenza delle palline di ferro o del magnetico non è quella delle linee di campo, ma è distinte, in alcuni casi addirittura perpendicolare ad esse. Qui si tratta il nodo della distinzione forza – campo.

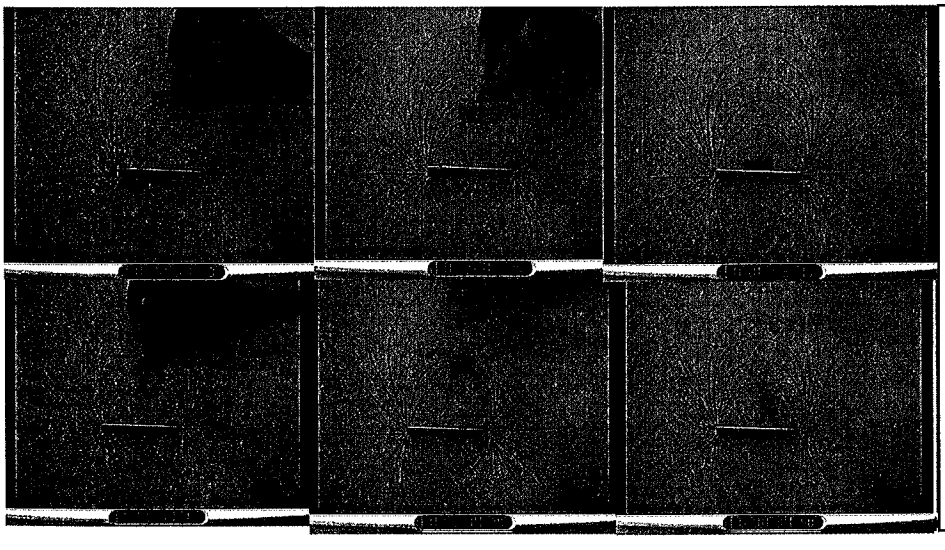


Figura 10b :
L'esperimento proposto in classe sulla distinzione tra la direzione del moto incipiente di un magnetino posto lungo la linea di campo (serie delle tre figure in alto), o obliquamente ad essa (serie delle tre fiure in basso) e la direzione della linea di campo.
Queste direzioni non coincidono (nel primo caso risulta addirittura perpendicolare)

6) Introduzione ai campi gravitazionale ed elettrico e confronto tra i vari campi: g, E, B

Nella scheda 10 viene richiesto di confrontare i campi gravitazionale, elettrico e magnetico, individuando analogie e differenze tra i vari tipi di campo. Questa scheda, il cui obiettivo principale era valutare l'ipotesi C", è risultata la più difficile per i ragazzi, nonostante sia stata data per casa con la possibilità di consultare testi, in classe sono stati discussi i lavori degli alunni.

7) Il flusso del campo magnetico: (flusso attraverso una superficie chiusa)

Inizialmente è stato richiamato il concetto di flusso che era stato trattato dall'insegnante per il caso del campo elettrico nei mesi precedenti la sequenza. Nella scheda 11 viene richiesto ai ragazzi di trasferire il concetto di flusso anche al caso del campo gravitazionale e magnetico, individuando delle superfici chiuse attraverso le quali il flusso sia nullo o diverso da zero.

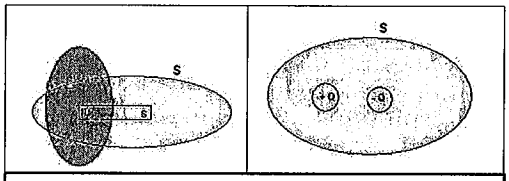


Figura 11: Il teorema di Gauss applicato al caso del dipolo magnetico ed elettrico.

Nella scheda 11B e vengono considerati i casi del dipolo elettrico e magnetico, la non separabilità dei poli ossia delle sorgenti dai pozzi delle linee, e la proprietà di essere nullo il flusso del campo magnetico attraverso una qualunque superficie chiusa[17] (infatti la divergenza di B é nulla in ogni punto (⇔ flusso attraverso una superficie chiusa é sempre nullo) ⇔ non separabilità sorgenti e pozzi di linee).

Questo porta come conseguenza che all'interno del magnete deve esserci un campo molto intenso e di verso opposto a quello esterno(S-N).

8) I tubi di flusso e l'analisi qualitativa delle linee di campo attraverso i tubi di flusso

Il concetto di tubo di flusso è stato introdotto per il campo elettrico come quella regione di spazio delimitata da una superficie e da tutte le linee di campo passanti per il bordo della superficie.

La costanza del flusso lungo il tubo è facilmente dimostrabile per il caso di un campo polare (per esempio quello elettrico, figura 12) in cui la dipendenza del campo dalla distanza è $1/r^2$, infatti date due superfici S_1 e S_2 lungo il tubo di flusso si ha che $E_1 x\ S_1 = E_2 \times S_2$.

Nel caso del campo magnetico generato da un magnete cilindrico il tubo di

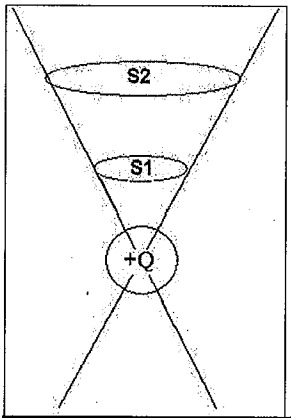


Figura 12: i tubi di flusso per il campo elettrico generato da una carica puntiforme.

[17] In Francia il Teorema di Gauss viene riferito ai soli campi $1/r^2$, mentre in diversi testi italiani si menziona il Teorema di Gauss applicato anche al caso magnetico (*il flusso del campo magnetico attraverso una qualunque superficie chiusa è sempre nullo*).

flusso (figura 13) non è un semplice cono come nel caso del campo elettrico o gravitazionale, ma come una *ciambella* ricurva[18]. Una volta individuata la forma dei tubi di flusso, la conservatività del flusso non viene dimostrata per il caso magnetico, ma soltanto dedotta. I tubi di flusso mi indicano l'intensità del campo lungo la linea di campo[19] (per esempio possono indicarci non solo dove B è maggiore – dove si restringe il tubo di flusso – ma anche dove è costante – dove la larghezza del tubo rimane costante). Nel caso del campo magnetico indicano l'intensità di **B** non l'intensità dell'attrazione , che mi è data dal gradiente di $\mu \cdot \mathbf{B}$ (forza d'attrazione $\mathbf{F} = -\nabla(\mu \cdot \mathbf{B})$.).

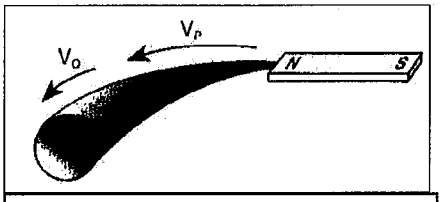


Figura 13: I tubi di flusso per il campo magnetico generato da un magnete cilindrico.

9) Le linee di campo magnetico generate da diversi tipi di sorgenti

L'ultima parte della sequenza è rivolta alle altre fonti di campo magnetico: le correnti. Le correnti vengono introdotte per riconoscere altre sorgenti di campo (oltre ai magneti permanenti) e visualizzarne la configurazione delle linee di campo, che seppur di forme diverse mantengono le caratteristiche della natura bipolare del campo: la chiusura e la continuità.

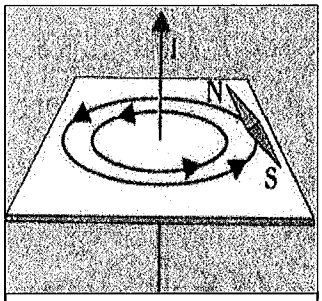


Figura 14: le linee del campo generato da un filo percorso da corrente.

Le linee di campo magnetico generato da un filo (figura 14), da una spira e da solenoide percorsi da corrente vengono costruite sperimentalmente. Nel caso del filo percorso da corrente i ragazzi hanno misurato, con il metodo della bussola delle tangenti, la dipendenza del modulo del vettore campo magnetico dalla distanza e dall'intensità di corrente (Legge di Bio Savart). Infine si è costruito il tubo di flusso anche per il campo generato dal filo percorso da corrente (figura 15), che in questo caso risulta di sezione sempre costante; infatti dalla costanza della sezione del tubo si può ricavare la costanza del valore di B lungo una linea di campo.

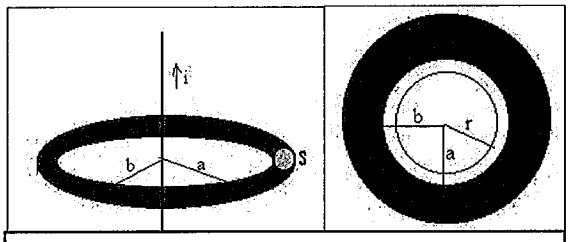


Figura 15: i tubi di flusso nel caso del campo generato da un filo percorso da corrente, visti in 3 dimensioni (a sinistra) o in dal'alto (destra)

[18] Osserviamo che è bene fare attenzione al problema della riduzione dimensionale (Viennot (1996)) nel passaggio dalle 3 alle 2 dimensioni, ossia quello che si rappresenta in due dimensioni non è un indicatore attendibile di quello che succede nelle 3 dimensioni.

[19] Quando calcoliamo il flusso del campo B lungo un tubo di flusso, il flusso è costante, ma il valore di B uscente dalla superficie S non lo è, in realtà bisogna fare un'integrale in dS. Nel nostro caso prendendo tubi di flusso "sufficientemente stretti" (nel senso che posso approssimare al valore di B lungo la linea di campo passante per il centro della superficie). Attraverso i tubi di flusso infatti non possiamo ragionare sulla variazione di B trasversale (ossia lungo la distanza tra le due linee di campo che, assieme alla superficie S, mi delimitano il tubo di flusso).

Nel caso del solenoide invece (figura 16) ci si è soffermati sull'analogia della forma delle linee di campo con il caso del magnete cilindrico, in particolare verificando il verso del campo all'interno del solenoide (che risulta opposto al campo in un punto sulla superficie esterna del solenoide). Utilizzando il sensore di campo magnetico (figura 17) è stato verificato il verso e la costanza del campo amgentico all'interno del solenoide ed è stata misurata la dipendenza del modulo del vettore di campo magnetico dall'intensità della corrente.

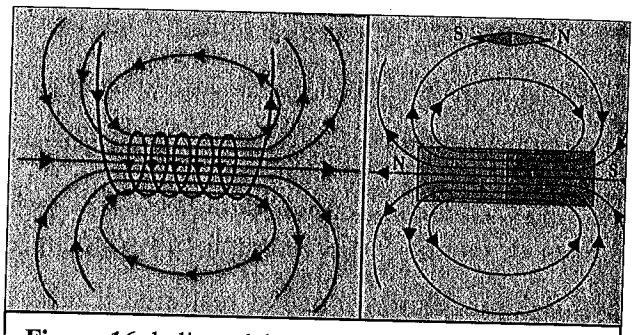


Figura 16: le linee del campo magnetico generato da un solenoide percorso da corrente (a sinistra) e l'analogia con le linee del campo generato da un magnete a barra.

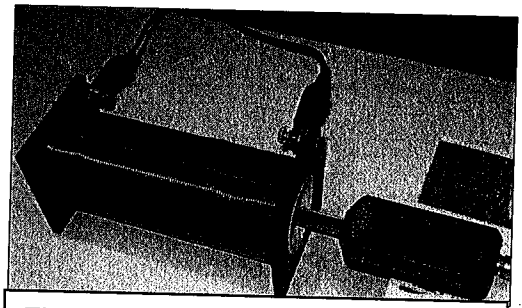


Figura 17: misura del campo magnetico all'interno del solenoide con il sensore di campo.

Tutte le sorgenti di campo magnetico considerate (filo percorso da corrente, spira, solenoide e magnete) generano linee di campo di forma diverse (dipende dalla forma della sorgente), ma sono in ogni caso chiuse e non coincidono con le linee di partenza di un oggetto inizialmente fermo e che risente dell'azione del campo.

8.4 Analisi dei dati e risultati

Le singole schede sono state analizzate in dettaglio e riportate nell'allegato 4, mentre in questo paragrafo abbiamo selezionato e confrontato soltanto i dati della sequenza e del post test relativi a ogni ipotesi di ricerca che ci siamo proposti.

Passiamo quindi ad analizzare ogni singola ipotesi; per facilitare la lettura dei risultati all'inizio verrà richiamata l'ipotesi in questione e, prima di inoltrarsi nei dettagli dei dati (con le rispettive citazioni delle risposte dei ragazzi), sarà presentata una sintesi degli aspetti più salienti riguardanti la suddetta ipotesi, in cui i risultati sono presentati in un confronto tra i dati della sequenza e quelli del post test. Questa prima sintesi[20], ha lo scopo di orientare il lettore nella successiva fase, nella quale si presenterà l'analisi dei dati in dettaglio per ogni singola scheda della sequenza (in primo luogo) e per ogni singola domanda del post test (in secondo luogo) riguardanti l'ipotesi in questione.

8.4.1 Rispetto all'ipotesi di ricerca A"

- ***Il riconoscimento della distinzione dei due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione (o movimento) globale e l'orientazione, può aiutare a identificare la specificità dell'interazione magnetica (A")***
- ***I ragazzi sono in grado di superare il ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità (A"1).***

La differenziazione tra l'attrazione globale e la rotazione è stata trattata nelle schede 2 e 3 della sequenza e nella domanda 3 del post test.

Mentre nella sequenza osserviamo che ben 12/21 ragazzi si accorgono e mettono in evidenza la rotazione durante gli esperimenti, pero' nelle conclusioni non la ritengono un aspetto essenziale e nessuno lo menziona; nel post test il numero di studenti che fa riferimento alla rotazione nel descrivere il movimento di un magnete appeso, a cui viene avvicinato un altro magnete, aumenta a 17/19. Nelle giustificazioni invece durante la sequenza tutti (21/21) ragionano in termini di poli (poli opposti si attraggono, uguali si respingono), nel post test osserviamo che la metà dei ragazzi che fornisce l'interpretazione (7/14[21]) lo fa in termini di azione di un magnete e

[20] In cui volutamente non si forniscono esempi delle risposte dei ragazzi, che invece sono presentate in dettaglio nella successiva fase.

[21] 14 ragazzi sui 19 presenti al post test forniscono un'interpretazione in questa domanda, tra questi 7 (7/14) menzionano l'azione del magnete sull'altro in termini di coppia di forze.

sull'altro attraverso una coppia di forza, in alcuni casi riferendosi al concetto di campo. Questi ragazzi sembrano aver superato l'iniziale ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità.

A questo proposito osserviamo che non sempre il concetto di coppia di forze è inteso nel senso fisico di causa di una rotazione (e quindi relazionato al momento meccanico), ma a volte viene inteso come insieme di due forze (potrebbe essere somma vettoriale, somma algebrica o insieme non specificato di forze). Riteniamo quindi didatticamente fruttuoso associare la rotazione al momento meccanico (piuttosto che alla coppia di forze[22]), per ovviare queste problematiche e favorire l'introduzione del campo magnetico come proprietà del punto distinta dalla forza, attraverso il riconoscimento della specificità dell'interazione magnetica e delle linee di campo magnetico come linee di orientazione.

Ci sembra comunque acquisito il riconoscimento della specificità del comportamento magnetico, confermato anche dal fatto che quando viene chiesto ai ragazzi di individuare analogie e differenze tra i vari tipi di campo, questi mettono in evidenza la distinzione tra coppia di forze e forza singola agente su un esploratore, sia nella sequenza (12/16 nella differenza tra i campi elettrico e magnetico e 8/16 in quella tra i campi gravitazionale e magnetico) sia nel post test, anche se in percentuale minore (6/19 sia per differenza tra i campi elettrico e magnetico sia per quella tra i campi gravitazionale e magnetico).

Infine, riteniamo importante menzionare il problema della sequenzialità dei due effetti di un campo magnetico su un opportuno esploratore, ossia che, come nella scuola primaria, anche al livello della scuola secondaria risulta difficilile il riconoscimento della contemporaneità dei due effetti (l'attrazione e la rotazione). Infatti la maggior parte dei ragazzi considera la rotazione come il primo effetto che precede l'attrazione (Menigaux, 1991), questa sequenzialità può sfociare in una sequenzialità funzionale nello schema di ragionamento "gira per attaccarsi"[23], che considera la rotazione funzionale all'attrazione.

Vediamo ora in dettaglio l'analisi delle schede della sequenza (2 e 3) e delle domande (3) del post test che si riferiscono a tale ipotesi:

Nella **sequenza :**

Nella scheda 2 (che era differenziata in: 2A magnete sul tavolo, 2B magnete appeso, 2C magnetti galleggianti sull'acqua) osserviamo che nelle prime due parti, ben 12 ragazzi su 21 riconoscono la

[22] Questo suggerimento è puramente linguistico, in quanto una coppia di forze genera un momento meccanico, parlando però di momento piuttosto che di coppia di forze si potrebbe forse ovviare il problema del doppio senso del termine "coppia".

[23] Come abbiamo già osservato il modello "gira per attaccarsi" è emerso nella scuola primaria, ma lo ritroviamo anche in quella secondaria.

rotazione, di cui 5 (tutti con la variante 2C) già nella fase di previsione degli esperimenti, riconfermandola anche nella successiva fase della descrizione, mentre 7 soltanto nella fase della descrizione (tra questi 4 con la variante 2B, 2 con quella 2C e 1 con quella 2A).

Anche se il numero di ragazzi è molto piccolo possiamo osservare che tutti i ragazzi che avevano la scheda 2C hanno messo in evidenza la rotazione (la maggior parte, 5 su 7, addirittura prima della sperimentazione), tale scheda sembra quindi essere essenziale per individuare la rotazione ("*i due magneti cercavano di girare finché i loro poli opposti non si affacciano", "i due magneti giravano finché i loro poli opposti non sono rivolti l'uno contro l'altro e poi si attraggono", "Prima di attrarsi si girano con i poli opposti affacciati prima respingendosi*"), gli stessi poli sono indicati come causa della rotazione: "*i due magneti girano fino a trovarsi a cariche opposte perché gli stessi poli creano una rotazione*". Nella scheda 2B, metà riconosce la rotazione dopo l'esperimento (tra cui uno anche nella prima situazione (poli opposti) "*Il magnete appeso ruota fino a quando raggiunta la distanza minima tra i magneti lo tocca*") e metà no, mentre nella scheda 2A, tranne uno (C2: "*in realtà una delle due calamite si "gira" in modo che si verifichi la situazione precedente + e –*"), nessuno mette in evidenzia la rotazione neanche dopo l'esperimento.

Si accorge della rotazione nella scheda 2?	2A	2B	2C	TOT	Situazione A		Situazione B	
					Previsione	Descrizione	Previsione	Descrizione
sì dopo esperimento	1	4	2	7		1 [2B]		
sì prima esperimento	-	-	5	5	-		5 [2C]	7 (1[2A] 4[2B] 2[2C])
no	5	4	-	9				

Tabella 1 : Analisi delle risposte dei ragazzi in base al riconoscimento della rotazione durante lo svolgimento della scheda 2 della sequenza (situazione A poli opposti, situazione B poli uguali).

Per quanto nelle risposte della scheda 2 ben 12/21 notano la rotazione, nelle conclusioni, soltanto uno menziona esplicitamente la rotazione, mentre la maggioranza non ritiene che questa sia un aspetto saliente e si limita a evidenziare la sola attrazione, o l'attrazione e la repulsione. Soltanto uno menziona l'orientazione, però in termini di orientazione delle cariche (" *il bastoncino appeso cerca di orientare le sue cariche in modo opposte a quelle del bastoncino che ho in mano*"), mentre due menzionano non proprio la rotazione, ma l'"inclinarsi" del magnete: "*Il magnete si inclina in modo da far avvicinare uno dei suoi poli al polo opposto*".

Inoltre nelle conclusioni nessuno interpreta il fenomeno in termini di campo o almeno in termini di azione globale di un magnete sull'altro, ma restano legati al ragionamento in termini di poli riproponendo la formula : "*poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono*" ; vedremo come nel post test la situazione evolve positivamente. Nelle conclusioni infatti la maggior parte dei ragazzi (14/21) ragionano in termini di poli, 11 menzionano l'attrazione e la repulsione (o riferendosi cariche [5, "*cariche opposte si attraggono, cariche uguali si respingono*"]), oppure a poli [6, "*poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono"]*), mentre 3 fanno riferimento alla sola attrazione ("*Poli opposti si attraggono*").

Conclusione della scheda 2		
14	1	A: *poli con carica opposta si attraggono, con carica uguale si respingono*
	4	A1: *cariche opposte si attraggono, cariche uguali si respingono*
	1	A2: *Cariche opposte si attraggono*
	5	B: *poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono*
	2	B1: *Poli opposti si attraggono*
	1	B1*"poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono, ma la forza attrattiva prevale"*
6	2	C: *i due magneti ad una distanza relativamente piccola finiscono per attirarsi con i poli opposti affiancati*
	2	*Il magnete si inclina in modo da far avvicinare uno dei suoi poli al polo opposto.*
	2	*I magneti tendono ad avere come disposizione finale la situazione A*
1	1	non risponde

Tabella 2 : Conclusioni dei ragazzi nella scheda 2 della sequenza.

Come già accennato nella sintesi iniziale, anche se globalmente un buon numero di ragazzi riconosce i due effetti di un magnete su un esploratore, in molte risposte emerge, come nella scuola primaria, il problema della sequenzialità dei due effetti[24]. Infatti la maggior parte[25] dei ragazzi considera la rotazione come il primo effetto che precede l'attrazione (*"Prima di attrarsi si girano con i poli opposti affacciati prima respingendosi", "i due magneti giravano finché i loro poli opposti non sono rivolti l'uno contro l'altro e poi si attraggono","i due magneti giravano finché i loro poli opposti non sono rivolti l'uno contro l'altro e poi si attraggono"*), e in nessun caso riconosce esplicitamente la contemporaneità dei due effetti (l'attrazione e la rotazione).

Questa sequenzialità in alcuni casi (4/12) sfocia in una sequenzialità funzionale nello schema di ragionamento "gira per attaccarsi", che considera la rotazione funzionale all'attrazione (*"in realtà una delle due calamite si "gira" in modo che si verifichi la situazione precedente A (+ e -)", "le due barchette non si attraggono e si girano perché la forza attrattiva prevale e così si attraggono fino a rovesciare le barchette"*).

Nella scheda 3 invece veniva richiesto di esplorare e interpretare il comportamento di una bussola posta sul tavolo a cui viene avvicinato un magnete. Oltre alla difficoltà di riconoscere la bussola come un magnete (evidenziata già nella scheda 1) è piuttosto sorprendente che l'idea dell'attrazione è prevalente a tal punto che i ragazzi non vedono o riconoscono che la bussola gira. Nell'esplorazione (effettuata solo da 12 /21 ragazzi) infatti vi è l'incapacità di riconoscere la rotazione, in alcuni casi viene solo evidenziato un allontanamento ("*La parte rossa dell'ago viene attirata dal magnete quando il magnete è avvicinato con il polo opposto. Quando avvicino il polo uguale dalla parte rossa dell'ago, questa si allontana.*") o viene menzionata la direzione, pero' solo intesa come direzione verso il magnete ("*Entrambe le lancette seguono la direzione che porta al magnete, in modo distinto (cioè non si forma un moto rotatorio). Le lancette vengono attirate e la forza di attrazione riesce a sollevare la bussola, ciò vuol dire che hanno polo opposto*

[24] Nella dinamica il problema della **simultaneità** della rotazione e della traslazione è ben noto in letteratura (si veda Menigaux (1991), Viennot (1996)), e la nota corrispondente in questa tesi nel capitolo 7 (nota 18).

[25] su 21 ragazzi in totale 12 parlano di rotazione e tutti questi 12 evidenziano la sequenzialità. Bisogna osservare però che a livello percettivo sembra che la rotazione avvenga prima della traslazione, anche se i due effetti sono simultanei, sarebbe stato interessante porre ai ragazzi una domanda specifica sulla contemporaneità o non contemporaneità dei due movimenti.

al magnete"). La maggior parte ragiona o in termini di poli (7 casi, "*La parte rossa dell'ago viene attirata dal magnete quando il magnete è avvicinato con il polo opposto. Quando avvicino il polo uguale dalla parte rossa dell'ago, questa si allontana*"), oppure in termini di una forza, sempre unica e di tipo attrattivo, non esplicitando non solo la rotazione ma neanche la presenza dei due poli (5 casi, "*La calamita attrae l'ago della bussola*").

Descrizione			Interpretazione	
7	4	B: Puramente descrittiva: *"La parte rossa dell'ago viene attirata dal magnete quando il magnete è avvicinato con il polo opposto. Quando avvicino il polo uguale dalla parte rossa dell'ago, questa si allontana."* *"Ho osservato che cambiando i poli la lancetta si sposta. Con un polo si attira la parte rossa, mentre cambiando polo la parte rossa ruota"* *"Ho osservato che cambiando i poli la lancetta si sposta. Con un polo viene attirata la parte rossa, con l'altro quella colorata"*	7	A: *Ragionamento in termini di cariche (opposte si attraggono):* *"Se suppongo siano cariche opposte la freccia indicante il nord si sposta verso il magnete esterno, mentre si respingono (e la freccia rossa punta in direzione opposta) se suppongo che le cariche siano uguali. Tutto ciò perché cariche opposte tendono ad attrarsi mentre quelle uguali si respingono""il magnete attrae l'ago della bussola che presenta la carica opposta mentre l'altro viene respinto."* *"Il magnete ad un estremo è positivo, dall'altro è negativo. Quindi con un estremo attira l'ago rosso della bussola, con l'altro estremo attira l'ago incolore."*
	3	B1: "*ci sono due tipologie:* *- da un polo viene attirata la parte della lancetta che segna il sud,* *- dall'altro polo viene attirata la parte della lancetta che segna il nord.* *Quando il magnete non è a contatto direttamente con la bussola oscilla velocemente fino a fermarsi quando il magnete va a contatto con essa."* *"Entrambe le lancette seguono la direzione che porta al magnete, in modo distinto (cioè non si forma un moto rotatorio). Le lancette vengono attirate e la forza di attrazione riesce a sollevare la bussola, ciò vuol dire che hanno polo opposto al magnete"*	1	*A1: esplicita la rotazione:* *"Il magnete attrae l'ago dove è presente la carca opposta. Se lo avvicino alla parte dell'ago con carica uguale l'ago inizia a girare perché viene respinto dal magnete"*
			1	B: *"La parte rossa della lancetta viene attratta dal magnete nella misura in cui il magnete presenta o no la medesima carica. Poli opposti si attraggono e poli uguali si respingono"*
			1	C: "*L'ago è polarizzato e quindi si fa attrarre dal magnete. L'ago è formato da materiale quale ghisa o acciaio o materiale magnetizzato*"
			2	C1: "*Accade che la lancetta venga attirata prima in un senso e poi nell'altro perché, anche dentro la bussola c'è un magnete e perciò anche la lancetta è polarizzata come il magnete utilizzato e vengono attirati o respinti*"
5	3	C: attrazione senza riferimento ai poli: "*La calamita attrae l'ago della bussola*"	9	Non interpretano
	2	C1: attrazione perché lancetta magnetizzata: "*Il magnete attira l'ago della bussola perché l'ago è magnetizzato per trovare il nord magnetico*"		
9	9	Non descrivono		

Tabella 3 : Risposte dei ragazzi alla scheda 3 della sequenza.

Nell'interpretazione della fenomenologia osservata la maggior parte (9 sui 12[26] che forniscono un'interpretazione) adotta un modello implicito assunto fenomenologicamente (poli o cariche opposte si attraggono, uguali si respingono), in particolare 9/21 ragionano in termini di cariche (positive e negative, "*il magnete attrae l'ago della bussola che presenta la carica opposta mentre l'altro viene respinto*", "*Tutto ciò perché cariche opposte tendono ad attrarsi mentre quelle uguali si respingono*") o di poli ("*La parte rossa della lancetta viene attratta dal magnete nella misura in cui il magnete presenta o no la medesima carica. Poli opposti si attraggono e poli uguali si respingono*"), in un solo caso esplicitando anche la rotazione ("*Il magnete attrae l'ago dove è presente la carca opposta. Se lo avvicino alla parte dell'ago con carica uguale l'ago inizia a girare perché viene respinto dal magnete*"), mentre tre menzionano la polarizzazione, anche in questo caso non viene sempre riconosciuta la repulsione, ma ci si focalizza sull'attrazione come uno dei principali effetti: "*L'ago è polarizzato e quindi si fa attrarre dal magnete. L'ago è formato da materiale quale ghisa o acciaio o materiale magnetizzato*".

[26] Infatti 9 non interpretano (si veda tabella 3).

Nel post test : (domanda 3)

Nel post test invece ben 17/19 ragazzi menzionano la rotazione nel descrivere il movimento di un magnete appeso all'avvicinarsi di un altro magnete ("*Il magnete appeso ruota fino a quando presenta il polo opposto a quello dell'altro magnete*"), il che ci permette di affermare che globalmente la proprietà della rotazione è riconosciuta da tutti come caratteristica delle interazioni magnetiche. Nelle giustificazioni tra chi risponde (14/19) c'è un miglioramento rispetto alla sequenza, in quanto solo in 5 si limitano a un ragionamento in termini di poli ("*Il movimento è determinato dal fatto che poli opposti si attraggono, poli uguali si respingono*"), 2 parlano di risultante delle forze, mentre ben 7 parlano di un'azione globale del magnete tenuto in mano su quello appeso in termini di coppia di forza ("*Sul magnete appeso il magnete che tengo in mano esercita una coppia di forze che lo fanno ruotare fino a raggiungere l'equilibrio, ciò avviene quando N e S si incontrano*", *"Il magnete agisce con una coppia di forze, di modo tale da far girare il magnete"*), in un caso richiamando esplicitamente il campo ("*Cariche opposte si attraggono, mentre quelle uguali si respingono. Questo accade perché nel campo magnetico interagisce una coppia di forze ....* ").

Riteniamo importante però osservare che in quest'ultimo caso, anche se viene richiamato correttamente il concetto di campo, affermando che questo interagisce con una coppia di forze, nella specificazione del ragazzo emerge una concezione di coppia di forze non intesa come causa della rotazione e quindi associata a un momento meccanico, ma piuttosto come insieme (o somma[27]) di due forze: "*Cariche opposte si attraggono, mentre quelle uguali si respingono. Questo accade perché nel campo magnetico interagisce una coppia di forze. La forza che agisce su N_1 si somma a quella prodotta da N_2, avendo lo stesso verso (non essendo opposte) il corpo 1 si muove ruotando sul perno che lo tiene vincolato*". Negli altri 6 ragazzi, che parlano di un'azione gloabale del magnete tenuto in mano su quello appeso, invece non emerge esplicitamente questa problematica in quanto fanno riferimento alla coppia di forze come causa della rotazione ("*Il magnete agisce con una coppia di forze, di modo tale da far girare il magnete*", *"la coppia di forze genera una rotazione, con il verso dei due bracci"*, *"La rotazione che avviene è dovuta alla presenza di una coppia di forze"*) o addirittura associano la rotazione direttamente al momento (*"Si tratta di un momento, ovvero di due forze che agiscono e fanno girare il magnete"*).

Osserviamo che il termine "coppia" nel senso comune ha un significato di "essere due", quindi l'uso del termine coppia di forze potrebbe avere un doppio significato per i ragazzi: quello di causa della rotazione (ossia la coppia di forze che genera un momento meccanico), oppure quello di

[27] Non sappiamo se gli studenti intendono somma vettoriale, algebrica o semplicemente un insieme di due forze agenti.

insieme di due forze. A questo problema linguistico si aggiunge l'associazione comune che viene fatta nell'insegnamento e nei libri di testo della forza con la traslazione e della coppia di forze con la rotazione, inoltre i due casi vengono trattati il più delle volte separatamente. Riteniamo invece interessante considerare nell'insegnamento anche esempi di combinazioni di coppie di forze e risultanti non nulle (ossia rotazione e traslazioni), come appunto nel caso di un campo magnetico.

In conclusione per quanto concerne la didattica riteniamo più opportuno, associare il momento (meccanico) alla rotazione; questo permetterebbe non solo di ovviare le problematiche sopra-citate, ma anche di favorire l'introduzione del campo magnetico come proprietà del punto distinta dalla forza (come già ampiamente spiegato in precedenza), attraverso il riconoscimento della specificità dell'interazione magnetica e delle linee di campo magnetico come linee di orientazione.

Ci sembra comunque acquisito il riconoscimento della specificità del comportamento magnetico, che, come già evidenziato, risulta un prerequisito per un successivo passaggio a un ragionamento in termini di campo come funzione del punto.

	Come si muove il magnete appeso?
11	A: *Il magnete appeso ruota fino a quando presenta il polo opposto a quello dell'altro magnete*
1	A1: Rotazione affinchè i poli interagiscano*: "Il magnete appeso compirà una rotazione di modo che il polo sud del magnete interagisca con il polo nord del secondo magnete*"
3	A2: Rotazione per attrazione: *"Il numero 1 si muoverà ruotando in modo da avere i poli opposti dalla stessa parte in modo da attrarsi con il secondo magnete"*
2	A3: Ruota e poi si sposta: *"Il magnete appeso ruoterà fino a che il polo sud non sarà nelle vicinanze di quello nord del magnete (2) e poi si sposterà fino ad unirsi."*
2	B: altro *Man mano che avvicino il 2, si avvicinerà al magnete il lato S dell'1 mentre si allontanerà N Dapprima il magnete 1 si sposterà nella direzione d con velocità v dipendente dalla velocità con cui si avvicina il magnete 2. In un secondo momento il magnete 1 ruoterà oscillando per "attaccarsi" con il polo - a quello + del magnete 2*
	giustifica il comportamento previsto:
7	A: COPPIA DI FORZE: "*Sul magnete appeso il magnete che tengo in mano esercita una coppia di forze che lo fanno ruotare fino a raggiungere l'equilibrio, ciò avviene quando N e S si incontrano"* *"Si tratta di un momento, ovvero di due forze che agiscono e fanno girare il magnete"* *"Il magnete agisce con una coppia di forze, di modo tale da far girare il magnete"* *"la coppia di forze genera una rotazione, con il verso dei due bracci"* *"La rotazione che avviene è dovuta alla presenza di una coppia di forze"* CAMPO + COPPIA DI FORZE (1 caso): "*Cariche opposte si attraggono, mentre quelle uguali si respingono. Questo accade perché nel campo magnetico interagisce una coppia di forze. La forza che agisce su N1 si somma a quella prodorra di N2, avendo lo stesso verso (non essendo opposte) il corpo 1 si muove ruotando sul perno che lo tiene vincolato*"
5	B: RAGIONAM POLI: "*Il movimento è determinato dal fatto che poli opposti si attraggono, poli uguali si respingono*"
1	B1: Il 1° spostamento sarà dovuto alla repulsione tra il m.1 e m.2, secondariamente il vincolo "filo" "obbligherà" il m.1 a ruotare fino a raggiungere l'equilibrio fisico cioè l'immobilità [forza attrattiva]
1	C: Il movimento è la risultante della somma di F1 e F2
5	non risponde

Tabella 4 : Risposte dei ragazzi alla domanda 3 del post test

8.4.2 Rispetto all'ipotesi di ricerca B"

Il ruolo della rappresentazione delle linee di campo:

- ***nel dare una visione globale del concetto di campo, includendo anche il campo gravitazionale in questa categoria (B"1)***
- ***nel distinguere il campo dalla forza, in particolare distinguendo la direzione di partenza dalle linee di campo (B"2)***
- ***nel riconoscere il campo come funzione del punto, superando il ragionamento in termini dei poli (B"3).***

L'ipotesi B" comprende diversi aspetti delle potenzialità delle linee di campo che sono stati analizzati in questa ricerca, alcuni dei quali sono associati anche con l'ipotesi C", e quindi verranno richiamati in quel caso solo per determinare in che modo gli studenti utilizzano i tre elementi C"1, C"2a e C"2b per la caratterizzazione e differenziazione dei campi.

Discutiamo ora i risultati per ogni punto dell'ipotesi B":

- ***La visione globale del concetto di campo, includendo anche il campo gravitazionale in questa categoria (B"1)***

Dalla sequenza (scheda 10) emerge che i ragazzi non considerano il caso gravitazionale come un campo, infatti nessuno mette in evidenza negli aspetti comuni a tutti e tre (gravitazionale, magnetico, elettrico) le linee di campo. Alcune caratteristiche sono riservate solo ai campi magnetico e elettrico, quali le linee di campo (in 8/16[28]), o la necessità di un esploratore per essere rilevati (7/16), come a lasciar intendere che il campo gravitazionale non "abbia" o non sia rappresentabile da linee di campo.

Nel post test invece emerge nettamente la potenzialità della rappresentazione delle linee di campo nella costruzione del concetto stesso di campo come unitario: in generale ben 16/19 parlano di linee di campo come elementi comuni o a tutti e tre i campi (in 2/19) o a due (in 14/19[29]) al campo elettrico e magnetico (4/19 linee di campo simili nel caso del dipolo elettrico e magnetico) oppure a quello gravitazionale e elettrico (11/19 linee di campo radiali, di cui uno studente menziona entrambi i casi).

Osserviamo che molti studenti mettono in evidenza il fatto che i vari campi considerati sono principalmente attrattivi, come nella scuola primaria l'attrazione risulta dominante (anche per il caso elettrico[30]).

---

[28] La scheda 16 è stata realizzata da soli 16 ragazzi.

[29] Dei 14 casi uno studente uno studente menziona entrambi i casi sia elettrico-magnetico, sia elettrico-gravitazionale

[30] Osserviamo che anche nel caso elettrico l'attrazione è dovuta all'induzione elettrica che crea dei dipoli

Vediamo ora in dettaglio l'analisi delle schede della sequenza (10) e delle domande (1,7) del post test che si riferiscono a tale ipotesi (B"1):

Nella sequenza, (scheda 10)

La compilazione della scheda 10 è stat data per casa, quindi i ragazzi hanno avuto modo di consultare dei libri e forse di consultarsi tra di loro. Considerando il fatto che i testi scolastici (e neanche universitari) non propongono normalmente un confronto tra i campi come quello richiesto, riteniamo comunque interessate i risultati e le scelte che i ragazzi hanno compiuto nel selezionare elementi significativi sia per gli aspetti comuni che per le differenze tra i vari tipi di campo proposti (gravitazionale, elettrico e magnetico). Soltanto 16 ragazzi su 22 hanno consegnato la scheda.

Negli aspetti comuni nessun ragazzo mette in evidenza la natura diversa dei vari campi, né viene discussa la natura delle sorgenti (polari o dipolari) del campo (non vengono né identificate, né discusse, soltanto quattro ragazzi menzionano le sorgenti ma solo per affermare che "*nelle vicinanze della sorgente i campi hanno maggiore intensità*"). La metà dei ragazzi considera come aspetti comuni il fatto di essere attrattivi, e ha l'idea che tutti i campi si comportino nello stesso modo rispetto alla distanza, ossia siano della stessa natura ("*dipendono dalla distanza e sono inversamente proporzionali a essa*").

Sembra che solo nel caso dei campi E e B debba esistere un rivelatore di campo (in 3 affermano che *"per misurarli serve una carica di prova che ha la stessa natura*[31] *di ciò che genera il campo*", in 4 che "*entrambi necessitano di un oggetto (o campione) di prova per essere misurati*") e le linee di campo, di cui mettono in risalto l'analogia del dipolo elettrico e magnetico più che le differenze, senza comunque riconoscere le linee di campo gravitazionale (in 8 casi: *"entrambi determinano (hanno) linee di campo", "creano linee di campo che escono dal + e entrano dal –*").

Sempre nel caso E e B emergono alcune idee riportate sui libri, quali il campo come deformazione dello spazio (6 casi) o come rappresentazione di proprietà (o caratteristiche) dello spazio (3 casi). Infine in 7 evidenziano come la fenomenologia sia del campo g che di quello B riguarda la Terra.

Aspetti comuni a tutti e 3		**comuni a solo 2 campi**					
E - B - g		**E - B**		**g - B**		**g - E**	
8	A: sono attrattivi	7	A: *"per misurarli serve una carica di prova che ha la stessa natura di ciò che genera il campo" (3); "entrambi necessitano di un oggetto (o campione) di prova per essere misurati (4)*	7	A: *sono attrattivi*	8	A: *sono attrattivi*
4	B: *nelle vicinanze della sorgente hanno maggiore intensità*	5	B *entrambi determinano (hanno) linee di campo*	7	B *entrambi riguardano (influenzano) il pianeta Terra*	5	B: *compiono lavoro sulla particella*
8	B1: *dipendono dalla distanza e sono inversamente proporzionali a essa*	3	B1*: creazione linee di campo che escono dal + e entrano dal - / dipendono da d*	3	non risponde	1 3	C*: formule delle forze simili (scrivono le formule)*

[31] Ben 7 ragazzi menzionano la **"natura"** dei rilevatori di campo che deve essere la stessa **delle sorgenti**. Quando si parla di "natura" si aprono diverse problematiche: primariamente bisogna definire cosa si intende per natura di una sorgente, se per esempio definiamo le correnti e i magneti come sorgenti analoghe del campo, allora potremmo affermare che hanno la stessa natura? Secondariamente un oggetto può avere più di una "natura" (può avere una massa, possedere una carica, essere magnetizzato o no, ecc..), quindi risulta difficile identificarne una sola.Consideriamo più opportuno parlare di sistemi aventi una o diverse proprietà.

1	C: *individuano proprietà dello spazio inversamente proporzionale alla d*	6	C: *deformano lo spazio*			2	D: *entrambi sono direttamente proporzionali alle masse*
		3	C1: *rappresentano proprietà (caratteristica) dello (dei punti) spazio*			1	E: *una particella sottoposta ad un campo E uniforme e una massa sottoposta a un campo g uniforme risentono di una forza costante nella direzione del campo*
1	D: *generano un campo*	3	*Attrattivi e repulsivi*				
		2	*sono attrattivi*				
		1	*hanno 2 poli*				

Tabella 5: Risposte dei ragazzi alla scheda 10 della sequenza[32].

Nel post test (domanda 1)

Nel post test tra gli aspetti comuni ai 3 campi ben 12/19 menzionano la sorgente (mentre nessuno nella sequenza), 6 la forza attrattiva (in un caso anche quella repulsiva), 5 evidenziano l'interazione della sorgente con i corpi di natura simile o uguale ad essa[33] (*"Interagiscono con un corpo di natura uguale o simile alla sorgente"),* 6 affermano o che i campi sono una deformazione dello spazio (3) oppure che conferiscono una determinata proprietà ai punti dello spazio (3 *"Conferiscono una caratteristica a tutti i punti dello spazio"*, *"Conferiscono una caratteristica a tutti i punti dello spazio. Sono una funzione da R^3 in R^3"*), mentre in due evidenziano le linee di campo anche se di forma diversa (*"tutti e tre hanno linee di campo"*, *"possiedono linee di campo, anche se di forma diversa"*).

Mentre nella sequenza le linee di campo sembrano una caratteristica solo dei campi elettrico e magnetico, nel post test invece emerge nettamente la potenzialità della rappresentazione delle linee di campo nella costruzione del concetto stesso di campo come funzione del punto: globalmente ben 16/19 parlano di linee di campo come elementi comuni o a tutti e tre i campi (in 2 casi) o a due (14/19[24]) al campo elettrico e magnetico (4 casi, *"linee di campo simili nel dipolo e nel magnete*) oppure a quello gravitazionale e elettrico (11 casi, *"Linee di campo entrambi radiali e/o aperte"*).

	Aspetti comuni ai 3 campi : E – B- g
8	A: *dipendono della distanza*
12	B: hanno una sorgente: *" Sono determinati da una sorgente (fonte/ oggetto [1 caso])", "hanno una sorgente" "Serve una sorgente che generi il campo", " tutti e tre sono generati da qualcosa di preciso che può essere un magnete, una carica o una massa.",*
6	C (3): *deformano lo spazio* C1 (2): *determinano una proprietà dello spazio / Conferiscono una caratteristica a tutti i punti dello spazio.* C2 (1) *Conferiscono una caratteristica a tutti i punti dello spazio. Sono una funzione da R^3 in R^3*
6	D (5): *sono attrattivi / attrazione / hanno forza di attrazione* D1 (1): *esprimono una forza attrattiva o repulsiva fra i corpi*
5	E: interagiscono con un corpo di natura simile: *"Interagiscono con un corpo di natura uguale o simile alla sorgente"*
2	F: *"Tutti e tre hanno linee di campo" "possiedono linee di campo, anche se di forma diversa"*

Aspetti comuni a solo 2 campi					
E - B		**g - B**		**g - E**	
14	A: *sono attrattivi (o repulsivi) / hanno forza attrattiva e repulsiva*	11	A: *entrambi attrattivi / hanno forze attrattive*	9	A*: sono attrattivi / hanno una forza attrattiva*
1	A1; *entrambi si attraggono e si respingono*	2	A1 *hanno una forza attrattiva*	9	B: *hanno le formule simili*
1	B*: si può individuare un dipolo elettrico*	2	B: *riguardano entrambi la Terra*	11	C: *Linee di campo entrambi radiali / aperte*
~~2~~	~~C *linee di campo simili nel dipolo e nel*~~			~~4~~	~~D: *Sono campi centrali / hanno un*~~

[32] Ogni ragazzo poteva fornire più di una risposta, quindi il numero totale delle risposte è superiore al numero dei ragazzi che hanno consegnato la scheda (16)

[33] Nella sequenza andava puntualizzato che un corpo può avere nature diverse, come possedere una massa e una carica.

	magnete			*campo radiale*
2	C1: *hanno le stesse linee di campo*			
3	D: *il dipolo si comporta come il magnete*			

Tabella 6: Risposte dei ragazzi alla domanda 1 del post test[34].

Nella domanda 7 del post test in cui si chiedeva di indicare uguaglianze e differenze tra il dipolo elettrico e quello magnetico (Tabella 7), ben 16/19 ("*l'andamento delle linee di campo è simile*", "*Entrambi i campi hanno le linee di campo di forma quasi concentrica (curve)*", "*Le linee escono da una carica positiva (N) ed entrano in una negativa*") utilizzano le linee di campo per evidenziarne le uguaglianze, mentre 10/19 (6 dei 19 non rispondono) per le differenze ("*nel magnete all'interno si inverte il verso (S --> N) mentre nel dipolo no, cioè rimane N --> S*", "*linee di campo del magnete sono continue quelle del dipolo no*").

Durante la sequenza si è messa in risalto la differenza delle linee di campo nei due casi (nel dipolo elettrico il verso è sempre dalla carica positiva aquella negativa, mentre in quello magnetico all'interno del magnete il verso è invertito, ossia da sud a nord), e le linee di campo sono state utilizzate come strumento interpretativo: per esempio nel caso del dipolo magnetico per quanto riguarda la non separabilità delle cariche e la determinazione del flusso attraverso una qualunque superficie chiusa (che risulta sempre nullo). Dai disegno dei ragazzi sembra acquisita questa distinzione, infatti una buona parte dei ragazzi ha evidenziato questo aspetto o nei commenti o nei disegni (si veda figura 1).

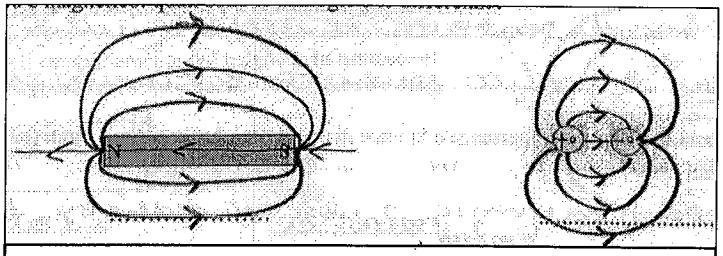


Figura 1: Le linee di campo del dipolo magnetico e elettrico in cui viene evidenziato il verso differente all'interno del magnete.

UGUAGLIANZE tra dipolo elettrico e magnetico	
16	A: Linee di campo: - (8 casi) "*l'andamento delle linee di campo è simile*" " *Entrambi i campi hanno le linee di campo di forma quasi concentrica (curve)*" - (8 casi) "*Le linee escono da una carica positiva (N) ed entrano in una negativa*"
1	B: *Entrambi sono sia attrattivi che repulsivi*
1	C: *Sono tutti e due dei campi chiusi*
2	Non risponde
DIFFERENZE tra dipolo elettrico e magnetico	
10	A: linee di campo: - (4 casi) "*nel magnete all'interno si inverte il verso (S --> N) mentre nel dipolo no, cioè rimane N --> S.*" - (5 casi) "*linee di campo del magnete sono continue quelle del dipolo no*" - (1 caso) "*Le linee di campo del dipolo magnetico sono ricurve, chiuse e infinite*[35]*. Le line di campo del dipolo elettrico sono radiali*"
1	B: *Nel primo caso ho un campo elettrico all'interno del dipolo, nel secondo caso no. Nel primo caso il flusso continuerà all'infinito nel secondo caso il flusso continuerà fino a quando non otterrò una situazione di stabilità.*
2	C : *poli non separabili, cariche separabile: "se separo le cariche (disegna le linee), se rompo il magnete (disegna le linee) i poli si riformano."*
6	Non risponde

Tabella 7 risposte dei ragazzi alla domanda 7 del post test

[34] Come nella scheda analoga della sequenza, anche in qesta domanda ogni ragazzo poteva fornire più di una risposta, quindi il numero totale delle risposte è superiore al numero totale dei ragazzi (19)

[35] Sarebbe interessate sapere cosa lo studente intedeva per "infinite" se nel sendo di infinite in numero oppure che non finiscono mai.

- ***La distinzione tra il campo e la forza, in particolare tra la direzione di partenza le linee di campo (B''2)***

  La distinzione tra la linea di partenza e la linea di campo magnetico è stata trattata nella scheda 9 della sequenza e nella domanda 4 del post test.

  Nella sequenza è emersa come determinante la concezione delle linee di campo come "piste" (già riscontrate nella scuola elementare) lungo le quali avviene il movimento, in 13/21 alunni affermano, su esplicita domanda, che le linee di campo coincidono con le linee di partenza, mentre solo 2 considerano la risultante delle forze nella loro previsione (anche se tengono conto di solo due delle quattro forze coinvolte). Nel post test la situazione è capovolta, nel senso che 17/19 hanno ben assimilato tale differenza e soltanto in un caso viene prevista la linea di partenza coincidente alla linea di campo, mentre 10/19 prevedono la direzione corretta (seppur considerando sempre solo due dei quattro contributi[36]).

Vediamo ora in dettaglio l'analisi delle schede della sequenza (9) e delle domande (4) del post test che si riferiscono a tale ipotesi (B"2):

Nella sequenza (scheda 9):

Globalmente (tabella 8) la maggior parte dei ragazzi (13/21) afferma che le linee di campo coincidono con le linee di partenza[37] e con la traiettoria *("si muovono lungo le linee di campo", "Se la pallina viene lasciata libera di muoversi, verrà attratta verso i capi del magnete lungo la "sua" linea di campo"*). C'è chi afferma esplicitamente che le linee di campo sono linee "di attrazione" dei poli[38], giustificando l'identificazione delle traiettorie con le linee di campo con il fatto che tra due linee di campo il campo non c'è : *"sì perché gli oggetti attratti sono attratti dai poli lungo le linee di campo magnetico, tra queste il campo non è presente e quindi il ferromagnetico non si muove in questi punti".*

Sette casi su 21 affermano invece che non coincidono con le linee di campo, però soltanto 3 giustificano le loro affermazioni in modo coerente: uno richiama il caso della pallina A (*"No perché per esempio in A secondo me viene attratta nel centro del magnete"*) e altri due evidenziano le

[36] Ricordiamo che anche se non è corretto parlare di "forze dei singoli poli", il ragionamento adottato dai ragazzi è quello di contributo dei singoli poli. In questo caso però vengono considerate le interazioni solo tra i poli più vicini, questo può esser ricondotto a un ragionamento che predilige la "**fenomenologia più vicina**" (ossia che considera solo l'interazione dei poli più vicini), oppure quella "**più evidente**" (l'attrazione tra poli opposti), si veda a questo proposito il paragrafo 8.4.5

[37] Un ulteriore caso (oltre ai 13 menzionati) considerata invece la distanza come fattore determinante per le traiettorie coincidenti o no con le linee di campo: "*dipende dalla distanza della pallina, se essa è più vicina al magnete, segue le linee di campo, se invece è lontana si muove direttamente verso il polo".*

[38] Questa concezione ci ricorda l'idea di Faraday delle linee di campo come oggetto fisico dove scorre il campo.

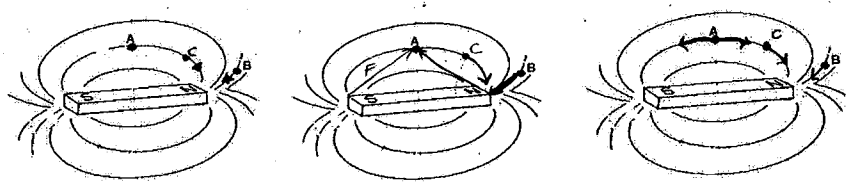
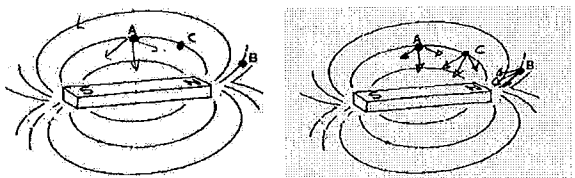
traiettorie distinte dalle linee di campo (risultano rettilinee); mentre gli altri o non giustificano la loro risposta (2) oppure si contraddicono (2) rispetto alle precedenti previsioni[39].

Le linee di campo coincidono con la linea di partenza?	
A: *sì / sì si muovono lungo le linee di campo*	13
B: *no*	3
B1: *no perché prende la via più diretta*	2
B2: *non coincidono per i punti B e C ma per il punto A dovrebbe accadere*	2
C: *dipende dalla distanza della pallina, se essa è più vicina al magnete, segue le linee di campo, se invece è lontana si muove direttamente verso il polo*	1

Tabella 8: Risposte dei ragazzi alla scehda 9 della sequenza.

Dall'analisi dei disegni dei ragazzi (tabella 9) emergono quattro tipologie di risposte, tra cui la più presente è la prima, a conferma di quanto detto precedentemente:

1. le **linee di campo come piste di movimento** (10/21): considera la pallina A ferma perché è in equilibrio (a volte sono evidenziate le forze uguali o lungo le linee di campo o verso i poli), mentre le palline B e C si muovono lungo le linee di campo
2. il **magnete senza poli** (2 casi): prevede correttamente che la pallina si muova verso il centro del magnete, ma è un "andare verso il magnete come un tutt'uno", ossia viene disegnata un'unica freccia, sembra quasi negando (o non considerando il ruolo dei poli); le B e C si muovono ma non lungo le linee.
3. la direzione di partenza è la **direzione di congiunzione con il polo più vicino** (2 casi): in questo caso la pallina A al centro sta ferma, mentre le palline C e B vanno verso il polo più vicino (non lungo le linee).
4. la **direzione di partenza è determinata dalla risultante delle forze agenti** (2 casi), anche se vengono evidenziate solo due della quattro forze coinvolte.

		Disegni
10	C: **linee di campo come "piste" di movimento:** A ferma, B e C si muovono lungo le linee di campo (1 caso): evidenzia il movimento di A, B e C lungo le linee di campo (A sta ferma perché è in equilibrio, a volte sono evidenziate le forze uguali o lungo le linee di campo o verso i poli)	 Figura 1 Figura 1 Figura 1
2	A: evidenzia due delle quattro forze (le forze "principali") le cui risultanti non coincidono con le linee di campo	 Figura 1 Figura 1

[39] *"non coincidono per i punti B e C ma per il punto A dovrebbe accadere"* (quando invece avevano previsto che in A sta ferma e in B e C si muove lungo la linea di campo).

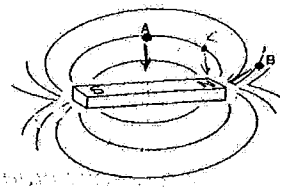
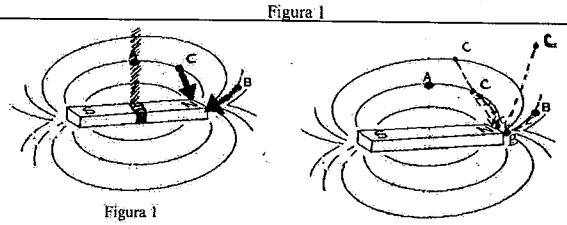
2	B: **il magnete senza poli** "la pallina va verso il magnete come un tutt'uno" (nega il ruolo dei poli) evidenzia le direzioni di partenza (in A perpendicolare alla linea, B e C non lungo le linee)	 Figura 1
2	D: la direzione di partenza è la **direzione di congiunzione con il polo più vicino:** A al centro sta ferma, C e B verso i poli (no linee, oppure misto)	 Figura 1
5	nessun disegno	

Tabella 9: Disegni e previsioni dei ragazzi nella scheda 9 della sequenza.

Infine anche nelle previsioni scritte relative a ogni singola pallina (tabella 10) si riscontrano risultati analoghi, in particolare per le palline B e C, dove emrerge l'identificazione delle linee di campo con le linee di partenza e le traiettorie, rispettivamente in 11 e 10 casi.

Il caso della pallina A merita invece di essere analizzato in modo più approfondito per i risultati emersi sia rispetto alla concezione delle linee di campo, sia rispetto alla relazione tra la linea di partenza e la risultante delle forze che alcuni ragazzi (5) notano spontaneamente. La maggior parte dei ragazzi (15/21) prevede che la pallina A stia ferma, in quanto è in equilibrio e sull'asse di simmetria del magnete (*"sta ferma se è esattamente sull'asse di simmetria del magnete, altrimenti si sposta verso il polo più vicino", "sta ferma (viene attratta nello stesso modo)", " la risultante è nulla"*). Nelle giustificazioni si osserva principalmente delle difficoltà nell'eseguire la somma vettoriale di due vettori e l'idea che le linee di campo sono sempre linee di forza:

1. **difficoltà nella somma di vettori** (la somma di due vettori di modulo uguale non è nulla se la direzione non è la stessa e il verso non è opposto): essendo la pallina equidistante dai poli i contributi di entrambi saranno uguali (Fig. 2), quindi la risultante è nulla (*"la pallina A rimane ferma in quanto è attratta in maniera identica da S a N trovandosi alla stessa distanza sa entrambi i poli", "la pallina rimane ferma, perché è situata a metà del magnete perché le forze di attrazione dei due poli sono uguali e si annullano"*);

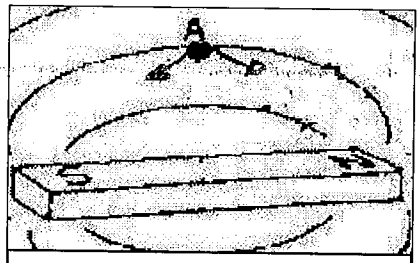


Figura 2: la somma dei contributi dei due poli secondo una parte dei ragazzi è nulla.

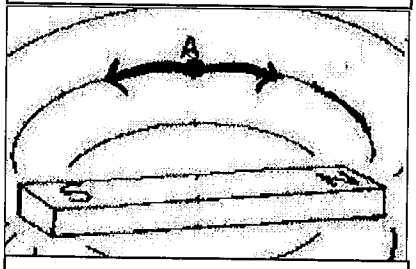


Figura 3: la pallina in A sta ferma perché è "tirata" da due forze opposte e contrarie lungo la linea di campo (concezione linee di campo come linee di forza).

2. **le linee di campo sono considerate come linee di forza,** quindi le forze generate da ogni polo sono uguali e opposte e lungo le linee (Fig. 3), senza tener conto della componente verticale (*"secondo me la pallina sta ferma perché si trova nel punto medio e le forze esercitate*

dai due poli sono uguali ed opposte e la loro risultante è zero", "*rimane ferma se è esattamente posta centralmente, altrimenti sarà attratta lungo la linea di campo su cui è posta, verso nord o verso sud, a seconda di quale è più vicino*", *"La pallina segue l'orientamento delle linee, se è a metà resta ferma, altrimenti si avvicina al polo più vicino sempre seguendo le linee".)*

D'altra parte ben 5 ragazzi affermano correttamente che la pallina viene attratta verso il centro, qualcuno anche evidenziano le forze[40] chiamate in gioco e la loro risultante che non è nulla. In realtà uno solo parla esplicitamente di forze, la cui risultante determina la direzione di partenza (accelerazione) ("*viene attirata nel centro del magnete perché è attratta sia da S che da N e la risultante da una forza verso il centro.*"), mentre gli altri quattro non esplicitano la relazione tra la direzione di partenza e la risultante delle forze agenti, descrivendo prima un moto verso il centro del magnete, poi verso i poli ("*si muove verso il centro del magnete perpendicolare al magnete, poi viene attratta da un polo o dall'altro a seconda che sia più vicino a uno o all'altro*", "*perpendicolare al magnete, poi viene attratta da un polo o dall'altro a seconda che sia più vicino a uno o all'altro*", *"la pallina parte dal polo nord verso quello sud, viene attirata verso centro del magnete, in seguito potrebbe scorrere verso uno dei due poli del magnete, in questo caso verso quello sud*").

Qual è la direzione di partenza delle palline?					
Pallina in A		**Pallina in B**		**Pallina in C**	
5	A: Previsione della direzione corretta (4) *"si muove verso il centro del magnete perpendicolare al magnete, poi viene attratta da un polo o dall'altro a seconda che sia più vicino a uno o all'altro"* *(1) "viene attirata nel centro del magnete perché è attratta sia da S che da N e la risultante da una forza verso il centro."*	8	A *si muove verso / viene attirata dal polo N*	6	A: *si muove verso il nord*
				10	A1: *si muove verso il polo N seguendo le linee di campo*
15	B: *sta ferma (viene attratta nello stesso modo) / la risultante è nulla*	11	A1: *si muove verso il polo N seguendo le linee di campo*	1	B: misto (*a volte segue le linee di campo a volte no*)
1	C: *la pallina sta ferma, perché essendo ferromagnetica, viene attratta allo steso modo dal polo S e da quello N, trovandosi quindi in una situazione di equilibrio e viene attratta verso il centro del magnete in quanto viene mantenuta al centro perché le forze sono contrarie e scende finché sono opposte*	1	A2: *viene attirata verso il polo N* (nel disegno evidenzia le forze)	1	C: *si muove verso il centro del magnete*
		1	B. *si comporta come A*	3	nessuna risposta

Tabella 10: Previsioni dei ragazzi nella 9 della sequenza.

<u>Nel post test</u> (domanda 4):

Rispetto alla scheda analoga svolta durante il percorso in classe (dove si era evidenziata un alta percentuale di errore (13/21) nell'identificare la forza, o linea di partenza, con il campo), nel post test soltanto in un caso viene identificata la linea di campo con la linea di partenza (caso C), e su esplicita domanda se esse coincidano anche in questo caso uno solo afferma di sì (lo stesso ragazzo

[40] La risposta, come già evidenziato precedentemente, non può essere considerata completamente corretta, in quanto vengono prese in considerazione solo due delle 4 forze agenti, però la direzione prevista risulta corretta.

del disegno C) e in altro caso invece la risposta non è identificabile con precisione avendo il ragazzo barrato le due caselle (si e no).

Dall'analisi dei disegni (tabella 11) emerge comunque che tutti i ragazzi considerano solo due dei quattro contributi di ogni polo[41], senza evidenziare in nessun caso che esse sono a loro volta la somma di due contributi[42].

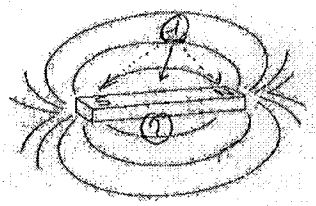
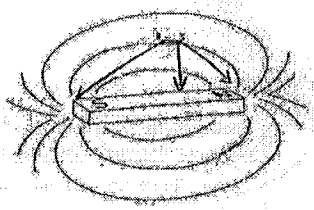
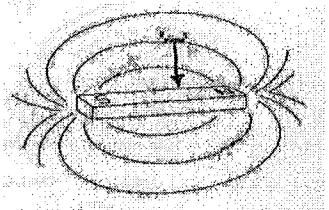
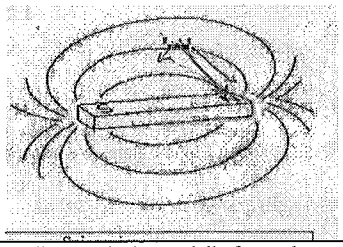
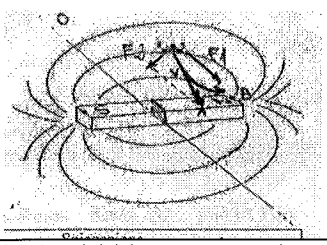
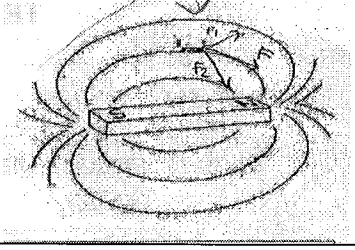
Previsioni della linea di partenza del magnetico disposto come in figura		
		
A: disegna risultante delle forze che va verso il magnete (7)		A1 un'unica linea verso magnete (3)
		
B: disegna risultante delle forze che va verso il polo N del magnete (4)	B1 direzione iniziale corretta, ma poi segue la linea di campo(1)	C: coincide con linea di campo (1)
nessun disegno (3)		

Tabella 11: Disegni dei ragazzi nella domanda 4 del post test.

Anche nelle previsioni viene riconfermato tale risultato, ossia solo due ragazzi prevedono il movimento lungo la linea di campo, mentre tutti gli altri affermano che si muoverà o verso il magnete (9, *"il magnete 1 si sposta verso il magnete grande 2 seguendo una linea retta"*, di cui quattro fanno riferimento a una "caduta" perpendicolare del magnetino sul magnete), o prima verso il centro e poi verso il polo N (5,*"Il piccolo magnete tenderà a seguire una linea quasi perpendicolare al magnete spostandosi verso il polo N fino a raggiungerlo e quando sarà vicino a questo il suo polo S si attaccherà al N e il N punterà verso l'esterno"*).

Nelle spiegazioni (tabella 12) invece emerge la problematica sottolineata nella discussione dell'ipotesi A" rispetto al termine "coppia"[43], alla somma o alla "risultante" di due forze. Dalle risposte dei ragazzi non vi è la completa comprensione di che cosa causa l'attrazione (o il moto incipiente) e cosa la rotazione[44].

[41] Nel modello interpretativo in termini di contributi di ogni polo i contributi risultano quattro (anche se questo è un modello parziale).

[42] Come già menzionato questo può ricondurci alla considerazione la fenomenologia più vicina (nord-Sud e sud-Nord) o più evidente come quella predominante (si veda paragrafo 8.4.5).

[43] È stato già osservato il doppio senso di coppia: nel senso della fisica come causa della rotazione, e nel senso comune di "essere due".

[44] Come spiegato nel capitolo 3 nel caso del campo magnetico si ha una combinazione di rotazione (dovuta a una coppia di forze) e traslazione (dovuta a una risultante totale non nulla che causa lo spostamento del magnete piccolo).

Alcuni infatti parlano di una coppia di forze che si sommano e formano una forza totale verso un polo (*"Il motivo è che sul magnetino agisce una coppia di forze, che sommandosi forma una forza verso il polo N, dato che è più vicino al polo N e di conseguenza la forza di attrazione è maggiore."*), altri parlano di somme delle forze dei singoli poli, a volte intese solo come forze attrattive[45] (*"Il magnetino si muove sulla traiettoria della linea di campo sotto la spinta delle forze F1+F2=F", "Praticamente il magnete segue la direzione della freccia che è la sommatoria tra la forza attrativa dei due poli*"), infine altri parlano di "combinazione" di forze (*"Lo spostamento è dato dalla combinazione[46] delle forze che attraggono il N del amgnete piccolo al S del grande e il S del piccolo al N del grande"*).

Globalmente comunque 5 parlano di "somma" di forze, 1 di "combinazione", 6 di "risultante" delle forze (*"Il magnete si muove lungo la risultante delle 2 forze che i poli del magnete potente esercitano su quelli di quello piccolo"*), mentre 5 considerano un'azione delle forze magnetiche in generale ("*Le forze provocate da S e da N faranno sì che il magnete cada vicino ad N perché acune forze si annulleranno*") o un'azione totale del magnete, intesa sempre e solo come forze attrattive (*"il polo nord del magnetino viene attratto dal polo sud di quello più grande, e il polo sud del piccolo magnete viene attratto dal polo N di quello più grand. In questo modo le forze attrattive lo attraggono a tal punto da farlo "attaccare" al magnete, creando poi l'equilibrio"*).

		Spiegazioni
5	somma delle Forze	(4) Somma delle forze attrattive: *"Il magnetino si muove sulla traiettoria della linea di campo sotto la spinta delle forze F1+F2=F"* *"Praticamente il magnete segue la direzione della freccia che è la sommatoria tra la forza attrativa dei due poli"*
		(1) somma Forze + coppia: *"Il motivo è che sul magnetino agisce una coppia di forze, che sommandosi forma una forza verso il polo N, dato che è più vicino al polo N e di conseguenza la forza di attrazione è maggiore."*
1	combinazione di Forze	*"Lo spostamento è dato dalla combinazione delle forze che attraggono il N del amgnete piccolo al S del grande e il S del piccolo al N del grande"*
6	Risultante delle Forze	(5) *"Il magnete si muove lungo la risultante delle 2 forze che i poli del magnete potente esercitano su quelli di quello piccolo", "Questo accade perchè esso si muove lungo la risultante delle forze esercitate da S2 su N1 e da N2 su S1."* *"La forza risultante spinge m prima verso M e poi verso N di M a causa dell'attrazione magnetica"*
		(1) Risultante Forze + coppia: *Ciò avviene perché le forze esercitate sul piccolo magnete sono diverse, perciò non può eseguire una traiettoria perpendicolare al magnete grande. Il magnetino è più attirato verso il polo a cui è più vicino e raggiungendolo, la coppia di forze lo fa disporre in modo che il polo S si congiunga con N*
5	Azione attrattiva del magnete / Forze	" (magnete M attira m/ forze dei poli): *"Il magnete (che è sia attrattivo che repulsivo), attira il magnetino piccolo verso il polo a lui opposto", "il polo nord del magnetino viene attratto dal polo sud di quello più grande, e il polo sud del piccolo magnete viene attratto dal polo N di quello più grand. In questo modo le forze attrattive lo attraggono a tal punto da farlo "attaccare" al amgnete, creando poi l'equilibrio"*
		(le forze fanno cadere il magnetino): *"Le forze provocate da S e da N faranno sì che il magnete cada vicino ad N perché acune forze si annulleranno"*
2	Non risponde	

Tabella 12 Motivazioni dei ragazzi rispetto alla direzione di partenza del magnetino nella domanda 4 (post test)

Campo MAGNETICO: La direzione di partenza coincide con la linea di campo?		
No : 17	Sì : 1	Si e no: 1
Spiega:		
7	A: *"No, la direzione di partenza segue la forza risultante, derivata dalle 2 forze d'attrazione"* *"la risultante delle forze non giace sulla linea di campo"*	
3	A1: cade perpendicolarmente.: *non coincide con la linea di campo perché il magnete cade perpendicolare sul magnete grande a causa delle forze tra i poli opposti dei magneti*	
2	A2: coppia di forze.: *perché sul magnetino agisce una coppia di forze di conseguenza non segue esattamente la linea di campo*	

[45] Anche in questo caso sembra che si ponga l'attenzione alla fenomenologia "più evidente", quella attrattiva (si veda paragrafo 8.4.5).

[46] Sarebbe stato interessante chiedere agli studenti cosa intendono per "combinazione" o "somma" di due forze.

2	A3: Forze: *"perché ci sono 2 forze che sono opposte nella direzione", "Il movimento del magnete non avverrà lungo le linee di campo, perché le forze che agiscono su di lui, lo fanno muovere attraverso queste"*
2	B: Rimane sul piano descrittivo: *"Perché prima il magnete scende verso il basso, ruota e si attracca lungo la linea orizzontale del magnete grosso", "viene attratto in un primo momento perpendicolarmente all'altro magnete"*
3	non risponde

Tabella 13: Spiegazioni dei ragazzi nella domanda 4 del post test.

Quale informazioni ci forniscono le linee di campo e quali la direzione di partenza?

Nel post test è stato richiesto ai ragazzi di indicare quali informazioni ci forniscono le linee di campo e la direzione di partenza nel caso magnetico e gravitazionale e di confrontare i due casi.

I risultati più interessanti sono giunti dal confronto e dall'analisi del caso magnetico, in quanto nel caso gravitazionale siccome le due direzioni coincidono, i ragazzi non hanno visto il motivo di differenziarle.

Nel caso magnetico dei 17 ragazzi che hanno risposto alla domanda, la maggior parte (12) associano le linee di campo al campo e non alla forze, affermando che queste ci indicano o la presenza del campo e la sua natura (2, *"Le linee di campo ci dicono che c'è un campo e ci dicono anche di che natura è il campo"*), o la direzione dello stesso e il modo in cui esso si dispone (5, *"La direzione che prendono le linee e il modo in cui il campo si dispone, bisogna però non limitarsi al disegno perché queste sono infinite"; "ci indica la direzione del campo magnetico"*, di cui un caso parla di direzione del "flusso del campo"), o la direzione dell'esploratore (2, *"Le linee di campo caratterizzano tutti i punti dello spazio determinando la direzione in cui si dispongono i piccoli magneti (tangente alla linea)"*), oppure l'intensità del campo (3, *"Ci danno delle informazioni su quanto il campo è intenso, poiché le linee sono proporzionali all'intensità del campo").*

Solo quattro ragazzi invece fanno riferimento alla forza dichiarando che le linee di campo ci danno la forza attrattiva o la direzione del polo attrattivo (*"Ci danno la forza attrattiva che il magnete esercita in quel punto"*), mentre in un caso emerge il modello delle linee di campo "piste" (*"Ci forniscono l'intensità del campo e il percorso secondo cui attira o respinge"*), osserviamo che emerge in alcuni casi l'idea del campo come relazione[47].

	Quale informazioni ci danno le LINEE DI CAMPO?
2	A: PRESENZA DI UN CAMPO: *"Le linee di campo ci dicono che c'è un campo e ci dicono anche di che natura è il campo"*
4	A1: DIREZ. DEL CAMPO *"La direzione che prendono le linee e il modo in cui il campo si dispone, bisogna però non limitarsi al disegno perché queste sono infinite" "ci indica la direzione del campo magnetico"*
1	A1.1: DIREZ. DEL FLUSSO DEL CAMPO : *"Le linee di campo ci dicono quale direzione e quale verso segue il flusso del campo"*
2	A1.2:DIREZ. DELL'ESPLORATORE: *"Le linee di campo caratterizzano tutti i punti dello spazio determinando la direzione in cui si dispongono i piccoli magneti (tangente alla linea)"*
3	A3: INTENSITA' DEL CAMPO *"Ci danno delle informazioni su quanto il campo è intenso, poiché le linee sono proporzionali all'intensità del campo"*
4	B: FORZA: *"Ci danno la forza attrattiva che il magnete esercita in quel punto"* (1 caso): *"in che direzione c'è un polo attrattivo"*
1	Linee di campo "piste":*"Ci forniscono l'intensità del campo e il percorso secondo cui attira o respinge"*
2	non risponde

Tabella 14: Significato delle linee di campo magnetico secondo i ragazzi (domanda 4 del post test).

[47] *"La linea che tende seguire l'oggetto entrato in relazione con il magnete", "Sì, perché le linee di campo convergono tutte al centro della Terra, e non essendoci un altro corpo che possegga un'altra carica il corpo che entra in relazione con la Terra è attratto dalla sola forza gravitazionale della Terra", "L'intensità, direzione di percorrenza dell'oggetto che entra in relazione".*

A conferma dell'acquisita distinzione tra linea di partenza e linee di campo magnetico, soltanto due ragazzi le identificano, mentre gli altri giustificano tale distinzione in base alla risultante delle forze (4: *"La risultante delle varie forze (magnetiche) che agiscono su quell'oggetto"*), o alla direzione del movimento (7: *"la direzione secondo la quale si muove il mio magnete, che non coincide con le linee di campo"*), o alla distanza dai poli (5: *"Ci indica solo la vicinanza o la lontananza rispetto ad un polo o all'altro"*), oppure alla posizione (5*"La linea di partenza ci descrive la posizione del ferromagnete all'interno del flusso di campo ci può indicare l'intensità delle forze "*).

	Quali informazioni ci da la DIREZ DI PART?
4	A: La risultante delle forze: *"La risultante delle varie forze (magnetiche) che agiscono su quell'oggetto"*
7	B: la direzione del movimento /traiettoria: *la direzione secondo la quale si muove il mio magnete, che non coincide con le linee di campo* *"La linea di partenza di un oggetto ci indica la direzione con cui cade il magnete piccolo su quello grande"* (1 caso)
2	C:linee di campo = linea di partenza: *"com'è disposta la linea di campo"*
5	D:La vicinanza o lontanza dai poli *"Se è più vicino a un polo o all'altro e se i poli sono dallo stesso lato o dal lato opposto"* *"Ci indica solo la vicinanza o la lontananza rispetto ad un polo o all'altro"*
2	E: La posizione: *"La linea di partenza ci descrive la posizione del ferromagnete all'interno del flusso di campo ci può indicare l'intensità delle forze ", "(perché risultante di 2 F ben precise, escludendo altre interazioni), in questo caso (N,S) e quindi la posizione dell'oggetto considerato in relazione a tutte le forze."*

Tabella 15: Spiegazioni dei ragazzi nella domanda 4 del post test (un ragazzo fornisce due spiegazioni B e D)

Per quanto riguarda il caso del campo gravitazionale (domanda 5 del post test), quasi tutti (16/19) riconoscono che coincidono, motivandolo o con la forma radiale delle linee di campo (7, *"Sì, perché le linee di campo gravitazionale sono radiali e la massa segue sempre la stessa direzione nella caduta"*), o con il fatto che agisce una sola forza (2, *"sì perché in questo caso agisce una sola forza")*, oppure a causa della natura della forza gravitazionale (l'attrazione è verso il centro della Terra), senza fornire un'interpretazione (6, *"Sì la massa viene attratta dal centro della Terra").*

	Campo gravitazionale: La direzione di partenza coincide con la linea di campo?	
	No : 3	Sì : 16
	Spiega:	
7	A: linee di campo radiali: *"Sì, perché le linee di campo gravitazionale sono radiali e la massa segue sempre la stessa direzione nella caduta"* *"Sì, è la stessa della linea di campo, perché la massa che induce il campo gravitazionale si può considerare puntiforme e tutti i corpi vengono attirati a questa lungo le linee di campo"*	
2	B: agisce una sola forza: *"sì perché in questo caso agisce una sola forza"*	
7	C: solo descrittivo non fornisce un'interpretazione: (1) attrazione verso il centro della Terra: *"Sì la massa viene attratta dal centro della Terra"* *(1) "Sì perché la Terra si muove e l'oggetto tende a seguire una linea parabolica anche le linee di campo alla fine ruotano con la Terra. La "differenza quindi è minima.*	
3	B: No la direz non e' la stessa: (1) *"La direzione di partenza del moto di caduta non è la stessa della linea di campo"* (1) disegna le linee di campo magnetico terrestre: *"No, perché la direzione sarà rappresentata da una retta, non da una curva. Inoltre la forza "magnetica" terrestre è notevolmente minore rispetto a quella gravitazionale"* (1) direzione è opposta: *"è opposta perché la massa sarà attratta a Terra (sempre che non sia troppo distante da terra) mentre il campo gravitazionale va dal lato opposto (disegna le linee di campo uscenti)"*	

Tabella 16: risposte dei ragazzi sul significato della linea di partenza e delle linee di campo gravitazionali.

Proprio perché in questo caso la linea di partenza e la linea di campo coincidono, i ragazzi non vedono lo scopo di differenziare il loro significato fisico, ecco quindi che nelle domande specifiche su quali informazioni ci danno entrambe la maggior parte dei ragazzi tende a dare la stessa risposta, o ad affermare che siccome coincidono indicano la stessa cosa (*"La linea di partenza ci indica la stessa cosa che ci indicano le linee di campo"; "La linea di partenza ci indica una delle infinite linee di campo generate dal campo gravitazionale*").

Comunque in generale non identificando le linee di campo con il campo (accelerazione) e la direzione di partenza con la forza, bisogna anche osservare che nella sequenza ci si è soffermati maggiormente sul campo magnetico e non è stato trattato specificamente il campo gravitazionale, quindi è presente la ben nota confusione tra i concetti di forza, campo e accelerazione gravitazionale.

	Quale informazioni ci danno le LINEE DI CAMPO?
8	A: Direzione del campo (3) *"La direzione del campo"* (4) La direzione dell'atrazione: *"La direzione in cui il campo gravitazionale esercita l'attrazione, e sapendo che la Terra attrae e basta, conosciamo anche il verso"* (1)*" intensità del campo (proporzionale al numero di linee)"*
10	B: l'effetto: lìla traiettoria, il tipo di moto, la caduta: (6) *"Ci danno l'indicazione della "linea" lungo la quale un elemento dovrebbe muoversi se non ci fossero altri magneti nelle vicinanze", "la traiettoria della massa iniziale"* (4)*" il tipo di moto di caduta che avrà il corpo"*
2	C: Altro : *"la direzione dei corpi" / "il campo magnetico terrestre (N,S)"*
	Quali informazioni ci da la DIREZ DI PART?
5	A: *"La direzione del campo" "La direzione della linea di campo"*
3	B: direzione di attrazione: *"la direzione in cui viene attratta la massa"* LA FORZA DI ATTRAZ. : "La forza da cui è attratta"
5	C: effetti: la linea o direzione del moto, di caduta: (4) *"la direzione secondo la quale si muove la mia massa"* *"La linea attraverso la quale si muove la massa (in questo caso la linea di campo)"* (1) la caduta: *" il tipo di moto di caduta che avrà il corpo"*
2	B2: LA POSIZIONE: *"il punto in cui la massa è posta"*
3	C: linee di campo e di partenza coincidono e dicono la stessa cosa: *"La stessa cosa che ci indicano le linee di campo"; "La linea di partenza ci indica una delle infinite linee di campo generate dal campo gravitazionale"*

Tabella 17: risposte dei ragazzi sul significato della linea di partenza e delle linee di campo gravitazionali (post test domanda 5).

Dal confronto tra i due campi (tabella 18) invece ben 9/18 forniscono un'interpretazione di cui 6 in base alla forma delle linee di campo (che sono o radiali o "ricurve": *"Nel campo magnetico le linee sono ricurve, nell'altro radiale. Nel primo caso direzione di partenza e linea di campo non coincidono, nel secondo sì perché le linee sono radiali"*), e 3 in termini della natura diversa dei campi in base alla coppia di forze o a un unica forza agente (*"campo magnetico = la traiettoria non è uguale alle linee di campo perché agiscono più forze e bisogna osservare la risultante di esse. Campo gravitazionale = la traiettoria coincide con le linee di campo perché agisce solo una forza"*). I rimanenti 8 ragazzi si limitano a ripetere il confronto proposto senza fornire un'interpretazione del perché della differenza evidenziata (*"campo gravitazionale = direzione e linee di campo coincidono, campo magnetico = direzione e linee di campo non coincidono"*).

	Confronta campo gravitazionale e magnetico
8	A: si limita a ripetere il confronto proposto *"campo gravitazionale = direzione e linee di campo coincidono, campo magnetico = direzione e linee di campo non coincidono"*
9	B: fornisce un'interpretazione: - (3) in base alla distinzione forza/coppia di forze: *"campo magnetico = la traiettoria non è uguale alle linee di campo perché agiscono più forze e bisogna osservare la risultante di esse. Campo gravitazionale = la traiettoria coincide con le linee di campo perché agisce solo una forza"* - (6) in base alla geometria delle linee di campo (radiali o curve): *"Nel campo magnetico le linee sono ricurve, nell'altro radiale. Nel primo caso direzione di partenza e linea di campo non coincidono, nel secondo sì perché le linee sono radiali"*
1	ALTRO: *la massa è attratta verso il centro della Terra, ma il campo magnetico va verso l'esterno*

Tabella 18: confronto tra il campo gravitazionale e magnetico (domanda 5 del post test).

8.4.3 Rispetto all'ipotesi di ricerca C"

I ragazzi sono in grado di differenziare i campi polari e dipolari e in che modo sono significativi per tale distinzione i seguenti elementi:

- ***la forma delle linee di campo, che sono radiali e aperte per i campi polari, mentre sono chiuse in quelli dipolari (C"1)***
- ***la direzione di partenza e la direzione dell'orientazione di un esploratore, che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2a)***
- ***la direzione di partenza e le linee di campo[48], che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2b)***

Le schede che riguardavano la distinzione tra i vari tipi di campo sono la scheda 10 della sequenza e le domande 1 e 2 del post test. Osserviamo che né nella sequenza né nel post test viene menzionato in questo contesto la distinzione tra attrazione globale e orientazione e quella tra linea di partenza e linee di campo (C"2b); viene invece messo in rilievo (a ulteriore conferma dell'ipotesi A") la differenza tra coppia di forze e forza singola agente su un esploratore, sia nella sequenza (12/16 nella differenza tra i campi elettrico e magnetico e 8/16 in quella tra i campi gravitazionale e magnetico) sia nel post test, anche se in percentuale minore (6/19 sia per differenza tra i campi elettrico e magnetico sia per quella tra i campi gravitazionale e magnetico).

A fine sequenza invece il fattore più determinante per i ragazzi risulta la forma delle linee di campo (C"1): mentre nella sequenza solo 3 ragazzi su 16 sono ricorsi alla forma delle linee di campo per esplicitare le differenze tra i vari tipi di campo, nel post test tutti i ragazzi tranne uno utilizza questo strumento (18/19 nella differenza tra i campi elettrico e magnetico, 10/19 in quella tra i campi gravitazionale e magnetico e un caso tra quello elettrico e gravitazionale). Questo risultato ci permette di affermare che la geometria delle linee di campo è facilmente acquisibile e utilizzabile nella distinzione tra i campi dai ragazzi della scuola secondaria, risultato che non era stato raggiunto al livello della scuola primaria, come abbiamo messo in evidenza nel capitolo 7.

Per quanto riguarda invece la distinzione tra rotazione e attrazione globale, vengono correttamente distinte se la domanda è specifica nel contesto del campo magnetico (domande 3 e 4 del post test), rivelando, come più volte affermato, il riconoscimento della specificità delle interazioni di questo tipo, mentre questa distinzione non viene utilizzata nella differenziazione

[48] Formalmente il confronto deve esser fatto tra la direzione di partenza del moto incipiente dell'esploratore e la tangente alla linea di campo nel punto di partenza dov'è posizionato l'esploratore; per brevità indicheremo tale confronto menzionando "la direzione di partenza e le linee di campo".

dei i vari tipi di campo. Analogamente per la distinzione tra le linee di partenza e linee di campo, che vengono correttamente distinte nelle domande specifiche (domande 4 e 5 del post test) ma questo strumento interpretativo non viene utilizzato per distinguere campi polari e dipolari. Bisogna sottolineare che questo risultato (ossia che i ragazzi utilizzino solo in parte i due strumenti[49] relativi alle ipotesi C"2a e C"2b) è probabilmente dipeso dal fatto che nella sequenza non è mai stato approfondito la potenzialità degli strumenti C"2a e C"2b come strumenti interpretativi da utilizzare per esempio in un problem solvine, mentre la geometria delle linee di campo è risultata ai ragazzi più naturale per la differenziazione tra i campi. Inoltre nel caso della distinzione tra attrazione globale e orientazione non è stato trattato in profondità il caso gravitazionale (come nel caso della scuola primaria con i pendoli) né quello elettrico.

Vediamo ora in dettaglio l'analisi delle schede della sequenza (10) e delle domande (2) del post test che si riferiscono a tale ipotesi:

Nella sequenza (scheda 10)

Ricordiamo che la compilazione di questa scheda è stata data per casa, quindi i ragazzi hanno avuto modo di consultare dei libri e forse di consultarsi tra di loro e che soltanto 16 ragazzi su 22 hanno consegnato il lavoro.

Differenze tra i campi					
E - B		**g - B**		**g - E**	
12	A: *Il campo magnetico prevede una coppia di forze, a differenza di quello elettrico. / Il primo è una forza singola mentre il secondo è una coppia di forze*	5	A: *gravitaz attrattivo, magnete attrattivo e repulsivo*	11	A: *campo elettrico è attrattivo e anche repulsivo, quello gravitazionale solo attrattivo*
3	B: *le linee di campo continuano anche all'interno del magnete, esse sono sempre linee chiuse, non partono né finiscono in alcun punto a differenza dalle linee del campo E*	8	B: *Il campo magnetico prevede una coppia di forze il gravitazionale no*	3	*ordine di grandezza dell'intensità della forza molto diverso*
3	C: *campo E compie lavoro, quello B no*	3	C: *campo g ha la possibilità di compiere lavoro, B no*	2	non risponde
		3	non risponde		

Tabella 19: Risposte dei ragazzi alla scheda 10 della sequenza[50].

Sia negli aspetti comuni (5 casi) che nelle differenze (3 casi) emerge l'idea che solo il campo g e quello E possono compiere lavoro, mentre quello magnetico no; questo problema deriva dai libri di testo che parlando della cricuitazione del campo elettrico affermano che essendo nulla, allora si può calcolare il lavoro, mentre nel caso magnetico no.

Ben 12 su 16 riconoscono nelle differenze la natura centrale o no del campo distinguendo il campo magnetico da quello elettrico (e in 8 casi anche da quello gravitazionale) in quanto agisce una

[49] Ossia la direzione della forza (o risultante delle forze) e dell'orientazione, o la direzione di partenza e la linea di campo.

[50] Ricordiamo che ogni ragazzo poteva fornire più di una risposta, quindi il numero totale delle risposte è superiore al numero dei ragazzi (16)

coppia di forze e non una forza ("*Il campo magnetico prevede una coppia di forze, a differenza di quello elettrico*", "*Il primo è una forza singola mentre il secondo è una coppia di forze*"); osserviamo che probabilmente questa distinzione è emersa dalle sessioni effettuate in classe durante la sequenza, non essendo questo punto messo molto in evidenza nei libri (si veda capitolo 4).
In 3 invece mettono in risalto la caratteristica della chiusura delle linee (non ancora trattata nella sequenza): "*le linee di campo continuano anche all'interno del magnete, esse sono sempre linee chiuse, non partono né finiscono in alcun punto a differenza dalle linee del campo E*", sempre in 3 considerano il diverso ordine di grandezza dell'intensità della forze nel caso elettrico e gravitazionale.

Nel post test (domanda 2)

L'aspetto più saliente è che nella differenziazione tra i campi il criterio più usato dai ragazzi nel post test è quello della forma delle linee di campo.
Nel caso dei campi elettrico e magnetico ben 18/19 utilizzano tale criterio ("*campo magnetico linee di campo chiuse (continue), campo elettrico linee di campo aperto (radiali)*", " *campo magnetico linee di campo continue, campo elettrico linee di campo radiali*", "*campo magnetico linee di campo chiuse, c. elettrico linee di campo radiali*", "*campo elettrico linee radiali, quelle del magnete no*") mentre 6/19 evidenziano che in un campo c'è una forza agente mentre nell'altro una coppia di forze ("*campo magnetico è formato da una coppia di forze / l'elettrico ha una sola forza il magnetico una coppia,* ", "*nel campo elettrico c'è una forza, nel campo magnetico si ha un momento*"), infine 8/19 considerano la separabilità delle cariche e l'inseparabilità dei poli ("*campo elettrico cariche separabili, magnete poli non separabili*").
Nel caso dei campi gravitazionale e magnetico 10/19 considera le diverse caratteristiche della configurazione delle linee di campo ("*campo magnetico linee di campo chiuse (continue), c. gravitazionale linee di campo aperto (radiali)*", "*le linee di campo gravitazionali sono radianti e nell'altro campo no*", "*campo magnetico linee di campo chiuse, campo gravitazionale linee di campo radiali*"), 6/19 evidenziano che in un campo c'è una forza agente mentre nell'altro una coppia di forze ("*il campo gravitazionale è dotato solo di una forza, il magnetico da una coppia di forze*"), mentre 7/19 considerano la forza attrattiva del campo gravitazionale e attrattiva e repulsiva di quello magnetico ("*il campo gravitazionale possiede solo forza attrattiva quello magnetico attrattivo-repulsivo*", "*campo gravitazionale è solo attrattivo, quello magnetico è anche repulsivo*").
Infine nel caso dei campi gravitazionale e elettrico la maggior parte dei ragazzi (13/19) evidenzia la differenza nelle forze solo attrattiva quella gravitazionale e attrattiva – repulsiva quella magnetica ("*Il campo gravitazionale ha solo una forza attrattiva, quello elettrico sia attrattiva che repulsiva*",

"*campo elettrico può essere sia attrattivo che repulsivo, il gravitazionale solo attrattivo*"), mentre in due casi vengono chiamate in causa le linee di campo o considerando la possibilità del dipolo elettrico che non ha linee di campo radiali (1 caso: "*campo elettrico linee ricurve ha due cariche, gravitazionale solo radiali*") oppure distinguendo in modo un po' vago tra linee di cmapo "attrattive" e "repulsive" (1 caso: "*quello gravitazionale presenta linee di campo attrattive, quello elettrico entrambe, dipende se la carica è negativa o positiva*").

Aspetti diversi tra i campi elettrico e magnetico		
6	5	A:(Forza) *campo magnetico è formato da una coppia di forze / l'elettrico ha una sola forza il magnetico una coppia*
	1	A1: *nel campo elettrico c'è una forza, nel campo magnetico si ha un momento*
8		B: separabilità delle cariche, inseparabilità dei poli: "*c. elettrico cariche separabili, magnete poli non separabili*" *Nel campo magnetico le forze esistono in un solo corpo, nel campo elettrico le forze interagiscono tra due corpi (le cariche)* (1 caso)
18 linee campo	5	C: *c magnetico linee di campo chiuse (continue), c. elettrico linee di campo aperto (radiali).*
	3	C1: *c magnetico linee di campo continue, c. elettrico linee di campo radiali*
	1	C2: *c magnetico linee di campo chiuse, c. elettrico linee di campo radiali*
	5	C3 *campo elettrico linee radiali, quelle del magnete no*
Aspetti diversi tra i campi gravitazionale e magnetico		
6		A : Forza / coppia di forze : *il c gravitazionale è dotato solo di una forza, il magnetico da una coppia di forze*
7		B: attrazione / repulsione: Forza (5) *il c. gravitazionale possiede solo forza attrattiva quello magnetico attrattivo-repulsivo* Campo (2) *campo gravitazionale è solo attrattivo, quello magnetico è anche repulsivo*
10 linee campo	5	C: *c magnetico linee di campo chiuse (continue), c. gravitazionale linee di campo aperto (radiali).*
	3	C1 *Le linee di campo gravitazionali sono radianti e nell'altro campo no:*
	2	C2: *c magnetico linee di campo chiuse, c. gravitazionale linee di campo radiali*
Aspetti diversi tra i campi elettrico e gravitazionale		
13		A: Forza solo attrattiva / attrattiva e repulsiva (3) (Forza) *Il campo gravitazionale ha solo una forza attrattiva, quello elettrico sia attrattiva che repulsiva* (10) (Campo) *campo elettrico può essere sia attrattivo che repulsivo, il gravitazionale solo attrattivo*
2		C: linee di campo (1) "*campo elettrico linee ricurve ha due cariche, gravitazionale solo radiali*" (1) Linee di campo attrattive / repulsive: "*quello gravitazionale presenta linee di campo attrattive, quello elettrico entrambe, dipende se la carica è negativa o positiva*"

Tabella 20: Risposte dei ragazzi nella domanda 2 del post test[51].

[51] Ricordiamo che ogni ragazzo poteva fornire più di una risposta, quindi il numero totale delle risposte è superiore al numero dei ragazzi (19)

8.4.4 Alcune riflessioni sui tubi di flusso

Riguardo ai tubi di flusso sia durante la sequenza (scheda 12) che durante il post test (domanda 8) i ragazzi dimostrano di saper applicare il concetto in situazioni già proposte in classe e, se richiesto esplicitamente, anche di trasferirlo al caso del campo magnetico generato da altre sorgenti (filo percorso da corrente). Infatti nella scheda 12 della sequenza ben 13/20 disegnano correttamente la forma del tubo di flusso nel caso del filo percorso da corrente, dimostrando di saper trasferire il concetto visto per il caso del campo magnetico generato da un magnete cilindrico; inoltre nella domanda 8[52] del post test, in cui veniva proposta la stessa situazione vista in classe (un tubo di flusso nel caso del campo magnetico generato da un magnete cilindrico), la maggior parte dei ragazzi giustificano sia la costanza del flusso lungo il tubo (15 casi su 19) sia il diverso valore del campo B nei due punti richiesti (10 casi su 19) richiamando la legge dei tubi di flusso.
Risulta invece problematico o difficile un loro utilizzo sul piano interpretativo o di giustificazione del valore del campo in un dato punto o lungo una linea. Infatti sia nella scheda 12 della sequenza che nella domanda 6 del post test un numero esiguo di ragazzi fa uso dei tubi di flusso per giustificare rispettivamente la costanza del valore del campo B lungo una linea del campo generato da un filo percorso da corrente, o il valore del campo B in diversi punti nello spazio circostante un magnete. Nel primo caso (scheda 12) nel giustificare la costanza del valore di B lungo una linea nessuno fa uso dei tubi di flusso, preferendo per la maggior parte una spiegazione in termini di distanza dalla sorgente. Anche nel secondo caso (domanda 6 del post test) l'uso dei tubi di flusso non sembra essere così spontaneo (2 soli studenti in due delle situazioni proposte, mentre 7 nell'altra situazione) .

Vediamo ora in dettaglio l'analisi della scheda 12 della sequenza e delle domande (6,8) del post test che si riferiscono ai tubi di flusso:

Nella sequenza (scheda 12):

Ben 13 ragazzi su 20 disegnano correttamente i tubi di flusso, mentre in 6 casi disegnano le linee di campo del magnete invece di quelle del filo, nonostante nelle indicazioni della scheda fosse specificata anche la forma delle linee di campo del filo percorso da corrente (tabella 21).
Nelle giustificazioni della costanza del valore del campo B lungo la linea di campo nessuno fa riferimento ai tubi di flusso, ma una buona parte o non risponde (2/20) o afferma tautologicamnete (8/20) che il campo "*in una linea è costante ma variabile da linea a linea*", chi fornisce un'interpretazione lo fa in termini di distanza dalla sorgente (4 casi: "*il valore di B è costante, perché i punti sono equidistanti*

[52] La domanda 8 è in realtà una pura e semplice verifica della conoscenza dell'invarianza del flusso lungo il tubo di flusso.

dalla sorgente lungo la stessa linea di campo, e varia in base alla direzione delle linee), alcuni (2 casi) menzionano la costanza del flusso lungo una linea di campo però sempre giustificando la costanza del campo in base alla distanza ("*Lungo una linea di campo, il Flusso del campo B è costante, perché a parità di distanza l'intensità del campo B è uguale*").

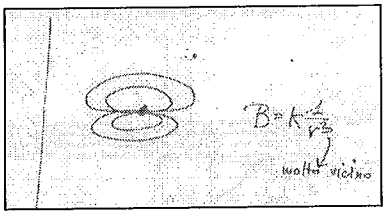
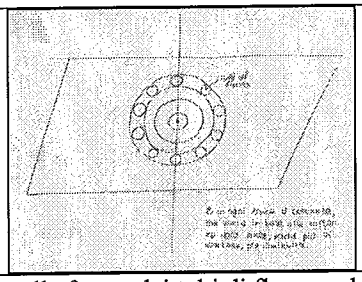
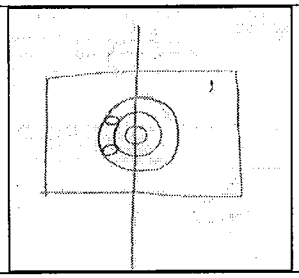
A (6): disegna le linee di campo del magnete non del filo	B (13): disegna correttamente un tubo di flusso per il campo del filo	(1) nessun disegno
	 	

Tabella 21: i disegni dei ragazzi riguardo alla forma dei tubi di flusso nel caso del campo magnetico generato da un filo percorso da corrente (scheda 12 sequenza).

Durante la sequenza abbiamo scelto di proporre la rappresentazione delle linee di cmapo solo per sorgenti isolate, non considerando esplicitamente il principio di sovrapposizione[53]. Nelle domande 2 e 3 della scheda 12 è emerso un problema legato alla visione globale del campo, ossia la difficoltà dei ragazzi a riconoscere che il campo in ogni punto è il contributo di tutte le sorgenti (Viennot & Rainson 1992, 1999); tale riconoscimento risulta primario nell'accettazione e comprensione del principio di sovrapposizione dei campi[54].

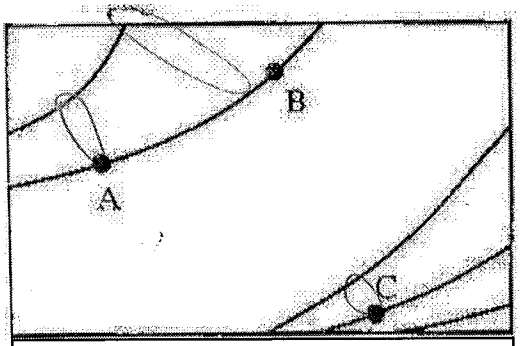


Figura 4: scheda 12, diversi ragazzi (7/19) disegnano i tubi di flusso nella domanda 3, però nelle risposte emerge il problema della sovrapposizione dei campi.

Nella domanda 3 la maggior parte dei ragazzi (9 casi) afferma che i valori dei campi dei due punti non apparteneti alla stessa linea non sono confrontabili perché non appartengono allo stesso campo, quindi non considerano l'esistenza di un nuovo campo determinato dal contributo di tutte le sorgenti, e quindi che le linee di campo fanno parte dello stesso campo, ritengono invece che le linee di campo corrispondono a campi generati da sorgenti diverse: "*tra A e B l'intensità è la stessa perché stanno sulla stessa linea di campo. C non si può determinare perché non appartengono alla stessa linea di campo di A e B*", "*Tra a e B l'intensità è la stessa perché stanno sulla stessa linea di campo. In C l'intensità è diversa perché non è confrontabile con le altre perché ci sono due sorgenti*", "*Non si può confrontare in quanto A e B fanno parte di una sorgente diversa da quella*

[53] C'è da notare che gli studenti avevano appena trattato a scuola il campo elettrico e il principio di sovrapposizione in questo contesto.

[54] Infatti il prinicipio di sovrapposizione dei campi è composto da due *step*: 1) comprendere che nello spazio considerato c'è un nuovo campo, dato in ogni punto dal contributo di tutte le sorgenti; 2) che questo nuovo campo si ottiene in ogni punto dello spazio sommando vettorialmente i campi dovuti a ogni sorgente (Viennot & Rainson (1992), (1999)).

che provoca il campo in cui si trova C. Posso dire che A e B sono uguali perché fanno parte della stessa linea di campo, ma non posso confrontarla con C".

Nella domanda 3 sei ragazzi utilizzano i tubi di flusso (*"B(A) > B(B) perché SA < SB")* spesso trasponendo tale ragionamento anche nel confronto di due tubi (5 casi: *"B(A) > B(B) perché SA < SB. in C la sezione è minore di A e B, quindi l'intensità è maggiore"*[55]). C'è chi assume rigorosamente l'idea che i punti devono stare sulla stessa linea di campo, però non tengono conto in nessun modo della sezione, considerando il campo costante lungo una linea (4 casi: *"tra A e B l'intensità è la stessa perché stanno sulla stessa linea di campo. C non si può determinare perché non appartengono alla stessa linea di campo di A e B", "l'intensità in A e B sono uguali. Solo in C è diverso e non si può confrontare")*

Nel post test (domande 6 e 8)

Domanda 6[56]

Nella figura presentata nella domanda 6, 9/19 ragazzi disegnano (si veda Tabella 22) le sezioni dei tubi di flusso in misura diversa, come ad indicare un ragionamento in termini di tubi di flusso, mentre un caso disegna la somma di due vettori (esplicitando un ragionamento in termini di somma di contributi dei poli piuttosto che funzione del punto), infine in 9 casi non disegnano nulla.

Nelle Tabelle 23-24-25 sono esposte le singole spiegazioni per i tre confronti richiesti, globalmente si osserva che il ragionamento in termini di tubo di flusso non è evidente per i ragazzi, ma si predilige ragionare in termini di distanza (dalla sorgnete o dai singoli poli).

Nel primo confronto (P1 e P2) rispetto alle altre due situazioni proposte si ha il più alto numero di giustificazioni in termini di tubi di flusso (7/19 come legge dei tubi di flusso o numero di linee entranti e uscenti: *"Dato che Phi=E*S, la sezione del tubo di flusso in P2 è più piccola di quella in P1, quindi se il flusso totale è 0, in P2 l'intensità è più grande", "Appartengono alle stesse linee di campo e tutte le linee entrano in BP_2 escono in BP_1 però l'intensità in BP_2 è maggiore in quanto l'area di concentrazione delle linee è minore"*) questo risulta sempre molto basso rispetto alle altre giustificazioni (11/19) che fanno riferimento alla distanza, di questi 11 cinque ragiona in termini di polo (*"perché è più lontano dal polo S").*

[55] Il confronto tra tubi di flusso diversi risulta possibile se si considera la rappresentazione delle linee di campo con la convenzione che ci permette di dare un'indicazione quantitativa del vettore di campo B. Ma tale convenzione non è stata introdotta nella sequenza, quindi in questo caso non è possibile confrontare due tubi di flusso diversi.

[56] Riguardo alla domanda 6 vogliamo premettere alcune critiche sulla presentazione della domanda: nel disegno le linee di campo sono disegnate quasi parallele, ossia sembra che i tubi di flusso siano a sezione costante (alcuni alunni hanno richiesto spiegazioni su questo punto durante il test), i punti andavano presi sulla linea di campo che passa nel centro del tubo di flusso e non su una delle linee di campo che ne delimitano il contorno, inoltre vi è un problema sulla forma dei tubi di flusso dovuta al passaggio dalle 3 a 2 dimensioni del foglio.

Nel secondo confronto (P3 e P1) invece solo 2 ragazzi richiama i tubi di flusso, mentre ben 13 ragionano in termini di distanza, 11 dei quali in termini di poli, mentre 4 ragazzi considerano impossibile il confronto tra questi punti in quanto non sono sulla stessa linea di campo *("non posso fare un confronto in quanto i due punti appartengono a linee di campo diverso")*.

Infine nel terzo confronto (P2 e P3) solo 2 ragazzi richiama i tubi di flusso, ben 13 ragionao in termini di distanza, ma solo 1 in termini di distanza dai poli ("*se hanno la stessa distanza da S in teoria la loro sezione è uguale, quindi è uguale anche B perché subisce la stessa intensità da* S" , "*è maggiore anche se sono alla stessa distanza, perché interagisce maggiormente la forza del polo N*"), e uno riprende l'argomentazione data per il secondo confronto, ossia l'impossibilità di confrontare due punti che non appartengono alla stessa linea.

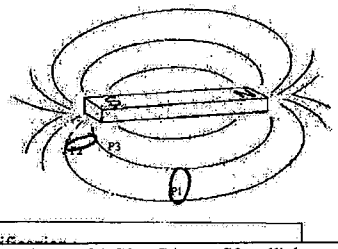
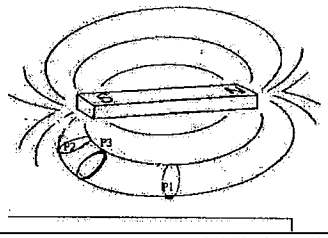
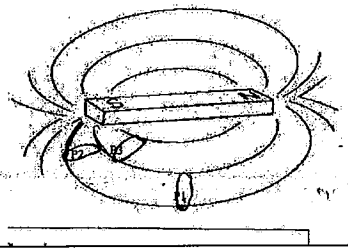
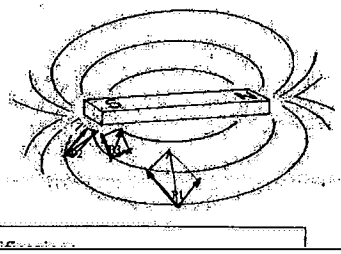
disegni	
A (5): segna le superfici S1e S2	B(2): segna le sup S1 S2 e S3,tutte sullo stesso tubo di flusso
	
B1 (2): segna le sup S1 S2 e S4, ma S3 sull'altro tubo di flusso	C (1): disegna le componenti delle forze dei due poli
	
9	nessun disegno (di cui uno segna solo i segmenti SP_2 e SP_3)

Tabella 22: disegni dei ragazzi nella domanda 6 del post test

Come sono i campi B(P1) e B(P2)?		
18 : B(P1) < B(P2) (corretta)		1 : B(P1) > B(P2)
Giustificazioni		
7	2	- Per la legge dei tubi di flusso / flusso costante: *"B(P1)=E1, B(P2)=E2 Poiché essendo E1S1=E2S2 ed essendo S2<S1 risulta che deve essere E1<E2. Tutto ciò per la legge dei tubi di flusso" / Dato che Phi=E*S, la sezione del tubo di flusso in P2 è più piccola di quella in P1, quindi se il flusso totale è 0, in P2 l'intensità è più grande.*
	3	- *Perché la sezione in P1 è maggiore (non esplicita legge dei flusso): "in P1 posso considerare una sezione che dovrebbe essere maggiore di quella in P2, ma quindi il campo avrà intensità maggiore in P2 perché più ristretto"*
	2	- numero di linee entranti / uscenti: "*Appartengono alle stesse linee di campo e tutte le linee entrano in BP2 escono in BP1 però l'intensità in BP2 è maggiore in quanto l'area di concentrazione delle linee è minore."*
11	6	- Distanza dalla sorgente: (5) *"Il punto in P1 è il più lontano rispetto alla sorgente, perciò il suo campo è inferiore rispetto a quello di P1 più vicino."; (1)"B è inversamente proporzionale alla distanza"*
	5	- distanza dai POLI: "*perché è più lontano dal polo S"*
	1	- non risponde

Tabella 23: confronto dei valori del campo in P1 e P2 (domanda 6 del post test).

Come sono i campi B(P3) e B(P1)?		
15 : B(P3) > B(P1) (corretta)	1 : B(P3) <B(P1)	3 : Non si può stabilire
Giustificazioni		
2	- usa i tubi di flusso (o richiama caso precedente): *"La sezione di P3 è maggiore di quella di P1"*	
13	-(11) distanza dai POLI: *"B(P3) è maggiore di B(P1) perché si trova più in prossimità del polo del magnete"* - (2) distanza dalla sorgente *"B è inversamente proporzionale alla distanza"* *"Avendo P1 e P2 la stessa distanza la loro intensità di campo è uguale, quindi essendo P2=P3 risulta (come sopra giustificato) che B(P3) > B(P1)"*	
4	- *"non posso fare un confronto in quanto i due punti appartengono a linee di campo diverso"*	

Tabella 24: confronto dei valori del campo in P3 e P1 (domanda 6 del post test).

Come sono i campi B(P3) e B(P1)?		
2 : B(P2) > B(P3) (corretta)	2 : B(P2) > B(P3)	1 : Non si può stabilire
Giustificazioni		
2	- usa i tubi di Flusso *"La sezione di P2 è minore di quella di P3" / "Perché le linee di campo tendono ad avvicinarsi"*	
14	- (9) dipende dalla distanza: *"Poiché dipende dalla distanza, essendo dP2 = dP3 risulta che B(P2) = B(P3)"* - (6) distanza dai POLI *(5) "se hanno la stessa distanza da S in teoria la loro sezione è uguale, quindi è uguale anche B perché subisce la stessa intensità da* S" (1) *"è maggiore anche se sono alla stessa distanza, perché interagisce maggiormente la forza del polo N"*	
1	- *"Vale l'argomentazione del punto precedente (non appartengono alle stesse linee di campo , no confronto)"*	
1	- Non risponde	

Tabella 25: confronto dei valori del campo in P2 e P3 (domanda 6 del post test).

Domanda 8:

Nella domanda 8 in cui si proponeva una situazione molto semplice già vista in classe, la maggior parte (14/19) risponde correttamente sul confronto dei valori del flusso e del campo nei due punti (o superfici, nel caso del flusso) proposti.

Nel confronto tra il flusso 15/19 motiva la risposta richiamando la legge dei tubi di flusso in vari modi: come flusso costante attraverso il tubo ("*il flusso è costante per la legge dei tubi di flusso*",), come proporzionalità inversa tra la superficie e l'intensità del campo (*"S1*B1=S2*B2 perché se la sezione diminuisce aumenta l'intensità e viceversa. Sono proporzionali*"), oppure come concentrazione maggiore di linee che attraversa la superficie ("*infatti tutte le linee che entrano in P1 escono da P2"*). In un caso solo la giustificazione viene data in termini della distanza dal polo (*"Il flusso nelle due superfici è uguale perché all'aumentare di S2 aumenta la distanza da S e diminuisce l'intensità del Phi*).

Confronto tra Φ_1 e Φ_2			
(14) $\Phi_1 = \Phi_2$ (corretto)		(4) $\Phi_1 > \Phi_2$	(1) non risponde
MOTIVAZIONI:			
15	8	A. *"il flusso è costante per la legge dei tubi di flusso"* *"S1*B1=S2*B2 perché se la sezione diminuisce aumenta l'intensità e viceversa. Sono proporzionali"*	
	2	A1: *infatti tutte le linee che entrano in P1 escono da P2*	
	2	A2: *perché la superficie del flusso Φ_2 è più ampia di quella del flusso Φ_1*	
	2	Ae: (scambia caso magnetico con elettrico). *$\Phi_1 = E1*S1 = kQ/(r_1)^2$ stessa formula per Φ_2. Diminuisce l'intensità del campo in modo inversamente proporzionale alla superficie.*	
	1	Ag: scambia campo g con B: *d1:d2=r1:r2 percui se aumenta l'uno diminuisce l'altro, perché il flusso deve rimanere costante*	
	1	B: Distanza: *" Il flusso nelle due superfici è uguale perché all'aumentare di S2 aumenta la distanza da S e diminuisce l'intensità del* Φ	
	3	non rispondono	

Tabella 26: confronto dei valori del flusso Φ nei due punti P1 e P2 (domanda 8 del post test).

Nel confronto tra i valori del campo nei due punti porposti, in 11 casi su 19 vengono richiamati i tubi i flusso ("*perché è minore la superficie quindi essendo B ed S proporzionali, all'aumentare della superficie diminuisce B*", "*perché visto che il flusso è costante per superfici più ampie l'intensità del campo è minore S1E1 = S2 E2*") o la concentrazione delle linee (1 caso: "*c'è una maggiore concentrazione delle linee in S1 rispetto a S2*"), mentre 5 ragazzi invece ragionano in termini di distanza dai poli o dal polo sud (*"dipende dalla distanza", "Nel punto P1 l'intensità del campo magnetico è maggiore rispetto al punto P2 la distanza di P1 dal polo è minore rispetto alla distanza di P2*").

Confronto tra il valore di B1 e B2		
14	B(P1) > B(P2)	(corretto)
1	B(P1)= B(P2)	*perché le superfici sono inversamente proporzionali all'intensità*
1	B(P1)< B(P2)	dipende dalla distanza
3	non risponde	
MOTIVAZIONI		
11	9	A: "*perché è minore la superficie quindi essendo B ed S proporzionali, all'aumentare della superficie diminuisce B*" "*perché visto che il flusso è costante per superfici più ampie l'intensità del campo è minore S1E1 = S2 E2*"
	1	A1: *c'è una maggiore concentrazione delle linee in S1 rispetto a S2*
	1	A2: (scambia il campo con il flusso): "B(P1) > B(P2) --> S1 < S2 tutto dipende dal fatto che i due campi devono essere uguali"
	5	B *"dipende dalla distanza", "Nel punto P1 l'intensità del campo magnetico è maggiore rispetto al punto P2 la distanza di P1 dal polo è minore rispetto alla distanza di P2"*
	3	non risponde

Tabella 27: confronto dei valori del campo B nei due punti P1 e P2 (domanda 8 del post test).

che nel post test (come il ragionamento che considera la rotazione come condizione funzionale per l'attrazione).

Analizziamo ora in dettaglio i vari modelli:

Il **ragionamento in termini di azioni separate di ogni singolo polo** (*"poli opposti si attraggono/ poli uguali si respingono"*) è dominante nelle prime schede, ma comunque presente in tutta la sequenza e (anche se in percentuale minore a favore del ragionamento che associa le linee di campo magnetico alla rotazione) in parte anche nel post test (scheda 2 della sequenza: *"poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono"*, domanda 3 del post test: *"Il movimento è determinato dal fatto che poli opposti si attraggono, poli uguali si respingono").*

L' **analogia o identificazione cariche elettriche con i poli magnetici** è presente in modo determinante nella sequenza (scheda 2: *"poli con carica opposta si attraggono, con carica uguale si respingono"*; *"poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono il bastoncino appeso cerca di orientare le sue cariche in modo opposte a quelle del bastoncino che ho in mano"*; scheda 3: *"il magnete attrae l'ago della bussola che presenta la carica opposta mentre l'altro viene respinto"*, *"Tutto ciò perché cariche opposte tendono ad attrarsi mentre quelle uguali si respingono"*, scheda sintesi: *"Il magnete attrae l'ago lo interpreto come "l'orientamento" delle cariche sull'ago della bussola"*), sicuramente dovuto al programma scolastico secondo il quale il campo elettrico era appena stato trattato dall'insegnante, però non appare in modo rilevante nel post test.

Il modello delle **linee di campo "piste" di movimento,** invece emerge spontaneamente già nella prima e seconda scheda durante l'esplorazione delle proprietà magnetiche (scheda 1: *"i due magneti si respingono e tendono a trovare le cariche opposte, in seguito si avvicinano seguendo le linee di campo"*, scheda 2: *"le due barchette si avvicinano seguendo le linee di campo finché i magneti si attaccano perché i poli diversi si attraggono"*), ma si manifesta in modo più consistente nella scheda 9, quando ai ragazzi verrà posta la specifica domanda (*"La pallina si muove verso il polo N seguendo le linee di campo"*).

Questo modello, riscontrato anche nella scuola primaria (capitolo 6), e ben noto in letteratura come un problema d'apprendimento (si veda capitolo 2 identificazione delle linee di campo con le traiettorie), nella sequenza della scuola secondaria si ridimensiona e nel post test è molto meno evidente (emerge in soli due casi nella domanda 4: *"Il magnetino si muove sulla traiettoria della linea di campo sotto la spinta delle forze F1+F2=F", "Il magnetino si sposta verso il polo più vicino del magnete grande, girandosi in modo che mostri il polo opposto (si attacchi al polo opposto del magnete), si sposta lungo la linea di campo."*).

Il superamento di questo modello nel post test può essere imputato al alvoro specifico sulla distinzione tra linea di partenza e linea di campo e all'introduzione delle linee di campo come linee di orientazione (dei momenti magnetici) e non di forza. Infatti riteniamo che la concezione delle linee di campo come linee di forza è in relazione alla concezione delle linee di campo come piste, come è emerso nella scheda 10 della sequenza, dove nella previsione del comportamento della pallina A, si erano ottenute le seguenti giustificazioni: "*rimane ferma se è esattamente posta centralmente, altrimenti sarà attratta lungo la linea di campo su cui è posta, verso nord o verso sud, a seconda di quale è più vicino*", *"La pallina segue l'orientamento delle linee, se è a metà resta ferma, altrimenti si avvicina al polo più vicino sempre seguendo le linee".*

Uno schema di ragionamento emerso dalla ricerca[57] (e non presente nei dati in letteratura) è quello che considera **"la rotazione condizione funzionale per l'attrazione": s**ia nella sequenza che nel post test emerge l'idea della rotazione come funzionale all'attrazione, quasi a considerare l'attrazione come predominante. Sembra infatti che la forza attrattiva prevalga sia sulla rotazione sia sulla repulsione, i ragazzi parlano di forze "solo attrattive" o "preminentemente attrattive", ("*risultante delle forze attrattive*").

Questo modello si manifesta in forme diverse: come modello "gira per attaccarsi" (ossia, l'idea che l'attrazione prevale alla fine), oppure come idea della risultante di "forze solo attrattive", che si integra anche con l'idea della "fenomenologia più evidente" (l'attrazione) o "più vicina".

Vediamo in dettaglio queste diverse modalità:

Il ragionamento "gira per attaccarsi" è emerso anche a livello della scuola primaria, qui viene riscontrato già nelle conclusioni della scheda 2 della sequenza, dove sei ragazzi affermano che i magneti tendono ad avere come disposizione finale la situazione A, ossia quella dei poli opposti affiancati (scheda 2 sequenza: "*le due barchette non si attraggono e si girano perché la forza attrattiva prevale e così si attraggono fino a rovesciare le barchette*", "*in realtà una delle due calamite si "gira" in modo che si verifichi la situazione precedente A (+ e -)*"; "*I due magneti girano fino a trovarsi a cariche opposte perché gli stessi poli creano una rotazione*"; *"i due magneti giravano finché i loro poli opposti non sono rivolti l'uno contro l'altro e poi si attraggono";"Prima di attrarsi si girano con i poli opposti affacciati prima respingendosi")*, e anche nella scheda 3 (della sequenza "*Oltre al fenomeno precedente bussola e magnete si avvicinano. I corpi si assestano in modo da avere poli opposti a contatto (ruota)*").

Questo modello sembra piuttosto persistente e si rileva anche nel post test (domanda 3: la rotazione funzionle per l'attrazione: "*Il numero 1 si muoverà ruotando in modo da avere i poli opposti dalla stessa parte in modo da attrarsi con il secondo magnete*", la rotazione necessaria per l'interazione

[57] Già a livello della scuola primaria (si veda capitolo 7)

tra i poli: *"Il magnete appeso compirà una rotazione di modo che il polo sud del magnete interagisca con il polo nord del secondo magnete*").

Questo modello, come già accennato nell'analisi dei dati, è influenzato anche dall'osservazione della fenomenologia, nella quale i rgazzi tendono ad individuare una sequenzialità nei due effetti di un magnete su un altro, che li porta a considerare che prima avvenga la rotazione e dopo l'attrazione (Menigaux, 1991, Viennot 1996).

A questo si aggiunge e complementa l'idea che la risultante delle forze sia una ***risultante di forze solo attrattive:*** questo emerge sia nella sequenza (scheda 2:*"i due magneti si respingono e tendono a trovare le cariche opposte"; "poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono, ma la forza attrattiva prevale"*, scheda 9: *"No, la direzione di partenza segue la forza risultante, derivata dalle 2 forze d'attrazione"; "è la risultante delle forze attrattive"; "Il magnete segue la risultante delle due forze attrattive*"), sia nel post test (dom 4: *"Praticamente il magnete segue la direzione della freccia che è la sommatoria tra la forza attrattiva dei due poli"*; *"il polo nord del magnetino viene attratto dal polo sud di quello più grande, e il polo sud del piccolo magnete viene attratto dal polo N di quello più grande. In questo modo le forze attrattive lo attraggono a tal punto da farlo "attaccare" al magnete, creando poi l'equilibrio"*).

L'idea che l'attrazione alla fine prevalga si può forse spiegare in parte con l'idea che è predominante la *fenomenologia più evidente* o la *fenomenologia più vicina.*

La ***"fenomenologia più evidente"*** è la forza attrattiva (vengono negati i poli), ossia le sole forze considerate sono quelle del movimento[58], alcuni esempi: scheda 3 sequenza *"Perché il magnete attira l'ago della bussola"*, *"In ogni caso la bussola e il magnete tendono sempre ad attrarsi, essendo l'ago magnetico"*.

La ***"fenomenologia più vicina"*** ossia si considera solo l'interazione tra i poli più vicini (quelli opposti, a meno che il magnete esploratore non si sia ancora "girato") polo N S o S e N , mentre gli altri poli sono più distanti e non vengono considerati nell'analisi. Per esempio quando i ragazzi nel prevedere la direzione di partenza di un magnetico esploratore posto sulle linee di campo, pur adottando un modello interpretativo in termini di contributi dei singoli poli (che come abbiamo già osservato risulta parziale, ma che consideriamo come un passo necessario per considerare l'azione di un magnete sull'altro in termini di momento meccanico) considerano sempre solo le due interazioni tra i poli più vicini e non tutte e quattro.

[58] Questo può ricondurci alla ben nota concezione che associa la forza al movimento (intesa come causa del movimento), ossia la forza alla velocità (Viennot (1996), pag 75).

8.5 Conclusioni

Rispetto alla prima ipotesi di ricerca (il riconoscimento della distinzione tra attrazione globale e orientazione, ossia tra l'azione di una forza e di una coppia di forze), nella sequenza osserviamo che più della metà dei ragazzi si accorge della rotazione durante gli esperimenti, però nelle conclusioni tutti ragionano in termini di poli senza menzionarla; nel post test invece quasi tutti mettono in evidenza la rotazione non solo nel descrivere la fenomenologia (il movimento di un magnete appeso a cui viene avvicinato un altro magnete), ma una buona parte anche nell'interpretazione in termini di azione di un magnete sull'altro attraverso una coppia di forza, in alcuni casi riferendosi al concetto di campo.

Il concetto di coppia di forze però non sempre è inteso nel senso fisico di causa di una rotazione (e quindi relazionato al momento meccanico), a volte viene inteso come insieme di due forze (forse somma algebrica o vettoriale di due forze); per questo riteniamo didatticamente fruttuoso associare la rotazione al momento meccanico e non alla coppia di forze, per ovviare queste problematiche e favorire l'introduzione del campo magnetico come proprietà del punto distinta dalla forza, attraverso il riconoscimento della specificità dell'interazione magnetica e delle linee di campo magnetico come linee di orientazione.

Anche se globalmente tutti identificano la rotazione e la distinguono dall'attrazione globale, come nella scuola primaria anche in quella secondaria emerge il problema della sequenzialità dei due effetti di un campo magnetico su un opportuno esploratore, infatti la maggior parte dei ragazzi considera la rotazione come il primo effetto che precede l'attrazione. La sequenzialità della rotazione e dell'attrazione è ben nota in letteratura (Menigaux (1991), Viennot (1996)), dalla nostra ricerca (sia a livello della scuola primaria che secondaria) emerge che essa può sfociare in una sequenzialità funzionale della rotazione rispetto all'attrazione (evidenziato nello schema di ragionamento "gira per attaccarsi").

Per quanto riguarda il raggiungimento di una visione globale del concetto di campo (B"1), dalla sequenza emerge che i ragazzi non considerano il caso gravitazionale come un campo vero e proprio, con delle caratteristiche comuni; alcune caratteristiche sono riservate solo ai campi magnetico e elettrico, quali le linee di campo o la necessità di un esploratore per essere rilevati. Nel post test invece emerge nettamente la potenzialità della rappresentazione delle linee di campo nella costruzione di una visione globale del concetto di campo con delle caratteristiche proprie (quali le linee di campo, per esempio) che includa anche il caso del campo gravitazionale.

Relazionato alla visione globale di campo, nella sequenza emerge il problema del riconoscimento che in presenza di più sorgenti del campo esiste e in ogni punto è il contributo di tutte le sorgenti,

gran parte dei ragazzi infatti considera che le linee di campo presentate nella scheda 12 appartengano a una sorgenti diverse.
Per quanto concerne la distinzione tra forza e campo e nello specifico tra linea di partenza e linea di campo magnetico (B"2) nella sequenza è emersa come determinante la concezione delle linee di campo come "piste" (già riscontrate nella scuola elementare) lungo le quali avviene il movimento, mentre nel post test vi è un netto miglioramento, quasi tutti dimostrano di aver assimilato tale differenza e soltanto in un caso viene prevista la linea di partenza coincidente alla linea di campo.

Nella distinzione tra i vari tipi di campo né nella sequenza né nel post test viene menzionata la distinzione tra l'attrazione globale e l'orientazione (C"2a) e quella tra la linea di partenza e le linee di campo (C"2b), i ragazzi privilegiano invece (a ulteriore conferma dell'ipotesi A") la differenza tra coppia di forze e forza singola agente su un esploratore, sia nella sequenza sia nel post test, anche se in percentuale minore. Globalmente però nel post test il fattore più determinante per i ragazzi nell'identificazione e nella distinzione dei vari tipi di campo risulta la forma e le caratteristiche delle linee di campo (C"1): tutti i ragazzi tranne uno utilizzano questo strumento per differenziare i vari campi (mentre nella sequenza solo un numero esiguo aveva fatto ricorso alle linee di campo). Questo risultato ci permette di affermare che la forma e le caratteristiche delle linee di campo sono facilmente acquisibili e utilizzabili nella distinzione e identificazione dei campi da parte dei ragazzi della scuola secondaria, risultato che non era stato raggiunto al livello della scuola primaria, come abbiamo messo in evidenza nel capitolo 7.
Per quanto riguarda invece la distinzione tra rotazione e attrazione globale, vengono correttamente distinte se la domanda è specifica nel contesto del campo magnetico, rivelando, come più volte affermato, il riconoscimento della specificità delle interazioni di questo tipo, mentre non viene utilizzata nella distinzione tra i vari tipi di campo.
Analogamente per la distinzione tra le linee di partenza e linee di campo, che vengono correttamente distinte nelle domande specifiche, ma non viene utilizzato come strumento interpretativo nella distinzione tra campi polari e dipolari. Bisogna sottolineare che questo risultato (ossia che i ragazzi utilizzino solo in parte i due strumenti relativi alle ipotesi C"2a e C"2b) è probabilmente dipeso dal fatto che nella sequenza non è mai stato approfondito la potenzialità di questi aspetti come strumenti interpretativi da utilizzare, per esempio, in un *problem solving,* mentre la forma delle linee di campo è risultata ai ragazzi più naturale per la differenziazione tra i campi. Inoltre nel caso della distinzione tra attrazione e orientazione non è stato trattato in profondità il caso gravitazionale (come nel caso della scuola primaria con i pendoli) né quello elettrico.

Per quanto riguarda gli schemi di ragionamento l'obiettivo della sequenza era quello di portare i ragazzi da un ragionamento in termini di contributi di ogni singolo polo a un ragionamento che associa le linee di campo magnetico alla rotazione, e in particolare all'orientazione dei momenti magnetici, evidenziando così il riconoscimento della specificità dell'interazione magnetica. Tale ragionamento è emerso in diverse domande del post test, in particolare: 1) nella descrizione e interpretazione del comportamento di un magnete appeso quando gli viene avvicinato un secondo magnete tenuto in mano; 2) nella distinzione tra i campi in cui viene identificato il campo magnetico con l'azione di una coppia di forze o un momento meccanico, mentre quello elettrico o gravitazionale con un'unica forza; 3) infine nel confronto tra i campi magnetici e gravitazionali riguardo alla direzione della linea di partenza di un esploratore libero di muoversi e a quella delle linee di campo.

Tra le molteplici difficoltà riscontrate emergono dei particolari modi di ragionare, alcuni di questi sono ben noti in letteratura, come il ragionamento in termini di azione di ogni singolo polo, l'associazione delle linee di campo "piste" di movimento, oppure l'analogia o identificazione dei poli con le cariche elettriche, mentre altri sono emersi dalle nostre precedenti ricerche nella scuola primaria, come il ragionamento "gira per attaccarsi".

Alcuni di questi modi di pensare si presentano in modo predominante durante l'attività, mentre sono meno frequenti nel post test (come per esempio il modello delle linee di campo come "piste" del movimento, oppure, anche se solo in parte, il ragionamento in termini di azioni dei singoli poli), mentre altri sono persistenti sia durante l'attività che nel post test (come il ragionamento che considera la rotazione come condizione funzionale per l'attrazione).

Riteniamo che il ragionamento in termini di contributo di ogni polo sia un passo necessario per poi passare a un ragionamento in termini di azione globale della sorgente sull'esploratore; nel post test diversi ragazzi sembrano aver superato l'iniziale ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità.

Nonostante ciò il ragionamento in termini di contributo di ogni polo è presente anche dopo la sequenza, in quanto in diverse situazioni proposte sia nella sequenza che nel post test è difficile, in questo livello scolare, non ragionare in termini di contributi di ogni polo, come per esempio nella trattazione della direzione del moto incipiente di un esploratore del campo.

Per quanto riguarda il riconoscimento del campo come funzione del punto riteniamo che già alla scuola primaria gli studenti riconoscono che in ogni punto dello spazio circostante un magnete è rilevabile una proprietà (l'orientazione di una bussola), nella scuola secondaria inoltre è acquisita una visione globale del concetto di campo, includendo anche il caso elettrico e gravitazionale.

Non è stato invece proposto a questo livello scolare il modello matematico che descrive il campo, in quanto riteniamo sia un livello troppo alto di astrazione, più adatto a studenti universitari.

CAPITOLO 9

CONCLUSIONI

1. Conclusioni del lavoro di ricerca

Le ricerche in letteratura sul concetto di campo sono molto numerose, considerata la vastità dell'argomento e riguardano i diversi livelli scolari, dalla scuola primaria fino all'università.

Questi studi hanno messo in luce sia i problemi di apprendimento[1] relativi al campo e alla sua rappresentazione, alle sue sorgenti, alla distinzione tra campo e forza, alla sovrapposizione dei campi e all'applicazione del terzo principio di Newton, sia i modelli[2] che gli studenti si costruiscono per interpretare i fenomeni magnetici, elettrici e gravitazionali.

In questa tesi abbiamo voluto mettere l'accento sull'analisi dei contenuti, in particolare sulla diversa natura (polare o bipolare) dei campi e sul significato e ruolo delle linee di campo per comprendere, identificare e distinguere i vari tipi di campo. Abbiamo inoltre voluto considerare tutti i campi insieme (gravitazionale, magnetico, elettrico[3]), cosa non tanto usuale nelle ricerche fin'ora svolte, che sono rivolte principalmente o a un tipo particolare di campo, oppure ai soli campi magnetico ed elettrico, senza però trattare quello gravitazionale.

Riguardo alla rappresentazione del campo attraverso le linee di campo nelle ricerche in letteratura non viene sottolineato (tranne in pochi casi) che le linee di campo non sempre sono linee di forza, come per esempio nel caso magnetico dove sono linee di "momento" (Guidoni (2004), o come sono state definite in questa tesi linee di orientazione di momenti magnetici (o di una bussola). Inoltre in letteratura viene studiata la distinzione tra la traiettoria e la linea di campo (Torknwist et al. (1993)), che oltre a introdurre diverse problematiche relative alle situazioni dinamiche (legate ai concetti di traiettoria, forza e velocità) non mette in luce, rispetto al nostro obiettivo, il diverso comportamento nel caso di campo polari e dipolari[4].

Questo ci ha motivati a centrare il lavoro principalmente nel caso statico e a considerare piuttosto la distinzione tra la direzione di partenza di un oggetto libero di muoversi e le linee di campo; in questo caso il comportamento dei campi polari e dipolari è differente in quanto nel primo caso le due direzioni coincidono, mentre nel secondo caso no.

---

[1] (Tornkwist et al. (1993), Viennot & Rainson (1992), (1999), Greca & Moreira (1997), Furio *et al.* (1999), Hermann *et al.* (2000), Galili (1997), (2001), Maloney et al. (2001), Martin et al. (2001), Guisasola *et al.* (1999), (2001), (2003))

[2] (Borges & Gilbert (1998), Erikson (1994), Greca & Moreira (1997), Nussbaum et al. (1976), Bar et al. (1994), (1997), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001))

[3] Alla scuola primaria il confronto è stato proposto solo per il campo gravitazionale ed elettrico.

[4] Come abbiamo visto nei campi polari e dipolari la traiettoria è sempre distinta dalla linea di campo.

Riguardo alla forma della Terra e il suo campo gravitazionale, diversi autori (Nussbaum et al. (1976), Bar et al. (1994), (1997), Arnold et al. (1995), Vosniadou & Brewer (1992), Vosniadou & Ioannides (1998), Vosniadou (2001)) mettono in luce le difficoltà di alcuni bambini nel riconoscere la forma sferica della Terra e che l'attrazione gravitazionale è diretta verso il centro della Terra; tali difficoltà sono legate a quello che secondo noi è un problema di passaggio da una visione locale a una globale della gravità.

Fin dalla scuola primaria infatti abbiamo voluto trattare i campi in una visione globale, sia nel senso di azione globale della sorgente nello spazio circostante, sia nel senso di visione globale di tutti i campi considerati (gravitazionale, elettrico e magnetico)

L'asse della tesi è quindi incentrato sulla rappresentazione del campo attraverso le linee di campo, e in particolare sul ruolo delle linee di campo sia per fornire questa visione globale di campo (nella sua duplice accezione), sia per confrontare i vari tipi di campo, individuandone analogie e differenze e mettendo in evidenza la differente natura (polare e dipolare).

Il punto di partenza che abbiamo adottato è l'assunzione che, come dimostrato in letteratura (Saltiel & Malgrange (1979), Viennot (1996)) per altri argomenti, anche nel caso della rappresentazione del campo gli aspetti geometrici (grafici) risultano essere significativi per i ragazzi.

Infatti già a livello della scuola primaria le linee di campo facilitano il riconoscimento del fatto che in presenza di una sorgente "qualcosa" avviene nello spazio circostante (e avviene in modo continuo in tutto lo spazio intorno alla sorgente), i bambini risultano in grado di rappresentare e riconoscere la diversa forma della configurazione delle linee di campo nei vari casi (campo gravitazionale e magnetico). A questo livello scolare non possiamo affermare che le linee di campo risultano assumere anche un ruolo caratterizzante dell'azione dei diversi campi, e quindi per i bambini risulta ancora problematica la differenziazione dei campi attraverso le linee di campo. Questo risultato viene invece raggiunto al livello della scuola secondaria, dove le linee di campo assumono un ruolo sia unificatore dei vari tipi di campo, sia caratterizzante della natura delle sorgenti prese in esame (polare, bipolare).

La forma della rappresentazione delle linee di campo risulta quindi un forte punto di partenza anche per i bambini; siamo ben consci comunque dell'alto livello di formalizzazione che questo approccio comporta, come per esempio la richiesta di passare dalla semplice differenziazione della configurazione delle linee alla differenziazione dell'azione del campo su un rivelatore e quindi della natura dei due campi.

Abbiamo voluto introdurre la rappresentazione del campo attraverso le linee di campo partendo dal campo magnetico (come suggerito nelle indicazioni didattiche ministeriali francesi), con l'obiettivo

però di integrare il campo gravitazionale introducendo esplicitamente le linee di campo anche in questo caso[5].

Il significato fisico delle linee di campo è legato alla natura del campo, infatti nel caso di campi polari (per esempio gravitazionale ed elettrico) il vettore campo ha la stessa direzione e verso del vettore forza, quindi le linee sono indicatrici non solo della direzione del campo, ma anche della forza, e per questo in molti testi sono definite linee di forza. Nel caso di campi dipolari invece le direzioni del campo e della forza non coincidono, le linee di campo quindi indicano la direzione solo del campo e non della forza, come nel caso magnetico, dove abbiamo definito le linee di campo come linee di orientazione (di momenti magnetici). Infatti un campo magnetico fa ruotare un ago magnetico orientandolo lungo le linee di campo attraverso l'azione di un momento meccanico[6].

Il campo magnetico si presta bene per facilitare nei ragazzi la comprensione della necessità di introdurre un nuovo concetto (diverso dalla forza) che renda conto di tutta la fenomenologia osservabile; infatti è facilmente dimostrabile che in questo caso la direzione di partenza di un oggetto libero di muoversi (associata alla forza traslatoria) è distinta dalla direzione delle linee di campo. Nel caso dei campi polari le due direzioni coincidono.

Queste prime considerazioni giustificano l'attenzione particolare che è stata data in tutta la tesi alla distinzione (che riteniamo cruciale) tra i due effetti dell'interazione magnetica : l'attrazione (o movimento) globale e l'orientazione. L'azione del campo magnetico su un rivelatore di campo è quindi duplice, ma le linee di campo sono associate alla rotazione o orientazione dei rivelatori di campo.

In base a queste premesse abbiamo formulato le seguenti ipotesi di ricerca per la scuola secondaria (per quanto riguarda quelle della scuola primaria si rimanda al capitolo 7):

A") *Il riconoscimento della distinzione dei due aspetti dell'interazione magnetica tra due oggetti, ossia l'attrazione globale e l'orientazione, può aiutare a identificare la specificità dell'interazione magnetica.*

- *I ragazzi sono in grado di superare il ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità (A"1).*

B") *la rappresentazione delle linee di campo (al di là di semplice disegno) può assumere un ruolo determinante:*

- *nel dare una visione globale del concetto di campo, includendo anche il campo gravitazionale in questa categoria (B"1)*
- *nel distinguere il campo dalla forza, in particolare distinguendo la direzione di partenza dalle linee di campo (B"2)*

---

[5] Questo approccio non risulta in accordo a quanto indicato dai programmi francesi e rispecchiato anche nei libri di testo italiani consultati, dove generalmente le linee di campo non sono illustrate per il caso gravitazionale, ma vengono esplicitamente introdotte per il campo elettrico e in seguito magnetico.

[6] $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$ dove $\boldsymbol{\mu}$ è il momento magnetico dell'ago, $\mathbf{B}$ è il vettore di campo magnetico

C") *i ragazzi sono in grado di differenziare i campi polari e dipolari e in che modo sono significativi per tale distinzione i seguenti elementi:*

- *la forma delle linee di campo, che sono radiali e aperte per i campi polari, mentre sono chiuse in quelli dipolari (C"1)*
- *la direzione di partenza e la direzione dell'orientazione di un esploratore, che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2a)*
- *la direzione di partenza e le linee di campo*[7]*, che coincidono per i campi polari, non coincidono per quelli dipolari (C"2b)*

Dall'analisi dei dati emergono diversi schemi o modelli di ragionamento dei bambini e dei ragazzi, alcuni di questi sono ben noti in letteratura, come il ragionamento in termini di azione di ogni singolo polo[8], l'associazione delle linee di campo "piste" di movimento, oppure l'analogia o identificazione dei poli con le cariche elettriche, mentre altri sono stati messi in evidenza in questo lavoro, come per esempio il ragionamento "gira per attaccarsi".

Alcuni di questi modi di pensare si presentano in modo predominante durante l'attività, mentre sono meno frequenti dopo la sequenza (come per esempio il modello delle linee di campo come "piste" del movimento, oppure, anche se solo in parte, il ragionamento in termini di azioni dei singoli poli), mentre altri sono presenti sia durante l'attività che nel post test (come il ragionamento "gira per attaccarsi" che considera la rotazione come condizione funzionale per l'attrazione).

Vi è comunque una coerenza nello sviluppo di un percorso concettuale sia alla scuola primaria che alla secondaria. Infatti vi è un progressivo passaggio dalla visione globale del magnete come un tutt'uno al riconoscimento della bipolarità.

Nella scuola primaria inizialmente i bambini descrivono e interpretano la fenomenologia in termini di visione globale del magnete senza riconoscere i poli (sia l'attrazione globale che la rotazione sono dovute all'azione di un magnete sull'altro magnete) fino[9] a raggiungere un ragionamento in termini di azioni di singoli poli (interazione tra i singoli poli che determinano sia l'attrazione globale che la rotazione). Nella scuola secondaria i ragazzi adottano fin dalla prima scheda un ragionamento in termini di azioni dei singoli poli[10] (ossia il punto d'arrivo della sequenza alla scuola primaria: le interazioni tra i poli determinano attrazione e repulsione) per poi passare a un ragionamento in termini di azione globale del magnete sorgente sul rivelatore di campo in termini di

---

[7] Formalmente il confronto deve esser fatto tra la direzione di partenza del moto incipiente dell'esploratore e la tangente alla linea di campo nel punto di partenza dov'è posizionato l'esploratore; per brevità indicheremo tale confronto menzionando "la direzione di partenza e le linee di campo".

[8] Riscontrato nella scuola primaria.

[9] Inizialmente i bambini adottano piuttosto un ragionamento in termini di azione di un oggetto (magnete) su un altro oggetto, o di un oggetto come causa del movimento dell'altro, però sempre considerato in una visione globale dove i poli non sono esplicitati, per poi passare all'analisi della situazione in termini di parti distinte (la parte "rossa" o "verde"), che in seguito vengono identificate con i poli per arrivare a un'interpretazione in termini di modello dei poli, superando il primo modello interpretativo in termini di azione globale attrattiva del magnete.

[10] "Poli opposti si attirano poli uguali si respingono". In alcuni casi vengono identificati come cariche positive o poli positivi e negativi (ricordiamo che i ragazzi avevano appena trattato a scuola il campo elettrico).

azione bipolare e non dei singoli poli (il magnete agisce sull'altro attraverso una coppia di forze o un momento meccanico che lo fa ruotare).

Riteniamo che il ragionamento in termini di contributo di ogni polo, anche se non corretto in termini fisici[11], sia un passo necessario per acquisire a un ragionamento in termini di azione globale (in termini di bipolarità) della sorgente sull'esploratore; nella scuola secondaria diversi ragazzi nel post test sembrano aver superato l'iniziale ragionamento in termini di interazione tra i singoli poli, considerando invece l'azione di un magnete sull'altro come azione globale in termini di bipolarità.

Nonostante ciò il ragionamento in termini di contributo di ogni polo è presente anche dopo la sequenza, in quanto in diverse situazioni proposte sia nella sequenza che nel post test è difficile, in questo livello scolare, non ragionare in termini di contributi di ogni polo, come per esempio nella previsione della direzione del moto incipiente di un esploratore del campo.

A livello della scuola secondaria le linee di campo possono anche essere utilizzate anche per fornire informazioni quantitative sul campo attraverso i tubi di flusso, la cui trattazione può facilitare una comprensione del significato del flusso stesso e dell'applicazione del Teorema di Gauss[12]. Anche nel caso elettrico sono state riscontrate infatti diverse difficoltà nella comprensione di tali concetti[13]. Sul ruolo e utilizzo dei tubi di flusso risulta però necessaria un'ulteriore ricerca, in quanto non abbiamo dati di ricerca significativi su questi aspetti.

2. Critiche e limiti del lavoro:

Vogliamo fare alcune osservazioni critiche evidenziando i limiti e/o i possibili miglioramenti da apportare a questo lavoro di ricerca sia riguardo il contenuto, che la metodologia di analisi e raccolta dei dati:

- Non è stato fatto un lavoro specifico, né alla scuola primaria né a quella secondaria, sul significato delle linee di campo come rappresentazione del contributo di tutte le sorgenti (base del principio di sovrapposizione). Per esempio già dalla scuola primaria ci siamo focalizzati nel far associare la configurazione delle linee di campo alla sorgente, mantenendo gli oggetti come

[11] Siamo ben consci che non essendo i poli separabili non è corretto parlare di azione o contributo di un polo sull'altro (singola forza) ma piuttosto dell'azione del campo magnetico B che fa orientare i momenti magnetici, generando un momento meccanico che li fa ruotare e orientare lungo le linee di campo.

[12] Osserviamo che nei testi in Italia viene menzionato il teorema di Gauss anche per il magnetismo, mentre in Francia si parla di Teorema di Gauss solo per campi con dipendenza da 1/r2, mentre per il caso magnetico viene utilizzato il Teorema di Ostrogradski per determinare che la divergenza del campo è nulla (div B = 0).

[13] Dalla scheda 11 è emerso che il teorema di Gauss veniva recitato perfettamente nel suo enunciato da tutti i ragazzi, ma su richiesta di disegnare una superficie chiusa tale che il flusso attraverso di essa sia nullo, la maggior parte dei ragazzi ha manifestato delle difficoltà nell'applicazione del teorema, o non essendo in grado di immaginarsi una superficie in R^3 oppure disegnato la superficie che contorna la carica, senza rendersi conto che in tale situazione (generalmente proposta generalmente si libri per descrivere il teorema di Gauss) il flusso del campo non era nullo.

sorgenti ben visibili, però sarebbe stato interessante presentare la configurazione delle linee di campo anche in situazioni in cui la sorgente sia visibile e in una fase successiva con due o più sorgenti, considerando anche la sovrapposizione dei campi.

Questo forse avrebbe permesso anche a livello della scuola secondaria di riconoscere che le linee di campo descrivono parzialmente in ogni punto l'azione di tutte le sorgenti presenti[14].

- Sempre riguardo alle linee di campo non è stato evidenziato specificatamente il loro doppio significato rappresentativo sia del campo sia di un insieme infinito e continuo di linee, essendo esse stesse una selezione di tale insieme (in un caso isolato è infatti emersa l'idea dei ragazzi che le linee siano rappresentative e materializzazioni della zona in cui è presente il campo[15]).
- La distinzione tra i due effetti dell'interazione magnetica (attrazione globale e orientazione) è stata raggiunta per tutti i livelli scolari, ma non ci siamo inizialmente posti il problema della loro contemporaneità; sarebbe stato necessario discutere soprattutto con i ragazzi della scuola secondaria sulle loro affermazioni riguardo questo punto (l'idea più frequente è quella che prima si gira e poi viene attirato)
- Quantitativamente a livello della scuola secondaria è stato discusso il valore del vettore campo magnetico solo come relazione di ordine o come varia lungo una linea, ma non il suo valore.

Riguardo alla metodologia di indagine e la costruzione delle sequenze proposte in classe:

- Già dalla scuola primaria è stata raggiunta l'identificazione della forma delle linee di campo con le diverse sorgenti (magnete, Terra), però nella sequenza si sarebbe potuto fare un lavoro più specifico sulla distinzione dei campi a questo livello scolastico, o almeno proporre tale distinzione non con una discussione a grande gruppo (che non ha dato risultato), ma piuttosto con delle interviste individuali (o in binomio) per poter individuare meglio le idee, i ragionamenti dei bambini su questo punto e ricercare se è possibile, e in che modo, raggiungere anche a questo livello scolare la differenziazione dei campi attraverso la configurazione delle linee di campo.
- Sarebbe stato utile realizzare delle interviste individuali durante la sequenza, sia alla scuola primaria che secondaria per poter comprendere meglio le motivazioni di certe affermazioni (per esempio sulla distinzione tra i campi, sulla sequenzialità dell'attrazione e la rotazione, sul significato delle linee di campo nel caso di più di una sorgente) e di alcuni disegni (come quelli che, nel caso della gravità, raffiguravano i pendoli disposti in tondo intorno alla Terra).

[14] Durante la sequenza alla scuola secondaria, nella scheda 12 (paragrafo 8.3.3 del capitolo 8) è emerso il problema della visione globale del campo, quando era stata proposta una configurazione delle linee di campo generata da più sorgenti.

[15] Durante una discussione in classe in un caso uno studente ha affermato che tra due linee di campo non c'era il campo (problema della selettività dell'immagine).

3. Implicazioni nell'insegnamento.

Da un punto di vista della ricaduta nell'insegnamento questo lavoro di tesi suggerisce di dare maggior importanza e sfruttarne il significato rappresentativo delle linee di campo da un lato per identificare tutti i campi (gravitazionale, elettrico, magnetico) in un unico concetto, integrando anche il caso gravitazionale, che, come abbiamo visto sia dai testi scolastici che dalle considerazioni dei ragazzi, generalmente non viene considerato come un campo a tutti gli effetti, o perlomeno con le stesse caratteristiche (come per esempio essere rappresentabile attraverso le linee di campo); dall'altro lato di utilizzare la rappresentazione grafica anche per differenziare i vari tipi di campo in base alla loro natura (dipolare o polare).

Infatti nella sequenza (e anche in diverse ricerche in letteratura) emerge la difficoltà dei ragazzi a dare un significato e un ruolo diverso al concetto di campo, che generalmente non viene relazionato a una proprietà riscontrabile in ogni punto dello spazio circostante la sorgente, ma piuttosto viene collegato alla forza attraverso la formula che descrive il campo[16].

Il campo magnetico sembra aver un ruolo determinante nella comprensione del concetto di campo che riteniamo potrebbe essere introdotto proprio in questo caso (e successivamente trasferirlo al caso elettrico e gravitazionale) e che inoltre, come abbiamo ben visto, si presta bene a trattare e differenziare il vettore campo dal vettore forza (attraverso la considerazione delle direzioni della linea di partenza e delle linee di campo, che in questo caso sono distinte), problema d'apprendimento riscontrato anche a livello universitario. Questo comporta la necessità di approfondire e distinguere i due effetti dell'interazione magnetica : l'attrazione globale e la rotazione, e la conseguente definizione delle linee di campo magnetico come linee di orientazione dei momenti magnetici.

Riguardo alla fenomenologia magnetica, dal punto di vista dell'insegnamento è importante considerare una parte introduttiva sull'induzione magnetica e sulla distinzione tra i magneti permanenti e temporanei (che nella nostra sequenza alla scuola secondaria non è stata realizzata da un lato per motivi di tempo e dall'altro perché i problemi di ricerca non riguardavano questo aspetto nello specifico). Infatti dalle sequenze, in particolare quella svolta alla scuola secondaria, è emersa la difficoltà nei ragazzi nel classificare gli oggetti in base al loro comportamento rispetto a un magnete: la maggior parte individua soltanto due categorie di oggetti ("chi viene attirato dal magnete e chi non viene attirato dal magnete"), non tenendo in considerazione il piccolo geomag[17] e

[16] Diversi ragazzi affermano che il campo è la "forza divisa la carica", però spesso dividono per la carica Q generatrice del campo e non per quella q "di prova", non trovando quindi una proprietà (neanche dal punto di vista della relazione matematica) che dipende solo dalla sorgente.

[17] Il *geomag* è un piccolo magnete utilizzato nei giochi dei bambini

la bussola[18] presenti tra gli oggetti. Queste difficoltà vengono confermate nella scheda sintesi dopo la prima giornata, in cui i ragazzi dovevano esprimere le differenze tra i materiali ferromagnetici e magnetici. Osserviamo che sorprendentemente vi è un maggior numero di alunni nella scuola primaria che nella scuola secondaria che individuano le tre categorie di oggetti in base al comportamento rispetto a un magnete, quasi a indicare una capacità di osservazione maggiore dei bambini. Se un tale risultato venisse confermato con un campione di studenti e bambini più numerose, potremmo affermare che una possibile causa risiede forse nella scarsa abitudine dei ragazzi di scuola secondaria a formulare ipotesi, esplorare attivamente i fenomeni, descriverli e interpretarli, mentre nei bambini vi è una spontanea tendenza a formulare ipotesi, descrizioni e interpretazioni anche se queste sono legate a convinzioni e conoscenze già possedute che spesso sono parziali e vanno guidate verso la costruzione di nuovi modelli, in accordo alla visione scientifica. Per questo riteniamo importante introdurre all'interno dei curricola fin dalla scuola primaria le attività sperimentali per formare i bambini all'esplorazione attiva e personale dei fenomeni, alla costruzione progressiva dei concetti fisici coinvolti[19].

Vogliamo sottolineare che, anche a livello della scuola primaria, la nostra scelta è stata quella di orientare fortemente il percorso concettuale degli alunni in funzione di un chiarimento ben specificato dei contenuti. Infatti, come abbiamo illustrato nell'introduzione a questa tesi, anche a questo livello scolare (e non solo in quello superiore) riteniamo che una riflessione sui contenuti sia fondamentale, sia dal punto di vista della ricerca che dell'insegnamento. Tale riflessione disciplinare è stata basilare per la costruzione delle sequenze di insegnamento-apprendimento in entrambi i livelli scolari.

In questo lavoro, abbiamo scelto di mettere in evidenza il potere di una descrizione della "topografia" dell'effetto delle sorgenti attraverso le linee di campo, ponendo l'attenzione su alcuni aspetti che abbiamo ritenuto utili come supporto al ragionamento e alla comprensione dei concetti implicati[20].

I risultati della tesi evidenziano alcuni elementi positivi (ampliamente discussi nei paragrafi precedenti, alcuni esempi: i vantaggi dell'approccio globale dei campi attraverso le linee di campo, l'identificazione, caratterizzazione e differenziazione dei vari tipi di campo in base alle linee di campo) che secondo noi rinforzano il valore di questo punto di vista.

---

[18] Molti non riconoscono la bussola come magnete, alcuni la classificano nella categoria dei "non attratti" in quanto avvicinando il magnete dall'alto (perpendicolarmente rispetto all'ago della bussola) non riscontrano alcuna interazione.

[19] "La letteratura ci conferma che se l'esplorazione attiva e personale non inizia precocemente si assiste, molto spesso, alla mancata evoluzione della capacità di analisi critica interpretativa (Michelini (2004), pag 244).

[20] Per esempio, come già più volte evidenziato, il forte accento dato all'individuazione dei due effetti (orientazione e attrazione globale) aveva come obiettivo la distinzione dei due, il riconoscimento che le linee di campo magnetico sono linee di orientazione e la successiva identificazione e distinzione dei vari tipi di campo in base alle caratteristiche della configurazione delle linee di campo.

BIBLIOGRAFIA

AJELLO A.M., (2003), "La Competenza Situata: Valutazione e Certificazione", in *La Competenza*, Ajello A.M. (A Cura Di), Bologna, Il Mulino

AJELLO A.M. & BELARDI C., (2003), "Informal Learning And Evaluation", contributo presentato al convegno *Improving Learning, Fostering The Will To Learn, 10th Biennial Conference*, Padova 26 – 30 Agosto.

ALMUDI, J.M., (2001) "Introducción del concepto de campo magnético en primer ciclo de Universidad: dificultades de aprendizaje y propuesta de enseñanza alternativa de orientación constructivista", tesi di dottorato, Universidad del País Basco.

ANDERSSON B. (1990) Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16), Studies in Science Education, 18, 55-85

ANTONIAZZI, M. & GIULIANI, G. (1996) "Il concetto di campo nei manuali di elettromagnetismo" *Atti del XVI congresso della SISFA* (Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia)

ARNOLD, P., SARGE, A. and WORRALL L. (1995) "Children's knowledge of the earth's shape and its gravitational field", *International Journal of Science Education* 17(5), 635-641.

ARTIGUES, M. (1988) "Ingéniérie didactiques", *Recherches en didactiques des Mathématiques*, 9(3), 281-308

BACHELARD (1938) *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris.

BACHELARD, G. (1949) Le rationalisme appliqué (Paris, PUF).

BAGHERI-CROSSON & R., VENTURINI, P. (2006) "Analyse du raisonnement d'étudiants utilisant les concepts de base de l'électromagnétisme" *Didaskalia* n°28, pp 33-53

BAR, V., ZINN, B. and RUBIN, E. (1997) "Children's ideas about action at a distance" *International Journal of Science Education* 19(10), 1137-1157.

BAR, V., ZINN, B., GOLDMUNTZ and SNEIDER, C. (1994) "Children's concept about weight and free fall", *Science Education* 78(2), 149-69.

BARROW L. H. (1987) "Magnet concepts and elementary students misconceptions" in *Proc. Of Second International Seminar of Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. 2, J. Nowak(ed.) (Ithaca, N.Y.: Cornell University, 17-22)

BAXTER, J. (1989) "Children's understanding of familiar astronomical events" *International Journal of Science Education* vol. 11, Special Issue 502-513.

BELLONE E. (1990) *Caos e armonia. Storia della fisica moderna e contemporanea*, Utet libreria,

BENSEGHIR, & CLOSSET, J.L. (1996) "The electrostatics-elelectrokinetics transitino: historical and educational difficulties", *International Journal of Science Education*, 18(2), pag 179-191

BERNARDI, W (1980) F*ilosofia e scienze della vita. La generazione animale da Cartesio a Spallanzani*, Torino, Loescher.

BERKELEY, (1978) *La fisica di Berkeley. Elettricità e magnetismo*, Zanichelli

BESSON , U. (2004) "Some features of causal reasoning: common sense and physics teaching", *Research in Science and Technological Education* 22 (1), pp 113-125

BEVILACQUA, F. (1994) "La conservazione locale dell'energia secondo Maxwell e Poynting" (1873-1885), estratto da: *Dagli atomi di elettricità alle particèlle atomiche*, a cura di Sandro Petruccioli, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma.

BERNARDINI, C., TARSITANI, C. and VICENTINI, M. (1995) *Thinking Physics for Teaching*, Plenum Press New York

BORDONI S. (1995), *Eleveremo questa congettura ...* ., Università degli Studi di Pavia.

BORGES, A.T. & GILBERT, J.K. (1998) "Models of Magnetism" *International Journal of Science Education* vol. 20(3), 361-378.

BJORNAVOLD, J (2000) *Making Learning Visible. Identification, Assessment And Recognition Of Non-Formal Learning In Europe*, Cedefop.

BOSATTA, G, BOSIA, M., BOSIO, S., CANDUSSIO, G.,. CAPOCCHIANI, V., CECCOLIN, D., MARCOLINI, M. MAZZADI, M. MICHELINI, M., PUGLIESE JONA, S., SANTI, L., SARTORI, C., SCILLIA, M.L. and STEFANEL, A. (2001) "Games, Experiments, Ideas Fron Low-Cost Material To The Computer On-Line: 120 Simple Experiments To Do And Not Only To See", *In Research In Science Education In Europe: The Picture Expands*, M Bandiera, S Caravita, E Torracca, M Vicentini Eds, Roma, P.481

BOSIO, S., CANDUSSIO, G., CAPOCCHIANI, V., CECCOLIN, D., MARCOLINI, M. MAZZADI, M. MICHELINI, M., PUGLIESE JONA, S., SANTI, L., SARTORI, C., SCILLIA, M.L., STEFANEL, A. (1997) "Playing, Experimenting, Thinking: exploring informal learning within an exhibit of simple experiments, in new way for teaching", *Girep Book*, Ljubljana University Press

BOSIO S, CAPOCCHIANI V, MICHELINI M, PUGLIESE JONA S, SARTORI C, SCILLIA M L, and STEFANEL A (1997) "Playing, Experimenting, Thinking: exploring informal learning within an exhibit of simple experiments, in new way for teaching", *Girep Book,* Ljubljana University Press

BRADAMANTE, F. & MICHELINI, M (2004) "Children's ideas about gravitation, investigating a model of gravitational field" *Proceedings of Girep 2004* – Ostrava

BRADAMANTE, F. FEDELE and B. MICHELINI, M. (2005) "Children's spontaneous ideas of magnetic and gravitational fields" *Proceedings ESERA conf -Barcelona*

BRADAMANTE F. & MICHELINI M. (2005) "Exploring children's spontaneous ideas of magnetic and gravitational fields hands on exhibits" European Workshop on "*The Challenges of EU' Enlargement on Science Literacy and Development*"20th-22nd January 2005, Malt

BRADAMANTE F. & MICHELINI M. (2005) "Cognitive laboratory: gravity and free-fall from local to global situations", *Proceedings of Girep 2005* – Lubiana

BRADAMANTE, F. & VIENNOT, L. (2005) "Fields as a mapping of space: An accessible conceptual target and tool in primary education?" *Proceedings ESERA conf - Barcelona*

BRADAMANTE F. & MICHELINI M. (2006) "Le idee intuitive dei bambini sul campo gravitazionale", *La Fisica nella Scuola,* in press.

BRADAMANTE, F. & VIENNOT, L. (2006) "Mapping gravitational and magnetic fields with children 9-11:relevancy, difficulties and prospects" *International Journal of Science Education* in press.

CANTOR G.N. & HODGE, M.J.S. (1981) "Conceptions of Ether, pag 240-268 (in DANIEL M. SIEGEL Thomson, Maxwell, and the universal ether in Victorian physics,)

CONTINI, M. OTT & M.E. SASSI (1999) *National Report of the STTIS* on "WP1 Italy: the state of the art in the use/value of informatic tools" http://www.blues.uab.es/~idmc42/archive/index.html)

COLOMBO DE CUDMANI & L. FONTDEVILA, P.A. (19990) "Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo". *Enseñanzas de la Ciencias*, 8(3), pp 215-522

DEWEY, I. & DYKSTRA, D. J. (1992) "Studying conceptual ch'ange: constructing new understandings". In R. Duit, F. Goldberg and H. Nieddere (eds*) Research in Physics Learning: theoretical Issues and Empirical Studies* (Kiel: IPN) 40-58

DRIVER R. & ERICKSON G. (1983) "Theories - in Action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual from works in science", *Studies in Sc. Educ.*, 10, 37

DRIVER, R. & B. BELL (1986) "Students' thinking and the learning of science: a constructivist view", *School Science Review* 67: 240.

DUIT R. (1995) "Constraint on knowledge acquisition and conceptual change: the case of physics." Paper presented at the Symposium on Constraints on Knowledge Construction and Conceptual Change. *Sixth European Conference for Learning and Instruction*, Nijmegen

DUIT, R. & TREAGUST, D.F. (2003) Conceptual Change: a powerful framework for improving science teaching and learning, *International Journal of Science Education* 25 n° 6,671-688.

EDDINGTON, A.S. (1978) "*Spazio tempo e gravitazione Universale*", Scientifica Boringhieri.

EYLON, B.S., & GANIEL, U. (1990) "Macro-micro relationships : the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasonning. *International Journal of Science Education* 12(1), pag 79-94

ERICKSON, G. (1994) "Pupils understanding of magnetism in a practical assessment context: The relationship between content, process and progression", in "*The Content of Science: a constructivist approach to its teaching and learning*" (P. Fensham, R. Gunstone & R. White Eds, The Falmer Press, London), pp. 80-97.

FARADAY, M. (1855) *Experimental Researches in Electricity* (Richard Taylor & William Francis, Printers and Publishers to the University of London), Vol I, II, III.

FARADAY M. (1852) "On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force" *in Faraday (1995)*

FARADAY, M. (1995) "Thoughts on Ray-Vibrations" in *Experimental Researches in Chemistry and Physics,* 367 e in Faraday

FARADAY, M (1995) *La Teoria del campo a cura di Mauro La Forgia*, Edizioni Teknos

FAUVEL, J. (1988) *Let Newton be*, Oxford university press

FEDELE B. (2005) "Un percorso di esperimenti sui fenomeni magnetici: dai laboratori cognitivi agli strumenti didattici", Tesi di laurea in Scienze della Formazione, Università degli Studi di Udine.

FEDELE, B., MICHELINI, M. and STEFANEL, A. (2005) 5-10 year old pupils explore magnetic phenomena in Cognitive Laboratory (CLOE). *Proceedings ESERA conf* - Barcelona

FENSHAM, P., GUNSTONE, R. and WHOTE, R. (1994), *The Content of Science*, the Falmer Press London

FEYMAN, (1969) "*La fisica di Feyman*", Edizione Bilingue

FURIO, C. & GUISASOLA, J. (1997) "Deficiencias epistemologicas en la ensenanza habitual de los concepto de campo y potencial electrico", *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), 259-271

FURIO, C. & GUISASOLA, J. (1999) "Concepciones alternatives y dificultades de aprendizaje en electrostatica. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento", *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 441-452

FURIO C. & GUISASOLA (2001) "La enseñanza del cocepto de campo electrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada". *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 319-334

FURIÒ C. & GUISASOLA J, (2001), "The teaching of the concept of electric field: mountain or hill", *Proc. Esera cof., Kiel, http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/esera/book*

FEDELE, B., MICHELINI, M. and STEFANEL, A.(2005) "5-10 year old pupils explore magnetic phenomena in Cognitive Laboratory (CLOE)", *Proceedings ESERA conf - Barcelona*

GALILI I, (1995) "Mechanics backgroud influences students' conceptions in electromagnetism", *International Journal of Science Education* 17 (3) pag. 371-387

GALILI, I. & BAR, V. (1997) "Children's operational knowledge about weight" *International Journal of Science Education*, 19 (3), 317-340.

GALILI, I. (2001) "Weight versus gravitational force: historical and educational perspectives" *International Journal of Science Education*, 23(10), 1073-1093

GIL-PEREZ, D., (2003). "Constructivism in Science Education: the need for a clear line of demarcation". In: Psillos, D. et al. (Eds), *Science Education in the Knowledge Based Society* (pp. 10-15). *Proceedings of the third International Conference* (ESERA).

GIULIANI, G. (2002) "Induzione elettromagnetica: fisica e flashbacks", *La Fisica nella Scuola*, Quaderno 14, Anno XXXV, supplemento n°4, ottobre-dicembre 2002

GRAFFI, D. (1972) *Teoria matematica dell'elettromagnetismo*, Casa editrice Prof. Riccardo Patron, Bologna

GRECA, I.M. & MOREIRA, M.A. (1997) "The kinds of mental representations-models, propositions and images-used by college physics students regarding the concept of field" *International Journal of Science Education*, 19 (6), 711-724.

GUIDONI, P. (2004) "Re-thinking physics for teaching: Some research problems (part II)." *Proceedings International School of Physics 'Enrico Fermi'*, Varenna, Course CLVI 'Research on Physics Education', July 2003, Italy (E.F. Redish and M. Vicentini (Eds.), Varenna, IOS Press), 235-259.

GUISASOLA, J. & FURIO, C. (1999) "Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento" *Enseñanza de las Ciencias* 17(3), 441-452,

GUISASOLA, J., ALMUDI, J.M. and CEBERIO, M. (2003) "Concepciones alternatives sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento" *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (2) 281-293

GUISASOLA, J. & ALMUDI, J. Z. (2003) "Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teroìa de campo magnético y elecciòn de los objetivos de enseñanza" *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 79-94

GUISASOLA, J. & ALMUDI, J. Z. (2004) "Difficulties in Learning the Introductory Magnetic Field Theory in the First Years of University". *Wiley Periodicals, Inc.*, 443-464

GUTIERREZ, R. & OGBORN, J. (1992) "A causal framework for analysing alternative conceptions" *International Journal of Science Education*, 14 (2), 201-220

HALBWACHS, F. (1971) "Réflexions sur la causalité physique. Causalité linéaire et causalité circulaire en physique", in: M. Bunge, F. Halbwachs, T. S. Kuhn & J. Piaget *Les théories de la causalité,* (Paris, PUF).

HALLIDAY, RESNICK (2002) *Fondamenti di Fisica*, Casa Editrice Ambrosiana Milano.

Haupt G. W. (1952) "Concepts of magnetism held by elementary school children", *Science Education*, 36, 162-168

HEILBRON, J.L. (1979) *Electricity in the 17th and 18th centuries. A study of early modern Physics* California, University of California Press.

HERTZ, H (1962) *Electric Waves,* Dover, New York, pp. 21-25.

HERRMANN, F. & SCHMID, G.B. (1985) "Momentum flow in the electromagnetic field" *American Journal of Physics* 53, 415-420.

HERRMANN, F., HAUPTMANN, H. and SULEDER, M. (2000) "Representations of electric and magnetic fields" *American Journal of Physics*. 68, 171-174.

HESSE, M. B. (1961) *Forces and Fields, the Concept of Action at a Distance in the History of Physics*, Thomas Nelson and Sons Ltd., Edinburgh,

JONES, H. BENCE, (1870) *The Life and Letters of Faraday*, vol. 1, pp. 193-194. Longmans, Green, and Company, London.

JOHANSSON B. (1981) Krafter vid rorelser. Report 1981: 14 from *Pedagogiska Institutionen Goteborg Universitet,* Sweden.

LANDAU, LIFSITS (1981) *Teoria dei campi*, Editori Riuniti.

MAAROUF,A. & BENYAMNA,S. (1997) "La construction des sciences physiques par les representations et les erreurs: cas des phenomènes magnétiques" *Didaskalia*, 11 , pp. 103-120

MALONEY, D.P. (1985) "Charged poles?" *Physics Education* (20) pag. 310-316

MALONEY, D.P., O'KUMA, T.L., HIEGGELKE, C.J. and Van HEUVELEN, A, (2001), "Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism". Phys. Educ. Res., *Am. J. Phys. Suppl.* 69 (7), S12-S23.

MANTOVANI, S. (1995) *La ricerca sul campo in educazione: i metodi qualitativi*, edizioni B. Mondadori

MARIANI, M.C. & OGBORN, J. (1991) "Towards an ontology of common sense reasoning" *European Journal of Science Education* 13(1) 69-85)

MARTIN, J. & SOLBES, J. (2001) "Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física" *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), 393-403

MASCLET, E. (2003) "L'explication du phénomène des saisons chez les élèves de cycle III. Test d'une séquence d'enseignement et ingénierie didactique", tesi di Dottorato, UFR de Physique, Université Paris VII.

MAURY, L., SALTIEL, E. et VIENNOT, L (1997) "Etude de la notion du movement chez les enfants à partir des changements de repère", *Revue Française de Pédagogie*, 40 pp 15-29

MAXWELL, (1957) "Maxwell J.C's letter of 9 November 1857", in *Williams (1971)*

MAXWELL, J.C. A *Treatise on Electricity and Magnetism* 1954 Dover Publications, INC

McDERMOTT, L.C. and the Physics Education Group (1996) *Physics by inquiry*. N.Y., John Wiley

McDERMOTT, L.C., ROSENQUIST M.L. and E. H. van ZEE (1987) "Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics", *American Journal of Physics*, Vol. 55, No 6, pp. 503-513

MÉHEUT M. (1997) "Design a learning sequence about a pre-quantitative model of gases: the parts played by questions and by computer simulations. *International Journal of Science Education*, 19 (6), 647-660.

MÉHEUT M. & PSILLOS, D. (2004). "Teaching Learning sequences: aims and tools for science education research". *International Journal of Science Education*, 26 (5), 515-535.

MENIGAUX, J. (1991) "Raisonnents des étudiants et des lycéens en mécanique du solide". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 738, pp. 1419-1429.

MEYER, K. (1991) "Children as experimenters: Elementary students' actions in an experimental context with magnets" An unpublisched doctoral dissertation, University of British Columbia, Vancouver, B.C.

MICHELINI, M. (2004) *L'educazione scientifica nel raccordo territorio / università a Udine*, edizione Forum,

MICHELINI (2005) "The Learning Challenge: A Bridge between Everyday Experience and Scientific Knowledge", *Proceedings of Girep Seminar, Lubiana* 2005.

MOSSENTA, A. & MICHELINI, M. (2006) "Role-Play as a Strategy to Discuss Spontaneous Interpretino Models of Electric Properties of Matter: an Informal Education Model, *Proceedings of Girep Congress,* Amsterdam 2006

NUSSBAUM, J. & NOVAK, J.D. (1976) "An assessment of children's concepts of earth utilizing structured interviews" *Science Education* 60, 535-550.

NUSSBAUM, J (1989). Classroom conceptual change : philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530©540.

NUSSBAUM, J., & NOVACK, S. (1978) "Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation : toward a principled teaching strategy". *Instructional Science*, 11, 183-200.

NUSSBAUM, J. (1985) *"The Earth as a cosmic body Children's Ideas in Science"* Driver Gnesnes Tibershien (Eds) Open Univ Press Miltan Keynes pag 170 (chapter 9)

NUSSBAUM, J. & SHARONI-DAGAN, N. (1981) "Changes in children's perceptions and alternative frameworks about the earth as a cosmic body resulting from a short series of auto-tutorial lessons", *Israel Science Teaching Centre*, The Hebrew University of Jerusalem, Israel.

OLENICK, R. APOSTOL, T. and GOODSTEIN, D. (1989) *Oltre l'universo meccanico, dall'elettricità alla fisica moderna*, Zanichelli 1989.

PAIS DE SOUSA, M.G. (1997) "Forças e campos magnéticos" Tesi di dottorato. Universidad de Aveiro.

PALMER, D. (2001) "Student's alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity" *International Journal of Science Education*, 23(7), 691-706.

PARK J, KIM I, KIM M and LEE M, (2001) "Analysis of students' process of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics", *Int. J. Sci. Educ.* 23 (12), pag. 1219-1236

PERRUCA, E. (1963) *Fisica generale e sperimentale*, Unione Tipografico-Editrice Torinese (UTET).

PIAGET, J. & INHELDER, B. (1956) *The child's conception of space*, London: Routledge and Degan Paul (pubblicato originariamente nel 1948).

PIAGET, J. (1969) *Logica e Sviluppo*, La nuova Italia, Firenze.

PSILLOS, D. (1995) "Adapting Instruction to Students' Reasoning. In D. Psillos (Ed.). "European Research in Science Education". *Proceedings of the second PhD Summerschool. Leptokaria, Thessaloniki* : Art of Text, pp. 57-71.

RAINSON, S., TRANSTRÖMER, G. and VIENNOT L. (1994) "Student's understanding of superposition of electric fields" *American Journal of Physics*, 62(11) pag 1026-1032.

RAINSON, S., (1995) "Superposition des champs électriques et causalité: Etude de raisonnements, élaboration et évaluation d'une intervention pédagogique en classe de Mathématiques Speciales Technologiques." tesi di Dottorato, UFR de Physique, Université Paris VII.

ROSTAGNI A., (1957) *Meccanica Termodinamica*, Libreria Universitaria di G Randi, Padova.

ROGERS, C.R. (1997) *Terapia centrata sul cliente*, Trad. it. Firenze, La Nuova Italia

ROGERS, L.T (2001) Graphs as bridges between mathematical description and experimental data. The Development of Formal Thinking in Physics - *Proceedings of the GIREP Seminar*, Udine 2001 (vedere anche "Graphs in the Service of Physicists in Physics in Mathematical Mood", S. Carson ed. http://post16.iop.org/shaping/)

RUSSO (2003) "I campi in matematica e in fisica: aspetti didattici e proposte per l'elettromagnetismo", tesi di laurea presso l'Università degli Studi di Udine.

RUGGERO, S., CARTELLI, A. , DUPRE, F. and VICENTINI-MISSONI, M. (1985) "Weight, gravity and air pressure: Mental representations by Italian Middle School pupils" *European Journal of Science Education* 7(2), 181-194 // g6, P, M.

SALTIEL, E. & MALGRANGE, J.L. (1979) "Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire" *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 616, pp 1325-1355.

SAVERLSBERG E. R., DE JONG T. and FERGUSON-HASSLER M. G.M., (2002) "Situational Knowledge in Physisc: the case of Electrodinamics", *J. Res. Sci. Teach.* 39 (10) pag. 928-951

SASSI E. (1992), "Basic Physics Education and Computer Supported Open Approaches in Proceedings of TIE", *European Conference about Information Technology in Education: a Critical Insight,* Universitat de Barcelona 1992, pg271-281

SASSI E. (1997), Computer-based laboratory to address learning/teaching difficulties in basic physics, in *Proceedings ESERA Summer School on Theory and Methodology of Research in Science Education,* Barcelona 1996, pg.55-64.

SCIALINO, E. (2004) "I nodi nell'apprendimento dei fenomeni magnetici, tesi di laurea in scienze della formazione, relatrice Prof.ssa M. Michelini

SIMPSON, T. K. (1997) *Maxwell on the Electromagnetic Field*, A Guided Study, New Brunswick, New Jersey

SOLBES, J. & MARTIN, J. (1991) "Analisis de la introducción del concepto de campo" *Revista española de Física* 5(3), pag. 34-39

SOKOLOFF, D. R. & THORNTON, R. K. (1997) "Using interactive lecture demonstrations to create anactive learning environment," *Phys. Teach.* 35, 340-347.

SNEIDER, C. & STEVEN, P. (1983) "Children's cosmographies: understanding Earth shape and gravity", *Science Education* 67 (2), pag. 205-221.

STEFANEL A., MOSSENTA C., and MICHELINI M. (2001) "Cognitive Labs in an informal context to develop formal thinking in children" *Developing Formal Thinking in Physics, Girep Book of selected papers.*

STEINBERG, M.S. (1992) "What is electric potential? Connecting Alessandro Volta and contemporary students." *Proceeding of the Second International Conference on the History and Phylosophy of Science and Science Teaching.* Vol II, pag 473-480 Kingston

THORNTON R.K. (1993) "Changing the physics teaching laboratory: using technology and new approaches to learning to create an experiential environment for learning physics concepts" *Proceedings of EPS Conference on The Role of Experiment in Physics Education*, Ljubljana: Drustvo matematicov, fisikov in astronomov, pg. 12-31

TORNKWIST, S., PETTERSSON, K.A., and TRANSTROMER, G. (1993) "Confusion by representation: On student's comprehension of electric field concept" *American Journal of Physics.* 61(4), 335-338.

VERGNAUD, G. (1990) "La théorie des champs conceptuels", *Recherche en didactique des mathématiques*

VIENNOT L. (1979) "Spontaneous reasoning in elementary dynamics" *Eur. J. Sci. Educ.* 1, 205-222

VIENNOT, L. & RAINSON, S. (1992) "Students' reasoning about superposition of electric fields" *International Journal of Science Education*, 14(4), 475-487.

VIENNOT, L. & ROZIER, S. (1994) "Pedagogical outcomes of the research in science education" in P. Fensham, R. Gunstone and R. White (eds), T*he content of Science: A Constructivistic Approach to its Teaching and Learning* (London: Falmer Press), 237-254.

VIENNOT L. (1996) *Raisonner en physique*, La part du sens commun, ed. De Boeck.

VIENNOT, L. & RAINSON, S., (1999) "Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field" *International Journal of Science Education* Special issue: Conceptual Development in Science Education (continued), Vol 21 (1), pp. 1-16.

VIENNOT L. 2002. *Enseigner la Physique.* Con la collaborazione di U.Besson, F. Chauvet, P. Colin, C. Hirn-Chaine, W. Kaminski, S. Rainson. Bruxelles: De Boeck.

VIENNOT L. (2003). *Teaching physics.* With the collaboration of U. Besson, F. Chauvet, P. Colin, C. Hirn-Chaine, W. Kaminski, S. Rainson. . Trad. M. Greenwood & A. Moisy. Dordrecht: Kluwer Ac. Pub.

VYGOTSKY, L. (1978) *Mind In Society: The Development Of Higher Psychological Processes* Cambridge Ma: Harvard University Press.

VOSNIADOU, S. & BREWER, W.F. (1992) "Mental Models of the Earth: A study of conceptual change in childhood" *Cognitive Psychology* 24, 535-585.

VOSNIADOU, S. & IOANNIDES, C. (1998) "From conceptual development to science education" *International Journal of Science Education* 20(10) p. 1213-1230

VOSNIADOU, S. (2001) "Conceptual change Research and Teaching of Science", in H. BEHNDT et al. (eds) *Research in Science Education Past, Present, and Future*, Kluwer Academic Publischers Printed in the Netherlands, pag 177-188.

WHEELER, J.A. (2002) *Wheeler, Gravita' e Spazio-Tempo*, Zanichelli

WILLIAMS, L. P. (1971) *The Selected Correspondence of Michael Faraday*, vol. 2, Letter 670, pp. 881-883. Cambridge University Press, London.

WILLIAMS, L.P. (1965) *Michael Faraday: a Biography*. New York: Basic Books.

WINN, P.J., (1984) School Sci. Rev., Sept.

WITHELOCK, D. (1991) "Investigating a model of commonsense thinking about causes of motion with 7 to 16 year old pupils. *International Journal of Science Education*, 13, 321-340.

WOLF, A., van HOOL, S.J. and WEEKS, E.R. (1996) "Electric field line diagrams don't work" *American Journal of Physics*. 64, 714-724.

TESTI DELLA SCUOLA SECONDARIA ANALIZZATI

MARITA PALLADINO BOSIA (1997) "Fisica", Petrini editore

VITTORIO ZANETTI (1996) "Fisica", Zanichelli editore

E. AMALDI, G. AMALDI, U. AMALDI (1989) "Ottica Elettromagnetismo Struttura della materia", Zanichelli editore

P. W. ZITZEWITZ, R. F. NEFF (1994) "Fisica principi e problemi, per la scuola secondaria", Mc Graw-Hill

D. HALLIDAY, R RESNICK (1999) "Fondamenti di Fisica 3, ad uso delle scuole secondarie"; Zanichelli editore

PSSC (Comitato per lo studio della scienza fisica) (1999) "FISICA a cura del PSSC" 4° edizione Zanichelli.

FAZIO, M., MONTANO, M.C. (1991) "FISICA per i licei scientifici", vol. 3, Arnoldo Mndadori.

CAFORIO, A., FERILLI A. (1999) "Fisica sperimentale", Le Monnier

Progetto di Fisica PPC (1986), 2° edizione, Zanichelli.

BERNARDINI C. E TAMBURINI S. (1990) "Corso di Fisica", Giunti Marzocco edizioni.

VIOLINO, P. E ROBUTTI O. (1995) "La Fisica e i suoi modelli", Zanichelli.

Résumé de la thèse

Ce travail de thèse se centre sur le concept de champ, plus particulièrement sur les champs gravitationnel et magnétique. Il relève de deux cadres :

- investigation visant la validation d'hypothèses de recherche, et l'analyse des possibilités et des modalités d'évolution conceptuelle des élèves ;
- mise en œuvre des résultats dans un contexte classique d'enseignement, à l'école primaire et à la fin de l'enseignement secondaire.

L'examen des travaux antérieurs, l'analyse du contenu et une phase préliminaire d'étude ont conduit à axer ce travail sur des hypothèses fortes, que l'on peut résumer à très grands traits en deux propositions dont la validité est mise à l'épreuve :

- La représentation des lignes de champ peut faciliter l'accès à une vision globale du champ (en rupture avec une vision locale dominante) et à une différenciation des divers champs par les formes des lignes ;
- La différenciation des champs polaires et dipolaires, grâce à l'étude de leurs actions sur des détecteurs judicieusement choisis, peut permettre d'identifier les propriétés spécifiques des divers types de champs.

L'étude comporte trois étapes :

- exploration des idées des enfants sur les champs gravitationnel et magnétique (5-11 ans) ;
- entretiens de recherche sur la représentation des champs magnétique et gravitationnel à travers les lignes de champ (9-11 ans) ;
- construction, mise en œuvre et évaluation de deux séquences d'enseignement- apprentissage à l'école primaire (9-10 ans) et secondaire (18-19 ans).

Les deux premières étapes ont permis de déterminer potentialités et obstacles relatifs à cette approche au niveau du primaire. En particulier, elles ont mis en évidence que la source du champ magnétique est mieux perçue que celle du champ gravitationnel et que la représentation des deux champs à travers les lignes du champ est accessible aux enfants de fin d'école primaire. Deux obstacles ont été détectés:

a) dans les observations et commentaires des enfants, l'attraction est dominante par rapport à l'autre effet de l'interaction magnétique, la rotation ;

b) les enfants différentient aisément la forme des lignes de champ pour les champs gravitationnel et magnétique, mais il y a des difficultés à retraduire cette différence de cartographie en terme de différence entre les actions des deux sources.

Ces deux enquêtes préliminaires ont permis de développer des séquences d'enseignement concernant le champ magnétique à l'école primaire et secondaire.

Les hypothèses de recherche sont présentées, en deux grands groupes : école primaire, école secondaire (elles sont relatives à la distinction entre attraction et orientation, à la conception des lignes de champ comme "lignes d'orientation", au passage vers une analyse en termes de pôles, à la distinction entre les champs unipolaire et dipolaire, ...), elles sont précisées en diverses sous-hypothèses, pour lesquelles des éléments détaillés de validation sont examinés dans les chapitres correspondants.

A l'école primaire, la représentation des lignes de champ est accessible à une bonne partie des enfants qui identifient les lignes de champ magnétique à des lignes d'orientation (et non « de force »), l'obstacle *a)* est largement surmonté déjà à ce niveau scolaire, tandis que l'obstacle *b)* reste fort pour un bon nombre d'élèves. Au niveau de l'école secondaire, les élèves utilisent la forme des lignes des champs pour différentier les champs polaires et dipolaires. Les lignes de champ sont utilisées aussi pour identifier les analogies entre les champs. Les indications recueillies en cours de séquence comme lors d'un post test rendent crédible, dans ce contexte scolaire, l'adoption de l'approche proposée ici, et permettent d'orienter les recherches pour l'affiner.

Ringraziamenti

Ringrazio innanzitutto le mie due direttrici di tesi Prof.ssa Marisa Michelini e Prof.ssa Laurence Viennot per avermi introdotto nel mondo della ricerca in didattica, per i loro suggerimenti, per la loro guida e per il loro entusiasmo in tutto il lavoro di tesi.

Francesco per il sostegno e la comprensione, per essermi stato vicino e avermi sopportato nei momenti difficili.

Tutte le persone dei due laboratori di ricerca (U.R.D.F. dell'Università di Udine e L.D.P.E.S. dell'Université Denis Diderot Paris 7) che mi hanno sostenuto e aiutato in questo lavoro di tesi, in particolare Cecile de Hosson per la sua amicizia e disponibilità, Alberto Stefanel, Lorenzo Santi e Riccardo Giannitrapani per le riflessioni e i contributi sulla fisica.

Il Prof. Cecchini per gli approfondimenti sulla matematica dei campi, i professori Francesco dalla Valle e Enzo Cortesi per gli apporti alla costruzione del percorso sul magnetismo.

Infine un grazie sincero ai colleghi che mi hanno accolto nelle loro classi per le sperimentazioni, agli alunni e ai bambini che hanno partecipato a questa ricerca e da cui ho imparato moltissimo.

ALLEGATI

1. Allegati (capitolo 5)

1 Il Protocollo d'intervista del CLOE sul campo gravitazionale

1) DOMANDA: Stando sulla Terra con una pallina in mano, se la lascio andare, cosa succede?

   RISPOSTE POSSIBILI:

   a) Cade a terra

2) DOMANDA: Come ti spieghi questo?
   RISPOSTE POSSIBILI

   a. Perché è attratta dalla forza di gravità
   b. Perché è attratta dalla Terra
   c. Perché la lascio andare (manca un supporto)
   d. Perché l'aria permette alla forza di gravità di agire (aria è il mezzo) sulla pallina
   e. Perché la pressione dell'aria la tira giù
   f. Perché l'aria attrae giù gli oggetti
   g. Perché la pallina è pesante (concetto di peso come proprietà dei corpi)
   h. Perché non c'è abbastanza gravità per tenerla su (concetto di "reverse gravity", vedere [12])
   i. Perché la sua natura è così

3) DOMANDA (Soltanto se i bambini menzionavano la gravità o la forza di gravità) E che cos'è la gravità, secondo te?
   RISPOSTE POSSIBILI

   a. È la forza che attrae tutte le cose sulla Terra (unicità del sistema Terra)
   b. È la forza attrattiva tra due masse
   c. È la forza che ci mantiene sulla Terra
   d. È la forza che ci tira giù
   e. È la forza che esiste nello spazio e sostiene tutte le cose impedendo che cadano (concetto di "*reverse gravity*")

4) DISEGNO:
   DISEGNI POSSIBILI:

   a. disegno raffigurante correttamente le linee di campo radiali
   b. la traiettoria delle palline lasciate cadere all'equatore invece che cadere sulla Terra disegnata, vengono fatte cadere in verticale lungo il foglio
   c. la traiettoria delle palline lasciate cadere all'equatore e al polo Sud invece che cadere sulla Terra disegnata, vengono fatte cadere in verticale lungo il foglio

   CONDIVISIONE DEI RISULTATI: bene ora mi aiutate a disegnare quello che avete disegnato voi?... con l'aiuto di tutti.

5) DOMANDA Ora consideriamo un oggetto lontano dalla Terra e fermo, se lo lasciamo andare secondo voi cosa succede?
   RISPOSTE POSSIBILI

   a. Sta fermo perché l'atmosfera è come una palla invisibile che mantiene tutte le cose dentro di lei, fuori non c'è aria, quindi non c'è gravità
   b. Sta fermo perchè è incollato al cielo

c. Sta fermo perchè ha una traiettoria fissa
d. Si muove
e. Galleggia
f. Cade sulla Terra

6) DOMANDA Ora prendiamo un oggetto con una certa velocità a una certa distanza dalla Terra, cosa succederà? Cade, ma perché cade? Come sarà la sua traiettoria?
RISPOSTE POSSIBILI

a. Perché è pesante
b. Perché è veloce
c. Perché è attratto dalla Terra
d. Dipende dalla direzione e dall'intensità della velocità iniziale

7) DOMANDA E i satelliti come mai non cadono sulla Terra, secondo te?
RISPOSTE POSSIBILI

a. Perché stanno su delle orbite fisse
b. Perché dove non c'è l'aria, non c'è la gravità
c. Perché sono leggeri
d. Perché sono in equilibrio
e. Perché hanno una velocità iniziale diversa da zero e risultano in eterna caduta intorno alla Terra.
f. Perché non sono soggetti alla forza di gravità

B- Situazione problema

8) ESPOSIZIONE DEL MODELLO DEL CAMPO
Spiegazione:

D: Abbiamo osservato che la Terra attrae tutti gli oggetti, quindi deve esserci qualcosa nello spazio che fa sì che uno cada. Com'è che una cosa cade??

RISPOSTE:

a) muovendosi
b) quando c'è il vuoto
c) quando c'è un buco

D: Quando c'è un buco, cade.

Allora possiamo immaginare che lo spazio sia come una membrana e immaginiamo che questa sia la Terra, com'è?

[viene mostrata la Terra ai bambini dandogliela in mano a uno a uno]

Tutti i Bambini: è pesante!

D: la Terra dentro questa membrana... crea un buco, attirando tutti gli oggetti, "deformando lo spazio".

Inserendo la nostra pallina ferma vicino alla Terra, cosa succede?

Tutti i bambini: Cade giù sulla Terra

[I bambini provano nelle varie direzioni]

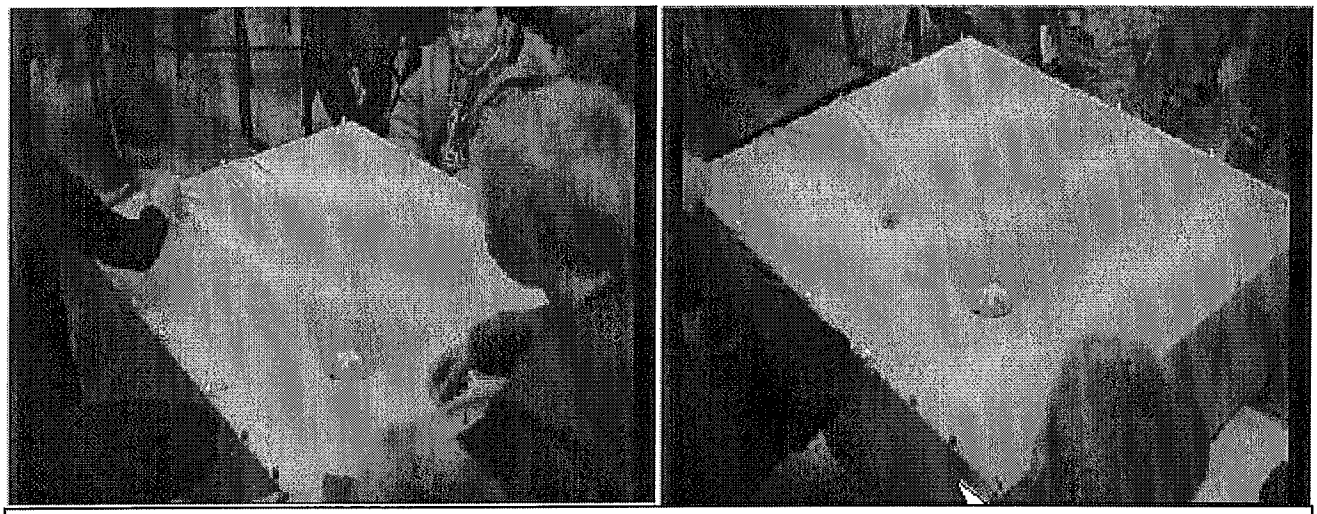


Figura 1: Il lancio di un bambino che realizza un'orbita circolare o ellittica utilizzano il modello oggettuale

C- domande situazione

9) INTERPRETAZIONE DEL MODELLO DI CAMPO GRAVITAZIONALE da parte dei bambini
Situazione:

D: Bene abbiamo visto che la Terra in tutti i punti dello spazio attira gli oggetti verso la Terra.

Se io adesso volessi inserire una pallina nello spazio in modo che non cada sulla Terra, **come devo fare secondo voi?**

(I bambini provano e scoprono che la pallina può o cadere sulla Terra, o essere deviata e scappare via, oppure girare intorno alla Terra).

Secondo voi come ve lo spiegate?

D- Altre domande

10) DOMANDA La gravità c'è anche sulla Luna? E negli altri pianeti?
RISPOSTE POSSIBILI

a. No perché la gravità agisce solo sulla Terra
b. No perché sulla Luna non c'è l'aria
c. Sì però genera un'accelerazione 1/6 di quella che si ha sulla Terra
d. Sì perché come ci spiega il modello anche la Luna crea una modificazione dello spazio e quindi ha una sua gravità.

2. L'analisi del CLOE sul campo magnetico in dettaglio

(svolta dalla Dr.ssa Barabara Fedele)

1 Esplorazione della calamita come sorgente

1a. Lo stumento calamita *(D: Avete mai sentito la parola "calamita"?)*

Categoria	N° di risp.	Esempi	Percent.
1	23	*"Si"; "L'ho sentita tante volte" "Io ho i geomag" "Si, è come se tu hai il ferro e lo attacchi con l'altro ferro e si attacca. Però quello della calamita"; "E' una cosa che viene attirata dal ferro"*	92
2	2	*"No"*	8
TOT	25		100

1b. Possesso dello strumento calamita *(D: Ne possedete?)*

Categoria	N° di risp.	Esempi	Percent.
1	26	*Si "Geomag"; Es. "Supermag"; . "Io ne ho in tasca, i supermag"*	96
2	1	*No*	4
TOT	27		100

1c. Familiarità con lo strumento calamita *(D: Avete mai provato a giocarci? Cosa ci fate?)*

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	14	Propietà di attaccarsi a particolari oggetti *"Prendo la calamita, la metto vicino alla pallina e la pallina si attacca" "Io la attacco nel mio letto"; "Io nel frigo" "Sulle robe di ferro" "Sul barattolo di latta"*	58
2	9	Utilizzo del magnete per costruire qualcosa *"Io ho fatto una chiesa". "Anche delle trottole"*	38
3	1	Rischio nell'avvicinare una calamita al computer *"Però non posso metterlo vicino al computer"*	4
TOT	24		100

2. Previsione dell'interazione del magnete con oggetti vari.
(D: Che cosa fa una calamita se la avviciniamo ad un oggetto?)

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	4	Propietà della calamita di attrarre oggetti *"Tira"; "Attira"; "Si può tirar su tutto"*	10
1a	11	Propietà della calamita di attrarre oggetti ferromagnetici *"E' un oggetto che attira solo le cose fatte di ferro"; "Metalli che contengono ferro e acciaio"; "Attira le cose magnetiche"; "Viene attirata dal ferro"; "Attira cose metalliche"*	28
Tutti 1	15		38
2	9	Propietà della calamita di attaccarsi agli oggetti *"Si attacca";. "Attacca"*	18
2a	13	Propietà della calamita di attaccarsi agli oggetti ferromagnetici *"Si attacca al ferro"; "Si attaccano solo le cose di ferro*	38
Tutti 2	22		56
3	2	Evidenziano in generale la forza o potenza della calamita *"Ha una potenza"; "C'è una forza apposta*	5
TOT	39		100

3 e 4 e 5 Esplorazione dell'attrazione o no della calamita di diversi oggetti

3a. **Calamita e legno** *(D: La calamita si attira con questo pezzetto di legno?)*

Tutti i bambini rispondono negativamente. (Categoria 1) *Es: "No";: "Non si attacca"*

3b. Calamita e forma diversa degli oggetti dello stesso materiale

(D. E con questo che ha una forma diversa?)

Tutti i bambini rispondono negativamente (Categoria 1), alcuni ipotizzano una spiegazione .....

Es: "Non si attacca"; "No. Perché il materiale è sempre lo stesso"

3c. Importanza della forma nell'interazione magnetica *(D: Quindi gli interessa la forma?)*

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	2	Si	6
2	12	No	38
2a	18	No, il materiale *"Di cosa è fatto"; "Perché è di legno"; "No, il materiale"; "Non centra la forma, centra se è magnetico o ferro"*	56
Tutti 2	30		94
TOT	32		100

4a. **Calamita e forbici** *(D: La calamita si attira con le forbici (il materiale di cui sono fatte le forbici)?)*

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	5	Si	26
2	2	No	11
3	12	Distinzione parti delle forbici di materiale diverso *"Solo la lama"; "Solo di qua perchè è di acciaio"*	63
TOT	19		100

4b. Motivazioni *(D: Perché?)*

Tutti i bambini motivano l'attrazione o no al materiale: la lama è di plastica / non è di ferro.....

(Categoria 1) *" Perché la lama è di ferro e il resto di plastica"; "Di qua no perché è di plastica"*

5a. **Magnete e cubetto di alluminio** *(D: E questo cubetto?)*

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	12	Si	44
2	11	No	41
2a	1	No perché non è acciaio	4
2	12	Richiesta di informazioni specifiche sul materiale *"Di cos'è fatto?"; "Che materiale è?"*	44
3	3		11
TOT	27		100

5b. Motivazioni.*(D: Perché?)*

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	3	Iniziale confusione che attribuisce ai materiali ferromagnetici la capacità di non essere attratti *"E' di metallo"; "Acciaio"; "E' ferro"*	17
2	15	Riconoscimento della diversità dei materiali non ferromagnetici, a volte viene identificato l'alluminio *"Assomoglia all'acciaio ed è metallo ma non è acciaio. E' un altro tipo di metallo"; "No. E' un metallo ma non è ferro né acciaio"*	83
TOT	18		100

6. Interazione calamita – limatura di ferro (descrizione ed interpretazione delle linee di campo).

6a. Previsione e interpretazione dell'interazione calamita limatura di ferro

(D: Cosa succede se avvicino la calamita a questi pezzetti di acciaio?)

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	12	Riconoscimento della fenomenologia: la limatura di ferro si attacca *"Si attacca.""Si uniscono"*	29
1a	20	Riconoscimento dell' attrazione della calamita verso la limatura di ferro *"Che si*	49

		attraggono";. "Vengono attirati"; "Sentono la calamita lì e tutti vengono"	
1b	7	Riconoscimento dell' attrazione della calamita come attrazione a distanza: *Questa potenza è talmente forte che può attraversare degli oggetti"* *"Lo fa anche se tu non la stai toccando perché c'è una potenza che attira ... che è proprio fatta per attirare l'acciaio e il ferro"*	**17**
Tutti 1	39	Spontanea considerazione della fenomenologia della calamita in movimento *"Se muovi la calamita si muovono";. "Si muovono"*	**95**
2	2		**5**
TOT	41		**100**

6b. Calamita in movimento*(D: E se la muovo?)*

Categoria	N° di risp.		**Percent.**
1	15	Si muovono e basta *"Si spostano", "Si muovono"*	**65**
2	7	Seguono la calamita *"Corrono. Si muovono dietro alla calamita"; "La seguono"*	**30**
3	1	Viene menzionato il campo magnetico *"C'è il campo magnetico"*	**4**
TOT	23		**100**

6c Descrizione della disposizione della limatura di ferro in presenza della clamita *(D: Se la distendo come si mettono?)*

Categoria	N° di risp,		**Percent.**
1	13	Disposizione della limatura di ferro. *"Sembra una montagnetta"; "Sembra una montagna col tramonto"; "Sembra una cipolla"*	32
1a	11	Identificazione della calamita con la forma. *"Si mettono a forma di calamita"*	27
Tutti 1	24		**59**
2	17	Relazionarsi con il sistema preesistente in termini: • fisici *"Quelli lontani non sentono la calamita"; "Quelli lontani sono solo appoggiati" "No, quelli lontani la sentono la calamita* • causali *"La calamita li tiene"; "Vengono tutti perché c'è la calamita"* • tautologici *"Si avvicinano tutti perché la calamita è più vicina per cui anche se sono sparsi tutti si avvicinano"* • fenomenologici *"Si appiccicano"; "Li attira"; "Si gira" "Si riuniscono tutti"*	**41**
TOT	41		**100**

6e. Interpretazione delle linee di campo formatesi una volta disposta la calamita

Categoria	N° di risp.		**Percent.**
1	6	Individuazione delle linee di campo *"Delle linee";. "I contorni*	20
1a	12	Individuazione delle linee di campo e spiegazione delle loro caratteristiche e analogie *"Una cipolla". "Linee di macchina". "Dipende dalla forma della calamita". "Oblique". "Non tutte uguali". "Storte e dritte". "Non sono rotonde"*	40
Tutti 1	18		**60**
2	9	Interpretazione delle linee di campo in riferimento soltanto al particolare percorso individuato dalla limatura di ferro *" come si mette la paglietta ...." "La forma che ha dato la calamita ai pezzettini". "Come si mettono i pezzettini" "Le linee uguali ai pezzettini"*	**30**
3	3	Associazione delle linee di campo con onde, a volte indicate come onde magnetiche *"Ha fatto la forma di un'onda magnetica". "Ah ho capito: è l'onda che li va a prendere". "Quelle linee sono onde"*	**10**
TOT	30		**100**

7. La calamita come sorgente e il suo ruolo nel processo di attrazione.
(D: Che cosa c'è nella calamita che attira i pezzetti? Perché lo fa?)

Domanda	N° di dom		Percent.
1	11	Identificazione della calamita come sorgente del campo magnetico o del magnetismo come energia non ben definita *"C'è il campo magnetico" "C'è un'energia, il magnetismo" "Ci sono delle onde magnetiche"*	**42**
2	14	La calamita viene correttamente identificato come produttore della forza *"La forza proviene dalla calamita" "La forza proviene dal ferro"*	**54**
3	1	L'aria come mezzo di trasmissione della forza magnetica *"C'è l'aria che li muove"*	**4**
TOT	26		**100**

8. Riconoscimento delle proprietà della bussola

8a. La bussola e il suo comportamento *(D: Cos'è questa?)*

La totalità dei bambini risponde: Una bussola

8b. Riconoscimento della funzione della bussola
(D: A cosa serve?)

Categoria	N° di risp.		**Percent.**
1	14	Categoria puramente funzionale *"A segnare il punto dove stai se ti sei perso la bussola ti insegna la strada per tornare in un posto che conosci" "Serve per orientarsi" ""Dove sei"*	35
1a	19	Riferimento ai poli o ai punti cardinali *"Dov'è il nord, sud, est e ovest "Va dov'è il nord e il sud" "Ti dice i punti cardinali"*	48
Tutti 1	33		**83**
2	5	Interpretazione del processo di interazione *"L'ago è calamitato e la forza magnetica della terra lo attira sempre verso il nord." "Sente il polo magnetico della terra" "L'ago della bussola è magnetico e si dirige lungo il polo nord e polo sud della terra"*	**13**
3	2	Descrizione del comportamento della bussola 5 *"Gira". "Si è fermata nella calamita"*	**5**
TOT	40		**100**

8c. Previsione e descrizione dell'interazione bussola / calamita
(D: Cosa fa l'aghetto se gli avvicino la calamita?)

Categoria	N° di risp.		**Percent.**
1	15	Descrizioni contingenti *"Si ferma" "Si attacca""Gira come il ferro"*	**28**
2	0	Descrizioni che fanno riferimento ad una rappresentazione interpretativa	**0**
3	29	Descrizioni con le variabili selezionate in cui si assume già un punto di vista, o una modalità di osservazione. *"Diciamo che la attacchi, lei si muove dov'è la calamita" "Punta verso il magnete con quella parte dell'aghetto" "Gira come giri la calamita. Nello stesso senso della calamita" "Segue la calamita"*	**54**
4	10	Interpretativa (individuano una ragione del comportamento) *"Girano le lancette verso la calamita perché sono attirate" "Gira la lancetta perché la lancetta è fatta di ferro"*	**19**
TOT	54		**100**

8d. e 8e Previsione e interpretazione dell'interazione dell'ago della bussola con i poli della calamita
(8d: Qui, quale parte dell'aghetto punta verso la calamita?)

Categoria	N° di risp.		**Percent.**
1	15	Riferimento visivo e osservabile *"La lancetta rossa" "Quello grigio". "Quello bianco"*	**83**
2	3	Previsione interpretativa dei poli *"Il nord" "La parte negativa" "Negativa perché è grigia. E quella rossa è positiva.*	**17**
TOT	18		**100**

8f. Costruzione ed interpretazione delle linee di campo: *(D: Cos'ha fatto? Cos'abbiamo disegnato?)*

Categoria	N° di risp.		Percent.
1	15	Dimensione puramente rappresentativa *"Ha fatto il giro" "Sono dei cerchi" "Una casetta" "Le montagne" "Hai fatto un esagono"*	63
2	7	Indidividuazione della traiettoria *"La strada per arrivare al grigio" "Fa il percorso per andara dalla calamita" "Perché c'è la calamita e allora la calamita la mette in una forma diversa"*	29
3	2	Riconoscimento delle linee del campo magnetico attraverso la limatura di ferro *"Segue il campo magnetico, la linea di forza più vicina" "Vien fuori il campo magnetico"*	8
TOT	24		100

9. Previsione del percorso della pallina inizialmente ferma inserita in particolari punti sulle linee del campo magnetico.
(D: Che percorso fa la pallina messa qui ferma?)

Domanda	N° di dom.		Percent.
1	3	Riconoscimento dell'attrazione magnetica. *"La calamita la tira e allora si attacca" "L'attira"*	7
2	4	Indicano il moto della pallina *" Si muove da sola"* "Si muove verso la calamita"	9
3	5	Indicano la traiettoria della pallina *E' andata dritta*	11
3a	20	Fanno riferimento alle linee di campo disegnate, considerando le traiettorie che hanno seguito *"Segue le linee."" Ha seguito la riga" "Fa la stessa strada"*	44
Tutti 3	25		56
4	13	Indicano la posizione finale della pallina *Si va a mettere lì., Si attacca, da sola.*	29
TOT	45		100

10. Previsione caduta pallina dallo scivolo in assenza di campo magnetico.
(D: Se lascio cadere la pallina dallo scivolo, che strada fa?)

Categoria	N° di risp		Percent.
1	31	Va giù dritta "E' andata dritta" "Parallela alla striscia nera" "E' la direzione che gli dà lo scivolo"	94
2	2	Perchè ha una velocità/ Perchè lo scivolo le da' una velocità *"Perché ha una velocità" "Lo scivolo gli dà la velocità"*	6
TOT	33		100

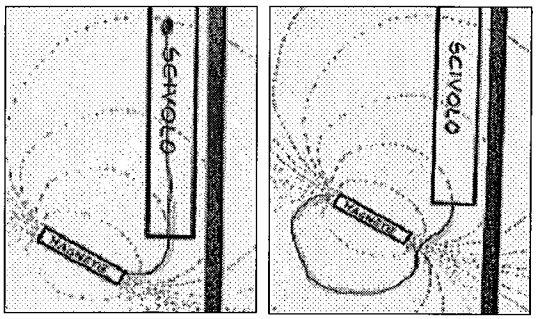
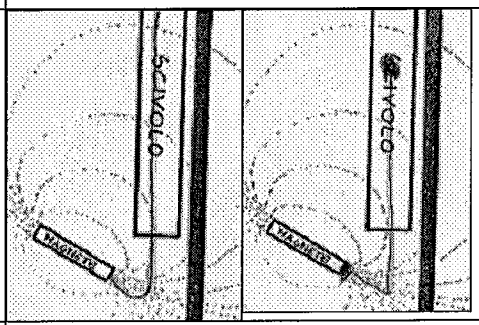
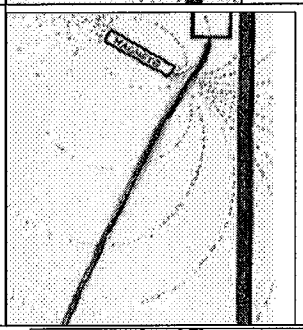
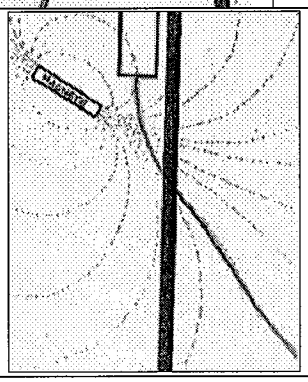
11. Previsione traiettoria della pallina in un campo magnetico.
(D: Se ora metto qua la calamita, la pallina che percorso farà?)

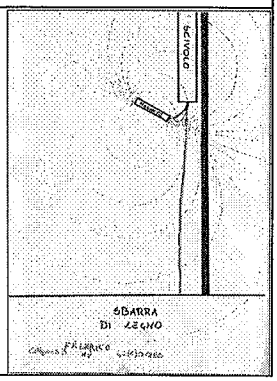
<table>
<tr><th colspan="2">Le previsioni dei bambini sulla traiettoria di una pallina in moto in un campo magnetico</th></tr>
<tr><td>Linee di campo = traiettorie 68%

1a) 61%: la traiettoria coincide con la linea di campo che esce dal polo più vicino alla calamita

1b) 4% Prevedono le due alternative di traiettoria obbligata o sul polo più vicino o su quello più lontano.

1c) 2%: le traiettorie seguono le linee di campo fino a un polo per poi proseguire verso l'altro senza attaccarsi.</td><td>1a) :"Si attacca perché c'è la calamita che lo attacca"
"Segue la line fino qua (al polo della calamita),...

1b): "Per me quando la pallina esce dallo scivolo la forza riesce a tirarla. Oppure visto che non è piccola anche qui può tirarla e farla andare, girare e andare dall'altra parte. Può anche seguire le linee. C'è la calamita che lo attacca"
  </td></tr>
<tr><td>Traiettorie rettilinee spezzate o curvilinee senza seguire le linee di Campo 21%</td><td> 
Es: "La calamita attira la pallina e la pallina si attacca alla calamita. Va dritta poi quando la pallina è abbastanza vicina alla calamita quindi la calamita ha la forza abbastanza da attirare la pallina..."
Es. Si attacca alla calamita con una curva ma non seguendo le linee.</td></tr>
<tr><td>Il magnete devia la traiettoria della pallina 7%
(considera sia il campo Magnetico sia la velocità iniziale)</td><td> 
"La pallina scende con la velocità. La calamita la attira però continua ad andare avanti lo stesso" "Se la forza di spinta è vuota va addosso al magnete; se è maggiore il magnete le fa cambiare direzione e fa una curva deviando verso la calamita."</td></tr>
<tr><td>Magnete respinge la pallina 3%
"Va per fuori lungo le linee, va nella direzione dove la manda il magnete. Ma secondo me quando arriva lontana non c'è più tanto l'attrazione e la pallina va nella direzione..."
  </td><td>Magnete non influisce sulla traiettoria1%

".... va giù dritta parallela allo scotch."
  </td></tr>
</table>

2. Allegati (capitolo 6)

POST TEST

1) Est-ce que selon toi il peut y avoir une attraction comme celle de la Terre dans une autre planète qui n'aurait pas d'air ni aucun d'autre gaz autour d'elle? Explique bien…

2) Quand on compare l'action de la Terre avec celle d'un aimant :

- Est-ce qu'il y a des choses pareilles ?
- Si oui lesquelles ? Explique bien…

ANALISI COMPLETA

Fase 1: *Introduzione alla gravità*

	1a	1a		1a	1a	7a	7a	7a	7a	7a	
G 2	Terre attire Force attract.	Pes anteur	Stylo lourd / leger	Parce que'il n'y a rien au dessous	On lache, maladroit	Draw A	Draw A1	Draw B	Draw C	Draw D	Comments by them *by us*
1	+(a) Terre >stylo ++ b					+, +					1a il va tomber parce que la Terre est plus grosse que le stylo
2		+ a il y a du poids dans le stylo	+ a			+, +					
3	+ a				+ b	+, +					
4	+(a) il y a une sttraction ++(b)la Terre attire le stylo avec une force					+, +					1a Je ne me suis jamais posé la question
5	+a attraction terrestre +a					+, +					
6	+(a)attraction terrestre						+, +				
7					+ a			+	+		*Pb in 1a, pb in 7adraw,**then OK***
8	+(a) force d'attraction	+(a) apesanteur				+, +					
G 1											
1		+ +				+ +					C'est la gravitation: gravitation = graviter (le verbe) "les planets gravitent autour des planets"
2					+ + ça fait du bruit	+ +					
3					+	+*(**)			+		
4				+ (a) il n'y a rien.. il y a l'air	+ b	+ +***					
5				+	+				+	+	
6		+ b			+ a	+ +					
7					+ +	+		+			
8			+ il est léger		+			+ +			
9					+			+			

Observation sur les dessin:

** l'enfant a dessiné les bonhommes tous verticale (la feuille point de référence)

* au début l'enfant a dessiné les arbre vue perspective après discussion dessin correct

*** Ballons correct mais arbre à l'envers, vers le centre de la Terre

a, b, c, ..selon step: ordre des remarques dans l'entretien

Fase 2 : Introduzione al magnete

				A peut influencer un peu plus loin ?		PREVISION	OBSERVATION			
								ATTRACTION ambiguité	ORIENTATION	
G2	La force magnétique / l'aimant ça colle – ça accroche	Ça attire	Force, ça attire seulement le fer / le métal	Loin ? oui	Loin ? non	L'aiguille bouge / Ça change	L'aiguille suit l'aimant/ Bouge / Ça change	Attire l'aiguille/	l'aiguille se dirige vers A/ se met du même sens / elle tourne	Terre= aimant
1	+ a		+ b		+ c	+ d oui				e
2	+(a)c'est une reaction +(a) c'est deux matières qui se rencontrent		b		+ c + c	+ d non	+ +(e) ça change			
3			+ a		+ b		+(e)elle bouge			
4		+ a	+ b +b	+ c		+ d elle va se faire attirer		Dans la prevision		
5			+ a + a		+(b)ça dépend de l'aimant	+(c) elle se dirige vers aimant	+d +(d) ça monte		Dans la previison	
6	+ a + a					++ (b) elle va vers les bouts			+c vers aimant +vers les bout	
7	+ b	+ a				++(c) elle suit l'aimant	Dans les previison			
8	+ a + a		+ b + b	+ c +(c) si A. puissant		+d elle va venir vers A. + d +(e) si on tourne la boussole à droite la fleche va aller à droite	+(e) ne bouge pas		Dans la previison	
G1										
1			+ a	+ b			+ c suit l'aimant			
2	+ a		+ b		+c +	+ d				
3	+ a		+ b	+ d	+c +	+ e l'aiguille elle tourney	+ f suit l'aimant			
4	+ a +			+ b	+b	+ c pas trop			+ d l'aiguille du meme sens que l'aimant	
5	+ a +			+ b +		+ c elle va se coller +			+ d elle se mets comme l'aimant	
6	+ a +			+		+ elle va tourner				
7	+ a +				+b +	+ c +				
8	+ a			+ b +il peut rapprocher les aimants	+ c non pour la boussolle	+ d l'aiguillw va tourner!				
9	+ a			+ b si on met un autre aimant		C l'aimant controlle l'aiguille				

Fase 3: Osservazion, costruzione delle linee di campo amgneticoa

	PREVISION		Interpr etation	OBSERVATION					
	aiguilles vont bouger ?		c'est beau, rigolo	They have moved	All is towads A?				
					oui	non	non		
G 2	oui	non					Ça fait comme un rond	Il y en a des tous droits / et d'autre	Autres choses
1	+ a +(a)être attiré vers le haut		+ c + c	++ d ça attire + e far away no					+(f) Aiquilles dipsosées≠ en diagonale / lignes +(g) ça semble des lignes
2	+(b) ça va attirer +si métal	+ a		+ c +(c) face à l'aimant					
3	+ a	+ a			+ b		+ c	+ d	
4	+ a changer direction +				+ b attirer	+ d			+c ça devient pas comme si collé
5	+(a) se dirige vers magnet +(a) elles montent en l'air					+ + b elles se dirigent vers les bouts			
6	+(a)se met en horizontal + (a)					+ c	+ b		
7	+(a)suit magnet direction +(a) pareille que boussole			+(b) all moved +(c) far away no	+ d	+ e + e			
8	+(a)t out va s'attirer +(a) pas tout va s'attirer			+ (c) far away no		+ b + b			
G 1									
1	+ a elles vont se dresser + elles vont changer de direction			+(b) vers les bouts de l'aimant + (b) vers les extremités					
2	+(a) elles vont partir sur la même direction +(a) elles vont partir parallèles		+ b					+(c) tout droit et vers les cotés	
3	+(a) elles vont toutes dans le même sens +(a) elles vont vers l'aimant							+(c) il y en a parallèle à l'aimant	
4		+ a + a		+(b) ça ch'ange! +(b) ça resene l'aimant (elles ont changé à cause de l'aimant)			+ c + c	+(d) elles vont sur les deux sens	
5	+(a) elles vont être dans la direction de l'aimant					+b +b			
6	+(a) elles vont tourner vers le centre de l'aimant			+(b) elles n'ont pas toutes bougé		+ d + d		+(e)au milieu elles vont de travers	
7		+a non +(a)je ne sais pas		+(b) ça les a ramenées	+ b	+c (après question explicite)			
8	+(a) elles vont aller vers l'aimant	+ a			+b +b				

9	+(a) ça va se se coller et les aiguilles vont bouger								+(b) ça va se coller et si on deplace l'aimant elles bougent

Fase 4: Interpolazione

G1	G2		interpolation champ magnétique
4	7	A	correcte
4	5	B	correcte aux poles de l'aimant mais au mileu non (traits vers l'aimant)
9	4	C	mixte (des fois correcte des fois non)

Fase 5: Influenza magnetica in tre dimensioni

G2	Prevision influence dans l'espace: oui	non	Je ne sais pas	Observation après:
1		+ b	+ a	
2	+ +			
3	+ les aiguilles se mettent en verticale + les aiguilles se mettent dans la même forme			
4	+ + les aiguilles vont être attirées			
5	+ (b) les aiguilles vont vers le bas		+ (a)	
6		+ +		
7	+ les traits vont partir en diagonale +			
8	+ +			
G1				
1			+	Ça fait la même chose
2	+ +	+		+ Ça a changé, surtout la 1° ligne + ça n'a pas changé
3	+ ça va changer	+ a + a		Ça ressemble à ça
4	+ b			+ ceci vont tout droit, là ils vont…
5	+ +			Oui quelques unes ont changé
6	+ ça vas changer quelque chose + ça va peut être attiré tout.. de la même forme			Elles ne sont pas toutes pareilles
7		+	+	Oui ça a changé
8		+ +		Oui ça a changé un tout petit peu
9	+			Oui elles ont changé

Fase 7a : Abbiamo visto l'azione del magnete tutto interno ad esso, la Terra fa anche lei qualcosa tutto intorno ?

G2	oui	Oui la Terre c'est comme un aimant	Oui elle tourne	non	Je ne sais pas	Comments by them *by us*
1		+				
2			+			7a: plate *puis* ronde de loin. rayons de la Terre fait que ca tombe
3				+	+	
4	+					
5	+ oui ça attire					7a There is magnetism in the Earth
6	+ oui elle (la Terre) attire					7a change direction des objets
7	+			+		*Pb in 1a, pb in 7adraw,**then OK***
8	+		+			
G1						
1	+a	+b				
2			+			
3	+ elle nous fait tenir débout					
4			+			
5			+ +			
6			+ +			
7			+			
8			+			
9	-	-	-	-	-	

Analisi dei disegni dei bambini sulla Terra

G1	G2		**carte de la TERRE**
10	**12**	**A**	Correcte disposition des pendules et des ballons
0	**2**	**A1**	Correcte disposition des pendules et des ballons+linges jusqu'au centre de la Terre
4	**1**	**B**	Correcte pour les ballons mais les pendules se disposent en rond
2	**1**	**C**	Vue perspective(ou arbres en rond) + ballons en rond ou à l'exterieur
1		D	Arbres tous vertical (selon la feuille), pendules vers le centre,ballons vers le bas

Fase 7 b: Guardando le due configurazioni delle linee di campo (*maps*) l'azione della Trra e del magnete sono simili o differenti?

	ACTION DIFFERENTE		ACTION PAREILLE					
G2	Au début: l'action est differente	il y en a qui ont changé de forme	C'est pareil	ça attire comme la Terre	La Terre est comme un aimant	Après: sur demande explicite: les traits sont-ils différents?	La Terre est comme un aimant?	Aimant rond
1			+ a		+ b	Oui Oui (arc en ciel)		
2		+ a			+ b +	Oui (déjà spontanéament) oui		
3	+ a + c + + c			+ b		Oui (au début seulement) oui		
4	+ +					Oui Oui		
5			+ +			Oui Non		
6		+ b		+ a		Oui Oui		
7	+ b		+ a + b			Oui (mais c'est bizarre!) Oui		
8					+	Oui Oui		
G1								
1			+ a + toutes les choses descendent vers la Terre	+ b +		Non		Il y en a qui partent..
2	+ +					Oui oui	Non non	+ ça va faire comme au milieu + ça part comme la bas (aimant)
3			+ b	+ a		Non Oui		ça va faire comme la Terre
4			+			Non oui		
5			+			Oui Oui		Ça fait un petit rond
6			+			Non .. oui Oui		Ça donne la même disposition
7	+tout droit vers la Terre, aimant vers les cotés		+			Oui oui	Oui Oui parce que ça attire	Ah ! ça fait la marque !ça fait la même face
8			+			Oui Oui		Non ce n'est pas la même chose Terre ronde aimant aplati
9	+ elles ne sont pas alignées					Oui (spontanément)	non	Ça fait un cercle

	comme sur la Terre							

Fase 8: Analisi dei disegni dei bambini sulla Luna

G1	G2	3	3) carte de la LUNE
5	7	A	correcte disposition des pendules
2	5	B	pendules vers l'exterieur
0	2	B1	mixte (horizontal ou exterieur)
0	1	C	Lune +quantitatif
4	1	D	Les pendules se disposent en rond
4		E	pendules tous vers le bas (de la feuille)

Gli effetti gravitazionali sono simili sulla Terra e sulla Luna?

G2	Les dessins/ l'action de Terre et Lune sont les mêmes?	Je ne sais pas	La lune c'est comme un aimant	Dessin correct A	Dessin pendules vers extérieur B	Dessin mixte B1	Lune + quantitatif C	Pendules rond D	Pendules vers le bas E	Dessins différents
1	Oui mais moin d'attraction que sur la Terre			+ +						
2	+ (a) Oui c'est comme l'action de la Terre mais pas égale		+ (b)	+	+					
3	+ (b) oui la direction des pendule est la même + (b) non pas la même direction	+ (a) + (b)		+ +						
4							+			+ +
5					+			+		+
6	Oui mais ça depend de l'attraction +			+ +						
7	Oui il y a attraction sur la Lune mais moins				+			+		+
8					+ +					+
G1										
1	Oui							+	+	+
2	Oui Oui							+ +		
3	Oui Oui			+ +						
4	Non (la Terre elle tourney mais la Lune non)			+				+		
5	-								+ +	+
6	-			+ +						
7	-									
8	-			Pas de dessins						
9	non								+	

POST TEST G1-G2

	GRAVITY WITHOUT AIR ?			CHOSES PAREILLES dans l'action de la Terre et de l'aimant ?				CHOSES DIFFERENTES dans l'action de la Terre et de l'aimant ?			REFERENCE TO MAPS
	YES	NO	Idon't know	YES + attraction	YES	NO	No answer	YES	NO	No answer / I don't know	
G1	9	7	-	1	9	4	1	7	3	6	1
G2	6	1	4	7	3	4	-	4	8	2	4

	Attraction gravitationnelle dans une planète sans air ou autre gaz ?	G1	G2
a	oui	6	5
a1	oui +air support ou ça flotte	3	1
b	non	4	5
b1	non + pas d'air --> pas d'attraction	1	1
b2	non + pas d'air --> pas de vie pour les humains	2	
c	je ne sais pas	0	4

	CHOSES PAREILLES dans l'action de la Terre et de l'aimant ?	G1	G2		CHOSES DIFFERENTES dans l'action de la Terre et de l'aimant ?	G1	G2	Je ne sais pas	G1	G2
Q1	oui chose pareille attraction	6	8	Q1	OUI (pas de choses pareilles)	4	4	Q1	1	
Q1	attraction + quantitatif	0	1	Q2	oui il y a des choses différentes	5	1	Q2	6	1
Q1	attraction + distinction objets en metal	0	2	Q2	oui l'aimant attire le métal la Terre tout objet	0	2			
Q1	oui c'est rond	5		Q2	oui + cartes	0	2			
Q2	OUI (il n'y a pas des choses différentes)	3	9	Q2	oui + quantitatif	0	1			
				Q2	oui l'aimant ça attire/ colle la Terre non	2	0			
				Q1	dessine corectemet les lignes de champ	0	1			

ENTRETIEN
Groupe n°2 CM2

B3 Fatma
B4 Gabrielle

LA GRAVITE

D: Si je lâche un stylo ou un objet, qu'est-ce qui va se passer?
B3-4:il va tomber
D: Il va tomber, et qu'est-ce qui fait que ąa tombe?
B3 c'est qu'il est lourd
B4 bien oui il est lourd,..il y a quand même du poids dans le stylo
D: il y a du poids dans le stylo, … et si je le mets là (sur la table) … bah.. il ne tombe pas…
B3 bien c'est normal il y a quelque chose en dessous de lui qui le tient..
D donc s'il n'y a plus quelque chose il tombe..
Mais c'est quelque chose qui fait qu'il tombe? Ou c'est seulement quelque chose que lui a comme le poids (hum quelle horreur!!)
B3 quelque chose qu'il a!
D si je prends quelque chose de très léger comme une feuille, elle va tomber?
B3 bien oui…
B4 oui

A)**Le MAGNÉTISME**:

1. *Introduction des aimants et des propriétés des aimants:*
1.1 **D: Est-ce que vous savez qu'est que c'est cela ?**
B4: une craie
B3 non c'est pas une craie
B4 c'est du métal
D:oui c'est du métal, c'est fait en métal..
B4 c'est lourd
B3 c'est un outil?
D: oui c'est un outil, ça va nous servir..
(Je prends la cuillère..) approche le à la cuillère..
B4 ah oui!! C'est aimanté
B3 ah oui! C'est un aimant!
D: oui est-ce que vous qu'est-ce que c'est un aimant..
B3 oui je sais… c'est … quand on l'approche il y a comme .. un électrique qui accroche à la cuillère
B4 mais non, … c'est deux matières qui se rencontrent…
D: ahah, c'est deux matières qui se rencontrent…
B3 c'est une réaction…
D t'avais dit qu'il y a une réaction électrique..
B3 électrique ou…de réaction vers le métal..
D et ça attire tout?
B3 non le ver ça attire pas parce que .. je crois que… ça attire le métal et pas le…ver

2.1.2 **D: est-ce que vous avez déjà utilisé des aimants ?**
B3 oui
B4 non.. en fin sur les tableau

1.3 D. est-ce que vous pensez que l'aimant fait meme quelque chose plus loin … non seulement tout près comme tu a dit …c'est vrai que …(on n'entend pas)
… si je mets une boussolle là est-ce que ąa va changer la orientation
B3 non parce que là il n'attire pas…
D: hum hum..

B3 loin on ne peut pas, mais près on peut..
D. d'accord si on met par exemple la boussole.. et je prend l'aimant (je l'approche à la boussolle).. tu vois ça a changé…
B3 oui
B4 oui
D alors si je met l'aimant..
B4 ça change
D: ça change la direction..
B3 parce que peut etre pareil que là .. si on le met à coté.. ça doit etre comme ça..je ne sais pas..
D ça change la direction
B3 oui voilà
D parce que c'est bien sure que tout près ça peut attirer des choses.. mais ça meme change la direction..

2. *Détection et construction des lignes de champ magnétique créé par un aimant:*

Plaquette en plastique

2.1 D là je prends des plaquettes en plastique et dedans il ya des petites aiguilles.. donc si il n'y a rien dessus .. vous voyez les aiguilles se disposent..
B3 oui!
D… toutes pareilles
B4 oui
D si je mets l'aimant là qu'est-ce qui va changer selon vous?
B4 il va rien faire parce qu'il y a du ver..
B3 et bien non …est-ce que c'est de la meme matière que ça?
D oui les aiguilles sont capables de resentir ..la..
B3 non mais si c'est la meme matière .. du metal?
D oui c'est du metal..
B3 bien alors.. peut etre que ça va attirer si c'est du metal..
D. ça va attirer peut etre.. eh.. toi qu'est-ce que tu dis?
B4 moi.. je ne sais pas parce que peut etre que il y en a qui vont .. ça depend si on le met dessus peut etre ça va attirer mieux que si on le mets…
D: on va essayer d'accord?
B3 oui…et ça va attire parce que du metal ça accroche à l'aimant en metal…

2.2 D. oui donc vous voyez (je met l'aimant) que ąa a donné une dispostition bien particulière…
B3 oui ça a donné.. parce que..
B4 ils sont devenus face.. à l'aimant
D oui mais pas tous..
B3 pas tous..
D tu regard là ils sont horizontal..
B3 au moin.. ils ont bougé..
D oui ils ont changé ils ont bougé et changé leur direction…
B4 regarde là ils ont bougé
B3 là ils bougent (les enfant bougent l'aimant et observent comment change la dispositiondes aiguilles..)
D. d'accord, est-ce que vous voulez bien dessiner comment se sont disposé les aiguilles..juste la direction des aiguilles..
(les enfants dessinent)

*2.3 Interpolation à partir de la disposition des aiguilles pour arriver aux lignes de champ: l'idée est de **dessiner pour prévoir ce qui va se passer**.*

D: d'accord,.. là j'ai fait un dessin.. ou j'ai copié l'aimant et la disposition des aiguilles pour voir comment se disposaient, et j'ai fait une fotocopie… on va utiliser cette feuille qui descrit plus ou moin ce que vous avez dessiné.

Interpol. 1: **On va utiliser ąa pour prevoir comment se disposerait si on prend une boussole et je la met par exemple entre les deux train.. comment se va disposer l'aiguilles de la boussole…**
B4 ça va se mettre..
B3 elle va bouger
B4 bah..
D dessine la..
B3 ça depend .. si on met l'aimant à gauche…
D non non non , l'aimant on le garde comme ça ..
B3 ah alors il sera dedans..
B4 l'aiguille?
D oui juste comment se disposerait l'aiguille…
Interpol. 2: **Et si je la met là,.. ou là?**
(les enfant dessinent leur prevision)
D pourquoi là tu les mets en verticale? *(la fille avait dessiné les aiguilles au milieu de l'aimant directionées vers l'aimant..)*
B3 parce que peut etre l'aimant.. si on le met comme ça l'aiguille serait directe..
D sur l'aimant
B3 oui
Doui mais si tu vois la les aiguilles ne s'étaient pas mise tout droit..
B3 mais ça se fait que la boussolle on la met comme ça et..
D oui mais la boussole c'est comme les petites aiguilles..
B3 voilà oui mais si on met la boussole tout près, elle va indiquer l'aimant
D d'acord et si on le met ici entre les deux?
B4 bien c'est la meme chose..
B3 oui parce que là elle est droite vers l'aimant, et là elle va aller vers la gauche vu que l'aimant est vers la gauche..

2.4 Test avec BOUSSOLLE:
D: on va essayer? On met l'aimant ici… on prend la boussole et on verifie..
Alors tu vois là… ça suit la ligne… voyons là que c'etait le point critique…*(au milieu de l'aimant)*
Vous voyez elle est presque horizontal…
D donc vous avez vu qu'on peut plus ou moin… des fois oui des fois moin… on a pu prevoir comment se disposerait une boussole ou une petite aiguille autour de l'aimant..

3. **Plaquettes dans l'ESPACE** *(vision du champ magnétique en 3 dimensions)*
D Est-ce que vous pensez
que l'qimqnt fait quelque chose aussi ici.. pas seulement sur la table, maisici si je prend une autre plaquette et je la mets ici… est-ce que vous pensez que ąa va changer quelque chose à l'orientations des aiguilles ?
B3 moi je dirais oui
B4 oui..
D on mat l'aimant..
B3 c'est que le bas, que le bas .. sinon le haut…
B4 ah si si si si!! Comme ici (elle indique les plaquettes sur la table..
D: aha.. vous voyez.. même en verticale.. donc on peut dire que l'aimant
B3 oui..
D ça peut influencer même dans l'espace… pas seulement sur la table…

4. **Limaille de Fer:**
D: pour voir ce qui fait l'aimant tout autour on peut utiliser ąa, est-ce que vous savez qu'est-ce que c'est ąa?
B3 de la poudre!
D oui, c'est de la limaille de fer, de la poudre de fer,…

B3 ah oui moi je sais ça! Quand on va mettre l'aimant la poudre on dirait qu'elle monte!!
D oui parce que..
B3 on dirait qu'elle monte!
D c'est comme les aiguilles..
B4 bien c'est l'aimant.. ça *?pique les choses?(on ne comprend pas bien)*
D (on essaye et on regarde ce qui se passe) vous voyez tout autour de l'aimant,.. et bien là on voit un peu mieux, la.. regardez il y a comme des petites lignes…
B3 oui je crois c'est… regardez là ça fait comme ça …et quand on prend l'aimant tout se rejoint…
B4 là c'est comme si c'était fixé..
B3 oui c'est normal ça ne bouge pas partout… ils sont attirés quoi…
D: humhum ils sont attirés par l'aimant .. et même vous voyez là ils se sont disposés comme en suivant la ligne
B4 oui et là aussi

B)**<u>Introduire le problème</u>** :

1. Maintenant on change de sujet, on a vu que l'aimant fait quelque chose un peut tout autour et on put le dessiner … <u>est-ce que notre planète Terre elle peut faire aussi quelque chose autour?</u>
B3 si on met ça sur la Terre..
D: non on laisse l'aimant maintenant et on pense seulement à la Terre est-ce que la Terre elle fait quelque chose autour?
B4 oui elle peut tourner
D oui bien sur elle tourne, .. au début vous avez dit que les choses tombent…
B4 ah oui c'est que la Terre est un peu aimantée…
D: la Terre est un peu aimantée..
B3 mais non si je fais tomber.. ce n'est pas la Terre qui…
B4 non … mais c'est des rayons…
B3 si je lâche (le stylo) il tombe c'est normal il ne peut pas rester comme ça..
D: oui.. parce que le stylo on a vu qu'il n'était pas aimanté… parce que l'aimant
B3 ça ne fait rien..
D donc Gabrielle dit que les choses tombent parce qu'elles sont aimantées … toi tu dit que non parce que c'est quelque chose que..
B4 non c'est parce que c'est des rayons que… les rayons de la Terre fait que ça tombe..
D elle dit que des rayons de la Terre ça fait que sa tombe.. on va reprendre cette idée
B3 oui les rayons de la Terre..
B4 comme nous quand on saute on est obligé de retomber..
B3 bien oui on ne peut pas rester comme ça..
B4 bien c'est comme le stylo
D. d'accord ..on va voir ce qui peut se passer autour de la Terre… on va voir si on peut dessiner des rayons qui nous disent ou ils nous aident à prévoir ce qui se passe autour de la Terre..
B4 des rayons?.. je ne sais pas du tout..
D on ne va pas dessiner des rayons tout a fait, on va d'abord dessiner la Terre , notre planète comme si on la voyait de loin de l'espace..
B3 on la voit plate..
B4 non on la voit ronde! De loin
D on la voit ronde.. on va la dessiner..

2.1. <u>Les pendules autour de la Terre</u>
-D. Et on va dessiner tout autour de la Terre sur la surface cinq arbres..
B4 cinq arbres?
D oui parce que après on va y attacher des choses…
Les enfants dessinent la Terre ronde avec les arbres autours

-D: maintenant si on imagine d'attacher aux arbres des pendules.. comment se disposent les pendules? Comment se dispose la ficelle et la petite masse? Vous allez attacher 5 pendules à vos arbres…

B3 ah d'accord..

D. et vous dessinez la ficelle et le petit poids..

B3 mais comment on peut dessiner la ficelle?

B4 là tu fais un petit trait..

D: oui tu dessine…un trait..

B3 mais qui va la bas..?

D alors.. d'abord tu décide de l'attacher par exemple ici…

B3 d'accord..

D d'accord tu l'attache et tu dessine où va se disposer la masse…

B4 oui mais moi je ne sais pas où..

D bien tu pense… où..

B3 la masse elle va se disposer là..

D tu dessine où tu pense qu'elle va se disposer..

B4 moi je fais une grosse boule comme vous!

D oui..

D'accord.. et après tu fais la même chose sur les autres arbres..

D. maintenant tu peux penser d'y attacher une masse avec une ficelle plus longue par exemple…

Les enfants dessinent

3.2. <u>La nacelle des ballons</u>

D. c'est bien, maintenant on imagine d'avoir des ballons

B3 oui

D suspendus dans l'air avec une ficelle attaché, et on va dessiner comment se dispose la ficelle?

B4 on en fait plusieurs..

D oui…

B4 mais pourquoi alors les ballons ąa vole?

B3 parce que dedans il y a de l'air… qu'on souffle…

B4 mais si jamais le ballon il sort de la Terre et il va dans l'espace.. qu'est-ce qui va lui arriver?

B3 bien il va ?*drener*?.. non! il va éclater… peut être il va se rapprocher du soleil et le soleil…

B4 ….

D de toute faąon là on est tout près de la Terre..

D Alors est-ce que on peut dessiner la dispositions des ficelles… sans les ballons.. tout autour de la Terre comme on a fait avec l'aimant…

B3 si là il y a la Terre.. peut être que la ficelle.. elle est toute droite sur la Terre…

D humhum..

Différentiation du champ magnétique/ champ de gravité :

Maintenant on regarde les deux dessins qu'on a fait pour l'aimant et la Terre… si on met ici un ballon on sait que la ficelle se peut se disposer comme ąa.. toutes les choses se disposent d'une certaine faąon autour de la Terre… comme on a vu que les choses se disposent autour de l'aimant….

Parce que là il y a tous les traits qui vont vers la Terre.. et la on a vu que c'est différent

B3 oui.. c'est normal l'aimant peut être .. l'aimant .. on peut dire qu'il y on a qui sont restées droites et d'autres qui changent de forme…

D oui est-ce qu'alors on peut dire que la forme de l'action de l'aimant et différente de la forme de l'action de la Terre?

B3 oui ąa se peut parce que là… sans l'aimant elles sont droites (les aiguilles) … avec l'aimant elles changent de forme!

D oui .. tandis que la Terre ce qui fait là elle attire, vous avez dit, toutes les choses… sur..

B3 Oui la Terre c'est comme un aimant on dirait..

B4 oui

B3 elle attire…

D. oui parce qu'elle attire des choses, mais est-ce qu'on peut dire que la forme dont elle attire les choses.. est différente..

B3 oui elle est très différente parce que… elle fait comme ąa .. tandis qu'eux ils font comme ąa (elle indique les directions des aiguilles..)

D: donc dans la Terre ils sont tout droit et dans l'aimant..

B3 non non non là ils ne sont pas droits! Ils sont penchés

D ah ils sont penchés vers la Terre..

B3 oui.. et là (aimant) il y on a qui sont droit.. et il y en a qui sont .. arrondis..

D même si l'action ąa se ressemble parce que ąa attire des choses… elle est différente entre l'aimant et la Terre,.. c'est ąa qu'on peut conclure..

B3-4 oui

C) UNIVERSALITÉ du champ de gravité de chaque planète

-D maintenant si on dessine la Lune toujours vue de loin..

B3 dessine une partie de la Lune…

D oui là tu as dessiné la Lune comme on la voit de la Terre, mais depuis l'espace comment on la voit?

B3 ronde

D On va d'abord planter 5 bâtons tout autour de la Lune, et on va y attacher nos pendules, comment va se disposer la ficelle?

B3 la ficelle sur la Lune..

D oui.. au bout de la ficelle il y a toujours une petite masse comme ça…

B3 moi je pense qu'ils seraient tous regroupés

D donc c'est un dessin qui est assez similaire à celui qu'on a fait pour la Terre.. est-ce que c'est la même action donc que la Lune fait sur les objets, de faire qu'ils tombent tous ou qu'ils soient attirés…

B3 c'est comme l'action de la Terre.. on dirait.. ce n'est pas exactement mais.. qui est presque tout à fait celle de la Terre..

D et qu'est-ce qui fait que sur la Lune les choses se disposent comme ça par exemple…

B4 bien disons c'est une matière..peut être…

B3 peut être c'est comme un aimant

D La Lune tu pense c'est comme un aimant

B4 oui..

B3 peut être pas comme un aimant..mais peut être

B4 d'une autre matière..

B3 voilà oui d'une matière différente de la Terre ce n'est pas pareil..

B4 parce que dans la Lune on flotte un peu…

D dans la Lune on flotte un peu… mais il y a toujours quelque chose qui nous tient sur la Lune?

B3 bien oui c'est la terre *(entendue comme masse de la Lune , voir après)*

B4 non

B3 non ce n'est pas la Terre

B4 un peu du produit de la terre

B3 c'est par exemple la Lune c'est de la terre..

D ah oui tu dit la composition, la matière de la Lune, la masse le composant de la Lune

B3 bien oui..voilà si on met les pieds sur la Lune.. c'est de la terre…

Mais je crois qu'ils disent que dedans c'est du gaz…oui il y a du gaz dans la Lune..

D et sur une autre planète ça va être la même chose?

B4 non parce que c'est une autre matière..

B3 non parce que les autres planètes ne brillent pas…

D mais ils sont plus loin… mais si on dispose nos pendules sur une autre planète… est-ce qu'ils vont se disposer plus ou moins comme ça?

B4 non d'une autre façon peut être..

B3 non d'une autre façons peut être..
D et comment?
B3 peut être ils seront en dehors…
B4 oui
B3 on fait nos pendules et on fait la ficelle dehors..
(elle dessine les pendules avec les masses en dehors)
D et qu'est-ce qui fait qu'ils soient en dehors?
B4 peut être qu'il y a une matière.. une couche…
B3 assez différente de la Lune
B4 une couche au dehors de la planète..
B3 Mais ils disent que la Terre c'est pareil que les autres planètes…
D ils disent .. tu ne pense pas toi?
B3 bien je ne sais pas.. je pense..je ne suis pas sure..
Mais si no peut être les planètes ont, comme a dit Gabrielle, une couche.. qui fait que..
B4 que c'est aimanté
B3 non ce n'est pas aimanté.. mais qui
B4 qui attire
B3 non qui ne peut pas attirer les choses en dehors…
D c'est un peu difficile d'imaginer une couche qui permet pas au choses d'être attirées..
B3 oui.. ça veut dire que ça peut pas attirer

3. Allegati (capitolo 7)

SCHEDA 1

Nome .....

Cognome .....

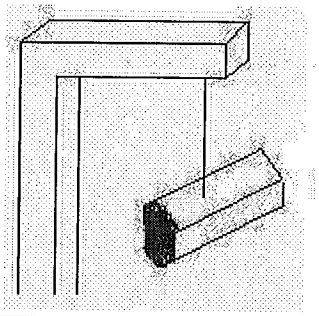
GIOCO:
Avete in mano una calamita, scoprite che cosa può succedere tra la calamita e i vari oggetti disposti sul tavolo? Classificali in base a come si comportano avvicinando la calamita.

Se succede qualcosa è sempre la stessa?
Spiega con le tue parole cosa succede e disegnalo.

Chiodo di metallo grigio	Sferette di acciaio	Cubetto di legno
Temperino	Cubetto di metallo grigio	Cubetto di polistirolo
Fermaglio per carta	Geomag	Spillo
Forbici	Sfera di metallo	**Biglia di vetro**
Moneta da 100 Lire	Sferetta di legno	Sferetta di pongo
Moneta da 1 centesimo di Euro	Sferetta di polistirolo	Pallina da ping-pong
Moneta da 10 centesimi di Euro	Cilindro di cera	Vite di ottone
Moneta da 20 centesimi di Euro	Pezzetto di legno	Pezzetto di pongo
Moneta da 1 Euro	Pezzetto di polistirolo	Cubetto di plastica
Moneta da 5 cents	Cilindretto di acciaio	Cubetto di alluminio
Moneta da 2 Euro	Pezzetto di alluminio	Cilindretto di rame

SCHEDA 2

Nome ..... Cognome .....



Abbiamo appeso un magnete.
In quanti modi posso avvicinargli un altro magnete?

E avvicinandolo, cosa può succedere?

Prevedi come si comportano compilando la seguente tabella:

Situazione 1:		
☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?	.....	.....
Spiega	.....	.....
Situazione 2:		
☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?	.....	.....
Spiega	.....	.....
Situazione 3:		
☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?	.....	.....
Spiega	.....	.....
Situazione 4:		

☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?		
.....	.....	.....
Spiega		
.....	.....	.....

DA RISPONDERE DOPO:

Rispetto alla previsione che hai fatto:

che cosa è uguale?

.....

.....

.....

.....

che cosa è diverso?

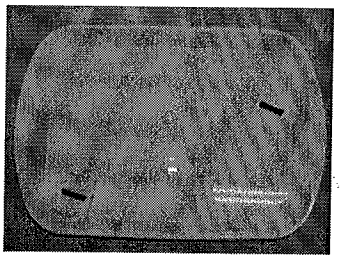
.....

.....

.....

.....

SCHEDA 3



DUE MAGNETI SULL'ACQUA

Nomi ....

Cognomi ....

Rispondere in gruppo alle seguenti domande:

1) In quale modo conviene avvicinare le due barchette?

.....

.....

.....

.....

2) Cosa succede quando le avvicinano nei vari modi?

.....

.....

.....

.....

3) Ci sono qualche comportamento che non avevi previsto e che invece hai osservato dall'esperimento?

.....

.....

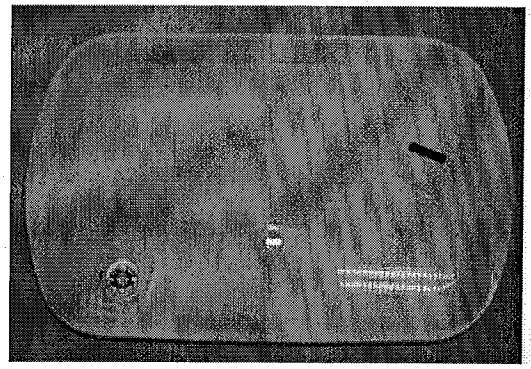
.....

SCHEDA 4

MAGNETE E BUSSOLA SULL'ACQUA

Nome .....

Cognome .....



Consideriamo una bussola incollata su un pezzo di polistirolo, se avviciniamo un magnete cosa farà la bussola?

☐ l'ago ruota ?	☐ la bussola si sposta ?	☐ l'ago ruota e la bussola si sposta ?
Se sì come ?		
.....	.....	.....
Spiega		
.....	.....	.....

SCHEDA 5

BUSSOLE INTORNO A UN MAGNETE

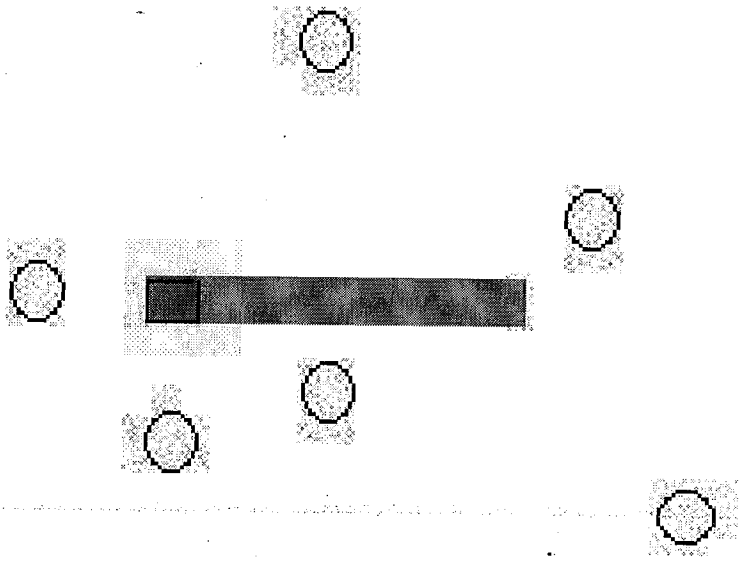
Nome .....

Cognome .....

Dato un magnete in rosso indichiamo il nord.

Se disponiamo delle bussole tutto intorno al magnete, che orientazione assumono gli aghi?

Disegna la disposizione dell'ago, indicando con una freccina il nord delle bussole.

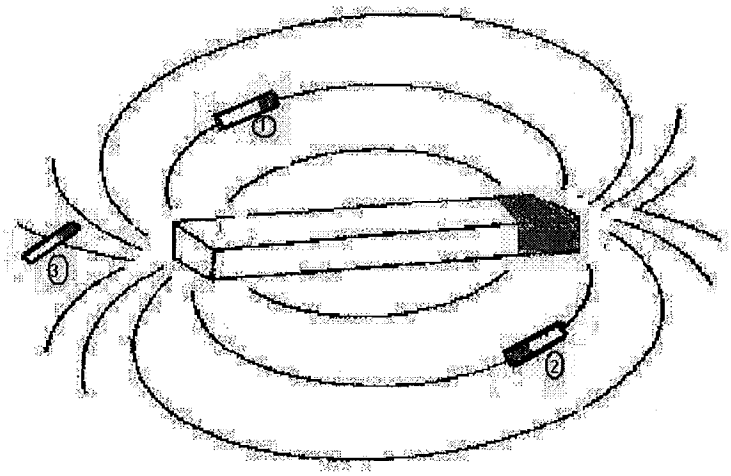


SCHEDA 6

Nome ..... Cognome .....

Sul fondo della vaschetta sono disegnate le linee di campo di un potente magnete, come quelle che avete disegnato voi sul lucido.
Dei piccoli magneti sono incollati su dei pezzetti di polistirolo che galleggiano sull'acqua.
Se mettiamo il magnete grande sul fondo della vaschetta, cosa faranno secondo te i vari magnetini?

Completa la tabella prevedendo cosa fanno ognuno dei magnetini



Magnetino 1		
☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?		
.....	.....	.....
Spiega		
.....	.....	.....
Magnetino 2		
☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?		
.....	.....	.....
Spiega		
.....	.....	.....
Magnetino 3		
☐ ruota ?	☐ si sposta ?	☐ ruota e si sposta ?
Se sì come ?		
.....	.....	.....
Spiega		
.....	.....	.....

POST TEST

Nome .....

Cognome .....

Se confrontiamo l'azione della Terra con quella di un magnete :

a) secondo te ci sono delle cose simili ? se sì quali ?

.....

.....

.....

b) ci sono delle differenze ? se sì quali ?

.....

.....

.....

ANALISI SEQUENZA SCUOLA PRIMARIA (CAPITOLO 7)

SCHEDA 1

3 assenti, totale 21 bambini

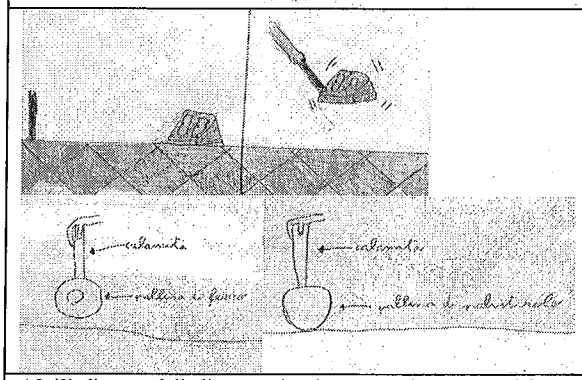
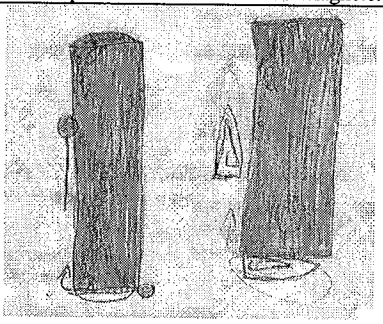
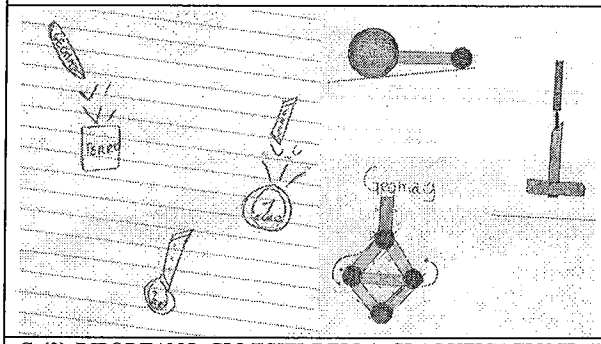
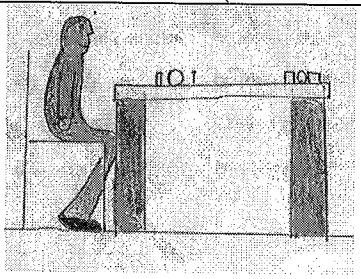
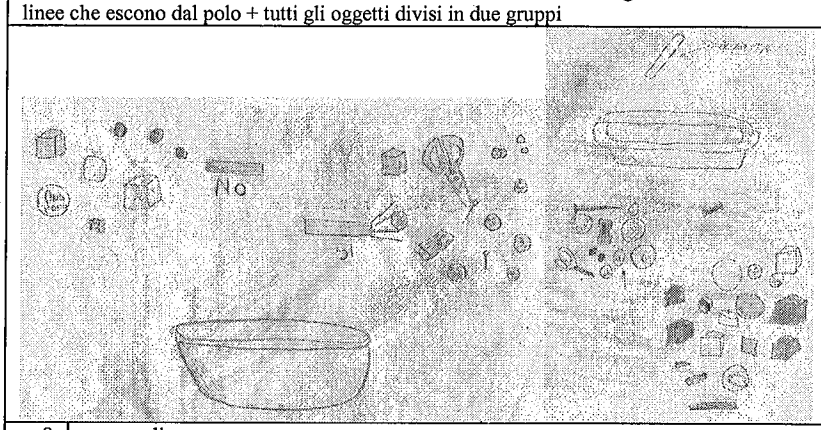
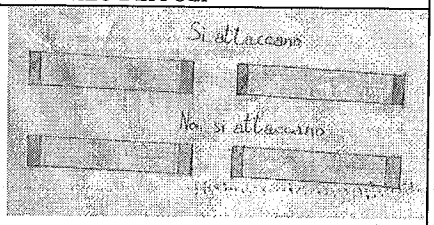
Se succede qualcosa è sempre la stessa?

9	A	*No non succede sempre la stessa cosa, perché come ho spiegato prima, certi oggetti non rispondono, ma alcuni sì, appena la calamita li sfiora loro si attaccano a differenza degli altri.", "No non è sempre la stessa, perché certi oggetti si attaccano e certi no. Però attenzione il geomag è diverso. Da una parte si attacca, mentre dall'altra la respinge."*
7	B	*Ho preso una calamita, alcuni oggetti sono stati attirati dalla calamita alcuni no. Il chiodo di metallo grigio, il temperino, il fermaglio per carta, le forbici, la moneta da 100 lire, la moneta da 1 cent..."*
1	C	*"Scopriremo che cosa può succedere tra la calamita e i vari oggetti disposti sul tavolo, succede che alcuni oggetti si attaccano, altri no."*
5		Non danno spiegazione

Le spiegazioni dei bambini:

1	A spiegazione "dogmatica"	*può succedere che degli oggetti non rispondano al richiamo, cioè che non si attaccano alla calamita"*
7	B legge fenomenologica	*"Ho scoperto che con alcuni oggetti si attacca, cioè roba di acciaio, ottone e metallo, tranne le due monetine di 10 e 20 cent, invece quelle di plastica pongo gomma polistirolo vetro e alluminio non si attaccano, "Gli oggetti di fero o di metallo vengono attirati dalla calamita e invece quelli di plastica o di legno non vengono attirati."*
1	B1 solo un comportamento generale	*"succede che gli oggetti di ferro vengono attratti e si attaccano alla calamita."*
2	B2: focalizza solo sull'attrazione	*Alcuni oggetti disposti sul tavolo si attaccano alla calamite*
1	C generalizzazione dei comportamenti osservati	rispetto alle categorie individuate *"Tra la calamita e gli oggetti disposti sul tavolo può succedere che: alcuni oggetti vengono attirati dalla calamita, altri respinti, oppure non vengono attirati."*
1	D spiegazioni in termini di cambiamento di stato di quiete o di moto	*Quello che succede non è sempre la stessa cosa perché alcuni oggetti stanno fermi, altri invece rotolano verso la calamita*
2	E interpretazione in termini di modelli	*"Il geomag forma il terzo gruppo perchè una calamita e da una parte la calamita riesce ad attirarlo dall'altra no: da una parte c'è positivo, dall'altra negativo, positivo con negativo si attacca ma se è positivo con positivo non si attaccano neanche negativo con negativo.", "Se si prende una calamite e la si mette vicino a un metallo si può vedere che il metallo viene attratto. Alcuni sono: il temperino e le monete, altri come la biglia di vetro e le monete da 10 e 20 centesimi non vengono attratti. Invece due calamite possono attrarsi o senò possono respingersi. Dipende come le si mettono vicino e se sono uguali i poli si respingono se i due poli sono diversi si attraggono"*
6	no spiegazione	

Disegni dei bambini

<table>
<tr><td colspan="2">A (7) DISEGNANO GLI EFFETTI: Attrazione</td></tr>
<tr><td>A1 (4) : la calamita che attira ferro e riesce a sollevarlo, mentre il polistirolo no.</td><td>A2 (1) la calamita con lo spillo e la graffetta che si spostano verso il centro del magnete.</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>A3 (2) disegna delle linecette piccole attorno al magnete e i ferromagnetici che si attaccano</td><td>B (3) DISEGNA IL CONTESTO DELL'ESPERIMENTO (tavolo e bambino)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>C (3) RIPORTANO GLI ESITI DELLA CLASSIFICAZIONE disegna la calamite e delle linee che escono dal polo + tutti gli oggetti divisi in due gruppi</td><td>F (1) SPIEGA GLI ESITI CON IL MODELLO DEI POLI</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>8</td><td>nessun disegno</td></tr>
</table>

INTERVISTE prima parte

1. avvicino un magnete a un altro posto sul tavolo (discussione a piccolo gruppo)

B1: L'altro magnete si è girato e si è attaccato perchè dall'altra parte non riusciva ad attaccarsi.
(modello gira x attaccarsi + concezione del monopolo: solo da una parte si attacca dall'altra no, una sola parte è attiva)
B2: Da un lato si può attaccare. (*conferma il modello*)
B1: Dall'altro si sposta e poi si gira *(concezione sequenzialità attraz orientaz: prima si sposta poi si gira).*

B4: Qui si attacca. Qui scappa
B3: si è girato
I: perché si è girato?
B3: Perché ha sentito l'attrazione perché era dal lato che non prendeva.
***(modello gira x attaccarsi + sorgente monopolare** (stesso modello del primo gruppo): vi è la ricerca del monopolo, non è che un lato attira e l'altro respinge, ma un lato prende e l'altro non prende (Nota: è strano in quanto è dimostrato da ricerche che anche quando non esiste una bipolarità i bambini la creano (per es. nel calore e frigore), mentre qui no, ricercano una polarità nell'interazione magnetica).*

I: avvicina il magnete che tieni in mano a quello che è sul tavolo…
B11: lo ha respinto e mentre lo ha respinto si è girato e si è attaccato
(importante: l'unico bambino che riconosce la contemporaneità della traslazione e rotazione!!, neanche alle superiori questo risultato!!)

2. avvicino un magnete a una graffetta posta sul tavolo
(discussione a piccolo gruppo)

B3: Da un lato si attacca e anche dall'altro, perché questa (*la graffetta*) non è una calamita
B5: I poli non devono essere sempre gli stessi, devono essere uno diverso dall'altro.
(individua la bipolarità)
B3: **Invece questa siccome non è una calamita non ha i poli e si attacca sempre.**
***(modello del ferromagnetico**: non ha i poli)*

I: se abbiamo una graffetta e avviciniamo ad una estremità una calamita cosa succede alla graffetta?
B6: Si attacca (*prova)*
I: e se giri la calamita cosa farà?
B6: si attacca
B7: perché solo una calamita con una calamita non si attacca da un lato.

B8: si attacca come se questo fosse argento e questa calamita
I se giro la calamita cosa succederà?
B8: verrà attirata di nuovo
B7: perché solo calamite con calamite si respingono.

I: se ora mettiamo una graffetta sul tavolo e avviciniamo un magnete, cosa succederà?
B10: si attacca
I: e se giriamo il magnete cosa farà la graffetta?
B11: da una parte la graffetta è attirabile, dall'altra no!
B9: si attacca lo stesso..
B11: la respinge..
I: secondo te si attacca lo stesso e secondo te si respinge, come mai?
B11: perché … perché da una parte la graffetta è attirabile, dall'altra no.
(modello del ferromagnetico come un magnete)

I: tu dici che da una parte la graffetta è attirabile, dall'altra no.... E secondo voi?
B??: no...
Secondo te si respinge pure? Come te lo spieghi?
B10: perché da una parte la graffetta si attacca, dall'altra ....
I: dall'altra no ... fa come un magnete allora?
B9: perché prima il geomag era un magnete come il cubetto...
I: ah...
B9: come quel tondino lì... e invece adesso la graffetta non è più un magnete....
I: secondo lei la graffetta non è un magnete... quindi..
B9: da tutte le due parti viene attirata dal magnete...
I quindi in quale delle 3 categorie inserireste questo oggetto che avete fatto?
B11: In quello dei magneti che si attaccano.... Dei metalli che si attaccano...

3. avvicino due ferromagnetici
(discussione a piccolo gruppo)

B1: Non posso fare nulla perché non sono calamite sono pezzi di ferro normale

B3: Non si attaccano perché non sono calamite

B7: Non si attaccano perché non sono calamite
B6: appunto...

I. provate a vedere cosa succede con questi due oggetti...
B9: non si attaccano
I. come ve lo spiegate?
B9: perché è un altro metallo, non è uguale al magnete
(il magnete inteso come un metallo "speciale")
I: non è uguale al magnete, è un altro metallo... e invece cosa può fare un magnete?
B11: può attaccare
B9: da una parte si attacca.
I: da una parte si attacca e dall'altra?
B9: dall'altra anche
I: quindi anche se hanno la forma simile....
B11: non si possono attaccare perché sono altri tipi di calamite
(il ferromagnetico inteso come un altro tipo di calamite)
I: queste sono calamite?
B9: no! Questa è una calamita (*mostra un magnete*) e quella lì è un pezzo di ferro qualsiasi...!

4. avvicino un magnete a una bussola posta sul tavolo
(discussione a piccolo gruppo)

I: cosa fa l'ago della bussola?
B2: Si gira nello stesso verso del magnete.
(orientazione però vista come azione globale e non dovuta alla bipolarità)
B1: Che cosa fa? Vibra.
I: Sì ha vibrato però ora come si è messo l'ago della bussola?
B1: Dalla parte bianca.
I: quella bianca, prima avete detto che era la rossa, quindi di che cosa è fatto l'ago della bussola?
B1: di ferro.
I: è fatto di ferro? Siete tutti d'accordo?
B2: di ferro e magnete! Se fosse solo ferro non si sarebbe girato.

B5: calamita e magnete che si gira. Le lancette si vede che sono di metallo - ferro, sentono la calamita e allora si girano.
(la rotazione non è associata alla bipolarità ma all'interazione globale)
I: dall'altra parte quando ahi girato il magnete cosa è successo?
B5: è cambiata la lancetta
I quindi questo ago di che cosa è fatto?
B4: di metallo
B5: **però si vede che una lancetta ha un polo e l'altra ne ha un altro**.
I: quindi è solo di metallo?
B5: no! È metallico …. Magnetico
I: è un piccolo magnete? Perché secondo voi?
B3: Perché infatti la bussola per rimanere sempre a nord e per orientarsi prende delle calamite che sono a nord e proprio per quello è un po' di calamita per riuscire a sentire … sì.

I: …. cosa osservate?
B6: La lancetta della bussola si muove come la calamita…
B7: dove va la calamita…
I: e se ruoto la calamita cosa succede all'ago della bussola, cosa farà? Seguirà sempre? Farà il giro?
B6: uguale
I: è uguale?
B6: quasi, prima va più veloce, adesso un po' più piano.
B7: quasi perché…
I: è sempre uguale l'ago secondo te? Prova a girare la calamite…
B6: ha cambiato colore! Prima era bianco-giallo, adesso rosso!
I: quindi cosa possiamo concludere?
B6: cambia direzione.
I: quindi l'ago della bussola di che cosa è fatto secondo voi?
B7: di ferro!
I: di ferro?
B7 e B6: sì di ferro.
I: la lancetta di ferro? Si comporta quindi come un qualunque oggetto di ferro?
B7: sì
I: Giulia però prima ha detto che la lancetta cambia, prima era bianca e poi rossa? È un pezzo di ferro qualunque?
B7: non al 100%
B6: no…. Non lo so perché…. Altrimenti … non fa come il ferro
B8: sarà di materiale diverso!
I : allora si comporta come che cosa?
B8: metallo
I: rispetto alle categorie che avete fatto prima a quale appartiene?
B7: agli oggetti che si attaccano
Quindi la metteresti nel gruppo grande con tutti questi oggetti?
B7: sì
(NB: anche se sbagliano nella classificazione, identificano la natura degli oggetti attraverso il loro comportamento. E' una definizione operativa che risulta importante x costruire i concetti)

I: .. se prendi il magnete in mano e giri intorno alla bussola, cosa fa l'ago della bussola?
B11: Gira dall'altra parte
B9 Gira dove vai tu!
I: gira dove vai tu… adesso se giriamo il magnete, cosa succederà secondo voi?
B11: lo attrae
B9: Gira dalla parte opposta
I: gira dalla parte opposta, cioè come si disporrà l'ago?
B9; ad esempio se io giro a destra la freccetta gira a sinistra..
I: e se giro il magnete dall'altra parte, avvicinano alla bussola l'altra estremità?
B11: lo attrae
I: lo attrae sempre nello stesso modo secondo voi?
B11: sì
I: ok, prova a farlo… ruota il magnete… cosa osservate?
B11: l'ago … si … che l'ago della bussola segue la calamita.
I: l'ago della bussola segue la calamita, lo segue allo stesso modo?
B11: sì
I: tutti d'accordo?
B??: sì
I: prova a girarlo di nuovo, e poi lo provi a fare anche tu …
Cosa fa l'ago è sempre uguale?
B9: no si gira piano piano..
I: gira il magnete e mettilo dall'altra parte, cosa succede all'ago?
B9 che si gira
I: si gira …
B9: L'hai fatto venire rosso… di .. l'hai fatto che invece di venire rosso quando il grigio..
I: cioè quando lo abbiamo messo così viene il grigio, quando abbiamo l'altra estremità avremmo il rosso, quindi l'ago della bussola come si comporta?
Cosa possiamo dire dell'ago della bussola?
B9: Che da un parte respinge il rosso e dall'altra respinge il grigio…
I: e quindi di che cosa sarà fatto secondo voi? … Ossia in quale delle categorie che avete fatto ieri sta?
B9: di… come il geomag
B11: questo … è di metallo
(modello persistente dei ferromagnetici identificati con i magneti)
I: Lei dice che è come il geomag, tu che cosa dici?
B11: questo è di metallo, questo non viene attratto questo viene attratto
I: in questo caso … se lo giro..
B11 viene attratto…
I: viene attratto questo. Lei dice che è come un geomag… siete d'accordo voi? Cioè è come fosse un piccolo magnete… il geomag è un magnete …. Sta nella categoria dei magneti l'ago della bussola secondo voi?
Tu vuoi spiegarlo meglio come… perché hai detto che l'aghetto è..
B9: **perché da questa parte respinge il grigio, invece se lo giro respinge il rosso, quindi questo qua è come se fosse un lato del geomag e questo un altro.**
(identificano la natura di calamite della bussola)

---

5. Discussione a grande gruppo dopo gli esperimenti a piccolo gruppo, riassunto del comportamento del magnete e della bussola posta sul tavolo

B5: Greta
B3: Maria Vittoria

B5: che c'era la lancetta rossa ma se magari giravi il polo del magnete non c'era più la lancetta rossa ma quella bianca
I: quindi la lancetta si comporta come?
B3: come una calamita
(identificano la natura di calamite della bussola)

Dopo esperimento delle bussole spezzate (discussione a grande gruppo):
I: se vogliamo vedere se sono delle piccole calamite, cosa vi aspettate se avvicino un ago all'altro?
B??: si sposta e si attacca
I: e se adesso ruoto una?
B??: Dovrebbe girarsi e attaccarsi

SCHEDA 2

Individuare le modalità di avvicinamento di un magnete a un altro appeso
Ricercare i tipi di comportamento nell'interazione tra due magneti (in particolare evidenziare quello rotatorio)

DESCRIZIONE SITUAZIONE		
6	A) parla solo di parte rosa	*"metto il magnete dalla parte rossa vicino alla parte rossa di quello appeso"*
8	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli	*"con il magnete dalla parte rossa bisogna avvicinarla alla parte verde"; "il magnete quando sono da uguale parte non si attaccano"*
17	C) parla di poli	*"avvicinando polo nord con polo sud o l'incontrario"*
3	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si.	*"se noi mettiamo la calamita vicino al magnete dalla parte rossa, il magnete si sposta"; "avvicino la calamita dal lato rosso"; "metto il magnete vicino alla parte rossa del magnete appeso"*
13	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)	*"il magnete è leggermente sopra il magnete appeso, "il secondo magnete lo fai girare attorno a quello appeso", "se la calamita la mettiamo da sopra forse gira"*

ANALISI SITUAZIONI		
Rispetto ragionamenti		
23	1) azione oggetto verso oggetto	*"che la calamita si attacca al magnete"; "il magnete si allontana e poi si attacca"*
11	2) azione oggetto causato da altro oggetto (magnete)	*"viene respinto dal magnete"; "la calamita la respinge da tutte e due le parti"; "la calamita fa girare il magnete"*
14	3) modello dei poli	*"quando si mette il magnete dalla parte rossa di quello appeso si sposta e ruota perchè vengono respinti i due poli uguali"; "nord con nord sono uguali e allora si respingono, si sposta per unirsi, ruota e si sposta per stare nord con sud"; "il polo nord e il polo nord si respingono, quando avvicini il magnete all'altro, il magnete appeso ruota"; "il magnete appeso si gira perché i due poli sono uguali"; "il magnete appeso viene attirato perché i poli sono diversi"*
7	3b) elaborano un modello anche se solo comportamentale	*"oscilla perchè i poli sono attratti"; "se metti il polo sud con il polo sud si spostano"* (1 caso) *"avvicinando un polo con l'altro e si spostano respingendosi*
4	4) modello ruota per attaccarsi	*"ruota perchè così si attacca", "ruota per attaccarsi"*
Rispetto ai poli		
6	A) parla solo di parte rosa	*"si sposta lentamente perchè è al lato rosso", "non si attacca a quello rosso", "si sposta perché quando metti il magnete sotto rosso con rosso si sposta"; "ruota perché quando avvicini un altro magnete rosso con rosso incomincia a girare"*
5	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli	*"il magnete gira e si attacca dalla parte verde"; "se metti le parti uguali non si attaccano"*
15	C) parla già di poli	*"il magnete appeso viene attirato perché i sue poli sono diversi"*
2	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si	*"la calamita la respinge da tutte e due le parti"*
28	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)	*"il magnete non si attacca ma ruota su se stesso"; "la calamita fa girare il magnete", "il magnete si avvicina perchè è attirato", "viene respinto dal magnete"*

Analisi situazioni

SIT. A	SIT. A1	SIT. B	SIT. B1	SIT. B2	SIT. C	SIT C1	SIT. C2	SIT. D	altro	TOT.	DESCRIZIONE SITUAZIONI
2	1	1		1			1			**6**	A) parla solo di parte rosa
1	2	2	2						1	**8**	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli
9	6								2	**17**	C) parla già di poli
1	1								1	**3**	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si
		1	1	1	2			3	5	**13**	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)
											ANALISI SITUAZIONI
											Rispetto ragionamenti
1	6	4	1	3		1	1	3	3	**23**	1) azione oggetto verso oggetto
4	2		2		1				2	**11**	2) azione oggetto causato da altro oggetto (magnete)
7	4		1		1				1	**14**	3) modello dei poli
2	1	1							3	**7**	3b) modello solo comportamentale
2						1		1		**4**	4) modello ruota per attaccarsi
											Rispetto ai poli
2		2							2	**6**	A) parla solo di parte rosa
	1	2							2	**5**	B) identifica parte rossa e verde con i poli / parti = poli
8	4		1		1				1	**15**	C) parla già di poli
			1					1		**2**	D) calamita non ha polarità, il magnete appeso (esploratore) si
4	7	1	2	3	1	2	1	3	4	**28**	E) entrambi i magneti visti globalmente (no poli)

	Situazioni (68 in totale)	
20	A	i due magneti sono sulla stessa linea poli uguali affiancati (rosso con rosso)
15	A1	i due magneti sono sulla stessa linea poli opposti affiancati (rosso con verde)
6	B	il magnete è avvicinato da sotto perpendicolare a quello appeso, polo rosso verso quello rosso
4	B1	il magnete è avvicinato da sotto perpendicolare a quello appeso, polo verde verso quello rosso
4	B2	
2	C	il magnete è avvicinato da sopra perpendicolarmente a quello appeso con il polo verde verso il rosso
2	C1	
2	C2	
4	D	giro in tondo con il magnete in mano
9	Situaz. non chiara	

			1° dis	2° dis	3° dis	4° dis	TOT
Numero bamb 2 disegni	**8**	disegno A	7	7	2	4	**20**
Numero bamb 3 disegni	**8**	disegno A1	7	4	3	1	**15**
Numero bamb 4 disegni	**7**	disegno B	1	4	1	0	**6**
assenti	**2**	disegno B1	1	1	1	1	**4**
tot bamb	25	disegno B2	1	1	2	0	**4**
tot soluz presentate:	**68**	disegno C	1	0	1	0	**2**
		disegno C1	1	1	0	0	**2**
		disegno C2	0	0	2	0	**2**
		disegno D	1	1	2	0	**4**
		imprecisi	3	4	1	1	**9**
			23	**23**	**15**	**7**	**68**

SCHEDA 3

DUE MAGNETI SULL'ACQUA

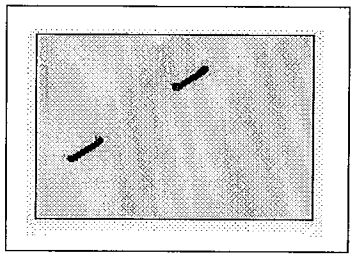
n° di gruppi	**In quale modo conviene avvicinare le due barchette?**	**cosa succede quando le avvicini nei vari modi?**
3	A: descrizione del movimento:	
	"1) metti le due barchette con angoli diversi con i poli disuguali 2) metti una barchetta orizzontale e l'altra in verticale 3) bisogna mettere le barchette con i poli uguali."	*1) si avvicinano, si girano e si attaccano 2)si girano tutte due in orizzontale e poi si attaccano 3) le barchette si attaccano*
2	B: attrazione dei poli:	
	"conviene avvicinare le barchette con il polo rosso vicino al polo blu"	*"si avvicinano pian piano e poi si attaccano."*
3	C: analisi più elaborata in termini di poli:	
	"le barchette conviene avvicinarle frontali, polo nord con polo sud se si vuole farli attaccare invece se si vuole farle allontanare conviene avvicinarle, lateralmente o frontalmente ma con i poli uguali"	*"quando le avvicini nei vari modi, o si respingono, o si attaccano o ruotano"*
	conviene avvicinarle in 4 modi: 1) rosso con rosso 2) blu con blu 3) rosso con blu 4)una barchetta era in acqua e l'altra in mano	*quando le avviciniamo nei vari modi il polo nord con il polo nord uno si gira e si attacca, la stessa cosa con il polo sud e il polo sud; quando avviciniamo il rosso e il blu si attaccano e se teniamo una barchetta in mano e l'latra in acqua dal polo nord e polo nord quello nell'acqua si gira e si attacca a quello in mano.*

INTERVISTE: seconda parte

Progettazione e realizzazione dell'esperimento delle vaschette (discussione a piccolo gruppo)

Previsione 1° esperimento

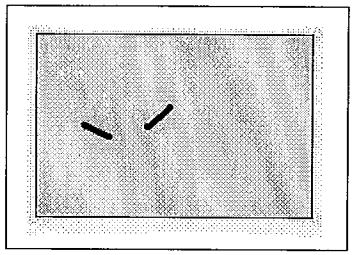
I: Adesso potete pensare a tutte le … a simulare gli esperimenti. Decidete assieme quali esperimenti fare.
B15: Allora proviamo a mettere questi due qua abbastanza vicini così e vediamo cosa succede ..
(dispongono i due magneti sulla stessa linea con i poli uguali uno di fronte all'altro, figura 1)



I: secondo voi cosa succederà in questo caso sull'acqua?
B15: Prima si avvicinano un po' poi uno si gira e si attacca … si avvicina e si attacca dall'altro
(sequenzialità dell'attrazione e rotazione: prima traslazione poi rotazione)
I: siete tutti d'accordo? Che se li mettete così prima si avvicinano e dopo si girano?
B16, B17. B15: sì

Previsione 2° esperimento

I: ok, questo come primo esperimento, avete un altro esperimento che volete fare?
B15: uno lo mettiamo qua e l'altro qua…
uno lo mettiamo qua e l'altro girato, così..



I: e li lasciate andare tutti e due … non ne tenete neanche uno?
B15: No … adesso proviamo ad avvicinarli un po' (figura 2)
B16: E' meglio che li lasciamo così…
B15: No (*i magneti si attaccano, li stacca*) ora proviamo ad attirare questo..
B16: Lasciali così che si attaccano da soli (*li sposta e si avvicinano)*
B15 :"Perché poi quando l'acqua li muove loro si avvicinano."
I: "Quando l'acqua li muove si avvicinano…?"
B15: . "Si!"
I: ok…
B15: Poi proviamo a mettere uno qua così (*in un angolo della vaschetta*) … e dopo questo avvicinarlo … proviamo ad avvicinarlo ed ad attirare questo.
I: per vedere cosa succede..
B15: sì

Previsione 3° esperimento

I: e tu Federico cosa vorresti fare?
B17: mettere uno al centro e … questo qua
B15: e l'altro farlo girare intorno con la mano
I: cioè uno tenerlo fermo e poi l'altro lo fai girare e cosa farà secondo voi il magnete?
B17: si attaccherà
B15: si attacca quando questo qua è abbastanza vicino il magnete si attacca
I:"Se messo così ad esempio non si attaccano…Se messo sull'acqua cosa succede se li metti a questa distanza? Si attaccheranno? Come mai?"
B15: " Quando l'acqua si muove loro magari o si avvicinano o si allontanano."
I.:"Mmm…però l'acqua non la facciamo muovere quindi se li mettiamo a questa distanza sull'acqua cosa succederà?"
B15: "Dipende da come si muove l'acqua. Se l'acqua li fa muovere in una direzione.."
I."E' l'acqua che li fa muovere?"
B15:"Sì!"
I:"Però se l'acqua non si muove e quindi lei è ferma…?"
B15:"Si…se l'acqua non si muove la facciamo muovere noi…"
I:"MA NO! eh eh *(ride)* Non possiamo muoverla noi! Noi la lasciamo solo così. Si attaccano da soli se sono sull'acqua…tu dici…come mai?"
B15: Perché sono abbastanza vicino e …
(Idea dell'acqua come supporto dell'interazione, se ci fosse l'aria non si muoverebbero)
B16: (interrompe) …è come se fossero in aria…
I: Ah,ah… E' come se fossero nell'aria. Cioè cosa succede se sono nell'aria? Rispetto a come … a quello che sono lì adesso sulle vaschetta, senza acqua?

B15: Che lì stanno fermi e non li muove niente!
I: m..m…
B15: Invece nell'acqua c'è l'acqua che li muove perché l'acqua …sì, bisogna aspettare abbastanza perché l'acqua si fermi….
I: Secondo te l'acq…ecco…se aspettiamo che l'acqua si fermi e poi li mettiamo lì non si muovono allora? Stanno come stanno lì fermi? Cos…?Secondo te?
B15: Perché quando li appoggiamo , loro, l'acqua torna a muoversi lo stesso , quando li appoggiamo. Se no li dobbiamo appoggiare pian piano piano .
I: .. e se li appoggiamo piano,piano,piano? Cosa succede?
B15: Eh..può succedere che …loro continuano a galleggiare senza mai avvicinarsi…dovrebbe succedere
I: Allora secondo Anna… Cosa dicevi? rivolta a Federico
B16: Si, in più la forza del magnete arriva fin qua (indica il bordo della vaschetta)
B15: Dipende da come si muove l'acqua…perché se…
I: (interrompe) Mettiamo che l'acqua non si muove. Secondo Anna, allora, avreste ….restano lì fermi…no?
B17: Dipende se sono uniti!
B15: Dipende anche da quanto li mettiamo vicini perché se sono così (a 10 cm circa)è un po' difficile che si attachino…
I: Così Anna dice che non si attaccano, secondo vo…secondo Federico e secondo –come ti chiami?- Sladana?
B17: Forse sì, forse no!
I: Forse sì, forse no!
B15: Dipende se l'acqua non si muove!
I: L'acqua è ferma: non si muove!!!
B16: Bho!....Secondo me non si attaccano!

(SECONDA FASE: REALIZZAZIONE DELL'ESPERIMENTO DELLE VASCHETTE)
Realizzazione 1° esperimento
B15: Aspettiamo che l'acqua si fermi …
I: sì aspettate che l'acqua si fermi…e poi provate i vari esperimenti che avete programmato, quale era il primo?
B16: Quello che era così *(e simula l'esperimento)*
B17: quello che era uno lì e uno lì
B15: Si sono attaccati come avevamo detto. Uno si è girato e si è attaccato come avevamo detto prima noi.

I: L'acqua era ferma, quindi, e si sono attaccati lo stesso!
B15: **No! L'acqua non era ferma: si stava muovendo!**

Realizzazione 2° esperimento
B15: (commento) si sono attaccati anche se erano abbastanza lontani.

Realizzazione 3° esperimento
B15: aspetta dobbiamo aspettare che l'acqua sia abbastanza ferma …

B13: "Questo si gira e si attacca con l'altro! *(riprova)* .... Si gira e si attacca!"
B14: "Prima avevate previsto che si allontanavano… Se gli metti la parte rossa con la parte blusi attraggono e le parti dello stesso colore si respingono!"
B13: Si respingono e basta?"
B14:"No! Poi uno ruota e si attacca!" *(ripete l'esperienza)* .... E se lo metti laterale si gira!"
B13: "Si girano e si attaccano!"…. Si può ripetere anche con la bussola?"
(NB: questo bambino prevede l'esperimento con la bussola, anche nell'esperimento dei due magneti in acqua, anticiperà l'esperimento della bussola e magnete galleggianti sull'acqua)
B14:"Cosa succederà con la bussola secondo te?"
B13"Con la bussola nell'acqua questo magnete andrà nella direzione nord insieme alla bussola!"
*(NB: **modello del Nord come polo d'attrazione** per tutti i magneti (il N è un polo di attrazione per la bussola e per gli altri magneti)*

Realizzazione esperimento:
B13: Questo si gira nell'acqua e si attacca con l'altro.
Si gira e si attacca!

I: prima avevate previsto che solo si attaccavano … cosa possiamo concludere?
B18: Se li metti la parte rossa con la parte blu si attraggono e le parti dello stesso colore si respingono.
(ragionamento in termini di poli)
I: si respingono e basta..
B18: no poi uno ruota e si attaccano
(sequenzialità traslazione rotazione)
B18: E se lo metti laterale si gira..
B13: si girano e poi si attaccano ***(sequenzialità traslazione rotazione)***
Si può provare anche con la bussola?
(anticipa l'esperimento della bussola sull'acqua)
I: cosa succederà con la bussola secondo te?
B13: con la bussola nell'acqua questo magnete andrà nella direzione nord insieme alla bussola.

SCHEDA 4

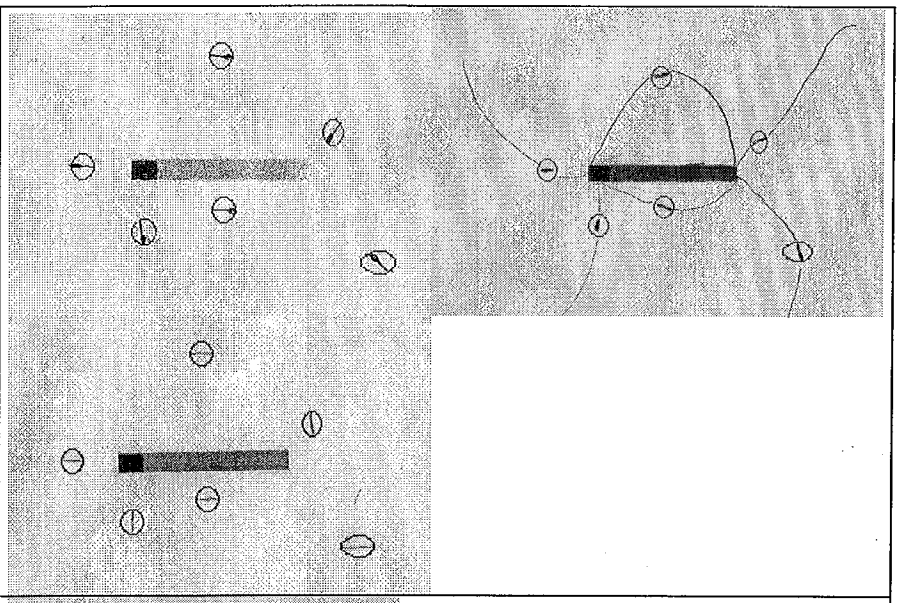
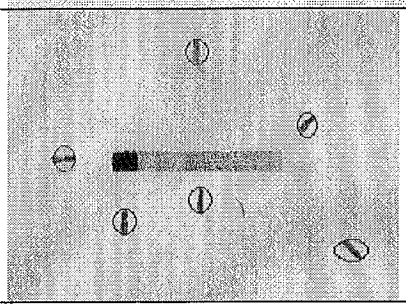
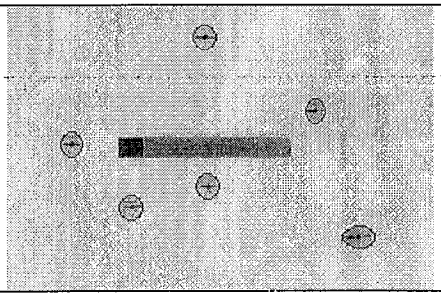
MAGNETE E BUSSOLA SULL'ACQUA

	L'ago ruota?		La bussola si sposta?		L'ago ruota e la bussola si sposta?	
	Se si come?	Spiega	Se si come?	Spiega	Se si come?	Spiega
1			gira	Che la bussola gira e va avanti		
2	Gira a sud	L'ago della bussola si sposta a sud				
3					L'ago della bussola e la bussola si avvicinano al magnete	L'ago si avvicina alla parte blu del magnete
4					La bussola si sposta verso il magnete e l'ago gira.	
5	L'ago ruota e segue il magnete	L'ago viene magnetizzato	La bussola si sposta e segue il magnete	Tutta la bussola si sposta assieme al magnete		
6					Si spostano da un angolo all'altro	Li lasciamo sull'acqua e loro si spostano
7					L'ago ruota e la bussola si sposta verso il magnete	
8					L'ago ruota e la bussola si posta lentamente	L'ago si magnetizza
9			Perchè il geomag attira l'ago della bussola			
10					La bussola si avvicina al magnete e si attacca	La bussola si attacca perchè l'ago è un piccolo magnete
11	Gira fino a quando trova il nord	Se tu metti un magnete in acqua e una bussola la bussola incomincia a girare fino a quando trova il nord				
12	Gira	Gira				
13					L'ago ruota e si direziona verso il magnete	Viene attirata
14	ruota nella direzione del magnete	l'ago ruota nella direzione del magnete perchè viene attirato dal magnete.				
15					L'ago quando ruota la bussola si sposta	L'acqua quando si muove la bussola gira da dove muove l'acqua*
16					Va verso la calamita	l'ago si ruota perchè se la bissola si sposta l'ago deve rimanere a nord.
17					velocemente	si spostano per segnare nord e sud
18					Mentre avvicino il magnete la bussola si sposta e l'ago ruota	Perchè l'ago della bussola è un piccolo e sottile magnete
19	Ruota nella direzione della bussola	ruota perchè l'ago è di ferro e l'ago attira la calamita				
20					Ondeggiando	L'ago ruota e la bussola si sposta perchè l'ago segue la direzione del magnete, invece la bussola si sposta con l'acqua.
21			Si sposta se avvicino il magnete	se metto la bussola e il magnete nell'acqua la bussola si sposta		
22					Co n l'acqua che si muove	si sposta con l'acqua e si attacca con il magnete
23					L'acqua sposta la bussola e l'ago viene attirato dal magnete	L'acqua fa spostare il polistirolo con la bussola, il magnete attira l'ago della bussola e lo fa spostare
24	Ruota mentre la bussola è ferma	l'ago ruota perchè è attirato dalla calamita				

SCHEDA 5: BUSSOLE INTORNO A UN MAGNETE

20 bambini presenti

BUSSOLE INTORNO A UN MAGNETE :

45%	8	A	corretta	
	1	A*	corretta tranne ultima bussola in basso a dx	
40%	3	B	ostacolo attrazione (tutto rivolto verso il magnete)	
	5	C	misto	
15%	3	D	tutte parallele al magnete	

DIREZIONE DEGLI AGHI DELLE BUSSOLE

7	A	corretta (rosso verso grigio)
2	B	rosso verso rosso
11	C	mista

SCHEDA 6

23 bambini tot

	MAGNETINO 1		MAGNETINO 2		MAGNETINO 3
7	ruota	2	ruota	3	ruota
13	ruota e si sposta OK	6	ruota e si sposta	10	ruota e si sposta OK
3	si sposta	15	si sposta OK	10	si sposta

Analisi dettagliata scheda 6

Dei 23 bambini presenti (2 assenti) 16 hanno evidenziato un ragionamento in termini di poli, sulle 3 risposte riguardanti le situazioni proposte (3 magneti) in totale 42/69 (23x3=69 risposte complessive). Si riscontrano due tipi di ragionamenti in termini di poli:

1) i poli come punto di arrivo e/o direzione del movimento (e/o rotazione) (24 dei 42)

Es *"si sposta e va a finire nel polo rosso"*
"il magnetino si sposta verso il lato rosso del magnete"
"il magnetino ruota e si sposta dalla parte grigia del magnete potente"
"si avvicina al magnete e si attacca dalla parte rossa"

2) come causa della rotazione e/o movimento (18 dei 42)

Es: *"il magnetino si attacca al magnete grande perché i poli sono diversi"*
"se il polo rosso lo metti vicino all'altro polo rosso si gira"
"polo sud con polo sud non si attacca allora si gira e si attacca"
"viene respinto e si attacca, il verde respinge il verde e si attacca al magnete rosso"

Ragionamento in termini di poli	Magnete 1	Magnete 2	Magnete 3	Totale
Come punto di arrivo	8	8	8	24
Come causa del movimento (rotazione e/o traslazione)	7	6	3	16
magnete visione globale (no poli)	6	7	9	22
altro	1	1	2	4
Totale	22	22	22	66

3) Un terzo tipo di ragionamento è quello che corrisponde a una visione globale del magnete, senza considerarne i poli[1]: "*il magnetino ruota si sposta e poi si attacca*", "*si sposta perché viene attirato dal magnete*", "*ruota dalla parte opposta, perché il magnetino venga attirato deve ruotare così si può attrarre*", "il magnetino si dirige verso il magnete e si attacca".

Problema della sequenzialità della rotazione e dell'attrazione:

Rispetto alla cronologia e gerarchia dei due aspetti rotazione e attrazione si osservano due tipi di ragionamenti:

a) prima avviene la rotazione, in seguito lo spostamento ("gira e si attacca")
Es *"il magnetino ruota si sposta e poi si attacca"*
"si ruota e si sposta indietro e dopo può attaccarsi"
"il magnetino ruota e si sposta con il polo verde va ad attaccarsi con il polo rosso"

a1) Ragionamento la rotazione come funzionale all'attrazione" ("gira per attaccarsi")

[1] In alcuni casi vengono menzionati i poli, ma l'analisi è sempre in termini di visione globale del magnete: "*il magnetino si attacca al magnete grande perché i poli sono diversi*"

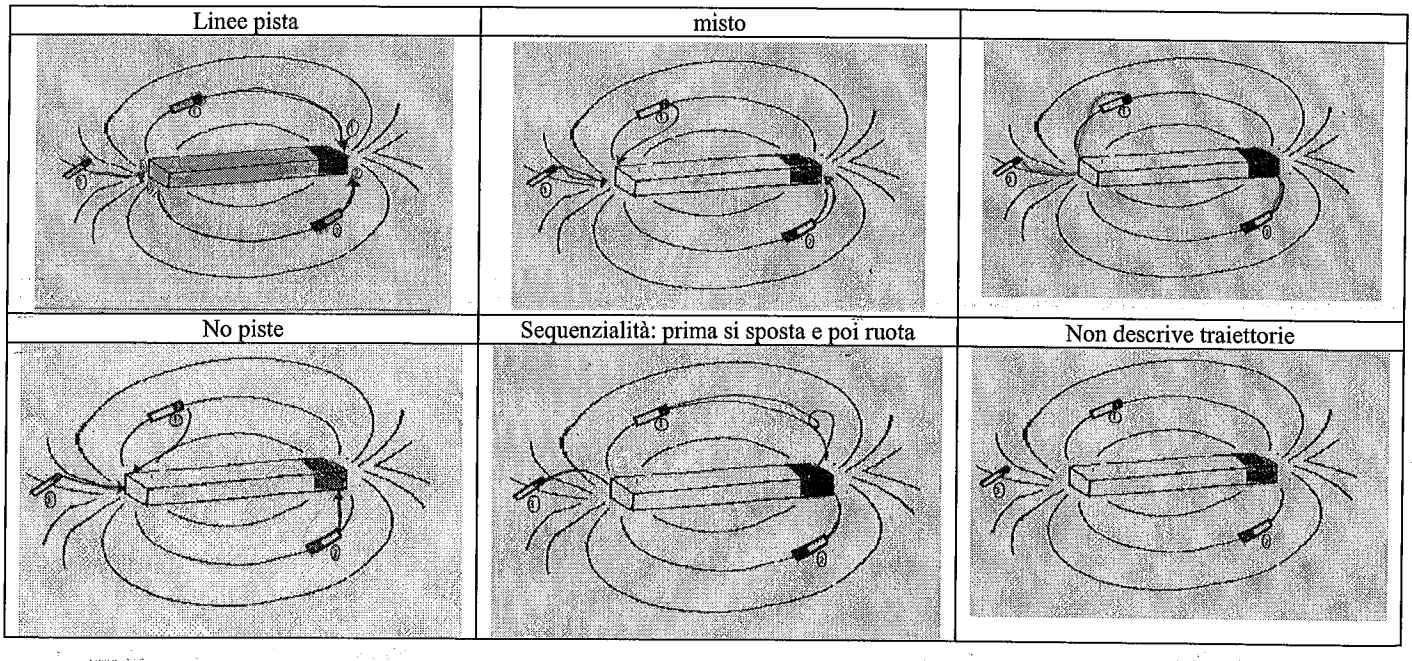
privilegiare l'attrazione rispetto alla rotazione: la rotazione avviene solo per permettere l'attrazione

Es *"si ruota perché deve riuscire ad attaccarsi"*
"perché venga attratto il magnetino deve ruotare per mettersi nell'altro polo"
"ruota dalla parte opposta, perché il magnetino venga attirato deve ruotare così si può attrarre"
"ruota e si sposta verso il polo opposto del magnetone, perché deve andare ad attaccarsi al magnetone"
"il magnetino si sposta poi ruota perché è attirato e si attacca"

b) prima avviene lo spostamento e poi la rotazione

Es
"andando da un polo all'altro e quando il polo rosso arriva al magnete dalla parte rossa si gira"
"si sposta e quando è vicino si gira, perché i due poli sono uguali allora lui si gira e si attacca"

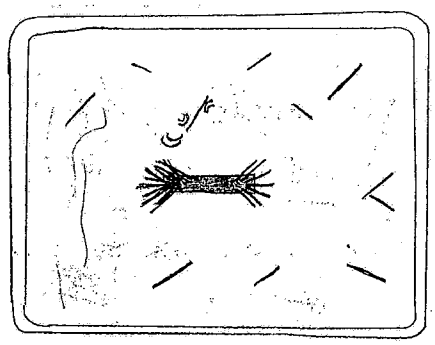
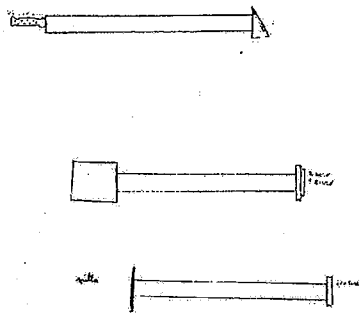
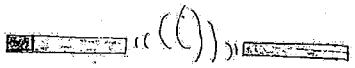
Sequenzialità rotazione traslazione	**Magnete 1**	**Magnete 2**	**Magnete 3**	**Totale**
a) "gira e si attacca"	6	2	6	**14**
a1) prima gira poi si attacca	2	1	-	**3**
a2) rotazione funzionale all'attrazione "gira per attaccarsi"	4	1	5	**10**
b) prima trasla e poi ruota	3	1	-	**4**
c) solo trasla	2	13	10	**25**
d) solo ruota	-	2	-	**2**

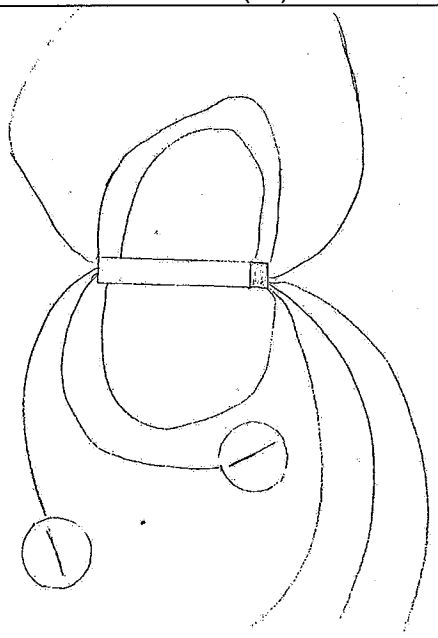
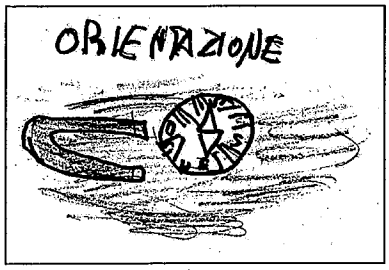
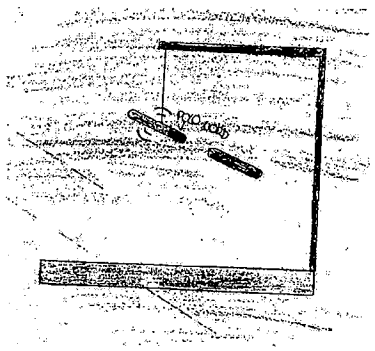


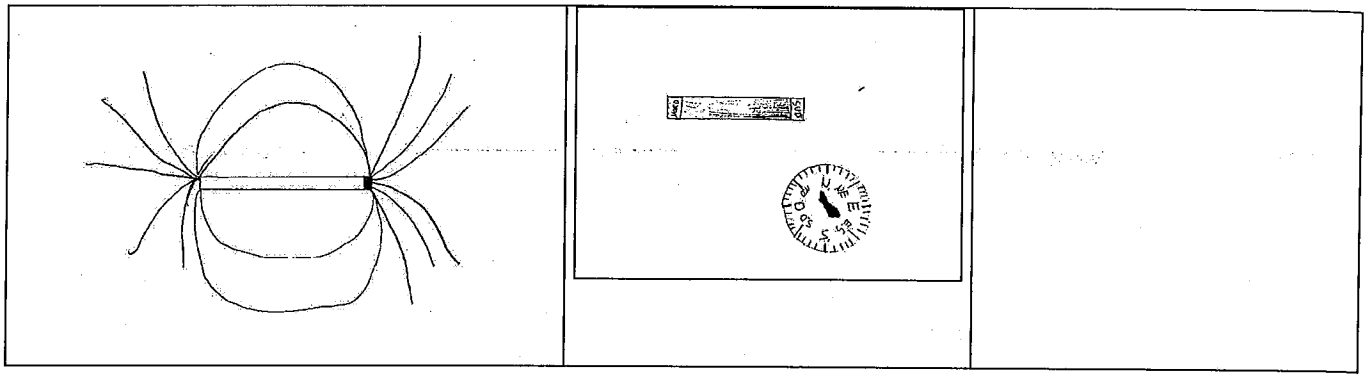
DISEGNI DEI BAMBINI SU ATTRAZIONE E ORIENTAZIONE

ANALISI DEI DISEGNI

	ATTRAZIONE	
12	A	magnete con intorno ai poli linee a raggiera
2	B	altro: (magnete + spillo + 100 lire o 1 euro
6	C	due magneti con i poli opposti vicini
1		era assente
21		
	ORIENTAZIONE	
3	A	magnete + linee di campo + bussola inserita sopra linee di campo
8	B	magnete + linee di campo
4	C	magnete + bussola
2	D	magnete appeso
1		era assente
3		altro
21		

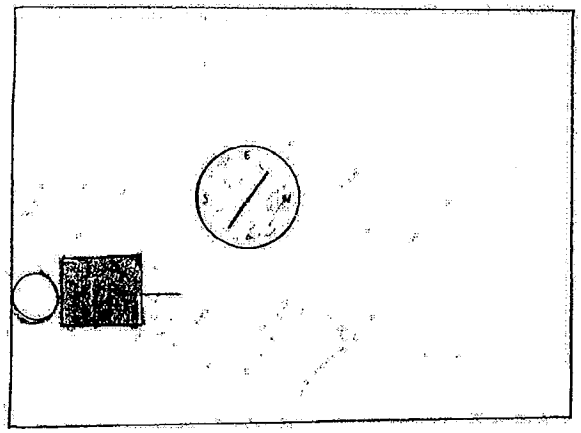
	ATTRAZIONE	
A(12)	B (2)	C (6)
		

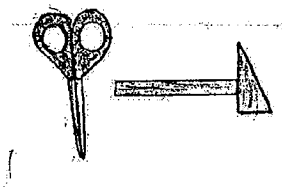
	ORIENTAZIONE	
A e B (14)	C (4)	D (2)
		



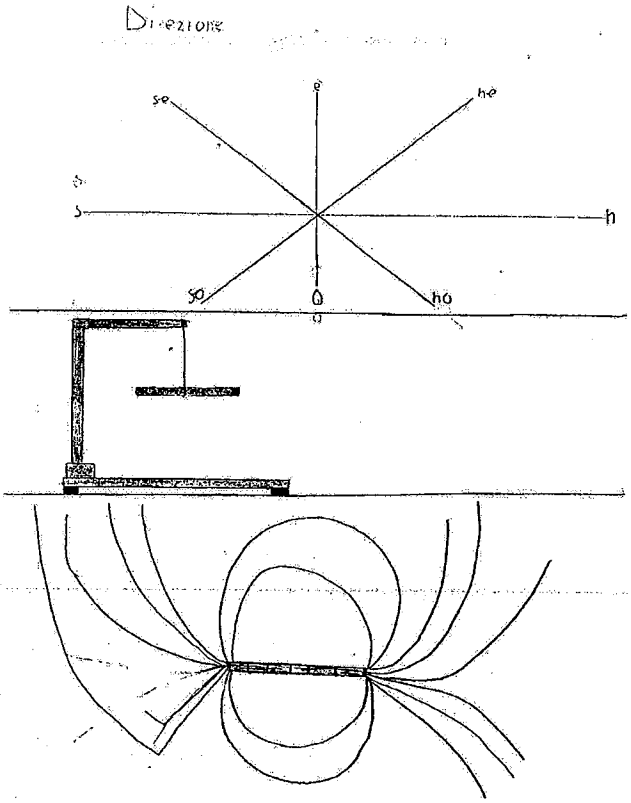
Un esempio completo di un bambino

ATTRAZIONE:





ORIENTAZIONE:

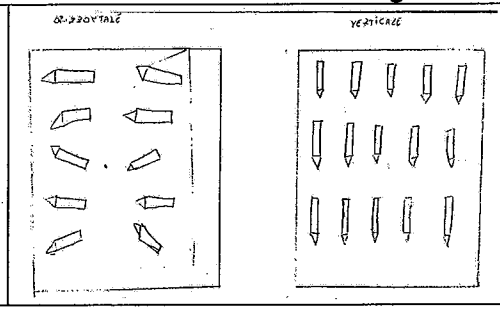


DISEGNI DEI BAMBINI SULLA TERRA E LA DIREZIONE DEL CAMPO GRAVITAZIONALE

1° disegno	24	A	tutte le frecce verso il basso
2° disegno	16	A	frecce e pendoli ok
	2	B	frecce ok, ma pendoli verso il basso del foglio
	2	B1	frecce no, pendoli in tondo / frecce ok, pendoli in tondo
	3	B2	frecce e pendoli verso il basso del foglio
	1	C	perspective vue + alberi e pendoli verso il basso del foglio
3° disegno	20	A	corretto (Terra e frecce verso il centro)
	3	B	frecce tutte verso il basso del foglio
	1		non fa disegno

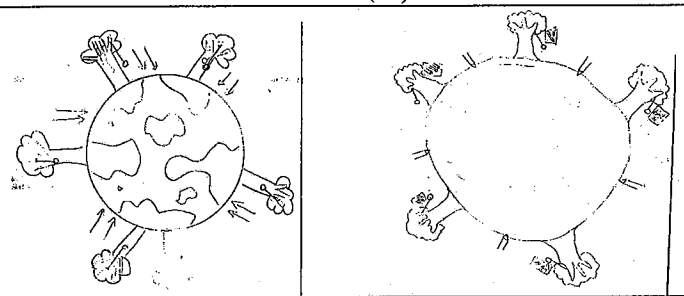
1° disegno

A 24

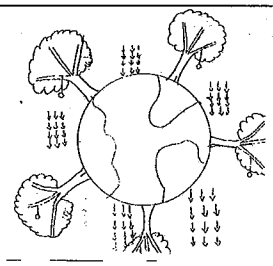


2° disegno (24 bambini)

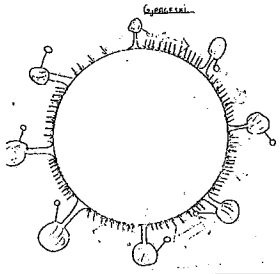
A corretta (16)



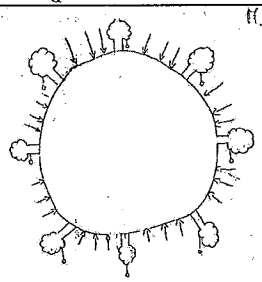
tutto verso il basso (3)



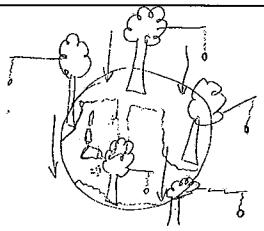
B2 Misto (pendoli in tondo) (2)



B1 Misto (pendoli verso il basso)(2)

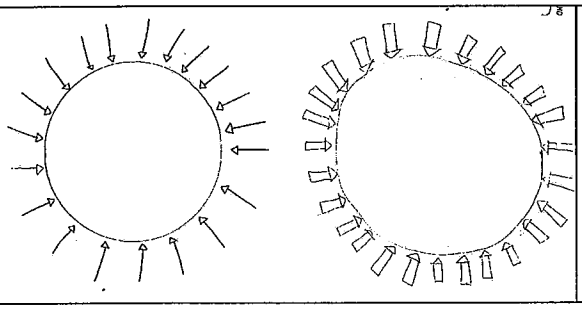


Perspective vue (1)

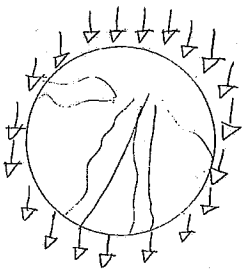


3° disegno: dal locale al globale

A 20



B 3



4. Allegati (capitolo 8)

4.1) LE SCHEDE DEL PERCORSO

SCHEDA 1: Interazioni magnetiche

Nome e Cognome: .....

Situazione: **sul tavolo ho un magnete e diversi oggetti di materiale e forma diversi**

- Esplorare le interazioni di un magnete con ciò che è presente sul tavolo.
- Individuare tipologie e caratteristiche delle interazioni magnetiche e classificarle

SCHEDA 2A : Interazione tra due magneti, caso 1 (magnete posto sul tavolo)

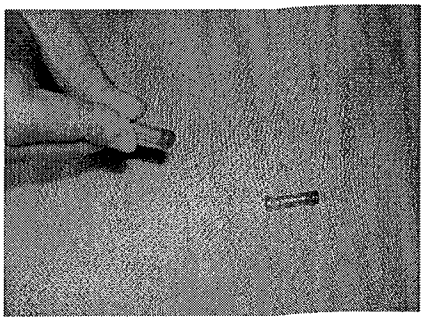
Nome e Cognome: .....

Un magnete è appoggiato sul tavolo. Avvicina ad uno dei suoi poli il polo opposto di un altro magnete che tieni in mano.

Situazione A: avvicina i poli opposti:

- Quale prevedi sia il comportamento del magnete appoggiato sul tavolo?

.....



- Prova a farlo.

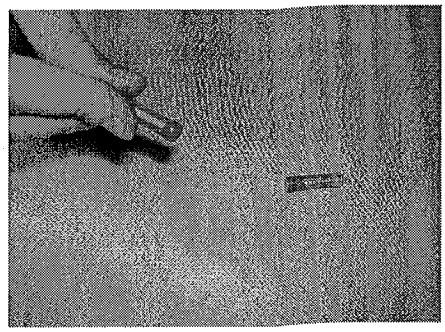
Descrivi e motiva il comportamento osservato:

.....

Situazione B: avvicino poli uguali:

- Quale prevedi sia il comportamento del magnete appoggiato sul tavolo?

.....



- Prova a farlo.

Descrivi e motiva il comportamento osservato:

.....

- **Cosa puoi concludere dall'esperimento?**

.....

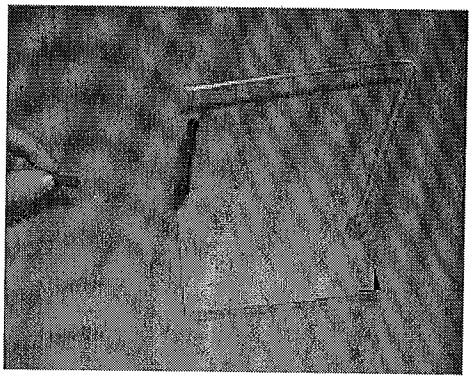
.....

SCHEDA 2B: Interazione tra due magneti, caso 2
(magnete appeso sul suo asse principale)

Nome e Cognome: .....

Un magnete è appeso ad un filo sul suo asse principale, in modo che stia orizzontale.

Avvicina (mantenendoti su un piano parallelo al tavolo) ad uno dei suoi poli il polo opposto di un altro magnete che tieni in mano.



Situazione A: avvicina poli opposti:

- Quale prevedi sia il comportamento del magnete appeso?

.....

.....

- Prova a farlo.

Descrivi e motiva il comportamento osservato:

.....

Situazione B: avvicina poli uguali:

- Quale prevedi sia il comportamento del magnete appeso?

.....

- Prova a farlo.

Descrivi e motiva il comportamento osservato:

.....

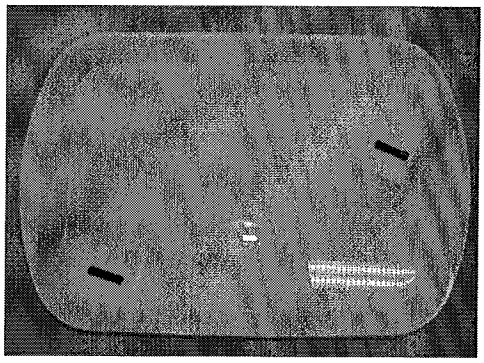
- Ripeti l'esperimento avvicinandoti dall'alto o dal basso con i magnete in mano.

- **Cosa puoi concludere dall'esperimento?**

.....

SCHEDA 2C: : Interazione tra due magneti, caso 3 (magneti galleggianti sull'acqua)

Nome e Cognome: .....



Appoggia nella vaschetta d'acqua i due magneti fissati sulle barchette di polistirolo e avvicina leggermente uno all'altro,

Situazione A: i magneti hanno i poli opposti affacciati:

- Quali sono i comportamenti che prevedi per i due magneti?

.....

- Prova a farlo.

Descrivi e motiva i comportamenti osservati:

.....

Situazione B: i magneti hanno i poli uguali affacciati:

- Quali sono i comportamenti che prevedi per i due magneti?

.....

- Prova a farlo.

Descrivi e motiva i comportamenti osservati:

.....

- **Cosa puoi concludere dall'esperimento?**

.....

SCHEDA 3: Interazione tra un magnete e una bussola posta sul tavolo

Nome e Cognome: .....

Compito: **Esplora le interazioni di un magnete con una bussola posta sul tavolo.**

Suggerimenti: - Individua le tipologie di comportamento in relazione alle azioni effettuate.

- Interpreta il comportamento osservato.

SINTESI

Nome e Cognome: .....

1. Considera i materiali ferromagnetici e magnetici, elencandone somiglianze o differenze rispetto all'interazione con un magnete:

somiglianze	*differenze*

- Come puoi sintetizzare il comportamento di un magnete e quello degli altri materiali?

.....

2. Quali sono i due effetti osservati di un magnete su un ago magnetico come esploratore?

.....

3. Come puoi osservare la sola rotazione?
   Illustra e spiega

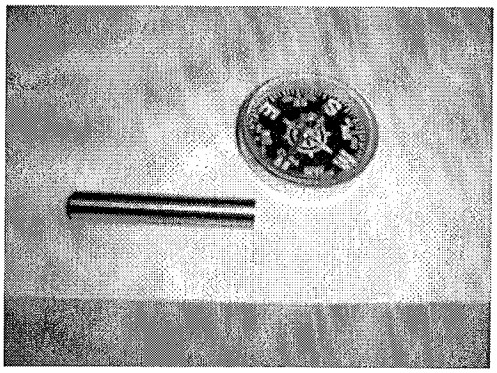
.....

4. Come interpreti l'azione di un magnete su un ago magnetico posto nelle vicinanze?

.....

.....

SCHEDA 6.1



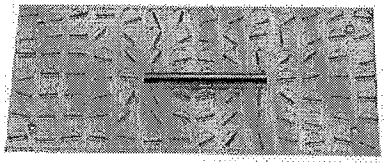
Fissa la calamita su di un foglio e disegnane il contorno.
Avvicina la bussola ad uno dei poli del magnete e traccia un segmento che indica la posizione dell'ago della bussola in quel punto. Sposta la bussola in diversi punti dello spazio attorno al magnete e ogni volta traccia il segmento che indica la posizione dell'aghetto.

Rappresenta le disposizioni dagli aghi nelle varie posizioni.

- Descrivi la distribuzione ottenuta, caratterizzandone le particolarità (simmetrie, ...)

.....

SCHEDA 6.2



Affianca due delle scatole in plastica formate da tanti aghetti. Prima di inserire il magnete è opportuno dare dei piccoli colpetti per rompere vincoli statici che si formano ogni volta che l'aghetto si ferma in una posizione.
Inserisci quindi un magnete a barra sopra le scatole e fai un disegno della disposizione degli aghetti così ottenuta.

- Descrivi la distribuzione ottenuta, caratterizzandone le particolarità (simmetrie, ...)

.....

.....

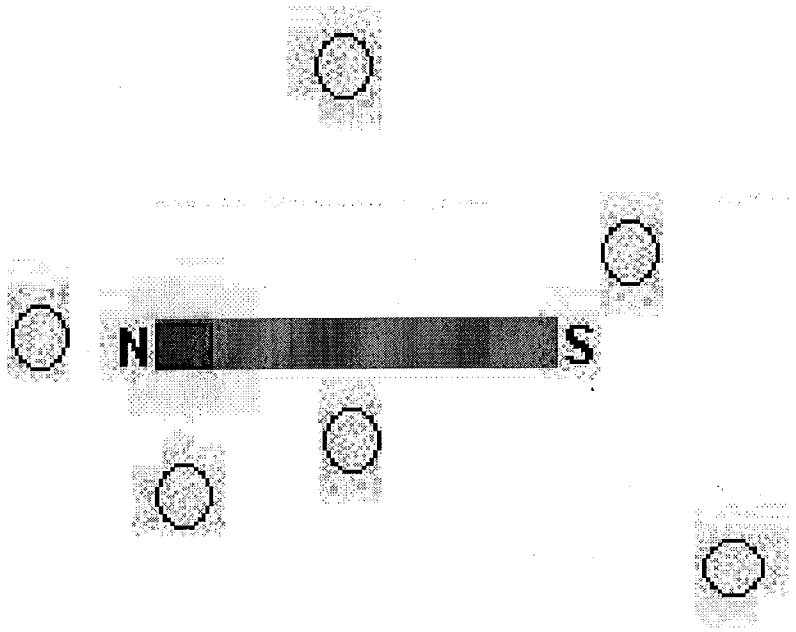
SCHEDA 7:

Nome e Cognome: .....

Dato un magnete in come in figura.

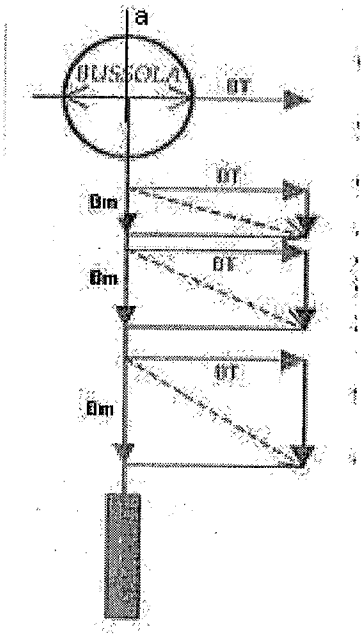
Se disponiamo delle bussole tutto intorno al magnete, che orientazione assumono gli aghi?

Disegna la disposizione dell'ago delle bussole, esplicitandone i poli N e S



SCHEDA 8.1: Misura del campo magnetico B con la bussola (metodo bussola delle tangenti)

Nome Cognome: .....



Obiettivo: dipendenza dalla distanza del campo magnetico lungo l'asse longitudinale di un magnete cilindrico.

Metodo: misurare in unità di **campo magnetico terrestre (BT)** il campo magnetico generato da un magnete cilindrico (**Bm**), in base alla deviazione dell'ago della bussola rispetto alla direzione del campo magnetico terrestre.

Materiali: magnete cilindrico, bussola, carta millimetrata, matita, righello, nastro adesivo.

Fasi dell'esperimento:

1. **Fase preliminare**: individua una zona del pavimento in cui BT risulti costante, utilizzando delle bussole.
2. **Disposizione del sistema**:
   a) orientare il foglio di carta millimetrata in modo che la direzione di BT combaci con una riga del lato corto del foglio.
   b) collocare il magnete perpendicolarmente alla direzione di BT (lungo la retta a)
3. **Misura**:
   a) disporre la bussola inizialmente a 35 cm dal magnete lungo la retta *a* e segnare la direzione dell'ago della bussola.
   b) rilevare il valore di Bm in unità di BT: scelta un'unità arbitraria del vettore di campo magnetico terrestre BT (per esempio 2 cm) individuare la componente Bm rispetto alla direzione assunta dalla bussola in quel punto.
4. Avvicinare la bussola progressivamente (a intervalli costanti di 2 cm) e individuare Bm per ogni posizione.
5. Riportare nella tabella i dati ed analizzare la dipendenza della lunghezza del vettore Bm dalla distanza: (d = distanza tra la bussola e il polo più vicino del magnete; Ln = logaritmo)
6. Rappresentare i dati in un grafico

d (....)	**Bm** (.....)	**Ln (d)**	**Ln (Bm)**

SCHEDA 8.2: Misura del campo magnetico B con il sensore di campo magnetico

Nome Cognome: .....

Obiettivo: dipendenza dalla distanza del campo magnetico lungo l'asse longitudinale di un magnete cilindrico

Metodo: misura diretta del campo magnetico generato da un magnete cilindrico (Bm) con un sensore di campo magnetico.

Materiali: magnete cilindrico, sensore di campo magnetico, carta millimetrata, matita, nastro adesivo.

Fasi dell'esperimento

1. **Fase preliminare**: determinare la direzione del campo magnetico terrestre BT e orientare il foglio di carta millimetrata in modo che la direzione di BT combaci con una riga del lato lungo del foglio.
2. **Disposizione del sistema**: posizionare il magnete cilindrico lungo la direzione di BT individuata
3. **Misura:** ad intervalli regolari (1 cm) avvicinarsi al magnete con il sensore ed annotare i valori del campo magnetico B misurato
4. Riportare nella tabella i dati e determinare, per differenza tra B e BT, il campo magnetico Bm prodotto dal magnete in ogni posizione della bussola.
5. Analizzare la dipendenza della lunghezza del vettore Bm dalla distanza e rappresentarlo in un grafico
   (d = distanza tra la bussola e il polo più vicino del magnete; Ln = logaritmo)

d (.....)	B (....)	Bm (.....)	Ln (d)	Ln (Bm)

SCHEDA 8.3: Misura del campo magnetico B con le oscillazioni di una bussola

Nome Cognome: .....

Obiettivo: dipendenza dalla distanza del campo magnetico lungo l'asse longitudinale di un magnete cilindrico.

Metodo: misura del periodo di oscillazione dell'ago di una bussola posta lungo l'asse longitudinale del magnete.

Materiali: magnete cilindrico, bussola, carta millimetrata, matita, nastro adesivo.

Fasi dell'esperimento

1) **Fase preliminare**: determinare la direzione del campo magnetico terrestre BT e orientare il foglio di carta millimetrata in modo che la direzione di BT combaci con una riga del lato lungo del foglio.
2) **Disposizione del sistema**: posizionare il magnete cilindrico lungo la direzione di BT individuata
3) **Misura:** ad intervalli regolari (2 cm) avvicinare la bussola al magnete e misurare il periodo di oscillazione (misurando con il cronometro 5 o 10 oscillazioni e ripetendo 3 volte ogni misura)
4) Siccome il periodo T dipende dal campo magnetico B secondo la relazione:

$$T = k\frac{1}{\sqrt{B}}$$

lo utilizziamo per calcolare (a meno di una costante k) il campo magnetico totale nel punto in cui è collocata la bussola: $B = \frac{1}{T^2}$

5) Determinare, per differenza tra B e BT, il campo magnetico Bm prodotto dal magnete in ogni posizione della bussola.
6) Riportare i dati in tabella e rappresentarli in un grafico

d = distanza tra la bussola e il polo più vicino del magnete; Ln = logaritmo

d (.....)	**T** (.....)	**B** (....)	**Bm** (.....)	**Ln (d)**	**Ln (Bm)**

SCHEDA 9:
direzione di partenza degli oggetti in presenza di magneti

Nome e Cognome: .....

Consideriamo la rappresentazione delle linee di campo di un magnete, e appoggiamo una biglia di acciaio in due punti A e B come indicato in figura.

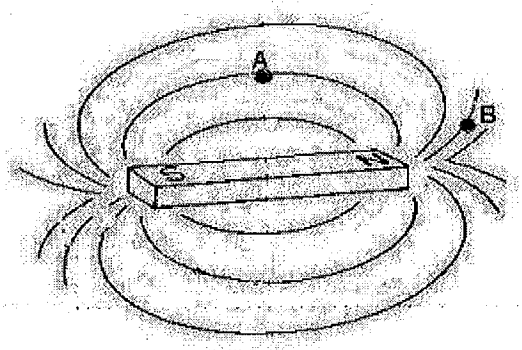


Figura 1

Lasciando la pallina libera di muoversi,

- qual è la direzione di partenza della pallina posta in A?

(disegnala e spiega a parole la previsione fatta)

.....

.....

- e di quella in B?

(disegnala e spiega a parole la previsione fatta)

.....

.....

- Le linee di campo secondo te coincidono con la direzione di partenza?

.....

SCHEDA 10: confronto tra i campi

Nome e Cognome: .....

Quali **aspetti** sono **comuni** a tutti e **tre** i campi gravitazionale elettrico e magnetico?

.....

.....

.....

Quali **aspetti** sono **comuni** soltanto a **due** dei seguenti campi:

- elettrico e magnetico

.....

.....

- gravitazionale e magnetico

.....

.....

- elettrico e gravitazionale

.....

.....

Quali sono le differenze significative tra i campi:

- elettrico e magnetico

.....

.....

- gravitazionale e magnetico

.....

.....

- elettrico e gravitazionale

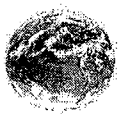
.....

.....

SCHEDA 11A

Nome e Cognome: .....

Considera i tre casi:

A) il campo elettrico generato da una carica Q puntiforme:	B) il campo gravitazionale terrestre:	C) il campo magnetico generato da un magnete a barra
		

1. Nei tre casi proposti disegna il contorno di almeno una **superficie chiusa** (nel piano del disegno) attraverso la quale il flusso del campo considerato **sia nullo.**

   Nelle situazioni proposte disegna con un altro colore il contorno una **superficie chiusa** (nel piano del disegno) tale che il flusso del campo attraverso S **sia diverso da zero.**

   Motivare infine la scelta delle superfici chiuse nei tre casi:

- caso A)

.....

- caso B)

.....

- caso C)

.....

2. State collaborando con un'altra classe, che sta facendo un lavoro analogo al vostro.
   La classe vi comunica che il flusso di un campo elettrico attraverso una superficie chiusa S risulta zero e che la superficie S contiene delle sorgenti di campo elettrico.
   E' possibile? □ Si
   □ No.
   Spiega:

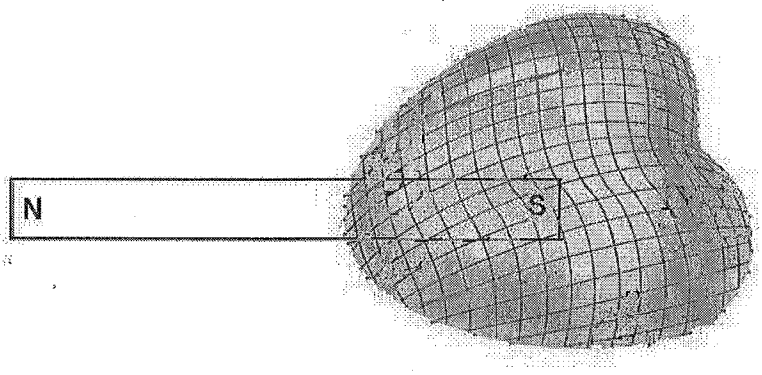
.....

.....

SCHEDA 11B

Nome e Cognome: .....

Considero il campo generato da un magnete a barra; disegna le linee di campo magnetico attraversanti la superficie S indicata in figura, e indica inoltre la direzione del vettore B nei punti di intersezione con tale superficie.



La non separabilità dei poli ci permette di assumere che ***il flusso del campo magnetico B attraverso una qualunque superficie chiusa è nullo.***
C'è un campo magnetico all'interno del magnete?
Indica in caso affermativo la direzione e il verso di tale campo.

Motiva la risposta

.....

.....

Nel caso del dipolo elettrico, qual è il verso delle linee di campo tra una carica e l'altra?

Confronta il caso del dipolo magnetico (punto 2) da quello da quello elettrico (punto 3) e precisa uguaglianze e differenze.

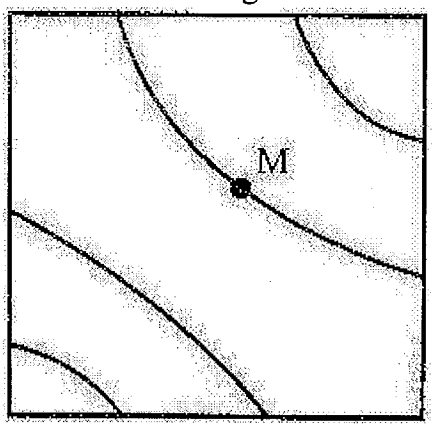
.....

SCHEDA 12: tubi di flusso
per il campo magnetico generato da un filo rettilineo percorso da corrente

Nome e Cognome: .....

1. Le linee di campo generato da un filo percorso da corrente sono dei cerchi concentrici su dei piani perpendicolari al filo (centro dei cerchi stessi).
   Disegna le linee di campo e determina, in base alla definizione data, un tubo di flusso del campo B in questa situazione.
   In base a questo discuti il valore di B lungo una linea di campo.

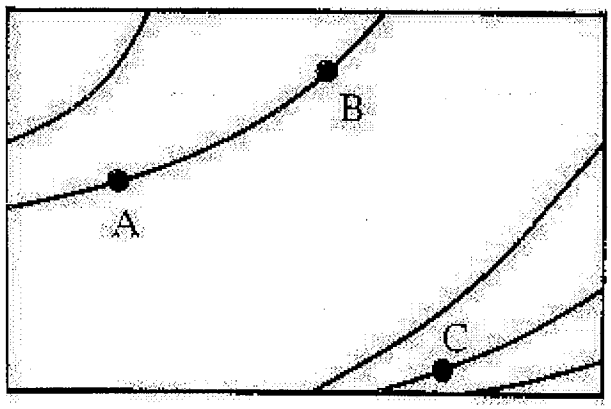
2. In figura sono rappresentate le linee di un campo magnetico generato da diversi magneti. Soltanto una parte della regione di spazio intorno ai magneti è mostrata in figura.
   Indica la direzione che assume l'ago di una bussola situata nel punto M indicato in figura.
   Spiega il tuo ragionamento.
   Se non è possibile determinare la direzione dell'ago della bussola, spiegane il motivo.



.....

.....

3. In figura sono rappresentate le linee di un campo magnetico generato da diversi magneti. Soltanto una parte della regione di spazio intorno ai magneti è mostrata in figura .
   Confronta l'intensità del campo magnetico nei vari punti indicati A,B,C .
   Se non puoi confrontare l'intensità del campo in alcuni punti spiegane il motivo.



.....

4.2) **IL POST TEST**

Nome ..... Cognome .....

Compila la seguente tabella :

Quali **aspetti** sono **comuni** a tutti e **tre** i campi gravitazionale elettrico e magnetico ?	Quali **aspetti** sono **comuni** soltanto a **due** di questi campi?
	- elettrico e magnetico .... - gravitazionale e magnetico .... - elettrico e gravitazionale ....

2. Quali sono le differenze significative tra i campi:

- elettrico e magnetico

.....

.....

- gravitazionale e magnetico

.....

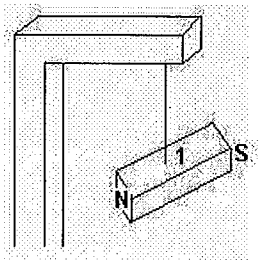
.....

- elettrico e gravitazionale

.....

.....

3. Appendo un magnete a barra (1) e ne avvicino uno uguale (2) come indicato in figura. Considerando trascurabile qualunque altra interazione magnetica rispetto a quella dei due magneti in esame, fai una previsione sul comportamento del magnete appeso.



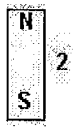
Come si muove?

.....

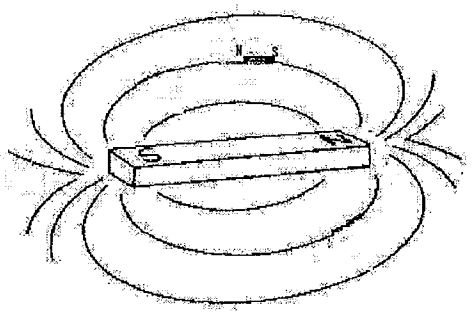
.....

Giustifica il movimento previsto (in termini fisici, usando grandezze fisiche)

.....



4. Un piccolo magnete viene collocato, come indicato in figura, nello spazio circostante un potente magnete.



Prevedi il comportamento del magnete, **in assenza di attrito**, e giustificalo specificando se si muove e come.

Previsione	Spiegazione

La direzione di partenza coincide con la linea di campo ? □ Si □ No. □ Non so

Spiega: .....

.....

Per interpretare ciò che accade possiamo utilizzare le linee di campo o la direzione di partenza:

- Quali informazioni ci danno le linee di campo?

.....

.....

- Cosa ci indica la linea di partenza di un oggetto (ferromagnetico o magnetico) posto nella regione di campo considerata?

.....

.....

5. Consideriamo una massa come in figura inizialmente ferma su un supporto in un campo gravitazionale. Se tolgo il supporto la massa cade.

a. Rappresenta la direzione della linea di campo gravitazionale passante nella posizione iniziale.

b. La direzione di partenza del moto di caduta è la stessa della linea di campo? Spiega

.....

- Quali informazioni ci danno le linee di campo?

.....

- Cosa ci indica la linea di partenza di una massa posta nella regione di campo considerata?

.....

- Confronta la direzione di partenza e le linee di campo nei due casi considerati (campo magnetico e gravitazionale):

.....

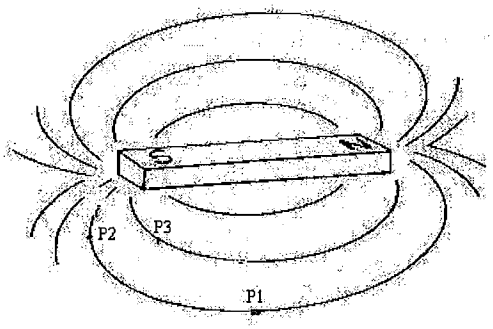
- In base a tale confronto cosa puoi dire sulle forze agenti nei due casi?

.....

6. Consideriamo tre punti intorno al magnete P_1,P_2,P_3 collocati come in figura. P_2 e P_3 sono alla stessa distanza dal polo S del magnete.

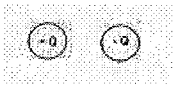
Confronta con delle relazioni d'ordine (inserendo ">" o "<" o "=") l'intensità del campo B nei punti considerati.

Giustifica le tue affermazioni con **tutte le argomentazioni possibili**.



Relazioni tra l'intensità del campo B nei vari punti	Giustificazione
- $B(P_1)$ ….. $B(P_2)$	.....
- $B(P_3)$ …. $B(P_1)$	.....
- $B(P_2)$ ….. $B(P_3)$	.....

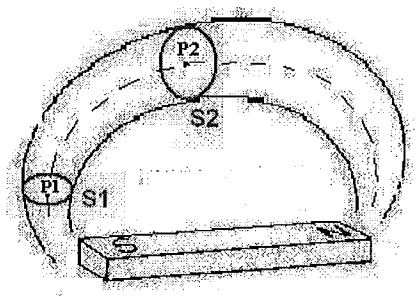
7. Rappresenta (indicando anche il verso del campo) e confronta le linee di campo del dipolo elettrico e magnetico: quali sono le analogie e le differenze?



.....

.....
...

8. Confronta i valori del flusso Φ del campo magnetico B, generato dal magnete rappresentato in figura, attraverso le superfici S_1 e S_2, come sono Φ_1 e Φ_2?



.....

Spiega: .....

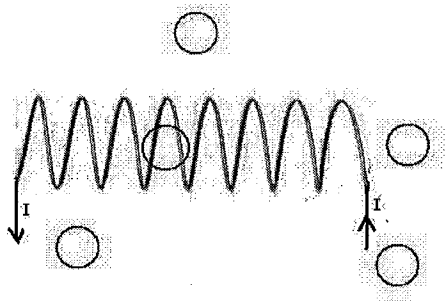
- Come sono i valori dell'intensità del campo magnetico B nei punti P_1 e P_2 delle superfici S_1 e S_2?

.....

Spiega : .....

9. Disponiamo intorno e dentro un solenoide delle bussole come indicato in figura. Viene fatta passare corrente nel solenoide.

- Disegna la direzione degli aghi delle bussole (fuori e dentro il solenoide) evidenziando il polo Nord di ciascuna
- Disegna le linee di campo magnetico generato dal solenoide, esplicitando la direzione del vettore B.



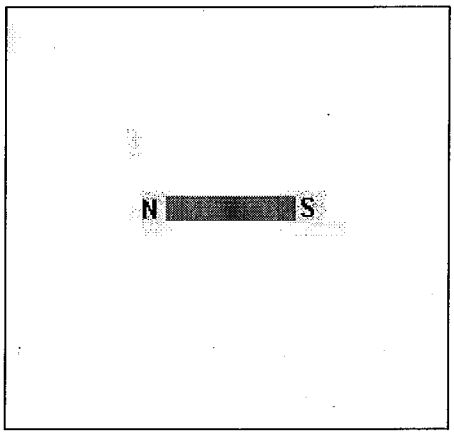
Confronta le linee di campo disegnate con quelle prodotte da un magnete permanente di forma cilindrica.

.....

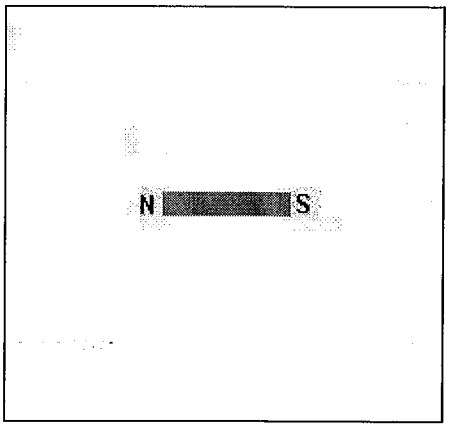
PARTE facoltativa

10. Inseriamo un magnete come rappresentato nelle figure in una regione di spazio in cui abbiamo distribuito uniformemente della limatura di ferro oppure delle bussole.

Disegna la disposizione degli aghi delle bussole e della limatura di ferro una volta che la loro disposizione si sia stabilizzata.



Caso 1 : bussole



Caso 2 : limatura di ferro

Caso 1 :

Cosa fa ogni singolo ago delle bussole? □ si sposta
□ si orienta

giustifica il comportamento di ogni singolo ago (in termini fisici):

.....

.....

Caso 2 :

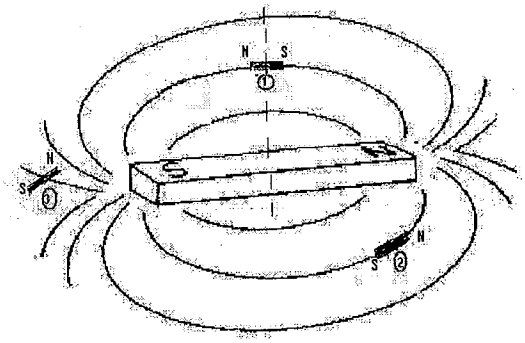
Cosa fa ogni singolo pezzetto di limatura di ferro? □ si sposta
□ si orienta

giustifica il comportamento di ogni singolo pezzo di limatura di ferro(in termini fisici):

.....

.....

11. Tre piccoli magneti vengono collocati, come indicato in figura, nello spazio circostante un potente magnete.



Prevedi il comportamento di ciascuno dei tre magneti, **in assenza di attrito**, e giustificalo specificando se si muovono e come.

	Previsione	Spiegazione
Magnete 1		
Magnete 2		
Magnete 3		

La direzione di partenza coincide con la linea di campo ?

Magnete 1: □ Si □ No. □ Non so.

Spiega: .....

Magnete 2 : □ Si □ No. □ Non so.

Spiega: .....

Magnete 3 : □ Si □ No. □ Non so.

Spiega: .....

12. Consideriamo la Terra come sorgente del campo gravitazionale, rappresenta le linee di campo e un tubo di flusso in analogia al caso del campo magnetico (domanda n°8).

Individua due superfici del tubo di flusso e confronta i valori del flusso e del campo gravitazionale.

4.3) ANALISI DELLE SCEHDE DEL PERCORSO

SCHEDA 1

1 assente

	CATEGORIE
3	A : 3 categorie: attira / non attira / attira e modifica
16	B : attira / non attira
2	C: costruisce una tabella di cinque colonne in base alle forme(cubica, sferica, cilindrica, parallelepipeda e irregolare e per ogni oggetto indica il tipo di interazione, Non ha diviso per interazione, ma per forma. Tuttavia nei tipi di interazione si ritrovano tre tipologie: no interazione/ attrae da ogni lato / per metà attrae e metà respinge
1	assenti
22	
	CLASSIFICAZIONE IN BASE A:
5	A : i materiali (ghisa, ferro,…)
12	A+B: gli oggetti (tondini,…)
4	C: classificazione in base alle forme (il magnete attrae quelle circolari e cilindriche, non attrae quelle cubiche
1	assente

SCHEDA 2

1 assente

PREVISIONE SITUAZIONI

Situazione A			
previsione		**descrizione e motivazione**	
10	A: si attraggono	11	A: perchè sono caricati in maniera opposta / I poli opposti si attraggono avendo cariche di segno opposto / Cariche opposte si attraggono / Le cariche positive di un polo attirano quelle negative dell'altro polo
4	A1: viene attirato / Il magnete appeso viene attirato dal magnete libero	2	A1: perchè sono di segno opposto
3	B: quello sul tavolo si sposta fino ad attaccarsi / Si avvicina al magnete che ho in mano	1	B: le due barchette si avvicinano finché i magneti si attraggono
2	B1: avviene una sorta di attrazione che fa avvicinare i poli opposti dei due magneti	1	B1: le due barchette si avvicinano seguendo le linee di campo finché i magneti si attaccano perché i poli diversi si attraggono
2	C: si avvicinano i due poli	2	C: poli opposti si attraggono
1	assente	2	C1: Poli opposti si attraggono fino a far rovesciare le barchette
22		1	D: Il magnete appeso ruota fino a quando raggiunta la distanza minima tra i magneti lo tocca
		1	Assente
		21	

Situazione B			
previsione		**descrizione e motivazione**	
4	A: si allontana dal magnete tenuto in mano il magnete sul tavolo / si sposterà nel verso opposto al magnete in mano	4	B: perchè sono caricati in maniera uguale perché cariche uguali si respingono I poli dello stesso segno si respingono
2	A1: i due magneti si allontanano	5	B1: perché sono dello stesso segno / si respingono perché sono di poli uguali
8	B: si respingono	8	C: i due magneti giravano finché i loro poli opposti non sono rivolti l'uno contro l'altro e poi si attraggono Il magnete appeso ruota fino ad attaccarsi al magnete di polo opposto
2	B1: viene respinto	1	C1: I due magneti girano fino a trovarsi a cariche opposte perché gli stessi poli creano una rotazione

4	C: i due magneti cercavano di girare finché i loro poli opposti non si affacciano	3	C2: in realtà una delle due calamite si "gira" in modo che si verifichi la ù situazione precedente (+ e -) / situazione A
1	C1: i due magneti si respingono e tendono a trovare le cariche opposte, in seguito si avvicinano seguendo le linee di campo	1	assente
1	assente	22	
22			

SULLA ROTAZIONE: SI ACCORGONO DELLA ROTAZIONE?

- DALLE RISPOSTE SULLE DUE SITUAZIONI PROPOSTE

Si accorge della rotazione?	**2A**	**2B**	**2C**	**TOT**	**Situazione A**		**Situazione B**	
					Prev.	**Descriz.**	**Previsione**	**Descrizione**
sì dopo esperimento	1	4	2	**7**		**1** [2B]		
sì prima esperimento	-	-	5	**5**	-		**5** [2C]	(**5** [2C]) **7** (1[2A] 4[2B] 2[2C])
no	5	4	-	**9**				
				21				

- **DALLE CONCLUSIONI**

CONCLUSIONE		
14	1	A: poli con carica opposta si attraggono, con carica uguale si respingono
	4	A1: cariche opposte si attraggono, cariche uguali si respingono
	1	A2: Cariche opposte si attraggono
	5	B: poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono
	2	B1: Poli opposti si attraggono
	1	B1"poli dello stesso segno si respingono, i poli opposti si attraggono, ma la forza attrattiva prevale"
6	2	C: i due magneti ad una distanza relativamente piccola finiscono per attirarsi con i poli opposti affiancati
	2	Il magnete si inclina in modo da far avvicinare uno dei suoi poli al polo opposto.
	2	I magneti tendono ad avere come disposizione finale la situazione A
	2	1 assente / 1 non risponde
	22	

SCHEDA 3

1 assente

1. ESPLORA E INTERPRETA

		Esplora		Interpreta
9	4	A: Cariche opposte si attraggono: "il magnete attrae l'ago della bussola che presenta la carica opposta mentre l'altro viene respinto."	3	A: Tutto ciò perché cariche opposte tendono ad attrarsi mentre quelle uguali si respingono
	4	A1:"Se suppongo siano cariche opposte la freccia indicante il nord si sposta verso il magnete esterno, mentre si respingono (e la freccia rossa punta in direzione opposta) se suppongo che le cariche siano uguali."	1	B: Poli opposti si attraggono e poli uguali si respingono
	1	A2: Il magnete attrae l'ago dove è presente la carca opposta. Se lo avvicino alla parte dell'ago con carica uguale l'ago inizia a girare perché viene respinto dal magnete	1	C: L'ago è polarizzato e quindi si fa attrarre dal magnete. L'ago è formato da materiale quale ghisa o acciaio o materiale magnetizzato
6	4	B: ragionamento con i poli: "La parte rossa dell'ago viene attirata dal magnete quando il magnete è avvicinato con il polo opposto. Quando avvicino il polo uguale dalla parte rossa dell'ago, questa si allontana."	2	D: Accade che la lancetta venga attirata prima in un senso e poi nell'altro perché, anche dentro la bussola c'è un magnete e perciò anche la lancetta è polarizzata come il magnete utilizzato e vengono attirati o respinti
	2	B1: ci sono due tipologie: - da un polo viene attirata la parte della lancetta che segna il sud, - dall'altro polo viene attirata la parte della lancetta che segna il nord. Quando il magnete non è a contatto direttamente con la bussola oscilla velocemente fino a fermarsi quando il magnete va a contatto con essa.	14	Non rispondono
5	3	C: attrazione senza riferimento ai poli: "La calamita attrae l'ago della bussola"	tot 21	
	2	C1: attrazione perché lancetta magnetizzata: "Il magnete attira l'ago della bussola perché l'ago è magnetizzato per trovare il nord magnetico"		
	1	Entrambe le lancette seguono la direzione che porta al magnete, in modo distinto (cioè non si forma un moto rotatorio). Le lancette vengono attirate e la forza di attrazione riesce a sollevare la bussola, ciò vuol dire che hanno polo opposto al magnete		
	21	tot		

2. CON L'ACQUA CAMBIA IL COMPORTAMENTO DELLA BUSSOLA?

		Prevedi bussola in acqua			Perché
10	6	A: No / il suo comportamento non cambia		1	A: Il principio è sempre lo stesso: l'ago con carica opposta viene attratto dal magnete
	2	A1: No ma si muove / la bussola si avvicina ma il suo comportamento non cambia		3	A1: Perché il luogo non cambia le proprietà magnetiche della bussola / L'acqua non influisce
	2	A2: essendo l'acqua un conduttore, il comportamento sarà analogo al precedente.		3	B: Attrito sull'acqua quasi nullo e quindi il corpo tende ad avvicinarsi
11	2	B: La bussola tende ad avvicinarsi al magnete		1	B1: Attrito < + cariche : "perché l'attrito è molto minore e quindi il corpo tende ad avvicinarsi o respingersi a seconda che le cariche siano uguali od opposte"
	2	B1: Oltre al fenomeno precedente bussola e magnete si avvicinano. I corpi si assestano in modo da avere poli opposti a contatto (ruota)		2	B2: Perché il magnete attira l'ago della bussola
	2	C: sì cambia		2	C: E' libera di muoversi
	4	C1: sì la bussola gira		2	C1:Perché l'acqua destabilizza gli equilibri

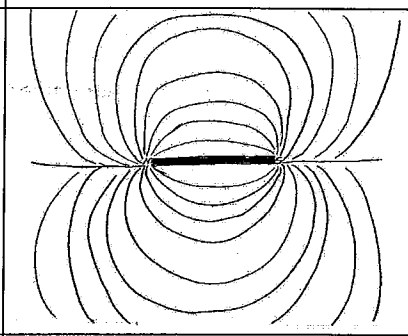
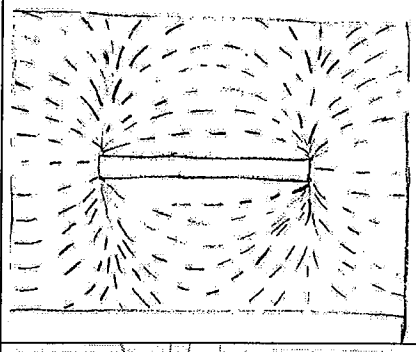
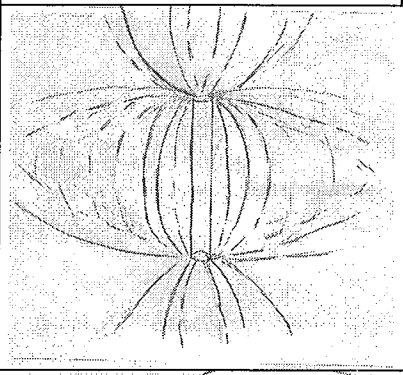
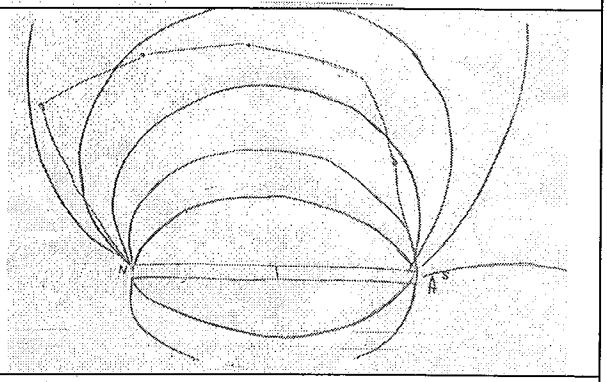
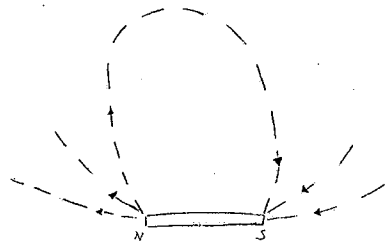
	1	C2: L'ago verrà ugualmente attratto, ma la bussola (oggetto) verrà attirata dal magnete.		2	D: Perché l'acqua è un materiale conduttore
	21			2	Altro (è diverso il materiale, ...)
				3	non risponde
				21	

3. CONCLUSIONI:

Solo 5 ragazzi su 21 compilano le conclusioni:

	Conclusione
2	A: In ogni caso i due corpi tendono ad attrarsi fino ad aver contatto, ma il diverso attrito sui piani rende questo effetto minore o a volte pure nullo. Nell'acqua poi si attrae sempre perché c'è un fenomeno di rotazione.
1	A1: In ogni caso la bussola e il magnete tendono sempre ad attrarsi, essendo l'ago magnetico
2	B: Posso dire che i poli opposti si attraggono, quelli con le stesse cariche si respingono
5	TOT

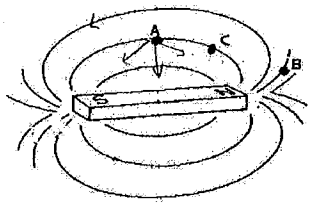
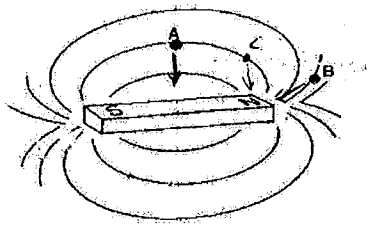
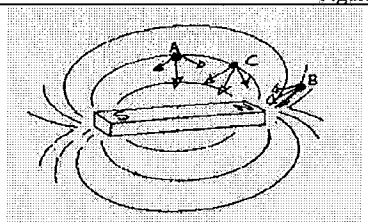
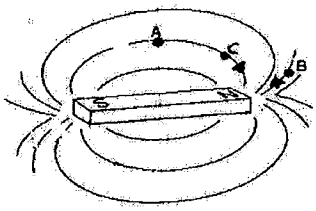
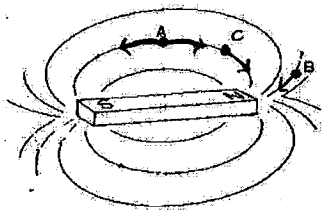
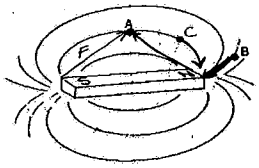
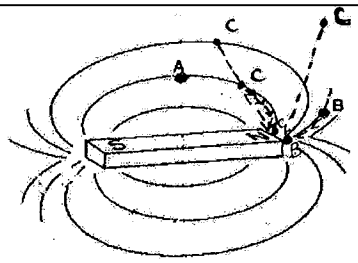
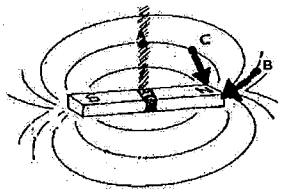
SCHEDA 6

	DISEGNI	
9	A: disegno corretto linee continue (magnete orizzontale)	
4	A1: disegno corretto linee tratteggiate (magnete orizzontale)	
2	B: disegno corretto linee continue (magnete verticale)	
5	C: metà disegno linee continue (magnete orizzontale)	
2	C1: metà disegno linee tratteggiate (magnete orizzontale)	
22		

	Descrivi distribuzione
5	A : si formano le linee di campo che partono dal polo positivo e vanno a finire in quello negativo
4	A1: Per ogni linea che esce ce n'è una che entra e se pongo la bussola nel punto A, trovo una linea di centro quasi dritta. / Alcune linee di campo uniscono i due poli, quelle che partono perpendicolarmente al polo continuano nella stessa direzione all'infinito
6	B: sono simmetriche rispetto al magnete
4	C: sono simmetriche rispetto al centro del magnete
4	D:La distribuzione ottenuta è simmetrica rispetto all'asse orizzontale e verticale del magnete. / La parte superiore è simmetrica a quella inferiore (considerando come linea di mezzo quella dove è posizionato il magnete), così come se si tracciasse una linea perpendicolare al magnete che lo tagliasse esattamente a metà si otterrebbero ancora due facce simmetriche
1	D1: La parte superiore è simmetrica a quella inferiore, con il magnete come asse di simmetria
3	D2 simmetrie rispetto all'asse del magnete / Le linee sono simmetriche rispetto all'asse verticale del magnete
8	E: Si forma una ellisse attorno al magnete che escono dal polo A e entrano nel polo B, mentre si fa sempre più grande fino a quando le linee divengono verticali. / La forma è quasi circolare
3	F simili alle linee di un campo elettrico

SCHEDA 9

1 assente = tot 21

	disegno	
3	A: evidenzia le direzioni di partenza (in A perpendicolare alla linea, B e C non lungo le linee)	 Figura 1  Figura 1
1	A1 evidenzia tutte le forze le cui risultanti non coincidenti con linee di campo	 Figura 1
9	B: A ferma, B e C si muovono lungo le linee di campo (1 caso): evidenzia il movimento di A, B e C lungo le linee di campo (A sta ferma perché è in equilibrio)	 Figura 1  Figura 1
1	B1: A sta ferma (evidenzia le forze), B e C si muovono lungo le linee di campo	 Figura 1
1	B2 misto	
1	C: A al centro sta ferma, C e B verso i poli (no linee)	 Figura 1
5	nessun disegno	
21		

Qual è la direzione di partenza delle palline?

	Pallina in A		Pallina in B		Pallina in C
4	A: si muove verso il centro del magnete perpendicolare al magnete, poi viene attratta da un polo o dall'altro a seconda che sia più vicino a uno o all'altro	8	A si muove verso / viene attirata dal polo N	6	A: si muove verso il nord
1	A1: viene attirata nel centro del magnete perché è attratta sia da S che da N e la risultante da una forza verso il centro.	11	A1: si muove verso il polo N seguendo le linee di campo	10	A1: si muove verso il polo N seguendo le linee di campo
15	B: sta ferma (viene attratta nello stesso modo) / la risultante è nulla	1	A2: viene attirata verso il polo N (nel disegno evidenzia le forze)	1	B: misto (a volte segue le linee di campo a volte no)
1	C: la pallina sta ferma, perché essendo ferromagnetica, viene attratta allo steso modo dal polo S e da quello N, trovandosi quindi in una situazione di equilibrio e viene attratta verso il centro del magnete in quanto viene mantenuta al centro perché le forze sono contrarie e scende finché sono opposte	1	B. si comporta come A	1	C: si muove verso il centro del magnete
				3	nessuna risposta
21		21		21	

Le linee di campo = linea di partenza?	
A: sì / sì si muovono lungo le linee di campo	13
B: no	3
B1: no perché prende la via più diretta	2
B2: non coincidono per i punti B e C ma per il punto A dovrebbe accadere	2
C: dipende dalla distanza della pallina, se essa è più vicina al magnete, segue le linee di campo, se invece è lontana si muove direttamente verso il polo	1
	21

SCHEDA 10

NB: solo 16 hanno consegnato il lavoro, che comunque era stato dato per casa (hanno consultato libri e si sono consultati e/o hanno copiato tra di loro)

Aspetti comuni ai 3		comuni a					
8	A: sono attrattivi		**E - B**		**g - B**		**g - E**
4	B: nelle vicinanze della sorgente hanno maggiore intensità	7	A: per misurarli serve una carica (o oggetto) di prova che ha la stessa natura di ciò che genera il campo	7	A: sono attrattivi	8	A: sono attrattivi
8	B1: dipendono dalla distanza e sono inversamente proporzionali a essa	5	B entrambi determinano (hanno) linee di campo	7	B: entrambi riguardano (influenzano) il pianeta Terra	5	B: compiono lavoro sulla particella
1	C: generano un campo	3	B1: creazione linee di campo che escono dal + e entrano dal - / dipendono da d	3	non risponde	13	C: formule delle forze simili (scrivono le formule)
1	D: individuano proprietà dello spazio inversamente proporzionale alla d	6	C: deformano lo spazio			2	D: entrambi sono direttamente proporzionali alle masse
		3	C1: rappresentano proprietà (caratteristica) dello (dei punti) spazio			1	E: una particella sottoposta ad un campo E uniforme e una massa sottoposta a un campo g uniforme risentono di una forza costante nella direzione del campo
		3	Attrattivi e repulsivi				
		2	sono attrattivi				
		1	hanno 2 poli				

Scheda 11

(4 assenti)

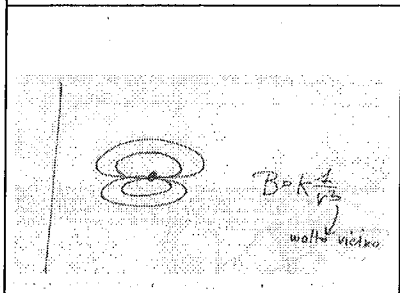
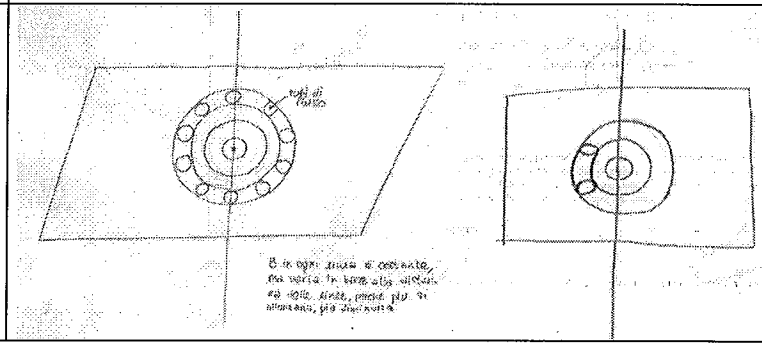
	CASO A		CASO B		CASO C
4	A: Il flusso è diverso da zero per la superficie che contiene la carica, è nullo per quella che non la contiene: "Attraverso la superficie blu c'è flusso perché la carica è contenuta nella superficie. Attraverso la nera non c'è flusso poiché non contiene la carica"	6	A: Dipende dalla distanza: Flusso nullo il più lontano possibile, così la Terra non attrae. Flusso diverso da zero vicino alla Terra. / Vicino alla Terra il flusso non è zero, perché la Terra influisce. Lontano dalla superficie della Terra il campo è zero e la Terra non influisce	4	A: Il flusso è zero se considero una superficie che includa tutto il magnete. E' diverso da zero se considero solo una parte di questo, poiché in tal caso il flusso esce solamente se considero il polo N oppure entra solamente se considero il polo S.
4	A1: A + menziona il Teorema di Gauss: "La superficie "contiene" la carica presenta un flusso che è diverso da zero, e questo secondo la legge di Gauss. La superficie che non contiene la carica presenta un flusso nullo"	7	B: La sfera rossa racchiude la sorgente e comprendo linee di campo che entrano, mentre quella nera non racchiude la sorgente e include linee di campo che entrano ed escono. / Il flusso è zero perché manca la fonte, quando invece è compresa nella superficie il flusso è diverso da zero	3	B: Poiché le linee di campo sono curve chiuse si può prendere una superficie chiusa che contenga parte del magnete in modo che tutte le linee che entrano, escono. / Dato che le linee di campo sono chiuse basta prendere una superficie chiusa che copra almeno una parte del magnete. Phi di E = 0 sul magnete, poiché la sommatoria delle linee di campo è =0.
2	A2: A + linee di campo che escono ed entrano: "Attorno alla carica il campo è diverso da zero poichè per ogni linea che esce non ce n'è una che entra. Nella superficie che non contiene la carica il flusso è zero poiché per ogni linea che entra cen'è una che esce."	2	B1: Poiché le linee sono radiali si prende una superficie chiusa che non contenga la Terra	2	C: Flusso nullo quando il magnete è inserito in parte nella superficie, perché il flusso esce e basta. Flusso diverso da zero: quando tutto il amgnete è inserito
1	B: superficie che racchiude la carica il campo è diverso da zero, sup che non racchiude la carica il campo è zero: "Rossa c'è un campo poiché racchiude la carica che lo genera Nero non c'è campo perché non c'è nulla che lo genera"	3	altro	1	C1: C + campo = flusso: "l campo e quindi il flusso è diverso da zero quando inserisco una superficie chiusa intorno al magnete: le linee entrano ed escono. Il campo è uguale a zero quando inserisco una superficie per metà del magnete: le linee solo entrano ed escono"
3	B1: Si prende una superficie chiusa che non contenga la carica che genera il campo elettrico in modo che tutte le linee di campo, che entrano, escono poichè sono radiali --> E = 0	18		2	D: Non c'è flusso rispetto al magnete perché il flusso uscente è uguale a quello entrante (area simmetrica). Nel secondo caso c'è flusso quando l'area non è simmetrica rispetto al magnete
1	Il flusso è zero quando la carica è zero e diversa da zero quando la carica è diversa da zero			3	E: analogo a caso carica: "Attraverso la superficie blu c'è flusso perché la carica è contenuta nella superficie. Attraverso la nera non c'è flusso poiché non contiene la carica"
1	Il flusso è diverso perché le linee di campo muovono delle cariche positive verso l'esterno, escono. Il campo è zero lontano la carica, dove le linee di campo elettrico entrano ed escono			3	Altro
2	altro			18	
18					

dom 3			
SI	14	A. due cariche uguali ed opposte come sorgenti	11
NO	4	A1: Se le sorgenti di campo elettrico sono cariche uguali e dis egno opposto la loro sommatoria è 0 e di conseguenza il flusso attraverso la superficie chiusa è zero, questo per la legge di Gauss.	1
	18	A2: perché probabilmente ci sono due cariche opposti equidistanti dal centro della superfice.	2
		B: La spiegazione è direttamente riconducibile alla definizione di flusso, che dice che il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa è pari a 4PkQ e perciò è sempre diverso da zero, a meno che Q sia zero e Q è zero quando la carica è fuori dalla superficie.	4

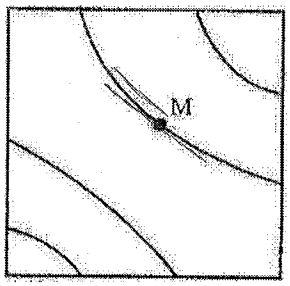
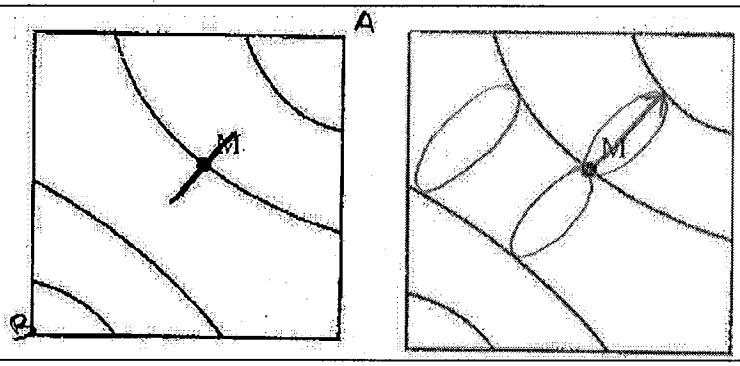
SCHEDA 12:

TUBI DI FLUSSO per il campo B generato da un filo percorso da corrente

- **DOMANDA 1**

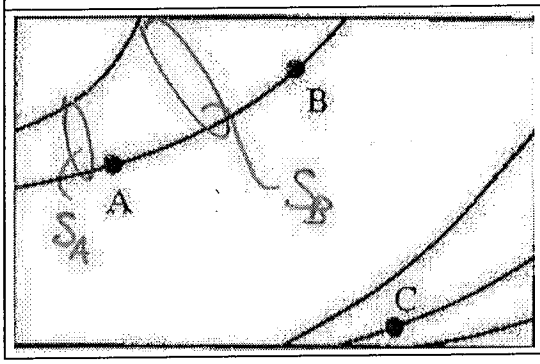
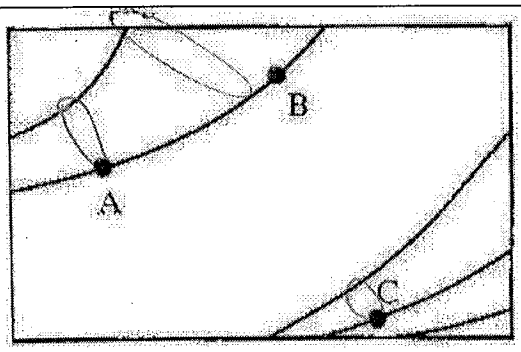
A: disegna le linee di campo del magnete non del filo	B: disegna correttamente un tubo di flusso per il campo del filo	ness un diseg no
6	13	1
		

Spiegaz D.1	
5	A: inserisce la formula della dipendenza di B dall'inverso del cubo (per il magnete)
2	B: valore di B è costante, perché i punti sono equidistanti dalla sorgente lungo la stessa linea di campo, e varia in base alla direzione delle linee.
8	B1: in una linea è costante ma variabile da linea a linea
2	B+B1
1	altro
2	nessuna spiegazione

disegno D.2		
A: disegna l'ago tangente alla linea	B: disegna l'ago perpendicolare alle linee di campo	nessun disegno
3	9	8
		

Spiegaz D.2	
A: l'ago si dispone lungo la linea di campo / l'ago si dispone lungo la tangente rispetto alla linea di campo in M poiché l'ago segue la loro direzione	6
B: non si può determinare la direzione dell'ago perché non si conosce l'intensità dei due campi magnetici, comunque spostato verso sinistra rispetto alla linea di campo su cui si trova la bussola	1
C: posso determinare la direzione e non il verso	7
C1: posso determinare la direzione e non il verso perché questo dipende dalla diversa intensità delle due cariche	2
C2: si può determinare la direzione ma non intuirne il verso perché l'ago viene attratto dai due poli	1
C+ D: Perché un magnete è posizionato nella posizione A e uno nella posizione B	1
C + l'ago è orientato/attratto dalle due cariche	2

- **DOMANDA 3**

disegno D.3		
A: disegna le due superfici del tubo di flusso in A e B	A + B: disegna anche il tubo per C	nessun disegno
1	6	13
		

	Spiegaz D.3
1	A: "B(A) > B(B) perché SA < SB"
4	A+ B: in C la sezione è minore di A e B, quindi l'intensità è maggiore.
1	A+B+A1: Tutto questo perché il flusso entrante è uguale a quello uscente
1	C: Tra A e B l'intensità è maggiore in A poiché è più vicino al polo da cui partono le linee di campo. Tra le altre linee non si può confrontare perché non fanno parte dello stesso campo
1	D: l'intensità in A e B sono uguali. Solo in C è diverso e non si può confrontare
3	D1: tra a e B l'intensità è la stessa perché stanno sulla stessa linea di campo. C non si può determinare perché non appartengono alla stessa linea di campo di A e B.
3	D2: A e B hanno la stessa intensità perché stanno sulla stessa linea, non si può confrontare A ,B e C perché sono su linee di campo generati da sorgenti diverse.
5	E: non si può determinare perché non è rilevabile la posizione delle cariche
1	non si può confrontare

4.4) ANALISI DEL POST TEST

Presenti 19/22 alunni

DOMANDA 1-2

ASPETTI COMUNI:

Aspetti comuni ai 3 campi g – E - B	
8	A: *dipendono della distanza*
12	B: hanno una sorgente: *" Sono determinati da una sorgente (fonte/ oggetto [1 caso])", "hanno una sorgente" "Serve una sorgente che generi il campo", " tutti e tre sono generati da qualcosa di preciso che può essere un magnete, una carica o una massa.",*
6	C (3): *deformano lo spazio* C1 (2): *determinano una proprietà dello spazio / Conferiscono una caratteristica a tutti i punti dello spazio.* C2 (1) *Conferiscono una caratteristica a tutti i punti dello spazio. Sono una funzione da R^3 in R^3*
6	D (5): *sono attrattivi / attrazione / hanno forza di attrazione* D1 (1): *esprimono una forza attrattiva o repulsiva fra i corpi*
5 2	E: interagiscono con un corpo di natura simile: *"Interagiscono con un corpo di natura uguale o simile alla sorgente"* F: *"Tutti e tre hanno linee di campo" "possiedono linee di campo, anche se di forma diversa"*

Aspetti comuni a solo 2 campi					
E - B		g - B		g - E	
14	A: *sono attrattivi (o repulsivi) / hanno forza attrattiva e repulsiva*	11	A: *entrambi attrattivi / hanno forze attrattive*	9	A*: sono attrattivi / hanno una forza attrattiva*
1	A1; *entrambi si attraggono e si respingono*	2	A1 *hanno una forza attrattiva*	9	B: *hanno le formule simili*
1	B*: si può individuare un dipolo elettrico*	2	B: *riguardano entrambi la Terra*	11	C: *Linee di campo entrambi radiali / aperte*
2	C *linee di campo simili nel dipolo e nel magnete*			4	D: *Sono campi centrali / hanno un campo radiale*
2	C1: *hanno le stesse linee di campo*				
3	D: *il dipolo si comporta come il magnete*				

ASPETTI DIVERSI:

Aspetti diversi tra i campi elettrico e magnetico		
6	5	A:(FORZA) *campo magnetico è formato da una coppia di forze / l'elettrico ha una sola forza il magnetico una coppia*
	1	A1: *nel campo elettrico c'è una forza, nel campo magnetico si ha un momento*
	8	B: *c. elettrico cariche separabili, magnete poli non separabili* *Nel campo magnetico le forze esistono in un solo corpo, nel campo elettrico le forze interagiscono tra due corpi (le cariche)* (1 caso)
18 linee campo	5	C: *c magnetico linee di campo chiuse (continue), c. elettrico linee di campo aperto (radiali).*
	3	C1*: c magnetico linee di campo continue, c. elettrico linee di campo radiali*
	1	C2: *c magnetico linee di campo chiuse, c. elettrico linee di campo radiali*
	5	C3 *campo elettrico linee radiali, quelle del magnete no*

Aspetti diversi tra i campi gravitazionale e magnetico		
6		A : Forza / coppia di forze : *il c gravitazionale è dotato solo di una forza, il magnetico da una coppia di forze*
7		B: attrazione / repulsione: Forza (5) *il c. gravitazionale possiede solo forza attrattiva quello magnetico attrattivo-repulsivo* Campo (2) *campo gravitazionale è solo attrattivo, quello magnetico è anche repulsivo*
10 linee campo	5	C: *c magnetico linee di campo chiuse (continue), c. gravitazionale linee di campo aperto (radiali).*
	3	C1 *Le linee di campo gravitazionali sono radianti e nell'altro campo no:*
	2	C2: *c magnetico linee di campo chiuse, c. gravitazionale linee di campo radiali*

Aspetti diversi tra i campi elettrico e gravitazionale	
13	A: Forza solo attrattiva / attrattiva e repulsiva (3) (Forza) *Il campo gravitazionale ha solo una forza attrattiva, quello elettrico sia attrattiva che repulsiva* (10) (Campo) *campo elettrico può essere sia attrattivo che repulsivo, il gravitazionale solo attrattivo*
2	C: linee di campo (1) "*campo elettrico linee ricurve ha due cariche, gravitazionale solo radiali*" (1) Linee di campo attrattive / repulsive: "*quello gravitazionale presenta linee di campo attrattive, quello elettrico entrambe, dipende se la carica è negativa o positiva*"

DOMANDA 3

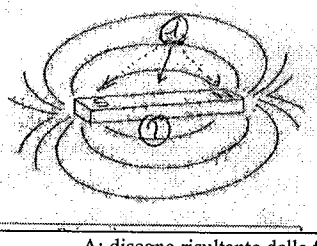
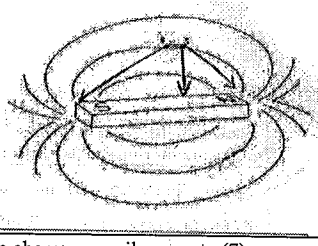
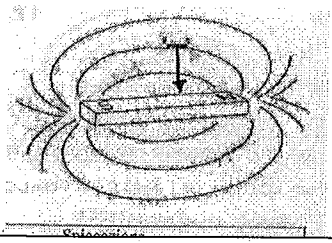
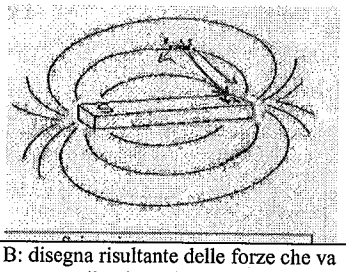
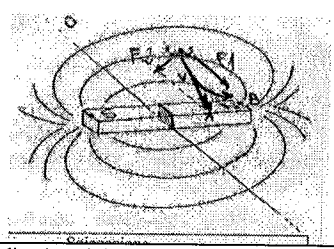
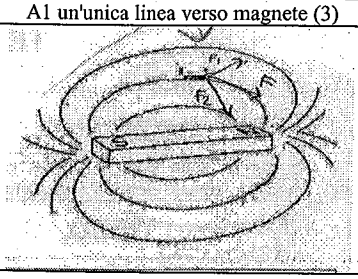
Come si muove?

11	A: Il magnete appeso ruota fino a quando presenta il polo opposto a quello dell'altro magnete
1	A1: Rotazione affinchè i poli interagiscano: "Il magnete appeso compirà una rotazione di modo che il polo sud del magnete interagisca con il polo nord del secondo magnete"
3	A2: Rotazione per attrazione: "Il numero 1 si muoverà ruotando in modo da avere i poli opposti dalla stessa parte in modo da attrarsi con il secondo magnete"
2	A3: Ruota e poi si sposta: "Il magnete appeso ruoterà fino a che il polo sud non sarà nelle vicinanze di quello nord del magnete (2) e poi si sposterà fino ad unirsi."
1	B: Man mano che avvicino il 2, si avvicinerà al magnete il lato S dell'1 mentre si allontanerà N
1	Dapprima il magnete 1 si sposterà nella direzione d con velocità v dipendente dalla velocità con cui si avvicina il magnete 2. In un secondo momento il magnete 1 ruoterà oscillando per "attaccarsi" con il polo - a quello + del magnete 2

giustifica il comportamento previsto:

6	A: COPPIA DI FORZE: "Sul magnete appeso il magnete che tengo in mano esercita una coppia di forze che lo fanno ruotare fino a raggiungere l'equilibrio, ciò avviene quando N e S si incontrano" In un solo caso viene menzionato il momento: "Si tratta di un momento, ovvero di due forze che agiscono e fanno girare il magnete"
1	A1: CAMPO + COPPIA DI FORZE: "Cariche opposte si attraggono, mentre quelle uguali si respingono. Questo accade perché nel campo magnetico interagisce una coppia di forze. La forza che agisce su N1 si somma a quella prodorra di N2, avendo lo stesso verso (non essendo opposte) il corpo 1 si muove ruotando sul perno che lo tiene vincolato"
5	B: RAGIONAM POLI: "Il movimento è determinato dal fatto che poli opposti si attraggono, poli uguali si respingono"
1	B1: Il 1° spostamento sarà dovuto alla repulsione tra il m.1 e m.2, secondariamente il vincolo "filo" "obbligherà" il m.1 a ruotare fino a raggiungere l'equilibrio fisico cioè l'immobilità [forza attrattiva]
1	C: Il movimento è la risultante della somma di F1 e F2
5	non risponde

DOMANDA 4

Previsioni della linea di partenza del magnetico disposto come in figura		
 		
A: disegna risultante delle forze che va verso il magnete (7)		A1 un'unica linea verso magnete (3)
		
B: disegna risultante delle forze che va verso il polo N del magnete (4)	B1 direzione iniziale corretta, ma poi segue la linea di campo(1)	C: coincide con linea di campo (1)
nessun disegno (3)		

Previsione

Previsione	
3	**A:si sposta verso il magnete grande:** " il magnete 1 si sposta verso il magnete grande 2 seguendo una linea retta"
5	**A1:** "Il magnete piccolo (m) viene attratto verso il magnete grande (M). Poi visto che il S di (m) è più vicino al N di (M) che N di (m) a S di (M), il magnete piccolo viene attratto verso N di (M)" *"Il magnete si muoverà verso il punto A (sul magnete), successivamente (solo se il magnete fosse sferico) potrebbe muoversi verso B"*
4	**A2 idea di caduta**: "Il magnete cadrà perpendicolarmente e verrà attratto dal polo nord"
3	**A3: si muove verso il polo N del magnete grande**: "Egli si muoverà verso il polo nord del magnete"
1	A3.1: "Il magnetino, sottoposto a una coppia di forze, si sposta verso il polo N"
2	**B : si sposta lungo la linea:** "Il magnetino si sposta verso il polo più vicino del magnete grande, girandosi in modo che mostri il polo opposto (si attacchi al polo opposto del magnete), si sposta lungo la linea di campo."
1	C: Il magnete verrà attratto e unirà il suo polo S al polo N del potente magnete seguendo la traiettoria della doppia freccia

Spiegazione

		spiegazioni
5	somma Forze	(4) Somma delle forze attrattive: *"Il magnetino si muove sulla traiettoria della linea di campo sotto la spinta delle forze F1+F2=F"* *"Praticamente il magnete segue la direzione della freccia che è la sommatoria tra la forza attrativa dei due poli"*
		(1) somma Forze + coppia: *"Il motivo è che sul magnetino agisce una coppia di forze, che sommandosi forma una forza verso il polo N, dato che è più vicino al polo N e di conseguenza la forza di attrazione è maggiore."*
6	Risultante delle Forze	(5) *"Il magnete si muove lungo la risultante delle 2 forze che i poli del magnete potente esercitano su quelli di quello piccolo", "Questo accade perchp esso si muove lungo la risultante delle forze esercitate da S2 su N1 e da N2 su S1."* *"La forza risultante spinge m prima verso M e poi verso N di M a causa dell'attrazione magnetica"*
		(1) Risultante Forze + coppia: *Ciò avviene perché le forze esercitate sul piccolo magnete sono diverse, perciò non può eseguire una traiettoria perpendicolare al magnete grande. Il magnetino è più attirato verso il polo a cui è più vicino e raggiungendolo, la coppia di forze lo fa disporre in modo che il polo S si congiunga con N*
1	combinazione di Forze	*Lo spostamento è dato dalla combinazione delle forze che attraggono il N del amgnete piccolo al S del grande e il S del piccolo al N del grande*
5	Forze	A2" (magnete M attira m/ forze dei poli): *"Il amgnete (che è sia attrattivo che repulsivo), attira il magnetino piccolo verso il polo a lui opposto", "l polo nord del magnetino viene attratto dal polo sud di quello più grande, e il polo sud del piccolo magnete viene attratto dal polo N di quello più grand. In questo modo le forze attrattive lo attraggono a tal punto da farlo "attaccare" al amgnete, creando poi l'equilibrio"*
		A3: (le forze fanno cadere il magnetino): *"Le forze provocate da S e da N faranno sì che il magnete cada vicino ad N perché acune forze si annulleranno"*
2	Non risponde	

Campo MAGNETICO:

Campo MAGNETICO: La direzione coincide con la linea di campo?		
No : 17	Sì : 1	Si e no: 1

	Spiega:
7	A: *"No, la direzione di partenza segue la forza risultante, derivata dalle 2 forze d'attrazione" "la risultante delle forze non giace sulla linea di campo"*
3	A1: cade perpendicolarmente.: *non coincide con la linea di campo perché il magnete cade perpendicolare sul magnete grande a causa delle forze tra i poli opposti dei magneti*
2	A2: coppia di forze.: *perché sul magnetino agisce una coppia di forze di conseguenza non segue esattamente la linea di campo*
2	A3: Forze: *"perché ci sono 2 forze che sono opposte nella direzione", "Il movimento del magnete non avverrà lungo le linee di campo, perché le forze che agiscono su di lui, lo fanno muovere attraverso queste"*
2	B: Rimane sul piano descrittivo: *"Perché prima il magnete scende verso il basso, ruota e si attracca lungo la linea orizzontale del magnete grosso" , "viene attratto in un primo momento perpendicolarmente all'altro magnete"*
3	non risponde

	Quale informazioni ci danno le LINEE DI CAMPO?
2	A: PRESENZA DI UN CAMPO: *"Le linee di campo ci dicono che c'è un campo e ci dicono anche di che natura è il campo"*
4	A1: DIREZ. DEL CAMPO *"La direzione che prendono le linee e il modo in cui il campo si dispone, bisogna però non limitarsi al disegno perché queste sono infinite" "ci indica la direzione del campo magnetico"*
1	A1.1: DIREZ. DEL FLUSSO DEL CAMPO : *"Le linee di campo ci dicono quale direzione e quale verso segue il flusso del campo"*
2	A1.2:DIREZ. DELL'ESPLORATORE: *"Le linee di campo caratterizzano tutti i punti dello spazio determinando la direzione in cui si dispongono i piccoli magneti (tangente alla linea)"*
3	A3: INTENSITA' DEL CAMPO *"Ci danno delle informazioni su quanto il campo è intenso, poiché le linee sono proporzionali all'intensità del campo"*
4	B: FORZA: *"Ci danno la forza attrattiva che il magnete esercita in quel punto"* (1 caso): *"in che direzione c'è un polo attrattivo"*
1	Linee di campo "piste": *"Ci forniscono l'intensità del campo e il percorso secondo cui attira o respinge"*
2	non risponde

	Quali informazioni ci da la DIREZ DI PART?
4	A: La risultante delle forze: *"La risultante delle varie forze (magnetiche) che agiscono su quell'oggetto"*
7	B: la direzione del movimento /traiettoria: *la direzione secondo la quale si muove il mio magnete, che non coincide con le linee di campo* *"La linea di partenza di un oggetto ci indica la direzione con cui cade il magnete piccolo su quello grande"* (1 caso)
2	C:linee di campo = linea di partenza: *"com'è disposta la linea di campo"*
5	D:La vicinanza o lontanza dai poli *"Se è più vicino a un polo o all'altro e se i poli sono dallo stesso lato o dal lato opposto" "Ci indica solo la vicinanza o la lontananza rispetto ad un polo o all'altro"*
2	E: La posizione: *"La linea di partenza ci descrive la posizione del ferromagnete all'interno del flusso di campo ci può indicare l'intensità delle forze " , "(perché risultante di 2 F ben precise, escludendo altre interazioni), in questo caso (N,S) e quindi la posizione dell'oggetto considerato in relazione a tutte le forze."*

DOMANDA 5

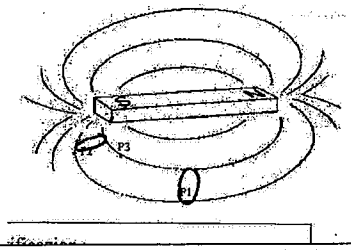
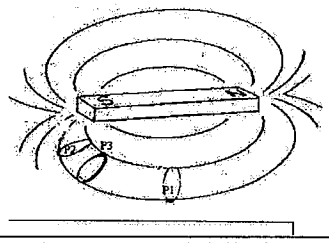
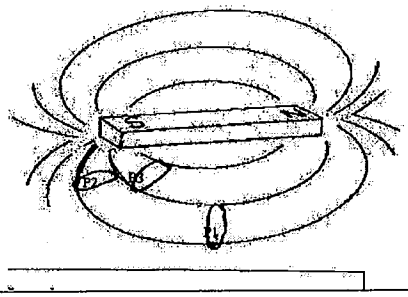
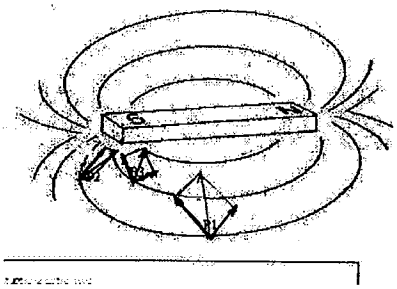
Campo gravitazionale:

Campo gravitazionale: La direzione di partenza coincide con la linea di campo?	
No : 3	Sì : 16
Spiega:	
7	A: linee di campo radiali *"Sì, perché le linee di campo gravitazionale sono radiali e la massa segue sempre la stessa direzione nella caduta"* *"Sì, è la stessa della linea di campo, perché la massa che induce il campo gravitazionale si può considerare puntiforme e tutti i corpi vengono attirati a questa lungo le linee di campo"*
2	B: agisce una sola forza: *"sì perché in questo caso agisce una sola forza"*
7	C: solo descrittivo non fornisce un'interpretazione: (1) attrazione verso il centro della terra: "Sì la massa viene attratta dal centro della Terra" (1) "Sì perché la Terra si muove e l'oggetto tende a seguire una linea parabolica anche le linee di campo alla fine ruotano con la Terra. La "differenza quindi è minima.
3	B: No la direz non e' la stessa: (1) *"La direzione di partenza del moto di caduta non è la stessa della linea di campo"* (1) disegna le linee di campo magnetico terrestre: *"No, perché la direzione sarà rappresentata da una retta, non da una curva. Inoltre la forza "magnetica" terrestre è notevolmente minore rispetto a quella gravitazionale"* (1) direzione è opposta: *"è opposta perché la massa sarà attratta a Terra (sempre che non sia troppo distante da terra) mentre il campo gravitazionale va dal lato opposto (disegna le linee di campo uscenti)"*
Quale informazioni ci danno le LINEE DI CAMPO?	
8	A: Direzione del campo (3) *"La direzione del campo"* (4) La direzione dell'atrazione: *"La direzione in cui il campo gravitazionale esercita l'attrazione, e sapendo che la Terra attrae e basta, conosciamo anche il verso"* (1)*" intensità del campo (proporzionale al numero di linee)"*
10	B: l'effetto: lila traiettoria, il tipo di moto, la caduta: (6) *"Ci danno l'indicazione della "linea" lungo la quale un elemento dovrebbe muoversi se non ci fossero altri magneti nelle vicinanze", "la traiettoria della massa iniziale"* (4)*" il tipo di moto di caduta che avrà il corpo"*
2	C: Altro : *"la direzione dei corpi" / "il campo magnetico terrestre (N,S)"*
Quali informazioni ci da la DIREZ DI PART?	
5	A: *"La direzione del campo" "La direzione della linea di campo"*
3	B: direzione di attrazione: *"la direzione in cui viene attratta la massa"* LA FORZA DI ATTRAZ. : "La forza da cui è attratta"
5	C: effetti: la linea o direzione del moto, di caduta: (4) *"la direzione secondo la quale si muove la mia massa"* *"La linea attraverso la quale si muove la massa (in questo caso la linea di campo)"* (1) la caduta: *" il tipo di moto di caduta che avrà il corpo"*
2	B2: LA POSIZIONE: *"il punto in cui la massa è posta"*
3	C: linee di campo e di partenza coincidono e dicono la stessa cosa: *"La stessa cosa che ci indicano le linee di campo"; "La linea di partenza ci indica una delle infinite linee di campo generate dal campo gravitazionale"*
Confronta campo gravitazionale e magnetico	
8	A: si limita a ripetere il confronto proposto *"campo gravitazionale = direzione e linee di campo coincidono, campo magnetico = direzione e linee di campo non coincidono"*
9	B: fornisce un'interpretazione: - (3) in base alla distinzione forza/coppia di forze: *"campo magnetico = la traiettoria non è uguale alle linee di campo perché agiscono più forze e bisogna osservare la risultante di esse. Campo gravitazionale = la traiettoria coincide con le linee di campo perché agisce solo una forza"* - (6) in base alla geometria delle linee di campo (radiali o curve): *"Nel campo magnetico le linee sono ricurve, nell'altro radiale. Nel primo caso direzione di partenza e linea di campo non coincidono, nel secondo sì perché le linee sono radiali"*
1	ALTRO: *la massa è attratta verso il centro della Terra, ma il campo magnetico va verso l'esterno*

Cosa puoi dire sulle forze agenti?

9	A: IN UN CASO C'E' UNA COPPIA, NELL'ALTRO 1 SOLA FORZA: "c.G. = c'è solo una forza che agisce ; c.m. = c'è una coppia di forza" "Nel campo elettrico al forza è una sola ed è perpendicolare alla massa, per cui la palla cade perpendicolarmente alla Terra, nel campo magnetico agiscono una coppia di forze, per cui la massa cade perpendicolarmente solo se la risultante di queste è perpendicolare al magnete grande" "Nel campo gravitazionale c'è una sola forze, solo attrattiva, quindi il corpo si muove lungo la direzione della forza, nel campo magnetico ce ne sono 2 e il corpo si muove lungo la direzione della risultante delle forze."
1	A1: COPPIA DI FORZE --> ROTAZIONE: "Nel campo magnetico di solito agisce una coppia di forze, che fa ruotare il magnete fino a far disporre il polo opposto rispetto a quello della sorgente. Nel campo gravitazionale agisce solo una forza"
1	Nei pressi del magnete, in generale, agisce una coppia di forze nel campo gravitazionale 2
2	B: ALTRO: "G elevata, M (magnetica) bassa" "sono opposte"
6	non risponde

DOMANDA 6

disegno	
A: segna le superfici S1e S2 (5)	B: segna le sup S1 S2 e S3,tutte sullo stesso tubo di flusso (2)
	
B1: segna le sup S1 S2 e S4, ma S3 sull'altro tubo di flusso (2)	C disegna le componenti delle forze dei due poli (1)
	
8	nessun disegno
1	segna i segmenti SP_2 e SP_3

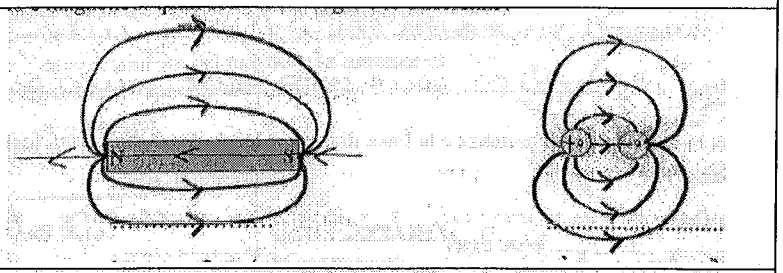
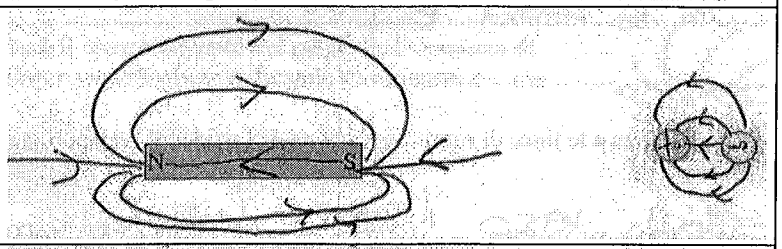
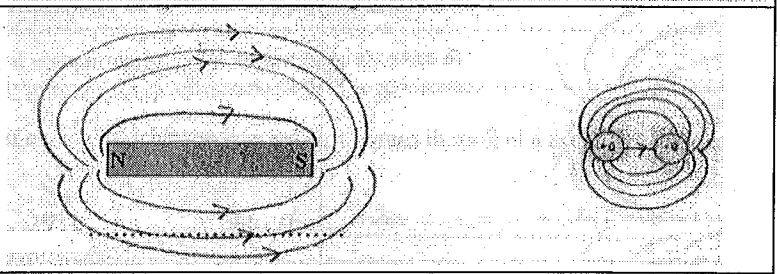
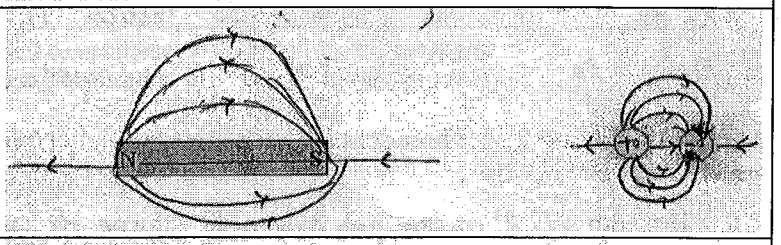
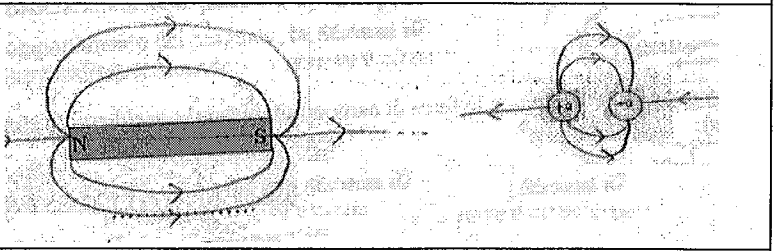
ANALISI DELLE RELAZIONI TRA I TRE PUNTI P1 P2 P3:

Come sono i campi B(P1) e B(P2)?		
18 : B(P1) < B(P2) (corretta)		1 : B(P1) > B(P2)
Giustificazioni		
7	2	- Per la legge dei tubi di flusso / flusso costante: *"B(P1)=E1, B(P2)=E2 Poiché essendo E1S1=E2S2 ed essendo S2<S1 risulta che deve essere E1<E2. Tutto ciò per la legge dei tubi di flusso" / Dato che Phi=E*S, la sezione del tubo di flusso in P2 è più piccola di quella in P1, quindi se il flusso totale è 0, in P2 l'intensità è più grande.*
	3	*- Perché la sezione in P1 è maggiore (non esplicita legge dei flusso): "in P1 posso considerare una sezione che dovrebbe essere maggiore di quella in P2, ma quindi il campo avrà intensità maggiore in P2 perché più ristretto"*
	2	- numero di linee entranti / uscenti: *"Appartengono alle stesse linee di campo e tutte le linee entrano in BP2 escono in BP1 però l'intensità in BP2 è maggiore in quanto l'area di concentrazione delle linee è minore."*
11	6	- Distanza dalla sorgente: (5) *"Il punto in P1 è il più lontano rispetto alla sorgente, perciò il suo campo è inferiore rispetto a quello di P1 più vicino."; (1)"B è inversamente proporzionale alla distanza"*
	5	- distanza dai POLI: *"perché è più lontano dal polo S"*
	1	- non risponde

Come sono i campi B(P3) e B(P1)?		
15 : B(P3) > B(P1) (corretta)	1 : B(P3) <B(P1)	3 : Non si può stabilire
Giustificazioni		
2	- usa i tubi di flusso (o richiama caso precedente): *"La sezione di P3 è maggiore di quella di P1"*	
13	-(11) distanza dai POLI: *"B(P3) è maggiore di B(P1) perché si trova più in prossimità del polo del magnete"* - (2) distanza dalla sorgente *"B è inversamente proporzionale alla distanza"* *"Avendo P1 e P2 la stessa distanza la loro intensità di campo è uguale, quindi essendo P2=P3 risulta (come sopra giustificato) che B(P3) > B(P1)"*	
4	- *"non posso fare un confronto in quanto i due punti appartengono a linee di campo diverso"*	

Come sono i campi B(P3) e B(P1)?		
2 : B(P2) > B(P3) (corretta)	2 : B(P2) > B(P3)	1 : Non si può stabilire
Giustificazioni		
2	- usa i tubi di Flusso *"La sezione di P2 è minore di quella di P3" / "Perché le linee di campo tendono ad avvicinarsi"*	
14	- (9) dipende dalla distanza: *"Poiché dipende dalla distanza, essendo dP2 = dP3 risulta che B(P2) = B(P3)"* - (6) distanza dai POLI *(5)"se hanno la stessa distanza da S in teoria la loro sezione è uguale, quindi è uguale anche B perché subisce la stessa intensità da* S" (1) *"è maggiore anche se sono alla stessa distanza, perché interagisce maggiormente la forza del polo N"*	
1	- *"Vale l'argomentazione del punto precedente (non appartengono alle stesse linee di campo , no confronto)"*	
1	- Non risponde	

DOMANDA 7

	DISEGNO	
9	A: linee corrette dentro e fuori	
1	A1: linee corrette dentro e fuori (però nel dipolo inverte i versi coerentemente)	
5	B disegna le linee di campo esterne del magnete e del dipolo, interne solo nel dipolo	
2	C disegna correttamente le linee interne e esterne nei due casi, solo che all'interno del magnete non segna il verso	
1	C1 disegna correttamente le linee interne e esterne nel magnete (interne solo il verso) e nel dipolo solo esterne.	
1	nessun disegno	

	UGUAGLIANZE tra dipolo elettrico e magnetico
8	A1: l'andamento delle linee di campo è simile / Entrambi i campi hanno le linee di campo di forma quasi concentrica (curve)
8	A2: Le linee escono da una carica positiva (N) ed entrano in una negativa
1	A3: Entrambi sono sia attrattivi che repulsivi
1	A4: Sono tutti e due dei campi chiusi
2	Non risponde
	DIFFERENZE tra dipolo elettrico e magnetico
4	B1:nel magnete all'interno si inverte il verso (S --> N) mentre nel dipolo no, cioè rimane N --> S.
5	B2: linee di campo del magnete sono continue quelle del dipolo no
1	B3: Nel primo caso ho un campo elettrico all'interno del dipolo, nel secondo caso no. Nel primo caso il flusso continuerà all'infinito nel secondo caso il flusso continuerà fino a quando non otterrò una situazione di stabilità.
2	B4 poli non separabili, cariche separabile: "se separo le cariche (disegna le linee), se rompo il magnete (disegna le linee) i poli si riformano."
1	B5: Le linee di campo del dipolo magnetico sono ricurve, chiuse e infinite. Le line di campo del dipolo elettrico sono radiali
6	Non risponde

DOMANDA 8

1) **Phi1 e Phi2?**

	Phi1 e Phi2?
14	Uguali (di cui uno motiva i flusso scrivendolo per il campo E : Phi1=E1S1, Phi2=S2E1 e inserisce formule per i flussi come se fosse campo gravitazionale…
4	Phi1>Phi2
1	non risponde

MOTIVAZIONI:

8	A. "il flusso è costante per la legge dei tubi di flusso" "S1*B1=S2*B2 perché se la sezione diminuisce aumenta l'intensità e viceversa. Sono proporzionali"
2	A1: infatti tutte le linee che netrano in P1 escono da P2
2	A2: perché la superficie del flusso Phi2 è più ampia di quella del flusso Phi1
2	Ae: Phi1 = S*E Dove il campo elettrico è maggiore cioè vicino al polo, se la superficie è inferiore rispetto a quella di S2, dove però il campo elettrico è minore.
1	Ag: d1:d2=r1:r2 percui se aumenta l'uno diminuisce l'altro, perché il flusso deve rimanere costante NB: però inserisce formule per campo g non B!!)
1	B: Il flusso nelle due superfici è uguale perché all'aumentare di S2 aumenta la distanza da S e diminuisce l'intensità del Phi
3	non rispondono

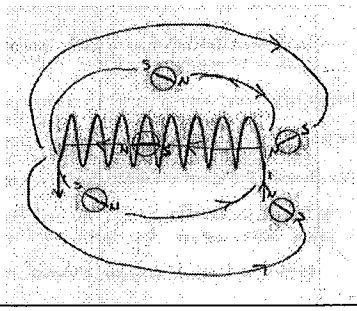
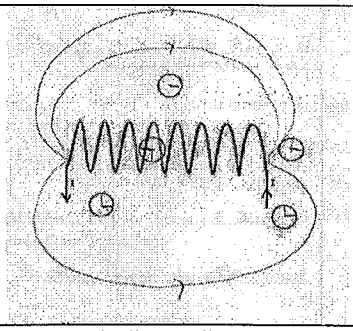
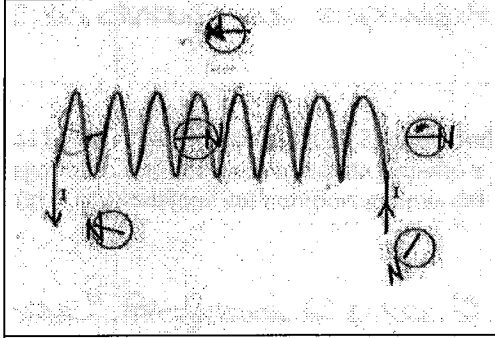
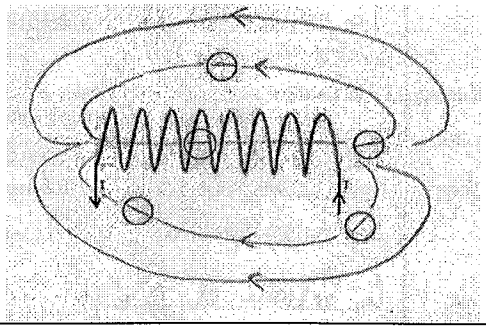
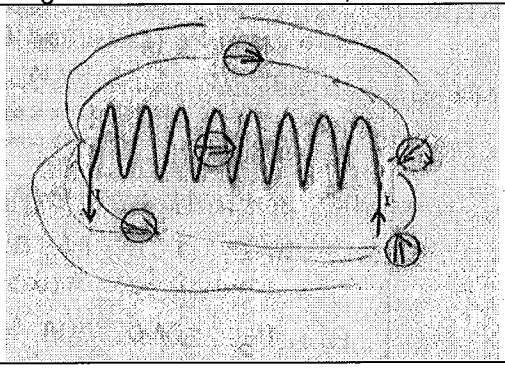
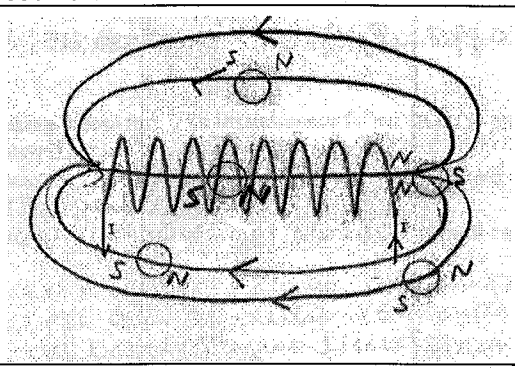
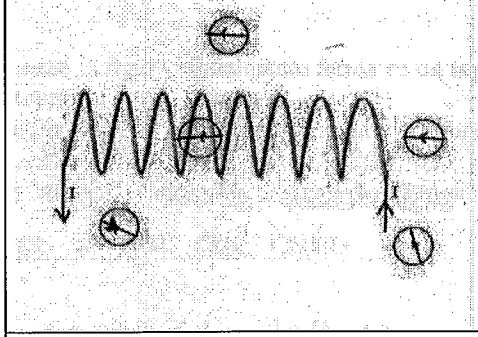
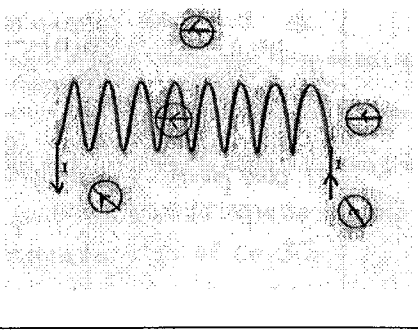
2) B1 e B2?

	B1 e B2?	
14	B(P1) > B(P2) (corretto)	
1	B(P1)= B(P2)	perché le superfici sono inversamente proporzionali all'intensità
1	B(P1)< B(P2)	dipende dalla distanza
3	non risponde	

MOTIVAZIONI:

11	9	A: "perché è minore la superficie quindi essendo B ed S proporzionali, all'aumentare della superficie diminuisce B" "perché visto che il flusso è costante per superfici più ampie l'intensità del campo è minore S1E1 = S2 E2"
	1	A1: c'è una maggiore concentrazione delle linee in S1 rispetto a S2
	1	A2: (scambia il campo con il flusso): "B(P1) > B(P2) --> S1 < S2 tutto dipende dal fatto che i due campi devono essere uguali"
	5	B "dipende dalla distanza" "Nel punto P1 l'intensità del campo magnetico è maggiore rispetto al punto P2 la distanza di P1 dal polo è minore rispetto alla distanza di P2"
	3	non risponde

DOMANDA 9

DISEGNI SOLENOIDE	
A (6) : disegna correttamente linee e verso interne e esterne	
	
A1 (3) : segna direzione e verso delle bussole (corretta) interna ed esterna senza costruire la linea completa	B (1) : costruisce le linee di campo corrette esternamente e internamente, segnando la direzione solo esterna
	
C (4) : disegna le linee dentro e fuori, ma hanno sempre stesso verso	
	
C1 (2): disegna solo la direzione delle bussole, ma hanno sempre stesso verso dentro e fuori	
	
3	Nessun disegno

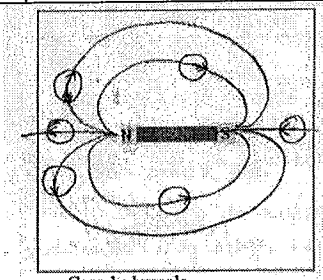
	Confronta il solenoide con il magnete
12	A: Le linee dei due campi sono uguali
1	B: Le linee variano a seconda dell'intensità che do' ad I e al verso che le do', in un magnete permanente non avviene, perché restano costanti
6	Non risponde (di cui uno non sa perché non ha assistito all'esperimento)

PARTE FACOLTATIVA (DOMANDE 10-12)

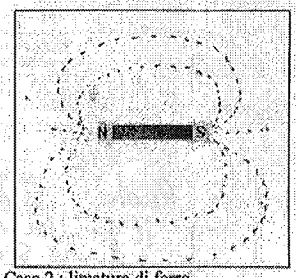
9/19 presenti non hanno risposto alla parte facoltativa (due di questi hanno solo messo due crocette nella domanda 10)

DOMANDA 10

A (2) : disegna linee di campo x bussole con linee continue, x limatura di ferro con puntini

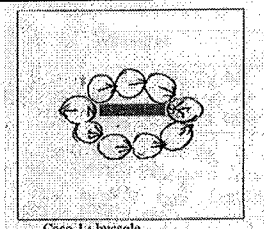


Caso 1 : bussole

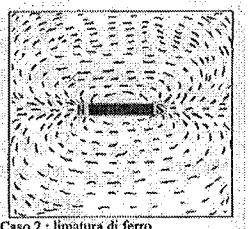


Caso 2 : limatura di ferro

A1 (6): disegna linee di campo x bussole con linee spezzate, x limatura di ferro con puntini

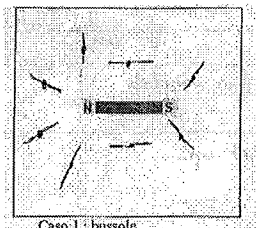


Caso 1 : bussole

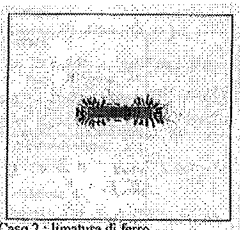


Caso 2 : limatura di ferro

B (1) linee di campo a tratteggi per bussole, limatura tutta attaccata al magnete, prevalentemente nei poli

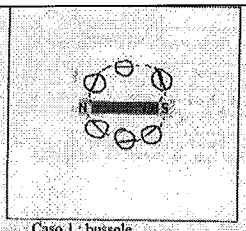


Caso 1 : bussole

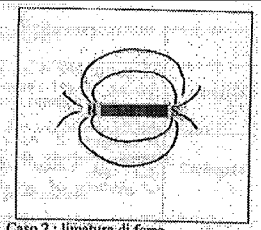


Caso 2 : limatura di ferro

C disegna linee di campo a tratteggi x bussole, continue x limatura di ferro



Caso 1 : bussole



Caso 2 : limatura di ferro

Non rispondono (8)

- **CASO 1: le bussole**

0	A =si sposta	12	B=orienta	7	non risponde

SPIEGA

5	A: Gli aghi si orientano a seconda delle linee di campo. La loro disposizione, ci consente la costruzione delle linee di campo
1	A1: Gli aghi della bussola si orientano perché l'attrito tiene ferma la bussola
1	A2: L'ago si orienta lungo le linee di campo verso il polo che lo attrae
1	B: L'ago orienta il suo N verso il S del magnete e viceversa, man mano che allontaniamo la bussola l'influenza del magnete sull'ago diminuisce
1	C: Entrano in gioco con il magnete due forze quella del campo magnetico terrestre e quella del magnete
10	non risponde

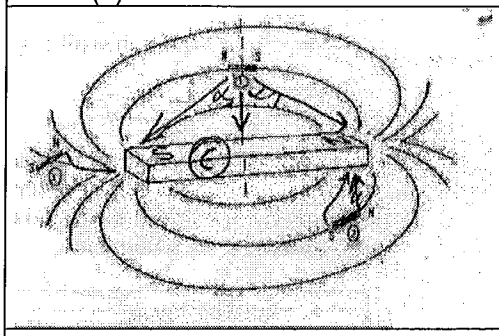
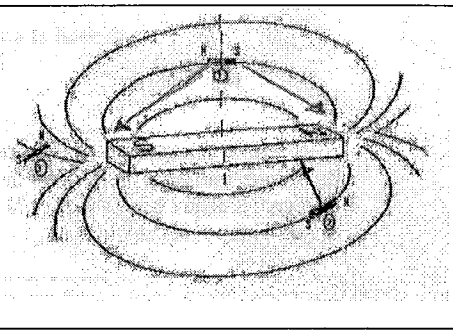
- **CASO 2: limatura di ferro**

9	A =si sposta	2	B=orienta	8	non risponde

SPIEGA

1	A: campo + si orienta. "In gioco c'è solo il campo prodotto dal magnete e quindi la limatura di ferro si orienta lungo le linee di campo."
5	A1: si posiziona /si dispone: "I pezzettini di limatura di ferro si polarizzano e si dispongono lungo le linee di campo / Secondo me, si dispone la limatura di ferro lungo la direzione delle linee di campo"
3	A2: si sposta: "La limatura di ferro si sposta lungo le linee di campo" Un caso menziona l'attrito :"La limatura si sposta perché l'attrito non è sufficiente"
10	non risponde

DOMANDA 11

dis A (1)	dis B (1)
	
8	no disegno
9	no risposta

- **MAGNETE 1**

	PREVISIONE		SPIEGAZIONE
2	A: si sposta verso il centro del magnete	5	A: La coppia di forze che agisce su questo ha una risultante perpendicolare al magnete grande che fa muovere il magnetino perpendicolare a questo
2	A1: si sposta perpendicolarmente al magnete grande e si ferma in mezzo quando lo tocca	1	A1: Viene attratto perpendicolarmente dal polo N e S, quindi si muove lungo l'asse del magnete
3	A2: Il magnete 1 cade perpendicolarmente sul magnete grande	1	B: Le forze da S e da N si annullano, rimane solo l'attrazione centrale
1	A2.1: Si muove verso il centro del magnete grande, e una volta arrivato in centro va verso uno dei due poli	1	"forza magnetica"
1	B: viene attratto verso il centro del magnete	11	non risponde
10	non risponde		

	dir =linea?	10	no	9	non risponde

spiega

5	A: "la risultante è perpendicolare/ le linee di campo vanno da un polo all'altro, non lungo l'asse del magnete"
1	A1: segue l'asse e non la linea di campo
1	B: le forze si annullano
3	C: Forze / coppia di forze: "perché le forze attrattive e repulsive tra i poli dei magneti/ la coppia di forze lo fa deviare"
9	non risponde

- **MAGNETE 2**

	PREVISIONE		SPIEGAZIONE
6	A: ruota e pois si sposta: "ruota e poi va verso il centro del magnete"	2	A: prima si orienta (rotazione) e poi si sposta per l'attrazione
1	B: si sposta verso fuori, perché viene respinto dal polo N, poi si gira e si attacca al polo S	2	A1 (A+coppia F): La coppia di forze fa ruotare il magnete e lo fa avvicinare al polo N che esercita un'attrazione maggiore perché è più vicino
1	C: si avvicinerà al S con il polo N e si fermerà lì	1	B: Le forze tendono ad annularsi e il magnete finirà vicino al nord ed infine verrò attratto da esso ruotandosi
1	*disegna magnete piccolo in linea con quello grande attaccato al polo S*	1	d1 è < di d2
10	non risponde	13	non risponde

Non è spiegazione, ma descrizione

	dir =linea?	4	si	4	no	11	non risponde

Spiega:

1	la N del magnete grande e quella del 2 si respingono ma la S no quindi tuota e poi si "attacca" a N
1	perchè il magnete non ha tempo di ruotare fino ad avere S dove c'è N inizialmente perché viene attratto.
2	perché ruota
1	perché la linea di campo su cui è situato il magnete 2 non è chiusa
14	non risponde

- **MAGNETE 3**

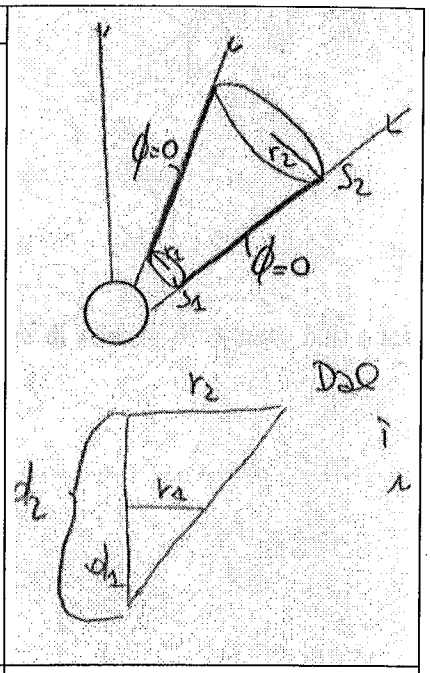
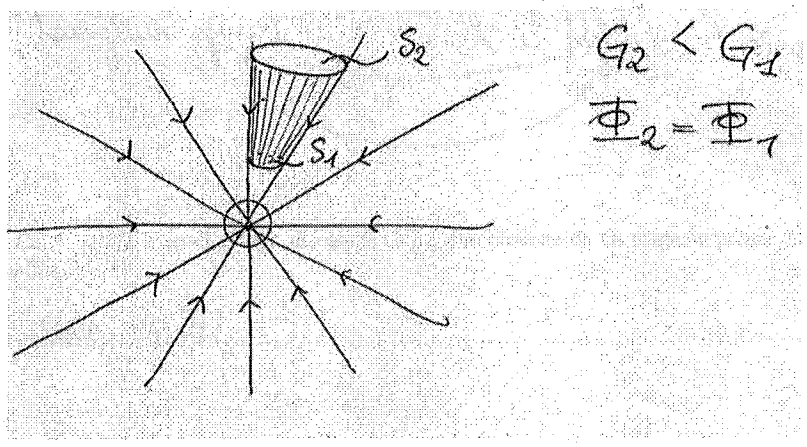
PREVISIONE		SPIEGAZIONE	
4	A: ruota e poi si sposta verso il polo (in modo che N3 vada a S)	2	A: prima si orienta (rotazione) e poi si sposta per l'attrazione Se polo S attrae N e lo porta vicino a sé facendolo ruotare leggermente con una coppia di forze
2	B: N di 3 viene attratto da S di M (magnete grande) / "N del magnete piccolo combacia con S di quello grande"	1	B: Il magnete è molto più vicino al polo Sud del amgnete grande
2	C: Seguendo la direzione della linea di campo il suo polo N viene attratto dal polo S del magnete grande "Il magnete si avvicina al polo sud seguendo la linea di campo"	1	C: La S del magnetino 3 si respingerà da quella del magnete grande mentre la N verrà attratta. Essendo il magnetegrande molto più grande del 3 sarà quest'ultimo ad attaccarsi ad esso
11	non risponde	2	Si attacca al polo S del magnete grande, disponendosi lungo una linea di campo
		13	non risponde

	dir =linea?
5	Sì
3	no
11	non risponde

Spiega:

1	A: perché è vicino al polo S e le linee lì sono quasi rettilinee
1	B: perché prima il N si orienta fino a giacere sulla linea di campo poi il magnete 3 segue la direzione della linea di campo
2	C: (descrittivo)si ruota ma poi l'attrazione tra il S del amgnete grande e il N del 3
2	D: perché ruota
13	non risponde

DOMANDA 12

7	disegno A	
		
12	no disegno	

SPIEGA:

2	A:Richiama la legge dei tubi di flusso: " G2 > G1 Phi1 = Phi2"
1	Ag: A:Richiama la legge dei tubi di flusso, inserendo le formule per il campo gravitazionale: "Il flusso rimane costante poiché l'intensità cresce all'aumentare della superficie (in realtà è proporzionale alla distaze: k q P r^2 / d^2 Phi1 e Phi2 sono uguali perché se d1<d2 r1 < r2"
1	Ab: A:Richiama la legge dei tubi di flusso, inserendo il campo magnetico: S2*B2 = S1 *B1
2	Ae: A:Richiama la legge dei tubi di flusso, inserendo le formule per il flusso del campo elettrico: " Phi1 = Phi2"
1	B: S1 < S2 --> Phi1 > Phi2
12	non risponde

Di quelli che rispondono (7) quasi tutti (6) richiamano la legge dei tubi di flusso.

Résumé de la thèse

Ce travail de thèse se centre sur le concept de champ, plus particulièrement sur les champs gravitationnel et magnétique. Il relève de deux cadres :

- investigation visant la validation d'hypothèses de recherche, et l'analyse des possibilités et des modalités d'évolution conceptuelle des élèves ;
- mise en œuvre des résultats dans un contexte classique d'enseignement, à l'école primaire et à la fin de l'enseignement secondaire.

L'examen des travaux antérieurs, l'analyse du contenu et une phase préliminaire d'étude ont conduit à axer ce travail sur des hypothèses fortes, que l'on peut résumer à très grands traits en deux propositions dont la validité est mise à l'épreuve :

- La représentation des lignes de champ peut faciliter l'accès à une vision globale du champ (en rupture avec une vision locale dominante) et à une différenciation des divers champs par les formes des lignes ;
- La différenciation des champs polaires et dipolaires, grâce à l'étude de leurs actions sur des détecteurs judicieusement choisis, peut permettre d'identifier les propriétés spécifiques des divers types de champs.

L'étude comporte trois étapes :

- exploration des idées des enfants sur les champs gravitationnel et magnétique (5-11 ans) ;
- entretiens de récherche sur la représentation des champs magnétique et gravitationnel à travers les lignes de champ (9-11 ans) ;
- construction, mise en œuvre et évaluation de deux séquences d'enseignement- apprentissage à l'école primaire (9-10 ans) et secondaire (18-19 ans).

Les deux premières étapes ont permis de déterminer potentialités et obstacles relatifs à cette approche au niveau du primaire. En particulier, elles ont mis en évidence que la source du champ magnétique est mieux perçue que celle du champ gravitationnel et que la représentation des deux champs à travers les lignes du champ est accessible aux enfants de fin d'école primaire. Deux obstacles ont été détectés:

a) dans les observations et commentaires des enfants, l'attraction est dominante par rapport à l'autre effet de l'interaction magnétique, la rotation ;

b) les enfants différentient aisément la forme des lignes de champ pour les champs gravitationnel et magnétique, mais il y a des difficultés à retraduire cette différence de cartographie en terme de différence entre les actions des deux sources.

Ces deux enquêtes préliminaires ont permis de développer des séquences d'enseignement concernant le champ magnétique à l'école primaire et secondaire.

Les hypothèses de recherche sont présentées, en deux grands groupes : école primaire, école secondaire (elles sont relatives à la distinction entre attraction et orientation, à la conception des lignes de champ comme "lignes d'orientation", au passage vers une analyse en termes de pôles, à la distinction entre les champs unipolaire et dipolaire, ...), elles sont précisées en diverses sous-hypothèses, pour lesquelles des éléments détaillés de validation sont examinés dans les chapitres correspondants.

A l'école primaire, la représentation des lignes de champ est accessible à une bonne partie des enfants qui identifient les lignes de champ magnétique à des lignes d'orientation (et non « de force »), l'obstacle *a)* est largement surmonté déjà à ce niveau scolaire, tandis que l'obstacle *b)* reste fort pour un bon nombre d'élèves. Au niveau de l'école secondaire, les élèves utilisent la forme des lignes des champs pour différentier les champs polaires et dipolaires. Les lignes de champ sont utilisées aussi pour identifier les analogies entre les champs. Les indications recueillies en cours de séquence comme lors d'un post test rendent crédible, dans ce contexte scolaire, l'adoption de l'approche proposée ici, et permettent d'orienter les recherches pour l'affiner.