



HAL
open science

Tessuto urbano, energia e microclima. Una strategia per la riqualificazione energetica della città esistente

Pascal Federico Cassaro

► To cite this version:

Pascal Federico Cassaro. Tessuto urbano, energia e microclima. Una strategia per la riqualificazione energetica della città esistente. Architecture, space management. HESAM Université; Università degli studi La Sapienza (Rome), 2022. Italian. NNT: 2022HESAC004 . tel-03938533

HAL Id: tel-03938533

<https://theses.hal.science/tel-03938533>

Submitted on 13 Jan 2023

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.



**SCUOLA DI DOTTORATO IN “ARCHITETTURA – TEORIE E
PROGETTO”
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA E PROGETTO**

TESI

presentata da: **Pascal Federico Cassaro**

sostenuta il : **30 mai 2022**

Al fine dell’ottenimento del titolo di dottorato:

preparata presso : **Sapienza Università di Roma**

Disciplina : **Architettura**

**Tessuto urbano, energia e microclima.
Una strategia per la riqualificazione energetica della
città esistente**

Tesi diretta da:
[Prof.ssa Nicoletta TRASI]

e co-diretta da:
[Prof.ssa Antonella Tufano]

Jury

Maria ARGENTI, Professoressa, « Sapienza » Université de Rome Presidente
Susanna FERRINI, Professoressa, Università di Chieti, Membro commissione
Roberta LUCENTE, Professoressa Università della Calabria, Membro commissione
Gioconda CAFIERO, Professoressa, Università di Napoli, Membro commissione
Matteo PORRINO, Professore, ENSA Paris Malaquais, Membro commissione
Giovanni Marco CHIRI, Professore , Università di Cagliari, Membro commissione

ÉCOLE DOCTORALE ABBÉ GRÉGOIRE
MAP-MAACC

THÈSE

présentée par : **Pascal Federico CASSARO**

soutenue le : **30 mai 2022**

pour obtenir le grade de : **Docteur d'HESAM Université**

préparée au : **Conservatoire national des arts et métiers**

Discipline : **Architecture**

Spécialité : **Architecture, Urbanisme et Environnement**

Tissu urbain, énergie, microclimat.
**Une stratégie d'intervention architecturale pour la
requalification énergétique de la ville existante.**

THÈSE dirigée par :
[Mme TRASI Nicoletta]

et co-encadré par :
[Mme TUFANO Antonella]

Jury

Mme Maria ARGENTI , Professeur, « Sapienza » Université de Rome	Président.e
Mme Susanna FERRINI , Professeur, Université de Chieti	Rapporteur.rice
Mme Roberta LUCENTE , Professeur, Università della Calabria	Rapporteur.rice
Mme Gioconda CAFIERO , Professeur, Université de Napoli	Examineur.rice
M. Matteo PORRINO , Professeur, ENSA Paris Malaquais	Examineur.rice
M. Giovanni Marco CHIRI , Professeur, Université de Cagliari	Examineur.rice

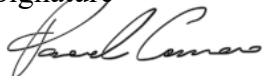
Affidavit

Je soussigné, Pascal Federico CASSARO, déclare par la présente que le travail présenté dans ce manuscrit est mon propre travail, réalisé sous la direction scientifique de Nicoletta TRASI (directrice) et de Antonella TUFANO (co-directrice), dans le respect des principes d'honnêteté, d'intégrité et de responsabilité inhérents à la mission de recherche. Les travaux de recherche et la rédaction de ce manuscrit ont été réalisés dans le respect de la charte nationale de déontologie des métiers de la recherche.

Ce travail n'a pas été précédemment soumis en France ou à l'étranger dans une version identique ou similaire à un organisme examinateur.

Fait à Paris, le 30/05/2022

Signature



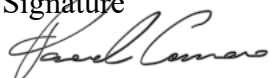
Affidavit

I, undersigned, Pascal Federico CASSARO, hereby declare that the work presented in this manuscript is my own work, carried out under the scientific direction of Nicoletta TRASI (thesis director) and of Antonella TUFANO (co-thesis director), in accordance with the principles of honesty, integrity and responsibility inherent to the research mission. The research work and the writing of this manuscript have been carried out in compliance with the French charter for Research Integrity.

This work has not been submitted previously either in France or abroad in the same or in a similar version to any other examination body.

Place Paris, date 30/05/2022

Signature



Résumé

Mots-clés: Microclimat – Énergie - Morphologie urbaine - Ville existante

Le rôle crucial de la ville existante nous confronte à la nécessité de développer de nouvelles pratiques de requalification énergétique du tissu urbain déjà construit.

L'augmentation du CO2 et l'effet d'îlot de chaleur urbain sont deux des principaux problèmes déterminant le changement climatique sur notre planète. Bien que de nombreuses études scientifiques aient montré la nécessité d'adopter des approches systémiques, les politiques globales actuelles de gestion de la consommation d'énergie de la ville existante se concentrent principalement sur l'efficacité énergétique à micro-échelle, pour un seul bâtiment.

Aujourd'hui est donc extrêmement nécessaire un changement de paradigme dans la gestion des interventions énergétiques à travers une logique interdisciplinaire. Cependant, on connaît mal la relation entre la morphologie urbaine, le microclimat et le bilan énergétique à l'échelle du quartier.

Le travail suivant, sur le plan théorique, en analysant notamment les études réalisées par l'Institut de Morphologie Urbaine de Paris, le Senseable city lab du MIT de Boston et le City energy lab de Séoul, vise à mettre en évidence la relation entre les paramètres morphologiques, climatiques et énergétiques à l'échelle locale, afin d'identifier des critères valables d'intervention dans la ville existante. Sur cette base, le travail établit une méthodologie d'intervention rendue opérationnelle par la définition d'un projet de requalification énergétique d'une partie de la ville fortement caractérisée d'un point de vue historique, architectural et morphologique : la Cité Jardin. L'accent sera mis spécifiquement sur deux cas de cités-jardins situées dans les régions métropolitaines de Paris et de Rome : la cité jardin du Pré-Saint-Gervais et la cité jardin Aniene.

La méthodologie, définie à travers l'étude, l'analyse et la systématisation de la littérature considérée, est testée sur deux cas applicatifs dans le but de fournir une stratégie de conception orientée vers la résilience du tissu urbain à travers la réduction de la consommation d'énergie et l'atténuation des problèmes microclimatiques qui lui sont liés.

RESUME EN FRANÇAIS de la thèse

Table des matières

Introduction	pag.7
Tessu urbaine, Demande Energetique, Microclimat	pag.12
Première section	pag.16
Deuxieme section	pag.19
Méthodologie D'intervention	pag.23
Les deux cas d'application	pag.34
Conclusion.....	pag.36

1. Introduction

Le changement climatique est en cours. L'augmentation de la température mondiale enregistrée année après année et l'aggravation des phénomènes liés au changement climatique font entrer le monde et l'Europe dans une nouvelle ère.

Les preuves de l'influence des villes sur le système climatique sont claires depuis la fin du XXe siècle. Les zones urbaines sont désormais responsables de 75 % de la consommation d'énergie primaire et d'environ 60 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone, dont plus de 50 % peuvent être attribuées aux bâtiments (UNHABITAT, 2020).

La production et la concentration de gaz à effet de serre dans l'environnement urbain augmentent en fonction de la croissance physique et économique des villes et constituent la cause principale de l'augmentation de la température dans l'atmosphère et du phénomène que l'on appelle " l'îlot de chaleur urbain ", effet direct de la présence de polluants (Lehman, 2011 ; Droege, 2011).

La ville est donc à l'origine du changement climatique et, dans le même temps, ce dernier exerce une pression sur elle en provoquant des événements météorologiques et climatiques extrêmes sans précédent : les vagues de chaleur, les sécheresses dévastatrices et les inondations soudaines qui submergent les rues et les villes sont désormais une réalité dans le contexte européen.

Actuellement, certaines politiques communautaires européennes prévoient de nouvelles mesures d'efficacité énergétique dans les actifs existants des villes. En Europe, avec l'accord COP21 qui

s'est tenu à Paris en 2015, les États membres se sont engagés à promouvoir l'amélioration technologique des bâtiments avec une économie attendue des ressources énergétiques. Cependant, les politiques actuelles d'intervention sur la consommation énergétique de la ville existante se traduisent principalement par des lignes d'action standardisées concernant l'efficacité énergétique à l'échelle micro, celle du bâtiment individuel, prévoyant l'augmentation de l'isolation et de l'efficacité des installations technologiques et, dans les cas les plus vertueux, l'introduction plus ou moins intégrée de sources d'énergie renouvelables.

En outre, les expériences menées jusqu'à présent dans les domaines de l'architecture et de l'urbanisme, même si elles ont eu la capacité de mettre en œuvre des stratégies et des technologies pour la définition de conditions plus appropriées pour les nouveaux habitats urbains, elles se sont avérées insuffisantes dans le domaine de la régénération du tissu urbain existant. Au contraire, l'impact global de l'intervention sur les nouveaux modèles d'établissement conçus à l'aide de méthodologies de modélisation et de simulation innovantes représente une composante minimale ou insignifiante par rapport à la "masse" du tissu bâti existant appartenant à la ville "ordinaire".

S'il est vrai, comme le propose la Feuille de route 2050, que l'Union européenne vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 80 % d'ici 2050 (par rapport à la valeur de 1990), cet objectif ambitieux nécessite des stratégies de conception et des solutions technologiques innovantes pour les nouvelles constructions, mais il est surtout urgent d'améliorer la performance énergétique du tissu urbain existant, afin de réduire la demande d'énergie et de se qualifier comme « prosumer » du système énergétique. Agir efficacement sur la demande énergétique à l'échelle urbaine revient donc à réduire la principale source de consommation de ressources et de production de CO₂, constituée en grande partie par les besoins énergétiques de l'environnement bâti pour répondre aux exigences de confort d'été et d'hiver. Cela implique la nécessité d'une approche interdisciplinaire dans la pratique de la conception, enrichi par l'introduction de modèles d'analyse adéquats qui peuvent permettre la compréhension des phénomènes énergétiques urbains et la préfiguration de l'efficacité des stratégies de conception.

Partant donc de la nécessité de préparer des stratégies d'intervention visant à transformer le comportement énergétique et l'influence climatique de la partie de la ville qui existe déjà, le travail de thèse vise à concentrer l'enquête sur une partie spécifique de l'environnement bâti : la portion de l'espace urbain qui, déjà consolidée dans ses caractéristiques identitaires et fortement

stratifiée au cours de l'histoire, doit inévitablement être repensée et transformée tout en respectant certaines qualités et invariants. Ne pouvant en aucun cas être déformé ou effacé du palimpseste urbain, et souvent faisant l'objet d'une protection architecturale avec des contraintes réglementaires strictes, cette partie du bâti, qui constitue le patrimoine " protégé " de la ville, reste une composante énergétiquement active et influente de l'organisme urbain et nécessite donc des actions de requalification énergétique attentives et ponctuelles.

En outre, la thèse entend dépasser les limites d'une conception centrée sur l'échelle du seul bâtiment - dans le concret de la pratique opérationnelle la plus communément adoptée - en visant de développer une étude systémique qui considère l'ensemble du tissu et l'interaction des différentes composantes urbaines influençant la consommation énergétique.

Cette approche s'inscrit dans un contexte théorique de référence déjà esquissé dans les études réalisées par P. Droege et S. Lehman sur la transition énergétique, dans les travaux de l'Institut de Morphologie Urbaine de Paris centrés sur l'étude de la morphologie urbaine, et dans la récente étude "Solar cities" du Senseable city lab dirigé par C. Ratti. Cependant, en reprenant ses intentions théoriques et ses approches méthodologiques, il entend systématiser divers principes et méthodes considérés comme valables et les appliquer dans l'étude menée sur le champ spécifique d'investigation déjà esquissé.

Les résultats de la recherche nous permettent de répondre à des questions théoriques et opérationnelles : Comment intervenir pour réaménager le patrimoine consolidé de la ville existante d'un point de vue énergétique ? Comment la morphologie urbaine et le microclimat sont-ils liés à la consommation d'énergie du tissu urbain consolidé ? Quelles approches de conception devraient être utilisées pour la requalification énergétique de cette partie de la ville et à travers quelle stratégie ?

Le travail a donc un double objectif - théorique et méthodologique - d'analyse de la relation existante entre l'énergie, les composantes urbaines et le microclimat à une échelle d'investigation spécifique, celle du quartier. Comme mentionné, le choix découle de la volonté de dépasser un regard limité au seul bâtiment et d'identifier une échelle intermédiaire, apte à analyser la totalité des composants de la structure urbaine et leur interaction dans une unité morphologiquement identifiable et à bien des égards autonome (Droege 2011). Une telle approche propose un véritable changement de paradigme dans la définition de l'efficacité énergétique, en élargissant l'échelle d'analyse d'un bâtiment à un quartier, pour prendre en compte d'autres composantes - l'espace

public et le rôle de la verdure, des arbres, des surfaces imperméables - et pour gérer de manière plus efficace la consommation et la production d'énergie à l'échelle du quartier.

Le travail établit donc une méthodologie d'intervention sur les principes exposés, puis rendue opérationnelle par la définition d'un projet de réaménagement énergétique de deux quartiers spécifiques de la ville dans le contexte européen. Plus spécifiquement, le projet prend en considération les sections urbaines de deux villes européennes, Paris et Rome, exemples intéressants de métropoles polycentriques caractérisées par une hétérogénéité morpho-typologique du tissu urbain et une forte demande énergétique, sur lesquelles se concentrent de nombreux efforts orientés vers le déploiement de nouvelles politiques énergétiques dans les pays concernés.

Les zones spécifiques ont été sélectionnées sur la base de certaines caractéristiques architecturales, physiques et spatiales intéressantes par rapport aux objectifs de la recherche : il s'agit en effet de passages urbains présentant des caractéristiques identitaires précises, qui permettent de les considérer comme attribuables à un modèle morpho-typologique spécifique.

En fait, le tissu urbain de la "cité-jardin" est analysé. De par sa composition caractéristique - hétérogène, mais appartenant à un projet urbain unitaire - la cité-jardin peut être considérée, à l'échelle urbaine, comme un quartier " isolable " : cette caractéristique permet le déploiement d'une étude énergétique menée spécifiquement sur cette pièce urbaine, garantissant une certaine cohérence d'analyse en l'abstrayant - dans le contexte spécifique du travail - du reste de la partie urbaine, tout en étant conscient de son appartenance respective au système urbain plus complexe dans lequel elle s'inscrit.

La présente étude contribue donc à la structuration d'un corpus de connaissances sur le comportement énergétique du tissu urbain existant, dans le but de fournir aux planificateurs des bases scientifiques et des outils fiables leur permettant de choisir les stratégies les plus adaptées pour atteindre les objectifs d'économie d'énergie et de réduction des émissions polluantes à l'échelle urbaine. La recherche développe une activité thématique, méthodologique et chronologique, marquée par un certain nombre de phases principales qui peuvent être décomposées comme suit :

La première partie vise à composer le cadre théorique sur lequel le travail de recherche est fondé, en abordant les questions du changement climatique et de la transition énergétique en relation

avec la ville existante. Dans ce contexte, un excursus théorique sur la relation entre l'architecture, le climat et l'énergie à travers l'histoire est introduit, mettant en évidence les passages saillants qui ont conduit à la vulnérabilité des villes contemporaines, et soulignant également l'état actuel des instruments réglementaires sur l'énergie et l'adaptation au changement climatique. En outre, dans cette première partie, les causes et les conséquences du phénomène d'îlot de chaleur, principal effet négatif sur les systèmes urbains, sont exposées. Enfin, la section aborde la question de la résilience urbaine, en explorant certains aspects novateurs de la conception énergétique des villes, pour finalement aboutir à la définition des « zero energy cities ».

La partie II représente le corpus théorico-méthodologique du travail de recherche. Après avoir dressé un état de l'art sur les principales études qui, au cours des dix dernières années, se sont penchées sur la relation entre la forme urbaine, le microclimat et le bilan énergétique global du tissu urbain - en particulier les études sur la morphologie urbaine menées par l'Institut de Morphologie Urbaine de Paris, le Senseable city lab du MIT à Boston et le City energy lab de l'Université Nationale de Séoul - cette partie du travail vise à systématiser, réélaborer et intégrer le corpus théorique analysé et ses orientations fondamentales. L'analyse se concentrera davantage sur la relation directe entre certains paramètres principaux dérivés des caractéristiques morphologiques de l'architecture et du tissu urbain et les performances climatiques et énergétiques à l'échelle locale. L'objectif principal est la construction d'un fond théorique sur lequel structurer, comme indiqué, une stratégie plus spécifique de requalification énergétique de l'existant, à utiliser pour l'étude suivante.

Enfin, la troisième partie se focalise sur l'étude d'une section d'une ville consolidée et contrainte, identifiable au modèle de la soi-disant "cité-jardin". Cette partie vise à l'application des connaissances théoriques préalablement systématisées, afin d'opérationnaliser la stratégie précédemment définie et de vérifier sa pertinence applicative.

La contribution à laquelle aspire l'étude est donc la prédisposition d'un outil capable de mettre en évidence les relations morphologiques, climatiques et énergétiques au sein d'un projet de réaménagement à l'échelle urbaine, en construisant une continuité entre la grande quantité de travaux théoriques produits et la nécessité de se confronter à l'expérimentation opérationnelle de la conception.

2. Partie II – Tissu urbaine, Demande Energetique, Microclimat

Depuis les années 1960, la conception s'est concentrée sur la performance énergétique des bâtiments individuels et sur l'étude des paramètres influençant cette performance. De nombreux outils et modèles ont été développés pour calculer la demande en énergie et élaborer des stratégies de réduction de la consommation, tant pour les nouvelles constructions que pour le réaménagement des bâtiments.

Ces analyses envisagent une multiplicité de facteurs :

- Les caractéristiques des bâtiments (propriétés géométriques et de système), c'est-à-dire le volume chauffé, la surface dispersée et la quantité de surface vitrée, les paramètres techniques et structurels du bâtiment, c'est-à-dire les matériaux de construction et leur capacité de transmission de la chaleur (transmittance, ponts thermiques, etc.), le système de chauffage et de refroidissement ;
- Les facteurs climatiques, en fonction de la longitude, de la latitude et de l'altitude (bande climatique, précipitations, etc.) de la zone géographique de référence.

L'analyse est devenue de plus en plus complexe au fil du temps en raison du nombre croissant de paramètres pris en compte dans la modélisation énergétique.

Dans de nombreux cas, les bâtiments ont été analysés indépendamment, comme des éléments individuels abstraits du contexte urbain de référence.

Toutefois, au fil du temps, des études ont commencé à montrer que la consommation des bâtiments est en fait due à la combinaison de trois composantes : outre celles liées au climat et aux propriétés des bâtiments, la composante considérée comme tout aussi importante devient celle liée à l'environnement urbain et au microclimat.

Par conséquent, et en lien avec les enjeux environnementaux liés à l'urbanisation croissante, la nécessité mondialement partagée d'intégrer ces considérations dans la conception urbaine a accéléré le développement de méthodes, d'outils et d'analyses visant à évaluer la performance environnementale et énergétique de l'environnement bâti à l'échelle urbaine (Mauree et al., 2019).

Ainsi, les études orientées vers l'analyse de la consommation énergétique des bâtiments sont passées de l'échelle du bâtiment individuel (paramètres internes) à l'analyse d'un ensemble de bâtiments à l'échelle urbaine (modèles top down et bottom up). En outre, une prise de conscience croissante a révélé la nécessité, dans l'analyse du "comportement énergétique" de l'ensemble urbain, d'une approche plus holistique par rapport à la diagnostic et à la conception énergétiques, qui considère toutes les composantes de l'environnement urbain (y compris la composante végétale ainsi que l'environnement bâti ainsi que l'influence du contexte climatique local ou microclimat) tout aussi influents.

En même temps, une approche différente de la conception du système urbain s'est répandue, de plus en plus considéré comme un véritable écosystème, incluant la composante anthropique comme un sous-système, continuellement transformé par l'activité interne et régi par un fonctionnement basé sur des échanges de matière et d'énergie, des flux horizontaux de ressources hydriques, alimentaires et électriques : un mécanisme organique capable d'exploiter la contribution d'autres écosystèmes et en même temps de provoquer de grands déséquilibres territoriaux.

En fait, cette nouvelle conception de l'espace urbain a influencé à l'origine l'approche même du design urbain. Ainsi, le projet énergétique défini par la suite, et sous l'influence des études bien

connues sur la morphologie urbaine, a développé d'importantes lignes de recherche qui relient étroitement la forme urbaine au microclimat et à l'énergie.

En s'insérant dans cette ligne de recherche, le travail de thèse se concentre sur les facteurs qui, dans l'écosystème urbain, sont particulièrement importants pour la requalification énergétique des tissus existants, c'est-à-dire les facteurs climatiques et les facteurs physico-spatiaux ou constructifs.

Plus précisément, la deuxième partie de la discussion est divisée en deux sections principales.

- La première, consacrée à l'illustration de l'état de l'art sur les principaux thèmes abordés dans cet ouvrage, vise à la préparation d'un appareil théorique qui servira de référence pour l'étude opérationnelle qui sera abordée dans la deuxième partie de l'ouvrage.

Dans ce contexte, les théories et les méthodes élaborées par différents groupes de recherche dans des contextes géographiques et culturels différents seront abordées, selon deux grands axes d'analyse :

- La relation entre la forme urbaine et la consommation d'énergie.
- La composante microclimatique comme facteur de liaison entre les deux composantes mentionnées ci-dessus, d'où la relation entre morphologie urbaine-microclimat-consommation d'énergie.

En fait, il a été jugé utile d'établir des "lentilles d'analyse" pour diviser les études sectorielles en deux macro-groupes différents.

Plus précisément, dans le cadre théorique concernant l'influence de la morphologie urbaine, les questions relatives à la consommation énergétique de la ville ont été sélectionnées selon deux échelles d'analyse/conception :

- Urbanisme et environnement/paysage
- Architectural

Dans ces deux grands domaines, deux plans d'intervention différents ont été mis en évidence :

- Morphologie urbaine et éléments de l'environnement et du paysage
- Technologies de la construction et des installations (architecturales et urbaines)

Les différentes sphères disciplinaires considérées devront ensuite être réunies afin d'obtenir une vue d'ensemble claire et complète de la relation entre le tissu urbain, l'énergie et le microclimat. Comme on le verra plus loin, la composante technologique ne sera pas particulièrement approfondie dans cette première partie par la définition d'un état de l'art dédié, mais sera considérée plus spécifiquement dans la seconde partie de la discussion.

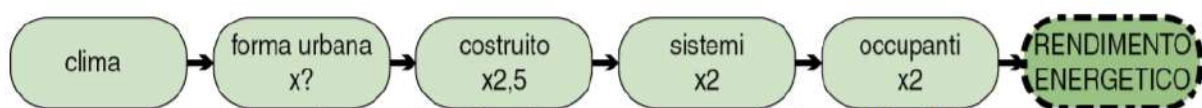
- La deuxième section, fondée sur le cadre théorique présenté, est consacrée à la formulation d'une stratégie de conception spécifique. En effet, l'analyse de l'examen théorique effectué précédemment permettra de sélectionner les concepts et les paramètres clés pour la formulation d'une stratégie d'intervention pour la requalification énergétique d'un morceau de ville existant.

1.1 PREMIÈRE SECTION

Le travail est donc basé sur l'hypothèse que la forme urbaine influence de manière significative la demande énergétique de l'environnement bâti, en hiver comme en été, en affectant le microclimat, comme cela a été amplement démontré dans les chapitres précédents.

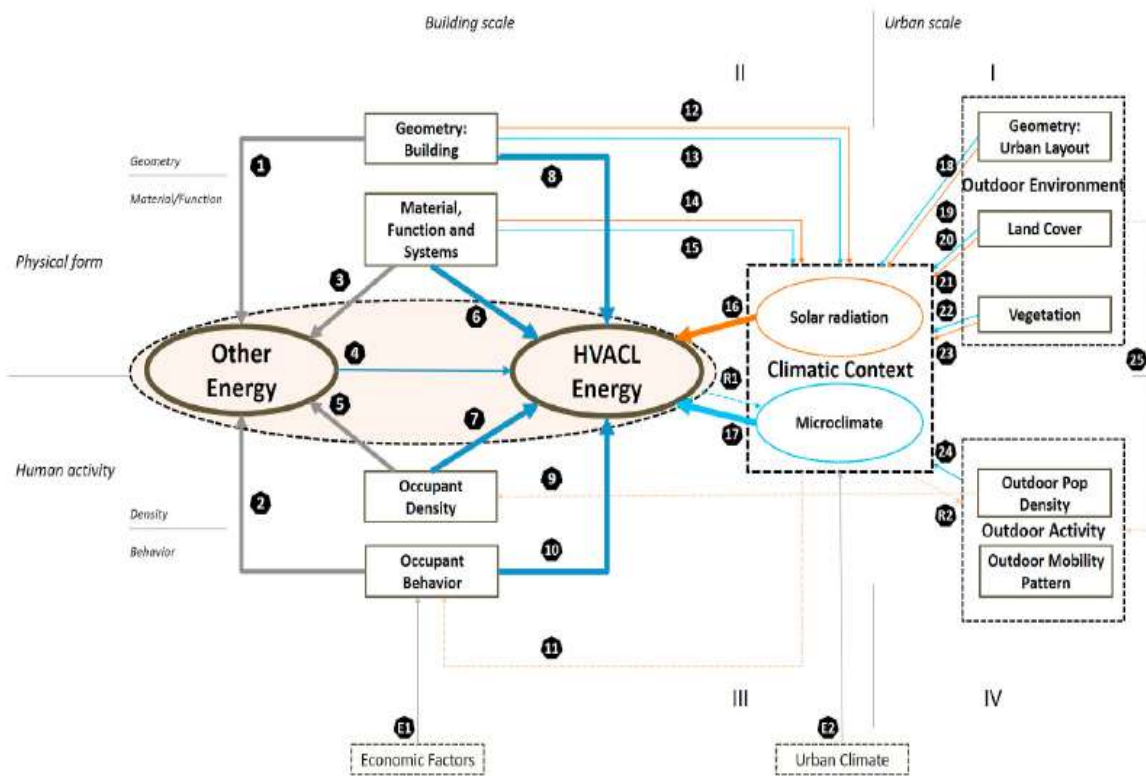
Plus précisément, nous avons traité séparément les relations entre forme urbaine-énergie et forme urbaine-microclimat. Cependant, pour les considérations faites et pour l'objectif de ce document, il est nécessaire de faire une synthèse critique qui considère globalement la relation entre ces trois termes et l'ensemble des facteurs qui y sont inscrits.

D'une manière générale, de nombreux traités sur le sujet ont tendance à se concentrer sur les facteurs qui influencent la consommation d'énergie du bâtiment en tant qu'objet final d'analyse, en les considérant selon une disposition en "série" au sein des schémas qui résument ces relations.



Toutefois, il serait plus approprié d'attribuer une valeur différente à ces relations de cause à effet, puisque, comme on l'a vu, les différents facteurs s'influencent également les uns les autres.

L'ensemble de ces relations, qui sont souvent analysées de manière très différenciée par les différentes études, peut également être résumé dans un schéma récapitulatif efficacement élaboré par Quan (voir figure suivante).

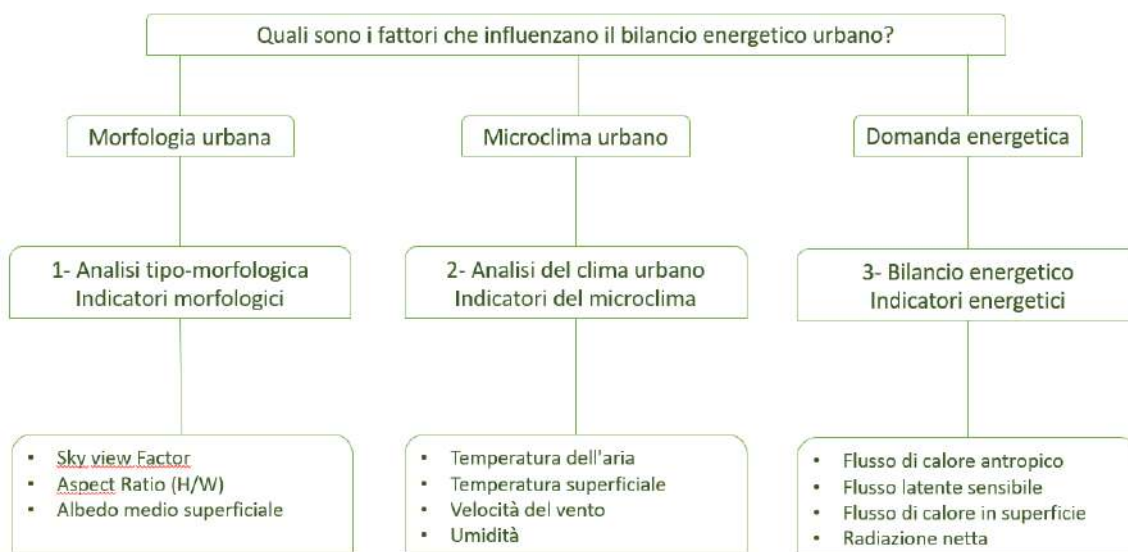


La carte des itinéraires fournit une base utile pour étudier les mécanismes d'interaction entre la forme urbaine, le microclimat et le bilan énergétique. Le raisonnement qui sous-tend la construction de la carte considère la consommation d'énergie liée au chauffage, à la ventilation et à la climatisation et les autres types de consommation d'énergie dans les bâtiments comme deux types distincts et attribue leurs variations à deux catégories principales de facteurs d'influence, à savoir la forme physique et les activités humaines, conformément aux idées de Lynch et Rodwin. La forme physique comprend les facteurs géométriques et technologiques-constructifs, et les activités humaines comprennent les facteurs liés à la densité de l'habitat et au comportement. Chacune de ces catégories comporte deux niveaux, à savoir l'échelle du bâtiment et l'échelle urbaine, et forme quatre quadrants : le quadrant I représente les facteurs de forme physique à l'échelle urbaine, le quadrant II représente les facteurs de forme du bâtiment, le quadrant III comprend les facteurs d'occupation du bâtiment et le quadrant IV prend principalement en

compte les activités humaines externes. Les facteurs des quadrants I, II et IV sont reliés par des facteurs climatiques liés au contexte, qui relient les échelles du bâtiment et de la ville. Outre les quatre quadrants de facteurs d'influence, il existe deux facteurs externes, à savoir le climat urbain et les facteurs économiques. Dans le diagramme, les différentes relations explorées dans de multiples recherches scientifiques sont également marquées par des flèches.

Pour revenir au discours entamé précédemment, l'exploration de la relation entre le tissu urbain, les facteurs climatiques et microclimatiques, la composante architecturale (morphologique-spatiale et technologique) et la consommation d'énergie nécessite donc la prise en compte des mécanismes parallèles et coexistants qui caractérisent ces relations.

Cependant, l'analyse ne s'arrête pas au bilan énergétique du bâtiment lui-même mais développe plutôt le bilan énergétique global de l'environnement urbain, ou d'une partie de celui-ci.



C'est pourquoi on estime que l'ensemble des questions considérées dans un schéma de synthèse peut être complété par d'autres éléments tout aussi fondamentaux : celui de la production.

C'est pourquoi une nouvelle systématisation des composantes et des relations à prendre en compte pour influencer le bilan énergétique à l'échelle du quartier est proposée ci-dessous.

La discussion menée jusqu'à présent a donc eu pour but de mettre en place un fond de référence théorique et de définir l'ensemble des outils qui seront adoptés, dans les chapitres suivants, pour la structuration d'une stratégie opérationnelle adéquate.

2.1 Deuxieme Section : Vers Une Strategie Integree

Les principales stratégies menées à ce jour dans des contextes urbains peuvent être identifiées à trois modes d'intervention : le développement de nouveaux établissements, la rénovation d'établissements existants et l'hybridation des deux premiers. Toutefois, ces orientations de conception sont unies par l'accent mis sur la forme urbaine, la technologie de construction et la conception d'espaces verts par le biais d'une approche qui englobe de manière holistique les études microclimatiques, techniques, architecturales et urbaines. Bien qu'il soit très souvent critiqué par rapport au problème de l'étalement urbain, le développement de nouvelles implantations semble être inévitable lorsque les villes s'étendent et, dans cette période historique, il ne pouvait en être autrement. Les études et les projets développés à partir de zéro sont parmi les pratiques les plus efficaces et les plus innovantes, car ils sont libérés des contraintes imposées par le tissu urbain existant. Dans les nouveaux quartiers, l'aspect énergétique devient en fait un élément clé dans la définition de toutes les autres composantes, de la composition de la morphologie urbaine à la définition des solutions technologiques adoptées dans la construction des bâtiments, jusqu'à la conception de la composante naturelle et végétale.

En revanche, la ligne de conception liée à la rénovation de l'existant est imprégnée de contraintes imposées par un contexte consolidé à des degrés divers. Le projet énergétique est donc configuré comme un levier de réaménagement opéré par des actions spécifiques et minutieuses, comparables à une intervention chirurgicale sur le tissu urbain préexistant. C'est précisément le cas de la régénération qui présente une urgence et une nécessité particulières si on l'observe dans le contexte culturel et architectural européen, constitué des réalités territoriales et urbaines caractérisées par un passé "lourd" et un avenir incertain, comme les réalités françaises et italiennes, pour lesquelles le patrimoine existant constitue en grande partie l'ADN qui structure l'espace urbain lui-même.

Sebastiano Brandolini résume bien ce concept : "Au tournant du nouveau millénaire, la condition de devoir travailler, toujours et dans tous les cas, en étroite relation avec l'existant semble inéluctable. S'il y a encore une vingtaine d'années, cela pouvait apparaître comme un choix de principe ou d'idéologie, ... aujourd'hui, il me semble que ce n'est plus un choix, mais une condition incontournable, dont on ne peut se passer" (Zambelli, 2004).

C'est sur ce principe simple et fondamental, efficacement résumé, que repose la conviction, à la base de ce travail, de la nécessité de formuler des stratégies de régénération - non seulement urbaine, sociale et architecturale, mais aussi de la requalification énergétique urgente dont on a largement parlé - qui soient réellement efficaces, capables de renouveler et de préserver le patrimoine existant sans en affecter la valeur architecturale authentique.

L'objectif principal de la recherche de thèse est donc de formuler une stratégie d'intervention énergétique sur la ville existante. En particulier, sur cette partie de la ville qui est fortement consolidée et particulièrement contrainte en raison de sa valeur architecturale-historique et culturelle intrinsèque.

Plus généralement, les diverses études axées sur la formulation de stratégies de régénération énergétique peuvent être classées en deux grands ensembles : d'une part, les études qui se sont concentrées sur l'utilisation potentielle des ressources énergétiques naturelles et locales (en tenant principalement compte des paramètres de conception passive : utilisation, morphologie, matériaux) et d'autre part, les études qui ont exploré les technologies appliquées afin d'optimiser l'utilisation de ces ressources (c'est-à-dire les systèmes de mise en œuvre technologique à l'échelle architecturale et urbaine) (Compagnon, 2004).

La thèse vise à formuler une stratégie d'intervention énergétique qui réunit les deux composantes décrites ci-dessus, c'est-à-dire qui considère de manière intégrée les critères de conception des bâtiments et des villes (orientés vers l'amélioration du comportement passif des composants) avec les critères technologiques, en tenant également compte de l'influence des caractéristiques microclimatiques et des composantes environnementales.

La nécessité d'une approche holistique et intégrée exige en fait l'exploration des influences et des interrelations entre les composantes formelles du tissu urbain d'une part et l'utilisation des composantes technologiques d'autre part.

Si les premiers ont déjà été largement abordés dans la partie précédente de la discussion, les seconds jouent un rôle tout aussi fondamental. En fait, elles sont d'autant plus importantes que, souhaitant intervenir, comme on l'a dit, sur les parties les plus consolidées de la ville, les possibilités réelles d'intervention et de transformation de la composante morpho-typologique sont fortement limitées par la nécessité de conserver le patrimoine existant tout en respectant les éventuelles contraintes de protection architecturale et paysagère.

Avant d'aborder les aspects plus spécifiques qui caractérisent la stratégie formulée, il est nécessaire d'apporter quelques précisions.

L'approche holistique, nécessaire à la poursuite de l'objectif déclaré, ne concerne pas seulement l'intégration des différentes composantes qui interviennent dans le bilan énergétique d'un environnement urbain, mais aussi la systématisation des deux principaux plans d'intervention, le théorique et l'application, propres à l'activité de conception.

En effet, la littérature s'est intéressée, de manière souvent désagrégée, à établir, d'une part, les règles théoriques de la conception et, d'autre part, à explorer quelques applications particulières sur des cas spécifiques, avec pour conséquence l'absence d'une vision globale de ces deux phases, qui devraient au contraire être intimement liées.

Par ailleurs, la formulation de stratégies de redéveloppement énergétique de la ville consolidée diffère inévitablement de celles préfigurées dans les cas de nouvelles constructions, en raison de la plus grande complexité qui caractérise en quelque sorte l'approche. Cependant, il est possible d'adopter certaines des stratégies utilisées dans les cas de nouvelles constructions et de supposer leur validité également dans les cas de modernisation de bâtiments existants.

De plus, la mise en œuvre de stratégies permettant d'atteindre un bilan énergétique positif à l'échelle d'un quartier, qu'il soit nouveau ou existant, semble être une question encore à l'étude. Cependant, l'importance de raisonner à cette échelle apparaît déjà en raison de la possibilité de développer des processus régénératifs plus efficaces que ceux conçus à l'échelle du bâtiment individuel, en considérant la consommation et la production de l'environnement bâti dans un système basé sur le partage de l'énergie.

3. Méthodologie D'intervention

Avant de procéder à la définition spécifique des stratégies bioclimatiques urbaines et architecturales qui articulent la phase d'intervention, la méthodologie générale du projet est décrite en détail.

En effet, les implications morphologiques, architecturales et climatiques analysées de manière intégrée dans les chapitres précédents constituent la base sur laquelle développer une méthodologie d'analyse et d'intervention plus ciblée.

Dans le but de poursuivre une plus grande résilience énergétique du tissu urbain à la lumière des problèmes majeurs déjà exposés, une méthodologie orientée vers la formulation d'une stratégie d'intervention efficace et opérationnelle est donc proposée. Sur la base des expériences précédentes visant à la rénovation énergétique des bâtiments historiques d'une part, et des activités de recherche étendues axées sur la promotion des actions d'adaptation et d'atténuation sur le patrimoine résidentiel d'autre part, une méthodologie centrée sur l'échelle d'un quartier existant et architecturalement protégé est proposée.

D'une certaine manière, les conditions à l'échelle locale dans les zones urbaines existantes amplifient la complexité de la gestion du processus de régénération urbaine visant à préserver les particularités des environnements considérés. Cependant, ces zones urbaines, dans lesquelles

l'incidence de l'environnement bâti sur la consommation d'énergie est plus importante et où les conditions microclimatiques sont dans de nombreux cas particulièrement problématiques, constituent précisément un contexte intéressant pour l'expérimentation de la conception.

Le travail de thèse propose donc un processus de redéveloppement du patrimoine bâti en énumérant les principales actions requises, en tenant compte des théories et des études considérées. En outre, on examine différentes échelles de détail, de la macro-échelle du quartier à la micro-échelle architecturale, en reliant les caractéristiques climatiques locales au comportement énergétique des bâtiments, les besoins énergétiques des bâtiments eux-mêmes aux besoins énergétiques du quartier.

Étant donné la grande complexité d'un système urbain - même à l'échelle d'un quartier - formé de plusieurs couches en interaction constituées des conditions bâties, vertes et climatiques, la méthodologie ne peut que suivre une approche multi-scalaire, nécessaire pour identifier d'abord les relations existantes entre les conditions environnementales (microclimat, pollution, climat régional), le cadre réglementaire (national, régional et municipal) et le système de construction.

Le thème sous-jacent de l'étude est donc la nécessité d'esquisser un processus dynamique en termes de phases de connaissance, de diagnostic et d'intervention pour identifier l'impact des paramètres urbains et architecturaux dans l'obtention d'un niveau suffisant d'atténuation et d'adaptabilité.

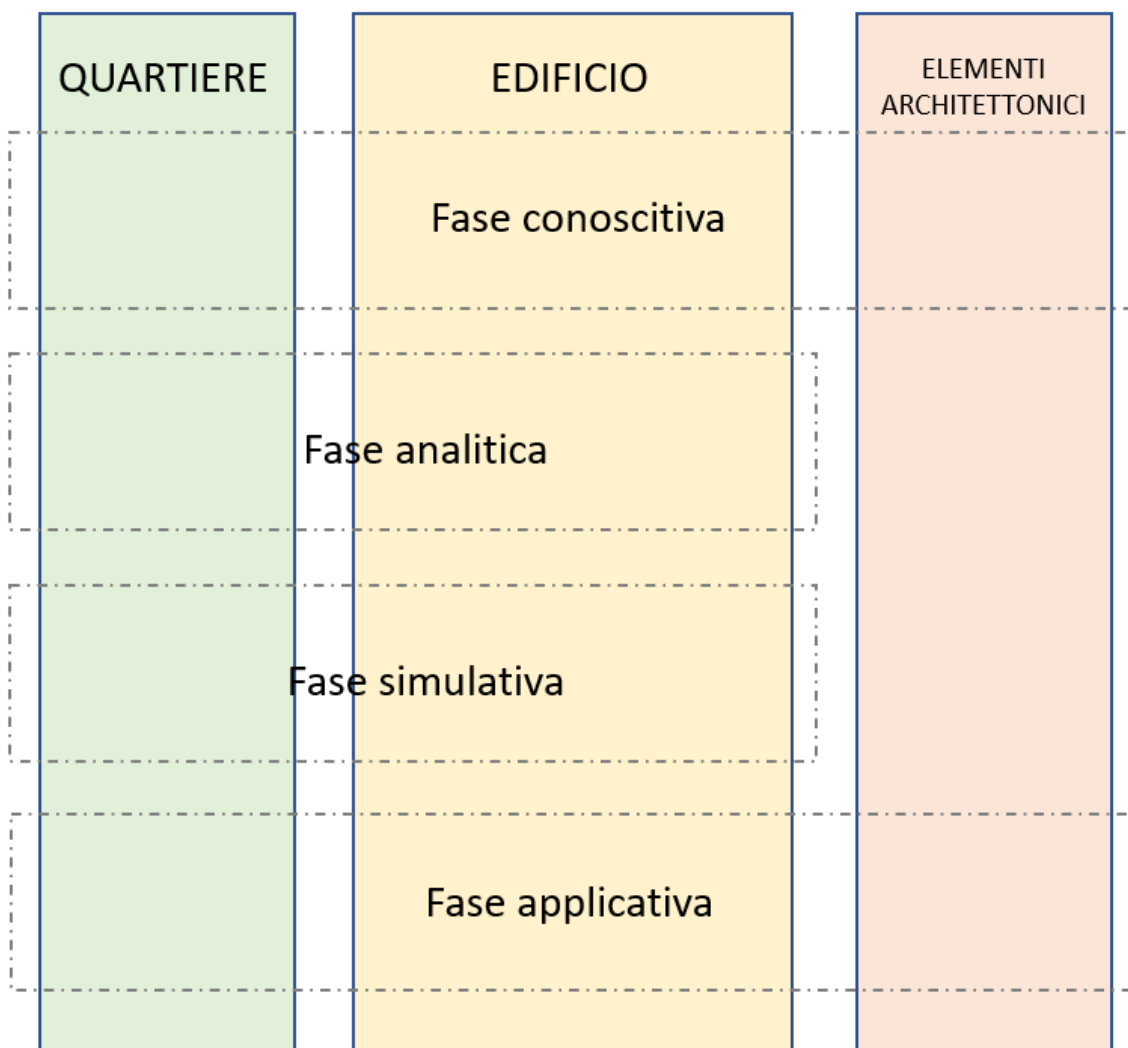
Une première phase transversale aux différentes échelles considérées, comme la phase de "collecte de données", explore l'incidence des ressources existantes ainsi que les caractéristiques environnementales, urbaines et architecturales. Comme il ressort des chapitres précédents, en effet, les paramètres morphologiques du tissu bâti influencent le climat du site et donc la consommation du bâtiment : la prise en compte intégrée de ces composantes s'affirme donc comme un outil nécessaire à l'analyse réaliste de l'état de l'environnement du projet. Pour cette raison, certains des paramètres les plus influents de la forme urbaine et des types architecturaux, ainsi que les paramètres climatiques locaux et les phénomènes microclimatiques, doivent être pris en compte dans cette première phase d'analyse.

A un niveau ultérieur et à une échelle plus proche, la deuxième phase approfondit les éléments mis en évidence dans la phase précédente afin de comprendre et de quantifier l'incidence réelle

des facteurs considérés sur le fonctionnement énergétique de la pièce urbaine objet de l'intervention.

La troisième phase, simulatrice, met plutôt en évidence les paramètres urbains et architecturaux sur lesquels intervenir par rapport aux déficiences en termes de performances énergétiques mises en évidence précédemment.

Enfin, la phase d'application comprend deux ordres d'actions fortement interconnectées : d'une part le choix des méthodes d'intervention, déjà cataloguées dans la littérature, et d'autre part l'application de certaines actions visant à améliorer les propriétés critiques.



Les quatre phases du projet en détail

La première phase, de nature cognitive, consiste en un relevé systématique des normes environnementales (A1), architecturales et de construction (A2) et réglementaires pour l'amélioration énergétique (A3) et la protection historico-architecturale (A4).

En particulier, les données sont classées comme suit :

A1 Portée environnementale, dans laquelle les éléments suivants sont étudiés :

- A1.1 Caractéristiques du climat local, y compris les données statistiques contrôlées utilisées pour la classification du climat typique à l'échelle locale, en se concentrant sur les données de :

- Rayonnement solaire

- Température de l'air

- Humidité

- Afa

- Pluie

- Le vent

- Exposition au soleil et nébulosité ;

- A1.2 Projection climatique locale, se référant aux changements stochastiques globaux fournis par le GIEC ;

- A.1.3 Développement historique du quartier, en mettant l'accent sur les grands projets d'architecture et de changement d'affectation des sols ;

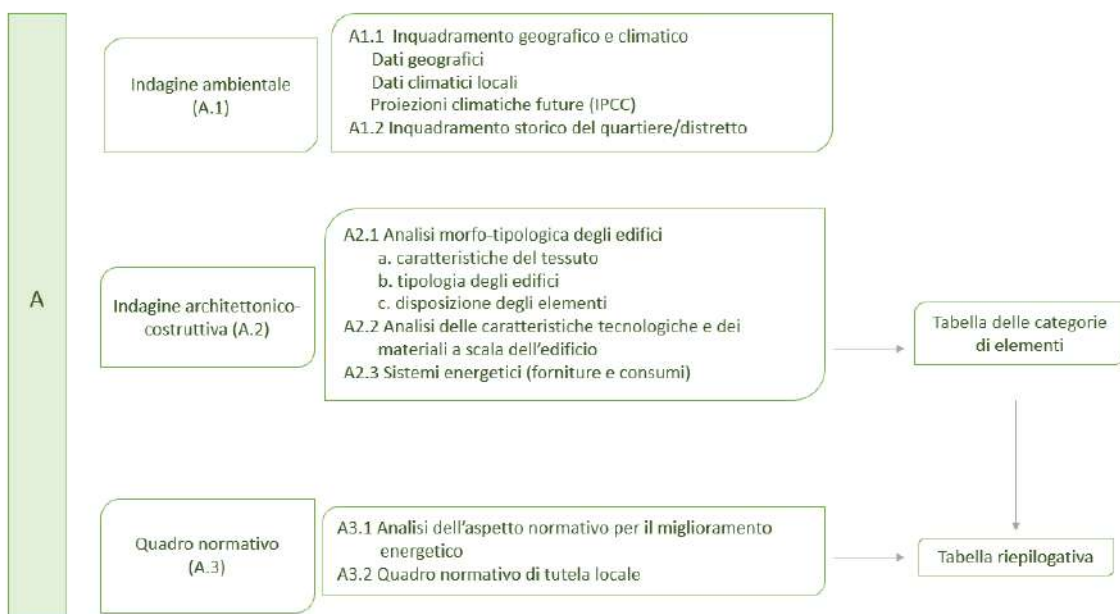
- A.1.4 Description des éléments du tissu urbain, en mettant l'accent sur l'utilisation des bâtiments, les services, les réseaux de distribution d'énergie et la mobilité ;

A.2 Caractéristiques de l'architecture et de la construction, en particulier :

- A.2.1 Caratteristiche morfo-typologiche dei edifici a l'echelle du quartier, se referant a la hauteur, aux types de patrimoine bati dans le quartier ; ces donnees peuvent etre collectees a l'aide de documents archivistiques et bibliographiques ou par des enquetes sur place. Cette sous-phase revet une importance particuliere car elle permet de presenter un "batiment type" qui comporte en son sein les elements representatifs des interactions globales, et est utile pour identifier les strategies de transformation ;
- A.2.2 Description de la technologie du batiment afin d'evaluer les elements technologiques, les materiaux de l'enveloppe batie et les systemes energetiques afin de definir les transformations possibles ;
- A.2.3 Etat d'entretien et etat reel d'utilisation du parc residential a l'echelle du quartier et du batiment ;
- A.2.4 Systemes energetiques disponibles a l'echelle du batiment, en se concentrant sur le refroidissement et le chauffage, si les donnees sont disponibles.

A.3 Reglementation sur l'amelioration energetique et la protection urbaine et architecturale (A.4) ;

La collecte systematique des donnees d'entree alimente ensuite un modele qui constituera la principale base de donnees d'information.



La deuxième phase d'analyse, appelée "B", consiste en la systématisation de toutes les données recueillies dans la phase précédente dans le but d'identifier les principales typologies architecturales trouvées dans le site considéré (afin de relier les résultats du processus à des cas similaires), les principaux facteurs microclimatiques et les caractéristiques de l'environnement urbain les plus influents sur le fonctionnement énergétique de la voie urbaine étudiée.

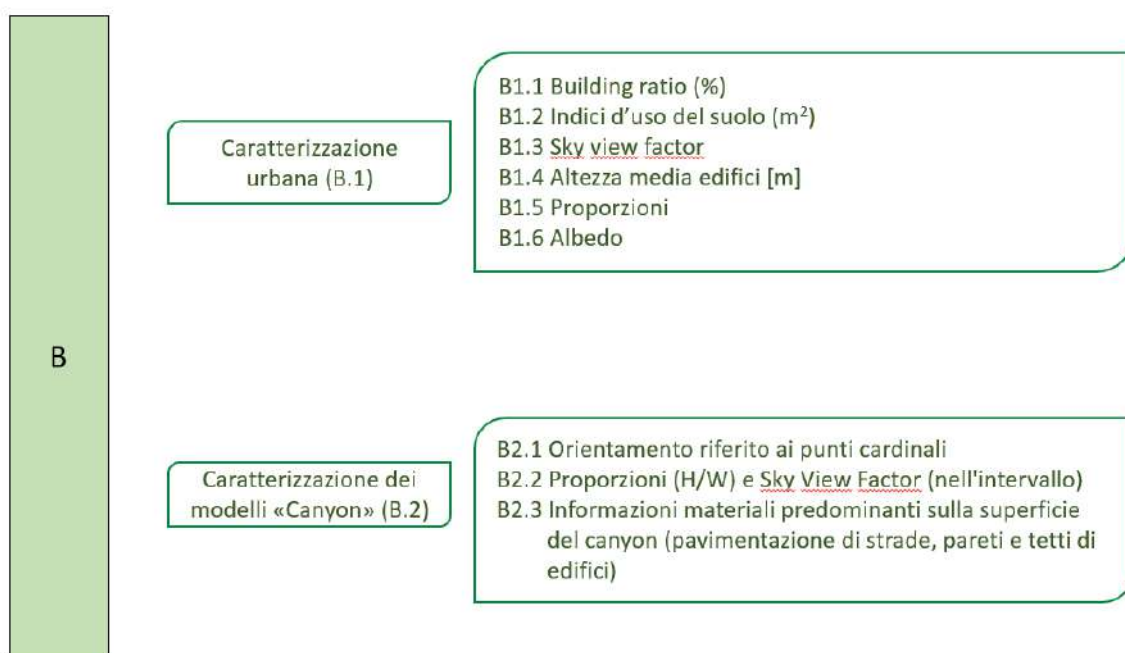
Cette phase comprend :

B1. Analyse du quartier, en tant que première macro-paramétrisation de l'ensemble du quartier ; en particulier, le quartier est analysé en se concentrant sur les caractéristiques géométriques et de couverture de surface, ainsi que sur les propriétés thermiques et métaboliques recueillies dans la phase précédente. A partir des données considérées dans la phase précédente, des données sur :

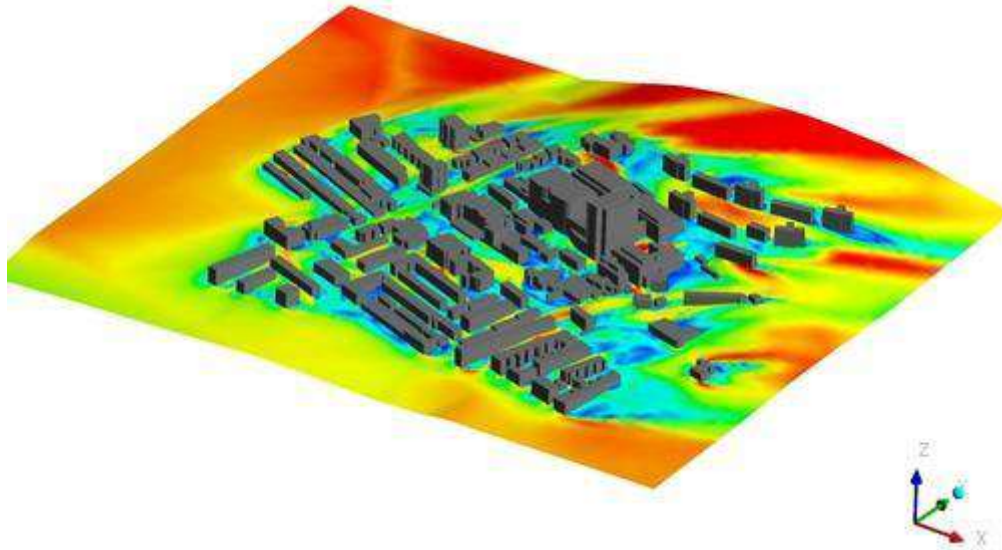
- Orientation principale des rues ;
- Orientation des bâtiments
- Densité du tissu
- Taux de surface des bâtiments (%)
- Ratio de surface perméable (%),
- Facteur de vue moyen du ciel (-),
- Hauteur moyenne des bâtiments (m),
- Rapport d'aspect (-),
- Albédo de la surface (-)

L'ensemble, donc, des paramètres que nous venons d'énumérer permet, dans la phase d'analyse de la zone d'intervention, de déduire quelques considérations énergie-climat nécessaires pour établir les stratégies d'intervention à utiliser dans les différents cas examinés.

B2. Analyse du "canyon typique" ; elle vise à identifier des modèles de canyon représentatifs en termes de type et d'orientation, en explicitant les caractéristiques géométriques, c'est-à-dire le rapport d'aspect (H/W), le facteur de vue du ciel (SVF), ainsi que des informations sur les matériaux de surface des canyons de rue (revêtement routier, murs et toits des bâtiments).



La troisième phase, appelée "C", se concentre sur la simulation des phénomènes microclimatiques dans le modèle urbain considéré, sur l'étude de la consommation d'énergie - en relation avec les facteurs microclimatiques - des types de bâtiments identifiés dans la piste urbaine, et sur l'identification des déficiences énergétiques. La connaissance approfondie du microclimat du quartier et des caractéristiques physiques et thermiques des bâtiments permet d'une part d'évaluer les déficiences énergétiques, et d'autre part de reconnaître les caractéristiques distinctives du tissu d'origine, telles que les interactions avec les microclimats et les qualités intrinsèques du bâtiment.



Enfin, la quatrième phase d'application, appelée "D", est constituée par le choix de méthodes d'intervention et par l'étude d'actions spécifiques et ciblées visant une amélioration des propriétés critiques précédemment identifiées. En utilisant les données des simulations réalisées dans la phase précédente, l'objectif est de systématiser les mesures d'économie d'énergie (voir tableau ci-dessous) avec les caractéristiques du tissu considéré - paramètres microclimatiques et énergétiques et degrés de transformation.

Cette phase consiste en :

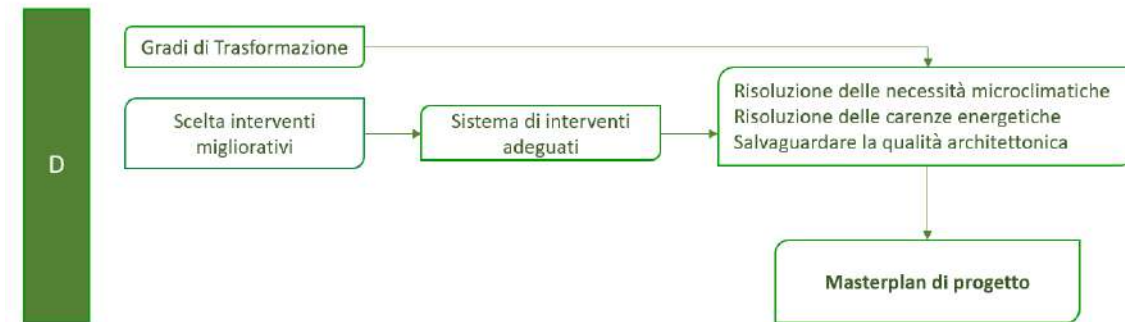
D.1 Projet énergétique urbain et architectural de l'intervention : dans cette phase, toutes les carences mises en évidence dans la phase précédente sont évaluées et corrigées en termes de transformations possibles du bâtiment, en les reliant aux prescriptions des règlements de protection, déjà recueillies dans la première phase.

En particulier :

Les stratégies d'intervention sont combinées aux règlements de protection, définissant un système d'interventions et de solutions techniques appropriées pour l'atténuation ou l'adaptation ; en particulier, les stratégies urbaines et les solutions morphologiques-spatiales et technologiques (développées pour chaque type de bâtiment) sont conçues comme des directives de conception et des bonnes pratiques basées sur des conceptions et des systèmes traditionnels et innovants pour l'efficacité énergétique.

Chaque zone d'intervention, même au sein d'une même ville, peut présenter des valeurs différentes en termes de paramètres morphologiques et climatiques, précisément en raison de la situation géographique différente et de l'unicité du contexte.

Cette phase s'achèvera par la présentation d'un plan directeur du projet qui englobe les mesures prises et les présente dans une vision urbaine globale.



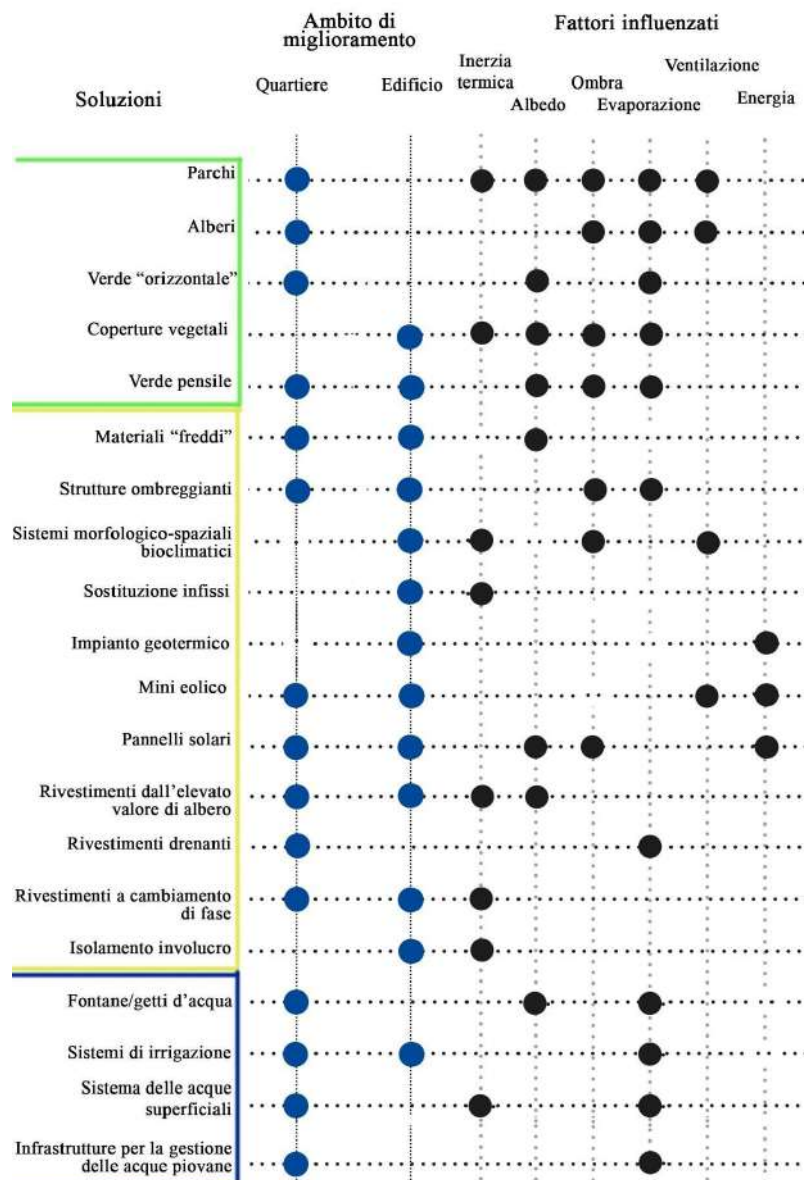
Après avoir décrit brièvement la méthodologie sur laquelle s'appuie un projet d'amélioration énergétique des bâtiments existants à l'échelle d'un quartier, les principales stratégies architecturales et urbaines bioclimatiques sélectionnées en fonction de l'objectif particulier sont ensuite explorées.

Les stratégies mises en évidence peuvent être résumées dans le tableau ci-dessous. Ils ont été subdivisés par catégorie de projet (vert, jaune ou bleu) et les domaines d'amélioration dans lesquels ils s'inscrivent ainsi que les facteurs qu'ils influencent ont été indiqués pour chacun.

En général, il est possible d'identifier 5 stratégies d'intervention principales qui unissent l'échelle architecturale et urbaine et décrivent l'ensemble du processus :

- Unifier : rassembler tous les espaces publics ouverts pour une réutilisation totale ;
- Redéfinir : évaluer l'utilisation des espaces et des éléments urbains en vue du réaménagement du quartier.
- Naturaliser : intervenir en intégrant la végétation et l'eau dans le processus de réaménagement ;

- Intégrer : intégrer les technologies architecturales et végétales nécessaires à une efficacité énergétique optimale et à l'autoproduction à partir de sources renouvelables ;
- Partager : mise en commun des ressources au sein du quartier pour parvenir à une communauté à énergie positive.



4. Les deux cas d'application

Le chapitre vise à tester l'exactitude de la stratégie de requalification énergétique de la ville existante proposée dans le chapitre précédent, à travers des études conduites sur deux cas significatifs de tissu urbain existant avec des caractéristiques identitaires et morpho-typologique spécifique .

En particulier, le choix s'est porté sur le modèle de la cité-jardin, un tissu clairement identifiable et consolidé avec des fortes caractéristiques architecturales et urbaines liées à sa conception. Ce dernier a été choisi comme objet des études expérimentales pour deux raisons. La première concerne sa composition hétérogène mais appartenant à un projet urbanistique unitaire ; en effet, la cité-jardin peut être considérée, au niveau urbanistique, comme un quartier isolable, ce qui permet l'étude énergétique de toutes les composantes morphologiques (bâtiments, routes, espaces verts, transports) sans négliger le fait qu'elle appartient à un système à plus grande échelle.

La seconde raison repose sur l'intérêt croissant que la communauté scientifique, suite aux récentes vicissitudes mondiales liées à la pandémie de CoVid-19, consacre à la réévaluation de la cité-jardin, non seulement pour sa qualité sociale, mais aussi pour ses caractéristiques fonctionnelles et spatiales.

Cette partie de la thèse développe donc des réhabilitations énergétiques dans deux pays européens, la France et l'Italie, où plusieurs exemples de cités-jardins ont été réalisés. La stratégie est appliquée à deux études de cas : la cité-jardin du Pré-Saint-Gervais (Île-de-France) et la cité-jardin d'Aniene (Rome).

Cette partie de la thèse est divisée en trois chapitres, dont un, introductif, abordera brièvement l'idée de la cité-jardin, née en Angleterre selon le projet d'E. Howard, et ses déclinaisons françaises et italiennes ultérieures ; les deux autres coïncident avec les cas d'application. Dans les deux chapitres d'application, les données, les analyses et les descriptions des interventions seront organisées en suivant le cadre méthodologique déjà décrit, soit poursuivant une Phase de connaissance, une phase analytique, une phase de projet et une phase d'application.

Au cours de ces phases, les résultats énergétiques et architecturaux de l'ensemble du processus de redéveloppement énergétique seront démontrés, et une comparaison finale entre l'état de fait et l'état de conception sera effectuée.

5. Conclusions

Ce paragraphe, au lieu de se configurer comme la conclusion d'un raisonnement fini et défini, représente une relecture dans une clé critique des solutions fournies aux questions qui sous-tendent le travail de recherche : en d'autres termes, une synthèse du raisonnement effectué et des explorations réalisées. Le travail développé est parti de la prise de conscience de la nécessité de chercher des solutions à deux crises fondamentales qui affectent la ville dans la première moitié du XXI^e siècle : les fortes répercussions du changement climatique sur l'espace anthropisé et la nécessité de réduire les émissions polluantes dans l'atmosphère. Les problèmes présentés sont intimement liés et trouvent leur lien dans le renforcement des économies d'énergie et de la production à partir de sources d'énergie renouvelables. Dans ce cadre, la ville existante joue un rôle crucial en tant qu'acteur principal de la consommation d'énergie et, en même temps, en tant que champ d'application plus rare des actions d'économie d'énergie. La recherche s'est donc concentrée sur le parc immobilier existant en évaluant la consommation du bâtiment liée à son utilisation et aux influences du climat local. Plus spécifiquement, dans le cadre d'un espace de réflexion encore ouvert et extrêmement large dans la littérature, la thèse se configure comme une exploration de la requalification énergétique de la ville consolidée. Le travail a été mené à travers un certain nombre de phases de recherche englobées dans les différentes parties de la thèse. La première phase a consisté à observer l'état des environnements urbains contemporains et leurs problèmes fondamentaux. Le cadre exploré a montré le rôle

primordial de la ville existante dans la consommation énergétique mondiale et son influence sur le climat. Dans ce contexte, la même analyse a mis en évidence le potentiel d'intégration des variables morphologiques, climatiques et énergétiques dans le projet de réaménagement global de la ville existante. Cependant, la complexité de l'intervention sur la ville consolidée est apparue, dictée par les multiples besoins de réutilisation et de protection du patrimoine, ce qui rend de plus en plus difficile la réalisation d'interventions efficaces. Il est évident, en effet, que les caractéristiques du tissu urbain existant constituent l'élément le plus résilient aux transformations découlant d'une expérimentation morphologique et technologique innovante. De plus, la complexité des phénomènes physico-énergétiques qui s'établissent à l'échelle urbaine représente un champ d'analyse multidisciplinaire dans lequel convergent des domaines de connaissance spécialisés qui, à ce jour, sont encore indépendants et déconnectés. Dans le cadre exploré, la question qui sous-tend l'ensemble du travail de recherche demeure : la ville existante et consolidée, actuellement énergivore et polluante, peut-elle être transformée en un bon exemple de durabilité énergétique ? La réponse à cette question, développée dans la deuxième phase de la recherche, prend une importance particulière dans le contexte urbain européen, dans lequel le patrimoine consolidé prévaut sur les nouvelles implantations. Dans cette phase, les caractéristiques morphologiques, les paramètres microclimatiques et les performances des tissus urbains constituent l'élément essentiel de comparaison pour établir des stratégies - morphologiques, architecturales et technologiques - permettant d'atteindre les objectifs d'économie d'énergie et d'amélioration environnementale globale des zones urbaines. Cette approche pluridisciplinaire et multi-scalaire répond à deux types d'utilité dans le domaine de la conception architecturale et urbaine : l'une de nature scientifique-constructive, l'autre de nature opérationnelle. Pour poursuivre cet objectif, on a analysé le cadre théorique de référence pour l'étude des relations existantes entre la morphologie urbaine, les paramètres microclimatiques et la performance énergétique. L'analyse de certaines contributions importantes a confirmé l'importance de ces relations en montrant les éléments qui contribuent à leur existence. Dans ce contexte, le raisonnement concernant le changement d'échelle dans la pratique du design, de l'échelle du bâtiment à l'échelle urbaine, qui, bien que ne manquant pas de fondements théoriques, ne semble pas encore être largement adopté dans les politiques d'intervention sur la ville existante, s'est avéré d'une grande importance. En fait, le réaménagement énergétique à l'échelle du quartier présente un potentiel plus important que les solutions d'analyse et de conception axées sur l'échelle du bâtiment individuel.

L'état de l'art ainsi esquissé a permis de poser les bases sur lesquelles s'appuie la troisième phase de la recherche. L'objectif était de développer une expérimentation de conception définie par la construction d'une stratégie d'intervention utile à la poursuite d'un équilibre énergétique local maximisé, sur la base de deux cas d'application. Cette stratégie holistique, impliquant les différentes disciplines de conception - architecturale-urbaine, technologique, environnementale - et caractérisée par des interventions ponctuelles sur les différentes composantes du tissu urbain, a montré le potentiel d'un projet intégré à l'échelle du quartier, d'une part respectueuse de l'existant et d'autre part innovant dans les solutions adoptées.

Le plus grand défi s'est avéré être l'intégration des solutions dans le tissu existant, en respectant les contraintes imposées par les règlements de protection et les conditions contextuelles, tout en confirmant un niveau élevé d'efficacité par rapport aux nouvelles interventions. En même temps, l'expérimentation a montré un autre potentiel du type d'intervention proposé, représenté par la possibilité d'une requalification formelle et fonctionnelle des zones urbaines, permettant non seulement la mise en œuvre des performances énergétiques et des caractéristiques microclimatiques, mais aussi la qualité et la vivabilité des espaces requalifiés. Enfin, l'étude a montré certaines limites d'intervention dictées par les conditions contextuelles et normatives strictes et inflexibles. Cependant, le potentiel de la proposition émerge des possibilités offertes par le système de partage qui sous-tend le processus de réaménagement : les problèmes qui peuvent concerner l'efficacité énergétique de chaque bâtiment protégé peuvent être atténués ou résolus grâce aux mécanismes de compensation qui caractérisent le fonctionnement des "communautés énergétiques". L'ensemble des stratégies a donc déterminé une approche méthodologique du projet de redéveloppement énergétique de la ville existante en établissant quelques directions opérationnelles qui, ajustées en fonction des différents contextes d'intervention, peuvent répondre efficacement aux besoins des réalités urbaines. Par conséquent, l'objectif qui peut être poursuivi dans les développements futurs de ce domaine de recherche consiste à approfondir l'expérimentation de la conception du réaménagement énergétique dans le cadre des cours d'étude concernant la composition architecturale, afin d'enrichir le débat sur le lien tissu urbain-énergie trop souvent négligé et, en même temps, afin de définir une casuistique utile pour des ultérieures comparaisons des résultats.



DOTTORATO DI RICERCA IN
ARCHITETTURA - TEORIE E PROGETTO

“Sapienza” Università di Roma
Dipartimento di Architettura e Progetto
Corso di Dottorato in Architettura - Teorie e Progetto
Coordinatore: prof. Orazio Carpenzano
Vice-coordinatore: prof. Andrea Grimaldi

Tessuto urbano, Energia, Microclima

Strategie di intervento per la riqualificazione energetica della
città esistente.

Dottorando: Pascal Federico Cassaro
XXXIV ciclo – Curriculum A
Tutors: prof.ssa Nicoletta Trasi, prof.ssa Antonella Tufano

Tesi sviluppata in cotutela con:

le cnam



COLLEGIO DOCENTI

Orazio Carpenzano
Rosalba Belibani
Maurizio Bradaschia
Andrea Bruschi
Roberto Cherubini
Alessandra Criconia
Alessandra De Cesaris
Paola Veronica Dell'Aira
Emanuele Fidone
Nicola Flora
Gianluca Frediani
Cherubino Gambardella
Anna Giovannelli
Paola Gregory
Andrea Grimaldi
Filippo Lambertucci
Renzo Lecardane
Domizia Mandolesi
Luca Molinari
Caterina Padoa Schioppa
Renato Partenope
Antonella Romano
Antonino Saggio
Guendalina Salimei
Antonello Stella
Nicoletta Trasi
Nilda Maria Valentin
Massimo Zammerini

MEMBRI ESPERTI

Lucio Altarelli
Lucio Barbera
Renato Bocchi
Marcello Pazzaglini
Franco Purini
Giancarlo Rosa
Piero Ostilio Rossi
Roberto Secchi

Il presente contributo è stato sviluppato in Cotutela di tesi tramite la collaborazione del Dipartimento di Architettura e Progetto della “Sapienza” Università di Roma e il CNAM di Parigi, nel DIAP e nell’ENSPLV.

Rappresenta, dunque, Dissertazione Finale per il conseguimento del titolo di Dottore di ricerca in “Architettura -Teorie e Progetto” e in “Architecture, Urbanisme et Environnement”.

Ringraziamenti

Sono grato a chi mi ha sostenuto in questa avventura di ricerca e di crescita.

Ringrazio la prof.ssa Nicoletta Trasi, guida instancabile. Grazie per i preziosi insegnamenti, per i sinceri consigli e gli accesi confronti, grazie per i momenti condivisi in questi anni, grazie per la fiducia.

Ringrazio la prof.ssa Antonella Tufano, per avermi accolto a Parigi. Grazie per preziosi aiuti, per il sincero impegno e per aver garantito la buona riuscita della cotutela.

Ringrazio il prof. Orazio Carpenzano, il prof. Andrea Grimaldi e la prof. Alessandra Capuano per l'appoggio e l'incoraggiamento che mi hanno offerto durante la gestione delle relazioni tra le università, italiana e francese.

Ringrazio il prof. François Guéna, per aver accettato la collaborazione tra i due dipartimenti universitari e per la fiducia che ha avuto nei miei confronti.

Ringrazio, inoltre, il “Comité de suivi de thèse”: il prof. Fabrizio Tucci, per il prezioso dialogo, per i grandi stimoli concettuali e per le necessarie correzioni durante il periodo pandemico; la prof.ssa Roberta Zarcone per l'immediata disponibilità e le preziose indicazioni.

Ringrazio la prof.ssa Domizia Mandolesi, per avermi coinvolto nelle attività didattiche e nella stesura di articoli per la rivista “L'Industria delle costruzioni”.

Ringrazio la mia famiglia.

A tutti loro un sincero ringraziamento.

Indice

Introduzione alla dissertazione	1
PARTE I	
1 La città in crisi	10
1.1 La città esistente	11
1.1.1 L'espansione della città macchina	15
1.1.2 Composizione del patrimonio edilizio e prestazioni energetiche	19
1.2 Rigenerare la città esistente: un obiettivo a cui tendere	23
1.3 Dalla città plasmata dal clima, alla città che influenza il clima	36
1.4 Vulnerabilità del tessuto urbano ai cambiamenti climatici	51
1.5 Sostenibilità: la necessità di un cambio di scala	59
1.5.1 La sostenibilità urbana	60
1.5.2 La città sostenibile deve essere resiliente	61
1.6 Da Near Zero a Net Zero cities: prospettive per il patrimonio edilizio dell'UE	65
1.6.1 Prospettive a breve termine: edifici "Near zero Energy"	67
1.6.2 Prospettive a lungo termine: Zero Energy e Zero Carbon Buildings	69
1.6.2 Dalla scala dell'edificio alla scala del quartiere	70

PARTE II	81
1 Morfologia urbana, Microclima, Energia	86
1.1 Forma urbana ed energia: lo stato dell'arte	87
1.1.1 Quanto conta la forma urbana?	94
1.1.2 La densificazione aumenta o diminuisce il consumo di energia negli edifici?	95
1.1.3 Quale modello di forma urbana è più efficiente dal punto di vista energetico?	96
1.1.4 Diverse metodologie	97
1.2 Forma urbana e consumo energetico: definizioni e metodi	100
1.2.1 Forma urbana	101
1.2.2 Consumi energetici	107
1.3 Microclima: un fattore "ponte"	109
1.3.1 Il clima urbano	111
1.3.2 I fattori coinvolti nella formazione del clima urbano	123
1.3.3 Fenomeni microclimatici: Isola di calore	135
1.3.4 Studi e metodologie	137
1.3 L'interazione tra forma urbana, microclima ed energia	146
2 Tessuto urbano, Microclima, Consumo energetico	150
2.1 Strategie di intervento sulla città consolidata: questioni e problematiche	155
2.2 Metodologia di intervento	161
2.2.1 Strategia urbana bioclimatica	171
2.2.2 Strategia architettonica bioclimatica	195
2.2.3 Reti Di Condivisione	226
2.3 Un approccio metodologico-progettuale	233

PARTE III	238
La Sperimentazione	239
1 Il caso della città giardino	242
1.1 Un brano di città esistente	243
1.1.1 Il modello di città giardino: E. Howard	245
1.1.2 Due declinazioni: francese ed italiana	248
2 Primo caso applicativo	256
2.1 La città giardino di Pré-Saint-Gervais	257
2.1.1 Fase conoscitiva (A)	260
2.1.2 Fase analitica (B)	285
2.1.3 Fase simulativa (C)	291
2.1.4 Fase applicativa (D)	298
3 Secondo caso applicativo	308
3.1 La città giardino Aniene	309
3.1.1 Fase conoscitiva (A)	312
3.1.2 Fase analitica (B)	345
3.1.3 Fase simulativa (C)	349
3.1.4 Fase applicativa (D)	352
Conclusioni	361
Riferimenti Bibliografici	366

*“Non pretendiamo che le cose cambino, se continuiamo a fare le stesse cose.
La creatività nasce dall'angoscia come il giorno nasce dalla notte oscura.
È nella crisi che sorge l'inventiva, le scoperte e le grandi strategie.
Chi supera la crisi supera sé stesso senza essere superato.
Senza crisi non ci sono sfide, senza sfide la vita è una routine, una lenta agonia.
Senza crisi non c'è merito.
È nella crisi che emerge il meglio di ognuno, perché senza crisi tutti i venti
sono solo lievi brezze.”*

Albert Einstein

Introduzione alla dissertazione

Il cambiamento climatico è in atto. Con i record di temperatura globale raggiunti anno dopo anno e l'aggravamento delle prospettive per la portata del futuro cambiamento climatico e i suoi effetti, nel 2020 il mondo e l'Europa sono entrati in una nuova era.

Le prove dell'influenza delle città sul sistema climatico sono chiare dalla fine del XX secolo. Le aree urbane sono oggi responsabili del 75% del consumo di energia primaria e di circa il 60% di emissioni globali di anidride carbonica, di cui oltre il 50% può essere attribuito agli edifici (UNHABITAT, 2020).

La produzione e concentrazione di gas serra in ambito urbano cresce in relazione alla crescita della città sul territorio e al suo sviluppo economico, ed è la principale causa dell'innalzamento della temperatura nell'atmosfera, creando la cosiddetta "isola di calore urbana", in quanto effetto diretto della presenza di inquinanti (Lehman, 2011; Droege, 2011).

La città, quindi, è causa del cambiamento climatico e allo stesso tempo quest'ultimo esercita una pressione su di essa causando

eventi meteorologici e climatici estremi senza precedenti: ondate di calore, siccità devastanti, inondazioni improvvise che sommergono strade e città, sono ormai una realtà per il contesto europeo¹.

Attualmente, una serie di politiche comunitarie europee prevede nuove misure per l'efficientamento energetico del patrimonio esistente delle città. In Europa, con l'accordo COP21 tenutosi a Parigi nel 2015, gli stati membri si sono impegnati a promuovere un miglioramento tecnologico degli edifici con un previsto risparmio di risorse energetiche. Tuttavia, le attuali politiche di intervento sui consumi energetici della città esistente si traducono principalmente in linee di intervento standardizzate e riguardanti l'efficienza energetica alla micro-scala, quella del singolo edificio, prevedendo l'incremento dell'isolamento e dell'efficienza degli impianti e, nei casi più virtuosi, l'introduzione più o meno integrata di fonti energetiche rinnovabili.

Inoltre, le esperienze finora condotte nei campi dell'architettura e della progettazione urbana, se da un lato hanno avuto la capacità di mettere in atto strategie e tecnologie per la definizione di condizioni più appropriate di nuovi habitat urbani, dall'altro si sono rivelate carenti nell'ambito della rigenerazione dei tessuti della città già esistente. Al contrario, l'impatto complessivo dell'intervento su nuovi modelli insediativi progettati con innovative metodologie di modellazione e simulazione, rappresentano una componente minima o irrisoria se rapportata alla "massa" di costruito già esistente e appartenente alla città "ordinaria".

Se è vero, come proposto nella Roadmap 2050, che l'Unione Europea ambisce a ridurre le emissioni di gas serra dell'80% entro il 2050 (rispetto al valore del 1990), tale ambizioso obiettivo richiede strategie progettuali innovative e soluzioni tecnologiche per le nuove costruzioni, ma soprattutto necessita, urgentemente,

1. Nel novembre 2019, il Parlamento europeo ha dichiarato l'"emergenza climatica e ambientale", invitando tutti gli Stati membri dell'UE a impegnarsi a raggiungere l'obiettivo delle zero emissioni di gas serra entro il 2050 (PE, 2019). A livello locale, l'emergenza climatica emergenza è stata riconosciuta dai sindaci di 94 grandi città globali città nel settembre 2019 (C40 Cities, 2020b).

del miglioramento delle prestazioni energetiche dei tessuti urbani esistenti, allo scopo di ridurre la domanda di energia e di qualificarsi come *prosumer*² del sistema energetico. Agire efficacemente sulla domanda energetica a scala urbana significa quindi intaccare la fonte principale di consumo di risorse e produzione di CO₂, costituita in gran parte dal fabbisogno energetico del costruito per soddisfare le esigenze di comfort estivo e invernale. Ciò implica la necessità di un approccio interdisciplinare nella pratica progettuale, attraverso l'introduzione di adeguati modelli di analisi che possano consentire la comprensione dei fenomeni energetici urbani e la prefigurazione dell'efficacia delle strategie progettuali.

Partendo quindi dalla necessità di predisporre strategie di intervento volte a trasformare il comportamento energetico e l'influenza climatica di quella parte di città che già esiste, il presente lavoro intende concentrare gli sforzi su una specifica parte di costruito; quella porzione dello spazio urbano che, già consolidato nelle sue caratteristiche identitarie e fortemente stratificato nel corso della storia, deve inevitabilmente essere ripensato e trasformato nel rispetto di alcune qualità e invarianti. Non potendo in alcun modo essere stravolto o cancellato dal palinsesto urbano, e il più delle volte oggetto di tutela architettonica e stringenti vincoli normativi, questa parte di un costruito che costituisce il patrimonio "protetto" della città, rimane una componente dell'organismo urbano energeticamente attiva e influente, e necessita quindi di attente e puntuali azioni di riqualificazione energetica.

Inoltre, il presente lavoro intende superare i limiti di una progettazione miope e concentrata esclusivamente sulla scala del singolo edificio – nella concretezza della prassi operativa più comunemente adottata – puntando ad uno studio sistemico che consideri l'interezza del tessuto e l'interazione delle diverse componenti urbane influenti sul piano del consumo energetico.

Tale approccio, si inserisce in un contesto teorico di riferimento già delineato negli studi svolti da P. Droege e S. Lehman riguardanti

2. Termine composto dalle parole producer e consumer

la transizione energetica, nel lavoro dell'Urban Morphology Institute di Parigi incentrato sullo studio della morfologia urbana, del Senseable city lab diretto da C. Ratti e nel recente studio di Quan del "City energy lab" di Seoul. Riprendendone intenti teorici e approcci metodologici, intende tuttavia sistematizzarne diversi principi e metodi ritenuti validi e applicarli nello studio condotto su un campo di indagine differente, già delineato.

I risultati della ricerca permettono di rispondere a questioni di ordine teorico e operativo: Come intervenire per riqualificare dal punto di vista energetico il patrimonio consolidato della città esistente? Come si relazionano morfologia urbana e microclima con i consumi energetici del tessuto urbano consolidato? Quali approcci progettuali utilizzare per la riqualificazione energetica di questa parte di città e attraverso quale strategia?

Il lavoro si pone, quindi, un duplice obiettivo - teorico e metodologico - di analisi della relazione esistente tra energia, componenti urbane e microclima ad una specifica scala di indagine, la scala di quartiere. Come detto, la scelta deriva dalla volontà di oltrepassare lo sguardo limitato al singolo edificio e individuare una scala intermedia (Chiri 2018), adeguata ad analizzare la totalità delle componenti della struttura urbana e la loro interazione in una unità morfologicamente identificabile e per molti aspetti autonoma. Un tale approccio propone un vero e proprio cambiamento di paradigma nella definizione dell'efficientamento energetico, ampliando lo sguardo e traslando l'attenzione dagli edifici ai quartieri, per considerare altre componenti - lo spazio pubblico e il ruolo del verde, delle alberature, delle superfici impermeabili - e progettare in modo più efficiente il consumo e la produzione di energia alla scala del quartiere.

Pertanto, il lavoro stabilisce una metodologia di intervento sui principi delineati, resa poi operativa attraverso la definizione di un progetto di riqualificazione energetica di due parti di città specifiche all'interno del contesto europeo. Nello specifico, il progetto prende in considerazione degli stralci urbani di due città europee, Parigi e Roma, interessanti esempi di metropoli policentrica caratterizzati da una eterogeneità morfo-tipologica del tessuto urbano e da un

elevata richiesta energetica, sulle quali si stanno concentrando molti degli sforzi orientati al dispiegamento di nuove politiche energetiche nei paesi coinvolti.

Le aree specifiche sono state selezionate in funzione di alcune interessanti caratteristiche architettoniche, fisiche e spaziali in relazione agli obiettivi della ricerca: si tratta infatti di brani urbani che presentano caratteristiche identitarie precise, che consentono di considerarle ascrivibili ad uno specifico modello morfo-tipologico.

Si analizza, infatti, il tessuto urbano della cosiddetta “città giardino”. Per la sua caratteristica composizione – eterogenea, ma appartenente ad un progetto urbanistico unitario – la città giardino può essere considerata, sul piano urbano, un quartiere “isolabile”: questa caratteristica consente infatti il dispiegamento di uno studio energetico condotto specificatamente su questo brano urbano, garantendo una certa coerenza di analisi nell’astrarlo – nello specifico contesto del lavoro – della restante parte urbana, pur nella consapevolezza della rispettiva appartenenza al più complesso sistema urbano in cui si iscrive.

Il presente studio contribuisce pertanto alla strutturazione di un corpo di conoscenze del comportamento energetico del tessuto urbano esistente, con l’obiettivo di fornire ai progettisti basi scientifiche e strumenti affidabili che consentano la scelta delle strategie più idonee al raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico e riduzione delle emissioni inquinanti alla scala urbana. La ricerca sviluppa un’attività tematica, metodologica e cronologica, scandita da alcune fasi principali riconducibili alla seguente articolazione:

La Parte I mira a comporre il contesto generale di riferimento del lavoro di ricerca, affrontando, brevemente, i temi del cambiamento climatico e della transizione energetica in relazione alla città esistente. In questo ambito, viene introdotto un excursus teorico sul rapporto tra architettura, clima ed energia nel corso della storia, evidenziando i passaggi salienti che hanno portato alla vulnerabilità delle città contemporanea e lo stato attuale in materia energetica e di adattamento ai cambiamenti climatici. Inoltre, in questa prima

parte sono enucleate cause e conseguenze del fenomeno dell'isola di calore come principale effetto negativo influente su sistemi urbani. Infine, la sezione affronta il tema della resilienza urbana, esplorando alcuni aspetti innovativi della progettazione energetica delle città, per arrivare infine alla definizione di Net Zero Cities.

La Parte II rappresenta il corpus teorico-metodologico del lavoro di ricerca. Dopo aver delineato uno stato dell'arte sui principali studi che negli ultimi dieci anni hanno indagato la relazione tra la forma urbana, il microclima e il bilancio energetico complessivo del tessuto urbano – in particolare gli studi sulla morfologia urbana effettuati dall'Urban Morphology Institute di Parigi, dal Senseable city lab del MIT di Boston e del City energy lab della Seoul National University – questa parte del lavoro si pone l'obiettivo di sistematizzare, rielaborare e integrare il corpus teorico analizzato e i relativi orientamenti fondamentali. L'analisi si concentrerà maggiormente sulla diretta relazione tra alcuni principali parametri derivanti dai caratteri morfologici dell'architettura e del tessuto urbano e le prestazioni climatiche ed energetiche a scala locale. Il fine principale è la costruzione di uno sfondo teorico su cui strutturare, come dichiarato, una più specifica strategia di riqualificazione energetica dell'esistente, da utilizzare per lo studio successivo.

La Parte III intende infine, come detto, focalizzarsi sullo studio di uno stralcio di città consolidata e vincolata, identificabile con il modello della cosiddetta "città giardino". Questa parte mira all'applicazione delle conoscenze teoriche già precedentemente sistematizzate, al fine di rendere operativa la strategia precedentemente definita e verificarne l'adeguatezza applicativa.

Il contributo a cui ambisce lo studio è, pertanto, l'esplorazione di una strategia progettuale in grado di far emergere le relazioni morfologiche, climatiche ed energetiche all'interno di un progetto di riqualificazione alla scala urbana, costruendo una continuità tra la grande quantità di lavori teorici prodotta e la necessità di confrontarsi con sperimentazioni progettuali operative.

Parte



1 La città in crisi

1.1 La città esistente

“[...] all cities, whether old or new, can be made to be more sustainable.”

Pickett et al., 2013

La ricerca affrontata in questa tesi richiede, in primo luogo, di esser collocata all'interno di una prospettiva più ampia al fine di attribuirle maggiore validità.

Si intende dunque partire da una serie di considerazioni riferite alla dimensione globale per riassumere i caratteri che connotano la situazione attuale degli spazi antropici, in particolare dei nostri centri urbani.

La città rappresenta, come sappiamo, la culla della società, un terreno fertile per lo sviluppo di scienza e tecnologia, cultura e innovazione. Nonostante la crisi sanitaria, economica e sociale, il suo ruolo nel prossimo futuro rimarrà inalterato. Oggi oltre la metà (circa il 55%) della popolazione mondiale vive in insediamenti urbani: se osserviamo il solo continente europeo, questa percentuale cresce fino al 75%, con la tendenza ad aumentare per raggiungere circa l'80% di abitanti inurbati nel 2050.

È inoltre innegabile che l'attrattiva delle città^{1,2} stia esponenzialmente aumentando. Seto et al. (2011) hanno ampiamente illustrato come dal 1970 al 2000 la popolazione urbana sia raddoppiata e, allo stesso tempo, l'area totale di terreno occupato da aree urbane su scala mondiale sia molto probabilmente quadruplicata. Attualmente, si stima che le aree urbane occupino il 2,4 per cento³ Seto et al. 2011 della superficie terrestre (UN 2011).

Il paragone con gli ultimi 40 anni è particolarmente interessante se si considera che nel 1970 al mondo esistevano solo due megalopoli⁴, Tokyo e New York. Oggi, invece, esistono 23 megalopoli in tutto il mondo e si prevede che il loro numero salga a 37 entro il 2025. Se il paesaggio urbano europeo è caratterizzato, per la maggior parte, da piccole e medie città e da alcune grandi metropoli di riferimento, le regioni con limitata capacità economica e amministrativa saranno considerate i maggiori centri dell'espansione urbana nei prossimi 20 anni: la metà dell'espansione totale prevista è infatti destinata a verificarsi in Asia (Elmqvist et al. 2013).

Inoltre, le città stanno diventando maggiormente responsabili di alcune problematiche all'origine di una crisi ecologica senza precedenti (Alberti 1999; Folke et al. 2002a; Bai et al. 2005; Lee 2006; Liu et al. 2007a; Grimm et al. 2008a; Rockström et al. 2009; Satterthwaite et al. 2010; Seto e Satterthwaite 2010), soprattutto

1 Uso "città" e "aree urbane" in modo intercambiabile. Secondo Satterthwaite (2011), non esiste una definizione universalmente accettata di 'area urbana' o di 'città'. Per esempio, in Europa ogni paese ha una definizione diversa di cosa sia una città, che di solito dipende dalla popolazione, dalla densità, dalle funzioni urbane, dall'aver uno statuto cittadino o dall'essere un destinatario di fondi nazionali (Dijkstra e Poelman 2012). Quando uso il concetto di "sistema urbano" pongo un'enfasi particolare sugli elementi connessi, i flussi, i processi e il funzionamento per quanto riguarda l'energia, la materia e l'informazione nelle aree urbane.

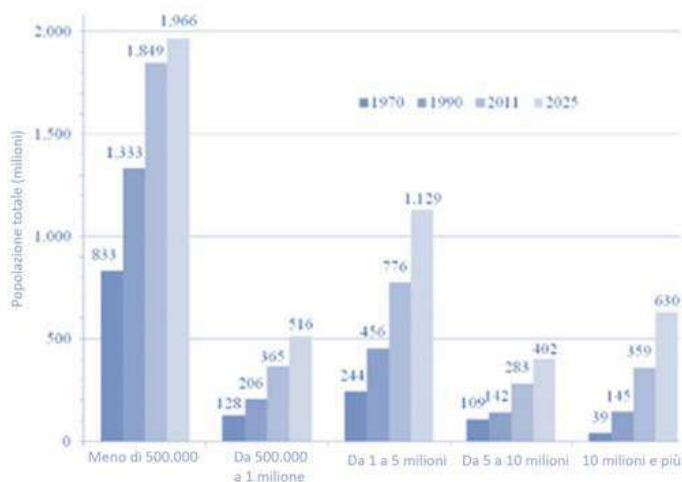
2. In seguito, per "città" o "area urbana" si intenderà un'area amministrativa limitata formata da una rete di comunità sociali composta da cittadini, associazioni e organizzazioni, aziende, istituzioni di governance e fornitori di servizi, più la rete di elementi infrastrutturali naturali e costruiti e i flussi di energia, materia e informazione derivati dalle loro interdipendenze.

3. Per quanto riguarda il metodo di calcolo vedere Seto et al. 2011

4. Una megalopoli è un agglomerato urbano con popolazione maggiore o uguale a 10 milioni di abitanti secondo UN (2012a)

a causa del consumo crescente di risorse (Krausmann et al. 2009; Huang et al. 2010), specialmente in relazione ai combustibili fossili (Campbell e Laherrre 1998; Tsoskounoglou et al. 2008; Newman et al. 2009).

Le stesse tendenze ambientali globali stanno determinando un preoccupante aumento del rischio potenziale degli insediamenti umani dovuto al cambiamento dei fattori climatici (IPCC 2007),



Popolazione totale in milioni per classe di grandezza della città, 1970, 1990, 2011 e 2025.
Fonte: UN 2012

soprattutto in quelle aree urbane che sono sempre più concentrate lungo le coste (Elmqvist et al. 2013) e caratterizzate da una minor qualità dell'ambiente urbano (UN-Habitat 2011).

Allo stesso tempo, come mostra l'ultimo rapporto dell'IPCC⁵ (2021), il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile e la probabilità di ulteriori cambiamenti è molto elevata, se non certa. Gli studi stimano che entro il 2030 la domanda globale di cibo, acqua ed energia aumenterà rispettivamente del 50 per cento, 30 per cento e 73 per cento (IEA 2008; Bruinsma 2009). Inoltre, l'ONU (2012a) sottolinea che il 60% della popolazione che vive in aree urbane con 1 milione di abitanti o più (dove la povertà è solitamente concentrata) è attualmente molto esposta ad almeno un pericolo naturale, con

5. Acronimo di "Intergovernmental Panel on Climate Change"

inondazioni e siccità in cima alla lista.

In considerazione della crescente urbanizzazione come motore centrale del cambiamento ambientale (Seto e Satterthwaite 2010) e come indicatore di vulnerabilità (Garschagen e Romero-Lankao 2013), la politica urbana deve quindi allinearsi con gli sforzi per affrontare i problemi ambientali regionali e globali (Bai et al. 2010).

I dati fin qui sinteticamente riportati fanno percepire alcuni rischi a cui sono sottoposti l'ambiente urbano e la popolazione.

Alluvione in
Liguria, 2019



Alluvione in
Germania, 2021



La consapevolezza dell'esistenza dei gravi problemi ecologici, nata negli ultimi due decenni, dimostra inoltre che le aree urbane del pianeta siano responsabili della maggior parte del consumo energetico mondiale e del conseguente inquinamento.

1.1.1 L'espansione della città macchina

È possibile considerare l'attuale condizione di molte delle situazioni urbane come derivante da una pianificazione che, per anni, ha considerato la città come una macchina, un semplice meccanismo composto da una giustapposizione di parti, suddivisa in sottosistemi progettati e dislocati secondo un disegno più o meno unitario.

La città, in questa visione, risponde «alla logica della catena di montaggio, in cui i pezzi di città sono concatenati da quel sistema di comunicazione che è la rete stradale, attrezzata per la circolazione di un altro prodotto dell'era industriale: l'automobile»⁶. (Alberti M., Solera G., Tsetsi V. 1994).

Il disegno della città in zone urbanistiche omogenee, la delimitazione rigidamente fisica del centro storico, il tracciato di confini artificiali, di identificazione di parti urbane differenti, la separazione delle funzioni urbane e la parziale ricerca di una loro integrazione fisica sono l'eredità di una serie di processi che hanno contribuito a creare l'immagine della città moderna. Con la nascita della città industriale, prima, e nel secondo dopoguerra, poi, con l'espansione della mobilità, il maggior trasferimento di persone e il trasposto di merci, la crescita illimitata ha subito, infatti, una brusca accelerazione.

Allo stesso tempo, secondo quanto afferma un recente rapporto della European Environment Agency (Agenzia Europea dell'Ambiente), «il territorio europeo ha subito, a partire dal secondo dopoguerra, un fenomeno urbanistico-demografico che nella sua

6. M. Alberti, G. Solera, V. Tsetsi, *La città sostenibile*, Franco Angeli, 1994, Milano.

Mexico city,
sprawl urbano.



prima espressione storica «era associata alla rapida espansione verso l'esterno e alla bassa densità delle città degli Stati Uniti, originatasi nella fase iniziale del XX secolo»⁷. Tale fenomeno, che ha preso il nome di *sprawl*, ha ottenuto una definizione precisa da parte dell'EEA che descrive con queste parole: «il modello fisico di espansione a bassa densità di grandi aree urbane, in condizioni di sottomercato, soprattutto nelle aree agricole circostanti.

Lo *sprawl* è la forma avanzata della crescita urbana e implica un basso controllo nella pianificazione della suddivisione dei terreni. Lo sviluppo è irregolare, sparso e allungato, con una tendenza alla discontinuità. Scavalca aree lasciando enclaves agricole. Tali città sono l'opposto delle città compatte, «piene di spazi vuoti che indicano le conseguenze di una crescita incontrollata»⁸.

Se l'espansione del tessuto urbano europeo è sempre stata legata all'aumento della popolazione, che ne costituiva la causa determinante, i dati in possesso dell'EEA mostrano che «dalla metà

7. «All available evidence demonstrates conclusively that urban sprawl has accompanied the growth of urban areas across Europe over the past 50 years». European Environment Agency, report 10/2006. Urban sprawl in Europe The Ignored Challenge, Copenhagen, 2006, p.9.

8. I European Environment Agency, report 10/2006. Urban sprawl in Europe The Ignored Challenge, Copenhagen, 2006, p. 5.



Periferia, 1909,
Umberto Boccioni.

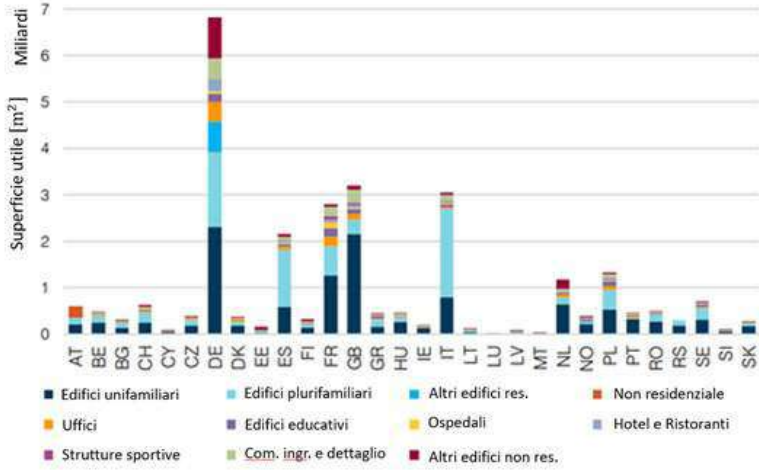


What We Want,
Ostend, Belgio.
Foto di Francesco Jodice,
2005.

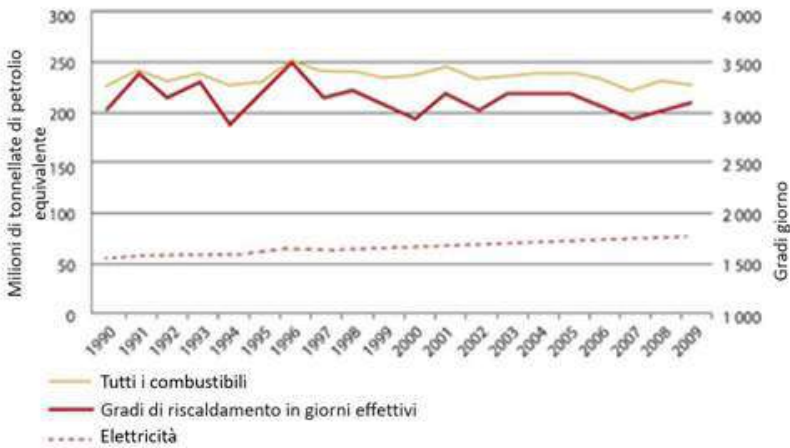
degli anni cinquanta del XX secolo, le città europee si sono espanse in media del 78%, mentre la popolazione è cresciuta del 40%, determinando così forti conseguenze sullo spazio consumato per persona, che negli ultimi cinquant'anni è più che raddoppiato».

Più nello specifico, se si vanno a ricercare i fattori che hanno contribuito e contribuiscono a determinare questo scenario, il rapporto dell'EEA individua molteplici elementi che concorrono a tale fenomeno. Se in una scala macro economica lo sprawl è uno degli aspetti, insieme degli effetti concomitanti alla globalizzazione

Ripartizione della superficie utile degli edifici residenziali e non residenziali nel gruppo di paesi EU28 con Serbia e Norvegia. Fonte: BPIE, 2011



Ripartizione storica dell'energia finale nel settore residenziale del gruppo di paesi EU28 con Serbia e Norvegia. Fonte: BPIE, 2011



e all'integrazione europea – tanto che dal rapporto EEA emerge come «i più visibili impatti dell'espansione urbana sono in paesi o regioni con alta densità di popolazione e attività economica – o in rapida crescita economica – vi sono, ad un livello micro economico e sociale, altrettanti fattori che sono strettamente legati allo sprawl»⁹.

9. European Environment Agency, report 10/2006. Urban sprawl in Europe the Ignored Challenge, Copenhagen, 2006, p. 12

Per queste ragioni, il fenomeno dello sprawl suburbano è stato da tempo sottoposto a numerosi critiche da parte di studiosi afferenti diversi ambiti disciplinari.

1.1.2 Composizione del patrimonio edilizio e prestazioni energetiche

La visione meccanicistica, che dai primi anni del Novecento ha trasformato la città, è strettamente legata alle possibilità energetiche sviluppatesi in quegli anni.

L'avvento della produzione energetica basata prima sul carbone e successivamente su fonti fossili ha apportato una quantità di energia che sembrava essere potenzialmente illimitata, proporzionalmente all'aumento dell'aspettativa di vita (Rahm, 2020). La città, come centro delle attività, si configura fin dalla rivoluzione industriale come maggiore consumatore di energia e come continuo condensatore di inquinamento. In quel momento, se da un lato il settore terziario sembrava possedere il primato per consumi energetici e produzione di inquinanti, dall'altro lato il settore residenziale aumentava, proporzionalmente all'evoluzione tecnologica, i suoi bisogni di energia, trainato da una società basata sul consumismo.

Ad oggi, il patrimonio edilizio europeo (UE 28 più Norvegia e Serbia) rappresenta circa 27,8 miliardi di m² di superficie utile, di cui il 74% è dedicato a funzioni residenziali. Il restante 26% comprende un mix eterogeneo di edifici non residenziali, caratterizzati da ampie variazioni nelle tecniche di costruzione, nei modelli di utilizzo dell'energia e nell'intensità (IPCC, 2020).

Lo schema seguente fornisce una panoramica della composizione edilizia dei diversi paesi, prendendo in considerazione la distribuzione della superficie calpestabile degli edifici residenziali e non residenziali per categoria.

La composizione piuttosto uniforme del patrimonio edilizio residenziale permette di effettuare, infatti, una classificazione

tipologica e prestazionale attraverso un quadro sintetico. Il patrimonio abitativo è generalmente classificato in edifici monofamiliari e plurifamiliari, e la maggior parte della superficie calpestabile dello stesso rientra nella prima tipologia – circa il 64% (Atanasiu 2011). La categorizzazione per età proposta nello stesso studio rivela che più del 40% è stato costruito prima del 1960 e rende evidente il boom delle costruzioni che l'Europa ha vissuto nel periodo 1961-1990, quando la quantità di edifici è più che raddoppiata nella maggior parte degli Stati membri. Negli ultimi anni (1991-2005) il tasso di nuove costruzioni è stato sostanzialmente inferiore e tra il 2005 e il 2010 il tasso di crescita medio annuo è stato di circa l'1%. In termini di proprietà, la maggior parte degli edifici residenziali è privata e circa il 20% è di proprietà di istituzioni pubbliche.

Per quanto riguarda le prestazioni energetiche, nel 2009 il patrimonio residenziale è stato stimato essere responsabile del 68% dell'uso totale di energia finale degli edifici. La Figura 2-4 mostra la tendenza storica 1990-2009 per l'uso finale di energia, dove l'aumento degli usi di elettricità (+38%) rispecchia la crescente introduzione degli elettrodomestici all'interno delle abitazioni. Tuttavia, l'uso finale predominante in questo settore rimane il riscaldamento degli spazi.

Secondo la BPIE¹⁰, esso rappresenta in media circa il 70% del totale, tenendo presente le ovvie variazioni da paese a paese e da un anno all'altro. Balaras et al. (Balaras et al. 2005), basandosi sui risultati di 193 audit energetici condotti in edifici residenziali in Danimarca, Grecia, Francia, Polonia e Svizzera, hanno identificato il consumo medio totale di energia per il riscaldamento - riscaldamento degli spazi (H) e acqua calda sanitaria (DHW¹¹) - come circa 193 kWh/m² e l'uso medio di energia per il riscaldamento degli spazi (H) come 129 kWh/m².

La normalizzazione delle prestazioni di riscaldamento basata sui gradi giorno di riscaldamento (HDD¹²) di ogni edificio controllato ha

10. Il Buildings Performance Institute Europe (BPIE) è un centro di ricerca europeo privato senza scopo di lucro.

11. Acronimo di Domestic Hot Water.

12. Acronimo di Heating Degrees Days

permesso di rappresentare risultati più generali, rispettivamente 0,073 kWh/(m²*HDD) per H e 0,057 kWh/(m²*HDD) per DHW. Conoscere la composizione del patrimonio edilizio si rivela quindi fondamentale per comprendere l'influenza che esso esercita sul bilancio energetico dell'intero tessuto.

Come emerso da queste analisi, il consumo energetico degli edifici può variare significativamente in relazione alle tipologie e al periodo di costruzione, conseguentemente alle diverse soluzioni tecnologico realizzative utilizzate. Partendo da presupposto che intervenire in un'ottica di maggiore sostenibilità richieda la necessità di un recupero dell'esistente piuttosto che adottare politiche di nuova costruzione (implicanti consumo di suolo e dispersioni energetiche ed economiche)¹³, o di demolizione senza criterio, diviene di particolare importanza trasformare il comportamento energetico del patrimonio edilizio esistente, e ancor più una sfida intervenire sulla parte di patrimonio edilizio di carattere storico.

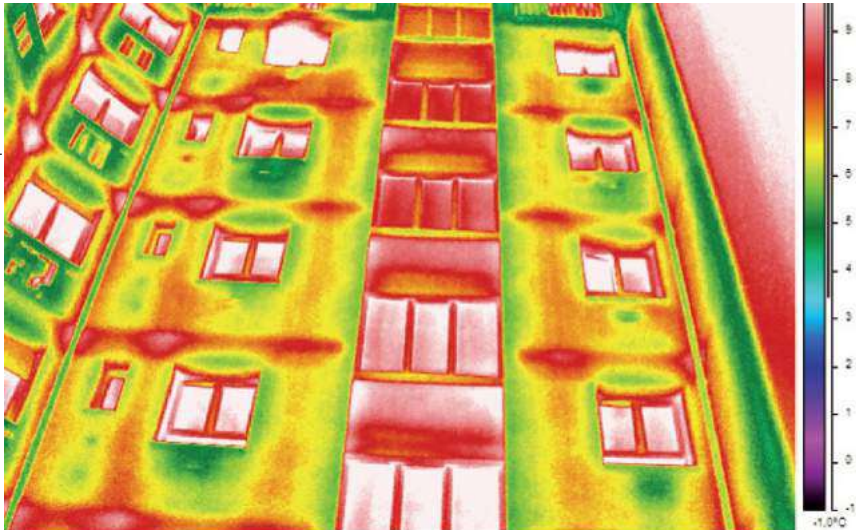
La problematica in questo senso è duplice: in prima istanza, la riconosciuta difficoltà di intervento sul patrimonio edilizio storico dovuta alla presenza di vincoli di tutela che ne limitano la libertà di azione progettuale e, in seconda istanza, l'incidenza considerevole esercitata dallo stesso ambiente già costruito maggiormente sui consumi energetici della città.

13. Cfr "I costi collettivi della città dispersa" di R. Camagni et al., 2010.

Immobile H.B.M. (Habitation à bon marché) degli anni 1924-30 in Avenue S. Bolivar, Heubés C. Architecte.



Avenue Ledru Rollin, 11eme arrondissement. Termografia edificio degli anni '20 del Novecento. Fonte: APUR



1.2 Rigenerare la città esistente: un obiettivo a cui tendere

Affinché un sistema complesso possa durare, non è sufficiente che sia reso ottimale solamente nel momento della sua realizzazione; deve anche adattarsi alle modificazioni dell'ambiente ed evolversi.

(Joel de Rosnay, 1995)

Le problematiche legate a fenomeni climatici - ondate di calore e isole di calore, scarsità d'acqua, siccità, forti precipitazioni, inondazioni improvvise, frane, deflusso delle acque urbane e aumento del livello del mare - richiedono la ricerca di specifiche soluzioni di intervento sull'influenza delle città¹.

I processi di urbanizzazione, che stanno trasformando gli insediamenti umani attraverso dinamiche incontrollate, come l'espansione urbana (nascita di nuovi quartieri) e la crescita della popolazione (crescente spostamento dalle aree rurali a quelle più urbanizzate) stanno avendo un impatto significativo sull'ambiente in termini di aumento delle emissioni di gas serra, deforestazione e impermeabilizzazione del suolo che sono considerati alcuni dei principali motori del cambiamento climatico (IPCC, 2014).

In questo ambito le due strategie di intervento più comuni ed efficaci per affrontare il cambiamento climatico sono la mitigazione

1. (IPCC, 2014).

e l'adattamento, rispettivamente attraverso la riduzione degli impatti e il far fronte agli stessi. La prima può essere realizzata attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra, la seconda attraverso azioni volte a modificare e adattare gli insediamenti umani agli effetti dei cambiamenti climatici. Queste due strategie, intrinsecamente interconnesse, possono essere intraprese all'interno di un quadro più ampio di una trasformazione urbana finalizzata a ridurre la dispersione territoriale, l'impermeabilizzazione del suolo e la conseguente emissione di gas serra.

Attraverso strategie di mitigazione² e adattamento³ - specifici interventi nel settore edilizio (riutilizzo di terreni urbani dismessi e brownfields, ristrutturazione di edifici abbandonati, sviluppo in-fill intorno agli snodi del trasporto pubblico) e sul piano energetico (miglioramento dell'efficienza energetica degli immobili, fornitura di energia da fonti rinnovabili locali), politiche nel campo del trasporto pubblico e della mobilità sostenibile (sistemi a bassa emissione di carbonio, reti di piste pedonali/biciclette), realizzazione di infrastrutture complete blu/verdi, sistemi di drenaggio urbano sostenibile e gestione delle acque e dei rifiuti (Privitera e La Rosa, 2015) - è possibile puntare al più generale obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra e di impermeabilizzazione di suolo, migliorando la qualità, la vivibilità, la sicurezza e l'attrattività dei centri urbani (Couch e Dennemann, 2000).

All'interno di interventi ad ampio respiro, numerosi sono i programmi di rigenerazione urbana in Europa sviluppati negli ultimi

2. Mitigare significa attuare politiche volte a ridurre le emissioni di gas serra, riducendo i consumi, aumentando l'efficienza energetica e migliorando i processi, le attività o i meccanismi che eliminano tali gas dall'atmosfera (IPCC, 2007).

3. Iniziative e misure per ridurre la vulnerabilità dei sistemi naturali e umani contro gli effetti, attuali o previsti, del cambiamento climatico. Le misure di adattamento si distinguono in funzione della fase in cui vengono attuate rispetto al verificarsi del fenomeno considerato (reattive o proattive), del soggetto che le mette in atto (pubbliche o private), e della loro pianificazione o meno (IPCC, 2007; Fussler, 2007). L'adattamento non riguarda la capacità di tornare in uno stato precedente (al verificarsi di un fenomeno), dal momento che tutti i sistemi sociali e naturali si evolvono, e per alcuni versi co-evolvono nel corso del tempo (Tompkins e Adger, 2003).

decenni, frutto di una strategia olistica orientata a raggiungere una maggiore qualità urbana oltre che la neutralità climatica (Lefèvre, 2009). Caratterizzati da un livello molto alto di complessità dei processi economici, sociali, politici e ambientali, essi si basano su politiche di sviluppo che prevedono la ricostruzione o la riconfigurazione degli spazi urbani (Paddison, 2012).

Dall'analisi di questi interventi emerge chiaramente come, per raggiungere quel complesso stato di equilibrio da molti definito "sostenibilità", sia necessario confrontarsi con il patrimonio edilizio dei tessuti storici, oltre che realizzarne di nuovi ad alta efficienza. In particolare, l'attuazione di programmi di intervento volti al recupero energetico di tessuti esistenti è in molti casi considerata una delle azioni più efficaci per il perseguimento di uno sviluppo urbano maggiormente sostenibile.

In questa logica rientra una quantità crescente di trattazioni teoriche che evidenzia il ruolo nodale che la riqualificazione energetica del patrimonio esistente riveste nella definizione delle politiche di trasformazione urbana (Newman e Jenning, 2008).

Se infatti un gran numero di ricerche sperimentali ha dimostrato l'efficacia della costruzione di nuovi alloggi ad alte prestazioni, come ad esempio la categoria degli edifici passivi (Lefèvre, 2009), tuttavia gli obiettivi fissati per ridurre il consumo di energia e le emissioni di gas serra richiedono soprattutto un'azione sul patrimonio edilizio esistente per ridurre il suo impatto (Cluzet, 2012). Inoltre, la lunga durata di vita degli edifici (costruiti in muratura tradizionale o intelaiate) si traduce in una permanenza secolare delle caratteristiche originarie. Questo implica non solo che è necessario agire oggi per ottenere risultati domani, ma anche che la grande maggioranza delle opere (sia nuove costruzioni che riqualificazioni) che si stanno realizzando attualmente saranno ancora in uso nel 2050 e devono, quindi, rispondere a requisiti ambiziosi (CSTC, 2016). Le ragioni per procedere attraverso una politica di riqualificazione sono molteplici: riduzione del consumo energetico, miglioramento del comfort, protezione dell'edificio, aumento del valore dell'edificio, redditività e indipendenza dai costi energetici, rinnovamento urbano, protezione del clima (Lefèvre, 2009).



Per ragioni semplicistiche, l'analisi dell'impatto ambientale è spesso ridotta al calcolo delle emissioni di gas serra e alla classificazione di quest'ultime in ordine di quantità (dal maggiore produttore di emissioni fino ad arrivare al minore). Per estensione, è l'aspetto energetico che viene enfatizzato per valutare la sostenibilità di un particolare intervento (e quindi più in generale dei lavori di riqualificazione). Il consumo energetico di un edificio è infatti influenzato da sei fattori: il clima, l'involucro dell'edificio, le attrezzature tecniche, la manutenzione, le attività e le abitudini degli occupanti e il livello di qualità dello spazio interno. La maggior parte degli studi si concentra sui primi tre fattori, che sono più facilmente sperimentabili. In questo senso, è possibile sintetizzare in una sorta di "triade energetica" le tre tappe fondamentali per migliorare l'efficienza energetica (Verbeeck, 2005; Audenaert et al 2012): riduzione del consumo di energia (per esempio l'isolamento), uso di energia rinnovabile, efficienza nell'uso di energia non rinnovabile. Allo stesso modo, i principi passivi (meno restrittivi della definizione esatta di passivo) vengono gradualmente introdotti nelle ristrutturazioni, consentendo miglioramenti delle prestazioni

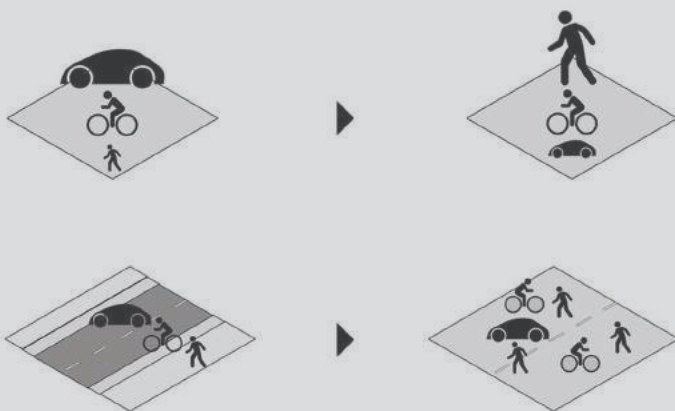
dell'80-95% e migliorando il comfort (Mlecnick 2010). Anche se gli studi dedicati sono più rari, vale comunque la pena menzionare le esternalità positive della riqualificazione sull'ambiente oltre al risparmio energetico e alle emissioni di gas serra. Ridurre l'espansione urbana aumentando la densità urbana, ridurre l'inquinamento atmosferico, ridurre il consumo di risorse naturali, sono tutti vantaggi che sono stati oggetto di studi ad hoc altrove in Europa per valutare la loro importanza. L'intervento sugli edifici esistenti rappresenta pertanto una questione ancora più urgente delle preoccupazioni riguardanti i principi di progettazione del nuovo intervento (Allacker, 2013), soprattutto se previsto in contesti di nuova espansione o in situazioni di isolamento⁴.

Il patrimonio edilizio non rappresenta dunque solamente una "quantità" urbana⁵ da tutelare, ma una specifica identità storico culturale da riqualificazione in un'ottica energeticamente sostenibile.

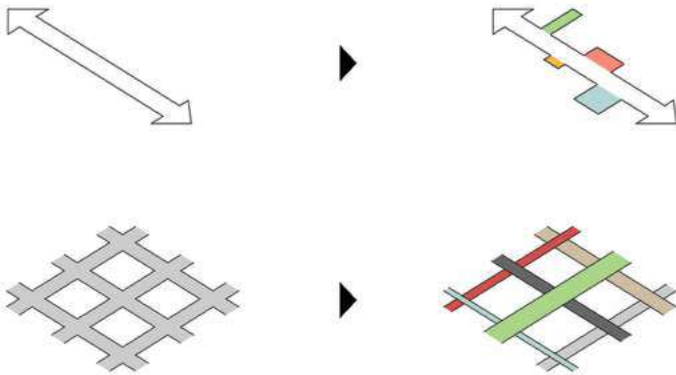
4. Anche se è stato ancora scarsamente messo in luce, una generale debolezza dei vincoli urbanistici non scoraggia abbastanza l'espansione urbana, e non contribuisce in molti casi alla possibilità di concentrare risorse ed energie urbane su porzioni urbane già costruite e sulle abitazioni esistenti. Ad esempio, una tassazione significativa sull'urbanizzazione delle terre non costruite aiuterebbe a guidare in tal senso il mercato abitativo e costruttivo (Dubois et al., 2015).

5. Cfr «Introduzione alla riqualificazione energetica ed ambientale degli edifici storici, Rosa, 2013

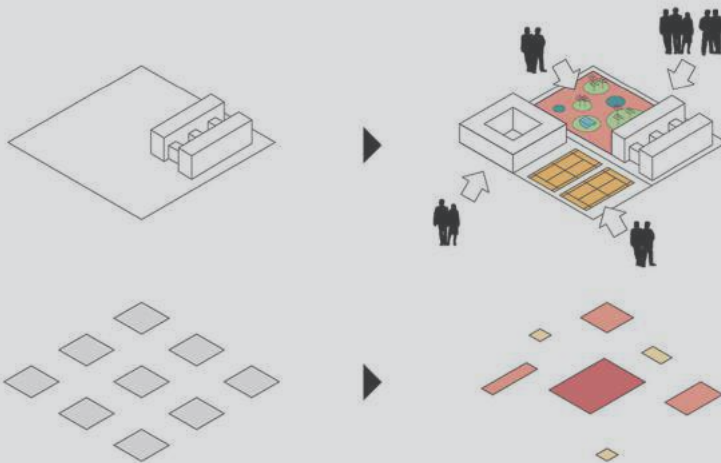
Trasformazione della gerarchia delle reti di mobilità: pedonale, ciclabile e automobilistica.
Fonte: ADEPT



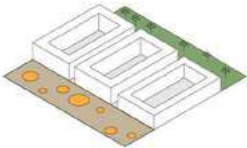
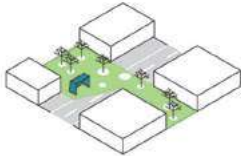
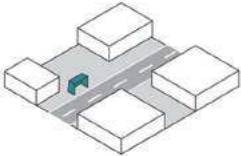
Trasformazione
della maglia dei
percorsi.
Fonte: ADEPT



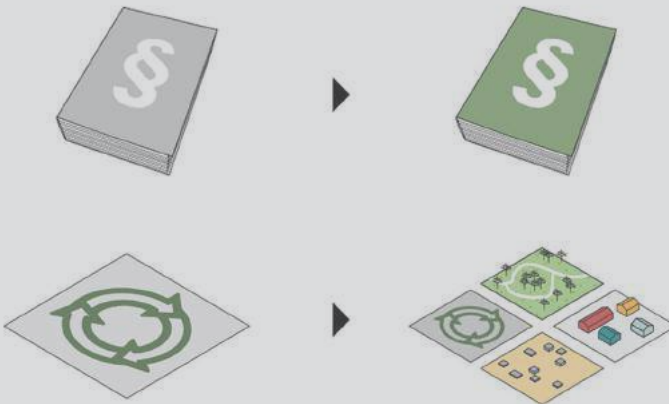
Trasformazione
degli vuoti ur-
bani.
Fonte: ADEPT



Progetto degli
spazi verdi e dei
percorsi.
Fonte: ADEPT

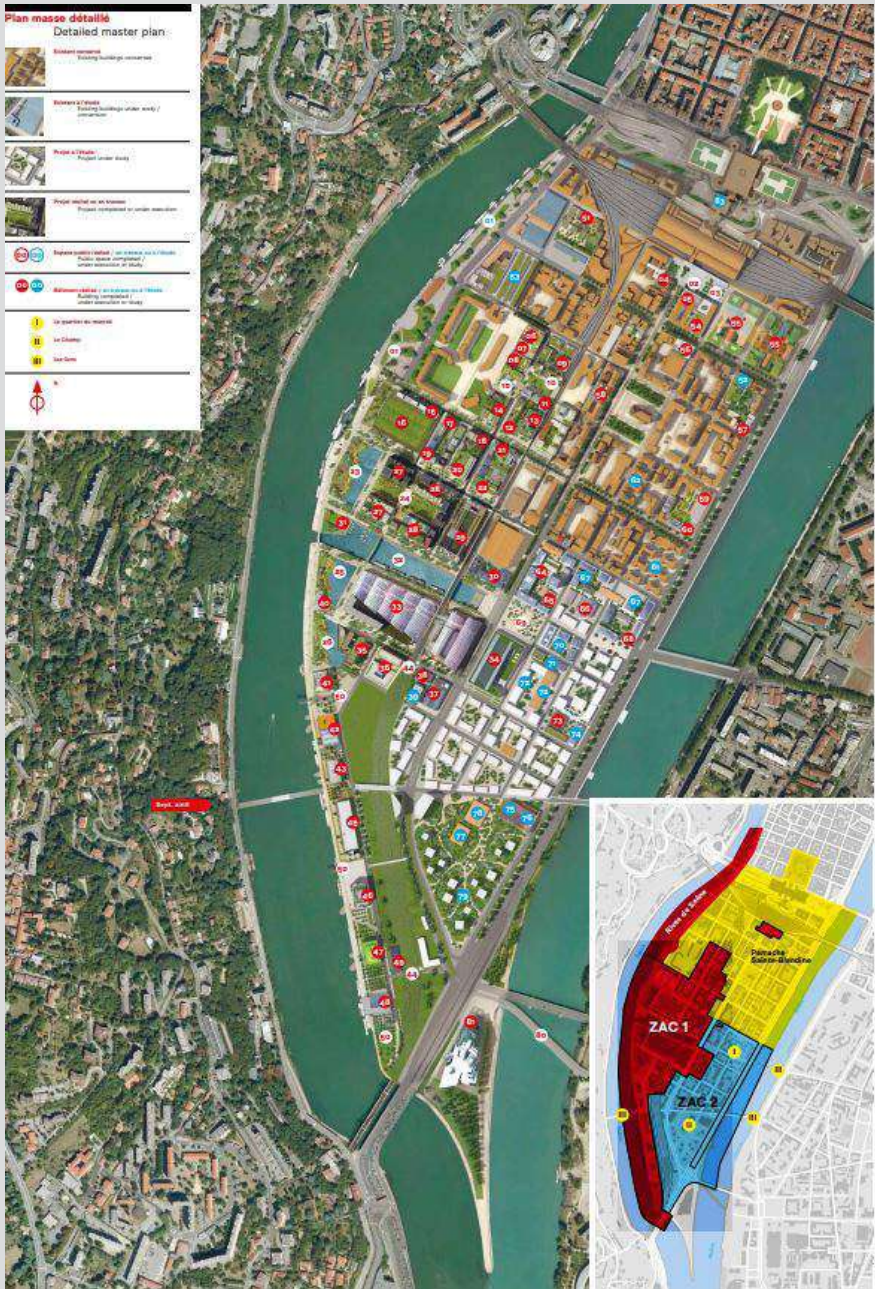


Strategie di progetto per la trasformazione in chiave sostenibile.
Fonte: ADEPT



La ZAC “Lyon Confluence”

Planimetria di progetto.
Fonte: Lyon Confluence





Progetto degli spazi verdi.
Fonte: Lyon Confluence



Rete degli edifici energeticamente produttivi.
Fonte: Lyon Confluence

1.3 Dalla città plasmata dal clima, alla città che influenza il clima

“È un fatto riconosciuto che le forze della natura hanno un effetto diretto sulla formazione degli oggetti. [...] Come a volte in fisica, la conoscenza delle forme porta all’interpretazione delle forze che l’hanno plasmata, altre volte la conoscenza delle forze all’opera guida una migliore comprensione della forma stessa”¹
(Olgyay, 1963).

Con queste parole Victor Olgyay, pioniere degli studi sull’architettura e l’urbanistica bioclimatica, introduce il tema della relazione tra morfologia urbana e clima nel famoso libro “Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism” (Olgyay, 1963). Adottando un parallelismo con la Fisica, per cui la conoscenza della forma conduce all’interpretazione delle forze che la hanno plasmata, anche nello studio della forma urbana e della morfologia dell’edificato è possibile individuare l’influenza delle “forze” che l’hanno generata.

Tra queste, il clima rappresenta un elemento che ha condizionato profondamente il modo di costruire nel corso della storia, esercitando un effetto diretto sulla formazione degli insediamenti nei differenti contesti geografici. La forma dei tetti, la disposizione delle aperture in facciata, l’ampiezza delle strade e la forma degli

1. Olgyay, Victor, et al. “Environment and building forms.” *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism – New and Expanded Edition*, REV-Revised, Princeton University Press, 2015, pp. 84–93.

spazi pubblici, oltre che la localizzazione stessa degli insediamenti, riflettono tanto la cultura e le tecniche proprie di ciascun luogo quanto l'adattamento alle condizioni geografiche e climatiche locali².

Analizzando la struttura degli insediamenti storici e le caratteristiche costruttive e tipologiche del costruito non vi è dubbio che possa essere individuata una relazione tra tipologia edilizia, morfologia urbana e clima. Caratteristiche costruttive e morfologiche paragonabili possono infatti essere riscontrate in zone del mondo anche molto differenti per cultura e storia, ma che condividono lo stesso clima (Beckers, 2012; Coch & Serra, 1995; Givoni, 1998; Golany, 1996; Olgyay, 1963).

La relazione tra forma e clima è inoltre riscontrabile tanto alla scala dell'edificio quanto alla scala urbana. La struttura della città antica, infatti, non è il risultato della giustapposizione casuale degli edifici, bensì riflette una regola di conformazione a scala maggiore, con aggregati urbani tanto più densi e compatti in relazione a condizioni climatiche benefiche o meno (Cornoldi & Los, 1982; Givoni, 1998; Higuera, 2006; Olgyay, 1963).

Si tratta invero di un processo che può essere definito naturale, non essendo stata la costruzione della città intenzionalmente condotta sotto il rigido controllo volto all'ottimizzazione del comportamento energetico. Una molteplicità di fattori ha infatti

2. Nell'antica Roma, la basilica civile romana, un vasto spazio coperto con varie funzioni - tra cui il commercio, la giustizia e il passeggio - serviva come piazza pubblica tanto quanto lo spazio aperto del Foro. La sua capacità di fornire freschezza durante la calura estiva gli conferisce naturalmente uno status unificante. Il desiderio pubblico di dotare ogni quartiere di un luogo fresco sembra essere aumentato a partire dal Rinascimento: a Roma in particolare, ci sono più di novecento chiese del periodo barocco. Se la basilica o il taglio offrivano spazi freschi in estate, la taverna nel Medioevo, e poi il caffè nel secolo dei Lumi, fornivano calore e convivialità in inverno, quando la legna da ardere era costosa e rara. Erano allora dei veri spazi pubblici, riconosciuti nel vecchio nome inglese di pub, abbreviazione di public house. Il primo caffè aprì a Parigi nel 1672, seguito dal Procope nel 1684. Il loro sviluppo fu rapido: c'erano trecento caffè nella capitale nel 1710 (c'erano tremila pub nello stesso periodo a Londra). La Francia aveva 200.000 caffè nel 1960, rispetto a meno di 36.000 oggi. Il declino del numero di caffè è correlato alla diffusione dei sistemi di riscaldamento nelle case. (Rahm, 2020).

Fez (Marocco):
panorama della
medina.



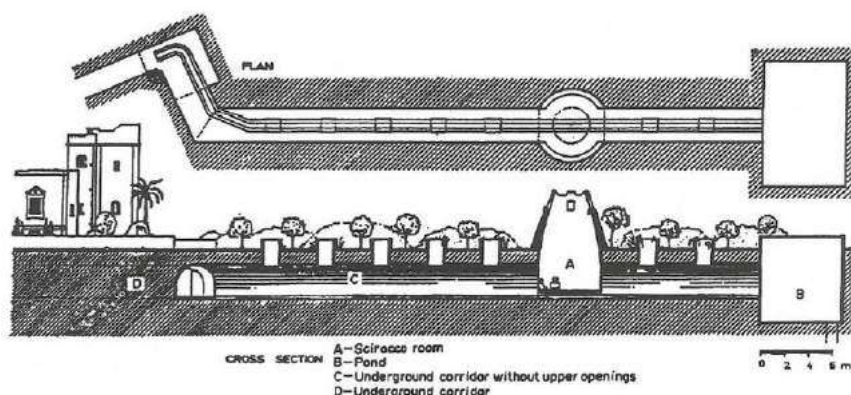
contribuito a determinare la conformazione e lo sviluppo delle città antiche, quali esigenze difensive e logistiche³, concezioni religiose, caratteri culturali e artistici, dinamiche politiche ed economiche, stratificazioni storiche, spesso in assenza di un disegno preordinato all'organizzazione complessiva.

Ma la capacità di condizionare il clima locale dell'ambiente urbano e all'interno degli edifici, utilizzando unicamente le risorse localmente disponibili, è stata una delle qualità che ha caratterizzato le soluzioni urbane storiche (Rogora, 2013). In un periodo in cui le risorse energetiche erano scarse e preziose, l'unico modo per garantire livelli di comfort accettabili durante tutto l'anno era

3. L'affluenza della società durante il Rinascimento favorì l'emergere della professione di architetto, in particolare con Filippo Brunelleschi e Leon Battista Alberti nell'Italia del XV secolo. Nei loro progetti di città, il compito primario di proteggere i raccolti dietro un muro dai saccheggiatori fu assunto come fondamento formale, portando a piani con una geometria rigorosa: convessa, a forma di stella o circolare, con un recinto come barriera contro gli aggressori. Le città sono concepite e progettate prima di essere costruite. Dovevano anche resistere al fuoco dei cannoni a polvere e delle armi da fuoco. Queste forme difensive geometriche semplici e pure, che danno loro una qualità ideale e geometrica, continuarono fino all'inizio del XIX secolo (Rahm, 2020).



La Camera dello Scirocco di Fondo Micciulla, Palermo



La Camera dello Scirocco di Villa Amblesì Palermo.
Fonte: Giacomo Di Ruocco

l'impiego di tipologie costruttive che fossero “efficienti” da un punto di vista energetico.

L'edificio e la città rappresentavano l'unica protezione alle avversità climatiche esterne e permettevano di modificare gli apporti energetici naturali, quali luce, calore e ventilazione in modo da costituire un “clima interno” più favorevole, in assenza di fonti energetiche alternative.

In epoche in cui la disponibilità di energia per la climatizzazione degli ambienti era scarsa o nulla, l'architettura e la morfologia urbana agivano come unico filtro rispetto alle condizioni esterne,

determinando delle condizioni artificiali che rispondessero alle esigenze di comfort dell'uomo⁴.

La ricerca di condizioni di comfort sempre più elevate e, soprattutto, l'introduzione di nuove fonti energetiche ha profondamente influenzato la storia dello sviluppo urbano e l'evoluzione dell'architettura.

Oggi, infatti, possiamo beneficiare di un livello di comfort ben più alto rispetto al passato grazie a sistemi di controllo ambientale che ci permettono di ottenere il clima desiderato, indipendentemente dalle condizioni esterne⁵. Sistemi di riscaldamento, climatizzazione, ventilazione meccanica e controllo domotico hanno completamente affrancato l'architettura dai vincoli climatici.

Ma nel passaggio "dalla caverna alla casa ecologica" (Butera, 2004) le esigenze di comfort e i consumi di energia associati alla città sono profondamente mutati, così come il rapporto tra architettura e clima. Basti pensare che nonostante le condizioni

4. In "Entretiens sur l'architecture" (1863), Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc analizza gli spazi pubblici dell'epoca romana, come le terme, le basiliche e i templi: "Questi grandi monumenti romani [...] conservano una temperatura interna uniforme e calda, che sarebbe molto preziosa in un clima come il nostro. [...] Ciò è dovuto non solo alla disposizione della pianta, che è simile a quella romana, ma anche alla natura della costruzione. I muri spessi di blocchi e mattoni non trasmettono né calore né umidità fredda dall'esterno; formano una barriera neutrale alla temperatura esterna. Così, enormi edifici senza funzione religiosa furono messi a disposizione dei cittadini dalla Res publica romana. Come il Pantheon a Roma, ospitavano tribunali, uffici governativi, banche, negozi e servivano come spazio pubblico coperto.

5. Anche se fin dalla preistoria si sapeva come riscaldare artificialmente l'aria con il fuoco, fino all'inizio del XX secolo non esisteva un modo tecnico per raffreddarla - a parte metterla in contatto con il ghiaccio, che veniva conservato in ghiacciaie sotterranee durante l'inverno o trasportato per nave dai climi freddi. Fu l'ingegnere Willis Carrier, dipendente di un'azienda americana di ventilazione, a inventare l'aria condizionata nel 1902. È riuscito a controllare il livello di umidità e ha scoperto per caso che poteva controllare anche la temperatura. Il processo si raffredda per convezione - soffiando l'aria come un vento - ma si raffredda soprattutto per conduzione, abbassando la sua temperatura. Nel 1955, un americano su ventidue aveva l'aria condizionata, e nel sud era uno su dieci. A metà degli anni '70, il 90% degli edifici nel sud degli Stati Uniti aveva l'aria condizionata. Il numero di condizionatori d'aria sul pianeta è triplicato negli ultimi 30 anni e nel 2016 ha rappresentato il 10% del consumo mondiale di elettricità - compresi i ventilatori (Rahm, 2020).



Condizionatori in facciata in una strada Indiana.

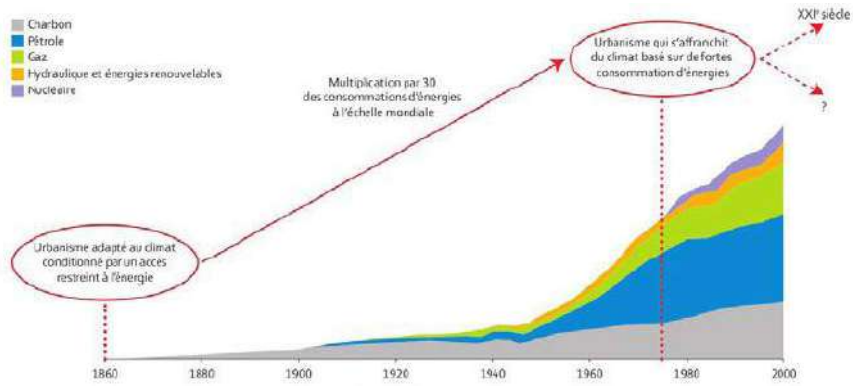
climatiche favorevoli durante buona parte dell'anno, nel contesto Mediterraneo siamo ormai sempre più abituati ad avere uffici, negozi, servizi, trasporti e anche buona parte delle abitazioni totalmente climatizzate, in quanto l'architettura ha completamente perso il ruolo di filtro bioclimatico che aveva nel passato.

Una chiave di lettura interessante dell'evoluzione del rapporto tra architettura e clima e dello sviluppo dell'insediamento urbano attraverso le epoche storiche è senza dubbio l'effetto prodotto dall'introduzione di nuove fonti energetiche nella maniera di concepire e progettare la città (De Pascali, 2008, Apur, 2012, Higuera, 2006). Ogni epoca è in qualche modo caratterizzata da un sistema energetico, al quale a sua volta corrisponde una organizzazione insediativa.

Il declino di uno dei due, innesca inevitabilmente un processo di cambiamento, più o meno lungo o traumatico, verso nuovi sistemi di adattamento che tentano di superare i vincoli imposti da quelli vecchi (De Pascali, 2008).

L'introduzione di nuove fonti energetiche e il grado di accessibilità dell'energia ha infatti più volte determinato cambiamenti radicali sulle modalità di crescita delle aree urbane e sulla loro

Urbanizzazione e consumo di energia dal 1860 ad oggi, APUR 2012



conformazione. A tali trasformazioni corrisponde generalmente anche un rapido incremento del livello di qualità della vita degli abitanti, a cui però è associato, inevitabilmente, un incremento dei consumi energetici a scala globale.

Lo studio della relazione tra domanda energetica e qualità di vita permette di comprendere le dinamiche che hanno indotto ad affrontare la questione energetica e ambientale delle realtà urbane e metropolitane contemporanee. Una veloce rassegna delle modalità di evoluzione del sistema insediativo in funzione dell'energia appare pertanto utile per collocare l'epoca attuale rispetto a questo punto di vista.

Prima dell'avvento della rivoluzione industriale, gli insediamenti umani e la loro costruzione erano strettamente legati all'ambiente e all'utilizzo sapiente delle risorse naturali del contesto di appartenenza (Butera, 2004; Knowles, 1974; Sertorio, 2002)

Il clima, le risorse locali materiali ed energetiche hanno determinato e conformato le tecniche costruttive, le tipologie edilizie e lo stile di vita dell'uomo dagli insediamenti primitivi⁶ fino all'alba della rivoluzione industriale senza radicali cambiamenti. L'uso

6. I vestiti e l'architettura hanno in comune la funzione di mantenere un film più o meno spesso di aria intorno alla pelle, ad una temperatura ideale (tra 20° e 28°C). Essendo l'aria il miglior isolante termico, sono le bolle d'aria contenute tra le fibre della pelliccia o della lana, ma anche nella neve o nel ghiaccio, che proteggono il corpo eschimese dal freddo. All'interno di un igloo, c'è un microclima in cui la temperatura è di 20°C superiore a quella esterna (Rahm, 2020)

esclusivo della forza muscolare umana e animale per il trasporto e gli spostamenti, ha costituito un vincolo non indifferente sulle distanze percorribili, sui pesi trasportabili e sui tempi necessari al compimento di ciascun processo, imponendo restrizioni forti alle possibilità di localizzazione dell'insediamento, alla sua estensione e alle tipologie edilizie e costruttive realizzabili⁷.

La rivoluzione industriale segna, evidentemente, un punto di svolta cruciale rispetto alla storia precedente, avviando cambiamenti tecnologici, sociali ed economici di epocale importanza, che hanno profondamente mutato la maniera di concepire, costruire e vivere la città. L'introduzione del carbone quale nuova fonte energetica ha fatto sì che nella città industriale si generassero le condizioni per superare i vincoli che nell'epoca precedente avevano condizionato lo sviluppo urbano, aprendo rapidamente la strada ad un nuovo modello di espansione territoriale.

In un arco temporale relativamente breve rispetto alla storia dell'umanità, il processo di industrializzazione ha prodotto un aumento impressionante dei consumi a livello globale, concentrando nel nuovo modello urbano gli impieghi energetici connessi alla produzione industriale, ai servizi, all'aumento della popolazione urbana, al sistema dei trasporti e, non in ultimo, al progressivo innalzamento del tenore di vita dei cittadini.

La nascita della città industriale ha segnato pertanto l'avvio di una seconda fase di sviluppo dei sistemi insediativi, profondamente differente rispetto alla precedente: una progressiva

7. Al volgere del primo millennio, l'Europa conobbe un'improvvisa e rapida evoluzione nelle pratiche agricole - rotazione triennale delle colture, aratura -, nell'uso dell'energia animale - ferratura dei cavalli, collari a spalla, allevamento di animali - e nell'uso di fonti di energia naturale (mulini ad acqua o a vento). Queste trasformazioni simultanee hanno migliorato l'efficienza del lavoro e aumentato la produzione del suolo. Le conseguenze furono molteplici: la popolazione dell'Europa triplicò tra il IX e il XIV secolo; l'emergere della casta borghese; lo sviluppo di un "benessere alimentare" che permise a molte persone di liberarsi dal lavoro nei campi per dedicarsi a questioni filosofiche, tecniche, artistiche o scientifiche e ad attività commerciali o artigianali. Questo è stato il tempo in cui sono state create le opere d'arte e d'architettura che sono arrivate fino a noi. Le cattedrali gotiche furono costruite per la prima volta in Francia, mentre le terre alluvionali, lavorate dall'aratro, producevano molto grano (Rahm, 2020)

“denaturalizzazione” delle città, che raggiungerà il suo apice negli anni ‘30.

La massiccia migrazione della popolazione dalla campagna alla città ha determinato condizioni di emergenza abitativa e sanitaria che hanno mutato profondamente i processi e le tecniche di costruzione e le modalità di organizzazione dei sistemi urbani. In questo processo, il Movimento Moderno internazionale e l’urbanistica razionalista rappresentano l’apice di un nuovo modello di sviluppo, in cui l’architettura perde progressivamente i legami con il contesto naturale, per rispondere ad esigenze di economicità, funzionalità e rapidità di realizzazione.

In questo panorama, un ulteriore passaggio fondamentale è costituito dalla distribuzione a rete dell’elettricità. La disponibilità di energia elettrica, senza vincoli di tempo e di uso ha permesso la definitiva rottura del nesso localizzativo tra insediamento urbano e luogo di produzione, in virtù della possibilità di distribuzione a distanza, consentendo il soddisfacimento di nuovi servizi per la vita quotidiana della città (De Pascali, 2008).

Inoltre, l’avvento dell’elettricità costituisce una rivoluzione radicale nella modalità di concepire e progettare gli edifici e la città. La diffusione dell’ascensore e dei sistemi di ventilazione meccanica ha consentito un rapido sviluppo verticale dell’edificato. I numerosi studi sulla tipologia a torre costituiscono una novità per l’architettura dell’epoca. Essa consentiva al contempo di soddisfare i requisiti di densità abitativa a fronte dell’incremento esponenziale di domanda abitativa, e di liberare buona parte del suolo urbano contribuendo a risolvere problemi di congestione e traffico. Si afferma così la tipologia del grattacielo e la nascita di paesaggi urbani “verticali” che oggi costituiscono l’immaginario collettivo della città per antonomasia.

Allo stesso modo l’avvento dell’era del petrolio, che conosce la sua massima espansione con la diffusione della motorizzazione privata dal secondo dopoguerra, introduce una modifica profonda nell’organizzazione urbana. La città si estende e si disperde in orizzontale, con il proliferare di sobborghi periferici che, nel corso

degli anni, hanno dato vita al fenomeno della “dispersione abitativa” (o sprawl urbano), oggi oggetto di profonda critica per i costi ambientali che ne sono derivati.

Come emerso, le “rivoluzioni energetiche” hanno profondamente influenzato il mutamento dei caratteri dell’architettura tradizionale e la morfologia dell’insediamento urbano. La disponibilità di energia “teoricamente illimitata” ha progressivamente allontanato le tecniche costruttive e la pratica della progettazione architettonica e della pianificazione dalle caratteristiche locali del contesto, conducendo a processi di omologazione degli esiti formali in ogni parte del mondo.

In particolare, a partire dall’era della città industriale e fino ai giorni d’oggi, la disponibilità di energia a basso costo, l’industrializzazione del processo edilizio e lo straordinario aumento della popolazione urbana, hanno completamente affrancato il progetto architettonico dai vincoli climatici del contesto geografico di appartenenza, delegando la funzione di controllo del microclima ai sistemi di climatizzazione e riscaldamento.

Ciò ha inevitabilmente determinato un incremento esponenziale dei consumi energetici legati al settore civile, in quanto i sistemi impiantistici, seppur tecnologicamente evoluti ed efficienti, necessitano di approvvigionamenti energetici sempre più onerosi per poter garantire i livelli di comfort cui siamo ormai abituati. Il divario tra l’impiego di energie da fonti fossili ed energie passive o da fonte rinnovabile a partire dagli anni ’60 è diventato sempre più grande (Fernández, 2014), in parallelo ad una crescita costante della popolazione urbana e del consumo di suolo.

Attualmente, l’inarrestabile incremento dei consumi energetici in ambito urbano è determinato anche da un progressivo processo di “terziarizzazione” che caratterizza la città post-industriale e contemporanea (Burdett & Sudjic, 2007), e dal lascito di politiche precedenti, quali l’incentivazione del sistema di trasporto basato su gomma che ha prodotto un’estensione indiscriminata dell’edificato sul territorio.

Le trasformazioni avvenute nel XX secolo hanno causato, in

seguito al passaggio dal modello urbano preindustriale a quello moderno e al conseguente aumento esponenziale della popolazione e dell'energia associata al funzionamento del sistema, l'aumento del consumo di energia su scala mondiale di 30 volte.

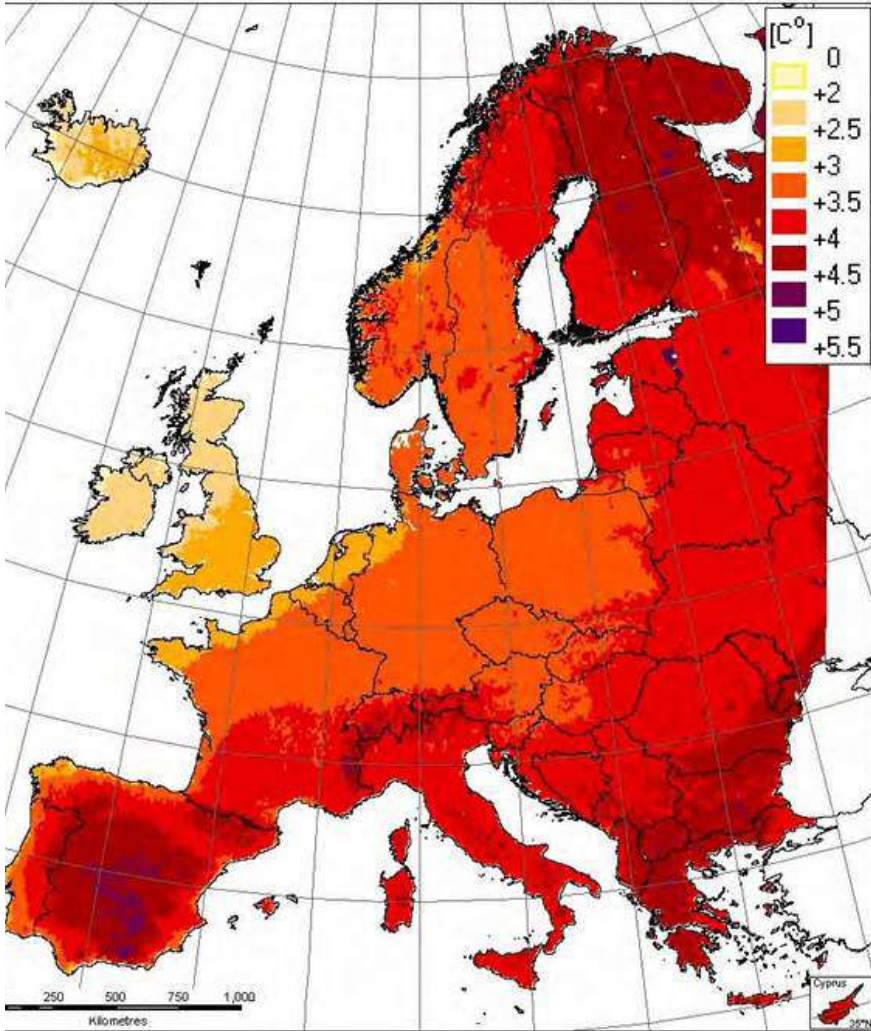
Analizzando i dati dei consumi energetici in parallelo a quelli della crescita della popolazione urbana, si nota un periodo di stasi e diminuzione dei consumi solo negli anni 30-40. A partire dal secondo dopoguerra, il boom economico che interessa gran parte del mondo occidentale determina un incremento ancora più rapido dei consumi energetici, che raggiunge un culmine negli anni 70-80, periodo nel quale la popolazione urbana raggiunge i valori massimi nel contesto occidentale e sperimenta i primi effetti dell'insostenibilità dei ritmi di consumo di risorse energetiche e ambientali non rinnovabili.

Ma la crescita dei consumi urbani, e in particolare di quelli del settore residenziale, non è da imputarsi solo all'innalzamento del tenore di vita degli abitanti e all'aumento della popolazione. La città, che un tempo era costituita di edifici in grado di assicurare un buon comportamento energetico durante tutto l'anno sfruttando gli effetti benefici del clima e proteggendosi dalle avversità mediante l'impiego

Conseguenze
del cambia-
mento clima-
tico.

Fonte: IPCC,
2007

TEMPERATURA ATMOSFERICA	La temperatura atmosferica è aumentata in tutto il mondo, ed in modo più consistente alle latitudini più settentrionali
TEMPERATURA MARINA	La temperatura dei mari e degli oceani è cresciuta notevolmente anche a grandi profondità La temperatura terrestre si è riscaldata più velocemente di quella marina
LIVELLO DEL MARE	Il livello del mare è globalmente aumentato in media di circa 2 mm all'anno negli ultimi 50 anni
GHIACCI E NEVI	I ghiacciai e la copertura nevosa sono notevolmente diminuiti in entrambi gli emisferi
PRECIPITAZIONI	Nell'ultimo secolo le precipitazioni sono aumentate nella parte orientale del Nord e Sud America, nell'Europa settentrionale, in Asia centrale e settentrionale, mentre sono diminuite nell'Africa settentrionale e meridionale, nel Mediterraneo, e nell'Asia meridionale.
EVENTI	Gli eventi estremi sono cambiati in intensità e frequenza negli ultimi 50 anni.
METEOROLOGICI ESTREMI	Sulla maggior parte della terraferma i giorni freddi e le gelate notturne sono meno frequenti, mentre i giorni e le notti calde sono più frequenti. E' aumentata la frequenza delle ondate di calore, e la frequenza delle precipitazioni più intense nella maggior parte delle zone. L'incidenza di mare alto è aumentato, dal 1975, in un vasto numero di siti in tutto il mondo



Variatione delle temperature secondo le previsioni dell'IPCC. Fonte: IPCC

di materiali e morfologie idonee, si è progressivamente trasformata in un coagulo di edifici dalle forme più disparate, guidati dalla logica della realizzazione veloce e a basso costo, uniformati dall'estetica del calcestruzzo e del vetro, noncuranti delle conseguenze microclimatiche interne ed esterne.

La maggior parte del patrimonio edilizio esistente non è infatti stato progettato in considerazione del clima di riferimento e a volte “funziona peggio del clima stesso” (Coch, 1998). La scarsa attenzione per le prestazioni ambientali dell'architettura ha determinato un aumento delle dispersioni termiche invernali e dei carichi estivi, che contribuisce all'incremento dei consumi energetici per la climatizzazione e il riscaldamento.

Alla luce di questo quadro generale, non risulta difficile comprendere per quale motivo il consumo energetico a scala urbana sia pericolosamente cresciuto negli ultimi decenni, soprattutto nella stagione estiva, a causa dell'impiego ormai diffuso dei sistemi di condizionamento, e di quanto tale problema sia rilevante considerando la quantità di popolazione che risiede in città di media e grande dimensione.

Tuttavia, la consapevole preoccupazione per la questione energetica si è concretizzata solo a partire dagli anni '70, quando la società occidentale ha preso coscienza delle enormi problematiche legate al possibile esaurimento dei combustibili fossili, in conseguenza di una improvvisa e inaspettata interruzione del flusso di approvvigionamento del petrolio a seguito della guerra del Kippur prima (1973) e della rivoluzione iraniana poi (1979).

Da allora, “il problema energetico si rappresenta tragicamente, come vicinissimo e indifferibile esaurimento dei combustibili fossili con il prevedibile conseguente aumento dei prezzi, progressivo, inesorabile, strangolante” (De Pascali, 2008). Nonostante le crisi degli anni '70 abbiano determinato un breve periodo di stallo nella curva di incremento dei consumi energetici, a tutti gli effetti, nell'arco di pochi anni, i consumi sono tornati a crescere più di prima.

Finora, il processo evolutivo che nel corso della storia ha portato all'introduzione di nuove fonti energetiche e a nuovi stili di vita ha

determinato indubbiamente un innalzamento della qualità della vita e l'avanzamento delle conoscenze, ma con costi sociali e ambientali anche molto alti. Quello che oggi si mette in dubbio, a discapito della trasformazione storica descritta, è che sia possibile trovare “nuove strade energetiche” in grado di soddisfare il livello della domanda attuale senza mettere in discussione il modello espansivo su cui è fondato, per il quale l'ingresso nella fase di crisi è ormai sancito.

Il tentativo di rispondere all'insostenibilità dei consumi attuali mediante una maggiore efficienza dei sistemi svela la scelta di perseguire sulla strada dell'espansione e della crescita, nonostante l'evidenza di impatti già tangibile e irreversibili sull'ambiente e dei conseguenti costi sulla collettività.

Nonostante il cambiamento climatico sia un fenomeno riconosciuto⁸, anche se non in maniera totalmente unanime (vedi Box), la significatività delle conseguenze da esso determinate richiede che si applichi il principio di precauzionalità, e che le responsabilità vengano chiaramente identificate. Sia che si tratti di un cambiamento legato alle emissioni antropogeniche, sia che si tratti della naturale variabilità climatica⁹ si avrà un inasprimento dei rischi climatici attuali, si presenteranno nuovi rischi - ma anche nuove opportunità - che avranno ripercussioni significative sulla società (salute, sistemi economici, trasporti, ecc.), e sui sistemi naturali che sostentano la vita (servizi ambientali, disponibilità e qualità delle risorse naturali).

Siamo infatti arrivati al paradosso che, se un tempo l'architettura costituiva una difesa e una protezione per l'uomo rispetto all'ambiente, oggi rappresenta una minaccia all'ambiente e al clima stesso. L'estensione delle aree urbane, la densità del costruito, l'impermeabilizzazione dei suoli, la produzione di calore antropogenico hanno già cambiato il clima urbano in tutte le aree del globo, determinando il fenomeno

8. L'IPCC ha ribadito però che “il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile” e, con un “livello di confidenza molto alto” ha indicato le attività umane come sua causa.

9. Il clima terrestre ha sempre mostrato, anche nel remoto passato, una marcata variabilità

dell'isola di calore che risulta particolarmente preoccupante dal punto di vista della salute dei cittadini e dell'incremento dei consumi per la climatizzazione estiva.

In base a quanto riportato nel Quarto rapporto sul cambiamento climatico dell'International Panel on Climate Change (IPCC, 2007) i cambiamenti climatici già in atto tenderanno, con grande probabilità, ad acuirsi (Tabella 1) e gli impatti da essi generati, solo in parte prevedibili (Figure 5 e 6), si presenteranno con sempre maggior evidenza (innalzamento delle temperature e del livello medio dei mari, variazione nella frequenza e intensità delle precipitazioni, ecc.).

Se, come visto, le città sono causa del cambiamento climatico, nel contempo subiscono, in maniera sempre più rilevante, gli effetti; esse rappresentano dunque non solo il problema, ma anche parte della soluzione sulla quale intervenire (Bussadori, 2013).

In questo contesto, lo studio della relazione tra tessuto urbano esistente e clima torna ad essere di forte interesse, ma in una forma diversa rispetto al passato, descrivendo il passaggio dallo studio delle conformazioni urbane che meglio si adattavano al clima locale in funzione delle esigenze dell'uomo, allo studio delle caratteristiche del tessuto urbano che garantiscano il minor impatto sul clima, quindi una minore incidenza sul piano dei consumi energetici.

Lo studio della relazione tra tessuto urbano, consumo energetico e microclima che esporremo nei capitoli successivi risponde in effetti a questo interesse, ed è pertanto volto all'individuazione di strategie efficaci di riduzione della domanda energetica a scala urbana, che possano consentire una riduzione dell'impatto ambientale della città esistente e futura.

1.4 Vulnerabilità del tessuto urbano ai cambiamenti climatici

«Come ne' corpi fisici, essendo tutte le parti, per esempio, della terra, attive, senza una cagione prementele e mantenelele dell'unione, ella diverrebbe un mucchio di arena, le cui parti sarebbero corpicelli resilienti»¹

(Antonio Genovesi, ante 1769)

La vulnerabilità dei sistemi urbani, che si dichiara in tutta la sua prepotenza nella contemporaneità, affonda le radici nel secolo scorso e, paradossalmente, è figlia dei grandi progressi tecnologici del primo Novecento².

Con la crescita delle città e la loro trasformazione in conurbazioni, metropoli o megalopoli, è aumentata vertiginosamente l'esposizione al rischio³ di comunità, beni immobili e valori intangibili.

Sebbene le comunità del Sud del mondo, data l'elevata dipendenza

1. Una definizione di resilienza data da Antonio Genovesi, scrittore, filosofo, economista vissuto nel XVII secolo, nel libro dal titolo "Delle lezioni di commercio o sia d'economia civile", ante 1769.

2. Durante la Seconda Guerra Mondiale le città furono il luogo delle distruzioni e della morte su larga scala per l'applicazione delle nuove tecnologie agli strumenti bellici e le due città tragicamente emblematiche, in tal senso, furono Leningrado e Berlino.

3. Le città sono diventate sempre più il luogo del rischio, inteso come eventualità di subire danni indotti da fattori interni o esterni, diretti o indiretti, di origine naturale o antropica.

dalle risorse naturali, la ridotta disponibilità di risorse economiche e l'elevata vulnerabilità sociale, stiano pagando le conseguenze più gravi, quelle appartenenti ai paesi industrializzati, come dimostrato da alcuni eventi recenti quali l'ondata di calore in Europa del 2003⁴, e in particolare alcuni gruppi sociali come anziani, famiglie a basso reddito, ecc., non ne sono affatto esenti: “le catastrofi climatiche sono prima di tutto disastri sociali” afferma Pascal Acot (2007)⁵

La città è diventata essa stessa un bene esposto al rischio, un soggetto debole e vulnerabile che pone una forte domanda di alleggerimento del rischio⁶. Il suo ruolo nella determinazione del livello di rischio e vulnerabilità urbana è pertanto centrale e va adeguatamente affrontato ad opportune scale di analisi, che permettano di comprendere le implicazioni energetiche e ambientali che si instaurano tra l'edificio e il contesto urbano.

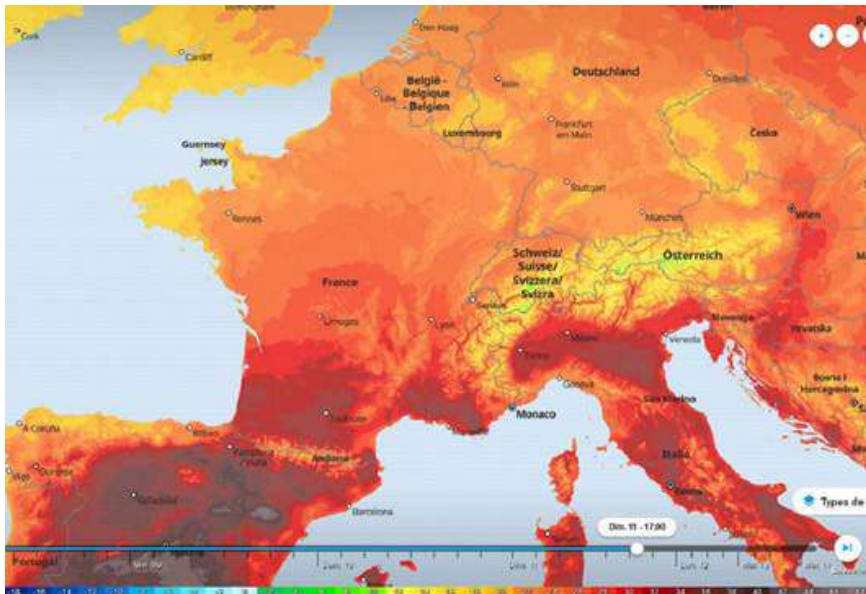
Vi sono fattori di rischio naturali oramai ben noti – terremoti, tsunami, inondazioni, infestazioni, epidemie –, a cui tuttavia si aggiunge un aumento di pericolosità dovuto all'introduzione di un fenomeno che sta mostrando i primi effetti tangibili sull'uomo, il cambiamento climatico.

Il punto di vista strettamente climatico è legato, come già visto, anche al consumo di energia, il maggiore fattore di rischio per tutte

4. Vedi Box a fine capitolo.

5. “...l'espressione ‘catastrofe climatica’ non ha senso di per sé, ma soltanto se rapportata alle società umane. Cambiamenti climatici avvenuti in epoche remote possono essere definiti ‘calamità’ solo in relazione ai nostri valori.... Invece, un cambiamento climatico, che sia lento o improvviso, diventa – oppure no – una catastrofe, in presenza di determinate condizioni sociali: un'inondazione non ha lo stesso valore ai piedi delle Cevennes o nel Bangladesh, anche se per le vittime si tratta comunque di una tragedia. Similmente abbiamo visto che la canicola [del 2003 n.d.r.] ha colpito più duramente le popolazioni svantaggiate, che la Francia avrebbe potuto contare un numero di morti eccedenti di gran lunga inferiore se il suo sistema sanitario avesse funzionato adeguatamente e che questa disfunzione fu il frutto di deliberate scelte politiche ed economiche.” (Acot, 2007:32).

6. Le città sono complessi sistemi adattivi (Batty et al., 2004) nei quali si manifesta la più forte interazione uomo-natura, sia al loro interno (consumo di suolo, uso risorse idriche, ecc.), sia verso l'esterno (dipendenza da risorse che provengono da altri luoghi): in esse, data l'elevata concentrazione di persone e attività e di complessità di interazione e dipendenza dalle risorse naturali, gli impatti climatici sono e saranno significativi (Sairinen e Peltonen, 2005).



Temperatura dell'aria in seguito all'ondata di calore dell'estate 2021. Fonte: Meteored, 2021

le città di media e grande dimensione è rappresentato dal fenomeno denominato “Isola di calore urbana”. Esso comporta un aumento delle temperature in corrispondenza di un ambiente urbano, determinando una netta differenza rispetto alle contermini aree non urbanizzate.

Tale fenomeno, sia allo stato attuale che in proiezioni future, risulta particolarmente preoccupante, ancor più nel contesto del cambiamento climatico globale⁷.

È stato già comprovato che le trasformazioni determinate dalla presenza di un'area urbana, in primo luogo l'impermeabilizzazione dei suoli e la densità dell'edificato, provocano cambiamenti tangibili sul clima, sulla qualità dell'aria e sul deflusso delle acque, amplificando l'impatto del cambiamento climatico globale sulla

7. Tra gli effetti del cambiamento climatico, uno dei maggiori fattori di rischio è rappresentato dalle cosiddette “ondate di calore”, definite come “un evento della durata di alcuni giorni in cui la temperatura massima è superiore ad una soglia rappresentata da un percentile elevato della distribuzione delle temperature massime giornaliere sul trentennio climatologico” (Ministero dell'ambiente, 2014). Questi eventi hanno assunto una tendenza positiva a partire dagli anni '70, ma il 46% degli eventi si è verificato nell'ultimo decennio. Gli episodi più intensi sono tragicamente noti, come l'estate del 2003, che in Europa risulta una delle maggiori catastrofi naturali per numero di morti negli ultimi 100 anni (Conti et al., 2005; UNEP, 2004; Vandenborren et al., 2004).

cittadinanza e determinato livelli di rischio e danno consistenti.

I fenomeni appena descritti risentono dell'incremento costante della popolazione che contribuisce ad aumentare il livello di vulnerabilità e rischio nelle aree urbane. Sebbene la realtà europea non presenti i ritmi di crescita paragonabili alle metropoli asiatiche, africane o sudamericane, tuttavia anche nel *Vecchio Continente* la popolazione urbana continua lentamente a crescere, ma soprattutto già oggi costituisce la percentuale maggiore della popolazione residente (>60%) (Population Reference Boureau, 2015; United Nations, 2014; World Bank, 2014).

In un contesto già profondamente intaccato dall'azione umana e alla luce di proiezioni future tutt'altro che rassicuranti, lo studio dell'impatto ambientale dei sistemi urbani costituisce una priorità improrogabile.

I cambiamenti climatici sono in effetti, dagli ultimi anni a questa parte, al centro dell'attenzione sia scientifica che mediatica, per il crescente impatto dei fenomeni meteorologici estremi in diverse aree del globo, e per l'evidenza empirica dei danni economici, sociali e ambientali provocati. Le aree urbane sono interessate da fenomeni meteorologici spesso imprevedibili la cui crescente intensità e frequenza prefigura scenari sempre più radicali e irreversibili.

Il nodo cruciale della questione è che i mutamenti climatici globali e locali sono perlopiù causati dal comportamento non virtuoso delle aree urbane, in cui si concentra un'alta percentuale di suolo artificiale a discapito di quello naturale nonché la maggior quota dei consumi e quindi delle emissioni di gas serra.

Gli impatti che i cambiamenti climatici e gli effetti dell'isola di calore possono indurre sugli insediamenti urbani sono molto diversificati e riguardano, con intensità variabili in funzione delle situazioni locali, la salute dei cittadini, il funzionamento di infrastrutture e di reti tecnologiche, gli incrementi improvvisi di domanda energetica, le modifiche delle condizioni di socialità, stress ambientali nelle aree con naturalità residua e nel verde pubblico, carenze negli approvvigionamenti idropotabili, diminuzione della competitività e della redditività di alcune attività economiche, esasperazione di



Riscaldamento del mare in seguito all'ondata di calore dell'estate 2021. Fonte: NOAA, 2021

conflitti sociali e politici, drastica diminuzione della qualità di vita delle fasce più svantaggiate di popolazione, incremento dei rischi legati alle inondazioni, alla instabilità dei suoli e agli incendi, allagamenti negli insediamenti costieri (Ministero dell'ambiente, 2014).

La risposta a impatti di questa dimensione, che in assenza di una inversione di tendenza dei consumi e delle emissioni rischia addirittura di accelerare nel futuro, chiama in causa diversi livelli di governo e competenze tecniche e scientifiche nuove nell'ambito dello studio e della pianificazione urbana.

La questione ambientale e climatica è senza dubbio diventata un nodo fondamentale della pianificazione urbanistica e territoriale, ma ad oggi sono rarissimi i casi in cui la pianificazione abbia considerato un uso consapevole delle risorse naturali e ambientali come elemento guida nelle scelte di piano.

Inoltre, senza una conoscenza della distribuzione della vulnerabilità locale, condotta su scale spaziali che siano adeguate all'indagine dei fenomeni energetici e climatici, risulta difficile supportare l'azione della pianificazione e della progettazione in maniera efficace.

Per questi motivi appare lontana la prospettiva di una quasi completa de-carbonizzazione dell'Europa, annunciata attraverso una "Roadmap" che dovrebbe portare ad una riduzione, tra l'80 e il 95% delle emissioni nel 2050, rispetto ai livelli del 1992, così come gli

impegni recentemente assunti al COP21.

Non solo, quello che oggi si mette in dubbio è la possibilità di ottenere dei risultati tangibili sul nostro clima solamente attraverso l'uso di strategie di mitigazione dei rischi (Lehmann, 2019).

Da un lato, i dati disponibili dimostrano che il cambio climatico è già avvenuto a livello globale, con l'aumento della temperatura media della superficie terrestre di 1°C rispetto ai valori preindustriali⁸; dall'altro, che anche se si riuscisse a limitare e poi a ridurre le emissioni di gas serra a livello mondiale, ci vorrebbe del tempo prima di ammortizzare i livelli di gas serra già presenti in atmosfera (Commissione Europea, 2018).

Ciò significa che dovremo affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici almeno per i prossimi 50 anni, e che la strategia più efficace è quella di abbinare la mitigazione dei rischi all'adattamento⁹.

Agire per l'adattamento significa pertanto ridurre il rischio di esposizione della popolazione ad eventi potenzialmente dannosi aumentando il grado di resilienza degli ambienti urbani, per far fronte in maniera meno traumatica e irreversibile ad eventi meteorologici anche estremi.

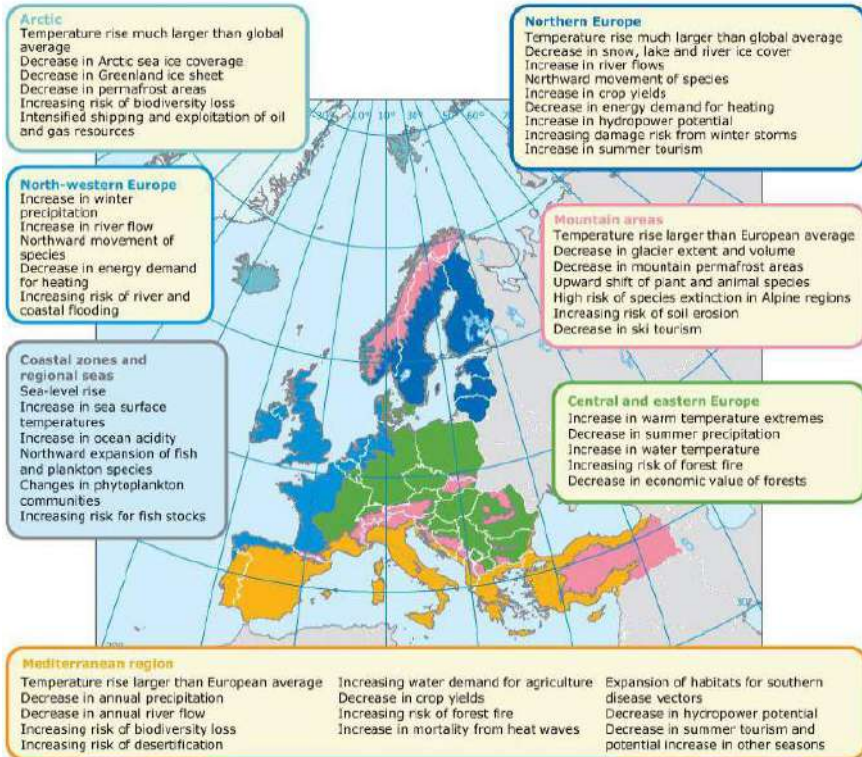
L'unione Europea, con la pubblicazione del "White paper" sull'adattamento ai cambiamenti climatici (Commissione Europea, 2009) ha richiamato l'attenzione su tale punto, per poi definire una strategia unitaria che tutti i Paesi sono chiamati a seguire (European Commission, 2013). In molte città europee sono state definiti nuovi strumenti di pianificazione e strategie di azione che hanno al centro il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici¹⁰.

Lo studio dei fenomeni climatici ed energetici a scala urbana risulta,

8. <http://www.metoffice.gov.uk/news/release/archive/2015/one-degree>

9. Con "adattamento" si intende un adeguamento del sistema ecologico, sociale o economico in risposta agli stimoli climatici e agli impatti in atto, o prevedibili per il futuro; l'adattamento comporta cambiamenti nei processi, nelle pratiche e nelle strutture, al fine di moderare i potenziali danni o di beneficiare di opportunità associate ai cambiamenti climatici - UNFCC .

10. Ad oggi, 54 città italiane si sono dotate di un piano di adattamento ai cambiamenti climatici, ma spesso la redazione riguarda solo alcuni aspetti degli impatti previsti.



tuttavia, ancora scarsamente assimilato nella pratica della progettazione e della pianificazione urbana.

Per una effettiva integrazione delle politiche di adattamento climatico nella progettazione occorre, pertanto, in primo luogo sviluppare un corpo di conoscenze adeguato in materia di vulnerabilità climatica della città esistente, che consenta la comprensione dei fenomeni a scala locale e la programmazione delle specifiche azioni di adattamento da intraprendere.

Tale lavoro è risultato finora difficile in quanto gli studi climatici sono sviluppati ad una scala troppo vasta, che ha trascurato quella urbana e locale. I modelli di predizione dei cambiamenti climatici utilizzati dagli scienziati dell'IPCC operano ad una risoluzione di circa 100 Km, risultando inadeguati all'applicazione diretta nei settori della progettazione architettonica e urbana o della pianificazione urbana (Beckers, 2016).

Il primo passo per la redazione di un progetto urbano di adattamento è pertanto l'approfondimento della conoscenza rispetto all'andamento spaziale e temporale dei fenomeni climatici ed energetici a scale adeguate, in modo che sia chiaro dove concentrare gli interventi e gli investimenti. Per fare ciò, le amministrazioni e i progettisti devono integrare maggiormente, in studi e proposte di trasformazione architettonica e spaziale, ulteriori strumenti di analisi delle dinamiche urbane, che comprendano anche aspetti di climatologia e meteorologia.

Solo attraverso la costruzione di un sistema integrato dei saperi è infatti possibile affrontare la sfida dell'adattamento in modo consapevole ed efficace.

In tale contesto, l'ingegneria e l'architettura devono essere in grado di assimilare le conoscenze e i risultati conseguiti in ambiti differenti per apportare significativi avanzamenti nella ricerca teorica e applicata agli insediamenti urbani.

Alluvione
Vicenza. 2010



1.5 Sostenibilità: la necessità di un cambio di scala

*“Sostenibile è tutto ciò che le generazioni future vogliono ereditare, usare e mantenere.”
(Jon Kristinsson, 2012)*

L'emergere di queste due nozioni vaghe ma spesso evocate richiede un chiarimento dei loro significati e della loro possibile articolazione. I significati originari della nozione di sostenibilità e le varie definizioni di resilienza, che portano alla scelta di un approccio relativamente tecnico per garantirne l'operatività, tendono a considerare la prima un ideale urbano da raggiungere, la seconda uno strumento, un mezzo per concretizzare questo ideale, poiché “le aspirazioni non focalizzate della sostenibilità sono incluse nella nozione di resilienza - la capacità di persistere e adattarsi”¹ (Adger, 2003).

1. “The unfocussed aspirations for sustainability are captured in the notion of resilience – the ability to persist and the ability to adapt.” All'interno di Adger, W.N., 2003, “Building resilience to promote sustainability”, Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, n° 2, p. 1-3.

1.5.1 La sostenibilità urbana

Lo sviluppo sostenibile, nella sua definizione originale, indica una condizione che mira a non compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare i propri bisogni. Esso include allora l'articolazione di un principio oggettivo di interdipendenza e di un principio normativo di equità spaziale e temporale (Laganier et al., 2002).

Il concetto è al contempo considerabile fortemente antropocentrico e in parte soggettivo. La ricerca di sostenibilità sottintende infatti un giudizio di valore sugli obiettivi desiderabili, sui territori interessati e sulla scala temporale scelta. Inoltre, la dialettica tra le nozioni di sostenibilità e di perturbazione non è ovvia, date le scale temporali a cui si riferiscono (tempo lungo e breve) e i valori che mobilitano. Anche se l'emergere della nozione di sostenibilità coincide con l'emergere della "società del rischio", oggi la componente "gestione del rischio", anche se trasversale e a lungo termine, è lontana dall'occupare un posto centrale nello sviluppo sostenibile (Casteigts, 2008). In effetti, se la sostenibilità urbana non può liberarsi dalle questioni di perturbazione o instabilità, queste non costituiscono la base della sua costruzione e la nozione integra piuttosto le questioni di incertezza riguardanti le necessità future o l'evoluzione del contesto ambientale.

Corso d'acqua artificiale progettato come sistema di drenaggio sostenibile ad Ørestad, Copenhangen.



Lo sviluppo sostenibile delle società umane, emerso dai lavori del Vertice di Rio del 1992, interroga oggi la città nelle sue diverse dimensioni materiali, funzionali, sociali, economiche e politiche. Da questo punto in poi, appare una prima contraddizione: la città non può essere ritenuta sostenibile considerando solamente i suoi confini amministrativi (Mori e Christodoulou, 2011). Mentre la sostenibilità pone spesso l'ambiente fisico come supporto allo sviluppo umano, la città, concentrando lo sviluppo della società, si affida totalmente - e a volte pesantemente - al suo ambiente (più o meno vicino) per soddisfare i suoi bisogni: cibo, acqua, energia, suolo, materie prime e anche materiali trasformati, ecc. La sostenibilità dell'ambiente urbano sembra quindi essere un concetto puramente teorico, o addirittura un'utopia tecnica (Villalba, 2009). Tuttavia, il valore dell'utopia consiste nella possibilità di definire un ideale che, sebbene irraggiungibile, diviene un obiettivo cui tendere.

In questo senso, la città sostenibile sarebbe quindi un punto di riferimento prospettivo (Emelianoff, 2007), in relazione al quale le città cercano di rapportarsi e che può evolvere nel tempo, in relazione alla capacità di interazione tra gli attori e all'efficienza nella definizione di validi progetti (Hamman, 2011). Questo valore costituisce allora l'obiettivo normativo, progettuale e morale da raggiungere. Tuttavia, per avvicinarsi a questo scopo utopico proiettato nel tempo, la città si deve dotare dei mezzi per gestire i molteplici impedimenti derivanti da diversi fattori, come l'interazione tra usi talvolta incompatibili, le fluttuazioni delle risorse necessarie al suo funzionamento, o le caratteristiche contestuali dell'ambiente che la circonda.

1.5.2 La città sostenibile deve essere resiliente

I concetti di sostenibilità e resilienza, che sono allo stesso tempo simili e profondamente diversi, sono stati oggetto di innumerevoli discussioni sulla loro articolazione. Per alcuni, la resilienza è una condizione necessaria per la sostenibilità (Folke et al., 2002; Klein et al., 2004). Per altri, dopo aver studiato le possibili traiettorie degli

ecosistemi sotto diversi stati iniziali, la resilienza non è sufficiente, e a volte nemmeno necessaria (Derissen et al., 2011). Secondo la discussione precedente, la resilienza può giocare un ruolo nodale nel perseguimento di un ambiente urbano maggiormente sostenibile. L'approccio al miglioramento della resilienza urbana è quindi definito come un mezzo per gestire gli eventi del sistema urbano sottoposto a diverse perturbazioni (resilienza a breve termine) e mantenerlo sulla traiettoria ideale di sostenibilità (resilienza a lungo termine) legata a un indicatore dello stato del sistema (crescita economica, bilancio del carbonio o demografia per esempio). La resilienza è quindi presentata come un mezzo per raggiungere la sostenibilità.

Questa articolazione deriva dai punti di vista che hanno portato a definire la sostenibilità come un ideale utopico e la resilienza come una proprietà dei sistemi. È chiaro che altri prismi di analisi, più orientati alle scienze sociali, avrebbero potuto portare ad accettazioni diverse o addirittura contraddittorie. La possibilità di cambiare la traiettoria ideale deve infatti essere considerata anche alla luce dei cambiamenti socioeconomici che influenzano la stabilità del sistema urbano. Nel caso di un evento inizialmente dirompente, è possibile utilizzare meccanismi di resilienza per riportare il sistema a uno stato leggermente diverso da quello iniziale, che avvierebbe poi la nuova traiettoria².

Il concetto di resilienza inteso come capacità di un sistema di adattarsi alle perturbazioni sembra quindi soddisfare meglio la necessità di rendere operativa la città sostenibile. In effetti, la base normativa dello sviluppo sostenibile, soprattutto nell'espressione dei grandi principi globali, influenza e definisce il modello ideale da raggiungere, mentre la sua natura soggettiva solleva numerosi dibattiti sui valori - morali - da perseguire. Al contrario, la resilienza cerca di liberarsi dalle norme a favore delle grandezze descrittive e di assicurare una migliore reattività del sistema urbano all'imprevisto: «Migliorare la resilienza aumenta le possibilità

2. Su questa strategia si basa ad esempio il movimento delle Transition Towns che sostiene un nuovo ideale urbano definito da nuovi obiettivi da raggiungere, basato su ridotta impronta ecologica.

di sviluppo sostenibile in un ambiente mutevole dove il futuro è imprevedibile e la sorpresa è probabile>> (Folke et al., 2002). Per riassumere, le differenze sostanziali tra resilienza e sostenibilità sono così riassumibili: una rappresenta il mezzo mentre l'altra il fine; la prima rappresenta il medio e lungo termine, la seconda solamente il lungo termine; l'una è universale e l'altra è antropocentrica. Infine, come dimostrato da Strunz, nel 2012, la sostenibilità è il concetto di un obiettivo normativo e la resilienza un concetto descrittivo per comprendere il processo di evoluzione del sistema che può indirizzare o meno alla sostenibilità. Così, la resilienza può essere concepita come un approccio operativo che permette di rispondere a certe sfide dello sviluppo urbano sostenibile, oltre che alla gestione integrata grazie ad un approccio sistemico (Voiron-Canicio, 2005).



Turbina eolica per la generazione di energia destinata al quartiere, Ørestad, Copenaghen.

1.6 Da Near Zero a Net Zero cities: prospettive per il patrimonio edilizio dell'UE

“Gli edifici sono barriere alla pioggia, al vento e talvolta sottili filtri alla luce e al calore. Circondati da ambienti variabili, dove cambiano il giorno e la notte, il caldo e il freddo, il vento e la calma, la pioggia e il sole, diventano rifugi dalle condizioni artificiali, come isole di tranquillità in un mondo scomodo”
(Serra, 1999)

Gli accordi internazionali che negli ultimi decenni hanno riconosciuto la questione del cambiamento climatico e promosso strategie di riduzione delle emissioni di gas serra (GHG), sono stati i principali motori delle strategie energetiche europee. L'impegno assunto dall'Europa con il Protocollo di Kyoto (ONU 1998) è stato il punto di partenza per il pacchetto energetico 20-20-20, approvato dai leader europei nel 2007, così come per gli obiettivi fino al 2050, che prevedono di ridurre le emissioni di gas serra dell'80-95% rispetto ai livelli del 1990. L'accordo firmato a Parigi nel 2015 durante la COP 21 (UN FCCC 2015), con la sua natura legalmente vincolante, rafforza ulteriormente l'importanza strategica di questi piani.

Come noto, lo step intermedio per il 2030 della roadmap 2050 mira a ridurre le emissioni di gas serra del 40%; ad aumentare la quota di produzione di energie rinnovabili di oltre il 27%; ad andare verso un aumento del 27% dell'efficienza energetica (Commissione europea 2020). Gli obiettivi del 2050, invece, si concentrano solo sulla riduzione delle emissioni di gas serra. Si dovrebbe raggiungere una riduzione

complessiva tra l'80% e il 95%, suddivisa in modo conveniente tra i diversi settori economici. Secondo la Commissione Europea entro il 2050 i cittadini europei “vivranno e lavoreranno in edifici a basso consumo energetico e a basse emissioni con sistemi di riscaldamento e raffreddamento intelligenti. Guideranno auto elettriche e ibride e vivranno in città più pulite con meno inquinamento atmosferico e migliori trasporti pubblici” (Commissione europea 2011). L'obiettivo dell'UE è quindi quello di incentivare la formazione di una società a basse emissioni di carbonio, smantellando il tradizionale legame tra maggior consumo di energia, rapido sviluppo economico ed elevate emissioni di gas serra.

In questo contesto, gli edifici sono componenti chiave. Nonostante ci si aspetti che gli obiettivi di efficienza energetica del 2020 vengano raggiunti, la transizione del parco edilizio dell'UE verso l'efficienza energetica rimane eccessivamente lenta (è un esempio l'1% del tasso di rinnovamento del parco edilizio), motivo per cui il contributo dell'ambiente costruito è stato effettivamente scarso in questi decenni. Il potenziale di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni di carbonio degli edifici è ancora in gran parte non sfruttato e sarà cruciale¹ per raggiungere gli obiettivi del 2050. Secondo le proiezioni di Ecofys², la combinazione di una profonda ristrutturazione degli edifici e delle energie rinnovabili sarebbe l'opzione preferibile per raggiungere questo ambizioso obiettivo (Boermans et al. 2012). A questo scopo, nel 2016 sono state presentate proposte di aggiornamento per le principali direttive UE nate in vista del raggiungimento degli obiettivi del 2020, come la direttiva sulle energie rinnovabili, la direttiva sull'efficienza energetica e la direttiva sul rendimento energetico degli edifici. In attesa delle loro versioni aggiornate, attualmente la Direttiva sul rendimento energetico degli edifici (EPBD recast) e la Direttiva sull'efficienza energetica (EED) costituiscono i principali riferimenti normativi messi in atto dalla

1. In questo settore le emissioni dovrebbero ridursi di circa il 90% rispetto ai livelli del 1990.

2. Azienda di consulenza nel settore della sostenibilità energetica ed ambientale.

Commissione europea per ridurre l'uso di energia negli edifici.

Tuttavia, come menzionato sopra, soddisfare i requisiti minimi non sarà sufficiente per raggiungere l'obiettivo di emissioni di gas serra fissato per il 2050. Una diffusa e più efficace riqualificazione degli edifici esistenti si rivela quindi un'esigenza incontrovertibile. Questo contesto giustifica il recente successo di concetti come Zero Energy e Zero Carbon buildings.

1.6.1 Prospettive a breve termine: edifici “Near zero Energy”

Gli edifici a energia zero (ZEB) sono edifici energeticamente efficienti, in grado di produrre energia da fonti di energia rinnovabile (FER) in modo da poter compensare la loro domanda energetica. Nonostante il concetto di ZEB sia intuitivamente chiaro, la messa a punto di una base di definizione coerente che consideri tutti gli aspetti rilevanti che caratterizzano gli usi energetici di questi edifici è emersa come un bisogno urgente negli ultimi anni, in parallelo con le crescenti preoccupazioni per il cambiamento climatico. Infatti, la solida comprensione dell'obiettivo da raggiungere è essenziale per il successo dell'implementazione del concetto ZEB in edifici reali su scala globale. Diversi studi hanno affrontato la sfida (Torcellini et al. 2006; Marszal et al. 2011; Sartori et al. 2012; Panagiotidou & Fuller 2013), dando vita a un quadro strutturato e identificando criteri che dettagliano il concetto generale di ZEB. Tra i diversi approcci adottati, il più diffuso in Europa è oggi rappresentato dai tentativi di incentivare edifici ad energia quasi zero, che assume come metrica di equilibrio l'energia primaria relativa agli usi operativi contabilizzati su base annuale. Questi edifici dovrebbero produrre energia rinnovabile in loco ed essere collegati alla rete, oltre che avere un basso fabbisogno energetico che deve essere soddisfatto principalmente da fonti energetiche rinnovabili.

Il documento ufficiale in cui queste caratteristiche sono esplicitamente definite è la sopracitata EPBD recast. Infatti, in

questa direttiva viene introdotto il concetto di Nearly Zero Energy Building (NZEB). Un Nearly ZEB è genericamente descritto come “un edificio che ha un rendimento energetico molto elevato. La quantità di energia quasi zero o molto bassa richiesta dovrebbe essere coperta in misura molto significativa da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze”. La Commissione europea ha pertanto imposto nella realizzazione di tutti i nuovi edifici di rispettare questo obiettivo a partire dal gennaio 2021 (dal 2018 per gli edifici pubblici).

Sulla base del modello ZEB a cui fare riferimento, il compito di ogni Stato membro dell'UE diviene quindi quello di definire misure e strumenti di azione e controllo: ad esempio, stabilire cosa significhi esattamente “prestazione energetica molto elevata” e “misura molto significativa”, e definire ulteriori requisiti specifici (ad esempio il tipo di equilibrio, la corrispondenza temporale dell'energia, ecc.) A tal proposito, gli studi su questo settore rivelano uno scenario dinamico ed eterogeneo, oggetto di discussioni ricorrenti a livello accademico, come nel caso delle ricerche che hanno avuto come focus il monitoraggio dello sviluppo di questi edifici innovativi, tra cui quelli svolti da Annuziata et al., nel 2013 o di D'Agostino nel 2014.

Da questi studi, si è riscontrato che all'interno dei programmi di circa il 70% degli stati membri dell'unione europea richiede che gli NZEB abbiano prestazioni energetiche molto elevate, requisito spesso accoppiato con ulteriori requisiti relativi alle prestazioni dell'involucro e dei sistemi di produzione da fonti di energia rinnovabile e, meno frequentemente, alle emissioni di CO₂. Negli altri casi, i requisiti FER sono fissati indirettamente, il che significa che i limiti di utilizzo dell'energia primaria sono così bassi che l'uso delle FER è l'unica soluzione possibile per raggiungerli.

Un altro aspetto interessante esplorato in questi studi è rappresentato dalla constatazione che circa un terzo delle definizioni disponibili non distingue tra edifici residenziali e non residenziali nei requisiti NZEB e che solo 11 Stati membri hanno stabilito requisiti NZEB per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti. In effetti, il tasso di ristrutturazione molto basso del parco edilizio

dell'UE e i modelli di consumo energetico molto diversi degli edifici non residenziali tra loro e rispetto a quelli residenziali sono problemi non pienamente affrontati dall'attuali normative riguardanti la questione energetica.

1.6.2 Prospettive a lungo termine: Zero Energy e Zero Carbon Buildings

Con gli edifici ad energia quasi zero, che definiscono l'obiettivo cui tendere nel prossimo futuro, anche il più ambizioso obiettivo Net Zero Energy è attualmente al centro dell'interesse della comunità scientifica: questo secondo concetto introduce infatti il più ambizioso obiettivo di raggiungere un equilibrio nullo tra l'energia fornita e quella prelevata dalla rete (Evola et al. 2014³). Gli edifici ad energia zero (Laustsen 2008), quindi, non richiedono nessun uso di combustibili fossili per gli usi energetici operativi e di conseguenza non producono carbonio in relazione ad essi.

Tuttavia, l'impatto di un edificio sull'ambiente è legato non solo alla quantità di CO₂ prodotta dall'utilizzo di combustibili fossili negli usi operativi⁴, ma anche alle quantità di emissioni della cosiddetta CO₂ incorporata⁵, come dimostra lo studio di Kilkis (Kilkis 2007). Proprio per questo motivo la classificazione di "edificio energia zero" non corrisponde necessariamente a quella di "edificio zero carbonio".

In questo quadro, le organizzazioni nazionali e internazionali stanno aprendo la strada ad un'analisi orientata al controllo della produzione di carbonio in tutto il ciclo di vita degli edifici e, di conseguenza, verso percorsi di certificazione del carbonio prodotto

3. Si vedano anche: Oliveira Panão 2016; Ascione, Bianco, De Stasio, et al. 2016

4. Il carbonio operativo è la quantità di carbonio che una struttura emette durante il suo uso, incluse la gestione e la manutenzione.

5. Vale a dire alle emissioni di carbonio generate dall'estrazione delle risorse, dal raffinamento, dalla produzione e dalla logistica.

o assorbito⁶. Tra queste iniziative, il concetto Zero Net Carbon (ZNC), promosso dal World Green Building Council e da Architecture 2030, è uno dei più nuovi e influenti.

Se le direttive auspicano il l'adattamento al modello ZNC per tutte le tipologie edilizie - edifici residenziali, commerciali, istituzionali e industriali nuovi ed esistenti - e in tutti i contesti urbani, per gli ambienti molto densi - in cui l'energia rinnovabile in loco può essere difficile da produrre - diviene cruciale coinvolgere l'intero sistema del costruito nell'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂. In quest'ottica, un edificio ZNC è stato definito come "un edificio ad alta efficienza energetica che produce in loco, o si procura, abbastanza energia rinnovabile senza che comporti delle emissioni di carbonio in atmosfera. Questo principio, che sottolinea la validità di un sistema basato sulla possibilità di procurarsi energia rinnovabile da fonti vicine, anche esterne al sito considerato, rafforza la necessità di considerare il bilancio degli edifici anche in termini di relazione reciproca, oltre che l'importanza di adottare approcci che considerino in maniera integrata le componenti urbane che contribuiscono al bilancio energetico complessivo.

1.6.3 Dalla scala dell'edificio alla scala del quartiere

Nelle molte definizioni e diagnosi di un progetto urbano, la dimensione umana riveste un ruolo di grande importanza. Operativamente comparabile alla "micrografia" di una città, il quartiere è visto come un sistema complesso ma con una dimensione più ristretta di una città (o territorio), permettendo allo stesso tempo di utilizzare e verificare gli strumenti di progettazione urbana. Molti

6. In questa cornice si può parlare di carbon credit, un certificato negoziabile, ovvero un titolo equivalente ad una tonnellata di CO₂ non emessa o assorbita grazie ad un progetto di tutela ambientale realizzato con lo scopo di ridurre o riassorbire le emissioni globali di CO₂ e altri gas ad effetto serra.

studi affermano il ruolo nodale del quartiere negli studi urbani: secondo Cherqui, il quartiere sembra essere una scala pertinente e giudiziosa per attuare un approccio di sviluppo sostenibile; secondo Valdieu, la scala del quartiere è rilevante in un approccio di sviluppo più omogeneo che permette la sperimentazione di misure adeguate al territorio e alle sue specificità; Collocandosi scalarmente tra l'edificio e la città, il quartiere può essere definito e identificato rispetto al contesto attraverso tre caratteri essenziali che, secondo Salmon, lo contraddistinguono: (1) la riconoscibilità di un ambiente di vita socialmente animato, (2) l'autonomia di attività e risorse, e (3) le relazioni di prossimità di elemento costruttivo di una città.

L'eco-quartiere

In Europa, in particolar modo in Francia, l'attenzione alla scala progettuale del quartiere si è sviluppata già a partire dall'ultimo decennio dello scorso secolo, attraverso primi esperimenti e operazioni pilota di eco-quartieri (esempi di Vauban, BO01 Malmö, Kronsberg, ecc.). L'approccio "eco-quartiere" mirava a promuovere l'emergere di un nuovo modo di progettare gli elementi della città contemporanea. Il progetto dei quartieri si basava su una visione economicamente sostenibile, sulla partecipazione dei cittadini, ma anche gli aspetti legati al quadro di vita sociale (mix sociale, densità, ecc.), nonché la conservazione delle risorse naturali e la protezione dell'ambiente. A livello europeo, un riferimento per la definizione di un eco-quartiere proviene dall'Accordo di Bristol (2005) dove l'eco-quartiere è definito come: "Un'area a uso misto con un senso di comunità e un luogo dove la gente vuole vivere e lavorare che dovrebbe soddisfare le diverse esigenze attuali dei suoi utenti e contribuire a una migliore qualità della vita".

Più in particolare, l'associazione Energy Cities⁷, definisce i punti essenziali su cui un eco-quartiere si basa:

- Governance: partecipazione effettiva dei cittadini al progetto

7. Associazione europea degli enti locali nella transizione energetica, <http://www.energy-cities.eu/>.

attraverso la promozione e la comunicazione al fine di creare un coinvolgimento attivo nell'interesse della sostenibilità del progetto.

- Trasporti e mobilità: quartieri ben collegati e accessibili con una buona infrastruttura di trasporto, essenziale per limitare l'uso dell'auto.
- Ambiente: possibilità di vivere in modo ecologico (edifici a bassa o zero energia, limitazione dei rifiuti, uso di materiali naturali, ecc.)
- Mixité sociale e funzionale

Attualmente, ci sono più di 200 progetti di eco-quartiere nel mondo che differiscono per le loro caratteristiche, il contesto, le tecniche e le tecnologie innovative che sono integrate nel loro modello di urbanizzazione.

Near Zero Energy District e Zero Energy District

I concetti riguardanti gli edifici ad energia “quasi zero” e “zero”, sviluppati nei paragrafi precedenti, possono essere estesi alla scala di un quartiere. In quest'ultimo caso si parlerebbe di “Distretti a Energia Zero” (ZED) o “Distretti a Energia quasi Zero” (NZED).

La proposta di tali definizioni nasce dall'evoluzione delle questioni energetiche e del cambiamento climatico, che in un certo qual modo hanno “costretto” le autorità a ridefinire il modo in cui sviluppano gli ambiti urbani (quartieri, città, ecc.) tenendo conto dell'importanza dell'ambiente e dell'energia.

Secondo Marique & Reiter, il quadro di un quartiere a energia zero si basa su tre principi fondamentali: (1) il consumo di energia negli edifici, (2) l'integrazione di energie rinnovabili e (3) il consumo di energia legato alla mobilità e ai trasporti e in un primo approccio è definito per analogia con un edificio a energia zero.

In generale, in letteratura, sono poco numerosi gli studi che trattano il contesto di un quartiere a energia zero, e si concentrano

sull'impatto della forma urbana, sul consumo di energia degli edifici in un quartiere, sul potenziale di utilizzo dell'energia solare per il riscaldamento così come per la produzione di elettricità fotovoltaica o sull'azione dei venti sul risparmio energetico.

Si notano prevalentemente dei casi di studio particolari che si focalizzano negli obiettivi esclusivamente sul contesto energetico, tralasciando il nesso con gli elementi appena citati. Alcuni di questi esempi, i più rari ma allo stesso tempo interessanti, sono illustrati nelle pagine seguenti.

“Milano4You”: un nuovo quartiere ad energia quasi zero

Masterplan di progetto. Il progetto prevede la copertura del fabbisogno totale del quartiere (riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria) mediante risorse rinnovabili disponibili localmente.



Vista degli spazi pubblici.





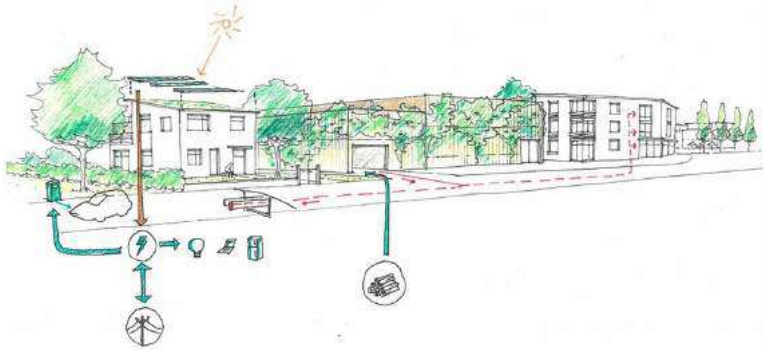
Masterplan di progetto. Il progetto prevede una mixité di funzioni all'interno degli edifici e degli spazi del tessuto urbano.



Vista della rete della mobilità.

“Climate Positive Area”, Niederanven, Luxembourg

Quartiere “Climate-positive”. Le emissioni di CO₂ generate durante il funzionamento sono più che compensate da energia localmente e rigenerata: energia elettrica da fotovoltaico. Fonte: Transsolar



Uno degli obiettivi progettuali consiste nell'ottenimento di alti valori di comfort esterno nei diversi periodi dell'anno. Fonte: Transsolar





Studi sul vento con simulazioni CFD, che hanno rivelato importanti approcci per ottenere il miglior comfort outdoor possibile in diversi punti del quartiere.
Fonte: Trans-solar



Studi sull'orientamento del tessuto urbano
Fonte: Trans-solar

Parte II



Introduzione

La parte prima ha brevemente analizzato le problematiche che la comunità globale ha ormai riconosciuto, accettando di introdurre misure necessarie a rallentare gli effetti devastanti dei cambiamenti climatici terrestri. In questa seconda parte, sono riportati studi interessanti dell'ultimo decennio, alcuni meno noti, utili per la definizione di una esplorazione progettuale. Tale focus teorico non prescinde, tuttavia, dalla considerazione degli studi delle scuole classiche sulla morfologia¹ o dagli studi svolti sulla relazione tra clima e forma urbana² durante il Novecento, considerandoli integrati nelle conoscenze più recenti.

Dagli anni '60 si è sviluppata un'attenzione progettuale prevalentemente incentrata sulle prestazioni energetiche del singolo edificio e sullo studio dei parametri influenti sulla rispettiva *performance* energetica.

-
1. Ruolo di particolare rilievo è rivestito dalla scuola italiana di Muratori e Caniggia.
 2. Interessanti studi, non abbastanza noti, sono stati svolti da G. Vinaccia nella prima metà del '900 riassunti nel libro "*La città di domani. Come il clima plasma la forma urbana e l'architettura*" del 1943.

Numerosi strumenti e modelli sono stati sviluppati per calcolarne la domanda energetica ed elaborare strategie volte alla riduzione dei consumi, sia per interventi di nuova edificazione che di riqualificazione edilizia. Queste analisi hanno inizialmente preso in considerazione una duplicità di fattori:

- Le caratteristiche degli edifici (proprietà geometriche ed impiantistiche), ossia il volume riscaldato, la superficie disperdente e la quantità di superficie vetrata, i parametri tecnici e strutturali dell'edificio, quindi i materiali di costruzione e la loro capacità di trasmissione del calore (trasmittanza, ponti termici, ecc.), il sistema di riscaldamento e raffrescamento;
- I fattori climatici, in funzione di longitudine, latitudine e altitudine (fascia climatica, piovosità...) della zona geografica di riferimento.

L'analisi si è nel tempo fatta sempre più complessa per il crescente numero dei parametri considerati nella modellazione energetica³. In molti casi, gli edifici sono stati analizzati in maniera autonoma, come singoli elementi astratti dal contesto urbano di riferimento.

Tuttavia, nel tempo gli studi hanno iniziato a dimostrare come il consumo dell'edificio sia in realtà dovuto a una combinazione di tre componenti: oltre quelle relative al clima e alle proprietà dell'edificio, la componente considerata parimenti importante diviene quella relativa all'ambiente urbano e al microclima. Conseguentemente, ed in relazione alle problematiche ambientali connesse alla crescente urbanizzazione, la necessità globalmente condivisa di integrare tali

3. Cerezo et al. (2014) individua la necessità di elaborare un format standardizzato, ma adattabile, con le informazioni (non geometriche) di input in un modello per la valutazione della performance di un edificio relativamente a una fascia climatica, al fine di agevolare tempistiche e operazioni di lavoro. Nel suo studio, a partire da questionari sottoposti a esperti del campo e dalla letteratura individua i parametri più frequentemente usati rispettivamente a una fascia climatica. Tutti i dati raccolti sono strutturati in un archivio ad albero a cui attingere per compilare la scheda del modello. Lo schema di seguito riportato permette di visualizzare i dati input di un modello rispetto a tre classi largamente riconosciute. Il lavoro di Cerezo si concentra sulla componente delle proprietà dell'edificio (Building properties).

considerazioni nella progettazione urbana ha accelerato lo sviluppo di metodi, strumenti ed analisi finalizzati a valutare le prestazioni ambientali ed energetiche del costruito a scala urbana (Mauree et al., 2019).

Così, gli studi orientati all'analisi dei consumi energetici degli edifici sono traslati dalla scala del singolo edificio (parametri interni) all'analisi riguardante un insieme di edifici alla scala urbana (modelli *top down* e *bottom up*⁴). Inoltre, una consapevolezza crescente ha rilevato la necessità, nell'analisi del "comportamento energetico" dell'insieme urbano, di un approccio maggiormente olistico alla diagnosi e al progetto energetico, che considerasse come egualmente influenti tutte le componenti dell'ambiente urbano (compresa la componente vegetazionale oltre che quella del costruito) oltre che l'influenza del contesto climatico locale (microclima).

Al contempo, si è diffuso un diverso approccio alla concezione del sistema urbano, sempre più spesso considerato come vero e proprio *ecosistema*, comprendente la componente antropica come sottosistema, continuamente trasformato dall'attività interna e governato da un funzionamento basato su scambi di materia ed energia, flussi orizzontali di risorse idriche, alimentari ed elettriche: un meccanismo organico capace di sfruttare l'apporto di altri ecosistemi e al contempo di provocare grandi squilibri territoriali. Questa nuova concezione dello spazio urbano ha in effetti influenzato in origine lo stesso approccio al progetto urbano. Così, il progetto energetico di successiva definizione,

4. I modelli top-down sono impiegati per determinare i consumi energetici a scala vasta senza distinguere gli stessi per tipologia d'uso finale (acqua calda, apparecchiature elettriche, etc.). Questo tipo di approccio risulta utile nelle analisi delle trasformazioni energetiche in atto ed a lungo termine, consentendo di valutarne le differenze di consumo (innovazione tecnologica, riqualificazione, etc) (Xu & Masui, 2009; Lu et al. 2010). I modelli bottom-up, invece, consentono di definire i consumi energetici attraverso l'analisi dei differenti usi finali, relativi a singoli o a gruppi di edifici, per poi determinare, attraverso una serie di deduzioni, il consumo energetico a scala urbana (Kanudia & Loulou, 1998; Gielen e Chen ,2001; Cormio et al., 2003; Lin et al., 2010; Phdungsilp, 2010; Feng & Zhang, 2012).

e sotto l'influenza dei noti studi sulla morfologia urbana⁵, ha sviluppato importanti linee di ricerca che hanno posto in stretta relazione la forma urbana con il microclima e l'energia. Tuttavia, come sostenuto da G. M. Chiri, "esiste uno spazio di riflessione ancora profondo e sufficientemente ampio che riguarda il modo in cui l'architettura (e in particolare il design delle città) può interagire con i processi climatici in corso".

Inserendosi in questa linea di ricerca, la presente trattazione, si focalizzerà sui fattori che, nell'ambito dell'ecosistema urbano, sono di particolare rilievo per la riqualificazione energetica dei tessuti esistenti, ossia i fattori climatici e quelli fisico-spaziali o costruttivi. Nello specifico, la seconda parte della trattazione sarà articolata in due sezioni principali.

- La **prima** sarà dedicata all'illustrazione dello stato dell'arte sulle principali tematiche trattate nel presente lavoro, finalizzata alla predisposizione di un apparato teorico che sia di riferimento per lo studio operativo da affrontare nella seconda parte del lavoro. In questo contesto, si tratteranno le teorie e i metodi elaborati da diversi gruppi di ricerca in contesti geografici e culturali differenti, secondo due principali ambiti di analisi:
 - La relazione tra forma urbana e consumo energetico.
 - La componente del microclima come fattore ponte tra le due componenti di cui sopra, quindi la relazione morfologia urbana-microclima-consumo energetico.

Si è infatti ritenuto utile stabilire delle "lenti di analisi" atte a suddividere gli studi di settore in due differenti macro-gruppi.

Più nello specifico, all'interno del quadro teorico riguardante l'influenza della morfologia urbana, le tematiche riguardanti il

5. Per cui la stagione degli anni Sessanta e settanta è stata particolarmente feconda. Le principali scuole di morfologia urbana, tra cui quella britannica guidata da Conzen, e quella italiana da Muratori. Cfr. (Cecere, et al., 2012).

consumo energetico della città sono state selezionate secondo due scale analitico-progettuali:

- Urbana ed Ambientale/ paesaggistico
- Architettonica

All'interno di questi due grandi domini, sono stati evidenziati due diversi piani di intervento:

- Morfologia urbana ed elementi dell'ambiente e del paesaggio
- Tecnologie costruttive e impiantistiche (architettoniche ed urbane)

-

Le diverse sfere disciplinari considerate dovranno poi essere messe a sistema per avere una panoramica chiara e completa sul rapporto tra tessuto urbano, energia e microclima. Come si vedrà in seguito, la componente tecnologica non sarà particolarmente approfondita in questa prima parte attraverso la definizione di uno stato dell'arte dedicato, ma sarà considerata in maniera più specifica nella seconda parte della trattazione.

- La **seconda** sezione, basata sul quadro teorico introdotto, sarà dedicata alla formulazione di una specifica strategia progettuale. L'analisi della rassegna teorica precedentemente svolta consentirà infatti di selezionare i concetti ed i parametri chiave per la formulazione di una strategia di intervento di riqualificazione energetica di un brano di città esistente.

1 Morfologia urbana, Microclima, Energia

1.1 Forma urbana ed energia: lo stato dell'arte

Come espresso da Albert Lévy (2005), “la forma urbana è un concetto polimorfo che può essere afferrato da diversi aspetti, a seconda del punto di vista di ogni urbanista”, distinguendone diversi aspetti attraverso lo studio della morfologia e attingendo a campi disciplinari molto diversi. Diversi approcci derivano infatti dal considerare la forma urbana secondo l'aspetto estetico-formale, ambientale, sociale, paesaggistico o funzionale.

L'impatto che la forma urbana ha sul consumo energetico degli edifici è stato indagato approfonditamente da numerose ricerche. Sono inoltre stati fatti diversi tentativi di mettere a sistema questi studi, molti dei quali attraverso una chiara divisione metodologica. Di particolare rilievo è il lavoro svolto da Ko (2013), che ha suddiviso le ricerche in tre scuole principali: della sperimentazione, della simulazione e della statistica.

Tuttavia, è stato osservato come gli studi afferenti alla scuola della sperimentazione condotti alla scala urbana, riguardanti quindi un brano urbano della grandezza di un quartiere o di un distretto,

non abbiano consistenti evidenze scientifiche a causa della difficoltà nell'applicazione metodologica (Quan,2020). Come messo in luce dallo studio di Quan del "City energy lab" di Seoul, che rappresenta il principale e più ricco tentativo di sintesi degli studi rilevanti in questo campo, la categorizzazione più esatta risulta la suddivisione degli studi in due scuole, definita in funzione della metodologia di acquisizione dei dati sul consumo energetico: la scuola delle simulazioni e la scuola dei dati empirici.

Gli studi che si basano sulla simulazione, al fine di simulare il consumo energetico ed esplorare la relazione tra forma ed energia, adottano equazioni e strumenti provenienti dal campo disciplinare della fisica. Gli studiosi di questa scuola provengono principalmente dal campo della progettazione architettonica e dell'ingegneria e spesso trattano l'argomento estendendo alla scala urbana i concetti analizzati alla scala dell'edificio (riguardanti consumo energetico e forma). Questi studi adottano frequentemente alcuni metodi convenzionalmente condivisi nel rispettivo campo disciplinare, come gli esperimenti parametrici attuati tramite sistemi informatici (Ratti C, 2005).

La scuola empirica basa invece la ricerca sull'uso di dati empirici raccolti in relazione al consumo energetico degli edifici, applicando metodi analitici e modelli statistici per dimostrare la relazione che intercorre tra forma urbana ed energia. I ricercatori di questa scuola non appartengono ad un singolo settore disciplinare, e provengono infatti da diversi campi che condividono il comune interesse dello sviluppo energeticamente efficiente del territorio. Proprio per la l'eterogeneità delle conoscenze coinvolte, questi studi sono spesso interessati agli impatti congiunti che diversi fattori oltre la forma urbana, come le condizioni socioeconomiche, hanno sul consumo d'energia negli edifici (Boeri A.,2021).

In generale, lo sviluppo e la produzione teorica di questo apparato di studi riguardanti la relazione tra forma urbana e componente energetica non è stato uniforme, come mostra la figura sottostante.

L'andamento delle pubblicazioni mostra complessivamente due fasi principali. Nella prima, che va dal 1984 al 2007, gli studi erano pochi



Distribuzione negli anni delle pubblicazioni nel periodo 1984-2018. Fonte: Rassegna di Quan et al. 2020.

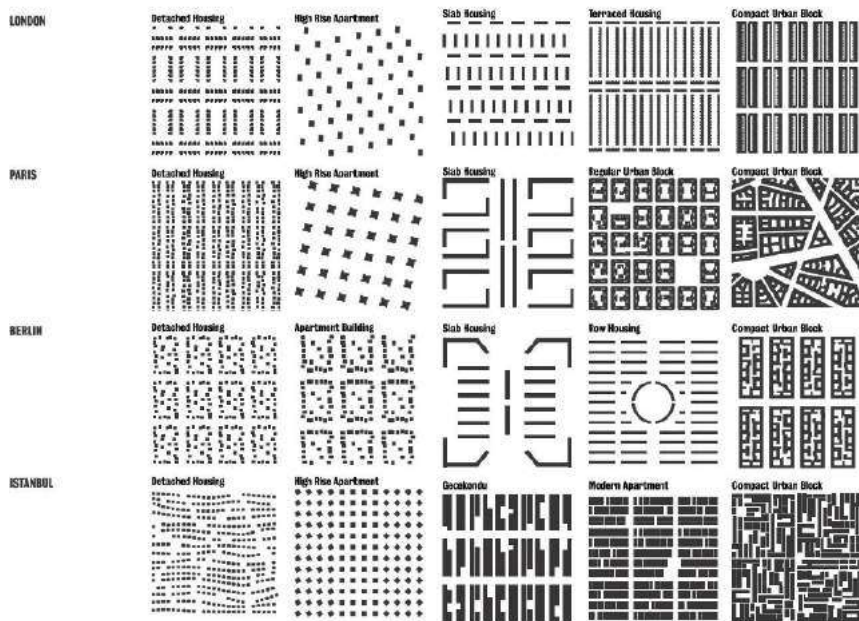
e per lo più riguardanti poche o specifiche componenti del tessuto urbano (ad esempio l'impatto delle alberature). I lavori più rilevanti in questa fase includono lo studio di Ratti et al.¹, in cui sono state effettuate simulazioni per comprendere e confrontare le prestazioni energetiche di diversi tessuti urbani, e lo studio empirico di Holden e Norland² che hanno esaminato la relazione tra le caratteristiche dell'uso del suolo e il consumo energetico delle abitazioni.

La seconda fase, dal 2008 al 2018, è stata caratterizzata da un forte incremento nella produzione scientifica, che mostra il crescente interesse a livello globale per le tematiche inscritte in questo ambito. In questa seconda fase, le ricerche hanno cercato di estendere l'esplorazione dello studio delle prestazioni energetiche a più tipi di forme urbane constatando come la relazione tra forma urbana ed energia possa variare in funzione sia delle forme che delle condizioni climatiche e microclimatiche considerate. In questa fase, la predominanza del numero di ricerche basate sulla simulazione rispetto al numero relativo agli studi empirici appare evidente, fatto attribuibile alla generale carenza o difficile reperibilità di dati sull'uso dell'energia degli edifici alla scala urbana.

1. Ratti C, Baker N, Steemers K. Energy consumption and urban texture. *Energy Build* 2005; 37:762-76.

2. Holden E, Norland IT. Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region. *Urban Stud* 2005; 42:2145-66.

Tipologie edilizie e forme urbane di Londra (a), Parigi (b), Berlino (c) e Istanbul (d).
Fonte: Rode et al., 2014



Tra gli studi considerati, uno particolarmente interessante vede l'applicazione di un modello a scala urbana per la stima della domanda energetica in relazione alla morfologia dei tessuti, svolto dalla LSE Cities (The London school and Political science) e da EIFER (European Institute For Energy Research) dell'Università di Karlsruhe (2014). Lo studio è stato condotto esaminando le città di Londra, Parigi, Berlino, Istanbul per le quali sono state identificate le tipologie edilizie ricorrenti per ognuna delle città. Sono state individuate cinque tipologie di quartiere e 20 come campioni morfologici³. Da queste informazioni si è ricavato un modello ideale rappresentativo delle caratteristiche dominanti nelle tipologie di quartiere, direttamente influenti sulla domanda energetica. Il basso numero di parametri morfologici considerati (la densità edilizia, il fattore di forma (S/V), l'altezza degli

3. Per ogni campione sono state individuate le informazioni di base, che descrivono la tipologia di quartiere e sulla base di queste è stato costruito un modello 3D; Attraverso la modellazione degli isolati è stato ricavato un consumo al mq/anno; sono stati utilizzati pochi parametri, ponendo come costanti quelli strutturali e climatici. In questo modo è stato possibile valutare gli effetti della morfologia sulla domanda energetica alla scala di vicinato.

edifici e il rapporto al suolo tra superficie edificata e edificabile) ha poi permesso la semplificazione del modello in modo che i risultati non siano interpretabili come assoluti rispetto a situazioni reali, ma relativi rispetto a differenti tipologie di quartieri e alla rispettiva domanda energetica⁴.

Tra le altre ricerche rilevanti nel filone della simulazione della seconda fase si possono includere gli studi di Rode et al., Salat et al., e Quan. Il lavoro sviluppato da Rode et al. (2014) parte dall'ipotesi che la configurazione di base del costruito residenziale nelle città, ovvero la morfologia urbana alla scala del quartiere, abbia un impatto significativo sulla domanda di energia termica de singolo edificio. Lo studio mostra come la forma urbana compatta presenti un'efficienza energetica maggiore rispetto alla configurazione urbana moderna, come ad esempio quella composta da torri residenziali o da case a schiera. Per validare quest'ipotesi, viene studiata la domanda teorica di energia termica per le diverse tipologie residenziali più rappresentative delle città di Parigi, Londra, Berlino e Istanbul in aree di 500m per lato. Sono state identificate le tipologie edilizie più

4. Nella seconda parte del lavoro sono studiati anche gli effetti sulla domanda energetica di alcune componenti strutturali (isolamento termico delle pareti e rapporto tra trasmittanza e superficie vetrata) e climatiche. I risultati energetici sono stati confrontati rispetto a ogni parametro morfologico:

- 1) Tipologia urbana: gli isolati compatti sono i meno energivori, mentre le case unifamiliari isolate nel lotto risultano le peggiori dal punto di vista energetico; i grandi condomini e i prefabbricati hanno elevate potenzialità di performance energetico
- 2) Densità urbana: è un indicatore incisivo sulla domanda energetica e l'incremento di questa nei quartieri a bassa densità è molto incisivo. In corrispondenza di valore di densità più basso corrisponde la domanda massima di energia.
- 3) Fattore di forma: è un buon indicatore rispettivamente alla domanda energetica e all'aumentare di questo corrisponde un aumento della domanda.
- 4) Altezza media degli edifici: è stato individuato come l'indicatore migliore a livello di correlazione con la domanda.
- 5) Rapporto di copertura del suolo: la correlazione con la domanda energetica è presente ma bassa; le performance energetiche sono buone rispetto e diversi valori del parametro. Tra gli effetti relativi alle caratteristiche strutturali, l'isolamento ha dato risultati elevati in termini di risparmio energetico, mentre la superficie vetrata risulta essere un fattore critico per le tipologie lineari molto estese. Come già accennato, dallo studio non si possono trarre valori assoluti da potere applicare a casi reali, elementi di influenza sulla domanda da investigare caso per caso.

Studio della relazione tra il consumo di energia per il riscaldamento residenziale e le classi di morfologia urbana nella città di Torino
Fonte: Delmastro et al., 2015



rappresentative per ogni città, assicurando così un'ampia gamma di configurazioni, la maggior parte delle quali appartengono agli ultimi 150 anni, un periodo in cui è stata posta poca o nessuna attenzione alla domanda di energia termica.

Allo stesso tempo, nel campo degli studi empirici, le ricerche sviluppate da Ewing e Rong⁵, Wilson⁶, e Li⁷ possono essere considerate le più influenti. In questo ambito, è possibile osservare un considerevole aumento della produzione teorica nell'ultimo anno, dato da una maggiore reperibilità di dati sul consumo energetico, scaricabili dai databases dei principali fornitori energetici⁸.

In questo stesso contesto, si inserisce il lavoro di Delmastro et.al (2015)⁹ che contribuisce all'individuazione di una correlazione tra la forma urbana e i consumi energetici per il riscaldamento: lo

5. In particolare, Ewing R, Rong F. The impact of urban form on US residential energy use. *House Policy Debate* 2008;19:1-30.

6. Wilson B. Urban form and residential electricity consumption: evidence from Illinois, USA. *Landsc Urban Plann* 2013;115:62-71.

7. Li C. *Essays on Climate Change Mitigation, Building Energy Efficiency, and Urban Form*. The University of North Carolina at Chapel Hill; 2018

8. Li C, Song Y, Kaza N. Urban form and household electricity consumption: a multilevel study. *Energy Build* 2018;158:181-93.

9. Delmastro C., Mutani G., Pastorelli M., Vincentini G., *Urban morphology and energy consumption in Italian residential buildings*. International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2015, pp. 1603-1608

studio analizza come la forma urbana influenzi i consumi di energia termica, considerando come costante le caratteristiche specifiche degli edifici (nel distretto analizzato, sono stati considerati solo gli edifici con la stessa compattezza, tipo di involucro e periodo di costruzione)¹⁰. In base ai dati di consumo ottenute dal distributore locale e, a seguito di una netta scrematura di questo dovuta a dati non corretti, gli edifici sono stati selezionati sulla base di caratteristiche simili da punto di vista tipologico e dell'impianto energetico, in modo da poter assumere che il consumo energetico dipenda solo dalle caratteristiche del contesto urbano e dall'esposizione solare.

Lo sviluppo degli studi nelle due scuole mostra lo scenario di una tendenza in piena crescita. Nella scuola di simulazione, l'area di ricerca si è estesa da pochi edifici a interi quartieri, gli indicatori di forma considerati sono diventati più complessi, e gli strumenti di simulazione si sono evoluti: dalla simulazione condotta su singoli edifici si è arrivati a complesse simulazioni formulate a scala urbana. Nell'ambito della scuola empirica, la scala temporale considerata per l'analisi del consumo energetico è cambiata da annuale a stagionale, per comprendere più approfonditamente le differenti variazioni tra la componente impiegata per il riscaldamento e per il raffreddamento; gli strumenti analitici adottati si sono evoluti (da semplici modelli

10. Lo studio condotto sulla città di Torino, analizza l'informazione a livello di sezione di cui sintetizzano l'informazione del parco edilizio rispetto al fattore di forma e al periodo di costruzione. Dal parco edilizio è stato selezionato un campione di edifici, Sinteticamente, in riferimento all'ambiente urbano sono state considerate le relazioni tra edifici e contesto e i tipi di materiale delle superfici esterne; nello studio gli indicatori considerati per descrivere quantitativamente l'ambiente urbano sono sei: la densità urbana, l'altezza degli edifici, il rapporto di copertura del suolo tra superficie edificata e edificabile, il rapporto tra altezza e distanza degli edifici, l'orientamento principale delle strade, l'albedo delle superfici esterne. Le variabili indicate sono sintetizzate in due fattori statistici (Urban Morphology Factor, Solar Factor), un terzo fattore sarebbe l'albedo ma in questo studio risulta ininfluente perché i campioni sono molto omogenei del punto di vista dei materiali, essendo localizzati tutti in quartieri del centro. I fattori sono stati calcolati per ogni sezione in modo da descrivere la forma urbana e per essere confrontati con i consumi. In base al valore dei fattori le sezioni sono state divise in classi rispetto al range ottimale, medio e basso e risulta che la differenza tra i consumi delle sezioni appartenenti alle classi migliore e peggiore può differire dell'16%, in base a come variano i parametri che compongono i fattori.

basati sul “metodo dei minimi quadrati”¹¹ a modelli di analisi di processi complessi, come quelli derivanti dalla “modellazione di equazioni strutturali”¹²).

Tuttavia, dalla messa a sistema delle ricerche emerge come gli studi molto spesso si contraddicano reciprocamente, o siano quantomeno discordi su alcune tematiche che hanno animato un acceso dibattito scientifico nell’ultimo decennio. Principalmente, le questioni hanno riguardato l’influenza e la rilevanza sul piano energetico della componente della forma urbana, il legame tra densità ed energia e la valutazione della forma urbana più efficiente.

1.1.1 *Quanto conta la forma urbana?*

Il primo dibattito riguarda l’entità dell’influenza della forma urbana sull’uso dell’energia negli edifici. La questione non è stata affrontata solamente dal punto di vista teorico, ma ha avuto delle importanti implicazioni pratiche o per meglio dire progettuali.

All’interno del quadro teorico volto alla definizione di politiche urbane finalizzate alla gestione della nuova costruzione o della riqualificazione dell’esistente, la maggiore attenzione è stata rivolta alle conseguenze energetiche (soprattutto a livello di consumi) di una data forma urbana, trascurando almeno in parte le altre possibili azioni di efficientamento energetico, a partire dai materiali costruzione utilizzati o dalle tecnologie dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (HVAC), ecc.

Gli studi appartenenti alla prima fase sopra individuata (1984-2007) hanno indagato e soppesato l’influenza della forma urbana sul

11. Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica che permette di trovare una funzione rappresentata da una curva di regressione, quest’ultima ricreata attraverso un insieme di dati (tipicamente punti del piano). La funzione trovata dovrà essere quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze tra i dati analizzati e quelli della curva che rappresenta la funzione stessa.

12. Le tecniche di analisi basate su modelli di equazioni strutturali permette di verificare ipotesi circa l’influenza di un insieme di variabili su altre, questo metodo risulta maggiormente complesso rispetto al metodo dei minimi quadrati.

consumo energetico degli edifici, mentre i lavori successivi sono stati generalmente concordi sull'importanza della sua influenza, ma con opinioni diverse sul rispettivo grado di incidenza, che è stato definito e misurato in modi diversi.

In questo senso, si ritiene utile specificare che all'interno degli studi relativi al filone della simulazione, alcuni di essi hanno esplicitamente analizzato l'incidenza della forma urbana sulla variazione del consumo di energia degli edifici¹³, attraverso le analisi condotte sullo stato di fatto e sullo stato di progetto, mentre molti altri hanno preferito non condurre nessun paragone sui consumi nei due stati. Nella scuola empirica, la variazione di consumo è raramente discussa esplicitamente, anche se può essere desunta da alcuni parametri delle diverse forme di tessuto. Complessivamente, appare chiaro come la risposta al quesito “quanto è importante la forma urbana?” nell'analisi dei consumi energetici, non può essere espressa in maniera esatta o univoca.

1.1.2 *La densificazione aumenta o diminuisce il consumo di energia negli edifici?*

Il secondo dibattito che ha alimentato la ricerca riguarda la relazione tra densità del tessuto urbano e consumo energetico degli edifici. Il parametro di densità è un indicatore ampiamente utilizzato nella pianificazione e nello sviluppo urbano, molto spesso posto in relazione al consumo energetico degli edifici. Tuttavia, dagli studi emergono risultati abbastanza diversi, che possono essere sintetizzati in quattro gruppi di constatazioni conclusive. Nel primo gruppo si sostiene che la densità influenzi negativamente il consumo di energia degli edifici (Holden et al, 2005; Rodriguez-Alvarez, 2016). Alcuni tra gli studi hanno infatti dimostrato che la maggiore condivisione di reti di produzione e trasporto di energia e di superfici verticali (prospetti in adiacenza) nelle aree densamente

13. È il caso degli studi affrontati da Ratti et al, Baker, Steemers e Salat.

edificate comporta maggiori perdite di calore e, al contempo, un minor apporto energetico derivante dai guadagni dall'ambiente esterno (Stromann-Andersen, 2011).

Il secondo gruppo, al contrario, attraverso l'analisi dei bilanci energetici che considerano perdite di calore, radiazione solare e illuminazione diurna sostiene che una maggiore densità influisca positivamente sul consumo di energia (Steeners, 2003).

Un terzo gruppo sostiene che la relazione tra questi due variazioni di questi "parametri" segua un modello più complesso. La variazione di densità determinerebbe scenari differenti riguardanti i consumi energetici, influenzandoli in maniera positiva o negativa in funzione di molteplici parametri caratterizzanti la forma urbana, direttamente misurabili tramite la densità. Questi studi hanno inoltre formulato diverse teorizzazioni relative alle misurazioni del consumo energetico degli edifici, alla dipendenza di quest'ultimo da altri fattori urbani, ed hanno tentato di parametrizzare la complessa performance termica della forma urbana (Quan, 2016; Li, 2018; Chen, 2018).

Il quarto gruppo, infine, suggerisce l'assenza di relazioni significative tra densità e forma urbana (You, 2018).

Come si potrà notare anche in questo caso non esiste una risposta univoca alla domanda, e l'impatto della densificazione sul consumo energetico degli edifici è ancora in discussione.

1.1.3 *Quale modello di forma urbana è più efficiente dal punto di vista energetico?*

Il terzo tema di dibattito è costituito dall'individuazione della tipologia più efficiente dal punto di vista della performance energetica. Le diverse conclusioni a cui è possibile giungere in questo contesto hanno evidentemente importanti ripercussioni sulla pianificazione e sulla progettazione urbana. Tuttavia, gli studi hanno confrontato diverse tipologie e forme urbane traendone conclusioni molto diverse. Alcuni lavori si sono concentrati sulla ricerca di quale tipologia architettonica ed abitativa fosse più efficiente dal

punto di vista energetico (per esempio, abitazioni monofamiliari o plurifamiliari) (Ko, 2016). Altri hanno confrontato l'efficienza energetica di tipologie diverse (Martin, 1972), ma hanno portato a risultati abbastanza diversi (Quan, 2016). Infine, alcuni ricercatori hanno esaminato tipologie più complesse o persino modelli urbani reali e hanno prodotto risultati ancora meno comparabili (Ratti, 2005; Holden, 2005; Rode, 2013; Salat, 2013). Quale tipologia sia preferibile per il bilancio energetico urbano è anch'essa una domanda che rimane ancora senza una risposta univoca.

1.1.4 Diverse metodologie

La metodologia gioca un ruolo fondamentale nella definizione del percorso analitico e di ricerca, di cui influenzare notevolmente i risultati. Si è visto all'inizio del capitolo come sia possibile raggruppare gli studi in due scuole (di simulazione ed empirica) proprio in relazione alla metodologia adottata. Di seguito si riassumono pertanto brevemente i metodi adottati nei due casi. Anche se questa sintesi semplifica le differenze metodologiche come una divisione generale tra la scuola della simulazione e quella empirica, le differenze metodologiche all'interno di ogni scuola possono essere estese.

Scuola di simulazione

Gli studi di simulazione hanno per lo più adottato equazioni basate sulla fisica e strumenti di simulazione per simulare l'uso dell'energia negli edifici. I tipici strumenti di simulazione dell'energia dell'edificio in questa scuola prendono la forma dell'edificio, l'attività interna, le condizioni climatiche esterne e le condizioni climatiche interne previste come input e stimano l'uso di energia legata al calore come output, calcolando le richieste di riscaldamento e raffreddamento governate dai trasferimenti di calore interni ed esterni e altri usi di energia attraverso calcoli basati su ipotesi. Tuttavia, vari tipi di modelli per i processi fisici degli edifici e diverse condizioni al

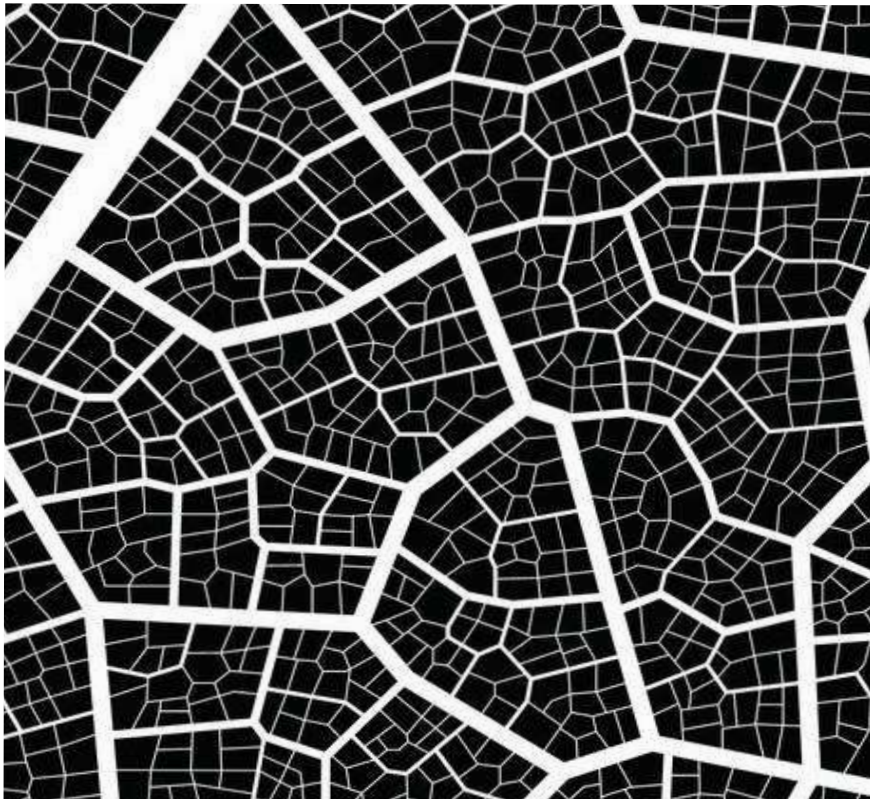
contorno possono portare a diversi livelli di accuratezza e validità degli strumenti di simulazione. Gli studi di questa scuola spesso usano esperimenti parametrici al computer per capire come l'uso dell'energia negli edifici risponde ai cambiamenti di particolari indicatori di forma urbana, con altri fattori controllati. Un'ulteriore analisi dei risultati delle simulazioni indica che la maggior parte degli studi si è basata su confronti diretti e diagrammi di dispersione, e solo pochi hanno applicato metodi statistici per testare le correlazioni.

Scuola empirica

Gli studi empirici di solito adottano metodi statistici per esplorare le relazioni basate su dati reali di utilizzo dell'energia negli edifici. Gli insiemi di dati empirici includono i dati dei sondaggi, come il Residential Energy Consumption Survey, i dati dei contatori, che sono difficili da raccogliere, e i dati aggregati sull'uso dell'energia, come i dati aperti sull'uso dell'energia degli edifici in molte città. Il metodo statistico più comunemente utilizzato in questa scuola è la regressione lineare semplice. Altri metodi statistici includono metodi di analisi descrittiva e relazionale per descrivere approssimativamente la relazione forma-energia, modelli di equazione strutturale per rivelare relazioni dirette e indirette, e metodi di regressione multilivello, quantile e spaziale per modellare esplicitamente aspetti più dettagliati della relazione. La selezione del modello e la qualità delle implementazioni possono avere un grande impatto sulla validità dei risultati delle analisi statistiche.



Struttura frattale del tessuto urbano di Parigi paragonato al tessuto di una foglia.
Fonte: Salat, 2015



1.2 Forma urbana e consumo energetico: definizioni e metodi

Come emerso, diversi interrogativi rimangono ancora senza una risposta unificante o univoca. Tuttavia, per comprendere ed elaborare nuove strategie di intervento efficienti e mirate, è utile approfondire le definizioni di forma urbana e di consumo energetico adottate o fornite dalla letteratura considerata.

Per questo intento, è utile adottare il metodo¹ proposto nei citati studi di Quan S. J., a partire dal 2018, che identificano raggruppamenti considerando da un lato le teorie e concetti espressi dalle rispettive ricerche, e dall'altro i differenti parametri relativi al terreno di applicazione² (tra cui le definizioni fornite sui concetti di forma urbana e di consumo energetico).

Nei successivi paragrafi si procederà pertanto a identificare le definizioni di forma urbana e di consumo energetico più adeguate

1. Questo metodo differisce dalla maggior parte dei tentativi orientati a sintetizzare lo stato dell'arte attraverso un confronto diretto tra i diversi lavori di ricerca.

2. Vedi allegato – Tabella di catalogazione studi secondo Quan et al. 2020.

per la presente trattazione, cercando al contempo di esplicitare alcuni principi fondamentali che regolano il meccanismo di relazione tra le due componenti oltre che le principali metodologie di analisi.

1.2.1 Forma urbana

Definizioni, misure e rappresentazioni

Nel processo di maturazione del concetto, differenti definizioni e valori assunti come indicatori o parametri sono stati formulati per esplicitare il concetto di “forma urbana”.

Anche se ampiamente utilizzata nella maggior parte degli studi urbani, non esiste una definizione univoca della nozione³: alcune sono di carattere più generale, altre più “operative” e afferiscono a scuole di pensiero che basano gli studi su un metodo analitico⁴.

Tuttavia, nell’interesse della presente dissertazione, si ritiene appropriato prendere di riferimento le ricerche sulla forma urbana che si sono concentrate sul rapporto forma urbana-energia, in particolare le ricerche di Salat e Quan.

Conseguentemente a questo postulato di base, la forma urbana può essere intesa come forma fisica, che include la componente morfologica e geometrica degli spazi costruiti e gli elementi naturali. La forma geometrica indica pertanto l’insieme delle proprietà geometriche degli edifici e a loro disposizione nello spazio, mentre gli elementi naturali comprendono le caratteristiche della vegetazione e la copertura del suolo⁵.

3. Le scuole di morfologia urbana, tra cui quella italiana, hanno avuto un ruolo fondamentale nel costruire un pensiero originale sugli studi riguardanti la forma urbana, oggetto di varie attenzioni in campo internazionale.

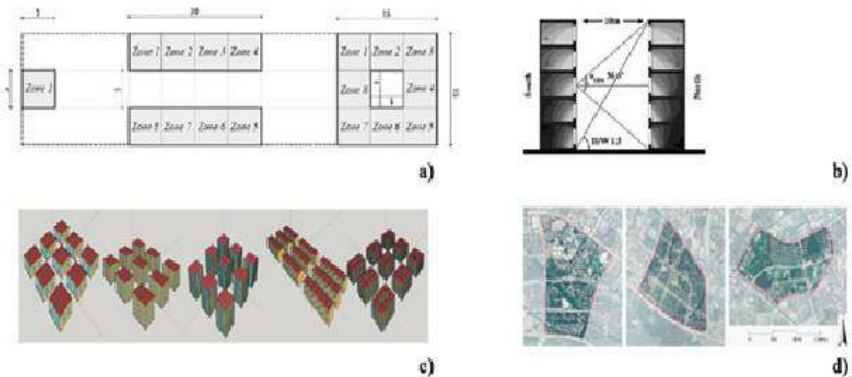
4. Il metodo analitico proposto da Carlo Aymonino ne è sicuramente un esempio. Secondo Aymonino la comprensione delle leggi formative e trasformative del tessuto urbano è fondata sulla ricerca delle interazioni tra tipo edilizio e forma urbana.

5. I dati relativi a questa componente sono estraibili dalle mappe LULC (Land Use Land Cover): esse forniscono informazioni per aiutare gli utenti a comprendere il paesaggio attuale.

Nonostante sia ampiamente riconosciuto che nell'ambito degli studi sulla forma urbana debbano essere inclusi altri parametri altrettanto rilevanti, tra cui le funzioni e le attività e innumerevoli fattori socioeconomici che caratterizzano la complessità dei sistemi urbani (Lynch e Rodwin, 1958), questa trattazione svincola lo studio da tali fattori, considerandoli come “vincolati” o costanti, per concentrarsi sull'aspetto fisico/geometrico della forma urbana in relazione alla componente energetica.

In questa cornice, è possibile riscontrare diverse modalità di rappresentazione della “forma urbana”, dalla più generica alla più specifica in relazione ai diversi livelli di indagine. Il tipo di rappresentazione (che, come tale, costituisce uno strumento volto a sintetizzare le diverse informazioni estrapolate dalla realtà) risulta rilevante per l'influenza che può esercitare sul metodo di analisi e sulle conclusioni tratte dall'applicazione di un dato metodo allo specifico ambito urbano. Gli studi in questo campo, secondo Quan e Salat, hanno complessivamente adottato quattro principali tipi di rappresentazione della forma urbana (mostrati in figura sotto), raffigurandola e reinterpretandola sottoforma di “gruppo tipologico” o di “canyon urbano” o di “griglia urbana associata alla tipologia” o di “forma urbana reale”. La rappresentazione in forma di “gruppo tipologico” presenta edifici ipotetici e molto semplificati, ma caratterizzati da una tipologia definita. Nella rappresentazione

Tipi di rappresentazione della forma urbana: gruppo tipologico (a), Canyon urbano (b), Griglia urbana e tipologia (c) e forma urbana reale (d).
Fonte: Ratti et al. 2005



del “canyon urbano” la forma urbana è considerata in maniera bidimensionale, considerando delle superficie rappresentative degli edifici (ai lati) e della strada (al centro). La rappresentazione a “griglia urbana associata alla tipologia” semplifica la forma urbana come una matrice di edifici tipizzati (assumendo una stessa tipologia prevalente) (Martin e March). Infine, la “forma urbana reale” utilizza modelli reali del tessuto urbano.

Variabili di identificazione della forma urbana

Così come visto per le definizioni e le rappresentazioni, esiste al contempo una grande quantità di variabili o parametri che vengono assunti dagli studi considerati per l’identificazione la forma urbana ed utilizzati in maniera differente in relazione all’obiettivo analitico dello studio specifico (Clifton, 2008). Sulla base delle definizioni di forma urbana ed attraverso la lente analitica proposta dagli studi considerati nel precedente paragrafo (Salat e Quan), è possibile suddividere i parametri che definiscono la forma urbana in quattro gruppi: parametri di densità, parametri geometrici, parametri relativi all’uso del suolo e copertura del suolo (LULC) e tipologie edilizie.

Parametri della forma urbana	
Tipo di parametro	Indicatore
Parametri di densità	Rapporto superficie calpestabile (FAR), rapporto di copertura (CR), densità di popolazione, densità di unità abitative, indice di sprawl.
Parametri geometrici	Rapporto superficie-volume (S/V), rapporto di superficie vetrata, altezza degli edifici, orientamento dell’edificio, rapporto altezza-larghezza (H/W), fattore di vista del cielo (SVF), orientamento stradale, porosità urbana.
Parametri di uso e copertura del suolo (LULC)	Superficie verde, superficie rete stradale, superficie impermeabile, superfici di acqua.
Tipologie	Tipologie abitative, tessuti urbani di riferimento.

Come si può vedere nella tabella, i parametri possono essere misurati in diversi modi in funzione dell'indicatore considerato, e derivano dalla considerazione integrata di diverse caratteristiche. Così, il parametro della densità - come già detto di particolare importanza nella progettazione urbana in quanto direttamente connesso al controllo dell'intensità dello sviluppo urbano - può essere misurato in relazione a diverse variabili. Nell'analisi della relazione tra forma urbana e consumo energetico, gli studi hanno spesso adottato come misure di riferimento della densità il *rapporto di superficie calpestabile*⁶ (FAR) o il *rapporto di copertura*⁷ (CR), la densità di popolazione e la densità di unità abitative. Tra gli indicatori della densità, l'indice di *sprawl* urbano è piuttosto una misura composta e per lo più analizzata in altri campi, in relazione a questioni di densità urbana e a fenomeni di espansione degli agglomerati.

Tra gli studi, è utile riportare una immagine della ricerca di Cheng et al. (2006) che ha indagato l'influenza della densità urbana sulla capacità di un edificio nell'usufruire degli apporti solari. La ricerca, svoltasi a San Paolo (Brasile), ha definito 18 modelli ipotetici in base a due parametri legati alla densità, ovvero, il *rapporto di superficie* e il *rapporto di copertura*. In base a questi due parametri, gli autori hanno elaborato quattro disposizioni nate dalla combinazione di due caratteristiche (uniforme o casuale) associate ai parametri stessi, ovvero, un layout "uniforme-uniforme", "uniforme-casuale", "casuale-uniforme" e "casuale-casuale" (vedi figura sopra).

I parametri geometrici, come riscontrabile in tabella, possono essere considerate a due scale differenti: quella dell'edificio e quella urbana. Alla scala del singolo edificio è possibile considerare il rapporto superficie-volume, il rapporto di superficie vetrata⁸, l'altezza dell'edificio e l'orientamento dell'edificio. Alla scala urbana,

6. Il rapporto di superficie calpestabile è dato dalla somma dell'area dei piani che compongono un edificio diviso per l'area del lotto o del brano urbano considerato.

7. Il rapporto di copertura è definita come la proporzione tra la superficie coperta e la superficie dell'area urbana considerata.

8. Rappresenta il rapporto tra la somma delle superfici trasparenti e la somma delle superfici verticali opache.

invece, vengono adottati i fattori già considerati negli studi di pianificazione urbana: il rapporto altezza edificio–larghezza della strada (H/W), lo *sky view factor*⁹, l'orientamento della strada e la porosità urbana¹⁰. In questa categoria rientrano anche i parametri relativi alla rete della mobilità stradale che tuttavia, in questa dissertazione, non vengono particolarmente considerate poiché analizzate principalmente dagli studi che focalizzano l'attenzione sulla relazione tra energia e trasporti, e sono quindi poco considerate dagli studi sull'uso dell'energia degli edifici.

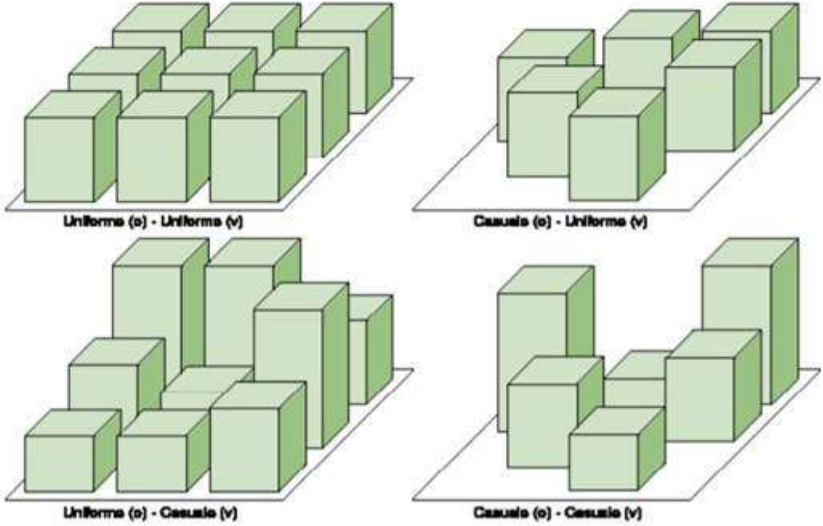
Il terzo gruppo di indicatori, relativo al parametro d'uso e copertura del suolo (in inglese LULC), è strettamente correlato con le politiche di utilizzo del territorio urbano. Questi parametri sono stati ampiamente esplorati dagli studi empirici in questo campo. Tra le principali misure di LULC in letteratura emergono la copertura vegetazionale, il rapporto di copertura stradale, il rapporto di copertura con superfici impermeabili e l'indice di misura dei corpi idrici. Quest'ultimo gruppo, tuttavia, presenta numerose limitazioni nell'applicazione sullo studio della forma urbana, soprattutto se non associato agli altri gruppi di parametri, poiché non permette di analizzare il corretto grado di eterogeneità della forma urbana, compresa la geometria, la funzione e le complessità del sistema urbano.

Il quarto tipo di parametro, legato alle tipologie costruttive, è stato adottato da molti studi per bilanciare l'inefficienza degli altri insiemi di parametri. Le tipologie sono spesso indentificate con l'adozione di definizioni principali: le tipologie abitative (abitazioni monofamiliari e plurifamiliari); i prototipi di forma urbana teorizzati da Martin e March, che comprende a sua volta le tre tipologie (padiglione, lastra e corte); le tipologie basate sulla classificazione dei modelli urbani

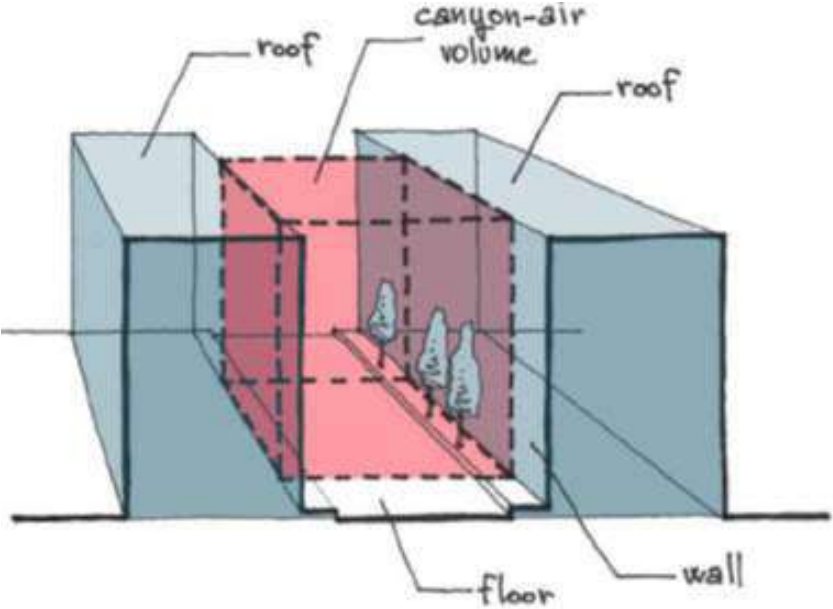
9. Sky view factor o, in italiano, fattore di vista del cielo, indica l'ampiezza dell'angolo di vista della volta celeste rispetto ad un punto di vista.

10. Non esiste un'unica definizione di porosità urbana, tuttavia in questo testo si intende riferirsi alla differenza tra pieni e vuoti. Differentemente dal rapporto di copertura si distingue per la sua accezione di carattere qualitativo oltre che quantitativo (Viganò, 2018).

Le diverse combinazioni tra rapporto di superficie e rapporto di copertura. Fonte: Cheng et al. (2006)



Sezione schematica del canyon urbano di Oke, 1978



reali che riflettono le differenze di sviluppo regionale e storico. Un'ulteriore caratteristica della tipologia, meno rilevante per la presente trattazione, è la sua "completezza", ossia la misura che mette in relazione geometria, funzione, condizioni socioeconomiche e sviluppo (Quan, 2016).

1.2.2 Consumi energetici

Definizioni

Con il termine di consumo energetico degli edifici si intende l'uso dell'energia in quella che viene definita la "fase operativa" del ciclo di vita dell'edificio¹¹: quindi, più precisamente, l'impiego finale di energia¹². È possibile individuare all'interno di un edificio le principali componenti che contribuiscono al consumo di energia, suddividendole in categorie. In funzione dello scopo finale d'uso o le normative.

Analizzando i lavori in base alla classificazione in due scuole precedentemente considerata (simulazione ed empirica) è possibile notare che esistano alcune differenze nei criteri di classificazione delle componenti consumatrici di energia.

Nella maggior parte dei lavori afferenti alla scuola di "simulazione", l'energia considerata nei calcoli sul bilancio energetico dell'edificio è quella termica, mentre si tende quasi sempre a trascurare il consumo di energia dovuto all'illuminazione e alla ventilazione. Gli studi empirici hanno invece per lo più considerato il consumo

11. Metodo standardizzato introdotto negli Stati Uniti negli anni Sessanta del Novecento che permette di valutare l'impatto energetico-ambientale dei processi coinvolti nell'intero ciclo di vita di un edificio, dalla costruzione fino alla demolizione.

12. Quantità di energia consumata a scopi energetici per calore o elettricità. Per il settore residenziale gli usi finali comprendono condizionamento, produzione di acqua calda sanitaria, cottura cibi, illuminazione, ventilazione e altre applicazioni.

complessivo¹³.

Più in generale e in accordo con quanto espresso da Salat, è possibile racchiudere le componenti del consumo energetico degli edifici in due categorie principali: da una parte il consumo di energia per il riscaldamento, condizionamento, ventilazione ed illuminazione (HVACL) (Ratti, 2005); dall'altra tutti gli altri utilizzi e consumi differenti da quelli appena considerati. Questa categorizzazione permette di focalizzare l'attenzione sull'energia necessaria a garantire il comfort interno ed esterno dell'edificio attraverso trasferimenti di calore o di massa¹⁴.

Misure

Il consumo di energia negli edifici è generalmente misurato (con poche eccezioni) attraverso due diverse sistemi di misura: il consumo di energia¹⁵ e la sua forma normalizzata come *energy use intensity* (EUI)¹⁶. La maggior parte degli studi di simulazione ha adottato il secondo, mentre la maggior parte degli studi empirici ha utilizzato il primo. Inoltre, a differenza delle misure che caratterizzano la forma urbana, occorre sottolineare che la misura del consumo d'energia negli edifici è vincolata alla considerazione di una seconda variabile oltre quella spaziale, ossia quella temporale. La maggior parte degli studi considerati si è concentrata sul consumo annuale di energia, differenziando alcune volte il consumo energetico nella stagione estiva o invernale.

13. Alcuni hanno differenziato il consumo di elettricità e gas a causa di problemi di disponibilità dei dati sulle specifiche componenti consumatrici

14. Nell'energia HVACL, sono considerati anche l'energia termica e i suoi due componenti (cioè, l'energia di riscaldamento e di raffreddamento). Nella categoria "altri consumi", invece, sono inclusi gli usi dell'energia attraverso i carichi da spina, la produzione di acqua calda sanitaria, i processi, le operazioni dell'ascensore e altri scopi, che forniscono le altre funzionalità di base di un edificio.

15. Indicatore che esprime il consumo di energia attraverso l'unità di misura del chilowattora (kWh).

16. Questo indicatore è utilizzato per quantificare la performance energetica del costruito e viene espresso attraverso l'unità di misura kWh/mq.

1.3 Microclima: un fattore “ponte”

Nello studio sulla relazione che intercorre realmente tra forma urbana e consumo energetico è necessario, tuttavia, considerare un terzo fattore fondamentale, che si configura in effetti come una sorta di “ponte” tra i primi due: il microclima.

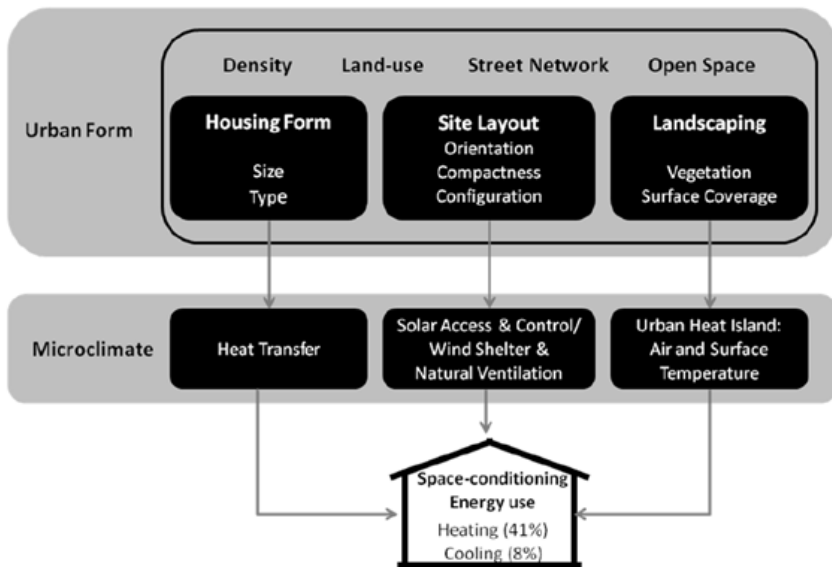
Il microclima, infatti, è direttamente influenzato dalla forma urbana, e a sua volta influenza considerevolmente il comportamento energetico degli edifici. Poiché la forma urbana influenza direttamente il microclima, lo studio approfondito di questa relazione risulta fondamentale al pari di quella che lega il clima e il microclima urbano all’uso dell’energia negli edifici (Ratti, 2005).

In effetti, diversi studi hanno analizzato la relazione tra forma urbana e microclima. A partire dalla crisi energetica degli anni ‘70, molti ricercatori hanno esteso il focus analitico dalla progettazione rivolta ai singoli edifici alla progettazione urbana in relazione all’impatto sul clima urbano e sul conseguente consumo energetico degli edifici. Si sono così sviluppati numerosi progetti per quartieri a risposta climatica e solare passiva, così come si sono diffuse linee

guida per la gestione della vegetazione e l'implementazione di una strategia paesaggistica all'interno dell'ambiente urbano. Da qui, è stato implementato un numero crescente di studi di simulazione incentrati sull'analizzare gli effetti di una o più variabili caratterizzanti la forma urbana (tra cui la dimensione o la tipologia del costruito, la disposizione delle strade e degli alberi) sui fenomeni climatici locali (come il flusso del vento e la temperatura dell'aria) e, all'inverso, gli effetti del clima urbano sulla componente dell'edificato (le temperature superficiali, il comfort termico e il consumo energetico degli edifici).

Su queste premesse, il presente capitolo si propone di delineare il percorso che ha introdotto, all'interno delle ricerche urbane di fine Novecento, l'ambito degli studi sul clima, fino ad esplicitare la relazione che intercorre tra forma urbana e fenomeni microclimatici.

Schema delle relazioni tra forma urbana e microclima nel consumo energetico del settore residenziale. Fonte: Ko, 2013



1.3.1 Il clima urbano

Numerosi studi evidenziano la primaria importanza e la forte influenza della componente climatica nella progettazione delle città. Già Vitruvio, nella sua opera “De Architectura”, ricorda che “l’urbanistica e l’architettura vernacolare ne sono testimoni da molto tempo”, a conferma del fatto che l’adattamento delle città al clima è un fenomeno molto antico (Escourrou, 1991).

In questo senso, Golany (1996) ha evidenziato il legame intercorrente tra la morfologia urbana e la componente climatica all’interno delle città: ogni tipo di clima richiede una certa forma e una configurazione urbana distinta, la forma compatta per il clima caldo, la forma dispersa per il clima freddo.

In questo capitolo, partendo da alcuni cenni salienti sulla scienza della climatologia urbana, al fine di predisporre una completezza conoscitiva in relazione al clima urbano, si intende mettere in luce il valore dell’interazione tra la città e il clima in relazione alla rilevanza che questo legame assume per il progetto energetico urbano. Allo stesso modo, si enucleeranno i diversi fattori e i relativi fenomeni ad essi legati che intervengono nella formazione del clima urbano a tre scale climaticamente efficienti.

La climatologia urbana

Molte civiltà si sono interessate al clima, cercando di comprendere quali fossero i parametri climatici ideali per lo sviluppo degli insediamenti. Prendendo in considerazione l’influenza del clima e le modalità di adattamento ad esso, lo sviluppo delle diverse civiltà rivela la rilevanza del fattore climatico, in primo luogo nella scelta della posizione geografica per l’insediamento di un agglomerato urbano (Givoni ,1978).

Come spiegato dalla ricerca di Yoshino (1990/91), la climatologia è apparsa per la prima volta in una forma scritta in relazione

all'osservazione degli elementi climatici mediante misurazioni meteorologiche. Se la descrizione dei fattori meteorologici esiste quindi dall'antichità, la climatologia urbana è divenuta una scienza alla fine del XVIII secolo, in particolare grazie allo studio di Howard¹. Più tardi, nel 1927, con il miglioramento degli strumenti di misura, Schmidt e Pepler realizzarono una raccolta di dati meteorologici ulteriormente accurati². A partire dagli anni Cinquanta, la ricerca e l'interesse per la climatologia urbana si sono progressivamente intensificati, in particolare dalla pubblicazione di Albert Kratzer del libro sulla climatologia urbana del 1956: nello studio dal titolo *Das Stadtklima* (Il clima delle città), Kratzer cercò di descrivere gli effetti dell'ambiente urbano sul clima, mostrando l'effetto della città sul cambiamento dei parametri climatici e in particolare l'influenza dell'inquinamento atmosferico³.

In generale, l'avvento della rivoluzione industriale influì significativamente sul clima della città, generando al contempo un'evoluzione nel campo della climatologia urbana. Da quel momento gli studi sulla meteorologia urbana furono abbastanza numerosi, in particolare negli ultimi decenni del Novecento grazie soprattutto alle ricerche di Tim Oke. Proprio in quegli anni, infatti, il campo di studio

1. Il libro di L. Howard (1818–1833, *Il clima di Londra*) contiene descrizioni climatiche e un'analisi degli elementi meteorologici che si riferiscono al clima di Londra, che mira a comprendere i fenomeni climatici. Queste misurazioni sono state raccolte durante 25 anni in due siti diversi; fuori Londra (Plaistow, Tottenham e Stratford) e l'altro sito (Royal Society), dentro Londra. Howard ha esaminato una differenza tra elementi meteorologici urbani e rurali. Ha scoperto l'influenza della morfologia urbana sul clima locale, causando un aumento della temperatura in tutta la città a causa della sua stessa morfologia, della sovrappopolazione e del consumo di grandi quantità di energia da combustibili fossili. La contaminazione urbana crea così il fenomeno della città nebbiosa... ecc... (Mills, 2008).

2. La raccolta di questi dati meteorologici fu effettuata grazie all'invenzione di una macchina che consentiva di effettuare misure in vari punti di interesse.

3. Il più studiato fenomeno meteorologico urbano, l' "isola di calore urbana" (Urban Heat Island: UHI) è stata così denominata da Albert Kratzer nella sua opera "*Das Stadtklima*" in cui mostra la differenza tra il clima della città e quello del resto del paese a causa dell'aumento della temperatura soprattutto nei centri urbani, questo è dovuto alla coltre di vapore che si prolunga in seguito alla creazione della nebbia stessa dovuta all'uso del carbone nell'industria, nel riscaldamento domestico e nei trasporti.

ricevette un grande input grazie all'invenzione degli strumenti informatici che introdussero l'utilizzo di processi di simulazione computerizzata (Arnfield, 2003) al fine di visualizzare e anticipare l'effetto dell'ambiente antropico sul clima a una scala più dettagliata, in particolare con l'intento di conoscere e comprendere le reali cause di alcuni fenomeni microclimatici (ad esempio le ingenti variazioni di temperatura nelle aree urbane) tra cui la cosiddetta "isola di calore urbana"⁴. Nel tempo, la climatologia urbana si è particolarmente focalizzata sul fenomeno dell'isola di calore urbana, studiandola a diverse scale per comprendere dinamiche e meccanismi derivanti dall'interazione tra le componenti fisiche dell'ambiente urbano in frenetica trasformazione e quelle climatiche. Come conseguenza, si è diffusa una maggiore consapevolezza della reciproca influenza il tra funzionamento degli edifici e le condizioni dell'ambiente esterno, termodinamicamente condizionati, oltre che dell'imprescindibilità dello studio sul microclima urbano per un processo progettuale, urbano ed architettonico, interessato ad un comportamento energetico efficiente⁵.

Molti lavori si sono concentrati su due aspetti maggiormente influenti sul fenomeno descritto:

- 1- La Geometria urbana (Aida e Gotoh, 1982, Oke, 1988, Yamashita et al., 1986, Ratti, 2005, Baker e Steemers, 2007).
- 2- I Materiali da costruzione e il loro albedo⁶ (Taha et al., 1988, Rosenfeld et al., 1995).

Diversi studi hanno poi indagato la questione ampliando la

4. Come vedremo in seguito, fenomeno complesso in cui sono diversi i fattori della morfologia urbana inclusi ed influenti.

5. Molte ricerche hanno fornito in questo senso delle conclusioni interessanti a riprova di come la forma degli edifici e degli spazi aperti influisca sul clima urbano generando un microclima specifico (Street, 2013, Li, 2011)

6. In quest'ambito le ricerche sono ancora poco evolute e la ricerca si sta sviluppando maggiormente negli ultimi anni.

considerazione a diversi parametri microclimatici (Givoni, 1998, Ali-Toudert, F.2005 e Colombert, M.2012), mettendo in luce le modalità con cui il contesto fisico del costruito (la densità degli edifici, la natura termica e radiativa della superficie urbana, l'orientamento e la larghezza delle strade) modifica alcune componenti microclimatiche (come la radiazione solare, il flusso del vento (Givoni, 1998)), così come il ruolo che svolge la componente antropogenica (soprattutto le attività svolte dall'uomo) nelle dinamiche di variazione della temperatura in città (Dhakal e Hanaki, 2002).

Il ruolo dello studio del clima nel progetto

Per l'obiettivo progettuale principale della progettazione energetica - la formulazione di strategie di intervento che rendano la componente urbana maggiormente sostenibile - è quindi oggi più che mai subordinato alla comprensione (volta alla riduzione) degli effetti microclimatici negativi quali l'isola di calore, l'inquinamento, le emissioni di CO₂ e la scarsa qualità dell'aria urbana (Alcoforado, M-J e Andrade, H., 2006). Lo studio climatico non si configura quindi come mero supporto analitico al progetto, ma come parte fondante dello stesso. Infatti, il peso dello studio climatico all'interno dei progetti urbani ed architettonici è tuttora incrementale e trainato dalla necessità di una analisi di dettaglio sempre più approfondita. La stessa diviene ancor più fondamentale alla luce degli studi che hanno introdotto una maggiore complessità nell'analisi dimostrando che le condizioni termiche e microclimatiche siano diverse e variabili anche all'interno di uno stesso sistema urbano⁷ (nella stessa città e soprattutto

7. Ad esempio, la diversa conformazione del costruito può incidere significativamente sulla quantità di superfici esposte alla radiazione solare per unità di superficie (maggiore su un sito urbano densamente costruito piuttosto che su un terreno pianeggiante e aperto), con evidenti ripercussioni sul microclima.

nelle metropoli⁸). Ciò ha introdotto la necessità di uno studio che tenga conto della diversificazione del microclima “intra-cittadino” al fine di valutare le reali esigenze energetiche degli edifici in maniera più precisa (Carpi, 2020). Anche all’interno di una città, infatti, il microclima locale può essere significativamente diversificato in relazione alla morfologia dei diversi quartieri⁹ (Oke, 1981, Eliasson, 1996, Grundström et al, 2003, Lindberg, 2003), come dimostrano le diverse influenze della componente naturale (quindi anche della superficie di suolo permeabile) sul comportamento microclimatico, come si avrà modo di approfondire oltre.

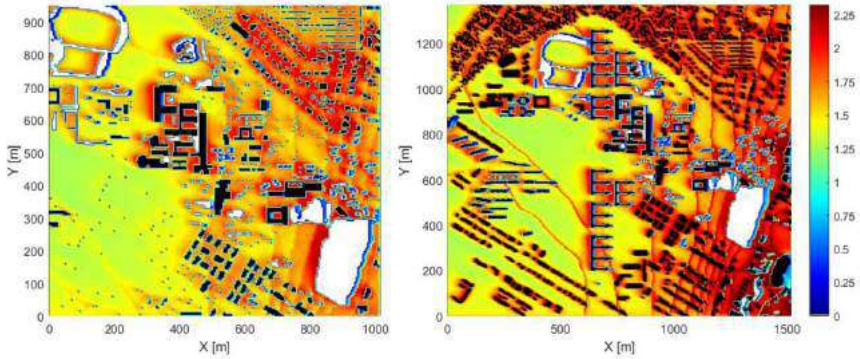
Data l’inevitabile complessità che caratterizza l’interazione tra l’eterogeneità urbana e la variabilità del clima, questa sfida richiede un approccio sempre maggiormente multidisciplinare – ad esempio attingente all’apporto di climatologi e geografi – basato sull’integrazione della dimensione climatica, della pianificazione urbana e dell’architettura (Oke, 2006. Colombert, M.2012).¹⁰

8. Basti pensare all’estensione superficiale di Roma, circa 1300 km², o la Métropole du Grand Paris, circa 800 km², per capire come sia possibile riscontrare microclimi differenti all’interno delle stesse,

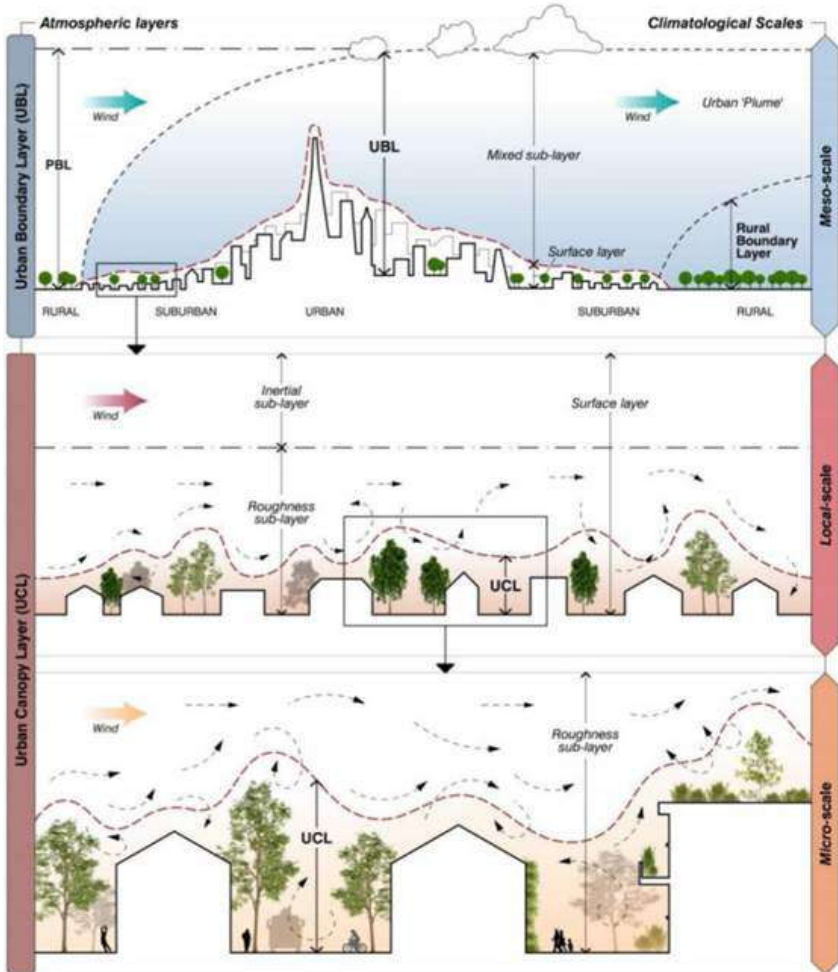
9. Si vedrà di seguito come questo presupposto abbia guidato gli orientamenti della presente trattazione, la quale peraltro ha intenzione di indagare l’influenza delle componenti in due contesti “infra-cittadini” diversi.

10. In questa prospettiva, “diversi progetti di ricerca francesi hanno approfondito la conoscenza delle questioni climatiche urbane con un approccio più multidisciplinare. Possiamo citare, per esempio: il progetto EPICEA finanziato dalla città di Parigi e condotto congiuntamente da Météo-France e dal Centre scientifique et technique du Bâtiment (CSTB) (Desplat et al, 2009); il progetto VURCA, finanziato dall’ANR, che propone un approccio interdisciplinare con laboratori specializzati in edilizia e pianificazione urbana (CSTB), meteorologia (CNRM/GAME) ed economia (CIRED); il progetto MUSCADE, finanziato dall’ANR e che coinvolge gli stessi team associati ad altre competenze in urbanistica e architettura, che mira a studiare, nel quadro di un partenariato multidisciplinare, le interazioni tra la struttura della città, i processi di costruzione, il consumo e la produzione di energia, il clima urbano e il cambiamento climatico il progetto Veg DUD, coordinato dall’IRSTV e finanziato dall’ANR, che mira a valutare gli impatti della vegetazione in relazione a quelli della forma urbana, su diversi sistemi urbani interagenti: clima, atmosfera, energia, idrologia a diverse scale spaziali e temporali.” (Colombert, 2010).

Simulazione del comfort ambientale, ante-operam(sx) e post-operam(dx). UEM Campus in Maputo, Mozambique. Fonte: Chiri, 2020



Schema delle relazioni tra forma urbana e microclima nel consumo energetico del settore residenziale. Fonte: Ko, 2013



Le scale climatiche

Per definire il contesto urbano in tutta la sua complessità, è necessario l'approfondimento di una diversità di scale spaziali e climatiche, caratterizzate inevitabilmente da fenomeni dissimili e con conseguenze diverse. In questa prospettiva, Oke (1997)¹¹ ha proposto l'adozione di tre scale climatiche: macro, meso e micro. A queste, si può aggiungere un'ulteriore scala più di dettaglio, la scala nano o "micro-micro" (Kaoutar, B. 2017)¹². La teorizzazione di Oke identifica lo spazio d'aria al sopra una città con lo "strato limite d'aria urbana" (UBL) e lo spazio tra suolo e limite superiore di copertura della città con la "calotta d'aria urbana" (UCL). La calotta d'aria urbana è lo spazio delimitato dagli edifici sino ai loro tetti. Il livello della calotta urbana include un illimitato numero di microclimi generati dalle varie configurazioni urbane. Le condizioni climatiche specifiche in un qualsiasi punto dato, all'interno della calotta, sono determinate dalla natura dell'intorno immediato ed in particolare, dalle geometrie, dai materiali utilizzati.

Meso-scala

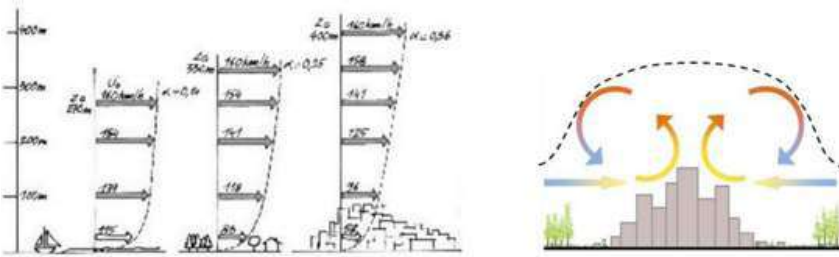
La scala meso è una scala limitata dallo "strato limite d'aria urbana" (UBL), e corrisponde all'area influenzata da un'agglomerazione. Esso può pertanto quindi coincidere con la giustapposizione di più quartieri caratterizzati da una diversa geometria e orientamento, quindi con un tessuto urbano variamente omogeneo o eterogeneo.

Lo strato limite urbano, situato appena sopra la copertura urbana, fa parte dello strato limite atmosferico ed ha uno spessore molto variabile nelle zone urbane, a seconda della rugosità, mentre nelle aree rurali il suo valore tende a zero. Questo strato è caratterizzato

11. Oke, T. R. (1997). Urban Climates and Global Environmental Change. In A. Perry, & R. D. Thompson (Eds.), Applied Climatology: Principles and Practice (pp. 273-287). Routledge.

12. L'impact de la morphologie urbaine sur la demande énergétique dans les zones arides -Cas d'un tissu urbain éparse, cité 76 logements à Biskra.

A sinistra: la variazione di lunghezza di rugosità in funzione della densità e dell'altezza degli edifici. A destra: la bolla dell'isola di calore urbana. Fonte: Goyett,2003



da trasferimenti di energia tra la superficie urbana e l'atmosfera, che avvengono quindi al di sopra di un insediamento o un gruppo di edifici. Le variazioni climatiche sono generalmente le stesse per tutti i punti dell'area studiata e variano secondo il cambiamento della tipologia urbana. A questa scala (vedi figura nella pagina a fianco, in basso) è possibile analizzare i seguenti parametri:

- Velocità del vento in area urbana
- Temperatura dell'aria¹³
- Rugosità urbana¹⁴

L'edificato si configura in questo meccanismo come un insieme di ostacoli che si oppongono al flusso del vento modificandone la velocità e la direzione in funzione dell'altezza, della pendenza e della densità dei singoli edifici, o in relazione a quella che è stata sintetizzata da Oke (1987¹⁵) come "rugosità urbana"¹⁶.

13. A questa scala è possibile rilevare, grazie alle misurazioni delle temperature, e mappare il fenomeno dell'isola di calore urbana.

14. È possibile determinare la rugosità urbana attraverso la misura della densità dell'abitato e all'altezza degli edifici. Sebbene non sia di per sé una grandezza fisica, questa lunghezza può essere pensata come una scala di lunghezza che rappresenta la rugosità della superficie in relazione all'altezza degli ostacoli in una determinata area

15. Oke, T. R. Et Cleugh, H. A. Urban heat storage derived as energy balance residuals. *Boundary-Layer Meteorology*, 1987, vol. 39, no 3, p. 233-245.

16. Ossia ciò che genera una turbolenza meccanica sviluppata nello strato limite urbano (CLU), cioè l'effetto del rallentamento dell'aria prodotto dall'aumento dell'attrito con gli edifici [Goyette-Pernot, J . 2003]. Allo stesso modo, Remli. S 2010 aggiunge che, quando questo strato viene spinto dal vento fuori dalla città, dà origine a quello che viene chiamato il "pennacchio urbano".

Scala locale

Lo strato definito scala locale riguarda ciò che avviene nella calotta urbana (UC), ossia l'area in cui si svolge la maggior parte delle attività umane, rappresentata dalla distanza tra il suolo e il livello delle coperture degli edifici (Goyette-Pernot, 2003)¹⁷. Lo strato considerato corrisponde all'altezza media degli edifici che ostruiscono il flusso d'aria nell'ambiente urbano. "Questa scala si riferisce al quartiere - che comprende il suolo urbano (strada, spazi verdi), le strutture costruite (edifici, isolati o quartiere) e gli spazi aperti (cortili o piazze pubbliche) - che è spesso perturbato a causa dei movimenti turbolenti generati dall'interazione dei parametri climatici con le strutture urbane (Athamena, 2008).

Scala microclimatica

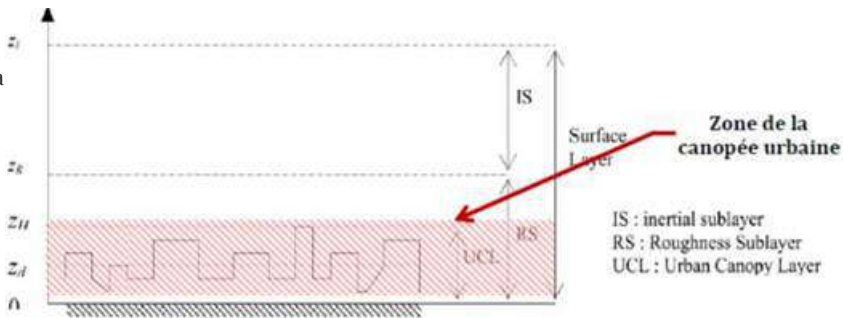
Questa scala, più di dettaglio, è limitata dal sotto-strato limite di rugosità nella copertura urbana (CU). Essa è spesso rappresentata con il già visto schema del "canyon urbano", sintetizzato sotto forma di un parallelepipedo la cui geometria è indicata dal rapporto tra l'altezza degli edifici (H) e la larghezza del canyon (W). Questa scala si estende per un ordine di grandezza di poche centinaia di metri, ed è quindi la scala in cui si può intervenire più facilmente e in maniera più immediatamente operativa per mitigare le conseguenze climatiche, attraverso una progettazione urbana pensata in funzione delle condizioni locali come i venti prevalenti, il soleggiamento, la presenza di risorse idriche, ecc. All'interno del microambiente considerato, è possibile distinguere un microclima locale, che può essere considerato in relazione a diverse scale: la scala di un edificio, una strada, un giardino, un cortile, ecc. Sulle caratteristiche microclimatiche influenti a questa scala possono influire anche singoli elementi o componenti dell'ambiente urbano,

17. Goyette-Pernot, J. Impact of a city centre on the dispersal of a regional pollen cloud. Cas of Montréal, Canada. In: EGS-AGU-EUG Joint Assembly. 2003.










come nel caso di un singolo edificio oppure di una massa vegetale. Al contempo, come mostra lo studio di Fouad¹⁸ (2007), l'ambiente termico esterno e i suoi fenomeni sono influenzati a questa scala dalla complessa interazione di diversi fattori: da un lato, l'interazione dei fattori climatici locali (la velocità del vento e la temperatura dell'aria, ecc.), dall'altra, l'interazione tra questi fattori climatici e le specifiche componenti della morfologia urbana.

Per questi motivi, l'interesse della presente trattazione si concentrerà sulle scale locale e micro, corrispondenti in sintesi alla scala del quartiere e a quella che coincide con le sue componenti principali (edificio, isolato, strada), pur tenendo in considerazione l'incidenza complessiva dei descritti fenomeni climatici sull'ambiente urbano.









Rappresentazione schematica della calotta urbana. Fonte: Rotach, 2000



18. Fouad A. O., Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics : étude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec. 2007.

LCZ	Definition	SVF	Aspect ratio	Impervious fractions (%)		Pervious fraction (%)	Height elements (m)
				Built	Ground		
BUILT ZONES							
1 – Compact high-rise	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass	0.2-0.4	>2	40-60	40-60	<10	>25
							
2 – Compact mid-rise	Dense mix of mid-rise buildings (3-9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction	0.3-0.6	0.75-2	40-70	30-50	<20	10-25
							
3 – Compact low-rise	Dense mix of low-rise buildings (1-3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction	0.2-0.6	0.75-1.5	40-70	20-50	<30	3-10
							
4 – Open high-rise	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	0.5-0.7	0.75-1.25	20-40	30-40	30-40	>25
							
5 – Open mid-rise	Open arrangement of mid-rise buildings (3-9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone,	0.5-0.8	0.3-0.75	20-40	30-50	20-40	10-25
							
6 – Open low-rise	Open arrangement of low-rise buildings (1-3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete	0.6-0.9	0.3-0.75	20-40	20-50	30-60	3-10
							
7 – Lightweight low-rise	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch,	0.2-0.5	1-2	60-90	<20	<30	2-4
							
8 – Large low-rise	Open arrangement of large low-rise buildings (1-3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone	>0.7	0.1-0.3	30-50	40-50	<20	3-10
							
9 – Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	>0.8	0.1-0.25	10-20	<20	60-80	3-10
							

Sintesi schematica delle Local Climate Zones definite da Stewart e Oke nel 2012. Fonte: Bartesaghi, 2018

LCZ	Definition	SVF	Aspect ratio	Impervious fractions (%)		Pervious fraction (%)	Height elements (m)
				Built	Ground		
10 – Heavy industry 	Low-rise and mid-rise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal.	0.6-0.9	0.2-0.5	20-30	20-40	40-50	5-15
NATURAL ZONES							
A – Dense trees 	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural.	<0.4	>1	<10	<10	>90	3-30
B – Scattered trees 	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural.	0.5-0.8	0.25-0.75	<10	<10	>90	3-15
C – Bush, scrub 	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural.	0.7-0.9	0.25-1.0	<10	<10	>90	<2
D – Low plants 	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban.	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1
E – Bare rock or paved 	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25
F – Bare soil or sand 	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<0.25
3 – Water 	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	-

1.3.2 I fattori coinvolti nella formazione del clima urbano

Il clima urbano è determinato e influenzato dalla coesistenza di molteplici fattori, naturali, antropogenici e urbani.

Tra i **fattori naturali**, riguardanti la morfologia del sito, rientrano: la posizione geografica (ad esempio la latitudine) o le caratteristiche dell'ambiente (ad esempio la presenza di rilievi o di bacini d'acqua). Essi possono influenzare positivamente o negativamente il clima urbano attraverso i seguenti parametri: la distribuzione delle zone d'ombra e di sole, il campo radiativo e termico, il flusso d'aria.

I **fattori antropogenici** riguardano l'apporto supplementare di energia utilizzata per il riscaldamento, la climatizzazione urbana e le diverse attività umane. Come conseguenza, esse sono direttamente proporzionali all'andamento dell'urbanizzazione e della crescita demografica. Questi fattori, in particolare le influenze degli elementi chimici ed artificiali (come i gas corrosivi e gli aerosol), si aggiungono ai fattori naturali esistenti contribuendo a creare un aumento delle temperature e un divario termico talvolta significativo tra il centro città e la campagna circostante.

I **fattori urbani** includono numerosi parametri, alcuni dei quali già enucleati nella definizione di forma urbana precedentemente trattata: la tipologia di materiali costruttivi, l'albedo, la densità urbana, la vegetazione, l'altezza degli edifici ecc.

Alcuni di questi, selezionati in relazione alla loro rilevanza per la definizione della strategia progettuale delineata nella seconda parte, sono di seguito maggiormente approfonditi. In questo quadro, si inseriscono: le altezze caratteristiche degli edifici, che possono ad esempio accentuare la rugosità superficiale e favorire la risalita dell'aria; i materiali di copertura del suolo, che, se impermeabili, provocano uno stravolgimento dell'equilibrio idrico naturale (influenzando il flusso delle piogge) e delle temperature superficiali (influenzando l'irraggiamento solare); le caratteristiche termiche dei materiali ed il loro albedo, che hanno un impatto rilevante sul bilancio termico (e quindi energetico) urbano, portando a un significativo

accumulo di calore e a un rapido aumento delle temperature¹.

Fattori urbani

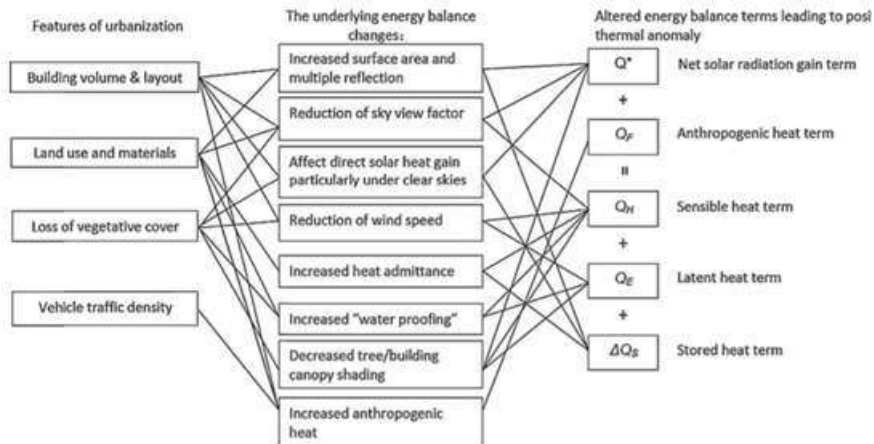
Come emerso dai paragrafi precedenti, la comprensione delle relazioni che regolano un sistema urbano e il bilancio energetico richiede l'identificazione delle principali variabili fisico-strutturali rilevanti nella determinazione della domanda energetica del costruito.

Questo passaggio è infatti fondamentale per comprendere i parametri progettuali coinvolti nella dinamica descritta, di identificarne l'impatto e di valorizzare le possibilità offerte da mirati interventi progettuali nell'influenzare il microclima urbano. Negli studi di climatologia urbana, diversi indicatori sono stati indicati come identificativi della morfologia urbana e delle rispettive proprietà termodinamiche e aerodinamiche².

La figura riportata nella pagina seguente fornisce un quadro concettuale delle interconnessioni tra le caratteristiche urbane, i cambiamenti del bilancio energetico urbano e le conseguenti anomalie termiche. Secondo la chiave di lettura analitica proposta, di seguito sono quindi identificati i principali parametri influenti su questo meccanismo, al fine di esplicitare la loro rilevanza nello sviluppo di fenomeni e problematiche riguardanti il clima urbano alla scala locale. Si è già avuto modo di introdurre lo strumento del canyon urbano per la rappresentazione della forma urbana negli studi che legano forma urbana ed energia. Anche nel campo della climatologia, si assume la validità di questo spazio urbano

1. Per Givoni questi elementi trasformano le condizioni climatiche e contribuiscono a creare un microclima particolare (Givoni, 1998. Oke, 1987 e Santamouris, 2001).

2. Per esempio, l'SVF e l'aspect ratio (altezza dell'edificio rispetto alla larghezza della strada, H/W) di un canyon stradale sono legati al bilancio di radiazione e al modello di flusso d'aria; il rapporto di copertura degli edifici (BCR, area dell'impronta dell'edificio rispetto all'area del lotto) è legato alla lunghezza della rugosità (Zo) e quindi alla dispersione degli inquinanti; ecc.



Sintesi schematica delle interconnessioni tra caratteri urbani, morfologici e bilancio energetico. Fonte: Oke 1997 at the Zones definite da Stewart e Oke nel 2012. Fonte: Bartsaghi, 2018

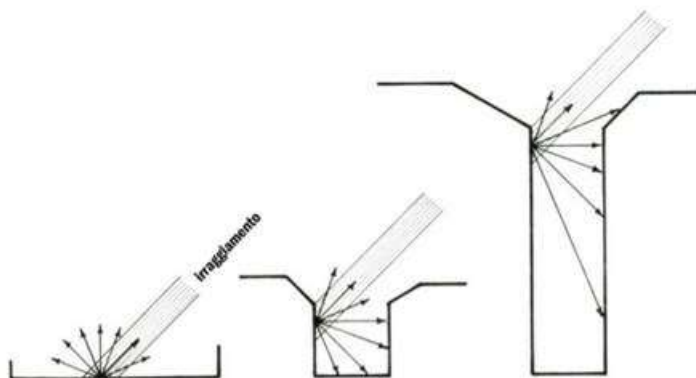
“astratto”³. Tale unità tridimensionale, costituita dalle pareti di due edifici prospicienti e dalla superficie orizzontale tra di essi, permette lo studio e la simulazione dei fenomeni dovuti all’interazione tra le superfici urbane coinvolte nel bilancio energetico.

Il modello del canyon urbano rappresenta una delle più efficaci rappresentazioni della geometria urbana ed è stato utilizzato tanto al fine della valutazione di fenomeni termici alla scala locale (tra cui quello dell’isola di calore di cui si parlerà in seguito) che del comportamento energetico dell’edificato in relazione agli stessi e all’esposizione alle componenti naturali prevalenti.

La forza di tale modello risiede proprio nella sua semplicità: il canyon può essere descritto attraverso un solo parametro, che sia il cosiddetto *aspect ratio* (o rapporto di verticalità) - dato dalla relazione tra l’altezza degli edifici ($H - height$) e la larghezza della strada ($W - width$) - o lo *Sky View Factor (SVF)*. Quest’ultimo è un parametro adimensionale, variabile tra 0 e 1 che geometricamente rappresenta

3. “Il canyon urbano è stato usato in climatologia urbana come concetto principale per descrivere il modello di base dello spazio urbano definito da due edifici adiacenti e dalla linea di terra. A parte la sua bellezza metaforica, la qualità chiave del termine è la semplicità che offre nel descrivere un modello ripetuto nel campo altrimenti complesso degli spazi urbani e delle forme degli edifici” (Strømman-Andersen & Sattrup 2011)

Distribuzione
dell'irraggiamento
solare
in tre differenti
canyon urbani.



la frazione di cielo visibile calcolata sull'emisfera centrata nel punto di analisi ed indica pertanto il grado di esposizione al cielo di un qualsiasi punto all'interno del canyon (Zhang et al. 2012; Oke 1988). *Aspect ratio* e lo *SVF* sono indicatori particolarmente utili per la valutazione della prestazione energetica e ambientale dell'edificato ma anche degli effetti percettivi legati alla densità; in quanto indicano in che misura la luce naturale e la radiazione diretta penetrano nei canyon urbani. Lo schema del canyon urbano permette quindi di comparare la performance energetica e climatica di porzioni di città rappresentando solo la proporzione degli spazi esterni.

Tuttavia, è stato messo in luce in diversi contesti come tale modello risulti insufficiente a descrivere adeguatamente le caratteristiche formali della morfologia urbana e a consentirne una lettura tridimensionale ed organica in relazione all'influenza sul microclima, obiettivo che presuppone la conoscenza e la considerazione approfondita di altre entità o componenti caratterizzanti, che Conzen (2004)⁴ individua con: la rete stradale, gli isolati e la loro aggregazione, la morfologia degli edifici.

Questa interpretazione, tuttavia, trascura ancora un'ulteriore componente di fondamentale importanza, costituita dagli elementi

4. Conzen M.R.G., *Thinking About Urban Form: Papers on Urban Morphology*, 1932-1998

naturali e vegetazionali: molti studi hanno mostrato come la vegetazione giochi un ruolo fondamentale nella regolazione del microclima urbano e conseguentemente sulla domanda energetica degli edifici⁵ (Yamamoto, 2006; Akbari and Conopacki, 2005; Carvet et al., 2004; Akbari, 2002; Akbari et al., 2001, Shashua-Bar and Hoffman, 2000; Ca et al., 1998; Heisler, 1986).

Il clima urbano o microclima è pertanto fortemente influenzato dalla forma e dalla funzione di queste componenti e dalla loro reciproca relazione. Esse contribuiscono a definire una specifica forma urbana, che è pertanto considerabile l'esito formale dei parametri variamente identificati e selezionati negli studi che hanno analizzato il rapporto tra forma urbana e microclima.

È possibile, in relazione all'interesse della presente trattazione, identificare questi parametri con quattro principali fattori chiave (Oke, 2004):

- 1) la struttura urbana (le dimensioni degli edifici e gli spazi tra di essi, la larghezza delle strade e la distanza tra di esse);
- 2) la copertura del suolo (la proporzione di superfici costruite, pavimentate e vegetate, suolo nudo e acqua);
- 3) i materiali (materiali delle costruzioni e materiali naturali);
- 4) il metabolismo urbano (che include: calore, acqua e inquinanti dovuti all'attività umana)

I primi tre fattori possono essere complessivamente considerati come i fattori dell'ambiente costruito influenti sul microclima, e sono ulteriormente identificabili con diversi parametri di seguito descritti.

5. La vegetazione influisce sul microclima attraverso l'assorbimento solare e gli effetti di raffreddamento forniti dall'ombra e dall'evapotraspirazione

I fattori dell'ambiente costruito

I parametri dell'ambiente urbano che influenzano i fattori naturali generando particolari fenomeni microclimatici sono:

1. FORMA – Molti studi hanno tentato di definire la forma architettonica ed urbana più vantaggiosa per evitare effetti negativi sul clima locale esterno ed interno agli edifici stessi. Si è già avuto modo di evidenziare, nel capitolo precedente, come non esista una forma urbana univocamente riconosciuta come migliore rispetto alle altre. Riguardo la forma dei singoli edifici, le posizioni sembrano invece concordare su alcuni punti¹.

2. STRUTTURA URBANA – la composizione urbana, in relazione alla densità degli edifici, ha un impatto notevole sul microclima, soprattutto sulla temperatura, sulla direzione e sulla velocità del vento. La struttura urbana costituisce la configurazione generale di un insediamento ed è una delle principali variabili della sua organizzazione². Molti studi hanno approfondito le principali caratteristiche della struttura urbana in relazione agli effetti microclimatici imposti: ad esempio, analizzando la rugosità della struttura urbana in relazione alle precipitazioni (Veena et al., 2020;

1. La forma migliore è considerata quella del rettangolo con il lato stretto nella direzione nord-sud e il lato lungo nella direzione est-ovest. Questa forma si adatta alla maggior parte delle strade che hanno un andamento da est a ovest, garantendo una maggiore superficie esposta al sole al fine di raccogliere energia in modo passivo. L'orientamento planimetrico dell'intervento è infatti una delle questioni progettuali più critiche. Negli anni '70 e nei primi anni '80 sono state ampiamente studiate le linee guida per la pianificazione del sito per la conservazione dell'energia, compresi i layout delle strade e degli edifici per le comunità solari (Brown 1985; Center for Landscape Architectural Education and Research 1978; Erley e Jaffe 1997; Hammond et al. 1981; Robinette 1983).

2. La classificazione delle strutture generali, secondo l'autore Kevin Lynch nel libro *The Good Urban Form*, sono le seguenti: struttura a stella; città satellite; lineare; griglia rettangolare; altre forme di griglia; griglia assiale barocca; tracery; città nido.

Block area	View	Plan	Orientation rose	Facades annual irradiation per square meter (kWh m ⁻²)	Potential for passive solar heating techniques (%)	Potential for photovoltaic systems (%)	Potential for daylighting systems (%)	Potential for solar thermal collectors (%)
Whole area (present situation) plot ratio = 1.2				224	32	6.5	54	86
ripes (10 storeys) plot ratio = 2.0				309	52	21	82	70
comb (six storeys) plot ratio = 2.0				251	49	21	68	69
stairyard (six storeys) plot ratio = 2.0				213	37	16	69	67
stepped slab blocks (five and eight storeys) plot ratio = 2.0				200	52	17	83	82

Comparazione tra quattro tipologie di distribuzione di edifici effettuata da Compagnon nel 2004.

Changnon, 1981)³, alla variazione della velocità e della direzione del vento (Kleerekoper et al., 2012)⁴. Tra gli studi più significativi si evidenziano quelli di:

- Ratti et al. (2005), i quali mostrano l'utilità dei *DEMs*⁵ per una caratterizzazione dell'ambiente urbano sotto il profilo dei "venti", al fine di estrapolare parametri utili, quali H/W del canyon o i coefficienti di rugosità, da utilizzare in simulazioni fluidodinamiche su larga scala;
- Zhang et al. (2005), che approfondiscono, invece, la distribuzione delle velocità del vento in funzione di tre diverse disposizioni

3. Il Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) (2007) ha postulato un aumento del tasso di precipitazione del 9% nelle città dell'Asia orientale a causa dei cambiamenti climatici entro il 2050, a causa di molti fattori, tra cui una maggiore urbanizzazione (Changnon, 1981; Diem e Brown, 2003; Yan et al., 2016).

4. Fortuniak et al. hanno infatti riferito che la differenza tra le temperature urbane e quelle della campagna è principalmente attribuibile alla velocità del vento (Fortuniak et al., 2006).

5. Un Digital Elevation Model è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale attraverso una immagine nel quale ogni pixel è colorato di una tonalità di grigio in funzione dell'altezza di quella porzione di superficie urbana.

dell'edificio e i cui risultati mostrano che la ventilazione naturale può essere migliorata in configurazioni urbane che presentano un basso intervallo di variazione del rapporto di verticalità dei modelli di canyon urbani;

- Un risultato simile è stato trovato da Palme et al. (2015), che attraverso simulazioni con il software Envi-met dimostrano che all'interno di una trama urbana la ventilazione è maggiormente influenzata dalla distribuzione degli edifici sul territorio rispetto alla densità del tessuto.

- Compagnon (2004) ha usato modelli 3D per indicare che è possibile ottenere un maggiore potenziale solare attraverso lo studio della disposizione degli edifici, anche in ambienti molto densi. Tra i suoi quattro disegni ipotetici, la configurazione a strisce con altezze uniformi degli edifici e i blocchi di lastre a gradini con altezze variabili, hanno mostrato un grande aumento del potenziale solare per scenari di pianificazione più densi.

- Cheng et al. (2006) hanno usato la simulazione 3D per testare la relazione tra fenomeni climatici e tre parametri della forma urbana: Distribuzione (uniforme o casuale), rapporto di copertura del sito e densità. Cheng et al. (2006) hanno concluso che le configurazioni edilizie con una maggiore casualità orizzontale e verticale, meno copertura del sito e più spazio aperto erano preferibili per migliorare le prestazioni della luce del giorno e il potenziale solare.

3. ORIENTAMENTO - l'orientamento dell'edificio è uno dei fattori importanti in relazione al consumo energetico. La progettazione secondo un orientamento ottimale mira a massimizzare l'esposizione solare durante l'inverno, minimizzando il surriscaldamento in estate. Molti studi sostengono che l'orientamento ottimale, per massimizzare l'accesso solare degli edifici costruiti nell'emisfero settentrionale, di un edificio è compreso tra i 10° e i 30° rispetto al sud come la posizione ottimale (Goulding, Lewis, e Steemers 1992; Holtz 1990; Littlefair et al. 2000). Gli edifici orientati a nord hanno il minor accesso solare possibile, mentre l'orientamento a est e a ovest è problematico perché l'eccessivo calore diretto al mattino

e nel tardo pomeriggio⁶. Un altro aspetto rilevante è che l'adeguato orientamento delle strade, soprattutto nei climi caldi, può favorire un adeguato comfort esterno⁷.

4. ESPOSIZIONE AL VENTO – Durante la stagione estiva, il vento ha un effetto favorevole sul raffreddamento e riduce la necessità di ventilazione artificiale. In altri periodi dell'anno, soprattutto durante la stagione di riscaldamento, aumenta significativamente la perdita di calore a causa della maggiore quantità di aria che lambisce la superficie nell'intervallo di tempo considerato⁸.

La protezione naturale o artificiale dalle zone residenziali dal vento crea condizioni microclimatiche favorevoli e reali opportunità di ridurre il consumo di energia per il riscaldamento dell'edificio. Il flusso d'aria intorno agli edifici ha, quindi, un effetto diretto sul comfort termico e sulla qualità dell'aria ma anche una ripercussione energetica significativa sugli edifici in quanto modifica le possibilità di ventilazione naturale.

5. La VEGETAZIONE - ha molteplici effetti, tra cui l'impatto sul clima, l'impatto sulla temperatura, la protezione dall'irraggiamento solare, la protezione dai venti. In linea generale e con adeguati

6. Per esempio, a Londra, variare l'orientamento da sud a ovest può aumentare l'uso di energia per riscaldamento del 16% nelle case solari passive e del 9% nelle case convenzionali (Steemers 2003).

7. Per esempio, ad Atene (38°N), il rapporto larghezza della strada (H/W) deve avere un valore di almeno 4, per Roma (42°N) 3,5 sarebbe il miglior rapporto H/W per minimizzare l'accesso del sole (Littlefair et al. 2000). Oltre all'accesso solare, orientamenti stradali appropriati che proteggono gli edifici dal vento freddo contribuiscono alla riduzione dell'uso di energia per il riscaldamento. Invece di avere un effetto penetrante del vento sulle strutture, l'orientamento delle strade perpendicolare alla direzione del vento può far fluire l'aria primaria sopra gli edifici (Givoni 1998).

8. Posizione ideale in relazione al vento, il pendio rivolto a sud, così naturale posizione di rilievo fornisce protezione dai venti del nord, con contemporanea esposizione al sole.

accorgimenti progettuali⁹, le aree coperte da vegetazione possono generare un microclima favorevole influenzando sui parametri di temperatura¹⁰, umidità¹¹ e velocità del vento.

6. ALBEDO – L'albedo di una superficie (riflettività emisferica e integrata nella lunghezza d'onda (Taha, 1997)) è definito dal rapporto tra la radiazione solare riflessa e quella incidente, e dipende quindi dalle caratteristiche di riflessione delle superfici. La temperatura e i cambiamenti nel bilancio termico sono direttamente influenzati dalle proprietà termiche del materiale degli edifici e delle componenti del costruito: ad esempio, dai materiali assorbenti che intrappolano e re-irradiano la radiazione orientata al sole (Trygve Wastvedt, 2016; Kleerekoper et al., 2012; Yoo, 2018). Allo stesso modo, come molte ricerche hanno dimostrato, le superfici ad alto albedo ricoprono un ruolo fondamentale nel contrastare l'effetto isola di calore (Song e Park, 2015; Bouyer et al., 2011; Akbari et al., 1992), che deriva infatti dalla diretta relazione tra la superficie di suolo impermeabile in una città e il relativo l'aumento della temperatura. Il tipo di copertura del suolo (ad esempio, vegetazione, suolo nudo o area pavimentata) ed il tipo di uso del suolo (ad esempio, residenziale, commerciale o industriale), proprio in funzione dell'albedo, sono pertanto direttamente responsabili delle variazioni di temperatura nell'ambiente urbano (Alberti, 2008).

9. La stessa presenza di vegetazione può avere al contempo effetti negativi. Ad esempio, un filare alberato può costituire un filtro per i flussi d'aria fredda migliorando il bilancio termico invernale ma sfavorendo quello estivo; allo stesso modo, una presenza eccessiva di vegetazione può sfavorire l'accesso solare e l'irraggiamento diretto degli edifici con conseguenze negative durante la stagione invernale.

10. La temperatura dell'aria sopra le superfici stradali è può essere 3 - 4 ° C superiore alla temperatura rilevata sulle superfici erbose.

11. L'umidità del suolo e dell'aria al di sotto degli alberi è superiore a quella dell'area circostante.

Fattori antropogenici: gli effetti indiretti del costruito

Per quanto riguarda gli effetti indiretti del costruito, è stato evidenziato che le aree urbane con elevato tasso di infrastrutturazione e inquinamento per il trasporto emettono un grande volume di inquinanti (Spangmyr, 2010; Sun et al., 2014). L'inquinamento atmosferico a livello della calotta urbana interagisce con molti parametri del costruito, tra cui la geometria, la morfologia, ecc., modificando il microclima (Sun et al., 2014; Edussuriya et al., 2011; Nick et al., 2019). L'industrializzazione nelle aree urbane contribuisce a una notevole quantità di inquinamento atmosferico in tutte le sue forme (Edussuriya et al., 2011; Nick et al., 2019). I gas serra e il particolato alterano infatti il microclima dell'area a seconda della concentrazione. Gli inquinanti atmosferici insieme ad altri parametri giocano quindi un ruolo importante nella formulazione dell'UMC di una città.

Quindi, datigli argomenti di cui sopra, è evidente che con l'aumento delle attività antropogeniche, come accade nelle aree urbanizzate, i fattori naturali del microclima (siano essi temperatura, umidità, vento o albedo), vengono alterati portando alla perturbazione del fenomeno microclimatico.

Fattori naturali

Altri studi hanno integrato tra i fattori influenti anche le componenti naturali esistenti nell'ambiente considerato indipendentemente dalla componente antropica. L'attenzione principale nell'ambito disciplinare è infatti stata inizialmente rivolta proprio ai fattori naturali climatici (venti, precipitazioni, radiazione solare), a cui, con lo sviluppo delle ricerche successive, sono stati aggiunti i fattori diretti e indiretti legati all'ambiente costruito già descritti.

I fenomeni termodinamici, atmosferici e meteorologici che determinano il "clima" caratteristico di un'area, e principali fattori

climatici presi in considerazione nella progettazione bioclimatica (o urbanismo bioclimatico) sono:

- Radiazione solare, diretta, diffusa o globale in relazione all'incidenza sul supporto urbano.
- Temperatura dell'aria¹², che interviene nell'evaporazione, nella radiazione e nei movimenti delle masse d'aria;
- Pressione atmosferica, direttamente legata all'altitudine e le cui variazioni danno origine al vento;
- Vento, la cui turbolenza è legata alla rugosità del terreno
- Umidità¹³, che influenza l'evaporazione e le precipitazioni;
- Afa¹⁴
- Pioggia
- L'esposizione solare e la nuvolosità
- La foschia e la nebbia, legate alla trasmissione della radiazione visibile ed il soleggiamento;

12. Gli squilibri di temperatura sono più evidenti nelle aree urbane, portando alla formazione di isole di calore urbano (UHI) (Trygve Wastvedt, 2016; Kleerekoper et al., 2012), di cui si parlerà di seguito.

13. L'umidità è un altro parametro significativo per il microclima e tra i principali fattori di input della modellazione climatica. La convergenza del vapore acqueo influenza infatti le precipitazioni locali. Inoltre, la ridotta umidità relativa nelle città con le aree circostanti causa l'isola di secchezza urbana (UDI). Durante l'estate a temperature più alte a causa dell'UHI, c'è un'impennata di UDI (Choi et al., 2018; Moriwaki et al., 2013). Durante le stagioni invernali a temperature più basse, l'aria dell'area urbana è più umida di quella circostante (Liu et al., 2008). Khan e Chatterjee hanno riferito che l'umidità relativa della città di solito varia dal 58% al 96% in un tipico mese piovoso, difficilmente scende sotto il 48%, che è considerato confortevole e può arrivare fino al 100%. (Khan e Chatterjee, 2016).

14. -l'afa è il periodo in cui appare la combinazione sfavorevole di alta temperatura e alta umidità, una tale combinazione di condizioni è percepita come molto sgradevole rendendo difficile la regolazione delle condizioni esterne (difficoltà a sudare, riduce la possibilità di perdita di calore).

1.3.3 Fenomeni microclimatici: isola di calore

Come detto, la conformazione degli spazi urbani è particolarmente rilevante in relazione agli effetti microclimatici prodotti, che possono avere conseguenze notevoli sul microclima urbano, sul benessere abitativo e sul bilancio energetico complessivo.

Tra i principali fenomeni microclimatici studiati nell'ambito della climatologia degli studi urbani vi è l'isola di calore urbana¹⁵: è infatti proprio in seguito all'accentuarsi di questo fenomeno che si sono diffusi i primi studi sul microclima urbano. Di seguito, numerosi studi ne hanno sottolineato la rilevanza dei principali fenomeni termo-radiativi e del conseguente innalzamento delle temperature, mettendo in evidenza il ruolo della morfologia urbana, soprattutto a livello locale (Erell 2008; Oke 1988; Theeuwes et al. 2014; Andreou & Axarli 2012; Takebayashi & Moriyama 2012; Allegrini et al. 2012).

La modificazione microclimatica imposta da questo fenomeno comporta una considerevole variazione dei consumi energetici a livello urbano, che sarà tanto più gravosa quanto più pronunciato è l'effetto dell'isola di calore nell'area considerata.

La causa principale dell'effetto isola di calore urbana è identificata nell'elevata quantità di radiazione solare assorbita durante il giorno dai materiali da costruzione utilizzati per la realizzazione delle diverse superfici (muri, tetti, marciapiedi) e rilasciata di notte (Rizwan, 2008). Questo effetto è aggravato da diversi fattori specifici dell'ambiente costruito, tra cui la conformazione geometrica e volumetrica (ad esempio l'eccessiva compattezza dell'edificato) che potrebbe contribuire al trattenimento del calore accumulato per un tempo più prolungato.

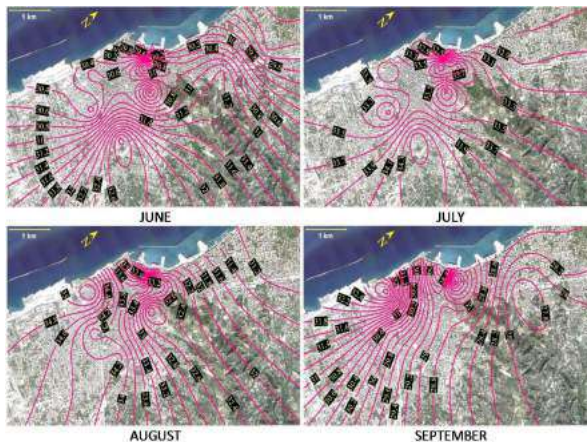
Oke ha tuttavia messo in luce come l'isola di calore urbana

15. Molti studi hanno sottolineato la gravità delle problematiche per la salute umana connesse all'escursione termica tra il giorno e la notte nelle aree urbane e alle ondate di calore (Yoo, 2018; Robine et al., 2008; Van Oldenborgh et al., 2017). Le problematiche connesse a questo fenomeno sono particolarmente evidenti in paesi in via di sviluppo con urbanizzazione incontrollata non pianificata, che hanno riportato un elevato numero vittime a causa delle ondate di calore (Veena et al., 2020).

sia il risultato della combinazione di più fenomeni oltre l'elevato assorbimento termico dei materiali, complessivamente incidenti sull'aumento delle temperature non solo delle superfici ma dello strato atmosferico urbano, come la mancanza di vegetazione (che agisce per raffreddamento evaporativo) e le fonti di calore antropogeniche. Il funzionamento degli edifici, in relazione alle attività interne e al funzionamento dei sistemi impiantistici, influisce infatti sull'aumento delle temperature che non è quindi imposto solo dalla radiazione solare. I sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (*HVAC*), infatti, emettono calore verso l'esterno, contribuendo a modificare il microclima locale. Questo ciclo negativo è amplificato dal fatto che le condizioni peggiorano con il cambiamento climatico e inducono un clima mediamente più caldo e condizioni estreme più forti e frequenti.

In sintesi, è possibile dedurre che, attraverso la progettazione urbana, è possibile influire sulle relazioni appena esplorate al fine di mitigare sia gli effetti macroclimatici che quelli dell'isola di calore urbana, che invece, come abbiamo già visto nei paragrafi precedenti, compare alla scala mesoclimatica e costituisce il confine interattivo tra gli effetti estrinseci del macroclima e gli effetti intrinseci del microclima. In relazione alla presente trattazione, è tuttavia maggiormente rilevante il ruolo che il controllo di questo effetto microclimatico può avere in una strategia orientata al perseguimento di un bilancio energetico positivo alla scala locale.

Studio sulla distribuzione della temperatura ambientale massima media mensile per la città costiera di Patrasso.
Fonte: Giannopoulos et al., 2021



1.3.4 Studi e metodologie

Dai paragrafi precedenti è quindi emerso il ruolo nodale assunto dal microclima nella relazione tra tessuto urbano e comportamento energetico, interazione che è stata pertanto considerata determinante per gli studi sviluppati negli ultimi dieci anni soprattutto in relazione alla progettazione di nuovi insediamenti urbani.

Infatti, in questi studi, è stato messo in luce come la morfologia urbana influisca non solo indirettamente sui fenomeni microclimatici come l'isola di calore (che indirettamente determina un aumento dei consumi energetici) ma anche direttamente sui consumi energetici (ed esempio influenzando gli apporti solari di luce e calore), anche se, allo stato attuale, questi due effetti energetici sono stati perlopiù studiati separatamente.

Tuttavia, gli studi più recenti si sono concentrati sullo studio delle relazioni dirette tra i fenomeni microclimatici, i fattori naturali (influenzati dalla forma urbana, come l'esposizione solare o ai venti) e il consumo degli edifici. Questi studi esplicitano e sintetizzano molte delle questioni affrontate nei capitoli precedenti.

Tra gli altri, nel lavoro del 2013 M. Street et al. prendono in considerazione l'influenza dell'isola di calore urbano sulla stima dei consumi energetici di un edificio. L'isola di calore (*Urban Heat Island, UHI*) è un fenomeno climatico per cui la temperatura dell'area urbana è più elevata del contesto circostante; è un fenomeno che può avvenire in varie circostanze a anche naturali, ma è molto accentuato nelle città per la concomitanza di fattori che lo generano: la bassa presenza di suolo permeabile e superficie verde, che nel processo di evapotraspirazione assorbe la radiazione solare e rilascia vapore acqueo che contribuisce a raffreddare l'ambiente; viceversa, l'elevata presenza di superficie impermeabile e non riflettente che assorbe le radiazioni rilasciandole sotto forma di calore; la produzione di calore residuo dovuto alla attività antropiche (processi industriali, di riscaldamento e condizionamento, traffico veicolare), sostanzialmente dovuto al rilascio di agenti inquinanti; la configurazione

urbana che può creare dei canyon (rapporto tra distanza delle strade e altezza degli edifici) che non permette la circolazione di correnti d'aria e trattengono la radiazione riflessa. L'isola di calore va a incidere sul microclima urbano. Nel suo lavoro Street (2013) dimostra la reale influenza dell'isola di calore sui consumi urbani, stimando un primo consumo a partire dai dati delle stazioni meteorologiche situate in area rurale e successivamente applicando a tali dati le correzioni secondo due metodi, *Urban weather generator* (UWG) (Bueno, 2012) e *Temperature alteration scheme* (Crawley, 2008), al fine di correggere variazioni climatiche rispetto all'ambiente urbano, dovute alla UHI.

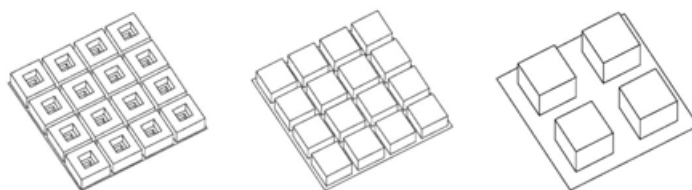
Un importante studio sull'influenza del microclima urbano sui consumi (in cui si ritrovano alcuni dei parametri urbani già indicati nei precedenti lavori) è stato fatto da Mutani (2016)¹⁶; nel modello di regressione lineare che correla i parametri urbani alla temperatura, dimostra come il microclima sia funzione della forma urbana; le variabili urbane sono la morfologia urbana (funzione di densità), l'albedo (specifico per materiale) e l'esposizione solare. Considerando il concetto che il consumo energetico degli edifici è composto da una componente relativa all'edificio e una componente relativa al contesto, nel suo studio indaga sulla influenza di questa seconda componente sul consumo energetico per il riscaldamento invernale nel caso studio di Torino.

Nel lavoro di Arboit et al. (2008), ci sono parte delle premesse della ricerca di Rode et al.; Arboit valuta il potenziale solare per un insediamento urbano a bassa densità in una regione climatica arida temperata fredda, quale è la città di Mendoza. I risultati del lavoro sono molto significativi e dimostrano la correlazione tra la morfologia urbana e gli indicatori energetici; in un contesto di bassa densità sono particolarmente influenti sul consumo energetico il fattore di forma e l'orientamento degli isolati rispetto alla direzione della radiazione solare; la forma dell'isolato assume importanza in relazione

16. Mutani G. et al., 2016, Space heating energy consumption and urban form. The case study of residential buildings in Turin (Italy), 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems SDEWES Conference, Lisbon, September 2016

all'orientamento, in particolare modo la forma rettangolare rispetto a quella quadrata; risulta di secondaria importanza la larghezza delle strade, mentre è fondamentale considerare la 16 componente verde degli alberi che permette di ridurre l'effetto isola di calore nella stagione estiva e ridurre l'utilizzo e quindi gli effetti negativi del raffrescamento artificiale. Altra variabile importante per tutti e tre l'indicarti è TOF che indica la densità volumetrica e quindi è determinante per l'incidenza o meno della radiazione solare. L'aspettativa dello studio, come dichiarato dall'autore è quella di porre delle basi tecniche per lo sviluppo e l'incremento di linee guida per l'ottimizzazione dell'uso della risorsa solare, in una regione ad alto potenziale come in quella di Mendoza.

Di riferimento rilevante sono sicuramente gli studi di Salat (Salat, 2006). In essi si è analizzato lo scambio radiativo e la ventilazione

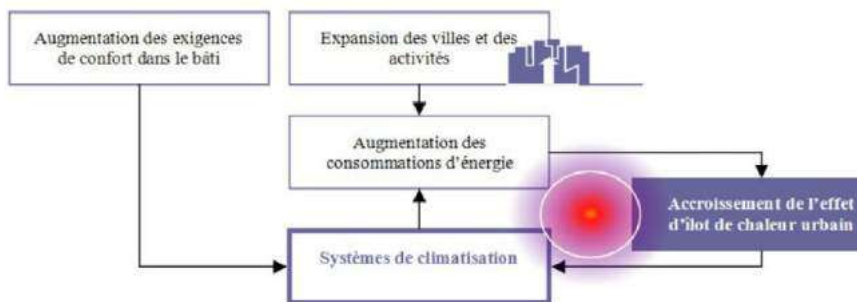


Rappresentazione assometrica di un tessuto urbano tradizionale araba (a sinistra) e due tessuti a "pavillions". Fonte: Ratti et al., 2003

come sono fortemente influenzati dalla morfologia urbana. Da queste analisi è infatti emerso come il microclima influenzi non solo il livello di comfort termico degli spazi esterni, ma anche la qualità dell'aria e i consumi energetici.

Il legame tra gli effetti ambientali ed un certo numero di parametri morfologici è stato inoltre approfonditamente analizzato nelle ricerche condotte dal *Urban morphology lab* nell'ambito del progetto ZED. Queste analisi hanno evidenziato la correlazione tra alcuni fenomeni (come l'assorbimento di energia solare, il potenziale di ventilazione e la permeabilità del tessuto urbano) e specifici parametri morfologici, come il rapporto Volume/ superficie.

Relazione tra consumo di energia e isola di calore, Fonte: Bozonnet 2008



Molte di queste indagini si sono concentrate sulla realizzazione di un modello semplificato che metta in relazione diretta la morfologia urbana, il microclima ed i consumi energetici degli edifici a partire da alcuni parametri di forma che possono essere presi in considerazione alle varie scale del progetto compositivo architettonico ed urbano.

In particolare, questi parametri permettono di:

- Quantificare il potenziale di “cattura” delle energie rinnovabili – solare attivo e passivo, eolico, geotermico – di un progetto urbano sin dalle prime fasi della concezione al fine di ottimizzare la nuova forma urbana.
- Analizzare e selezionare i siti urbani oggetto di intervento in funzione del loro potenziale bioclimatico.
- Posizionare le fonti di inquinamento atmosferico in funzione del potenziale di dispersione del tessuto urbano.
- Ottenere delle indicazioni per la concezione di spazi pubblici ad alto valore di comfort termico.

Queste ricerche si sono particolarmente sviluppate a partire da alcuni approfondimenti effettuati negli ultimi dieci anni da Carlo Ratti, Dana Raydan e Koen Steemers (Ratti, et al., 2003). Questi ultimi si sono concentrati sul tentativo di definizione della forma urbana energeticamente migliore in relazione a due criteri: da una parte l’ottimizzazione dell’uso del suolo e dall’altra l’accesso all’irraggiamento solare.

Sul modello proposto da Martins e March ¹⁷, le analisi sono state condotte confrontando tre forme (o tipologie) di edifici¹⁸ differenti ma caratterizzati dalla stessa quantità di superficie abitabile, che costituiscono una semplificazione degli edifici reali.

Il confronto è stato condotto prendendo in considerazione quattro parametri fondamentali:

- Il rapporto tra area superficiale e volume S/V, ottenuto dividendo la superficie totale degli edifici (facciate e coperture) per il loro volume; questo parametro è indicativo della superficie dell'involucro edilizio esposta all'ambiente esterno, e descrive la consistenza di un involucro edilizio rispetto al volume.

Questo rapporto rappresenta il potenziale di interazione con il clima attraverso la ventilazione naturale e la luce del giorno¹⁹.

- La densità dell'ombra, un parametro basato sul rilevamento dell'ombra sul terreno a intervalli di tempo regolari in un

17.] L. Martin, L. March (Eds.), *Urban Space and Structures*, Cambridge University Press, UK, 1972.

18. La prima tipologia corrisponde ad un tradizionale edificio a corte, duplicato su un'area isotropa di riferimento. La seconda, sul modello del padiglione, mantiene la stessa altezza e posizione della prima, ottenendo quindi uno spazio molto denso. La terza tipologia, infine, è costituita da una più ampia maglia stradale (con elementi longitudinali e trasversali), che comporta un numero di padiglioni ridotto rispetto alle tipologie precedenti, ma caratterizzata anch'essa dallo stesso numero di mq di superficie calpestabile degli altri casi (tramite l'aumento del numero di piani).

19. Quando il risultato del rapporto è elevato, le perdite di calore durante l'inverno sono maggiori, ma gli stessi guadagni solari sono allo stesso tempo maggiori. I calcoli indicano che in questo caso specifico il tipo di edificio a corte ha il più alto rapporto superficie/volume (0,58) se è isolato. I padiglioni di dimensioni più ridotte hanno un rapporto S/V di 0,4 mentre quelli più grandi hanno un rapporto 0,2. Questi risultati suggeriscono che sebbene il potenziale per la ventilazione naturale e l'illuminazione diurna sia maggiore, il tipo a corte è anche esposto all'aumento di calore durante l'estate e alla perdita di calore durante l'inverno. Il confronto delle superfici orizzontali e verticali tra le tipologie a corte e quelle a padiglione per un volume costante rafforza questa osservazione. Va notato che il modello ha delle forti limitazioni in relazioni alle perdite di informazioni presenti nelle situazioni reali a causa della necessità semplificativa (isolati dove le case sono a schiera o i tessuti sono continui, come gli isolati haussmanniani o altri tipo di isolati della tradizione europea molto diversi dalle tipologie urbane dei paesi islamici a cui lo studio fa riferimento).

determinato giorno dell'anno. In ogni punto viene quindi calcolato il numero medio di ore di ombra.²⁰

- La distribuzione della luce diurna, misurata come valori del “fattore di luce diurna diretta” nelle strade.²¹
- Lo *Sky view factor*, che rappresenta una buona misura dell'apertura verso il cielo del tessuto urbano; questo fattore è spesso associato, tra gli altri, all'aumento della temperatura nel contesto urbano rispetto al contesto rurale circostante (fenomeno dell'isola di calore urbana).²²

Carlo Ratti, Dana Raydan e Koen Steemers riassumono così i vantaggi delle trame urbane continue per climi caldi e secchi:

- una superficie di involucro più ampia e una massa termica maggiore;
- accesso alla luce del giorno grazie al cortile e ai piani bassi;

20. Per questo parametro è stata effettuata una simulazione di “shadowing” per una giornata estiva (21 giugno) alla latitudine di 31°N, che corrisponde alla latitudine della città di Marrakech. La densità dell'ombra è ovviamente maggiore in presenza di strade strette. Dall'analisi della densità media delle ombre, la tipologia a corte, che ha il valore più alto, risulta essere la configurazione più vantaggiosa (11,0 contro 9,8 e 6,1 per il padiglione). Come prevedibile, un'elevato tasso di ombreggiamento implica anche una scarsa disponibilità di luce solare diretta, motivo per cui il tipo a corte, con le sue strade strette, ne ha un apporto nettamente più basso (15% del valore medio per il tipo a corte rispetto al 30% e 53% per i tipi di padiglione). Gli edifici con corte sfruttano quindi il potenziale bioclimatico del cortile, mentre i padiglioni non mostrano questa capacità di creare e gestire un microclima locale interno.

21. Per la simulazione si è preso come modello di condizioni del cielo il “cielo coperto standard” CIE, che rappresenta le condizioni di un cielo coperto “ideale” e i valori sono stati conseguentemente normalizzati.

22. Un'equazione formulata da Oke stabilisce la relazione tra la massima differenza di temperatura tra spazio rurale e spazio urbano (cioè l'isola di calore urbana) e il fattore di vista del cielo dal centro delle strade. Si sarebbe portati a pensare che i padiglioni sono più predisposti alla minimizzazione questo fenomeno: massimizzando il fattore di vista del cielo dovrebbero minimizzare conseguentemente l'effetto isola di calore, come dimostra la formula di Oke. Tuttavia, la realtà opposta nei climi caldi e secchi. Un'ampia letteratura scientifica mostra infatti che in climi caldi e secchi un basso SVF è vantaggioso.

- spazi ristretti che offrono ombra e un migliore comfort termico.

La combinazione di queste tre caratteristiche crea un contesto in cui sono possibili strategie a basso consumo energetico limitando l'uso dell'aria condizionata.

Tuttavia, se si considera l'intera gamma degli effetti ambientali che agiscono nella realtà, le forme urbane esistenti sono spesso diverse e più complesse degli edifici isolati tipici dei climi caldi e secchi (dove sono comunemente utilizzate) che sono stati presi in considerazione.

Qualsiasi analisi delle forme urbane deve quindi specificare le condizioni climatiche locali, oltre che riferirsi alle forme urbane più proprie e caratteristiche del luogo considerato. I fattori di forma possono avere infatti un impatto molto diverso nei diversi climi²³. I tessuti urbani esistenti mostrano infatti una grande variabilità pur nella loro universalità tipologica. Questa variabilità non è in effetti quasi mai casuale, ma deriva dalla loro evoluzione nel corso della storia dettata dal necessario adattamento alle condizioni territoriali e climatiche in cui si sono sviluppate.

23. Le tipologie considerate dallo studio precedentemente analizzato sono ad esempio inadatte per climi caldi e umidi, come i climi tropicali dove la piccola variazione giornaliera della temperatura non consente il reale beneficio dell'effetto massa termica. L'analisi dovrebbe tenere conto anche di altri fattori relativi alle proporzioni e alle dimensioni. Non tutti i tessuti urbani ad andamento continuo ad esempio hanno prestazioni ambientali migliori degli edifici isolati. J. Mänty ha ad esempio mostrato che i grandi edifici continui, come quelli che si trovano a Helsinki, sono efficaci in climi molto freddi perché per determinate condizioni geometriche concentrano la radiazione solare e proteggono dai venti freddi. Nei climi temperati e freddi, le forme urbane di cui sopra invece sfruttano al meglio le condizioni climatiche, come mostra l'esempio tradizionale cinese di case a corte quadrate. I tessuti urbani esistenti mostrano una grande variabilità nella loro universalità. Questa variabilità derivante dalla loro evoluzione nel corso di diversi millenni di storia deriva dal loro carattere frattale che consente loro di ottimizzare la superficie delle membrane per un dato volume e clima.

Sintesi cronologica di studi selezionati inerenti la forma urbana, microclima ed energia. Fonte: Ko, 2012

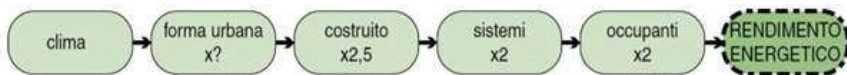
Autore	Anno	Focus	Note
Olgay	1963	Principles of bioclimatic approach to building design and site planning.	Seminal academic study in architectural regionalism.
McClenon & Robinette (American Society of Landscape Architects Foundation)	1977	Comprehensive instructions for energy conserving site selection and planning focusing on landscape planting.	Emphasis on natural factors (e.g. land form) in energy conserving site planning with case studies, Good bibliography by topics.
Center for Landscape Architectural Education and Research	1978	Hierarchical guidelines for energy conserving site selection, design, and planning.	Great hierarchy of site planning and design guidelines—(Gross & discrete site selection, plan layout, and building relationship) for four climate regions; excellent annotated bibliography.
A.I.A. Research Corporation	1978	Regional guidelines for passive energy conserving building design.	Consultant report to US HUD and DOE; Detailed climate analysis and design guidelines for 13 climatic regions of the U.S.
Erley & Jaffe (American Planning Association)	1979	Site planning guidebook focusing on solar access.	One of a three part series of consultant reports regarding solar access to US HUD and DOE.
Knowles	1981	Architectural and urban design applications using "solar envelop".	Seminal study that introduces the concept of solar envelopes; extended work from Knowles and Berry (1980).
Hammond et al. (Living Systems)	1981	Comprehensive manual for planning energy conserving residential development in California.	Consultant report to California Energy Commission; Specific manuals for six climatic regions of California; Excellent annotated bibliography.
Robinette	1983	Energy efficient site design for four climate regions.	Updated the work by Center for Landscape Architectural Education and Research (1978).
McPherson et al. (Landscape Architecture Foundation)	1984	Energy conserving neighborhood design (even including water conserving and embedded energy).	Beyond manuals, more comprehensive approach in energy conserving neighborhood design and landscape planning and providing alternative future community design case studies.
Brown	1985	Bioclimatic architectural design strategies.	The classic book on bioclimatic architectural design strategies; more detailed research focusing on buildings (in and outdoor) compared to Olgay (1963).
Owens	1986	The association between building energy performance and urban form within a larger framework of energy efficient spatial structure.	Seminal book on energy integrated urban and regional planning.
Akbari et al. (Lawrence Berkeley Laboratory and US EPA)	1992	Guidebook on tree planting and light-colored surfacing for energy conservation and mitigate urban heat island effects.	Science-based guidebook incorporating associated environmental issues in implementing tree planting (e.g. water use, tree wastes, and smog).
Givoni	1998	Research in climatic building and urban design and guidelines for four climate regions.	Seminal book on climatic building and urban design; lots of research examples on human comfort and the effects of urban form on climatology.
Littlefair et al. (BRE)	2000	Site layout design and planning utilizing solar access, microclimate and passive cooling in urban areas.	Seminal book on climatic site layout planning; lots of examples from research.
Krishan et al.	2001	Design handbook for climatic building design.	Mostly building oriented but great illustration on process of climatic design from macro to micro-scale.

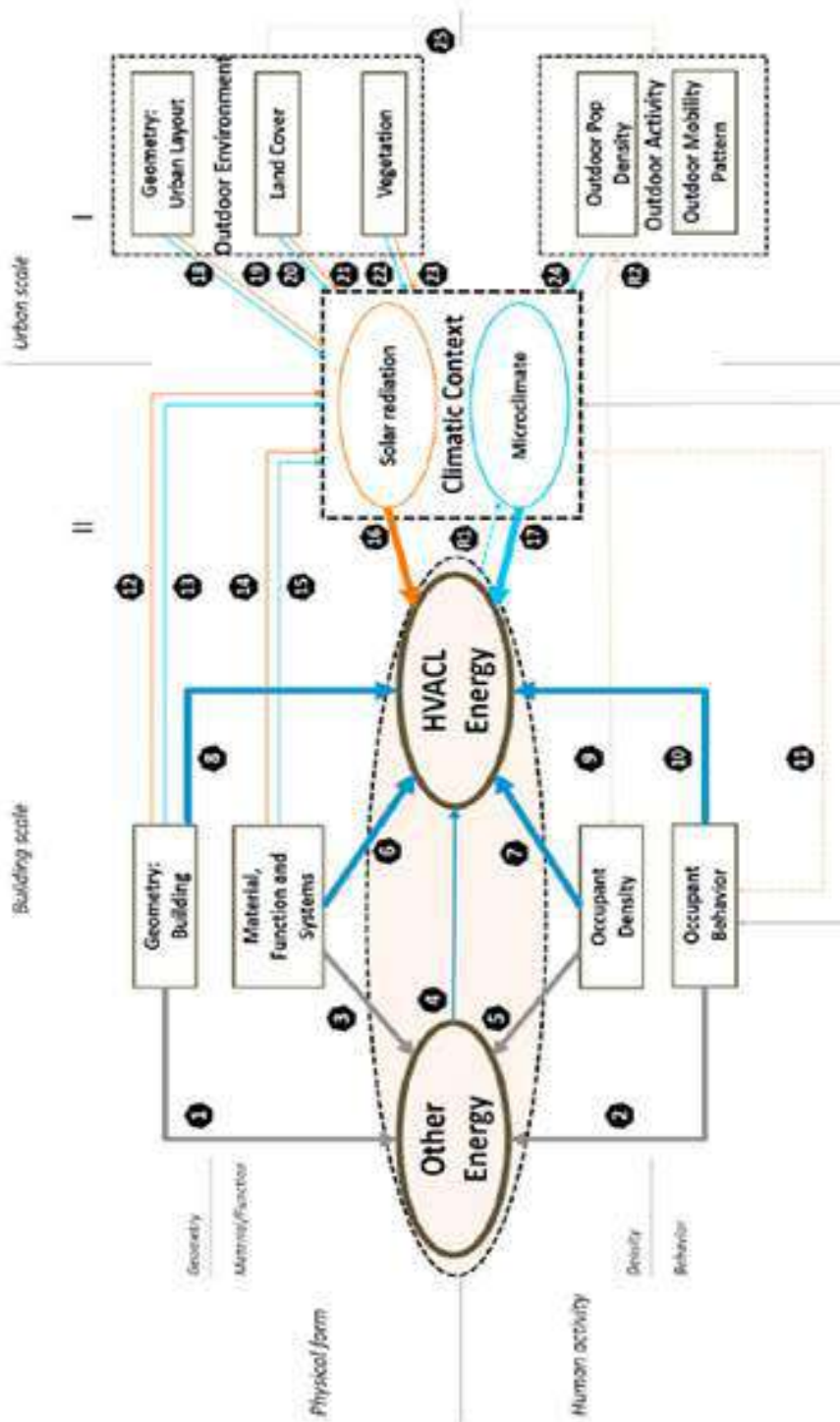
13 L'interazione tra forma urbana - microclima - energia

Sulla base di quanto esposto, il lavoro parte dall'assunzione che la forma urbana influisca significativamente sulla domanda energetica dell'edificio, sia in inverno che in estate, influenzando sul microclima, come ampiamente dimostrato nei capitoli precedenti.

Più nello specifico, abbiamo trattato separatamente le relazioni che intercorrono tra forma urbana-energia e forma urbana-microclima. Tuttavia, per le considerazioni fatte e per l'obiettivo del presente lavoro, è necessario operare una sintesi critica che consideri globalmente la relazione tra questi tre termini e l'insieme dei fattori in essi inscritti. In linea generale, molte delle trattazioni sull'argomento tendono a concentrarsi sui fattori incidenti sul consumo energetico dell'edificio come oggetto finale dell'analisi, considerandoli secondo una disposizione "in serie" all'interno delle schematizzazioni che sintetizzano questi rapporti.

Fattori incidenti
sul consumo
energetico
dell'edificio.
Fonte: Ratti et
al., 2005.





Sintesi cronologica di studi selezionati inerenti la forma urbana, microclima ed energia. Fonte:Ko, 2012

Tuttavia, sarebbe più opportuno attribuire un valore diverso a queste relazioni causa-effetto, poiché come visto i diversi fattori si influenzano anche reciprocamente.

L'insieme di queste relazioni, spesso analizzate in maniera per lo più differenziata dai diversi studi, è inoltre riassumibile in uno schema di sintesi efficacemente elaborato da Quan (vedi figura successiva).

La mappa dei percorsi fornisce una base utile per approfondire i meccanismi di interazione tra forma urbana, microclima e bilancio energetico. Il ragionamento di costruzione della mappa considera il consumo di energia relativa a HVACL¹ e gli altri consumi² di energia come due tipi separati di consumo di energia negli edifici e attribuisce le loro variazioni a due categorie principali di fattori influenti, cioè la forma fisica e le attività umane, seguendo le idee di Lynch e Rodwin. La forma fisica include fattori geometrici e tecnologico-costruttivi, e le attività umane includono fattori legati alla densità abitativa e al comportamento. Ciascuna delle categorie presenta due livelli, vale a dire la scala dell'edificio e la scala urbana, e forma quattro quadranti: Il quadrante I rappresenta i fattori di forma fisica su scala urbana, il quadrante II rappresenta i fattori di forma degli edifici, il quadrante III include i fattori di occupazione degli edifici, e il quadrante IV considera principalmente le attività umane esterne. I fattori nel Quadrante I, II e IV sono collegati

1. Il consumo di energia HVACL (Heating, Ventilation, Air Conditioning, Lightening) è il risultato del trasferimento termico e di massa dato da riscaldamento, ventilazione, condizionamento e illuminazione. Al-Homoud ha riassunto che esso dipende dalla progettazione dell'edificio, dall'efficienza del sistema e dal comportamento degli occupanti. Baker e Steemers hanno aggiunto a questa lista il fattore legato alle attività e ai processi svolti all'interno degli edifici. Ratti et al. hanno ulteriormente rimarcato l'influenza del clima e della geometria urbana che, influenzando le condizioni microclimatiche, agisce sui consumi energetici. Quest'ultimo lavoro di ricerca è stato ulteriormente esteso da Quan et al. considerando come fattore di contesto urbano anche la popolazione e le condizioni demografiche. Da questa breve sintesi di lavori appare facilmente desumibile come il design degli edifici e della geometria urbana siano fattori strettamente legati alla forma urbana.

2. Gli altri consumi d'energia negli edifici sono spesso considerati come direttamente determinati dall'occupazione e dalla funzione dell'edificio. Gli studi che considerano questi usi energetici spesso assumono che abbiano intensità costante, rendendo l'influenza dei fattori di forma urbana un semplice problema legato ad una funzione matematica. Tuttavia, tali ipotesi nei casi reali sono talvolta eccessivamente semplificatrici

da fattori climatici legati al contesto, che collegano la scala dell'edificio e quella urbana. Oltre ai quattro quadranti di fattori influenti, esistono due fattori esterni, che sono il clima urbano e i fattori economici. Nello schema sono inoltre segnati attraverso delle frecce le diverse relazioni esplorate in molteplici ricerche scientifiche.

Tornando al discorso precedentemente iniziato, l'esplorazione della relazione tra il tessuto urbano, i fattori climatici e microclimatici, la componente architettonica (morfologico-spaziale e tecnologica) e il consumo energetico richiede, quindi, la presa in considerazione di meccanismi paralleli e coesistenti che caratterizzano tali relazioni.

Tuttavia, per la presente trattazione, l'oggetto finale dell'analisi non consiste nel bilancio energetico dell'edificio in sé, ma piuttosto nel bilancio energetico complessivo dell'ambiente urbano, o di una sua porzione.

Pertanto, si ritiene di poter integrare l'insieme delle questioni considerate in uno schema riassuntivo con altre componenti ugualmente fondamentali: quella della produzione.

Pertanto, si propone di seguito una ri-sistematizzazione delle componenti e delle relazioni da considerare nell'influenza sul bilancio energetico alla scala del quartiere.

La trattazione fin qui condotta ha avuto quindi lo scopo di predisporre uno sfondo teorico di riferimento e definire l'insieme degli strumenti che saranno adottati, nei successivi capitoli, per la strutturazione di una strategia operativa adeguata.



Riassunto della relazione dei fattori che influenzano il bilancio energetico urbano

**2 TESSUTO URBANO,
MICROCLIMA E
CONSUMO ENERGETICO**

Le principali strategie condotte fino a oggi all'interno dei contesti urbani possono essere identificate con tre modalità di intervento: lo sviluppo di nuovi insediamenti, il retrofit dell'esistente e l'ibridazione delle prime due. Questi indirizzi progettuali sono tuttavia accumulati da un'attenzione alla forma urbana, alla tecnologia degli edifici e alla progettazione degli spazi verdi tramite un approccio che racchiude in maniera olistica studi microclimatici, ingegneristici, architettonici e urbanistici. Anche se molto spesso criticato in relazione al problema dello *sprawl* urbano, lo sviluppo di nuovi insediamenti sembra essere inevitabile a fronte dell'espansione delle città e, in questo periodo storico, non potrebbe essere diversamente. Gli studi ed i progetti sviluppati ex novo rientrano tra le pratiche maggiormente efficaci e innovative in quanto affrancate dai vincoli imposti dal tessuto della città esistente.

All'interno dei nuovi quartieri¹ l'aspetto energetico diviene in effetti un vero e proprio elemento chiave nella definizione di tutte le altre componenti, dalla composizione della morfologia urbana alla definizione delle soluzioni tecnologiche adottate nella costruzione degli edifici, fino alla progettazione della componente naturale e vegetale.

Diversamente, la linea progettuale legata al *retrofit* dell'esistente è permeata da vincoli imposti da un contesto consolidato in diversa misura. Il progetto energetico, pertanto, si configura come leva per una riqualificazione operata attraverso delle azioni specifiche e attente, paragonabile a un intervento chirurgico sul tessuto urbano preesistente. È proprio il caso della rigenerazione che mostra una particolare urgenza e necessità se osservato nell'ottica del principale panorama culturale ed architettonico urbano europeo, in cui si inserisce la presente trattazione, delle realtà territoriali ed urbane caratterizzate da un "ingombrante" passato e da un incerto futuro, come quella francese e quella italiana, per le quali il patrimonio esistente costituisce in larga misura il DNA che struttura lo stesso spazio urbano.

Sebastiano Brandolini sintetizza bene il concetto: «Sul volgere del nuovo millennio appare ineluttabile la condizione di dover lavorare, sempre e comunque, in stretto rapporto con l'esistente. Se fino a una ventina di anni fa questa poteva apparire una scelta di principio o di ideologia, ... oggi, a me pare, questa non sia più una scelta, ma una condizione imprescindibile, di cui non si può fare a meno» (Zambelli, 2004).

Su questo semplice e basilare principio, efficacemente sintetizzato, si basa la convinzione alla base del presente lavoro, della necessità di formulare strategie di rigenerazione – non solo urbana, sociale, ed architettonica, ma anche dell'urgente riqualificazione energetica

1. La tendenza a costruire nuovi insediamenti incontra sempre più spesso la necessità di progettare edifici a basso impatto ambientale. Il binomio sostenibilità ambientale-efficienza energetica sta alla base del modello degli eco-quartieri diffusi in tutta Europa. In particolare, la Francia con gli "Eco-quartier" ha prodotto una vasta letteratura urbana ed architettonica, ne sono un esempio le numerose realizzazioni a Parigi, tra i quali ritroviamo il quartiere di Clichy-Batignolles.

di cui sia ampiamente parlato - che siano realmente efficaci, che sappiano rinnovare e preservare il patrimonio esistente senza intaccarne il valore architettonico autentico.

La presente trattazione si pone, dunque, il principale obiettivo di formulare una strategia di intervento energetico sulla città esistente. In particolare, su quella parte di città fortemente consolidata e particolarmente vincolata per il valore intrinseco che riveste sul piano architettonico-storico e culturale.

In linea più generale, i diversi studi incentrati sulla formulazione di strategie di rigenerazione energetica possono essere categorizzati in due grandi insiemi: da una parte, gli studi che si sono concentrati sul potenziale d'uso delle risorse energetiche naturali e locali (prendendo in considerazione prevalentemente i parametri di progettazione passiva: uso, morfologia, materiali) e dall'altra gli studi che hanno esplorato le tecnologie applicate al fine di ottimizzare l'uso di queste risorse (cioè i sistemi tecnologico-realizzativi alla scala architettonica ed urbana) (Compagnon, 2004).

La presente trattazione mira alla formulazione di una strategia di intervento energetico che metta a sistema le due componenti precedentemente descritte; che consideri cioè in maniera integrata i criteri di progettazione edilizia ed urbana (orientati al miglioramento del comportamento passivo delle componenti) con i criteri tecnologici, tenendo, inoltre, in considerazione l'influenza dei caratteri microclimatici e delle componenti ambientali.

La necessità di un approccio che consideri la molteplicità dei fattori influenti in maniera olistica ed integrata richiederà in principio l'esplorazione efficace delle influenze e delle interrelazioni tra le diverse strategie legate alle componenti formali del tessuto urbano da un lato ed all'uso delle componenti tecnologiche dall'altro.

Se le prime sono state già ampiamente trattate nella precedente parte della trattazione, queste ultime rivestono un ruolo ugualmente fondamentale. In effetti, esse rivestono un'importanza ancora maggiore nella misura in cui, volendo intervenire, come dichiarato, sulle parti di città maggiormente consolidate, le effettive possibilità di intervento e trasformazione della componente morfo-tipologica

è fortemente limitata dalla necessità di conservare il patrimonio esistente rispettando eventuali vincoli di tutela architettonica e paesaggistica.

Prima di passare all'approfondimento degli aspetti più specifici che connotano la strategia in corso di formulazione, è necessario fornire alcune precisazioni.

L'approccio olistico, necessario per il perseguimento dell'obiettivo dichiarato, non riguarda solo l'integrazione delle diverse componenti che sono coinvolte nel bilancio energetico di un ambiente urbano, ma anche la messa a sistema dei due principali piani di intervento, quello teorico e quello applicativo, propri dell'attività di progettazione.

In effetti, la letteratura si è interessata, in maniera spesso disintegrata, di stabilire da una parte le regole teoriche di progetto e dall'altra di esplorarne alcune particolari applicazioni su casi specifici, con la conseguenza che è venuta a mancare la visione d'insieme di queste due fasi che dovrebbero, invece, essere intimamente connesse.

Inoltre, è bene sottolineare che la formulazione di strategie di riqualificazione energetica della città consolidata si distingue inevitabilmente da quelle prefigurate nei casi di nuova costruzione per la maggiore complessità che ne caratterizza in una certa misura l'approccio. Tuttavia, è possibile adottare alcune delle strategie utilizzate nei casi di nuova realizzazione ed assumerne la validità anche nei casi di retrofit dell'esistente.

È utile, infine, rimarcare che l'implementazione di strategie che consentano di ottenere un bilancio energetico positivo alla scala di un quartiere, sia nuovo che esistente, sembra essere un problema ancora in fase di studio. Tuttavia, già si evidenzia l'importanza del ragionamento a questa scala dovuta dalla possibilità di sviluppo dei processi rigenerativi maggiormente efficienti rispetto a quelli pensati alla scala del singolo edificio, considerando i consumi e le produzioni del costruito in un sistema basato sulla condivisione dell'energia.

2.1 Strategie di intervento sulla città consolidata: questioni e problematiche

Tra i principali problemi di carattere generale, enucleati nel primo capitolo, riguardanti le operazioni finalizzate alla riqualificazione energetica di un ambiente urbano è possibile evidenziarne alcuni che devono essere maggiormente considerati nell'ambito della progettazione urbana, architettonica ed energetica, con particolare attenzione alla necessità di intervento su tessuti vincolati.

Problematiche ambientali

a. Emissioni di gas a effetto serra

Come visto nel primo capitolo, gli edifici producono una grande quantità di emissioni per via diretta ed indiretta. La prima è data dall'uso di sistemi di riscaldamento che prevedono una combustione, la seconda è dovuta all'energia elettrica consumata derivante prevalentemente da fonti di energia non rinnovabile. Le cause delle emissioni di gas effetto serra sono ormai abbastanza chiare: i gas

Problématique	Sous- Problématique	Objectif	Sous-Objectif
Réduction des consommations énergétiques	Réduction des consommations dans le Bâtiment	Agir sur Morphologie	Réduire dépendances
			Augmenter Apports Solaires
		Agir sur Technologie	Réduire énergie incorporée
			Réduire énergie consommée
			Augmenter isolation
	Végétation	Augmenter la surface d'espaces verts (publics)	Réduire la minéralisation Augmenter la surface Augmenter la densité du réseau viarie
	Réduction des consommations dans les Transports	Agir sur Forme de l'aménagement	Agir sur géométrie du réseau viarie
			Agir sur topologie du réseau viarie
			Agir sur stationnement
			Réduire énergie incorporée au substrat
			Réduire énergie consommée
		Agir sur Technologie	Réduire énergie consommée par l'éclairage public
			Augmenter accessibilité au réseau de TC
		Agir sur Mode de transport	Augmenter fluidité du trafic TC

a effetto serra (GHG) intrappolano l'energia solare nell'atmosfera e quindi contribuiscono al suo riscaldamento. Secondo l'IPCC, "si prevede che le emissioni continue di gas serra a livelli attuali o superiori aumenteranno il riscaldamento e altereranno profondamente il sistema climatico nel ventunesimo secolo".

b. Perdita progressiva della vegetazione nelle aree urbane

La vegetazione sta gradualmente scomparendo lasciando posto a materiale che impermeabilizzano il suolo. La vegetazione gioca un ruolo importante, attraverso i fenomeni di evapotraspirazione¹ ed ombreggiamento, nella gestione ambientale e termica dei suoli e degli edifici, proteggendo dall'irraggiamento solare e dall'accumulo eccessivo di calore. La vegetazione contribuisce anche a una buona

1. Durante il processo naturale di evapotraspirazione del vapore acqueo, l'aria ambiente si raffredda cedendo parte del suo calore per permettere l'evaporazione.

gestione delle acque meteoriche e a una migliore qualità dell'aria nelle città.

c. Impermeabilizzazione dei suoli

Come risultato dell'intensificazione dell'urbanizzazione negli ultimi decenni, vaste superfici di suoli naturali sono state sostituite da materiali impermeabili, come l'asfalto e i materiali da costruzione, che non garantiscono funzioni di filtraggio e assorbimento dell'acqua, alterando così il percorso naturale delle acque meteoriche².

Fattori morfo-tipologici dei tessuti

In linea generale, come indicato da Lepore, i fattori che usualmente possono influire negativamente in termini energetici sul progetto e sulla realizzazione di un intervento a basso impatto energetico possono essere così sintetizzati:

- il disegno della rete stradale con un orientamento specifico: molto spesso quest'ultimo influisce sull'ubicazione degli edifici ponendo vincoli geometrici molto restrittivi su entrambi i lati della strada, conferendo loro un orientamento che, in molti casi, non è adatto all'implementazione delle tecniche per la conservazione dell'energia e del fattore solare;
- la relazione tra l'altezza di un edificio e l'ampiezza della strada: un rapporto eccessivamente basso tra le due componenti potrebbe causare un eccessivo ombreggiamento per la mancata penetrazione dei raggi solari all'interno degli spazi abitati;
- la relazione tra esposizione solare e caratteristiche geometriche del lotto, che può determinare l'esposizione a

2. Brattebo, B. Booth, B.D. (2003) sottolineano che riducendo al minimo la disponibilità di acqua nelle aree urbane, i processi naturali di raffreddamento sarebbero limitati e non riuscirebbero a compensare il riscaldamento urbano.

sud di spazi interni che necessitano di un maggior apporto solare;

- la densità del tessuto, che può compromettere il percorso dei flussi d'aria e ostruire l'irraggiamento solare;
- la carenza di verde, che, come visto, può influenzare significativamente i fenomeni termici e microclimatici all'interno dell'ambiente urbano;
- La scelta dei materiali di rivestimento delle superfici con Proprietà termiche dei materiali ³;
- gli aspetti normativi e gli indici di costruzione che spesso impongono vincoli dimensionali degli edifici influenzando quindi la forma geometrica e il posizionamento sul lotto.

Verso una strategia di intervento applicata

Appare chiaro come in un tessuto già consolidato, oggetto di tutela, non sia possibile intervenire liberamente sulla struttura urbana, su posizione ed orientamento degli edifici e dei lotti nonché sulla posizione o orientamento della maglia stradale⁴. Tuttavia, vi sono alcuni elementi che appartengono alla morfologia urbana che hanno una grande incidenza positiva nel bilancio energetico e che appartengono ad una categoria più flessibile: la rete del verde, dalla grande alla piccola scala (quella della singola pianta), la rete delle acque e le componenti architettoniche e tecnologiche.

Questi elementi possono essere categorizzati secondo una

3. Asaeda, T. Ca, Vt. Wake, A. (1994) sottolineano che le pavimentazioni impermeabili e i materiali da costruzione influenzano il microclima e le condizioni di comfort termico, poiché assorbono molto calore durante il giorno e lo rilasciano nuovamente nell'atmosfera durante la notte, contribuendo all'effetto isola di calore urbano.

4. Le caratteristiche che connotano il tessuto urbano della città consolidata determinano l'impossibilità di agire su alcuni parametri riguardanti la forma urbana, ad esempio in molti contesti di un quartiere esistente non sarà possibile agire sull'altezza dell'edificio, profondità del lotto o sulla forma architettonica.

indicizzazione delle strategie e suddivisi a seconda della scala di applicazione. Più nello specifico, è possibile distinguere due categorie relative alle scale che interessano il nostro focus progettuale: la scala urbana di quartiere e la scala architettonica.

In questo modo, è possibile identificare due principali tipi di strategie, bioclimatiche urbane e bioclimatiche architettoniche. La prima riunisce gli interventi che sono rivolti al tessuto urbano ed in particolare agli spazi destinati alla rete stradale, agli spazi pubblici ed al verde, mentre la seconda categoria gli interventi riguardanti la scala del singolo edificio.

2.2 Metodologia di intervento

Prima di procedere a definire nello specifico le strategie urbane ed architettoniche bioclimatiche che articolano la fase di intervento, si descriverà in maniera dettagliata la generale metodologia su cui è definito il progetto.

Le implicazioni morfologiche, architettoniche e climatiche analizzate in maniera integrata nei capitoli precedenti costituiscono infatti la base su cui sviluppare una metodologia di analisi e di intervento più mirata.

Nell'ottica di perseguire una maggiore resilienza energetica dei tessuti urbani alla luce delle grandi problematiche già esposte, si propone, quindi, di seguito una metodologia orientata alla formulazione di una strategia di intervento efficace ed operativa. Come precedentemente dichiarato, sulla base delle precedenti esperienze finalizzate al retrofit energetico di edifici storici da un lato, e delle diffuse attività di ricerca incentrate sulla promozione di azioni di adattamento e mitigazione sul patrimonio residenziale, si

proporrà nello specifico una metodologia incentrata sulla scala di un quartiere esistente e architettonicamente tutelato.

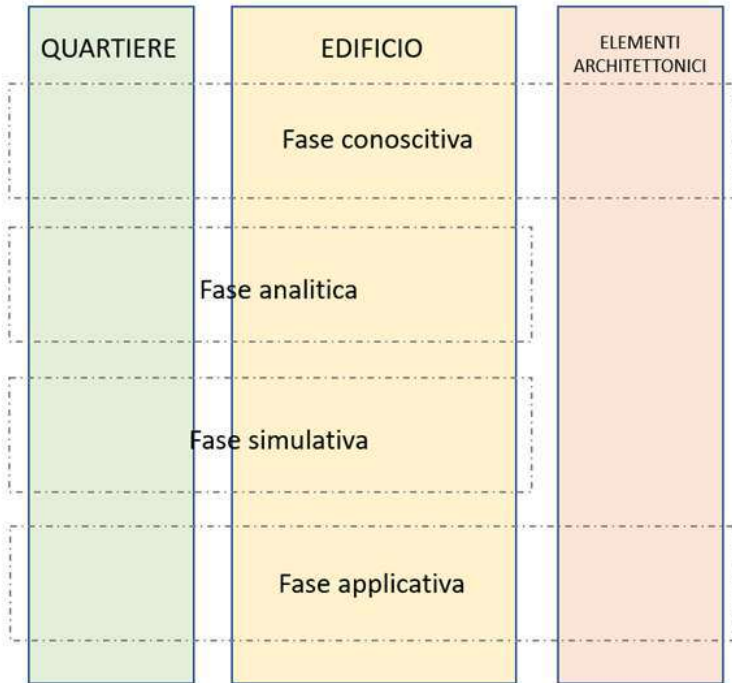
In un certo senso, le condizioni alla scala locale nelle aree urbane già esistenti amplificano la complessità della gestione del processo di riqualificazione urbana finalizzato a preservare le peculiarità degli ambienti considerati. Tuttavia, proprio questi ambiti cittadini in cui l'incidenza del costruito sul consumo energetico è maggiore e le condizioni microclimatiche sono in molti casi particolarmente problematiche, costituiscono un contesto interessante per la sperimentazione progettuale.

In particolare, si tenterà di definire un processo di riqualificazione del patrimonio costruito enucleando le principali azioni richieste, tenendo in considerazione le teorie e gli studi considerati. Inoltre, si cercherà di prendere in esame diverse scale di approfondimento, dalla macroscale del quartiere alla microscale architettonica, ponendo in relazione le caratteristiche climatiche locali ai comportamenti energetici degli edifici, le necessità energetiche degli stessi edifici ai fabbisogni energetici del distretto.

La grande complessità di un sistema urbano – anche alla scala del quartiere – formato da diversi *layers* interagenti costituiti dall'insieme del costruito, del verde e delle condizioni climatiche, la metodologia non può che seguire un approccio multiscalare, necessario per identificare innanzitutto le relazioni esistenti tra le condizioni ambientali (microclima, inquinamento, clima regionale), il quadro normativo (nazionale, regionale e comunale) e il sistema di edifici.

Il filo conduttore che sottende lo studio sarà costituito dalla necessità di delineare un processo dinamico in termini di conoscenza, diagnosi e fasi di intervento per individuare l'incidenza dei parametri urbani ed architettonici nel raggiungimento di un sufficiente livello di mitigazione e adattabilità.

Una prima fase trasversale alle diverse scale considerate, intesa come fase di “raccolta dati”, esplorerà l'incidenza delle risorse esistenti oltre che le caratteristiche ambientali, urbane ed architettoniche. Come emerso dai capitoli precedenti, infatti, i



Schema che illustra le fasi del processo in relazione all'area di applicazione.

parametri morfologici dei tessuti costruiti influenzano il clima del luogo e quindi il consumo dell'edificio: la considerazione integrata di queste componenti si afferma quindi come strumento necessario per l'analisi realistica dello stato di fatto dell'ambiente di progetto. Per questo motivo, alcuni più influenti parametri della forma urbana e delle tipologie architettoniche, insieme ai parametri climatici locali ed ai fenomeni microclimatici, devono essere considerati in questa prima fase analitica.

Ad un livello successivo e ad una scala più ravvicinata, la seconda fase approfondirà gli elementi evidenziati nella fase precedente per comprendere e quantificare la reale incidenza dei fattori considerati sul funzionamento energetico del brano urbano oggetto di intervento.

La terza fase, simulativa, evidenzierà, invece, i parametri urbani ed architettonici su cui intervenire in relazione alle carenze in termini di prestazioni energetiche come precedentemente evidenziate.

Infine, la fase applicativa comprenderà due ordini di azioni fortemente interconnesse: da un lato la scelta delle modalità di

intervento, già catalogate in letteratura¹, e dall'altro l'applicazione di determinate azioni che mirano al miglioramento delle proprietà critiche.

Le quattro fasi di progetto nel dettaglio

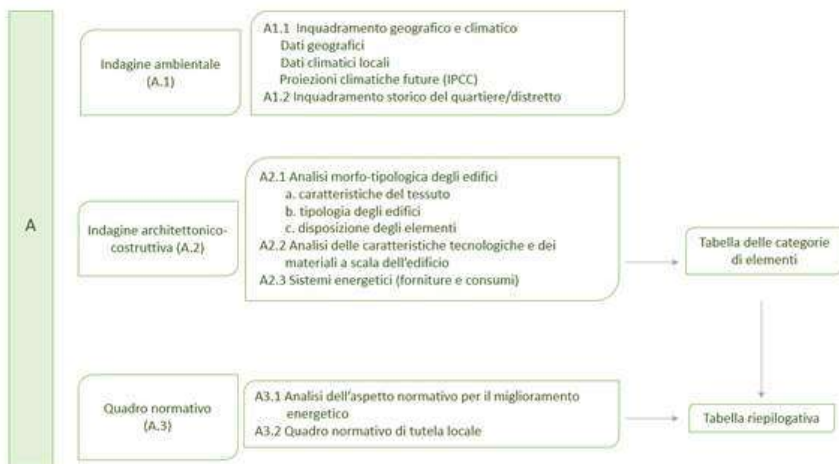
La **prima fase**, di carattere **conoscitivo**, prevede un'indagine sistematica delle caratteristiche ambientali (A1), architettoniche e costruttive (A2) e delle norme regolamentari per il miglioramento energetico (A3) e la tutela storico-architettonica (A4).

In particolare, i dati sono classificati, come segue:

A1 Ambito ambientale, in cui si indagano:

- A1.1 Caratteristiche climatiche locali, inclusi i dati statistici monitorati utilizzati per la classificazione del clima tipico su scala locale, concentrandosi sui dati di:
 - Radiazione solare
 - Temperatura dell'aria
 - Umidità
 - Afa
 - Pioggia
 - Vento
 - Esposizione solare e la nuvolosità;
- A1.2 Proiezione del clima locale, facendo riferimento ai cambiamenti stocastici globali forniti dall'IPCC;
- A.1.3 Sviluppo storico del quartiere, concentrandosi sui principali progetti di intervento architettonico e di cambio d'uso del suolo;
- A.1.4 Descrizione degli elementi del tessuto urbano, concentrando

1. Le azioni di Adaptive design sono state illustrate in maniera precisa e puntuale all'interno di alcune pubblicazioni del Prof. F. Tucci, contributi che sono stati racchiusi all'interno degli atlanti di tecnologie bioclimatiche per l'architettura.



l'attenzione sull'uso degli edifici, dei servizi, delle reti di distribuzione energetica e della mobilità;

A.2 Caratteristiche architettoniche e costruttive, in particolare:

- A.2.1 Caratteristiche morfo-tipologiche degli edifici a scala di quartiere, riferite all'altezza, alle tipologie del patrimonio costruito del quartiere; questi dati possono essere raccolti utilizzando documenti d'archivio e bibliografici o attraverso indagini in loco. Questa sottofase è di particolare importanza in quanto consente di rappresentare un "edificio tipo" che abbia al suo interno gli elementi rappresentativi delle interazioni complessive, ed è utile per identificare le strategie di trasformazione;
- A.2.2 Descrizione della tecnologia dell'edificio al fine di valutare elementi tecnologici, materiali dell'involucro costruito e sistemi energetici al fine di definire possibili trasformazioni;
- A.2.3 Stato di manutenzione e stato d'uso effettivo del patrimonio residenziale su scala di quartiere e di edificio;
- A.2.4 Sistemi energetici disponibili a scala dell'edificio,

concentrandosi su raffreddamento e riscaldamento, nel caso in cui i dati fossero disponibili.

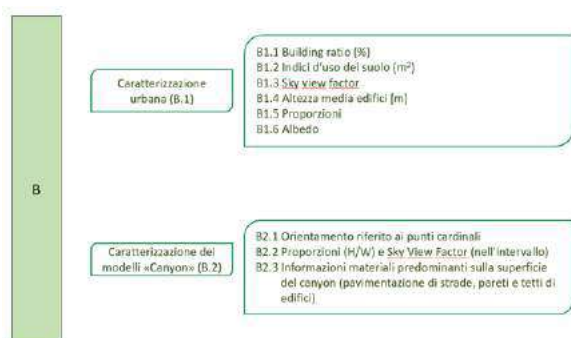
A.3 Normative sul miglioramento energetico e per la tutela urbana ed architettonica (A.4);

La raccolta sistematica dei dati di input confluisce quindi in un modello che costituirà il principale database di informazioni.

La **seconda fase di analisi**, denominata “B”, consiste nella sistematizzazione di tutti i dati raccolti nella fase precedente con lo scopo di identificare le principali tipologie architettoniche riscontrabili nel sito considerato (al fine di ricondurre i risultati del processo ai casi simili), i principali fattori microclimatici e le caratteristiche dell’ambiente urbano maggiormente influenti sul funzionamento energetico del brano urbano oggetto di intervento. Questa fase conterrà:

B1. Analisi del quartiere, come prima macro-parametrizzazione dell’intero distretto; in particolare, il quartiere viene analizzato concentrandosi sulle caratteristiche geometriche e di copertura superficiale, e sulle proprietà termiche e metaboliche raccolte nella fase precedente. Dai dati considerati nella fase precedente si deducono in maniera più specifica i dati relativi a:

- Principale orientamento delle strade;



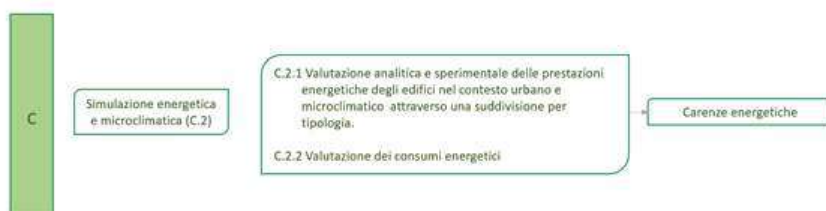
- Orientamento degli edifici
- Densità del tessuto
- Rapporto di superficie degli edifici (%),
- Rapporto di superficie permeabile (%),
- Sky View Factor medio (-),
- Altezza media degli edifici (m),
- Aspect ratio (-),
- Albedo superficiale (-)

L'insieme dei parametri appena elencati permette nella fase di analisi dell'ambito di intervento di dedurre alcune considerazioni energetico-climatiche necessarie per stabilire le strategie di intervento da utilizzare nei vari casi presi in esame.

B2. Analisi del "Canyon tipo"; mira ad individuare i modelli di *canyon* rappresentativi in termini di tipologia ed orientamento esplicitando le caratteristiche geometriche, cioè, *aspect ratio* (H/W), *Sky View Factor* (SVF), nonché informazioni sui materiali di superficie dei canyon stradali (pavimentazione delle strade, pareti e tetti degli edifici).

La **terza fase**, denominata "C", si concentra sulla **simulazione** dei fenomeni microclimatici nel modello urbano considerato, sullo studio del consumo energetico - in relazione ai fattori microclimatici - delle tipologie di edifici individuate all'interno del brano urbano e sull'individuazione delle carenze energetiche. Il riconoscimento del microclima del quartiere e delle caratteristiche fisiche e termiche degli edifici permette da un lato di valutare le carenze energetiche, dall'altro di riconoscere le caratteristiche distintive del tessuto originario, come le interazioni con i microclimi e le qualità intrinseche dell'edificio.

Infine, la **quarta fase applicativa**, denominata "D" sarà caratterizzata dalla scelta delle modalità di intervento e l'approfondimento di azioni specifiche e mirate al fine di garantire un miglioramento delle proprietà critiche precedentemente



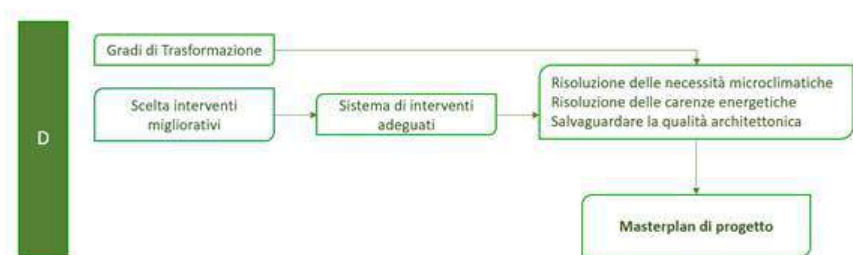
individuare. Attraverso i dati provenienti dalle simulazioni effettuate nella fase precedente sarà possibile mettere a sistema le misure di risparmio energetico (vedi tabella in basso) con le caratteristiche del tessuto considerato - parametri microclimatici, energetici e gradi di trasformazione.

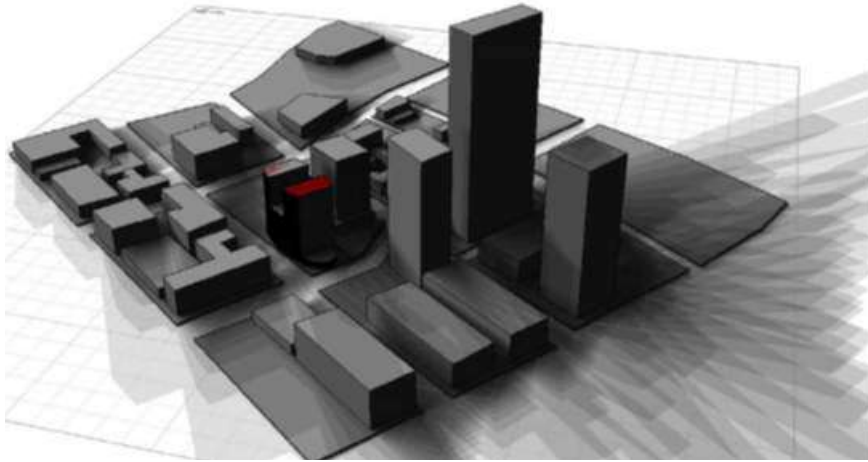
Questa fase è costituita da:

D.1 Progetto energetico urbano ed architettonico dell'intervento: in questa fase si valutano tutte le carenze delineate nella fase precedente e si colmano in termini di possibili trasformazioni del legando alle prescrizioni delle norme di tutela, già raccolte nella prima fase.

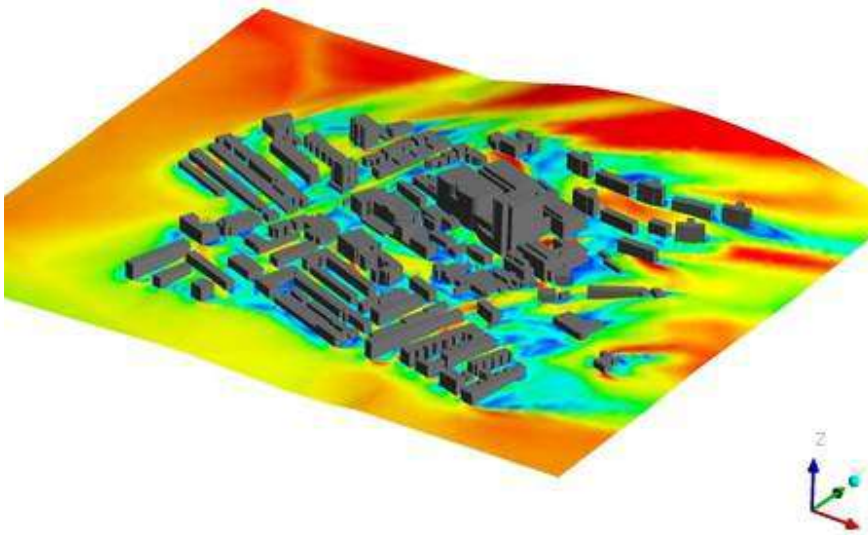
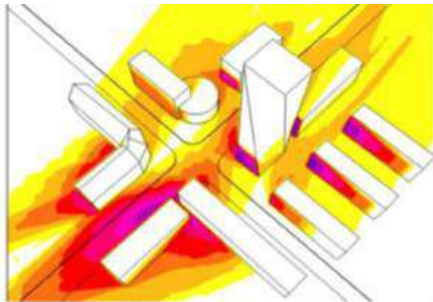
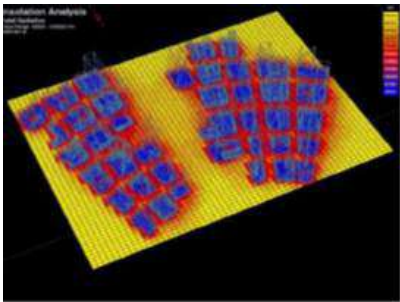
In particolare, le strategie di intervento sono combinate con le norme di tutela, definendo un sistema di interventi adeguati e di soluzioni tecniche di mitigazione o adattamento; in particolare, le strategie urbane e le soluzioni morfologico-spaziali e tecnologiche (sviluppate per ogni edificio tipo) sono concepite come linee guida di progettazione e buone pratiche basate su progetti e sistemi sia tradizionali che innovativi per l'efficienza energetica.

Ogni ambito di intervento, anche all'interno di una stessa città, può avere diversi valori nei parametri morfologici e climatici, proprio per la





Esempio di Modello 3d e analisi della radiazione solare sul modello.



Esempio di simulazione del flusso del vento in un contesto urbano.

differente collocazione geografica e per l'unicità del contesto.

Questa fase si completerà con la presentazione di un masterplan di progetto che racchiude le misure adottate e le presenta in una vista urbana di insieme.

Dopo aver sinteticamente descritto la metodologia su cui costruire il progetto di riqualificazione energetica dell'esistente alla scala di quartiere, si esplicheranno di seguito le principali strategie architettoniche ed urbane bioclimatiche selezionate in funzione del particolare obiettivo prefissato.

Misure bioclimatiche in relazione ai climi considerati. Fonte: Atlante di architettura bioclimatica

MISURE DI RISPARMIO ENERGETICO PER REGIONI

L'importanza è misurata su una scala da 0 a 7 o di azzurro a rosso

ZONE CLIMATICHE

		Caldo-umido	Umidità	Altopiani	Continente	Temperato	Mediterraneo	Subtropicale	Tropicale	Savanna	Steppe	Deserto
MISURE PASSIVE PER IL COMFORT	MISURE ATTIVE PER IL COMFORT											
Ventilazione naturale		1	1	1	4	6	6	7	7	7	7	7
	Ventilazione meccanica	1	1	3	1	1	4	1	6	6	6	6
Ventilazione notturna		1	1	2	3	5	6	7	7	7	7	7
	Raffreddamento artificiale	1	1	1	1	1	3	6	6	6	6	6
Raffreddamento evaporativo		1	1	1	1	2	1	2	2	6	6	7
	Raffreddamento libero	1	1	1	4	3	5	6	6	7	7	7
Struttura pesante		3	4	4	6	6	6	2	2	3	6	6
Struttura leggera		3	3	2	2	3	1	6	6	6	4	4
	Riscaldamento artificiale	7	7	7	7	6	4	1	1	2	4	1
Riscaldamento solare		2	3	6	6	7	6	6	6	2	3	6
	Riscaldamento libero	7	7	7	6	6	6	1	6	6	3	6
Calore incidente		6	6	6	6	6	4	1	1	1	2	1
Isolamento/Permeabilità		7	7	7	7	6	6	1	1	1	3	4
Controllo solare/ombreggiamento		1	1	3	4	6	6	6	6	6	7	7
	Illuminazione artificiale diurna	6	6	4	4	4	1	3	3	2	2	2
Illuminazione naturale		6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4

Legenda

1 Non importante 7 Molto importante

MISURE A ELEVATA EFFICIENZA ENERGETICA COSTANTI INDIPENDENTEMENTE DALLA POSIZIONE DELL'EDIFICIO

Energia intrinseca, grigia e indotta Gestione del comfort Generazione d'energia

2.2.1 Strategia urbana bioclimatica

La relazione tra acqua, vegetazione, materiali e tessuto urbano è un argomento vasto che può essere affrontato solo parzialmente in questo lavoro. Di seguito verranno infatti approfondite le strategie che possono contribuire alla riqualificazione bioclimatica degli spazi aperti nella città esistente, attraverso azioni di adattamento e mitigazione delle condizioni microclimatiche alla scala del quartiere e la riduzione dei consumi energetici attraverso l'intervento su elementi formali, tecnologie e materiali scelti.

Il sistema del verde

I parchi, le aree verdi pubbliche e private sono elementi essenziali nella valutazione della qualità dell'ambiente urbano e di conseguenza della qualità di vita degli abitanti, tanto da costituire, in molti esempi, l'ossatura del progetto urbano, nel quale utilizzati per creare ambienti in grado di soddisfare le necessità ed il comfort degli abitanti.

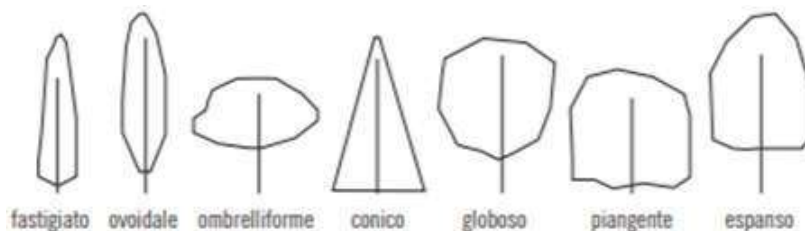
Se gli spazi verdi sono principalmente oggetto di interesse per la progettazione paesaggistica delle città e visti come spazi ricreativi ed ornamentali, in questa dissertazione si ritiene utile considerarne il carattere funzionale, o meglio multifunzionale, quindi come elemento naturale fortemente influente sul bilancio energetico del quartiere, procedendo con l'osservazione degli spazi verdi attraverso la chiave di lettura dell'energia. L'alto grado di influenza dal punto di vista energetico degli spazi verdi nelle aree urbane è riscontrabile soprattutto a causa del fenomeno di aumento di temperature (vedi "isola di calore urbana", capitolo precedente), con uno scostamento che varia dai 2 ai 3 gradi Celsius, nelle aree sprovviste di vegetazione rispetto alle vicine aree suburbane. Uno studio dell'Università di

Atene² ha desunto che la richiesta di energia per il raffrescamento di un edificio nel centro di Atene è circa il doppio di quella per un edificio nella campagna vicina, individuando delle soluzioni utili a risolvere tale problema consistenti nella realizzazione di un gran numero di aree verdi di dimensione ridotta, che, secondo lo studio, sono più efficaci di un'unica grande area piantumata. Le azioni positive che un sistema del verde ben concepito svolge - attraverso spazi verdi, parchi, giardini, filari alberati - aiutano a creare condizioni microclimatiche migliori, soddisfacendo contemporaneamente e meglio gli obiettivi di:

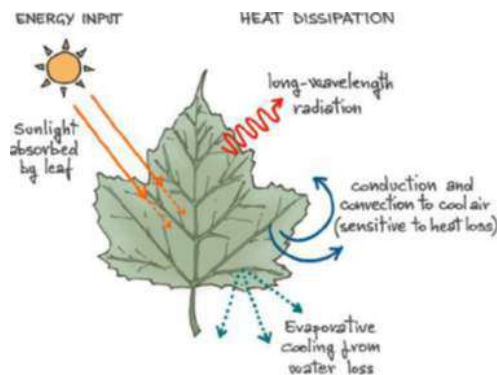
- ridurre i gas serra,
- intrappolare le polveri sottili,
- raggiungere un maggior livello di mitigazione microclimatica attraverso l'ombreggiamento e l'evapotraspirazione,
- aumentare il benessere delle persone negli spazi aperti,
- ridurre i consumi energetici per il raffrescamento degli edifici, grazie al miglioramento della protezione dal sole e dal vento, alla riduzione della temperatura dell'ambiente urbano, quindi mitigando l'effetto serra e generando un alto livello di comfort interno durante l'estate;
- ridurre i livelli di inquinamento acustico
- migliorare la gestione del ciclo dell'acqua riducendo il run-off,
- costituire il supporto della mobilità ciclo-pedonale,
- conferire attrattività e vivibilità di strade, piazze, parchi e più valore economico agli immobili che vi si affacciano.

Nel contesto urbano, la strategia di inserimento della vegetazione include la scelta di tipologia, forma e ubicazione della pianta così come

2. Salata, K. and Yiannakou, A. (2016) "Green Infrastructure and climate change adaptation", *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), pp. 7-24.



Tipi di portamento dell'albero. Fonte: ricerca Rebus.



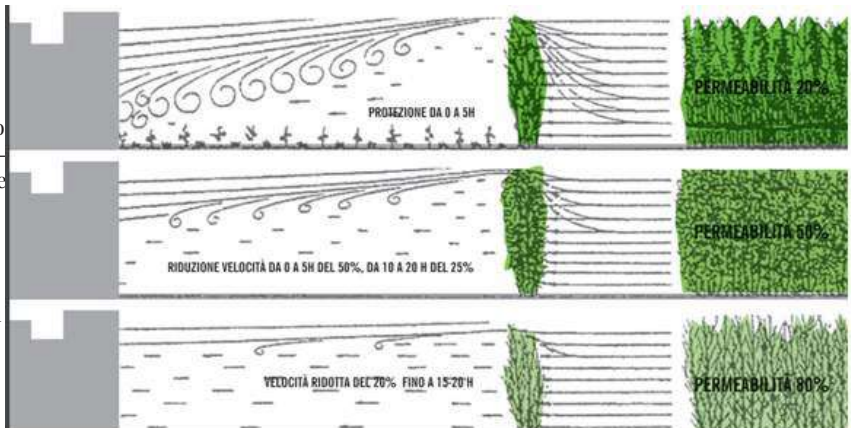
Bilancio energetico foglia.

la corretta collocazione e dimensione delle aree destinate al verde³. Attraverso questi parametri, la vegetazione influisce, dal punto di vista climatico ed energetico, sui bilanci energetici estivi e invernali del tessuto urbano. All'interno della categoria della vegetazione, è possibile distinguere diverse tipologie che, attraverso differenti modalità di impiego, producono benefici termici ed energetici per il contesto urbano.

Innanzitutto, bisogna considerare la massa vegetativa; gli alberi, infatti, generano un effetto considerevole di raffrescamento pari alla somma dell'effetto di evapotraspirazione e ombreggiamento. Lo stesso numero di alberi possiede una maggiore efficienza termoregolatrice quanto minori sono le loro distanze, compatibilmente con le esigenze di crescita dipendenti dalla specie e varietà di appartenenza (Dessi, 2016). Pertanto, a seconda della morfologia dello spazio urbano, gli

3. La scelta di una specie di albero deriva dal connubio tra forma dello spazio urbano e caratteristiche morfologiche delle piante, che comprendono dimensioni, portamento, colori del fogliame e variazioni stagionali e presenza di fiori e frutti.

Il progetto di un'area intorno ad un edificio che preveda il posizionamento di alberi, cespugli o altre piante e barriere, crea delle aree di alta e bassa pressione, influenzando così il flusso e la velocità del vento. Variando la posizione della specie scelta è possibile ottenere diverse configurazioni di spostamento dell'aria.

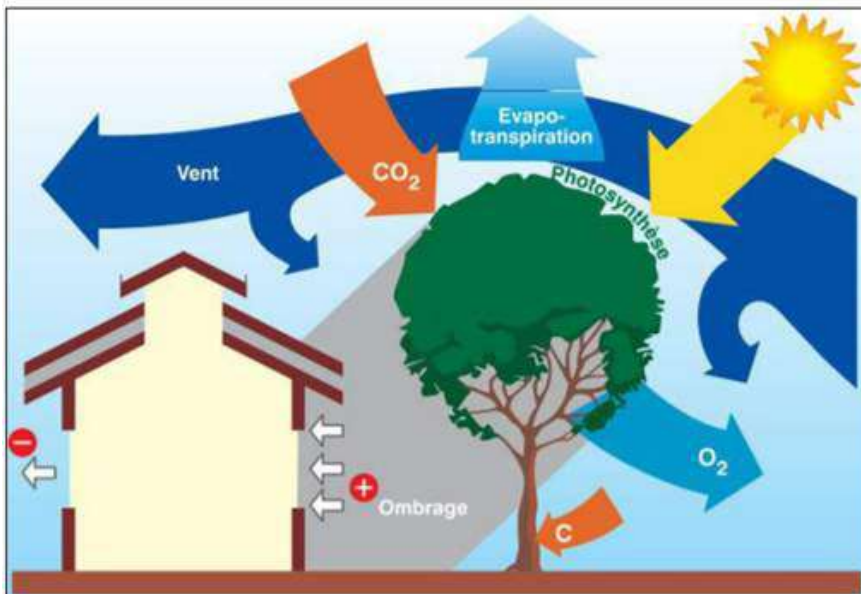


alberi possono essere posizionati singolarmente oppure organizzati in filari (singoli, doppi, a gruppo o misti) o come massa vegetata. Se lungo i percorsi convenzionalmente si utilizza la disposizione a filare, nelle piazze, nei giardini e nei parcheggi vengono impiegati sia i filari sia le masse vegetate, generando un effetto bosco.

L'impiego complessivo e la messa a dimora degli alberi nei pressi di un edificio segue alcune regole: gli alberi sempreverdi posti vicino alle facciate a nord di un edificio incrementano la protezione termica, compatibilmente con la ventilazione ambientale e le caratteristiche termiche dell'involucro dello stesso; gli alberi a foglie caduche sul lato sud di un edificio offrono una protezione naturale dalla radiazione solare e un raffrescamento per evaporazione durante l'estate e consentono l'accesso solare negli spazi interni in inverno.

Per la scelta degli alberi in un contesto urbano è opportuno attenersi alle regole agro-ecologiche. Tuttavia, per il contesto europeo, possono essere considerate valide tre categorie di specie vegetazionali differenziate per dimensioni e velocità di crescita, di seguito brevemente elencate (Dessi, 2016).

Nel primo gruppo, con le dimensioni maggiori, ideali per alberate stradali e verde urbano è possibile considerare: *Acer campestre* - Queen Elizabeth (crescita medio-lenta); *Acer Opalus* (crescita media); *Acer cappadocium* (crescita media, produce succhioni); *Aesculus indica* A. *glabra* (crescita media); *Brachychiton populneus*



Gli effetti della vegetazione sull'edificio.
Fonte: Liebard, 2005

(crescita veloce); *Gleditsia triacanthos* (crescita veloce) *Ginkgo biloba* (crescita medio-lenta).

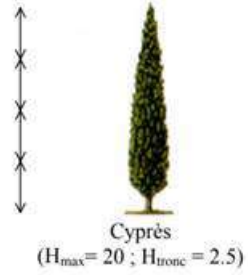
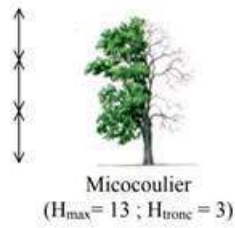
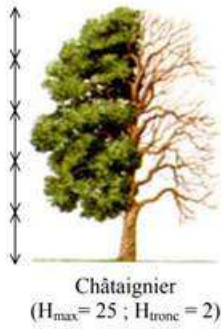
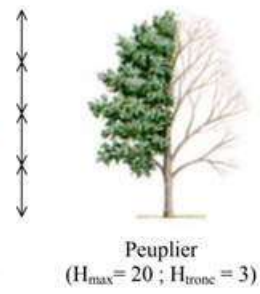
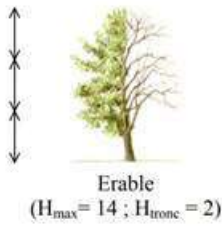
Il secondo gruppo, con dimensioni leggermente inferiori, anche queste ideali per alberate stradali e verde urbano, è possibile considerare: *Nyssa sylvatica* (crescita lenta); *Phellodendrom amurense* (crescita media) *Pistacia chinensis* (crescita veloce) *Pyrus calleryana* (crescita medio-veloce); *Quercus frainetto* (crescita lenta); *Quercus suber* (crescita lenta); *Robinia pseudoacacia* (crescita veloce); *Ulmus parvifolia* (crescita veloce); *Zelkova serrata* (crescita medio-veloce).

Infine, nel terzo gruppo, di dimensione ancora minore, ideale come verde urbano è possibile considerare: *Carpinus orientalis*; *Cercis siliquastrum*; *Fraxinus ornus*; *Hippophae rhamnoides*; *Koelreuteria paniculata*; *Laurus nobilis*; *Magnolia spp*; *Malus spp*; *Morus alba* e *M. nigra*; *Prunus padus*; *Sambucus nigra*.

Questa grande varietà di alberi, in funzione della posizione di piantumazione, modifica l'azione delle correnti e migliora le condizioni microclimatiche di una determinata area in differenti modi:

- ostacolando il passaggio del vento (albero isolato, massa

Differenza stagionale di nove tipi di alberi. Fonte: Larue 1996



Una classifica-
zione di Larue
che distingue
nove tipi di
forma. Fonte:
Larue 1996



Port conique, pyramidal
• thuya géant
• épicéa



Port boule, sphérique
• érable boule
• robinier boule
• catalpa



Port colonnaire



Port pleureur
• saule
• bouleaux
• frênes



Port irrégulier
• ginkgo



Port original
• sophora japonica
pendula
• cèdre



Port fastigié, érigé
• cyprès d'Italie
• peuplier d'Italie



Port étalé en parasol
• pin parasol



Port étalé
• châtaignier
• chêne/platane

vegetata o filare) per proteggere un'area nella stagione invernale;

- filtrando le correnti per ridurne l'intensità (filare);
- incanalando e deviando le correnti per mitigare il caldo d'estate;
- influenzando la velocità del flusso d'aria verso l'interno dell'edificio o attraverso di esso,
- dividendo le correnti d'aria, indirizzandone una parte attraverso l'edificio e parte sopra di esso

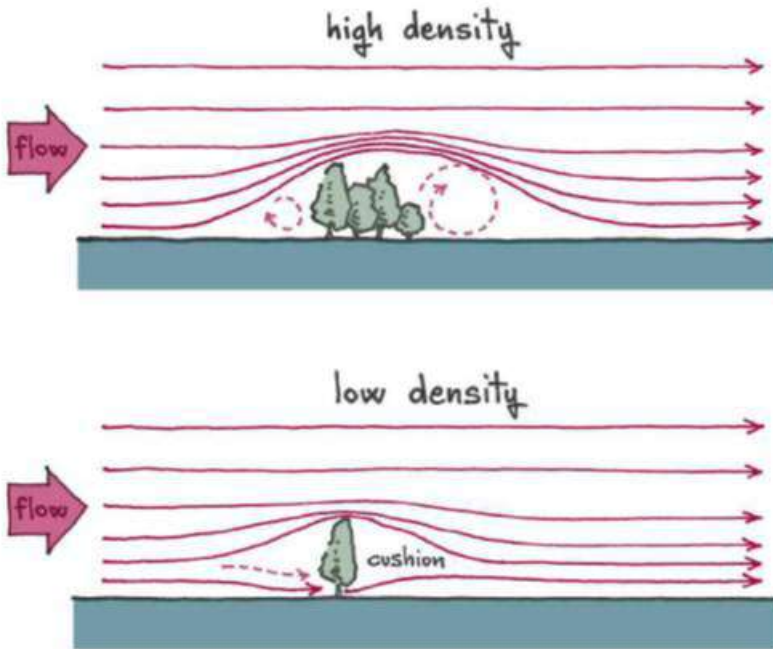
In seconda battuta è utile considerare il verde "orizzontale" – rappresentato da alberature basse, erba, o altre piante – in quanto generatore di fenomeni di raffrescamento indiretti del contesto urbano, influenzando la temperatura del suolo. Come evidenziato nella ricerca Rebus⁴, il terreno coperto dal verde è una superficie permeabile che in ambito urbano svolge tre importanti funzioni oltre a quella ricreativa e sociale:

- riduce il run-off, ovvero lo scorrimento superficiale delle acque pluviali, garantendo una gestione sostenibile delle piogge intense; 35 36 37 38 39

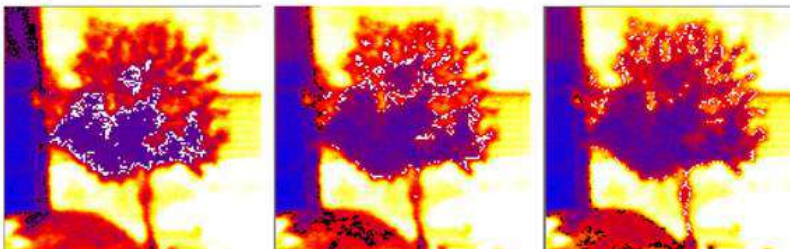
- in prossimità degli edifici ha un ruolo nella regolamentazione termica, riducendo la riflessione dei raggi infrarossi notturni e permettendo una benefica escursione tra notte e giorno. In una giornata estiva, un prato di 1000 mq restituisce all'atmosfera per evaporazione circa 3000 litri di acqua. Di conseguenza, la temperatura del prato può essere inferiore anche di 5°C rispetto al terreno nudo e di 15°C rispetto a un marciapiede d'asfalto;

- nei parcheggi svolge le funzioni di assorbimento di CO₂ di stoccaggio dei metalli pesanti e delle polveri sottili, di miglioramento del deflusso idrico e di degradazione degli oli versati dai motori.

4. Rebus® Renovation Of Public Buildings And Urban Spaces del Politecnico di Milano



Posizionamento vegetazione come frangivento



Comportamento termico visto tramite termocamera di elemento vegetale a 27° , 28° e 29° . Fonte: Alvarez et al., 2000

In terza istanza occorre esplorare il verde “pensile” – realizzato su uno strato di supporto strutturale impermeabile, quali solai e tetti, – ha diversi benefici ecologici e agisce su diversi aspetti:

- la riduzione del carico che grava sulla rete di smaltimento delle acque piovane;
- la limitazione dell’aumento di temperatura nelle città causato dall’estendersi delle superfici mineralizzate (isola di calore urbana);
- l’aumento e la conservazione della biodiversità nelle città e l’assorbimento delle polveri inquinanti;
- Comportamento di massa termica per cui riduce le dispersioni di calore dall’edificio verso l’esterno e protegge i materiali strutturali del tetto, migliorandone la durata.

Infine, il verde verticale, installato appunto su superfici verticali o pareti per lo più opache, viene ad acquisire particolare rilevanza in molti dei più ricercati progetti di architettura sia di edifici di nuova costruzione che negli interventi di riqualificazione. La parete verde, andando a costituire una “seconda pelle” dell’edificio, presenta alcuni vantaggi:

- miglioramento dell’isolamento poiché impedisce l’irraggiamento diretto dei raggi solari sulla parete, che non si scalda e non irradia il calore all’interno;
- riduzione delle dispersioni di calore dagli edifici verso l’esterno, grazie all’effetto di massa termica. Inoltre, contribuisce alla riduzione delle polveri sottili, che riesce a catturare attraverso l’apparato fogliare, ed ha, infine, un notevole impatto estetico e ornamentale.



Verde orizzontale,
Fondazione
Benetton



Verde verticale,
Caixa Forum,
Madrid,
Herzog & De
Meuron.

Il quartiere Bottiere Chenaie a Nantes, premiato come ecoquartier si è sviluppato da un progetto basato sui percorsi d'acqua e la permeabilità dei suoli. Atelier des paysages Bruel-Delmar, 2018

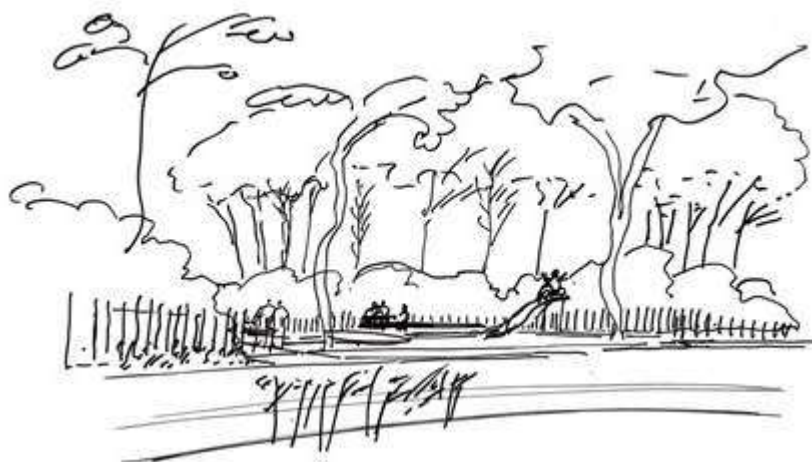




Il sistema dell'acqua

Insieme alla vegetazione, che può influire sulla temperatura esterna e definire l'andamento e l'intensità del vento attraverso la predisposizione di tecniche differenti, altre tecniche di definizione del paesaggio (e al contempo di arredo urbano) ugualmente efficaci possono includere l'uso di specchi d'acqua (laghetti), ruscelli e cascate per il raffrescamento dell'ambiente attraverso il fenomeno dell'evaporazione. Il raffrescamento evaporativo è ampiamente noto ed il suo utilizzo risale all'antico passato. Già durante l'Impero Romano, questo principio di climatizzazione era utilizzato a Nîmes in estate (Berger,1998). Più recentemente, in Arabia Saudita, più precisamente nella piazza della moschea di Nabawi a Medina, si è adottata una strategia di raffrescamento di un'area di 15 ettari attraverso la nebulizzazione continua di acqua per fornire il giusto raffrescamento di una delle aree più trafficate del mondo. L'utilizzo delle strategie per il raffrescamento esterno tramite evaporazione migliora infatti le generali condizioni di comfort facendo decrescere la temperatura dell'aria intorno all'edificio e, per effetto diretto, influenza le temperature dell'aria interna, con un conseguente abbassamento del carico di raffrescamento interno.

Il quartiere Bottiere Chenaie a Nantes, premiato come ecoquartier si è sviluppato da un progetto basato sui percorsi d'acqua e la permeabilità dei suoli. Atelier des paysages Bruel-Delmar, 2018





Nebulizzazione, progetto "Re-vivre Saint Barthélemy-D'Age-nais", Atelier arcadie paysagiste, 2016

Focalizzando l'attenzione su diversi fenomeni legati all'evaporazione di un piccolo specchio d'acqua è possibile analizzare alcune relazioni esistenti tra diversi termini influenti nel bilancio energetico: guadagni solari, perdite per calore latente e per calore sensibile.

Possiamo quindi considerare lo specchio d'acqua come un sistema sottoposto a sollecitazioni esterne (sole, vento) che cerca di equilibrare quest'ultime tramite altre azioni (cambiamento di temperatura, evaporazione). Un diagramma semplificato ne mostra di seguito i fenomeni principali.

L'apporto di radiazione solare, che in estate può raggiungere valori elevati e che colpisce la superficie dell'acqua, è scarsamente riflesso poiché il coefficiente di riflessione è solo del 3% per le ore di massima radiazione solare (Alvarez et al., 1989). La grande frazione di energia assorbita genera il fenomeno di diffusione del vapore acqueo che migra tra la superficie dell'acqua e l'aria dell'intorno, si noterà dunque un aumento della concentrazione di vapore acqueo nell'aria, inizialmente bassa (il passaggio dalla fase liquida a quella gassosa è più intenso che il contrario), fino al raggiungimento dell'equilibrio tra i due fluidi, l'aria e l'acqua. Quando si otterrà questo equilibrio, l'aria è satura di vapore acqueo. La pressione di vapore dell'acqua pura alla pressione atmosferica è chiamata pressione di vapore di saturazione ed è uguale alla pressione parziale del vapore acqueo nell'aria. La

Place Jean Ja-
urès, Beziers,
2018.

Il contributo di
getti d'acqua in
uno spazio ur-
bano permette
di migliorare
il microclima
locale.

Fonte: Pena
paysages



diffusione, che provoca un cambiamento di fase dall'acqua liquida al vapore acqueo all'interfaccia acqua-aria, è la forza motrice della sostituzione del vapore acqueo che viene assimilato dall'aria. Questo cambiamento di fase richiede una grande quantità di energia, il calore latente di vaporizzazione⁵. Così, quando un'area di acqua evapora, gran parte dell'energia solare in entrata viene persa come

5. Sono necessari 2450 kJ per far evaporare 1 kg di acqua: uno spessore di 1 mm su un m².

calore latente. Questo è il motivo per cui la temperatura dell'acqua è più bassa di quella dell'aria durante il giorno. La differenza tra le due temperature è attenuata da un trasferimento di calore sensibile tra l'aria calda e l'acqua fredda. In sintesi, il processo di evaporazione raffredda l'acqua in una prima fase e l'acqua raffredda l'aria in una seconda fase. In letteratura, si usano espressioni per quantificare i diversi trasferimenti coinvolti. Tuttavia, nella realtà le situazioni appaiono complesse perché i fenomeni convettivi, radiativi e diffusivi non possono essere considerati separatamente. Alcuni casi specifici richiedono una comprensione globale dei processi fisici che è possibile solo attraverso gli studi di simulazione.

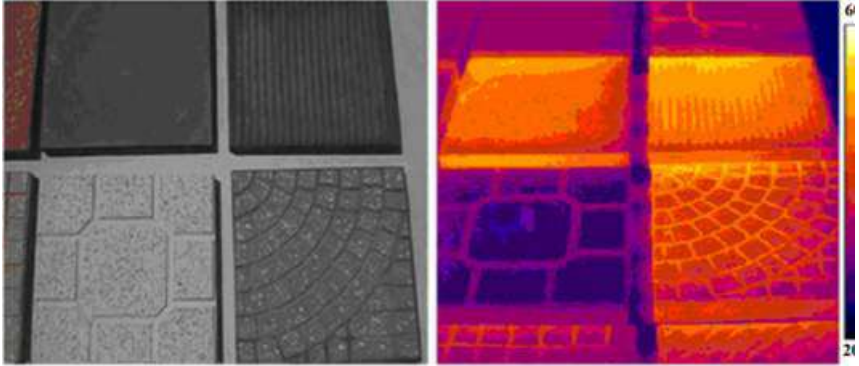
L'albedo delle superfici urbane

L'uso di materiali ad alta riflessione solare negli ambienti urbani comporta dei benefici diretti e indiretti. Se il beneficio diretto a scala urbana consiste nell'aumento della riflessione della radiazione solare, i benefici indiretti, dovuti al raffreddamento dell'aria, invece sono molteplici e consistono nella conseguente riduzione della necessità di condizionamento estivo, riduzione del particolato atmosferico e nel miglioramento del comfort ambientale (Rosenfeld et al. 1996, Akbari et al. 1997, Konopacki e Akbari, 2001).

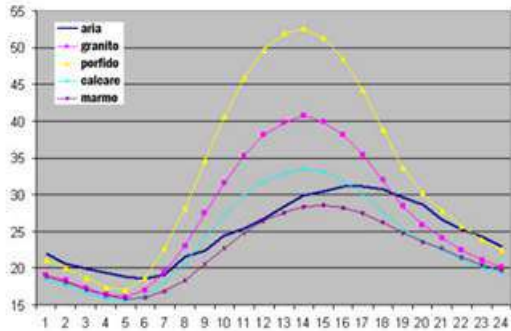
A scala urbana, l'uso di materiali ad alto albedo riduce la quantità di radiazione solare assorbita, quindi diminuisce il calore termico accumulato dai materiali stessi durante le ore diurne e conseguentemente il calore rilasciato all'ambiente nelle ore notturne⁶. In questo contesto, è interessante approfondire la questione delle pavimentazioni e dei manti che, più di coperture e facciate, influenzano le condizioni di comfort termico degli utenti e, soprattutto, le condizioni

6. Synnefa et al. hanno dimostrato che la scelta di materiali ad alta riflettività ed emissione permette di ottenere delle superfici che, in seguito ad esposizione alla radiazione solare, mantengono una temperatura superficiali più bassa. Le misurazioni hanno anche mostrato che le coperture aventi rivestimenti chiari hanno una riflettività elevata, che può raggiungere il 72%.

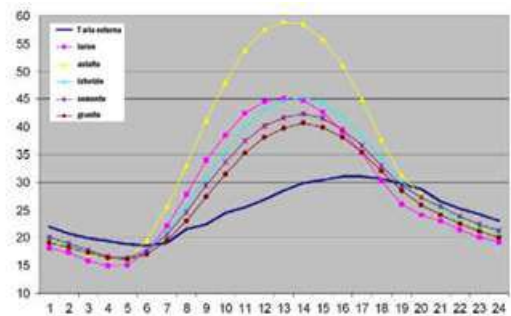
Immagine tradizionale e ai raggi infrarossi di alcuni materiali per pavimentazione urbana.
Fonte: Santamouris, 2014



Valori di temperatura superficiale di pavimentazioni realizzate in differenti materiali lapidei in relazione alla temperatura dell'ambiente.



Valori di temperatura superficiale della pavimentazione di uno spazio urbano al variare dei materiali di rivestimento. Valori albedo: larice 0,6; asfalto 0,1; laterizio 0,4; cemento 0,5; granito 0,5.



microclimatiche che influiscono maggiormente sul comportamento energetico degli edifici, tra cui l'isola di calore, costituendo pertanto gli elementi su cui concentrare particolare attenzione durante la fase di progettazione energetica urbana.

Nello specifico, nel caso di intervento in un quartiere esistente è possibile prendere in considerazione due possibilità: la totale sostituzione dei materiali oppure il trattamento delle superfici attraverso l'utilizzo di particolari tecnologie o di materiali che influenzino positivamente il comportamento di quello d'origine.

Gli studi che hanno trattato l'argomento sono numerosi e soprattutto incentrati sulla ricerca di materiali sempre più performanti. La sostituzione dei materiali di copertura delle superfici urbane è infatti indirizzata da alcune ricerche scientifiche che, attraverso lo studio dei principali materiali di rivestimento del suolo, ne hanno definito due categorie in funzione delle proprietà fisico-termiche: materiali freddi e caldi.

I materiali "freddi" sono caratterizzati da un alto fattore di riflessione alla onde corte della radiazione solare e da un'alta emissività. Riducono, quindi, la quantità di radiazione solare assorbita dagli elementi urbani e mantengono le loro superfici più fresche. Rispettivamente, sono buoni emettitori di radiazioni a onde lunghe e rilasciano energia che è stata assorbita dalle radiazioni a onde corte. L'uso di materiali "freddi" nella progettazione dell'ambiente urbano contribuisce ad abbassare le temperature che influenzano lo scambio di calore con l'aria, migliora il comfort all'esterno degli spazi e abbassa la temperatura ambientale. Pertanto, come materiali "freddi" possono essere considerati quelli con superfici lisce, colorazioni chiare e materiali da costruzione in marmo o pietra. Allo stesso modo, i materiali "caldi" possono essere definiti quelli con superfici ruvide, colorazioni scure e materiali da costruzione fatti di ciottoli, lastre da pavimentazione e asfalto.

Il grafico riporta i valori di temperatura superficiale di diversi materiali lapidei, in particolare il granito (albedo 0.5), il porfido, la pietra calcarea (con albedo 0.7) e il marmo (albedo 0.8).

Nello stesso studio di Dessì già citato, l'autore descrive con le

Place Belle-
cour , Lione.

Il calcestre
con la sua
semplice
composizione
ben si adatta
alle riquali-
ficazioni in
chiave ener-
getica degli
spazi urbani.

Fonte: Atelier
Jaqueline Osty
Paesagiste



“Peninsula”,
Perth.

L'uso di mate-
riali naturali
garantendo un
ottimo risul-
tato formale e
funzionale.

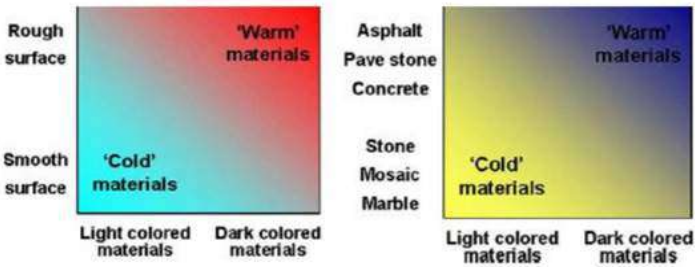
Fonte: Hassel,
2007



seguenti parole il comportamento dei materiali considerati: “Elevati valori di conducibilità e valori inferiori di densità fanno sì che per la stagione estiva il porfido sia il materiale lapideo con le peggiori prestazioni termiche; valori molto elevati di densità, anche se associati a conducibilità elevate che permettono il passaggio del calore, rendono la pietra calcarea e il marmo simili e con le prestazioni migliori. Il marmo è praticamente sempre sotto la temperatura dell’aria, mentre la pietra calcarea ha valori superiori solo nelle ore più soleggiate e comunque mai oltre 3-4° di differenza”.

È necessario quindi prediligere l’uso di materiali “freddi”, specialmente nelle città con un clima caldo, in modo di non influire negativamente sul bilancio energetico dell’ambiente urbano considerato.

Per quanto riguarda il secondo caso, relativo al trattamento delle superficie con nuove tecnologie, diverse ricerche si sono concentrate soprattutto sul materiale che per sua natura risulta avere un valore di albedo molto basso e un’alta impermeabilità: l’asfalto.



Definizioni di materiali “freddi” e “caldi”. Fonte: Santamouris, 2004



Pavimento raffreddato per aspen-sione. Fonte: West8 urban design&land-scape archi-tecture

La pavimentazione in i-idro DRAIN dell'oratorio di Rezzato, il primo spazio pubblico Nzeb in Italia



Tabella di riepilogo dei valori di albedo per diverse superficie, estratta dà la normativa UNI 8477:



Prove di laboratorio su pavimentazione
©Italcementi

Tipo di superficie	ρ
Neve (caduta di fresco o con film di ghiaccio)	0.75
Superficie acquose	0.07
Suolo (creta, marne)	0.14
Strade sterrate	0.04
Bosco di conifere d'inverno	0.07
Bosco in autunno/campi con raccolti maturi e piante	0.26
Asfalto invecchiato	0.10
Calcestruzzo invecchiato	0.22
Foglie morte	0.30
Erba secca	0.20
Erba verde	0.26
Tetti o terrazzi in bitume	0.13
Pietrisco	0.20

La presenza di asfalto nei quartieri delle città europee è altissima: basti pensare all'ingente superficie dedicata a sedi stradali, marciapiedi e aree ricreative.

Tuttavia, alcune ricerche hanno permesso lo sviluppo di nuovi approcci per aumentare il valore di albedo di questo materiale; Kinouchi et al. nel 2004 hanno studiato un nuovo approccio all'asfalto esistente, che ha soddisfatto gli obiettivi di ottenimento di alta albedo e bassa luminosità, basato sull'applicazione di un nuovo rivestimento di vernice sull'asfalto convenzionale. La struttura del pigmento e il rivestimento utilizzati sono efficaci nel raggiungere una bassa riflettività nel visibile (23%) e un'alta riflettività nel vicino infrarosso (86%) parti dello spettro. Le misurazioni sul campo mostrano che grazie all'applicazione di questo nuovo strato, la temperatura massima della superficie è di circa 15 C° inferiore a quella della superficie ricoperta con un asfalto convenzionale.

Come si può notare, la scelta del materiale di una superficie urbana può comportare differenze di temperatura superficiale notevoli, con conseguenti fenomeni anche molto negativi, tra cui l'aggravamento dell'isola di calore urbana. Tuttavia, usare delle pitture o scegliere materiali dai colori molto chiari può comportare problemi di altra natura: da un lato, il verificarsi dall'abbagliamento che provoca problemi di discomfort visivo e problemi al traffico veicolare, dall'altro un problema di comfort termico a causa dell'influenza sull'uomo della radiazione riflessa⁷. In linea generale, le principali considerazioni derivanti da questi studi sperimentali sono che:

1. le vernici e i rivestimenti bianchi hanno una maggiore riflettività rispetto agli altri colori, fino al 90% in più rispetto alle vernici nere. (Synnefa, Santamouris, Livada, 2005);
2. la rugosità delle superfici del materiale diminuisce fortemente la riflessione del materiale. (Berdahl, Bretz et al. 1997);
3. Le superfici ricoperte da materiali porosi come la sabbia

7. Lo studio di Dessì mostra che: "il marmo assorbe il 20% di radiazione e tiene sempre bassi i valori di temperatura superficiale e quindi di temperatura media radiante, ma è anche vero che il restante 80% torna nell'ambiente e può di nuovo colpire altre superfici o gli utenti dello spazio urbano."

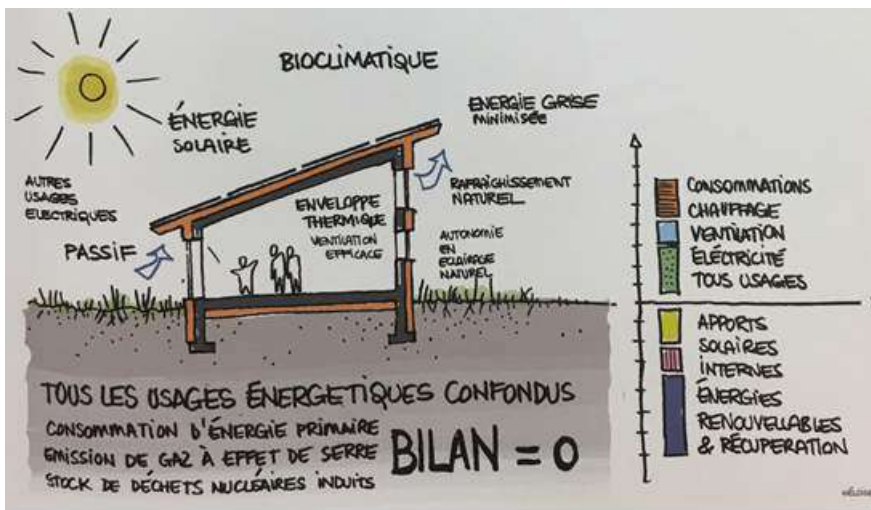
hanno una capacità di raffreddamento paragonabile a quella erbosa. (Surakha, Wanphen et al 2008);

4. Alcuni pigmenti (ossido di cromo, ematite) giocano un ruolo molto importante nell'aumentare la riflettanza solare dei materiali, specialmente quelli che sono considerati materiali caldi (asfalto, vernici nere, piastrelle di colore scuro). (Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008)

5. La degradazione dei materiali da parte dei fenomeni climatici ha una grande influenza sulle proprietà solari e termiche dei materiali. (Synnefa, Santamouris, 2007), (Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008).

Per concludere, si può affermare che la scelta dei materiali deve, quindi, essere effettuata considerando tutti i diversi fattori ed attraverso un approccio che combini scelta di un materiale potenzialmente poco favorevole alle condizioni di comfort con strategie di raffrescamento, dai sistemi di ombreggiamento all'irrigazione, in modo che la temperatura superficiale di un materiale risulti vicina alla temperatura dell'aria esterna durante il giorno, comportandosi così come se fosse sempre in ombra e non fosse raggiunto da radiazione solare (Dessi, 2015).

Schema ap-
porti biocli-
matici passivi.
Fonte: BEpos,
2020



2.2.2 Strategia architettonica bioclimatica

Si è più volte considerato come il clima esterno influenzi le condizioni climatiche interne dell'edificio. Questa correlazione fra clima esterno e microclima interno deve essere gestita nella progettazione degli edifici in modo da massimizzare gli effetti (condizioni di comfort termo igrometrico) scegliendo forme e materiali più opportuni.

Un "edificio bioclimatico" è un edificio caratterizzato da soddisfacenti condizioni di comfort interne e contemporaneamente da bassi consumi di energie fossili non rinnovabili. Questo risultato può essere ottenuto mediante il ricorso a regole di progettazione e costruzione che coinvolgono:

- L'orientamento, le dimensioni e persino il colore dell'edificio.
- La dimensione e l'orientamento delle superfici trasparenti.
- L'isolamento dell'involucro dell'edificio.
- La ventilazione degli ambienti interni.
- L'uso del verde per soluzioni di ombreggiamento, di giardini verticali, tetti verdi, ecc.
- L'uso di sistemi passivi di accumulo di calore.

In sostanza, è possibile enucleare due principali strategie progettuali, in funzione del clima e delle prevalenti esigenze di riscaldamento e raffrescamento:

- nel periodo freddo: minimizzare la dispersione termica, massimizzare i guadagni di calore gratuiti, creare buona distribuzione ed accumulo di calore nell'edificio e ridurre le perdite termiche, permettere una sufficiente ventilazione e riparare dai venti freddi;

- nel periodo caldo: minimizzare i guadagni termici, evitare il surriscaldamento, favorire la dispersione termica, ed ottimizzare

la circolazione di aria più fresca ed altre forme di raffrescamento naturale.

In questa sezione saranno approfondite le principali categorie di tecnologie influenti sull'efficienza energetica e coinvolte nell'uso energetico finale: quello relativo ai singoli edifici.

Per una categorizzazione delle soluzioni progettuali legate all'ambito delle tecnologie architettoniche bioclimatiche, è possibile riprendere quanto proposto da Legnante e Galanti attraverso la suddivisione in:

- Tecnologie costruttive
- Tecnologie di involucro
 - Di tamponamento
- Tecnologie energetiche
 - Attive rinnovabili
 - Attive impiantistiche
 - Passive

La dissertazione, come già detto precedentemente, mira ad enucleare le strategie utili in un progetto di riqualificazione energetica del patrimonio esistente e quindi si ritiene utile approfondire solamente le strategie legate alla seconda e terza categoria per la possibilità di applicazione degli interventi nel contesto preso in considerazione.

Sistemi di conservazione dell'energia

In questa categoria rientrano tutti gli interventi di isolamento termico delle superfici degli edifici, opache e trasparenti.

La moltitudine delle ricerche effettuate in questo ambito propone un rinnovamento continuo delle tecnologie utilizzabili. Dai materiali isolanti, passando per sistemi di rivestimento e finiture speciali, fino a prodotti prefabbricati “plug-in”, la pelle dell'edificio acquista

un grado di isolamento maggiore rispetto alla situazione di origine, potenzialmente capace di assolvere dinamicamente a diverse funzioni per garantire i livelli di comfort richiesti, riducendo la domanda di energia e utilizzando le fonti rinnovabili.

Se nelle nuove costruzioni la qualità dell'isolamento deve garantire degli standard molto alti, negli interventi di retrofit degli edifici esistenti risulta essere l'unica soluzione per bilanciare le perdite dovute ai ridotti guadagni della radiazione solare, causa di un improprio orientamento dell'edificio o di un ombreggiamento eccessivo da parte di altri elementi del tessuto urbano.

L'inserimento di materiali isolanti nell'involucro permette infatti di trattenere il calore guadagnato tramite radiazione solare, attività antropiche e condizionamento negli spazi interni dell'edificio.

Tuttavia, è proprio nei casi di retrofit che si possono riscontrare delle difficoltà di adozione di materiali isolanti dell'involucro dovute principalmente alla presenza di un vincolo architettonico e storico degli edifici e in particolar modo dei prospetti. Le soluzioni adottabili dovranno essere pertanto valute caso per caso.

Tuttavia, come già detto ad inizio capitolo, è possibile considerare come ugualmente valide per un'ampia casistica di interventi di riqualificazione energetica, le stesse tecnologie formulate per la progettazione di nuove costruzioni. Di seguito si tratteranno brevemente alcune tecnologie ritenute fondamentali per l'oggetto dello studio lasciando alle trattazioni più specifiche, di natura tecnologica, gli approfondimenti dei casi.

Superfici opache

Per chiarezza espositiva si ritiene utile suddividere il paragrafo secondo le tre parti fondamentali costituenti l'involucro di un edificio: chiusure verticali, orizzontali ed inclinate.

Pareti esterne

Nel caso delle pareti esterne, il materiale isolante può essere

applicato sul lato esterno, all'interno della muratura (nel caso in cui fosse presente una intercapedine di aria) oppure sul lato interno della stessa. Nei casi di retrofit di edifici esistenti che hanno un carattere storico artistico, le strategie di isolamento dall'interno sono considerate un'alternativa più attuabile sebbene possano risultare anch'esse abbastanza invasive, come nel caso dell'introduzione di nuovi materiali in stanze con particolari ornamenti storici. Inoltre, un ulteriore problema è rappresentato dalla compatibilità fisica dell'isolamento con la costruzione tradizionale che potrebbe comportare uno squilibrio tra calore, ventilazione delle murature e umidità influenzando notevolmente l'integrità delle murature dell'edificio stesso.

Da queste brevi considerazioni emerge abbastanza chiaramente la complessità legata all'uso di materiali isolanti in un progetto di retrofit di edifici che hanno un valore storico culturale e quanto esso sia legato ai parametri derivanti dal contesto microclimatico e ambientale in cui l'edificio si colloca.

Per la corretta progettazione degli interventi di riqualificazione energetica deve essere considerato di massima importanza lo studio preliminare del contesto su cui si va ad operare, in particolare attraverso le seguenti operazioni:

- Analisi del contesto climatico ed ambientale
- Analisi della storia evolutiva dell'edificio
- Analisi della tipologia edilizia e delle proprietà bioclimatiche degli edifici
- Analisi dei materiali tradizionali, delle loro proprietà e prestazioni termiche
- Valutazione dei prodotti più adeguati all'intervento.

È utile ad ogni modo considerare alcune regole generali che dovrebbero orientare qualsiasi progetto architettonico che miri ad una maggiore efficienza energetica, in particolare:

– Maggiore è il grado d'isolamento degli elementi costruttivi esterni, minori saranno le perdite termiche e, di conseguenza,

minore sarà il consumo energetico dell'edificio in inverno;

– Maggiore è il grado di complessità della forma architettonica dell'edificio (a causa dell'alto rapporto area/volume), maggiori saranno i requisiti richiesti all'isolamento dell'involucro al fine di bilanciare le perdite termiche.

Se progettato seguendo i criteri esposti, l'isolamento termico dell'involucro dell'edificio permetterà, quindi, di ottenere dei risultati positivi dal punto di vista termico ed energetico, riassumibili in:

- incremento del comfort degli spazi interni;
- riduzione dell'energia necessaria al raffrescamento e riscaldamento degli ambienti;
- miglioramento delle condizioni di salubrità degli ambienti.

Copertura

La copertura è l'elemento dell'edificio più esposto alla volta celeste e quindi la superficie di maggiore dispersione del calore interno. Le strategie di intervento sulla copertura prevedono, come nel caso delle pareti esterne, l'applicazione di uno strato isolante che, nel caso di tetto a falde inclinate, può essere abbinato alla realizzazione di un'intercapedine per la ventilazione.

Nel caso di copertura piana l'isolamento così come avviene per le pareti perimetrali può essere inserito all'estradosso o all'intradosso in funzione delle possibilità realizzative.

Nel secondo caso, l'intervento, per quanto invasivo, prevede l'inserimento dell'isolamento all'estradosso della copertura inclinata esistente garantendo un buon livello di isolamento sia termico che acustico e sfruttando l'inerzia termica della struttura sottostante nei periodi estivi, a diretto contatto con un'intercapedine di aria, sormontata dalla sotto copertura e dalle tegole.

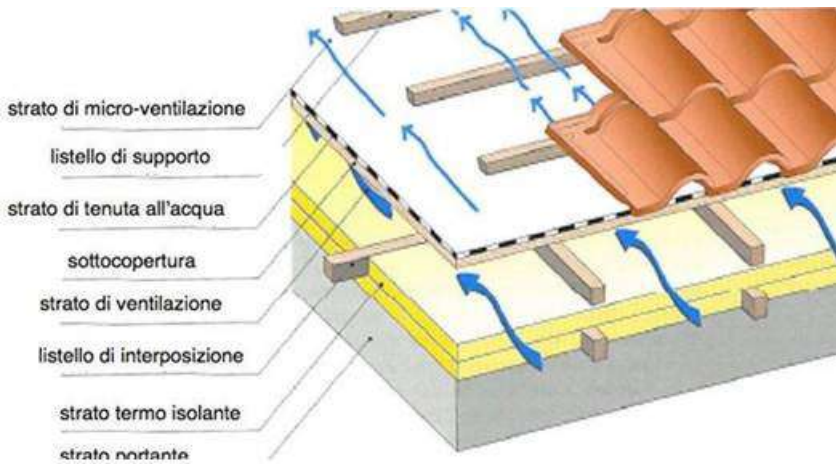
Infine, non si può tralasciare l'impatto della radiazione solare sulle coperture inclinate o orizzontali. Sia nel primo che nel secondo

caso la soluzione è data dallo studio del valore di albedo dei materiali componenti l'ultimo strato di finitura della copertura – le tegole, il manto di copertura o la pavimentazione.

Simpson e Mc Pherson, (1997) hanno studiato l'impatto della riduzione della temperatura dei tetti sul consumo energetico aumentando la loro albedo in alcuni edifici dell'Arizona, U.S.A.

I risultati di questa ricerca hanno mostrato che i tetti bianchi con un'albedo di 0,75 erano fino a 20°C più freschi dei tetti grigi (albedo 0,30) e dei tetti argentati (albedo 0,50), e fino a 30°C più freschi dei

Particolare costruttivo di una copertura ventilata



tetti scuri (albedo 0,10)⁸.

Proprio il colore delle coperture è stato per secoli un elemento tipico dell'architettura di determinate zone geografiche d'Europa, basti pensare ai dammisi siciliani o alle costruzioni tradizionali del clima mediterraneo (Morganti, 2016). In questo ambito, lo studio di Berdahl e Bretz del 1997 mette in luce sperimentalmente alcune qualità sulla riflessione dell'energia solare di alcuni tipi di vernice, dimostrando che:

- Le vernici acriliche bianche hanno un'alta riflettanza soprattutto nella gamma visibile di circa il 90%, il prodotto

8. Questi valori di albedo possono deteriorarsi nel tempo a seconda delle condizioni atmosferiche locali e a causa di sporcizia, muffe e funghi che potenzialmente riducono l'efficienza dei materiali.

ha anche proprietà di assorbimento nella gamma del vicino infrarosso;

- I rivestimenti bianchi per tetti sono anche eccellenti materiali di riduzione del calore grazie al loro potenziale di riflettanza solare che è di solito circa 0,8.

–

Solai controterra


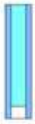


Nell'isolamento dei solai controterra, i risparmi energetici sono notevolmente inferiori rispetto a quelli degli altri elementi costruttivi perché la temperatura del suolo è più alta della temperatura esterna. Alcuni studi hanno dimostrato che la mancanza di isolamento termico dei solai controterra facilita la dissipazione termica attraverso il solaio e quindi le condizioni interne delle stanze corrispondenti durante l'estate possono essere migliori. Ad ogni modo, le pratiche più comuni in letteratura prevedono un intervento che agli obiettivi termico-energetici faccia corrispondere un miglioramento dell'areazione del solaio basamentale in modo da migliorare le condizioni che causano fenomeni di degrado.

Superfici trasparenti

Gli interventi sulle superficie trasparenti dell'edificio sono molteplici e ricevono un continuo aggiornamento da parte delle ricerche innovative che vengono svolte in questo ambito. È possibile enunciare alcune tra le pratiche più utilizzate negli interventi contemporanei di retrofit del patrimonio esistente, in particolare:

- inserimento di un secondo vetro, se l'infisso è a vetro singolo e se ha un telaio in legno di spessore tale da consentirlo; questo tipo di intervento viene realizzato solo negli edifici storici in cui l'infisso ha anche una valenza architettonica;
- aggiunta di un secondo serramento, intervento non invasivo in quanto non richiede alcun smontaggio, consiste nell'inserire o all'interno o all'esterno dell'infisso esistente un altro serramento ad

Tipologia di vetri per infissi.

Glazing type	Single	Double (conventional) with air filling	Double with low-e coating and Argon filling	Tripe with low-e coating and Argon filling
				
Typical g-value	0,92	0,80	0,62	0,50
Typical U _g value (W/m ² K)	5,60	2,80	1,20	0,65

elevate prestazioni termiche e acustiche. Questo intervento richiede comunque un certo spessore della muratura tale da alloggiare un secondo infisso;

- sostituzione dell'infisso: rappresenta la più grande percentuale dei casi di intervento contemporaneo sulle superfici opache e consiste nella scelta di un nuovo infisso costituito da telaio e vetro altamente performanti.

La scelta dei materiali dell'infisso è di fondamentale importanza e, come è stato possibile comprendere, è legata anche alle possibilità che la normativa sulla tutela architettonica consente. In un progetto di riqualificazione energetica dell'esistente, per garantire elevate prestazioni del sistema, si potrebbero utilizzare diversi telai ad elevate prestazioni quali:

- legno
- materiali polimerici (PVC) con anima in metallo
- profilato metallico (alluminio, acciaio) con taglio termico
- misto metallo legno e metallo polimero

Così come il telaio anche la superficie in vetro, proprio per la grande area che ricopre, ha una grande incidenza sulle prestazioni energetiche finali, per questo motivo la ricerca si spinge continuamente sul perfezionamento di questo materiale che nella sua versione più performante riesce a diminuire di otto volte la trasmittanza.

Sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili

L'integrazione delle tecnologie di produzione di energia da fonti rinnovabili nel tessuto edilizio esistente affronta diverse sfide, tra cui le barriere normative, finanziarie, estetiche e di progettazione architettonica ed urbana. In una certa misura, queste barriere derivano anche da una mancanza di consapevolezza delle opportunità e dei benefici dello sfruttamento delle risorse energetiche rinnovabili disponibili a livello locale oltre che da una mancanza di conoscenza delle applicazioni delle energie rinnovabili nelle città e in alcuni casi da una mancanza di accettazione pubblica dei reali vantaggi derivanti dalla produzione energetica per autoconsumo.

A queste difficoltà, si aggiunge la problematica dell'integrazione dei sistemi tecnologici all'interno di un contesto urbano ed architettonico vincolato, questione che richiede specifici accorgimenti progettuali e la ricerca di soluzioni ad hoc per garantirne la maggiore coerenza contestuale possibile. L'uso di tecnologie di energia rinnovabile in un progetto di riqualificazione impone pertanto una grande attenzione affinché questi dispositivi non si configurino come vincoli significativi alla resa formale e qualitativa urbana ed architettonica.

Questo paragrafo mira quindi a fornire una visione sintetica dei sistemi di produzione da fonti rinnovabili facilmente integrabili nella progettazione architettonica ed urbana di un ambito di città consolidata.

Pannelli solari

Esistono due tipi di tecnologie di conversione⁹ per raccogliere le risorse solari e produrre energia: il fotovoltaico per generare elettricità e i collettori solari per produrre energia termica. Entrambi possono essere applicati su varie scale e possono funzionare attraverso una configurazione autonoma o collegata alla rete. Mentre

9. Nell'ambito delle tecnologie di produzione "attive", con l'esclusione delle misure passive che verranno prese in considerazione nei successivi paragrafi.

il solare fotovoltaico fornisce solo elettricità, il solare termico ha molte applicazioni adatte alle aree urbane, dalla produzione autonoma alla grande produzione energetica per il distretto. Questo paragrafo descrive le soluzioni tecnologiche, ampiamente esposte nei trattati di tecnologia dell'architettura, che sono sempre inserite nelle nuove progettazioni e che possono essere facilmente utilizzate anche nelle aree urbane e negli edifici oggetto di riqualificazione energetica, come i sistemi fotovoltaici autonomi, il fotovoltaico integrato negli edifici, varie tecnologie solari termiche (compresi i sistemi solari termici a concentrazione) e il solare fotovoltaico-termico (PV-T).

Per una lettura completa delle reali potenzialità dei sistemi fotovoltaici in ambito urbano è interessante leggere i risultati ottenuti nei diversi casi studio e progetti pilota sparsi nel mondo che dimostrano come questi sistemi siano molto utili a stabilire un'autosufficienza energetica e come siano fondamentali nell'ottica dell'integrazione delle risorse in una rete distrettuale o di quartiere. Per esempio, diversi impianti solari fotovoltaici facenti parte di uno stesso quartiere o distretto, accoppiati a sistemi di accumulo, potrebbero aiutare tutti gli utilizzatori del sistema fornendo l'energia necessaria al bilanciamento dell'intero sistema di produzione e consumo.

Pannelli fotovoltaici

La scelta dell'inserimento del solare fotovoltaico sui tetti è sicuramente la scelta tecnologica rinnovabile più popolare in ambito urbano, tuttavia essa deve affrontare alcune limitazioni e sfide tecniche intrinseche. Tra queste possiamo evidenziare il limitato spazio sui tetti riferito ai singoli edifici nel caso di produzioni di energia in tessuti urbani densamente costruiti oppure le condizioni sfavorevoli che non permettono l'utilizzo delle strutture di copertura degli edifici esistenti (scarsa manutenzione, problemi statici, ecc.), le perdite energetiche dovute all'ombreggiamento imprevisto e dalla errata progettazione.

Ciononostante, i sistemi fotovoltaici installati sui tetti rimangono



Pannelli fotovoltaici nascosti tra le tegole.

una soluzione promettente per le città, motivo per cui è stato implementato un numero crescente di strumenti pianificatori che incentivino lo sviluppo energetico per supportare le autorità locali e gli altri attori interessati dal processo a valutare le opzioni progettuali e di finanziamento per la produzione fotovoltaica sulle aree di copertura private¹⁰.

Oltre ai sistemi fotovoltaici, sta emergendo una nuova generazione di tecnologie e prodotti per la produzione energetica urbana da fonte solare che mira a catturare maggiormente il potenziale energetico solare, applicabile anche ad edifici oggetto di riqualificazione. L'obiettivo generale è trasformare il fotovoltaico da un sistema generatore di elettricità ad elemento costruttivo, che possa allo stesso tempo generare energia e comporre alcuni elementi costitutivi del tessuto urbano. Un esempio di tale soluzione è rappresentato dal fotovoltaico integrato nell'edificio attraverso due modalità principali: integrato nella facciata (come la parete/facciata fotovoltaica) e integrato nella copertura (come le scandole e le tegole fotovoltaiche). Nel primo gruppo ritroviamo degli elementi tecnologici che, oltre a produrre energia, costituiscono delle soluzioni

10. Il simulatore SolarCity di IRENA, per esempio, può essere applicato su scale che vanno dalle valutazioni di singoli tetti a livello domestico alle analisi a livello aggregato intraprese dalle autorità municipali e dai grandi enti (IRENA, 2019f).

passive di ombreggiamento e ventilazione. Nel secondo gruppo invece, le scandole e le tegole solari fotovoltaiche per i tetti possono essere utilizzate per costituire lo strato superficiale della copertura dell'edificio e allo stesso tempo generare energia, soluzione utile nel caso in cui i sistemi fotovoltaici convenzionali non trovassero una possibile applicazione per cause tecniche di diversa natura. Questi elementi possono anche essere esteticamente gradevoli, agevolmente adottabili nel caso di patrimonio tutelato e facilmente installabili nelle coperture già esistenti, richiedendo oltretutto una minore manutenzione rispetto agli elementi del primo gruppo¹¹. Altre tecnologie BIPV¹² in corso di sviluppo includono le facciate solari adattive e le tecnologie ad inseguimento¹³. Queste tecnologie seguono il percorso del sole durante il giorno e, di conseguenza, regolano il loro angolo, aumentando così l'efficienza consentendo, rispetto alle tecnologie BIPV fisse nella stessa area presa in considerazione, una maggiore produzione (Nagy et al., 2016). Tuttavia, il BIPV è ancora nella fase iniziale dello sviluppo tecnologico e deve superare una serie di barriere tecnologiche¹⁴ e di mercato¹⁵.

Solare termico

In generale, i sistemi solari termici possono essere usati sia per la

11. La sostituzione di una singola tegola ha un'incidenza economica minore rispetto alla sostituzione un intero pannello.

12. Building-integrated photovoltaics.

13. Gli inseguitori solari sono dispositivi che "inseguono" le radiazioni solari ruotando intorno agli assi e si differenziano in monoassiali e biassiali.

14. Le questioni principali nella valutazione del BIPV includono l'efficienza complessiva di conversione del sistema, la flessibilità nella progettazione e la resistenza e la durata come tecnologia di generazione di energia. Ulteriori questioni riguardano il materiale di costruzione, la co-efficienza della temperatura e le proprietà termiche, la stabilità e il degrado nel tempo, la sicurezza e l'efficacia dei costi, nonché la mancanza di standard tecnici armonizzati e di procedure di qualificazione per la valutazione e la convalida delle prestazioni (MIT, 2015; SUPSI et al., 2019).

15. Nonostante il calo del 60% dei costi dal 2004 al 2015, il BIPV rimane più costoso dei sistemi fotovoltaici tradizionali (Maturi e Admi, 2018; EASME, 2019).

produzione di calore che per la fornitura di elettricità. Nel secondo caso, il calore del sole è tipicamente convertito in elettricità attraverso la tecnologia CSP¹⁶, che, tuttavia, ha bisogno di un'area vasta, della grandezza di una centrale termoelettrica, ed opera su larga scala al fine sostenere la fattibilità economica. Per questi motivi, la maggior parte degli impianti CSP sono installati al di fuori delle zone urbane e con una limitata applicazione in città prevalentemente legata alle tecnologie solari termiche a concentrazione usate per sistemi di teleriscaldamento o impianti industriali all'interno dei confini della città. A differenza di quest'ultimi, i sistemi solari termici non concentrati, utilizzati principalmente per la fornitura di calore, possono essere utilizzati su scale più ridotte proprio per la richiesta di minore spazio e quindi sono spesso adottati ed installati nelle aree urbane. Tra i sistemi solari termici non concentrati vi sono i collettori solari termici che assorbono e convertono la radiazione solare in calore raggiungendo efficienze, a seconda della temperatura di funzionamento, del 80% di energia convertita (Tripanagnostopoulos, 2012). In particolare, sono tre i tipi di collettori solari comunemente usati per sistemi individuali ed autonomi nelle aree urbane: collettori piani, a tubo sottovuoto¹⁷ ed a bassa concentrazione¹⁸ (Weiss e Rommel, 2008). Il loro principale utilizzo all'interno degli edifici è legato alla produzione di acqua calda sanitaria e acqua per il riscaldamento degli ambienti. Nelle città, questi sistemi possono essere collocati su tetti, facciate, balconi e qualsiasi area esterna dell'edificio, servendo anche come isolamento nell'involucro dell'edificio (Maurer et al., 2017; Li et al., 2015; Mohajeri et al., 2016; Huide et al., 2017).

L'efficienza della produzione di calore tramite questi dispositivi è molto variabile: nelle zone più prossime all'equatore, possono coprire fino al 100% della domanda di acqua calda, sanitaria e di riscaldamento, delle abitazioni (Mathiesen e Hansen, 2017), mentre

16. Concentrating Solar Power

17. Per i collettori piani ed a tubo sottovuoto la temperatura massima raggiungibile dal fluido è di 120 °C.

18. Produzione di fluido ad una temperatura di 120 °C e fino a 200 °C.

alle latitudini più alte che hanno una grande variazione stagionale dell'irraggiamento, i sistemi riescono a fornire solo il 20-60% della domanda di calore per l'acqua domestica e il riscaldamento degli spazi in assenza di un sistema di stoccaggio stagionale (IEA Task 55, 2019).

In Europa, un numero crescente di paesi ha imposto, mediante i regolamenti edilizi delle varie città, l'uso obbligatorio di produzione di acqua calda da pannelli solari per tutti i nuovi edifici. L'Europa, infatti, è il secondo mercato, con un sesto della capacità installata della Cina (Weiss e Spörk-Dür, 2019).

Geotermico

L'energia geotermica può essere utilizzata direttamente per soddisfare la domanda di servizi termici, principalmente il riscaldamento e il raffreddamento degli ambienti e l'acqua calda sanitaria delle aree urbane. Questi benefici sono ottenuti tramite "l'estrazione" di energia termica presente negli strati del sottosuolo¹⁹ ad una profondità variabile a seconda della temperatura del fluido richiesta dalle utenze e della qualità delle risorse geotermiche. Nelle aree urbane l'utilizzo di questa tecnologia si basa sulla captazione di energia a bassa temperatura (da 10 °C a 150 °C circa) ed è più adatta per l'uso termico diretto che per la produzione di energia elettrica, che richiederebbe una temperatura molto più alta per raggiungere l'efficienza e l'economia desiderate (Lund, 2016; ESMAP, 2012; Moya et al., 2018). Oltre che per gli usi individuali, la geotermia a bassa e media temperatura è ideale anche come fonte di calore per il teleriscaldamento e in molti casi può sostituire i sistemi di teleriscaldamento esistenti semplicemente cambiando la fonte di calore a combustibile fossile con una fonte di calore geotermica. Il teleriscaldamento geotermico ha dimostrato, infatti, di essere un'alternativa rinnovabile al riscaldamento delle città basato sui

19. Le profondità degli impianti geotermici vanno da circa 10 metri a centinaia di metri.

combustibili fossili.

Ai nostri giorni, la necessità di avviare un processo di decarbonizzazione del settore del riscaldamento e la consapevolezza dei potenziali vantaggi derivanti dall'uso diretto dell'energia geotermica hanno contribuito all'incremento delle applicazioni nelle aree urbane²⁰. In termini di applicazioni, l'uso diretto dell'energia geotermica può essere integrato in sistemi di teleriscaldamento e/o raffreddamento nelle città o installato come sistema autonomo per un singolo edificio o blocco di edifici nei casi in cui la domanda di calore è inadeguata a giustificare l'investimento in nuove reti termiche. Il teleriscaldamento geotermico si basa su pozzi profondi, in media circa 2 chilometri, i quali richiedono una superficie molto ridotta, e che con le relative centrali termiche possono essere facilmente inseriti nel paesaggio urbano, in modo praticamente invisibile²¹. In generale, l'installazione di un sistema di energia geotermica per uso diretto è molto più agevole (e quindi meno costosa) in un nuovo intervento (che sia un edificio, un isolato o un quartiere) rispetto ad un suo inserimento in strutture esistenti. Tuttavia, questo non significa che questi sistemi non possano essere installati in edifici o quartieri esistenti. È possibile citare a tal proposito l'esempio della Svizzera, classificata al primo posto nell'uso diretto di energia geotermica grazie all'installazione di più del 30% di impianti geotermici sul patrimonio edilizio esistente (Scanner, 2017; Lund e Toth, 2020). Analizzando la tipologia di sistemi utilizzati per la geotermia a basse temperature, figurano tra quelli più comunemente adottati i sistemi a pompa di calore geotermica (ground-source) costituiti dal sistema di captazione a terra e da una pompa di calore collegata, con l'altra estremità della pompa di calore collegata alla rete di distribuzione del calore interno agli edifici. Per il sistema a terra, i tipi più comuni sono i sistemi a circuito aperto e quelli a circuito chiuso, e questi

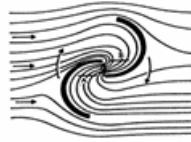
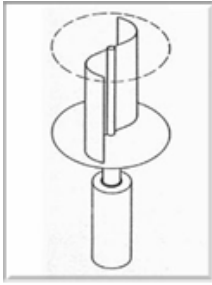
20. La capacità globale installata di uso diretto dell'energia geotermica è più che raddoppiata dal 2010, per raggiungere 107 727 megawatt-termici (MWth) distribuiti in 88 paesi nel 2019.

21. Solo in Europa, almeno il 25% della popolazione vive sopra risorse geotermiche che sono ideali per il teleriscaldamento geotermico

ultimi possono essere suddivisi in due categorie, orizzontale e verticale. Nella maggior parte dei casi, è necessaria una trivellazione geotermica; tuttavia, per i sistemi orizzontali a pompa di calore da terra è richiesto in genere di procedere con la sola rimozione di una porzione superficiale di suolo o con trincee poco profonde – inferiori ai cinque metri. Dato che l'energia geotermica può essere usata sia per il riscaldamento che per il raffreddamento durante diverse stagioni o periodi, l'adozione di un sistema ibrido può offrire la possibilità di usare il suolo poco profondo come immagazzinamento di energia termica, essenzialmente compensando il naturale rifornimento dell'energia geotermica, configurandosi come sistema di accumulo (Bayer et al., 2019).

Mini eolico

Anche se l'energia eolica si è sviluppata in modo significativo nell'ultimo decennio, non ha ancora avuto grande riscontro applicativo in ambito urbano. Le barriere alle applicazioni dell'energia eolica nelle città sono rappresentate, da un lato, dalla grandezza dimensionale delle turbine eoliche e dall'impossibilità di produrre energia da basse velocità del vento e dei flussi turbolenti, dall'altro, dal mancato studio dei venti urbani e dalla inesplorata integrazione architettonica (causa di progettazione di sistemi che provocano disturbo visivo e acustico). Nonostante siano presenti esempi già realizzati di impianti eolici urbani, l'implementazione su larga scala è ancora inesistente poiché le loro prestazioni necessitano di essere considerevolmente migliorate. Tuttavia, con lo sviluppo di nuovi progetti di turbine e la valutazione delle loro prestazioni, si potrebbero conseguire dei progressi verso soluzioni commercialmente valide (Dilimulati et al., 2018). La ricerca necessaria per l'ottimizzazione delle turbine eoliche viene eseguita utilizzando calcoli di fluidodinamica computazionale (CFD), simulazioni del



Generatore
eolico del tipo
"Savonius".
Fonte reuk.
co.uk

vento, che richiedono del tempo²² e dei computer performanti, che consentono di ottenere delle buone stime sul comportamento del vento intorno agli edifici (Yang et al., 2016).

Esistono due tipologie di turbine eoliche destinate all'uso in ambiente urbano: stand-alone ed integrate nell'edificio (Stathopoulos et al., 2018). Le turbine stesse possono essere divise in due tipi generali: ad asse orizzontale o ad asse verticale. Le turbine ad asse orizzontale hanno dominato gli ultimi decenni di ricerca e sviluppo, mentre le turbine ad asse verticale sono state sviluppate solo negli ultimi cinque anni e la loro quota di mercato rimane relativamente minore²³. La capacità nominale media di una turbina eolica ad asse verticale è di circa 7 kW, mentre per le turbine ad asse orizzontale è molto più piccola (Pitteloud e Gsanger, 2017; Stathopoulos et al., 2018).

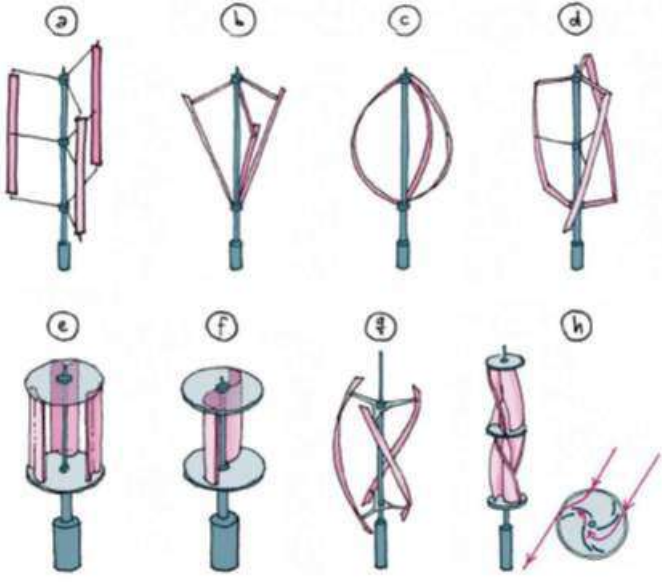
Tuttavia, le applicazioni urbane sono limitate, in parte a causa dell'accettazione sociale. Nel 2015, Grieser et al. hanno rilevato che le turbine eoliche di piccole dimensioni di oggi possono essere redditizie solo in situazioni specifiche e ideali²⁴.

22. Molti studi CFD si concentrano su un solo edificio o su ambienti urbani semplificati, il che può portare a incertezze fino al 45%. Solo il 14% dei rapporti esaminati da Toja-Silva et al. (2018) ha trattato ambienti urbani reali (Simoes e Estanqueiro, 2016; Toja-Silva et al., 2018).

23. Le ultime ricerche indicano che le turbine ad asse verticale sono molto promettenti per le applicazioni urbane, poiché possono produrre energia dai venti turbolenti e multidirezionali delle città (Dilimulati et al., 2018).

24. Per i privati, gli investimenti in piccole turbine eoliche sono redditizi solo con velocità medie del vento da 4 a 4,5 metri al secondo. La loro redditività economica dipende, tra l'altro, dalla velocità media del vento, dall'altezza del mozzo e dalla densità degli edifici.

Generatore eolico "Darrieus".
Fonte reuk.co.uk



Le turbine ad asse orizzontale, per gli aspetti tecnici che le caratterizzano, non sono facilmente applicabili a contesti urbanizzati (Dilimulati et al., 2018; Óskarsdóttir, 2014). Diversamente, le turbine eoliche ad asse verticale rappresentano una tecnologia promettente per le applicazioni urbane²⁵ soprattutto perché non influenzate dalla necessità di venti provenienti da una direzione prestabilita e, quindi, facilmente adattabili ai venti turbolenti e multidirezionali tipici degli ambienti urbani. La tipologia ad asse verticale consente di ottenere un design semplice, una facile produzione, riducendo notevolmente i costi di fabbricazione, e una bassa richiesta di manutenzione durante il ciclo di vita dell'elemento (Saeidi et al., 2013). Tra i principali svantaggi possiamo evidenziare la difficoltà di avvio e l'instabilità dinamica. Le tecnologie ad asse verticale più note sono le turbine Savonius²⁶ e Darrieus²⁷. Le caratteristiche sopra descritte rendono le turbine ad asse verticale più adatte di quelle ad asse orizzontale per applicazioni in città, e trovano facile applicazione sia in aree pubbliche che in aree private.

Sistemi morfologico-spaziali bioclimatici

I sistemi solari passivi permettono di raccogliere, immagazzinare e distribuire energia termica mediante processi naturali, quali radiazione, conduzione e convezione, con lo scopo di regolare il livello termo-igrometrico dell'ambiente interno. Essi si differenziano dai sistemi solari attivi, i quali necessitano, invece, di energie ausiliarie per poter funzionare.

25. Questa tipologia di turbine eoliche dimostra risultati migliori sui tetti che in campi aperti., produce meno rumore e ha un design più accattivante.

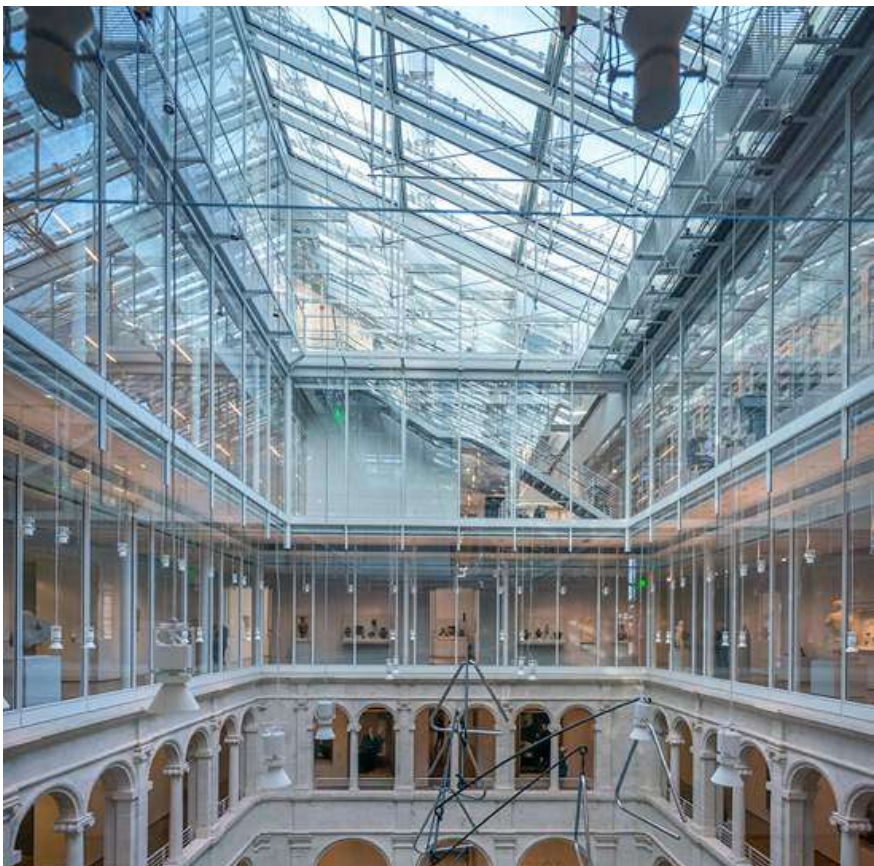
26. La turbina Savonius sembra essere adatta per applicazioni urbane, poiché ha un design semplice di microturbina e funziona con velocità del vento di partenza relativamente basse.

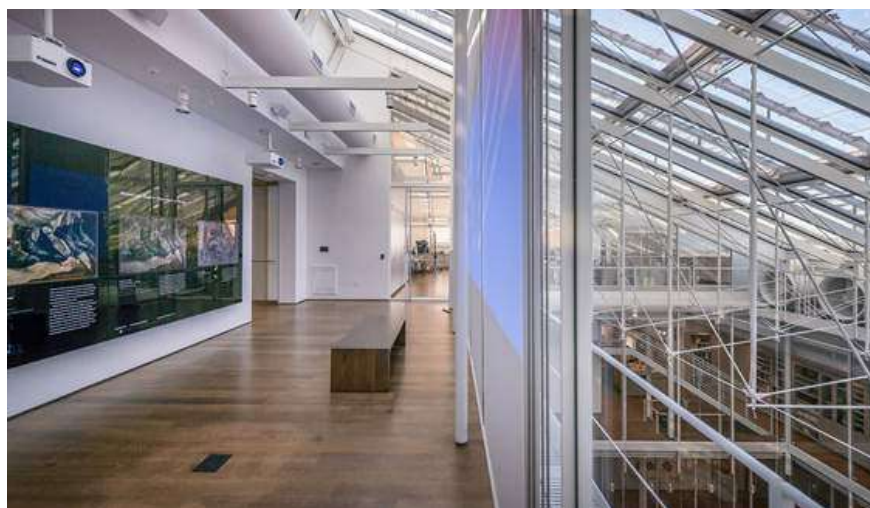
27. La turbina Darrieus si adatta bene alle installazioni sui tetti in quanto ha un basso rumore e disturbo della visione (Dilimulati et al., 2018; Óskarsdóttir, 2014).

Atrio bio-climatico.
Harvard Art
Museum,
RPBW. Fonte:
Pygmalion
Karatzas



Atrio bio-climatico.
Harvard Art
Museum,
RPBW. Fonte:
Pygmalion
Karatzas





Atrio bioclimatico. Harvard Art Museum, RPBW. Fonte: Pygmalion Karatzas

Captazione solare

La principale fonte di energia pulita nella progettazione bioclimatica è rappresentata dal Sole, la più grande fonte di energia rinnovabile che disponiamo sulla terra²⁸, e più nello specifico dalla radiazione solare. Le forme di utilizzazione diretta dell'energia prodotta dal sole si basano su un'efficiente captazione delle radiazioni incidenti e su un'attenta progettazione delle superfici e delle forme degli elementi morfologico-spaziali. La dissertazione vuole indagare, seppur brevemente tramite delle sintesi, le principali soluzioni formali utilizzabili in un progetto di riqualificazione energetica del patrimonio esistente considerando il loro contributo architettonico, energetico ed il rapporto con gli spazi interni dell'edificio.

L'apporto energetico ceduto dalla radiazione solare agli ambienti di captazione necessita nel periodo estivo di dispositivi di ombreggiamento che consentano di proteggere lo spazio dai raggi solari diretti. I dispositivi possono essere di vario tipo, ad esempio:

- Tende da sole esterne;

28. Comini G., Savino S., La captazione dell'energia solare, International Centre for Mechanical Sciences, CISM, 2013

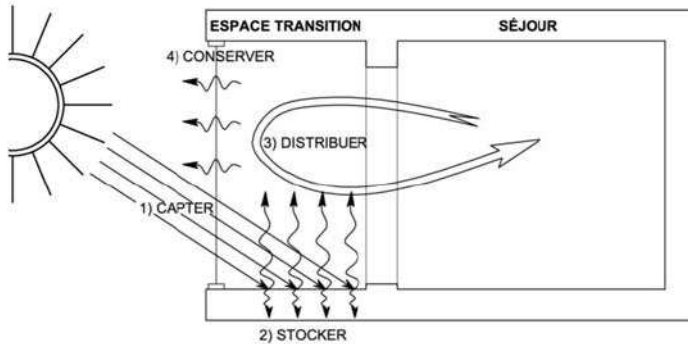
- Tettoie;
- Tende a lamelle;
- Vetri di protezione solare;
- Tende tessili interne
- Vegetazione ed alberi.

Buffer space

I *buffer spaces* sono ambienti situati in posizione intermedia fra lo spazio interno e l'esterno, che hanno riscosso grande successo nella progettazione bioclimatica soprattutto nelle zone caratterizzate da climi invernali particolarmente rigidi. Questi elementi, che possono avere differente forma o dimensione, sono particolarmente utili per la riduzione delle dispersioni termiche nei mesi invernali, e quindi dei fabbisogni termici dell'edificio, grazie all'azione di mitigazione delle differenze di temperatura e all'attenuazione dell'impatto dei venti incidenti sull'edificio. Proprio per la loro funzione di mitigazione della temperatura, i *buffer spaces* consentono un preriscaldamento dell'aria esterna consentendo di innescare una ventilazione naturale anche nei mesi caratterizzati dalle temperature più rigide. Anche se, come appena visto, i *buffer spaces* hanno una funzione particolarmente importante, in inverno consentono di ottenere un beneficio termicamente rilevante anche in estate favorendo il ricambio d'aria, sfruttando l'effetto camino quando presentano una significativa estensione verticale o per ventilazione incrociata, in modo particolare se si trovano in posizione passante orizzontalmente.

Atrii bioclimatici

Gli atrii bioclimatici sono ambienti che si distinguono dai *buffer spaces* per le grandi dimensioni e per essere il luogo di maggiore intermediazione tra ambiente interno e spazio esterno. All'interno di questi spazi di notevole dimensione si affacciano i locali dell'edificio



I quattro grandi principi di riscaldamento passivo.

situati su diversi piani. Il loro ruolo termico-ambientale contribuisce a risolvere diversi problemi che riguardano prevalentemente i grandi edifici: permette di ottenere una buona illuminazione naturale, contribuisce al contenimento dei consumi energetici per condizionamento estivo ed invernale e consente di ottenere un'ottima ventilazione naturale dell'edificio. La ventilazione naturale è attivata dalle azioni di pressione sui prospetti esterni da parte del vento e dall'effetto camino grazie alle aperture posizionate lateralmente ed in copertura.

Proprio per il grande volume, l'atrio agisce come serbatoio termico, ritardando e attenuando gli effetti delle variazioni di temperatura dell'ambiente esterno grazie all'inerzia termica di una quantità d'aria rilevante in rapporto alle dimensioni dell'edificio. La funzione appena vista permette di ottenere in estate dei movimenti di aria che permettono l'estrazione dell'aria esausta ed in inverno un serbatoio di aria preriscaldata. Come descritto da Tucci, possono essere distinte tre tipologie significative di atrio bioclimatico, distinte in funzione della loro forma e dimensione, al rapporto morfologico con l'edificio ed all'estensione ed esposizione delle superfici vetrate.

- Atrio esterno completamente o parzialmente avvolgente

Uno atrio avvolgente riveste l'edificio limitandone fortemente le dispersioni e trattando di fatto tutta l'aria in ingresso negli ambienti interni attraverso le aperture dell'involucro. Oltre a mediare le

condizioni esterne, questi atrii assolvono una funzione di riscaldamento passivo, sia preriscaldando l'aria di ricambio come già accennato, sia captando grandi quantità di energia solare attraverso le estese superfici vetrate. Lo sviluppo in altezza e le esposizioni estese e diversificate delle sue superfici lo rendono adatto a diverse strategie di ventilazione, potendosi sfruttare sia l'effetto camino che la pressione del vento. L'insieme delle sue caratteristiche rende questa tipologia più adatta ai climi freddi del nord Europa rispetto a quelli più miti del mediterraneo, soprattutto per l'elevato rischio di surriscaldamento nel periodo estivo.

- Atrio esterno laterale

L'adozione di questo tipo di spazi bioclimatici garantisce la possibilità di ottenere gli stessi benefici dell'atrio e, allo stesso tempo, anche quelli consentiti dall'utilizzo delle serre solari, soprattutto in caso di esposizione variabile tra sud e sud-est. In questi casi, il funzionamento dell'atrio è efficace sia in estate (momento in cui favorisce i moti di espulsione dell'aria calda attraverso l'effetto camino) sia in inverno (grazie all'ottima esposizione ai raggi solari che consentono di riscaldare l'aria in esso contenuta).

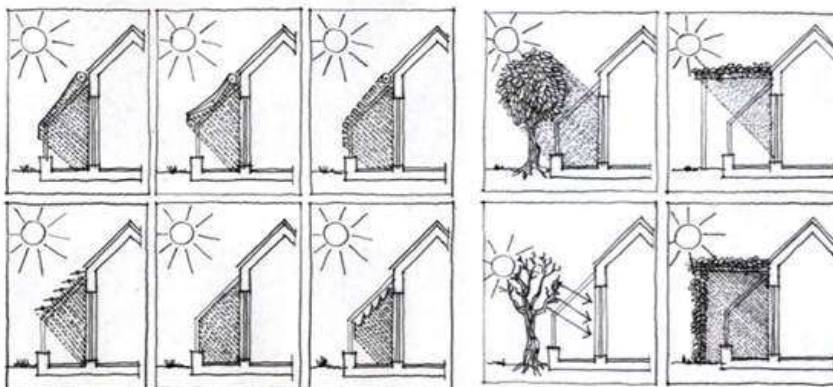
- Atrio intercluso o parzialmente esterno

Questa tipologia di atrio è probabilmente quella che, a causa di una minore esposizione ai raggi solari in termini di superficie colpita, non ottiene considerevoli effetti positivi in inverno. Tuttavia, essa è più consona per obiettivi di raffrescamento degli ambienti e per la ventilazione passiva. Questo volume racchiuso per tre lati dall'edificio in cui si colloca si configura come "camino" in cui confluisce l'aria degli ambienti adiacenti grazie all'effetto di tiraggio dall'alto. La depressione creata dall'effetto camino permetterà di ottenere un ottimo ricambio di aria fresca proveniente dai versanti esposti al vento esterno. Il fenomeno può essere agevolato disponendo le aperture in posizione favorevole rispetto ai venti e sagomando le coperture in modo da assecondare i flussi ascendenti.

Serre bioclimatiche

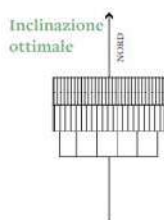
La serra bioclimatica è il dispositivo più utilizzato nelle progettazioni bioclimatiche che sfruttano le tecnologie passive. Molto spesso integrato all'interno delle unità abitative, questo dispositivo costituito da un volume vetrato, consente il controllo dei flussi termogrometrici che attraversano l'ambiente. La progettazione di una serra, tuttavia, coinvolge sia competenze ingegneristiche sia architettonico-formali, in quanto essa rappresenta uno spazio con precise esigenze linguistiche e di fruibilità. Infatti, se dal punto di vista energetico tale volume vetrato permette di contenere i consumi dell'edificio in cui è inserito (sfruttando l'effetto serra per ridurre il fabbisogno invernale o l'effetto camino per estrarre l'aria calda in estate), dal punto di vista architettonico, lo stesso rappresenta uno spazio fruibile dalle utenze, un abitabile spazio-filtro tra interno ed esterno capace di migliorare anche il comfort abitativo degli spazi interni. La tipologia più tradizionale di serra solare prevede il posizionamento in adiacenza all'edificio risultando in un certo qual modo addossate allo stesso seguendo differenti morfologie a seconda del clima e della cultura progettuale a cui appartengono. Possiamo analizzare i diversi aspetti architettonici e tecnologici che caratterizzano questo sistema di guadagno solare passivo, il quale molto spesso, anche a causa delle prescrizioni regolamentari edilizie, viene associato alla messa a dimora delle piante.

Analizzando il funzionamento di questo dispositivo, utile sia per



Soluzioni di ombreggiamento delle serre solari.
Fonte: Becker 2000

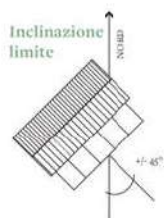
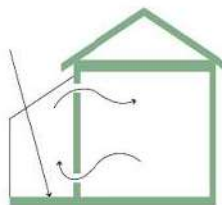
Tipi di funzionamento della serra solare.



1. Funzionamento della serra a guadagno diretto



2. Funzionamento della serra a scambio convettivo



3. Funzionamento della serra a scambio radiante



riscaldare che per raffrescare gli ambienti dell'abitazione ad essa adiacente, notiamo che oltre a costituire uno spazio tampone che mitiga gli scambi di calore tra interno ed esterno sia in estate che in inverno, permette di preriscaldare l'aria degli ambienti interni dell'edificio durante la stagione fredda, raggiungendo temperature dell'aria molto più elevate di quelle esterne. Questa funzione, per essere maggiormente efficace, può essere implementata dall'associazione di masse termiche di accumulo, le quali garantiscono uno sfasamento in termini di tempo dei picchi termici esterni.

Tra i vantaggi legati all'uso di questo dispositivo tecnologico-spaziale, vi è l'aspetto architettonico e linguistico per il quale la flessibilità di utilizzo del vetro e di altri sistemi associabili (come ad esempio le schermature mobili) costituisce un valido potenziale per la configurazione di spazi sempre diversi nelle varie stagioni.

Tuttavia, alcune problematiche derivanti dalla stessa materialità caratteristica e preponderante (quella del vetro), per natura poco isolante, possono insorgere nei casi di cattiva progettazione, inconveniente che può portare alla necessità di installare impianti di condizionamento sovradimensionati per compensare le forti dispersioni invernali e i forti carichi termici estivi.

Per quanto riguarda gli elementi costituenti la serra, in particolare sui serramenti si è riscontrata una crescente attenzione negli anni alle qualità fisico-tecniche volte a ridurre le dispersioni, senza limitarne l'apporto solare. La copertura, invece, assume materiali, superfici e forme molto variegata in base alla funzione ospitata all'interno degli spazi soleggiati. Infine, gli elementi di controllo della radiazione solare nel periodo estivo rivestono un ruolo di particolare importanza e la scelta di quest'ultimi varia in base al contesto e alla conformazione della serra, dall'uso della vegetazione a sistemi frangisole.

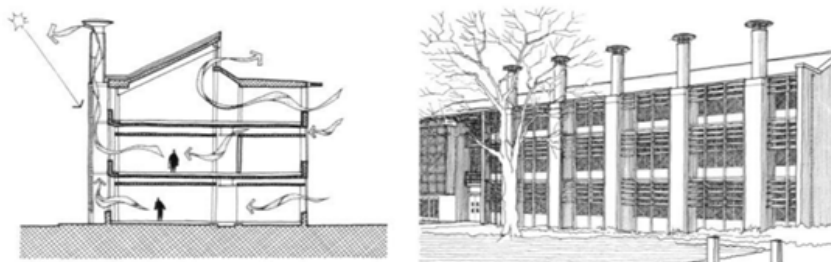
Ventilazione naturale

La ventilazione naturale sta alla base del funzionamento dei dispositivi passivi bioclimatici sopra descritti. Il grande potenziale di questa risorsa risiede in effetti nella possibilità di migliorare considerevolmente l'efficienza energetica di un edificio permettendo un risparmio dell'energia elettrica legata all'utilizzo di ventilatori, dispositivi di raffrescamento e riscaldamento.

La ventilazione naturale rappresenta un elemento fondamentale per il funzionamento dei sistemi passivi architettonici bioclimatici soprattutto durante i mesi estivi. Nei periodi molto caldi, infatti, la ventilazione trasversale, consente di raffrescare gli ambienti degli edifici attraverso lo sfruttamento delle fresche brezze notturne. In inverno, invece, nonostante si usi una modalità di ricambio d'aria più conservativa, la ventilazione viene utilizzata nelle ore più calde della giornata.

Le strategie volte allo sfruttamento della ventilazione naturale si basano sullo studio dei movimenti di aria attorno all'edificio. Questi

Effetto camino, BRE office building, UK.
Fonte:



ultimi sono influenzati da una serie di parametri, così come visto nei capitoli precedenti, che in questo paragrafo saranno considerati in maniera integrata considerando l'interno e l'esterno dell'edificio.

Il movimento di aria all'interno degli spazi di un edificio è influenzato da diversi fattori. Il fenomeno della ventilazione incrociata, ad esempio, è la forma più semplice di spostamento forzato dell'aria interna indotto dal vento. Essenzialmente può essere visto come una corrente d'aria controllata che fluisce nello spazio, da una zona ad alta pressione verso una zona a bassa pressione, a causa di una sovrappressione sulla facciata sopravvento e della sottopressione sulla facciata sottovento, che provocherà il passaggio di aria da un lato all'altro. Per ottenere il passaggio di aria è necessario che ogni ambiente abbia delle aperture su entrambi i lati opposti. Appare chiaro come l'orientamento e la forma di un edificio sono caratteri vincolanti per l'ottenimento di un'ottima ventilazione incrociata. L'edificio, infatti, affinché il sistema sia efficace, non dovrebbe essere troppo largo e il lato lungo dell'edificio dovrebbe essere diretto perpendicolarmente alla direzione prevalente del vento per assicurare la massima efficienza.

In seconda istanza, il movimento interno di aria può essere indotto dal solo ingresso dei venti esterni all'interno dell'edificio interessato, e ulteriormente influenzato dall'effetto camino generato dalle differenze di temperatura dell'aria interna a diverse altezze. Pertanto, anche su piccola scala all'interno di una singola stanza, un flusso d'aria può verificarsi quando sono presenti due aperture ad altezze diverse, anche sullo stesso lato. Per essere più efficaci

nell'influenzare il flusso, le due aperture dovrebbero essere il più lontano possibile, preferibilmente appena sopra il pavimento e sotto il soffitto (Mak, 2007).

Questi principi spiegano come la ventilazione naturale costituisca l'essenza del dispositivo tecnologico chiamato "camino solare", ossia un condotto di ventilazione che sfrutta la radiazione solare per avviare i moti di aria interni.

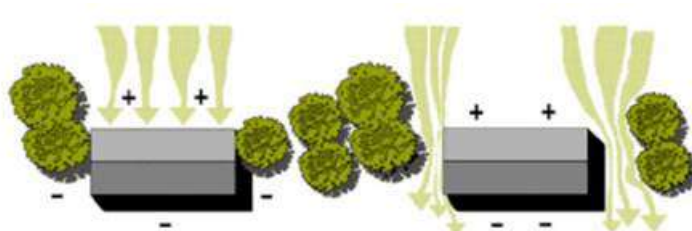
In generale, i diversi caratteri morfologico-tecnologici e tipologico-distributivi degli edifici, soprattutto in relazione alla possibile variabilità di forma e orientamento, tipologia e distribuzione interna, presenza o meno di spazi "vuoti", tipi di aperture e tipologie d'involucro, influenzano in maniera alquanto variegata il movimento delle masse d'aria all'interno degli edifici e quello delle correnti esterne nel momento in cui interagiscono con gli stessi. Per questo motivo, la presente dissertazione rimanda ogni descrizione più approfondita all'ampia bibliografia presente in merito, avendo come scopo principale quello di introdurre il valore delle soluzioni tecnologiche all'interno di una strategia integrata ed olistica.

Uso del verde a scala dell'edificio

La vegetazione, se integrata in modo appropriato nel contesto architettonico, produce molteplici benefici dal punto di vista ambientale, della qualità architettonica, energetico e termico-climatico. I giardini verticali o le coperture vegetali ne sono un esempio. Questi sistemi intervengono sul comportamento bioclimatico degli edifici migliorandone sensibilmente e direttamente le prestazioni in termini di efficienza energetica delle costruzioni e dell'ambiente in cui sono collocati ed indirettamente migliorando la qualità architettonica degli spazi esterni ed interni, aumentandone la qualità ambientale e visiva e contribuendo allo sviluppo della superficie destinata a zone verdi.

Molti studi hanno ampiamente dimostrato come la vegetazione migliori anche la qualità termico-climatica nelle città poiché tra i benefici mitiga l'effetto isola di calore urbano riducendo la

Utilizzo della vegetazione come barriera per favorire la ventilazione naturale. Fonte: Poler



temperatura nei suoi dintorni. Infatti, la vegetazione superficiale del suolo e le piante regolano il clima locale assorbendo la radiazione solare diretta nell'ambiente urbano e, quindi, evitando l'immagazzinamento di calore nei materiali da costruzione.

La vegetazione riduce anche il rumore ambientale all'interno e all'esterno degli edifici contribuendo ad un assorbimento di 10 dB di inquinamento acustico dovute alle attività antropiche urbane e alla mitigazione dell'effetto eco che si produce con il rimbalzo delle onde sonore sulle superficie dei prospetti degli edifici.

La vegetazione cattura e regola l'acqua piovana e il suo deflusso, come dimostra la soluzione delle coperture vegetali. In questo caso, lo strato superficiale vegetale permette di trattenere per un lasso di tempo maggiore l'acqua piovana migliorando, in questo modo, il fenomeno dell'evaporazione della maggior parte del liquido e smaltendo tramite i canali di scolo solamente una piccola percentuale dell'acqua assorbita.

Affrontando più nello specifico il tema dell'applicazione della vegetazione sull'involucro degli edifici, è semplice intuire come il verde fornisca una maggiore regolazione della temperatura, aumentando l'isolamento termico e la protezione dalla radiazione solare sia delle pareti verticali che dei tetti, orizzontali ed inclinati.

Se durante l'inverno lo strato vegetazionale contribuisce a proteggere dal vento e dall'umidità, in estate protegge al contempo dal riscaldamento eccessivo degli spazi interni bloccando la radiazione solare. Inoltre, diversamente da quanto avviene durante i

mesi freddi, umidifica l'ambiente raffrescando l'aria²⁹.

Il ruolo della vegetazione è di fondamentale importanza anche nella lotta all'inquinamento di prodotti come l'ossido di azoto, l'ossido di zolfo e le particelle in sospensione³⁰. Inoltre, la presenza di vegetazione permette l'assorbimento di CO₂ e la generazione di ossigeno³¹ attraverso la fotosintesi (Taha, 1996).

Il verde verticale

L'uso del verde verticale è una soluzione tecnologica che consiste nel realizzare superfici di vegetazione su supporti che vengono ancorati a pareti verticali quali facciate di edifici o superfici verticali di infrastrutture urbane.

Questa tecnologia permette di aumentare quindi la superficie vegetale all'interno delle aree urbane, ed è posizionabile in adiacenza a spazi pubblici o privati sfruttando al meglio i benefici che abbiamo già trattato.

Le coperture verdi

La presenza di vegetazione sui tetti aggiunge una protezione solare ma anche un isolamento termico supplementare. Il substrato stesso della copertura vegetale collabora già al miglioramento dell'efficienza energetica del tetto grazie alle sue proprietà termiche. Se valutiamo la capacità di isolamento termico fornita dalla vegetazione in modo aggiuntivo, questo dipenderà dal fatto che si tratti di una copertura estensiva o intensiva.

La presenza di vegetazione sui tetti aggiunge una protezione solare

29. La spiegazione risiede nella capacità della vegetazione tramite il fogliame nell'azione di espulsione di particelle di acqua durante il processo di fotosintesi.

30. Per esempio, 1 m² di copertura vegetale trattiene 130 grammi di polvere all'anno, e un edificio di 4 piani con una facciata vegetale filtra 40 tonnellate all'anno di gas nocivi, e intrappola e processa 15 kg di metalli pesanti.

31. Un metro quadrato di copertura vegetale genera l'ossigeno necessario per una persona in un anno.

ma anche un isolamento termico supplementare. Il substrato stesso della copertura vegetale collabora già al miglioramento dell'efficienza energetica del tetto grazie alle sue proprietà termiche. Se valutiamo la capacità di isolamento termico fornita dalla vegetazione in modo aggiuntivo, questo dipenderà dal fatto che si tratti di una copertura estensiva o intensiva.

Nonostante il fenomeno del rinverdimento abbia dei riconosciuti effetti migliorativi dal punto di vista termico dell'edificio e dell'intero ambito urbano, non in tutti i casi è possibile ricorrervi e vi sono alcuni requisiti minimi da soddisfare per poter operare con tali sistemi:

- presenza dello spazio necessario all'installazione, tenendo conto che, al termine dell'intervento, lo spessore della superficie potrebbe aumentare;
- adeguata capacità di sopportazione da parte delle strutture esistenti dell'aumento del peso e delle sollecitazioni maggiori;
- capacità dell'edificio di garantire prestazioni che non gli erano richieste prima;
- consapevolezza della manutenzione derivante dal fatto che le piante in copertura o in facciata costituiscono materiali variabili nello spazio e nel tempo;
- valutazione della possibilità di implementazioni impiantistiche, come sistemi di irrigazione automatizzati o impianti d'illuminazione artificiale.

2.2.3 Reti Di Condivisione

L'idea che si pone alla base della strategia che mette in relazione tessuto urbano, microclima e consumi energetici, al fine di ottenere una logica di consumo e produzione circolare a livello di distretto, prevede la condivisione dell'energia accumulata tramite fonti di energia rinnovabile.

L'uso delle tecnologie bioclimatiche attive offre numerosi vantaggi



Pavegen.
pavimento
che converte i
passi in energia
elettrica
da fornire
alla rete. Bird
Street, Londra.
Fonte: Pave-
gen



Progetto di ri-
uso delle linee
metropolitane
di Londra.
I ciclisti ed i
pedoni produ-
cono energia
con il movi-
mento.
Fonte: Gensler



"SolaRoad",
pista ciclabile
fotovoltaica.
Con soli 200
metri di pista
ha permesso
di soddisfare
i fabbisogni
energetici di
tre famiglie
Fonte:
Solaroad

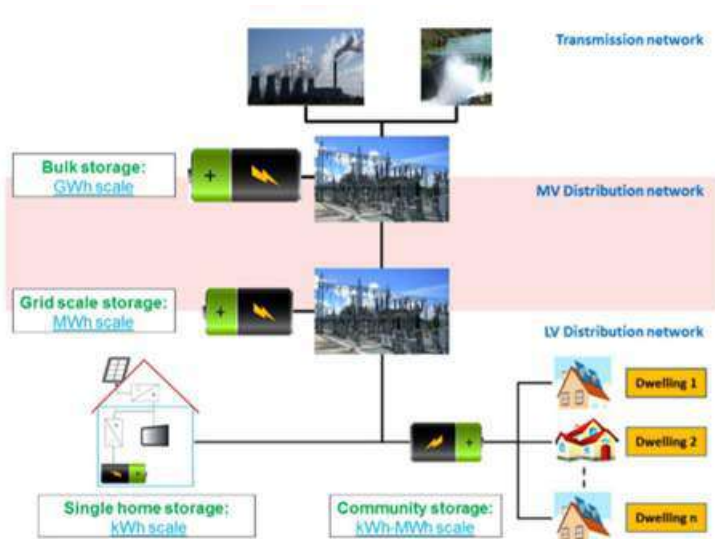
includendo la capacità di generare elettricità nello stesso luogo del consumo (con conseguente assenza di perdite di trasmissione o distribuzione), la ridotta dipendenza da una rete, la riduzione dei gas serra e il sostegno allo sviluppo sostenibile.

Tuttavia, il potenziale energetico delle fonti di energia rinnovabile a scala di quartiere dipende dal clima locale e dall'attenzione progettuale investita nel quartiere stesso. Per questo motivo, ad esempio, i quantitativi energetici prodotti da fonti di energia solare ed eolica dipendono dalla disponibilità di radiazione solare e di vento, ma anche dalla quantità di superficie che può essere destinata all'alloggiamento di pannelli solari e dalla morfologia dell'insediamento che influenza la velocità del vento. Le variabili appena descritte, infatti, evidenziano la difficoltà di garantire, molto spesso, dei sistemi di produzione energetica appartenenti ad un singolo edificio del quartiere che permettano di soddisfare in maniera autonoma il suo fabbisogno energetico. In questo senso, l'organizzazione delle "comunità energetiche"³² ha vissuto un momento di particolare innovazione, grazie allo sviluppo di sistemi di interscambio energetico all'interno di uno stesso distretto o quartiere, consentendo di raggiungere un bilancio energetico positivo.

Il recente sviluppo di piccole *smartgrid* energetiche in limitati contesti urbani ha permesso di esplorare un cambio di strategia nella produzione e nel consumo energetico, passando da un sistema a rete di produzione centralizzata ad un sistema a rete di produzione e consumo distribuito.

Di recente, il Piano Strategico per le Tecnologie Energetiche (SET), Azione 3.2, ha sottolineato la necessità di pianificare la diffusione dei Distretti Energetici Positivi (PED), ovvero gli agglomerati urbani con importazioni nette di energia pari a zero ed emissioni nette pari a zero (Commissione Europea, 2018). Tra le caratteristiche peculiari dei PED, "l'interazione e l'integrazione tra edifici", così come "un approccio

32. Aggregazione di un certo numero di utenti in grado allo stesso tempo di produrre e consumare energia condividendola attraverso una rete locale.



Rappre-
sentazione
schematica
dei sistemi di
accumulo di
comunità in
comparazione
con la scala
della singola
abitazione e
della grande
rete. Fonte:
Parra D. (2017)

integrato che includa tecnologia, spazialità, [...] prospettive” sono considerati pilastri fondamentali per la pianificazione energetica strategica (Commissione europea, 2018). Pertanto, la modellazione della condivisione dell’energia tra gli edifici è fondamentale per ottenere una proficua transizione verso i PED.

In base a queste premesse, qualsiasi strategia energetica urbana a lungo termine dovrebbe basarsi su modelli energetici integrati che associno la produzione e la distribuzione locale tra gli edifici e l’accumulo di energia distributiva locale come caratteristiche chiave interconnesse per il raggiungimento di configurazioni energetiche urbane sostenibili.

Mini-grid

In questo contesto si inseriscono le *minigrid*, piccole reti smart che costituiscono l’essenza delle nuove comunità energetiche³³. La

33. Secondo il rapporto di Legambiente dal titolo “comunità rinnovabile 2021” sono circa 20 le comunità energetiche rinnovabili attive ed in corso di attivazione in Italia.

nascita di una comunità energetica prevede, infatti, l'aggregazione di un determinato numero di prosumers disposti a condividere impianti di produzione di energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile.

Attualmente, in molti paesi del mondo, sono attive varie iniziative di autoconsumo collettivo e di comunità energetiche, dimostrando il loro potenziale di trasformatore sociale per il fatto di facilitare l'adozione di comportamenti eco-sostenibili. All'interno delle minigrid l'energia è prodotta dai singoli utenti attraverso impianti di produzione da fonti rinnovabili installati nelle proprietà di ciascuno. La produzione energetica individuale è destinata in prima istanza all'autoconsumo, cioè al fabbisogno energetico dell'utente, ed in seconda istanza a compensare gli eccessi di consumo degli altri utenti partecipanti alla minigrid. In alcuni casi, tuttavia, la produzione di un singolo utente potrebbe non riuscire a soddisfare i fabbisogni energetici richiedendo un prestito di energia ad un altro utente della stessa rete. L'alternanza tra produzione e richiesta di energia fa intuire come la maggiore resilienza del sistema energetico locale derivi dalla presenza di un'ampia varietà di fonti di energia rinnovabile e di un buon sistema di stoccaggio.

Sistemi di accumulo

Fino ad oggi, l'approvvigionamento energetico per far funzionare la città non è mai stato considerato un problema di progettazione urbana. Nel caso delle comunità energetiche il cambio di paradigma, insieme al ruolo cruciale dell'efficienza energetica, rende la questione dell'approvvigionamento energetico una parte importante del lavoro dell'architetto progettista. Alla base della questione vi è la decentralizzazione della produzione di energia combinata con l'uso di fonti di energia rinnovabili che comporta il ripensamento non solo della rete di scambio dell'energia ma anche di impianti di accumulo.

Infatti, la crescente diffusione delle tecnologie di produzione di energia rinnovabile distribuita e delle comunità energetiche ha fatto sviluppare un maggiore interesse per i sistemi di accumulo di energia situati molto vicino ai consumatori.

Questi sistemi hanno molteplici funzioni: oltre a funzionare come

impianti di immagazzinamento dell'energia, permettono di aumentare la quantità di generazione di energia rinnovabile consumata localmente e forniscono opportunità per la gestione della condivisione della stessa.

Di seguito si tratteranno brevemente le tipologie di accumulo di energia che facilmente possono essere considerate in un progetto di riqualificazione energetica di un quartiere della città esistente e consolidata.

Le tipologie di accumulo possono essere suddivise in due sottoinsiemi: sistemi di accumulo per singola unità o per singolo edificio e sistemi di accumulo per comunità energetiche.

I sistemi di accumulo per unità (abitazioni, uffici, negozi ecc.) o insiemi di esse sono per la maggior parte delle volte realizzati con batterie di accumulo. Quest'ultime simili alle comuni batterie ricaricabili, sono batterie a grande capacità in grado di immagazzinare elettricità a seconda della loro dimensione.

I sistemi di accumulo per intere comunità energetiche, invece, proprio per la quantità di accumulo di energia necessaria nei casi di numerose utenze, richiedono maggiore spazio rispetto ai sistemi di accumulo a batteria e trovano facile collocazione negli spazi pubblici del quartiere o distretto.

In questo secondo sottoinsieme possiamo inserire gli impianti a:

- Aria compressa. L'elettricità è usata per comprimere l'aria e conservarla, spesso in volumi sotterranei. Quando la domanda di elettricità è alta, l'aria pressurizzata viene rilasciata per generare elettricità attraverso un generatore a turbina ad espansione.
- Accumulo di energia termica. L'elettricità può essere usata per produrre energia termica, che può essere immagazzinata fino a quando non è necessaria. Per esempio, l'elettricità può essere usata per produrre acqua refrigerata o ghiaccio durante i periodi di bassa domanda e poi usata per il raffreddamento durante i periodi di picco del consumo di elettricità.
- Idrogeno. L'accumulo di energia con l'idrogeno, che sta ancora emergendo, comporterebbe la sua conversione dall'elettricità tramite elettrolisi per lo stoccaggio in serbatoi. Da lì può in seguito subire la riconversione in elettricità o la fornitura ad applicazioni emergenti come i trasporti, l'industria o il residenziale come fornitura del gas.

2.3 Un approccio metodologico-progettuale

Con il crescere del costo dell'energia e con l'emanazione di una grande quantità di leggi e norme tecniche sulla limitazione dei consumi energetici negli edifici, la progettazione energeticamente cosciente è diventata un obbligo inalienabile per tutti i progettisti. Proprio l'esigenza di raggiungere risparmi energetici sempre più elevati, come le norme o le crisi energetiche planetarie richiedono, si è sviluppato un bisogno sempre crescente di sensibilizzare il campo del progetto all'urgenza di sviluppare una progettazione energeticamente cosciente (building conscious design). Spesso la sola forma architettonica non può soddisfare tutte le esigenze di benessere interno degli edifici, motivo per cui occorre considerare l'insieme delle problematiche e delle soluzioni descritte, in maniera integrata.

In sintesi, le strategie evidenziate ed assunte come valide per l'intento proposto sono riassumibili nella tabella sottostante. Si sono suddivisi per categoria progettuale (verde, gialla o blu) e sono stati indicati per ognuno di essi gli ambiti di miglioramento i cui si inseriscono e i fattori che influenzano.

In linea generale, è possibile identificare 5 principali strategie di intervento che accomunano la scala architettonica ed urbana e descrivono l'intero processo:

- **Unificare:** riunire tutti gli spazi aperti pubblici per un totale riutilizzo;
- **Ridefinire:** valutare l'uso degli spazi e degli elementi urbani nell'ottica di una riqualificazione energetica del quartiere;
- **Naturalizzare:** intervenire incorporando la vegetazione e l'acqua nel processo di riqualificazione;
- **Integrare:** inserire le tecnologie architettoniche ed impiantistiche necessarie per una ottima efficienza energetica e per l'autoproduzione da fonti rinnovabili;
- **Condividere:** mettere in condivisione le risorse all'interno del quartiere per ottenere una comunità energeticamente positiva.

Soluzioni	Ambito di miglioramento		Fattori influenzati				
	Quartiere	Edificio	Inerzia termica	Ombra		Ventilazione	
				Albedo	Evaporazione	Energia	
Parchi	●		●	●	●	●	●
Alberi	●				●	●	●
Verde "orizzontale"	●			●		●	
Coperture vegetali		●	●	●	●	●	
Verde pensile	●	●		●	●	●	
Materiali "freddi"	●	●		●			
Strutture ombreggianti	●	●			●	●	
Sistemi morfologico-spaziali bioclimatici		●	●		●		●
Sostituzione infissi		●	●				
Impianto geotermico		●					●
Mini colico	●	●				●	●
Pannelli solari	●	●		●	●		●
Rivestimenti dall'elevato valore di albero	●	●	●	●			
Rivestimenti drenanti	●					●	
Rivestimenti a cambiamento di fase	●	●	●				
Isolamento involucri		●	●				
Fontane/getti d'acqua	●			●		●	
Sistemi di irrigazione	●	●				●	
Sistema delle acque superficiali	●		●			●	
Infrastrutture per la gestione delle acque piovane	●					●	

Parte



La Sperimentazione

Il presente capitolo intende focalizzarsi, per una corretta valutazione della strategia di riqualificazione energetica della città esistente proposta nel capitolo precedente, sull'analisi di due casi significativi di tessuto urbano esistente con caratteristiche identitarie precise, ascrivibili ad uno specifico modello morfo-tipologico.

In particolare, si è scelto di intervenire sulla città giardino che, proprio per le sue caratteristiche architettoniche ed urbane legate alla sua concezione, si presenta come tessuto chiaramente identificabile e consolidato. Quest'ultima è stata scelta come oggetto degli studi sperimentali per due motivi. Il primo riguarda la sua composizione eterogenea ma appartenente ad un progetto urbanistico unitario; infatti, la città giardino può essere considerata, a livello urbanistico, come un quartiere isolabile, che permette lo studio energetico di tutte le componenti morfologiche (edifici, strade, aree verdi, trasporti) senza trascurare l'appartenenza ad un sistema a scala maggiore.

Il secondo motivo è basato sul crescente interesse che la comunità scientifica, anche in seguito alle recenti vicissitudini mondiali legate

alla pandemia CoVid-19, sta dedicando alla rivalutazione della Città giardino, ancor prima che per la sua qualità sociale, per caratteri funzionali e spaziali.

Nei successivi capitolo si tratterà, pertanto, la sperimentazione progettuale energetica a livello urbano ed architettonico in due nazioni differenti d'Europa, la Francia e l'Italia, in cui sono stati realizzati diversi esempi di città giardino. Al fine di convalidare l'approccio proposto, verrà, quindi, applicata la strategia sui due casi applicativi: la città giardino di Pré-Saint-Gervais (Ile-de-France) e la città giardino Aniene (Roma).

Questa parte di tesi è suddivisa in tre grandi capitoli, due dei quali coincidenti con i casi applicativi e l'altro, introduttivo, tratterà brevemente l'idea di città giardino, nata in Inghilterra secondo il progetto di E. Howard, e le sue successive declinazioni francesi ed italiane. All'interno dei due capitoli applicativi si organizzeranno i dati, le analisi e le descrizioni degli interventi seguendo l'impalcatura metodologica già descritta di: Fase conoscitiva, Fase analitica, Fase di progetto e Fase applicativa.

Attraverso queste fasi si dimostreranno i risultati energetici ed architettonici dell'intero processo di riqualificazione energetica, attuando una comparazione finale tra stato di fatto e stato di progetto.

1 IL CASO DELLA CITTÀ GIARDINO

1.1 Un brano di città esistente

“Cities and Countryside must marry and from this happy union will spring a new hope, a new life, a new civilization.”
(Howard, 1902)

Se sostenibilità e sviluppo sostenibile sono concetti relativamente nuovi, la progettazione del quartiere, come disciplina e professione, è piuttosto consolidata nella storia dell'architettura ed è stata praticata fin dall'inizio del XX secolo. Le iniziative di progettazione di quartieri sostenibili possono essere considerate una continuazione delle tendenze di progettazione urbana che hanno cercato di concepire e sviluppare quartieri vivibili (a livello umano) e rispettosi dell'ambiente dall'inizio del XX secolo in poi, a partire dal “Garden City Movement” di Ebenezer Howard (Farr, 2008).

Nate da un movimento globale che ebbe inizio in Inghilterra nel XIX secolo, le città giardino si sono sviluppate intorno alle principali capitali europee nel periodo a cavallo dei due grandi conflitti mondiali. Anche se modesto da un punto di vista quantitativo, lo sviluppo di questo tessuto urbano riveste un ruolo di particolare importanza come modello urbano, architettonico e sociale nella storia delle nostre metropoli.

Le città giardino sono, infatti, ricche d'insegnamenti per i

nostri giorni. Le forme urbane che implementano, i paesaggi che organizzano, il modello sociale a cui si riferiscono sono sfaccettature che spetta a noi rivisitare in quanto rispondono ad alcuni dei problemi che sono l'attualità del dibattito odierno riguardante la metropoli del domani. I valori e i metodi di progettazione della città immaginata nel XIX secolo in Inghilterra da Ebenezer Howard e Raymond Unwin, messi in pratica negli anni '20 nella regione parigina da Henri Sellier e Georges Benoît-Lévy e da Gustavo Giovannoni e Marcello Piacentini a Roma, rimangono sorprendentemente contemporanei e costituiscono riferimenti che possono sempre ispirare lo sviluppo della qualità delle nostre città e i nostri quartieri. Il rapporto tra città e natura e la ricerca di un modello sociale sostenibile è da considerarsi intimamente legato sia alle sfide socioeconomiche e ambientali sia alle esigenze spaziali e di risparmio energetico della metropoli contemporanea.

Le città giardino dimostrano che pensare un disegno urbano, un'organizzazione spaziale, sociale o economica insieme ad una rete di infrastrutture per il trasporto ben strutturata, aiuta a creare quartieri funzionali in grado di adattarsi con flessibilità al cambiamento, preservando comunque la loro identità. La specificità con cui sono stati affrontati i temi della gerarchia ed articolazione tra spazi pubblici e privati, della maglia stradale a diverse velocità, della mixité tipologica e funzionale, della dimensione a scala umana sembra essere la caratteristica peculiare di questo tipo di tessuto urbano. Proprio per le caratteristiche appena citate la città giardino è stata da sempre annoverata tra le grandi utopie del XX secolo. Anche se ha avuto grande risonanza nel panorama architettonico urbanistico mondiale dell'inizio secolo, non ha, infatti, avuto ampia realizzazione. Tuttavia, con la crescita delle aree periurbane, ma anche conseguentemente al crescente desiderio di dare più respiro ai centri abitati, la città giardino ha ispirato alcune realizzazioni contemporanee. Modello di città giardino e agenda per lo sviluppo sostenibile condividono, infatti, sfide sociali, economiche e ambientali. In quest'ottica assume interesse anche il recupero dei tessuti già esistenti di città giardino.

Questo capitolo, alla luce delle riflessioni e degli studi approfonditi nei capitoli precedenti, sarà suddiviso in due parti principali: una prima parte introdurrà il modello di città giardino e si focalizzerà sugli esempi nati ad inizio secolo in Europa, in particolare in Francia ed Italia. Scendendo nel dettaglio, si proporrà di applicare la metodologia di riqualificazione tratta nel precedente capitolo su due casi di città giardino, la *cit -jardin du Pr  Saint-Gervais* e la citt  giardino Aniene, di cui verranno analizzati i caratteri storico-urbanistici, tipo morfologici e climatici per affrontare, nei paragrafi successivi, il legame con l'ambito energetico e proponendo delle azioni di intervento mirate alla riqualificazione energetica. Dal lavoro condotto nel presente capitolo si trarranno delle conclusioni finali orientate all'evidenziazione delle peculiarit  e delle criticit  sul metodo di intervento per la riqualificazione energetica di questo brano di citt  consolidata.

1.1.1 Il modello di citt  giardino: E. Howard

Alla fine del XIX secolo, nel contesto della rivoluzione industriale e dell'espansione incontrollata delle neo-citt  industriali, Ebenezer Howard (1850-1928) cerc  di progettare un modello urbano che combinasse i vantaggi della citt  con quelli della campagna. Howard introdusse e teorizz  quella che venne definita *garden-city*, un modello di insediamento in grado di risolvere il problema dell'abitare umano nell'era industriale. La soluzione proposta risponde a una triplice criticit  politico-sociale, igienista e culturale della societ  industriale, le cui contraddizioni si riassumono nell'antagonismo tra citt  e campagna (diagramma dei tre magneti).

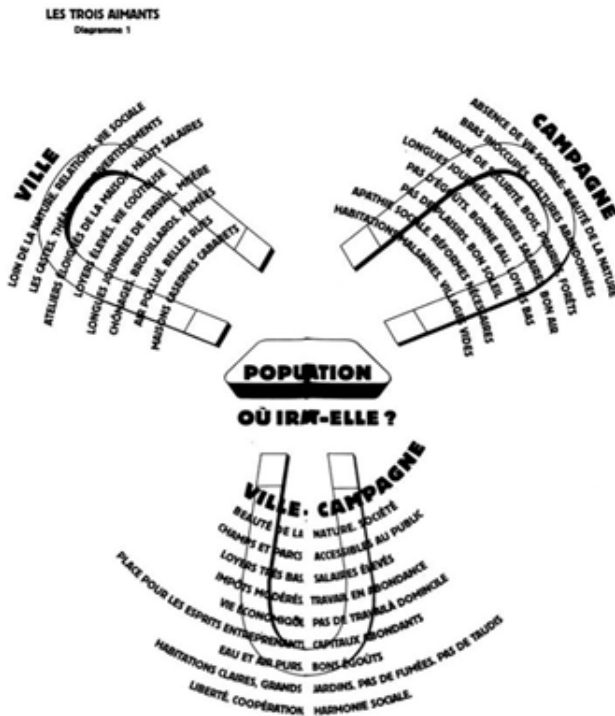
L'urbanista inglese teorizz  il suo pensiero in un libro pubblicato nel 1898: "Tomorrow, a peaceful path to real reform" e ristampato nel 1902 come *Garden cities of tomorrow*, presentando la nuova citt  come una nuova alternativa sociale per le abitazioni degli operai che in quel momento avevano vissuto in baraccopoli.

Nel 1903, l'idea di Howard divenne realt  attraverso la

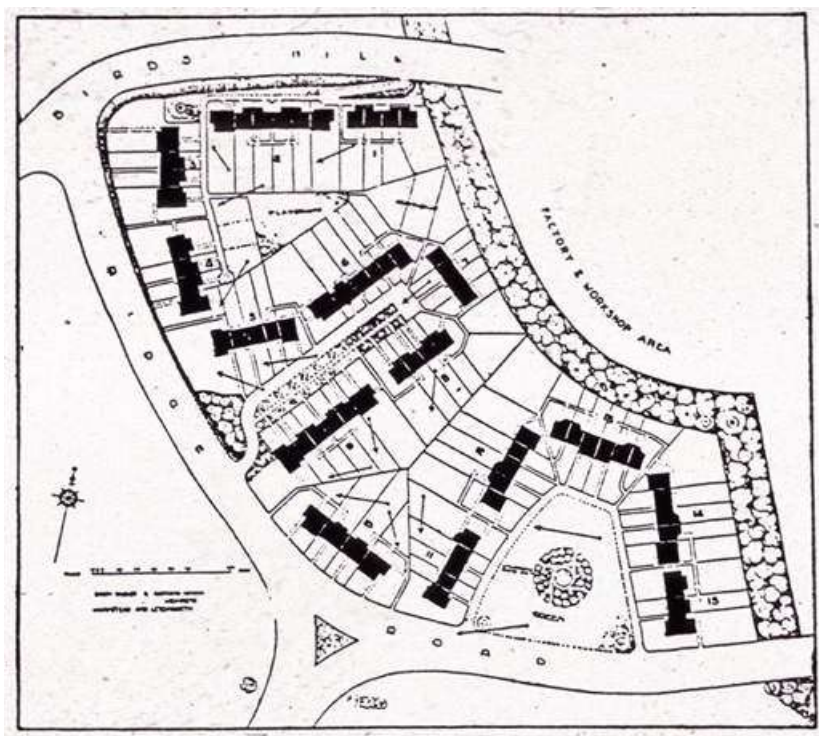
sperimentazione di Letchworth, a 50 km da Londra, dove Raymond Unwin e Barry Parker disegnarono una città giardino, in cui lo stesso Howard andò ad abitare l'anno successivo. Nel 1919, Howard ebbe la possibilità di progettare una seconda città giardino, Welwyn, anch'essa destinata a diventare un modello urbanistico per gli anni a venire, dove si stabilì nel 1921 trascorrendo il resto della sua vita. Nella più recente ristampa del testo di Howard, Ginette Baty-Tornikian scrive nella prefazione che gli dedica:

« Le livre est une bombe qui marque un nouveau cycle de la Civilisation urbaine.{...} Ebenezer Howard, en introduisant le paramètre de la montée inéluctable de la densité, montre que la réflexion sur les banlieues des villes est liée à celle des taudis des villes. Son projet est d'enjamber le laisser-faire et les pratiques

Diagramma dei tre magneti di E.Howard, 1902



À la base, le traduction est de G. Benoît-Lévy in Le cité-jardin, 1904.



Planimetria del "Bird's Hill Estate" a Letchworth di Parker e Unwin, 1906



Poster della città giardino di Letchworth, 1925

obsolètes de l'habitat. {...} La cité-jardin est le lieu social total qui refuse la banlieue-dormitoir et le taudis urbain, l'étalement incontrôlé des villes »

Le due città create dallo stesso E.Howard non furono le uniche realizzate in quel periodo. Infatti, la larga diffusione del concetto di città giardino nei primi anni del Novecento si ebbe grazie alla creazione, nel 1899, dell'Associazione Garden City, e grazie alle varie correnti di pensiero che trasmisero le stesse idee sociali e diedero impulso a molteplici esperimenti. Il concetto di città giardino ricevette così un eco che oltrepassò rapidamente i confini dell'Inghilterra e si diffuse anche in Europa declinandosi diversamente nei diversi stati (Francia, Germania, Austria, Ungheria, Belgio, Paesi Bassi, Spagna, Italia, Stati Uniti, Canada, Australia...).

1.1.2 Due declinazioni: francese ed italiana

Le città giardino, presenti in entrambe le capitali prese in analisi (Roma e Parigi), rivestono un ruolo di particolare pregio per il mantenimento di un impianto microubanistico originario, definito da particolari caratteristiche riguardanti il rapporto tra spazio pubblico e privato, proporzioni tra facciata dell'edificio e strada, etc. La morfologia del tessuto originario, dichiaratamente ispirato agli esempi delle garden cities inglesi, è contraddistinta da una bassa densità edilizia che favorisce una diffusa presenza di verde pubblico e privato, e dal sistema costituito dai tracciati viali alberati, dagli spazi a verde pubblico e dagli altri elementi di arredo urbano.

Tuttavia, nonostante la fondativa unitarietà urbanistica e la volontà di perseguire un'omogeneità tipologica, l'odierno patrimonio edilizio di molte città giardino presenta specifici e diversificati caratteri connotativi e differenti livelli di conservazione anche in ragione delle diverse fasi temporali di realizzazione.

Pertanto, il capitolo introdurrà il terreno di studio comune, su cui si baseranno le analisi incentrate su due differenti declinazioni

del modello preso in esame - Pré-Saint-Gervais a Parigi e la città giardino Aniene a Roma - condotte nei capitoli successivi.

Francia

In Francia, è il Museo Sociale¹ che promuove questa nuova idea. In quanto fondazione privata di riformatori e liberali, il Museo è interessato a tutto ciò che riguarda l' "economia sociale". Nel 1903, il Museo Sociale inviò un emissario in Gran Bretagna: Georges Benoît-Lévy, che pubblicò, al suo ritorno nel 1904, il libro "La Cité-jardin". Nello stesso anno nacque, riscuotendo grande successo, l'Associazione delle città giardino della Francia. Anche se alcuni progetti di città giardino vennero realizzati immediatamente a ridosso della pubblicazione del libro di Howard in Francia, è soprattutto dopo la Prima guerra mondiale che si sono adeguatamente sviluppate. La ricostruzione delle città distrutte nel nord-est della Francia secondo la Legge nota come Cornudet² (1919) obbligava i comuni con più di 10.000 abitanti a dotarsi di un piano di gestione ispirato al concetto di Howard.

Nella regione di Parigi, è l'Office Public di Habitations à Bon Marché del Dipartimento de la Seine (OPHBM DS), creato nel 1915, che si afferma come principale promotore di città giardino. Durante la guerra, quest'ultimo, aveva infatti acquisito molti lotti di terreno di campagna al fine di essere pronto in operazioni di costruzione immediatamente dopo il conflitto mondiale. La Prima guerra mondiale fu un momento di necessario ripensamento degli alloggi sociali. La situazione di emergenza che ne derivò, generò un

1. Il Museo Sociale fu un laboratorio di ricerca sociale creato nel 1894 grazie alle donazioni del Conte di Chambrun. Nacque dall'incontro tra Jules Siegfried, Léon Say ed Emile Chaysson, divenendo il punto di incontro per vari riformatori sociali. Sebbene separato dal Parlamento, desiderava esercitare una reale influenza su di esso e alla fine svolse il ruolo di gruppo di progettazione per la redazione delle leggi urbanistiche.

2. La legge Cornudet è stata approvata il 14 marzo 1919, dopo dieci anni di gestazione e dibattiti parlamentari. Questa legge obbliga le città francesi con 10.000 abitanti o più a adottare un *Plan d'Aménagement, d'Embellissement et d'Extension* (PAEE) che integri degli standards igienici ed estetici. La legge riguarda sia i grandi comuni del dipartimento della Senna che i comuni in fase di ampliamento.

Il progetto della cité-jardin du Grand Paris a sud-ovest della capitale, 1919



UNA BREVE CRONOLOGIA DELLA STORIA DELL'EDILIZIA SOCIALE IN FRANCIA

1894: La legge Sigfrido consente il finanziamento pubblico di iniziative private per la costruzione di HBM.

1911: Primo concorso sulle **cités-jardins**

1912: La legge Bonnevey autorizza le autorità locali a costruire HBM creando uffici pubblici HBM (municipali e dipartimentali).

1914: creazione de «**l'Office public d'habitations à bon marché du département de la Seine**», presieduto da **Henri Sellier**

1919: concorso per il piano di sviluppo e ampliamento della città di Parigi (vinto da Léon Jaussely) ed emanazione della legge Cornudet.

1920: creazione de l'Office public d'habitations à bon marché du département de la Seine-et-Oise.

1928: La legge Loucheur istituisce "un programma per costruire HBM e alloggi per affrontare la crisi abitativa".

problema abitativo non solamente delle classi più modeste, ma si espanse all'intera società.

Durante il concorso per il piano sviluppo e ampliamento di Parigi del 1919 prende piede l'idea di una città giardino; più nello specifico si trattava del progetto de la «Cité-jardin du Grand Paris»³.

Nella regione parigina, le città giardino erano state concepite sia come elemento di riorganizzazione e pianificazione delle periferie sia come elemento di intervento pubblico nell'edilizia sociale.

Tuttavia, la crisi economica del 1929 delinse un cambio di rotta. Negli anni '40, il modello di edilizia popolare "Garden City" fu accantonato a favore delle classiche abitazioni suburbane e dei grandi complessi residenziali (*grands ensembles*). L'idea della Città Giardino venne abbandonata nel secondo dopoguerra a favore dell'abitazione in *collectifs* che, da sola, era ritenuta in grado di soddisfare le enormi esigenze di ricostruzione e soprattutto di crescita urbana. Gli urbanisti del dopoguerra ripresero infatti i progetti, con caratteristiche radicalmente differenti a quelle che erano state delineate per le città giardino, emersi alla fine degli anni '20 ai Congressi internazionali di architettura moderna (CIAM). Dagli anni '50 del Novecento il modello abitativo e la forma urbana della città giardino vennero abbandonati.

3. Progettata dagli architetti Maurice Payret-Dortail, Paul de Rutté, Joseph Bassompierre-Sirwin e Paul Sirvin, reclutati da Sellier durante il conflitto per unirsi all'agenzia di architettura OPHBM del dipartimento della Senna, la " Cité-jardin du Grand Paris " copriva un'area di 1.500 ettari, che corrisponde all'area di Letchworth - sviluppata a sud-ovest della capitale. Confinando a nord con la foresta di Meudon e a sud con la foresta di Verrières, è organizzata intorno a due grandi percorsi esistenti - la strada da Parigi a Chevreuse e la strada da Versailles a Choisy-le-Roi - e servita da una linea ferroviaria che gli autori propongono di collegare alle reti esistenti. Divisa in quattro zone, comprende:

un centro organizzato intorno alla stazione e al centro sociale con strutture socioculturali e negozi, delle aree residenziali, il distretto industriale, la città universitaria.

La città giardino è dotata di tutte le attrezzature necessarie per il suo funzionamento (scuole, ospedali, bagni pubblici, amministrazioni, cooperative, scuole, fabbriche).

Italia

Nate da un'interpretazione personale, o per meglio dire nazionale, delle teorie di Howard e dell'esempio di Letchworth, con un'ossatura più fragile rispetto al modello di Hampstead, facilmente riconducibili a semplici quartieri residenziali di edilizia estensiva, le cosiddette "città-giardino" in Italia semplificano l'idea inglese. L'uso generico del termine in Italia, tuttavia, non è indice di estraneità culturale ai modelli originali bensì rappresenta una deviazione dal modello che permette di ottenere progetti consapevolmente voluti.

È sicuramente corretto affermare che nei primi anni del '900 i principali osservatori italiani sulle politiche urbane ed economiche vedevano la città come luogo di incubazione e manifestazione di gravi mali sociali. Architetti e ingegneri appaiono, dunque, impegnati a trovare soluzioni correttive al fine di estirpare i contesti negativi dalla città, trovando nel decentramento e nella creazione di periferie le soluzioni.

In questo senso, la periferia diventa luogo di sperimentazione progettuale urbana, architettonica, politica e sociale. Nascono nuovi programmi e politiche sugli alloggi sociali, delineando nuovi progetti architettonici e urbanistici focalizzati sulla ricerca tipologica.

Il programma di città giardino di Howard risulta essere il modello ottimale in grado di mediare i bisogni di alloggi della classe popolare ed il necessario decentramento degli stessi⁴. Con la casa popolare da un lato e l'insediamento-giardino dall'altro si voleva suggellare un accordo in cui le reciproche relazioni avrebbero rappresentato degli effetti benefici per entrambi⁵.

Un ruolo di particolare importanza era stato rivestito dalla rivista "Le case popolari e le città-giardino" che, anche se originariamente

4. La relazione tra il modello della città giardino e il problema degli alloggi è stata "ufficialmente" istituita dalla rivista "Le case popolari e le città giardino" pubblicata per un intero anno (1909-1910) in fascicoli mensili.

5. REDAZIONE, "Il nostro programma", *Le case popolari e le città-giardino*, a. I, 1909-1910, fasc. 1, p. 1.

avrebbe dovuto svolgere il ruolo di organo d'informazione in merito alle diverse iniziative internazionali, pubblicando progetti e documentazione fotografica, ha descritto ed illustrato la specificità nazionale di "cultura della casa", "disegno architettonico" e "arte del vivere" che caratterizzavano gli esempi di città giardino realizzati in Italia⁶. Come vedremo di seguito, la città giardino in Italia non ha riscontrato lo stesso successo avuto in altre nazioni europee. Tuttavia, riportiamo alcuni esempi sorti nelle due principali città italiane, Milano e Roma.

L'esempio più noto, nonché primo tra le realizzazioni, è costituito dall'insediamento di "Milanino", fuori dal perimetro amministrativo della grande città in crescita, promosso dall'Unione Cooperativa, la più importante cooperativa di consumo italiana, nel 1907 e dal presidente in carica Luigi Buffoli. Quest'ultimo, reduce dal viaggio esplorativo in Inghilterra, aveva esaminato in alcuni scritti le peculiarità e le criticità della garden city⁷, traendo delle conclusioni personali che avrebbero influenzato in tempi brevi il progetto per una estesa area, circa 1.300.000 mq, situata a circa sei chilometri dai confini di Milano ed "esattamente" a dieci chilometri dalla piazza del Duomo.

Tuttavia, il nuovo quartiere era stato un grande insuccesso in quanto, al momento dell'entrata dell'Italia nella Prima guerra mondiale, erano stati costruiti solamente 96 alloggi e negli anni successivi l'andamento delle costruzioni peggiorò. Il motivo di tale insuccesso risiedeva in un costo eccessivo degli alloggi, nella mancanza di infrastrutture di trasporto e alla lontananza dalla città

6. SCHIAVI, A.- "Come si costruiscono le nuove città", *Le case popolari e le città giardino*, a. I, 1909-1910, fasc. 1, pp. 2-9.

7. Un brano dell'articolo di Buffoli tratto da "Lettura", mensile culturale del Corriere: «Il problema per il risanamento delle abitazioni popolari è di quelli che meritano il più accurato esame e la più rapida soluzione. L'appartamento comodo, decoroso e pulito — non voglio dire elegante — non è soltanto una necessità igienica, ma una necessità morale e sociale. Più sano è l'ambiente e migliori sono i prodotti che ne derivano. L'uomo è quasi sempre il risultato diretto dell'ambiente. Date abitazioni sane e pulite e avrete popolazioni sane e coltivate».

di Milano.

I successivi sviluppi del Milanino si allontanarono, dal punto di vista urbano ed architettonico, dal progetto iniziale di città giardino: tutte le realizzazioni sono caratterizzate da un sobrio livello di decoro che poco concede al pittoresco disegno delle garden city e tutte esibiscono una densità edilizia sufficientemente bassa⁸.

Si differenziano in maniera sostanziale, invece, gli interventi sulla città di Roma. I due esempi di “città-giardino” romane, quella di Garbatella e Aniene, collocate rispettivamente sulle colline di San Paolo e oltre Monte Sacro, sono sorte, a partire dal 1920, per compensare il movimento della popolazione espulsa dai luoghi del centro cittadino soggetti a interventi di sistemazione urbanistica. Diversamente dal caso del Milanino, entrambe sono state progettate da due illustre personalità del mondo dell’architettura e dell’ingegneria del periodo, Gustavo Giovannoni e Massimo Piacentini: il primo ingegnere ed architetto, nonché accademico, e il secondo tecnico dello ICP⁹. Giovannoni, che diede un grande impulso alla relazione che legava la “città giardino” all’estetica e decoro dell’architettura e “arte del costruire le città”¹⁰, era stato, infatti, fautore di un’idea di città dove le ragioni della modernità si fondono, armonizzandosi, con le ragioni della storia.

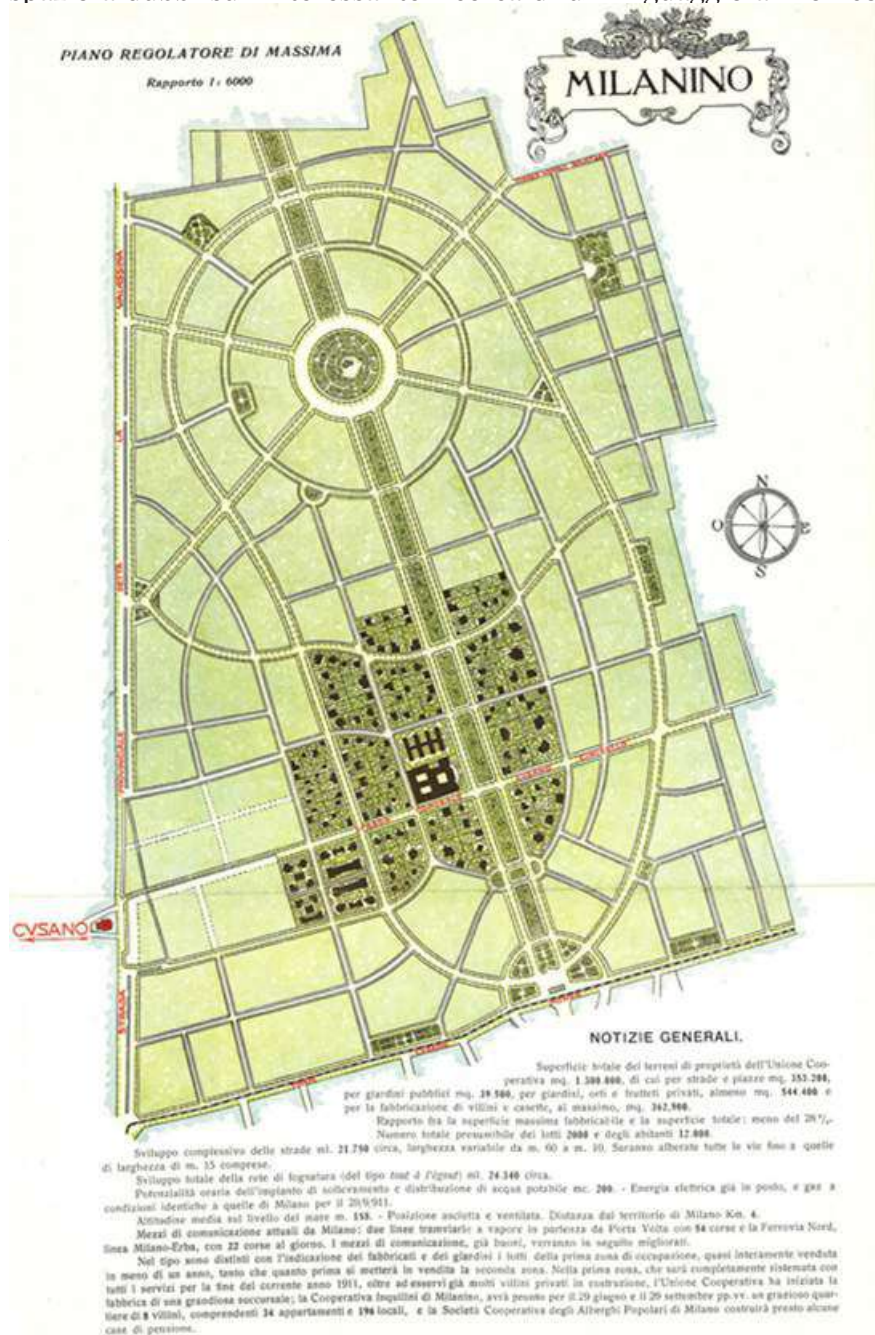
8. “Luigi Buffoli era morto nel 1914 e il Milanino non ebbe alcun sviluppo negli anni del conflitto. Si tentò un rilancio economico nel dopoguerra promovendo le funzioni produttive del comprensorio mediante l’attivazione di una fornace da laterizio e di due fattorie agricole. Nel 1920 si aggiornarono il piano regolatore e le norme edilizie, proponendo la possibilità di un’utilizzazione più intensiva dei suoli, ma le vendite furono stentate e la crisi perdurante. Al 1920 risultano costruite non più di 150 abitazioni; nel 1923 tutto il Milanino fu venduto a una immobiliare privata la S.p.A. Milanino; nel 1930 dopo un’amministrazione prefettizia l’Unione Cooperativa venne sciolta.” Cfr. BORIANI, M. e BORTOLOTTI, S.- Origini e sviluppo..., op. cit.

9. Istituto Case Popolari, ente italiano avente scopo di pianificare, realizzare e gestire l’edilizia residenziale pubblica.

10. Associazione fondata nel 1890 con lo scopo di “promuovere lo studio e rialzare il prestigio dell’architettura, prima fra le arti belle”. Cfr. ZUCCONI, G.- La città contesa..., op. cit., pp.116-118. Sulla figura di Giovannoni, cfr. Id., Dal capitelletto alla città. Gustavo Giovannoni, Milano, 1997.

L'analisi del disegno planimetrico dei due quartieri non lascia spazio a dubbi sull'interessante ricerca di un linguaggio armonico

Piano regolatore di massima della città giardino "Milanino", 1910



11. STABILE, R.- "La borgata giardino...", op. cit., p. 152.

2 PRIMO CASO APPLICATIVO

2.1 La città giardino di Pré-Saint-Gervais

Dopo aver esplicitato il ruolo che il concetto di città giardino di E. Howard ha avuto nello sviluppo architettonico ed urbanistico delle città francesi, il presente paragrafo si focalizzerà sulla Cité-Jardin du Pré Saint-Gervais.

La scelta di quest'ultima, come uno dei casi applicativi del presente lavoro di ricerca, per l'elaborazione di un progetto di riqualificazione in ambito architettonico, urbanistico ed energetico deriva dalla possibilità di considerarla come modello di città esistente con caratteristiche urbane fortemente identificative e riconoscibili che oggi, in un periodo post-pandemico¹ e in piena crisi ambientale, risponderebbero ad un ideale di città per un futuro sostenibile.

Nello specifico, si tratta di un'area ritenuta di particolare pregio architettonico e, quindi, vincolata alla normativa in materia, che ha mantenuto il carattere del progetto originale nonostante si sia intervenuto con alcune soluzioni tecnologiche utili al fine di adeguare l'abitato ai comfort del nuovo secolo e alle normative vigenti sull'efficienza energetica.

Nei prossimi paragrafi si ripercorrerà il percorso progettuale delineato nel capitolo precedente applicandolo al caso applicativo in questione.

1. Pandemia da CoVid-19: epidemia largamente diffusa a livello globale dal 2019 ed ancora in corso nel 2022.

Vista aerea su cui è evidenziata l'area della città giardino di Pré-Saint-Gervais.
Fonte: Google earth, 2021





2.1.1 Fase conoscitiva (A)

In questa fase si procederà con l'inquadramento del contesto climatico ed urbano, della morfo-tipologia del tessuto urbano e normativo. L'obiettivo della fase è di ricomporre la totalità dei dati necessari per il progetto di riqualificazione energetica che comprendono: il profilo ambientale, urbano e normativo.

A.1 – Inquadramento del contesto geografico, climatico e urbano

Inquadramento geografico

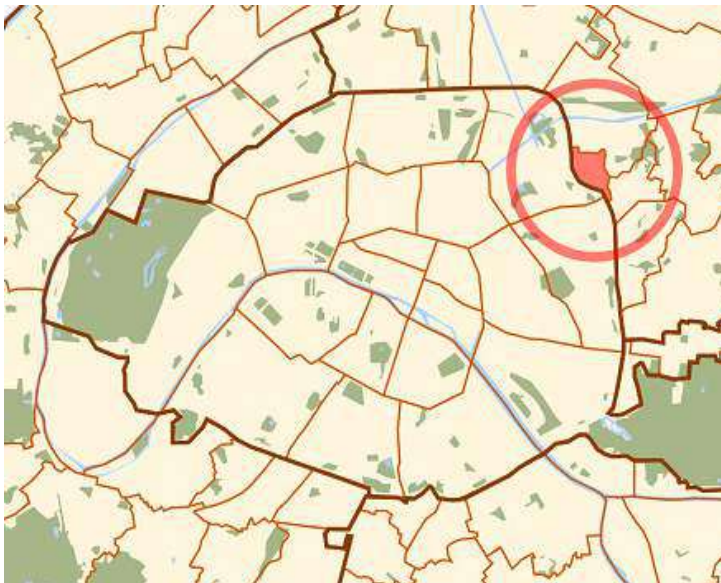
La cité jardin du Pré Saint-Gervais è situata nel comune francese di Le Pré Saint-Gervais all'interno del dipartimento della Seine-Saint-Denis della regione dell'Île-de-France. Collocandosi a 5 km a nord est del centro di Parigi, immediatamente al di fuori del *boulevard périphérique*, il comune fa parte della "prima corona" dell'agglomerazione parigina. Confina a sud e ad ovest con Parigi, a nord e a nord-est con Patin e a sud e sud-est con Lilas. Benché di piccole dimensioni, con circa settanta ettari di superficie, è un comune molto denso in termini di popolazione², come del resto tutto il dipartimento della Seine-Saint-Denis. Il piccolo comune di sviluppa sulla pianura ai piedi dell'altopiano di Romainville, oppure, come indicato spesso ai piedi della collina di Belleville.

Inquadramento climatico

2. Le Pré Saint-Gervais è il comune del dipartimento della Seine-Saint-Denis con la più alta densità ed uno dei più densamente popolati in Francia, conta oltre 25.000 abitanti per km.



Localizzazione
città giardino
Pré-Saint-
Gervais



Il secondo passaggio relativo all'inquadramento riguarda la raccolta di dati statistici su temperatura, precipitazioni, umidità relativa, soleggiamento e venti dominanti.

Questa prima ricognizione di dati statistici permette di raccogliere il materiale utile come dati di input per future simulazioni nonché di ottenere una visione integrata dell'area con una certa approssimazione di quelli che potrebbero essere i principali problemi e potenzialità ambientali.

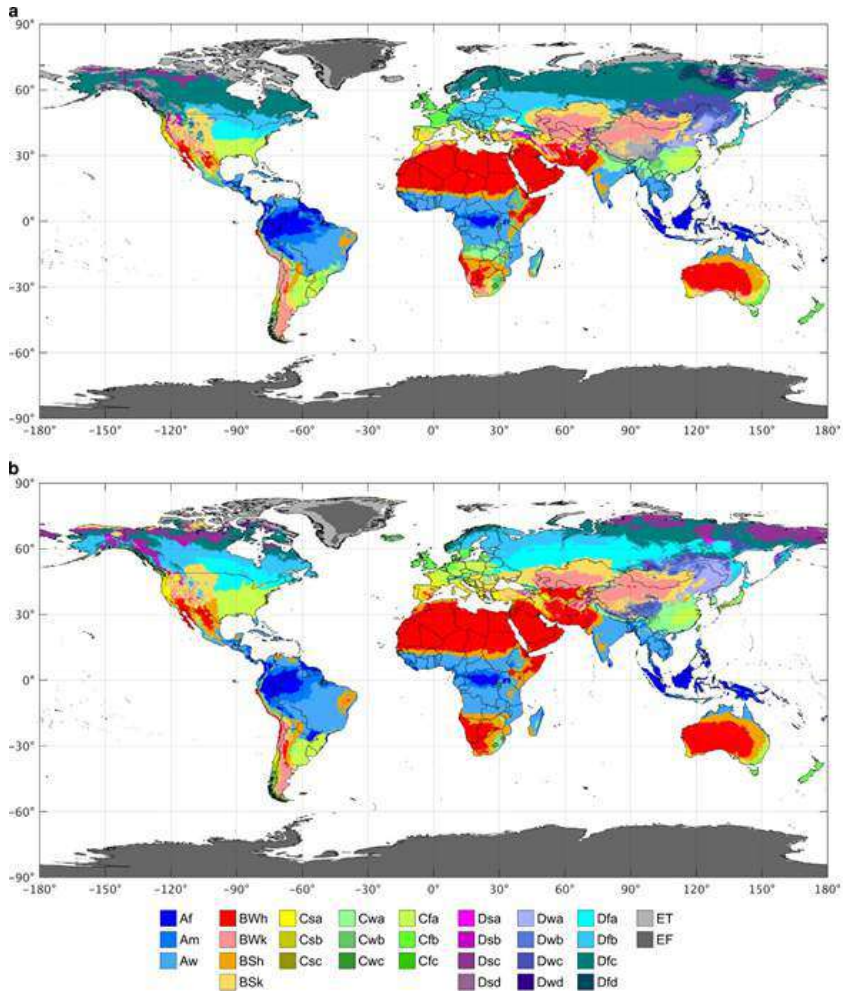
Dall'analisi della mappa elaborata da Beck et al. (2018) che mostra la classificazione "Köppen-Geiger" nel presente e nel futuro³, possiamo rilevare che il territorio del comune di Le Pré Saint-Gervais è caratterizzato attualmente da un clima temperato (cfb), con precipitazioni sparse durante tutte le stagioni e con temperature variabili sotto i 10°C in almeno tre mesi invernali. Di particolare rilevanza ed interesse è la proiezione futura della classificazione climatica di "Köppen-Geiger" generata dagli sviluppi del cambiamento climatico⁴. Nella mappa mostrata nella pagine successiva, è possibile notare un cambiamento di clima per il territorio del comune oggetto della nostra sperimentazione: si passa da un clima temperato "cfb" al clima temperato "cfa" caratterizzato da periodi con temperature maggiori dei 22°C.

Per l'analisi climatica del quartiere, oggetto di riqualificazione energetica, è utile considerare i dati, già analizzati nella parte 2 della tesi, che possono essere recuperati dalla lettura dei database delle stazioni meteorologiche più vicine all'area di intervento. Per la cité jardin du Pré Saint-Gervais sono state individuate due stazioni meteorologiche a cui far riferimento. Le stazioni sono collocate in due punti differenti del territorio metropolitano di Parigi, Montsouris e Orly. I dati estratti possono essere usati, con un certo grado di

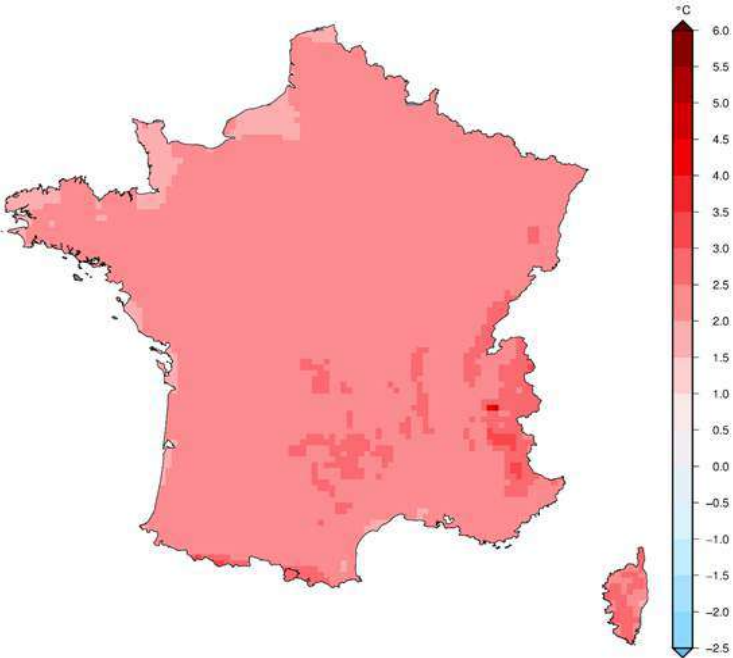
3. Beck, H.E., N.E. Zimmermann, T.R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, E.F. Wood Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution Scientific Data 5:180214, doi:10.1038/sdata.2018.214 (2018)

4. La mappa dello stato futuro è derivata da un insieme di 32 proiezioni di modelli climatici (scenario RCP8.5), sovrapponendo il cambiamento climatico previsto alle mappe climatiche di base.

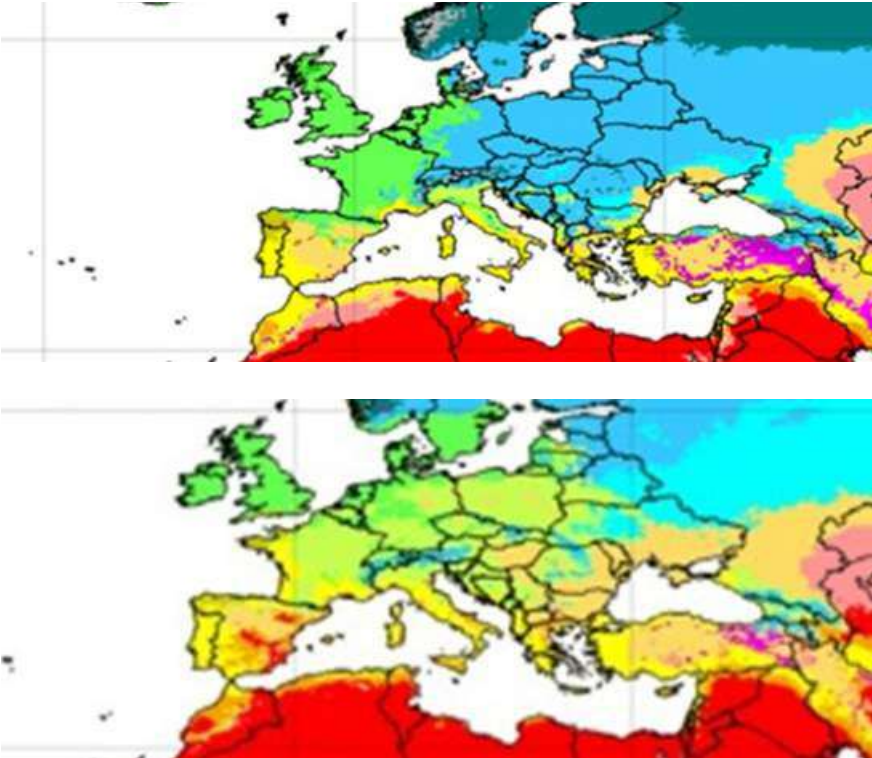
Mappa di
koppen rivista
da Beck et
al.,2018



Mappa delle variazioni di temperature in Francia.
Fonte: Drias 2020



Zoom su Europa della mappa di Beck et al, 2018



approssimazione, per la sperimentazione sulla città giardino anche se per un calcolo più accurato sarebbe preferibile rilevare i dati in luogo attraverso strumentazioni specifiche.

Temperatura dell'aria e umidità relativa

La prima tabella di dati estratta riguarda l'andamento delle temperature nel corso dell'anno. I parametri analizzati sono essenzialmente due: la temperatura a bulbo secco, che rappresenta la temperatura effettiva dell'aria, e la temperatura a bulbo umido, che è la minima temperatura dell'ambiente raggiungibile tramite evaporazione d'acqua. E' possibile notare che i valori della temperatura

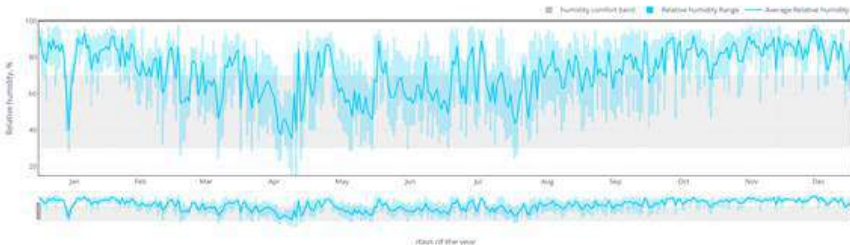
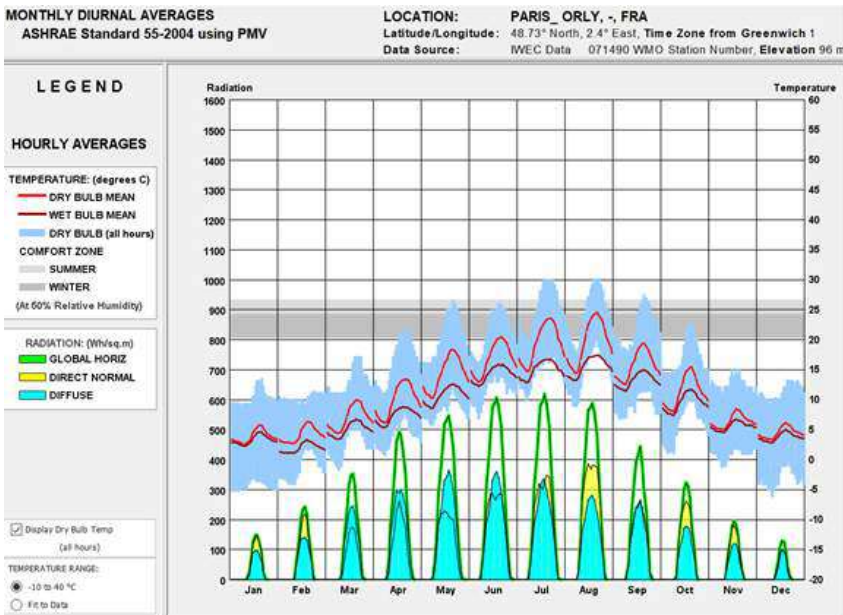


Grafico dell'umidità relativa della stazione meteorologica di Paris Orly, 2021

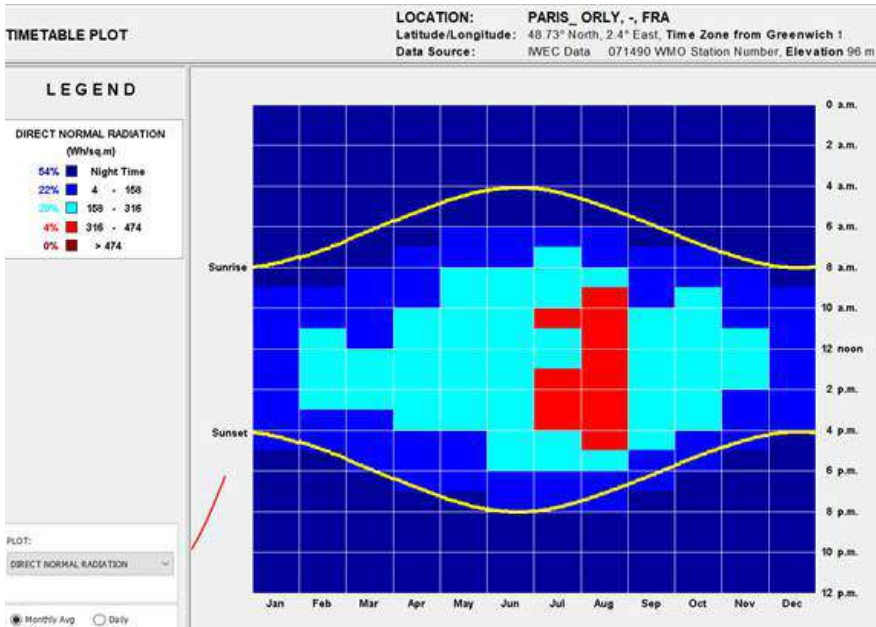
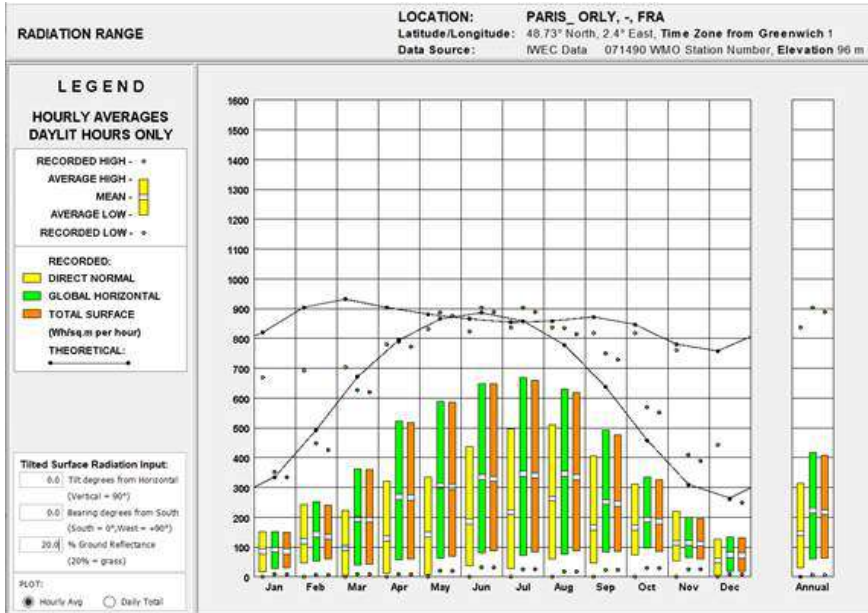
a bulbo secco raggiungano dei massimi molto alti d'estate, con temperature dell'aria che si attestano al di sopra dei 30°C e valori che raggiungono l'intervallo 0-5°C in inverno. Inoltre, è possibile leggere dal grafico i valori di temperatura a bulbo umido. Questo valore è particolarmente importante per capire l'effetto raffrescante ottenibile tramite evaporazione dell'acqua che permetterebbe, nel caso specifico, di mitigare le alte temperature di circa 10°C. Infine, sono segnate in gradazioni di grigio le due fasce della temperatura di comfort intese come range di temperature accettabili per l'uomo nelle stagioni estiva ed invernale.

La seconda tabella riguarda, invece, l'umidità relativa. Anche in questo caso la tabella non fa riferimento a valori riscontrati nell'ambito urbano di progetto tramite la strumentazione specifica bensì a valori riscontrati dalla stazione meteorologica più vicina. Questi dati ci consentono, tuttavia, di valutare l'umidità relativa della cité jardin con una buona approssimazione.

Radiazione solare

Il grafico riguardante la radiazione solare⁵ include le misure registrate di radiazione diretta, diffusa e globale mettendole a confronto con quelle teoriche. La lettura di questo grafico ci permette di estrarre i dati relativi alla radiazione espressa in Wh/m²/ora che si attesta su una media di circa 150 Wh/m²/ora durante i mesi invernali e di circa 350 Wh/m²/ora durante i mesi estivi.

5. Si ricorda che per radiazione solare s'intende l'integrale dell'irraggiamento solare su un periodo di tempo specificato [kWh/m²].

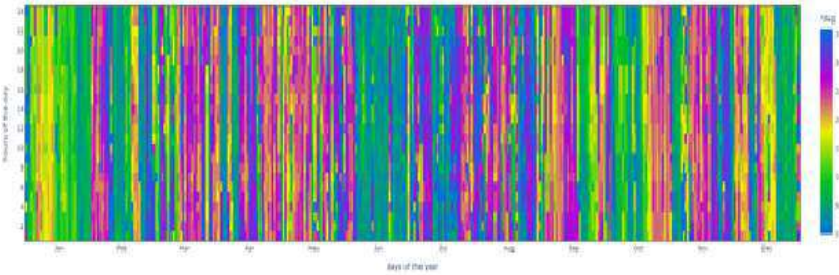


Venti

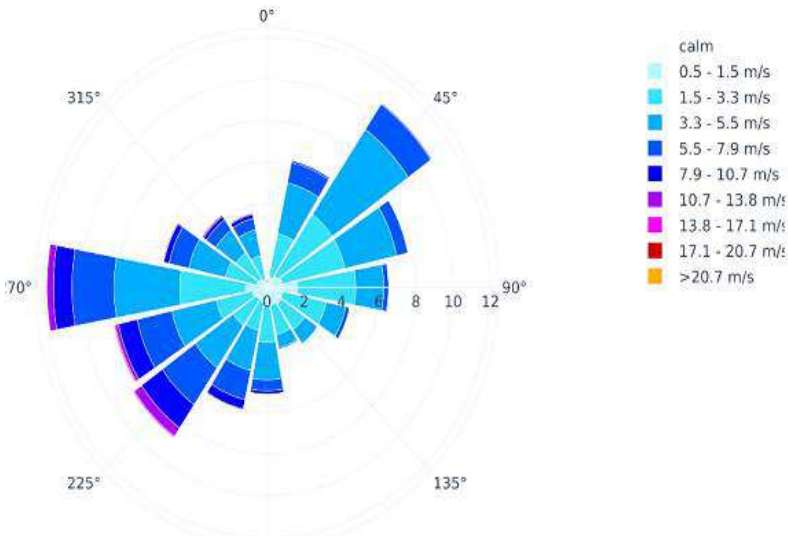
La velocità e la direzione del vento sono dati di fondamentale importanza per le fasi successive e tramite questi grafici vengono riepilogati suddividendoli nelle diverse stagioni.

Come si può notare, il territorio in oggetto è caratterizzato da frequenti venti nordici e freddi (provenienti da nord-est) durante i mesi invernali e un'alternanza di venti freschi, (in particolare quelli da nord-est) e caldi (provenienti da sud-ovest), durante le stagioni più miti

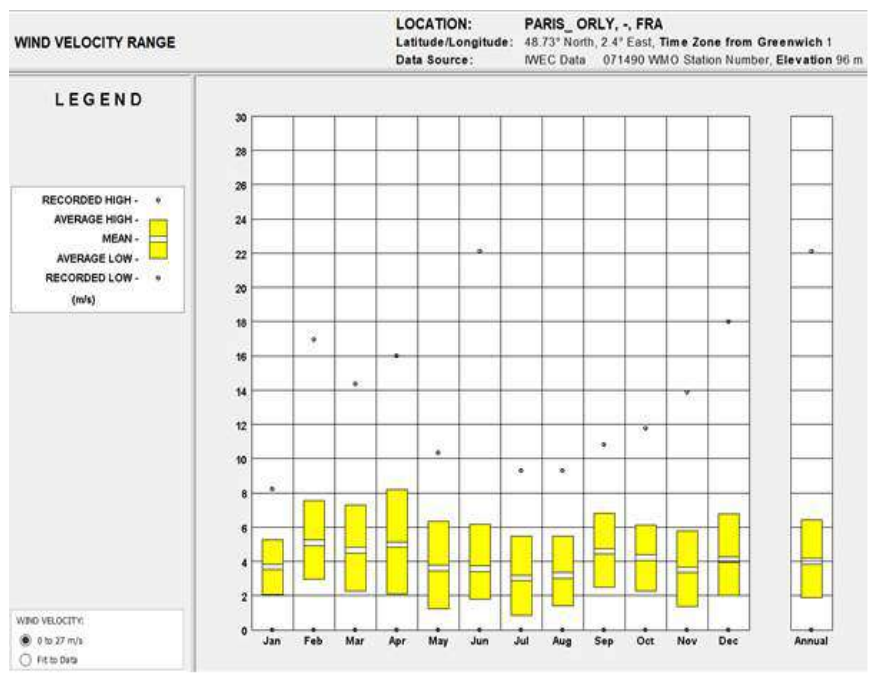
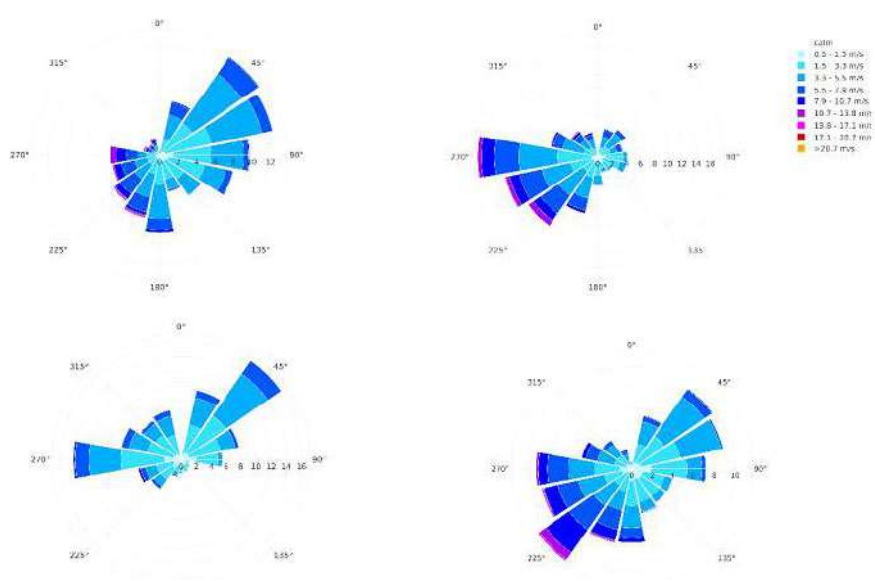
Grafico della direzione dei venti durante le ore della giornata ed i giorni dell'anno, 2021



Osservazione dei venti durante l'intero anno, 2021



Osservazione dei venti nelle 24 ore delle giornate tra: dicembre e febbraio, tra marzo e maggio, tra giugno e agosto, tra settembre e novembre, 2021



Temperatura del sottosuolo

Nella maggior parte dei casi la temperatura del sottosuolo permane costante nell'arco dell'intero anno.

Tuttavia, può subire delle variazioni più o meno importanti in relazione al clima esterno ed in funzione della profondità del suolo considerata.

Nel caso applicativo considerato è possibile notare un aumento della temperatura del sottosuolo durante i mesi più caldi; a scaldarsi sono prevalentemente i primi 10 metri della crosta terrestre, con l'aumentare della profondità la temperatura è pressoché costante.

Il grafico permette di evidenziare che la temperatura a due metri di profondità (profondità massima dei sistemi geotermici orizzontali) è variabile; si riscontra una curva di temperatura crescente che partendo dai 6°C invernali raggiunge i 16°C estivi.

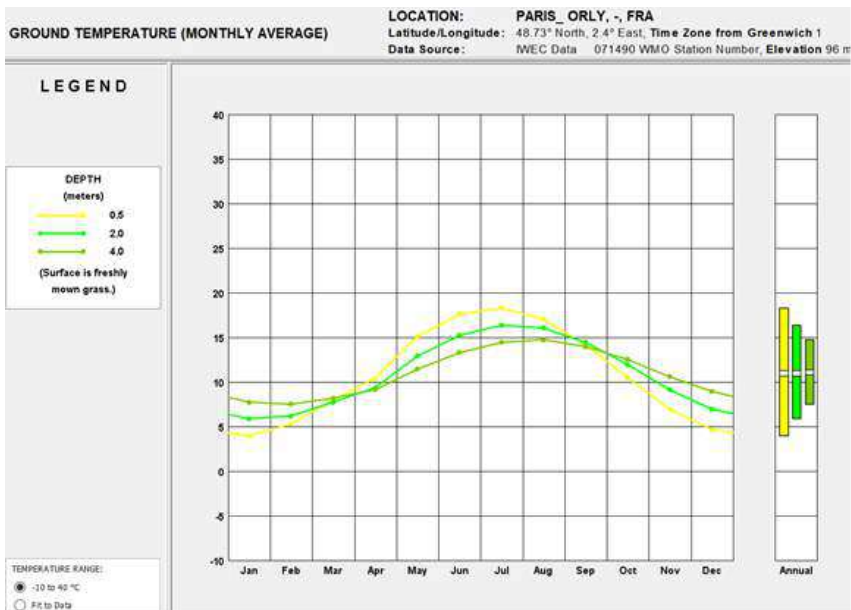


Diagramma solare

Questo diagramma permette di descrivere il percorso del sole nei vari mesi e giorni e dell'anno nella località di intervento. Questi dati ci saranno utili per alcune analisi sulla relazione tra radiazione solare e edificio che verranno effettuate nella seconda e terza fase di questo lavoro di ricerca. Tramite la lettura dei diagrammi sotto riportati, uno cartesiano e l'altro sferico, possiamo localizzare la posizione solare rispetto all'orizzonte e la temperatura percepita al sole. Nel caso in questione, è possibile notare che la temperatura percepita al sole prevalente nel periodo estivo mantiene un livello medio tra i 20-25°C.

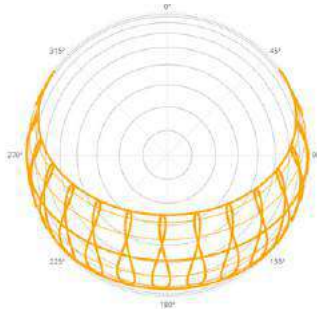


Diagramma solare di tipo sferico relativo a Pré-Saint-Gervais, 2021

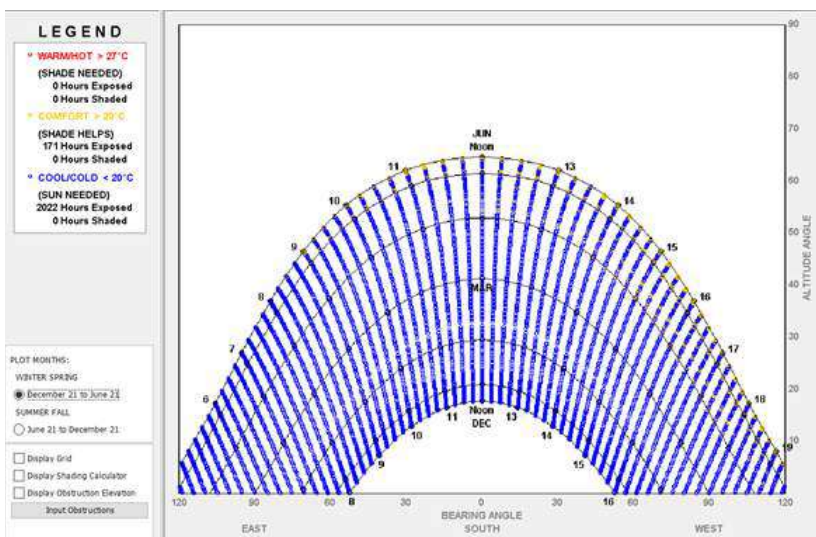


Diagramma solare nei mesi estivi ed autunnali

Localizzazione
del comune
di Pré Saint
Gervais



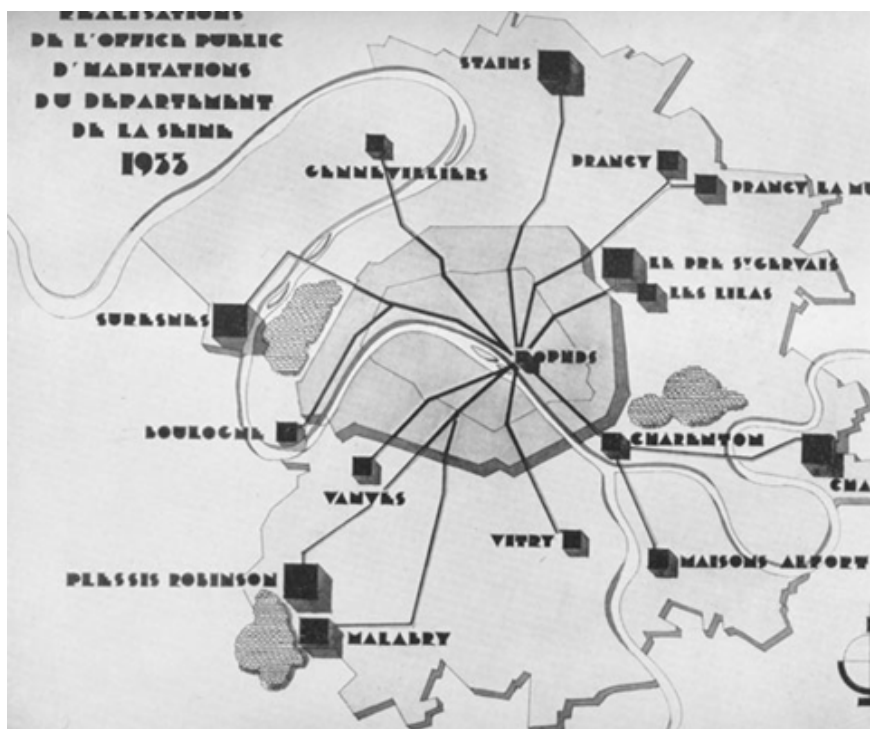
Inquadramento storico

Il comune di Pré Saint-Gervais, situato nel dipartimento Senna-Saint-Denis e subito adiacente il boulevard peripherique, nel 1920 si dichiara immediatamente candidato per sperimentare la creazione di un nuovo tessuto urbano secondo i canoni delle cité-jardin. L'amministrazione comunale aveva individuato un'area adatta per lo sviluppo urbano della nuova città giardino in quella che veniva soprannominata "depressione del Trou Marin".

Una zona scoscesa situata sul fianco dell'altopiano di Romainville che per la sua condizione di degrado, igienico e geofisico necessitava di un sostegno per il recupero e la riqualificazione. Se nel momento della sua realizzazione era, dunque, ritenuto un territorio esterno alla città, ad oggi i confini della città si sono decisamente espansi inglobando gran parte dei sobborghi nell'attuale area metropolitana. Tuttavia, la cité jardin ha mantenuto nel tempo la sua identità ed autonomia, configurandosi ancora oggi come una "città nella città".



Inquadramento dell'area di intervento rispetto alle infrastrutture



Piano di localizzazione delle cités-jardins dell'OPHBMDS, 1933

Sviluppo Storico-urbanistico

Se, da una parte, gli intenti politici di sviluppo dell'area erano stati rapidi, la stessa cosa non può essere affermata per il processo di sviluppo territoriale del progetto della città giardino che era stato abbastanza complesso in quanto ricadente all'interno di tre comuni.

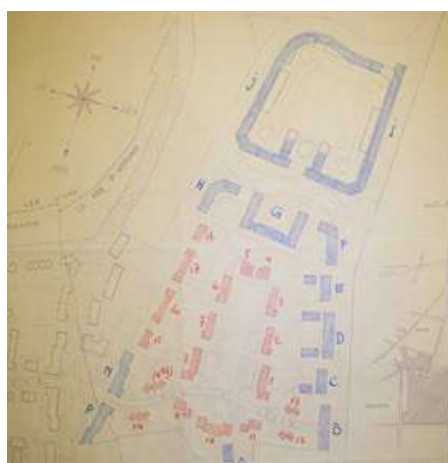
Infatti, l'acquisizione finale delle particelle di terreno, che durò dal 1922 al 1928, necessarie alla costruzione interessò non solamente il comune di Pré Saint-Gervais ma anche il comune di Pantin e Les Lilas, con l'individuazione di tre aree rispettivamente di 66000 m², 47000 m² e 6000 m². Con il voto nel luglio 1928 della legge "Loucheur", che prevedeva la costruzione di 260000 alloggi sociali nei successivi 5 anni, la situazione post-bellica di stallo delle costruzioni degli HBM aveva subito un improvviso rilancio; in quest'ottica il progetto delineato per l'area di Pré Saint-Gervais, Pantin, Les Lilas smise di esser considerato come provvisorio e fu immediatamente commissionato all'architetto Félix Dumail. Le condizioni naturali dell'area di intervento, quali irregolarità geofisiche con disconnessioni a tratti molto ripide del terreno, hanno contribuito alla scelta di dividere il progetto del nuovo tessuto urbano in tre parti distinte. Le tre parti corrispondono ancora oggi alle tre diverse tempistiche di intervento che hanno contraddistinto la realizzazione del progetto.

"Trou Marin":
copertura
della sorgente
d'acqua (dx),
Depressione
del Trou Ma-
rin, 1910.
Fonte: archi-
vio della Sein-
Saint-Denis





Vista area con indicazione delle quattro aree di intervento



Planimetria d'unione del primo e secondo lotto ed edifici collectifs del "Trou marin".
Fonte: archivio della Sein-Saint-Denis

Iniziata nel 1927, anche se le planimetrie hanno subito evoluzioni fino all'inaugurazione del cantiere nell'anno successivo, prevedeva 1.008 unità abitative in *collectifs* e 243 in *pavillion*. Félix Dumail si era impegnato a sfruttare al meglio i vincoli geologici dettati dall'area di intervento scelta riducendo al minimo le costose fondamenta. Per questo motivo aveva distribuito i padiglioni al centro della composizione, nell'area in cui erano presenti diversi dislivelli e collocato gli edifici in linea nella zona più pianeggiante. La prima fase dei lavori (1928-1931) era stata realizzata nell'area ricadente nel comune di Pré-Saint-Gervais, nella parte meridionale della città giardino detta del "Trou Marin", con *pavillions* intonacati, disposti ai lati dell'area comune (futura Place Henri Sellier) e abitazioni *collectifs* in mattoni, a circondare lo stadio.

La seconda fase iniziò nel 1932 a Pantin, in rue des Pommiers, dove dominava l'edilizia dei *collectifs*. La terza fase, nel dopoguerra, dal 1947 al 1952, completò la cité-Jardin del lotto appartenente in larga parte al comune di Pantin, con 228 unità abitative attorno all'attuale avenue Thalie, e in piccola parte al comune di Lilas con 54 unità abitative. L'area interessata dall'ultima tranche di edifici, situata più in alto sulla collina e comunemente nota come "Cité des Auteurs", si differenzia notevolmente dall'insieme per le scelte architettoniche e per le caratteristiche emblematiche dell'architettura del dopoguerra. Dumail in quest'ultimo intervento edilizio aveva prediletto, per ragioni economiche, i *collectifs* piuttosto che i padiglioni inizialmente previsti, progettandoli in ogni caso con cura del dettaglio come suggerito dalle lastre di cemento con ghiaia, note come "mignonettes", che caratterizzano i prospetti degli edifici.

A.2 - *Analisi morfotipologica*

A partire dalla prima versione di progetto del 1927, l'architetto F. Dumail ha intrapreso uno studio attento dei paesaggi, delle forme architettoniche e dei materiali che caratterizzano l'edificato della cité-jardin du Pré Saint-Gervais.



Mappa Viabilità con i tre livelli di velocità

Analizzando la composizione architettonica e urbana operata da F. Dumail è possibile notare che è caratterizzata da una regolarità dei volumi che, in alcuni punti, viene rotta da dissimmetrie improvvise, creando stupore nel visitatore, moltiplicando e variando punti di vista e prospettive; ne è un esempio il disegno dello spazio e degli edifici nell'intersezione tra la rettilinea Avenue Jean Jaurès e l'andamento curvilineo di Avenue Edouard-Vaillant oppure il gioco di opposizione relativo alla posizione, dimensione composizione dei prospetti degli edifici, posti l'uno di fronte all'altro, nella Place Séverine.

Questi contrasti spaziali rompono così la monotonia dell'andamento viario, creando un movimento sinuoso e pregno di contrasti che si ritrova anche nei dettagli architettonici e che contribuisce alla coerenza architettonica d'insieme.

Fedele alla composizione pittoresca delle città giardino, Dumail aveva disegnato un assetto viario ramificato: partendo dalle due strade principali esistenti, Avenue Jean Jaurès ed Avenue

Edouard Vaillant costruisce un reticolo di vie carrabili a scorrimento lento e molteplici percorsi pedonali che rendono la cité

jardin permeabile e porosa.

Anche nel caso della viabilità Dumail aveva utilizzato lo strumento “sorpresa/scoperta” nel progetto attraverso la scelta di aperture irregolari collocate in modo non convenzionale nell’enorme recinto di edifici.

Per evitare la monotonia di un fronte urbano continuo, soprattutto sui due viali principali, Dumail aveva ravvivato le facciate di questi edifici attraverso l’utilizzo dei mattoni, aveva lavorato con le differenze di altezza, aveva distinto i palazzi angolari con elementi architettonici e soprattutto aveva dato ritmo all’insieme alternando la composizione delle facciate.

Ricorre così a logge e balconi, più o meno sporgenti, variando la loro posizione, inserisce bow-windows o finestre ad arco, triangolari o esagonali, ad angolo o al centro della facciata. Cura in particolare gli ingressi degli edifici usando diverse tipologie di muratura e identifica analogamente i vani scala.

Questi motivi, creati con mattoni, si ritrovano, per esempio, negli angoli delle logge o al piano terra degli edifici, nel basamento, volutamente segnato da una diversa realizzazione in laterizio.

Questa cura dei dettagli non si limita alle facciate e si ripercuote nell’area di verde comuni ai residenti, spazi semi privati, non nascosti alla vista dei passanti, caratterizzati da una varietà di destinazioni: dalle semplici aiuole e prati alle aree attrezzate per la socializzazione. Sebbene Dumail giochi con un vocabolario ornamentale abbastanza classico, l’uso del mattone, l’originalità delle composizioni, la plasticità e la monumentalità di certe facciate, il risultato è il raggiungimento di una qualità architettonica molto elevata e un’identità unica.

Inoltre, Dumail aveva usato nella composizione materica degli edifici il contrasto e l’opposizione. L’insieme degli edifici è caratterizzato da una struttura in cemento e da pareti in mattoni messi in risalto ed usati con la tecnica del “faccia vista” nelle abitazioni *collectifs* e ricoperti, invece, da un intonaco di cemento granulare negli edifici a *pavillion*.

L’intero sito dei *collectifs* in mattoni rossi, che circondano il vecchio “pozzo trivellato” su cui logicamente è stato costruito lo stadio, è

costituito da edifici di cinque livelli ciascuno con accesso dalla strada attraverso un ingresso con una caratteristica piuttosto interessante: il vano scala è inondato di luce naturale proveniente dalle finestre a tutta altezza. Ogni vano scala serve dieci appartamenti a doppio affaccio, ognuno con loggia o balcone, su due prospetti, pubblico e domestico.

L'area di Place Henri Sillier è invece attornata dalle abitazioni *pavillioners*, edifici più bassi e distanti fra loro. La semplicità dei *pavillion* cubici con terrazze sui tetti, tuttavia, non esclude né dettagli ornamentali, rari e discreti, esplicitati nelle finestre a bow-window e nelle finestre ad angolo, né la grande accortezza nella distribuzione dei volumi. Caratterizzati da un abile lavoro compositivo, i volumi dei padiglioni, associati in gruppi formati da due, tre o quattro unità abitative, si articolano seguendo il dislivello e la simmetria dettata dal disegno attorno alla piazza Sellier, dominata dai padiglioni angolari. Proprio su questi due ultimi *pavillions*, Dumail mescola abilmente



Dettagli architettonici che caratterizzano i prospetti di Place Severine



Viste d'insieme degli edifici all'ingresso di Piazza Henri Sellier





Viste dei giardini privati sul retro degli edifici di Piazza Henri Sellier.



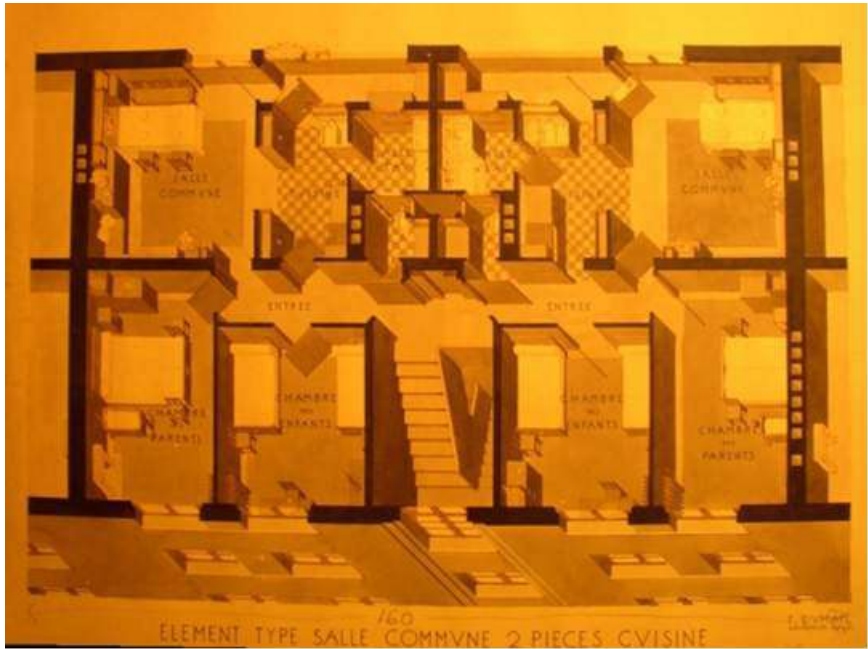
complessità e monumentalità in un registro quasi cubista.

Analisi funzionale-compositiva degli edifici

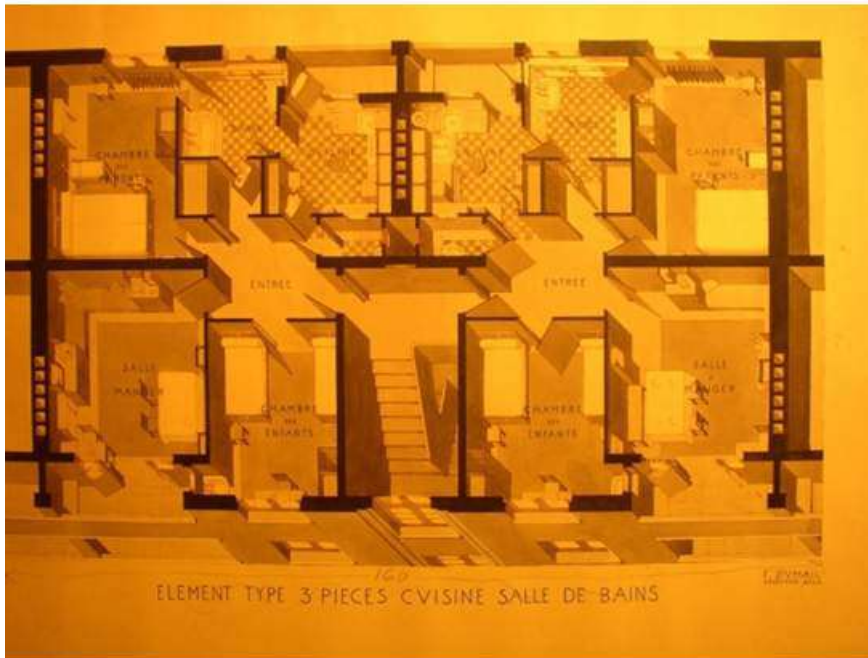
All'interno degli alloggi si combinano comfort e modernità. La composizione degli ambienti e degli spazi interni rivela un approccio all'avanguardia per l'epoca, confermato anche dalle scelte distributive e funzionali: come dimostrano le scelte di raggruppare gli ambienti di servizio e di adozione di un sistema di riscaldamento centralizzato, distribuito in tutta la città giardino, ed installato nella maggior parte degli alloggi.

Infine, particolare attenzione fu data alla progettazione dei padiglioni contenenti gli "ateliers d'artistes": l'architetto, forse influenzato da Tony Garnier, creò quattro piccoli *collectifs* di due appartamenti, uno dei quali con un laboratorio progettato nei minimi dettagli, che annunciava "l'habitat intermédiaire"⁶ e permetteva di ottenere una minima mixité sociale.

6. L'habitat intermédiaire o semicollectif è una forma urbana intermedia tra la casa individuale e l'edificio collettivo (appartamenti). È caratterizzato principalmente da un gruppo di abitazioni accatastate con caratteristiche simili alle abitazioni individuali: accesso individualizzato all'abitazione e spazi esterni privati per ogni alloggio.



Piante interni degli edifici collectifs, Pianta tipo soggiorno, 2 stanze e cucina, 1928



Piante interni degli edifici collectifs, Pianta tipo 3 stanze e cucina, 1928

A.3 - Inquadramento normativo

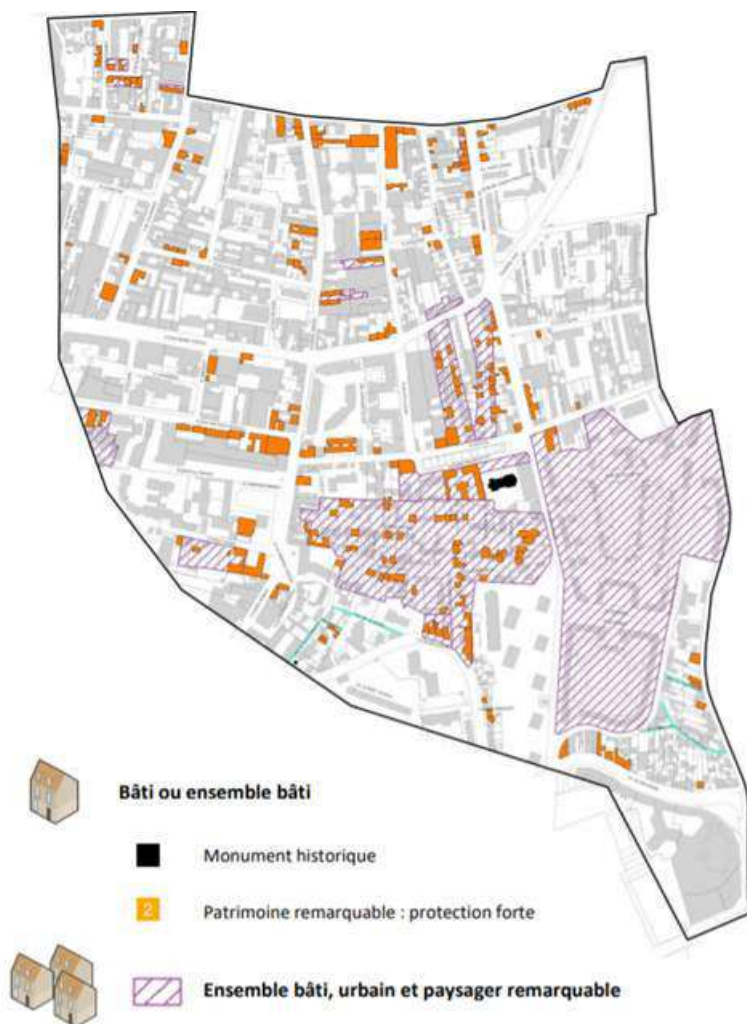
La cité jardin du Pré Saint-Gervais risulta iscritta nell'elenco dei siti francesi oggetto di tutela⁷ dal 1986. Per questo motivo, è anche oggetto di tutela urbana e paesaggistica del Plan local d'urbanisme intercommunal d'est ensemble, approvato con delibera del "Consiglio del Territorio" in data 4 febbraio 2020. All'interno dell'annesso numero due "Annexe patrimoine – Le Pré Saint-Gervais" si ritrovano le seguenti disposizioni: "Gli insiemi costruiti, urbani e paesaggistici degni di nota che sono oggetto di una protezione speciale per il loro interesse patrimoniale secondo le disposizioni dell'articolo L151-19 del Codice dell'urbanistica sono stati segnalati sul documento grafico.

Si applicano le seguenti regole:

1. Gli interventi sugli edifici esistenti devono rispettare gli elementi compositivi comuni all'insieme urbano interessato: altezze, volumetrie, proporzioni delle aperture, materiali;
2. Una nuova costruzione deve rispettare la relazione con il tessuto costruito esistente e i ritmi architettonici che caratterizzano l'insieme del patrimonio;
3. In caso di demolizione, la ricostruzione deve rispettare il volume e la disposizione dell'insieme urbano;
4. Le aree paesaggistiche devono essere preservate.

7. I siti del patrimonio notevole sono "città, villaggi o quartieri la cui conservazione, restauro, riabilitazione o valorizzazione è di interesse pubblico dal punto di vista storico, architettonico, archeologico, artistico o paesaggistico".

Carta delle tutele dell'appendice "annexe patrimoine" del P.L.U.I., 2020



2.1.2 Fase analitica (B)

Questa fase ha permesso di elaborare i dati raccolti nella fase “A” del processo e valutare le caratteristiche urbane ed architettoniche influenti nel progetto di riqualificazione energetica della città giardino. Per semplificazione del processo, si è ritenuto possibile sviluppare le attività su una porzione urbana più ristretta, considerando una porzione omogenea – dal punto di vista costruttivo, architettonico e temporale – di città giardino.

In particolare, è stato preso in considerazione il tessuto urbano del contesto di Piazza Henri Sellier che racchiude lo spazio pubblico centrale, la rete stradale intorno e la prima “corona” di edifici.

Parametri di uso del suolo

Una prima analisi include le considerazioni sulla tipologia d’uso del suolo e la relativa superficie per l’intera area di progetto.

Nello specifico, per l’intero tessuto urbano della porzione di città giardino che si sviluppa su 12.678 m² è possibile identificare:

- 1200 m² area occupata da edifici;
- 6520 m² area verde privato;
- 1200 m² area verde pubblico;
- 1790 m² rete stradale;
- 1968 m² spazio pubblico pavimentato.

Parametri urbani

Una seconda fase di analisi prende in considerazione i parametri del costruito che permettono di descrivere morfologicamente il tessuto urbano.

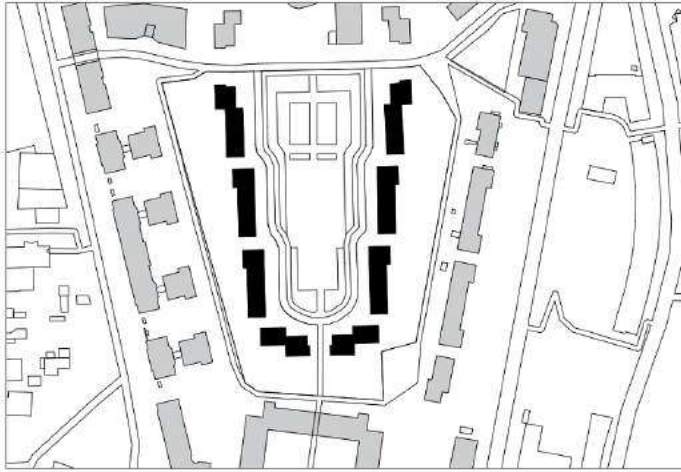


Vista aerea
scon evi-
denziante
dell'area di
intervento.
Fonte: Google
earth, 2021

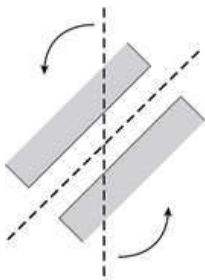
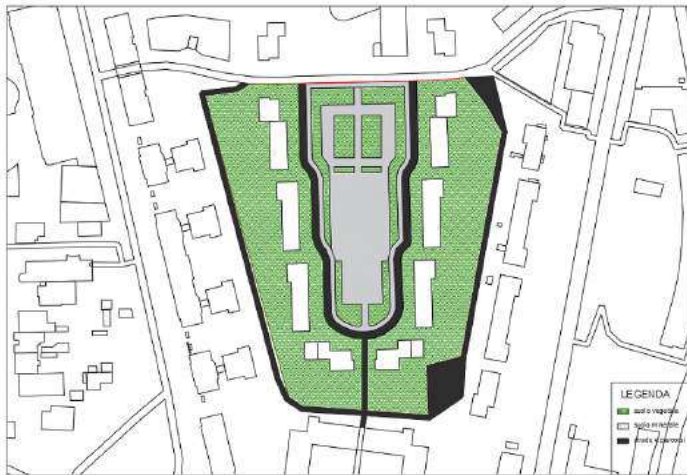


Vista aerea
della Piazza
Henry Sellier
della città
giardino di
Pré-Saint-
Gervais.
Fonte: Google
earth 2021

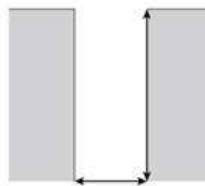
Analisi pieni e vuoti dell'area di intervento.



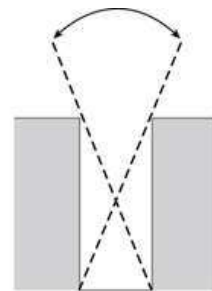
Analisi dell'uso del suolo nell'area di intervento.



orientation



**aspect ratio
(H/W)**



sky view factor

Altezza media edifici

Gli edifici presenti nell'area di intervento hanno altezze simili. Tuttavia, in alcuni di essi sono presenti delle soffitte di varia altezza. La media tra le altezze così considerate è di 6,70 metri.

Albedo

Dalla norma UNI 8477 è possibile estrarre i valori caratteristici del coefficiente di riflessione (albedo) per le diverse superfici presenti nel nostro ambito di intervento:

- Asfalto invecchiato: 0,10;
- Calcestruzzo invecchiato: 0,22;
- Erba verde: 0,26;
- Tetti e terrazze in bitume: 0,13;
- Pietrisco: 0,20.

Orientamento degli edifici

Il costruito preso in considerazione in questa analisi presenta un unico orientamento rispetto ai quattro punti cardinali. In particolare, gli edifici seguono la direzione Nord-sud con i lati maggiori rivolti ad Ovest ed Est.

Land/Building ratio

Questo parametro indica il rapporto tra l'area urbana considerata e l'area occupata dagli edifici. In questo caso il rapporto tra le due superfici ha permesso di calcolare una percentuale di copertura degli edifici di 9,46%.

Aspect ratio

Questo parametro definisce il rapporto di un edificio con il suo contesto, tenendo in considerazione l'altezza dell'edificio e la distanza con gli edifici intorno. Nel caso analizzato possiamo rilevare

due sezioni significative sulle quali effettuare l'analisi.

La sezione A-A che taglia longitudinalmente gli edifici nella loro linea di mezzeria. In questo modo si definisce un profilo che determina un rapporto tra altezza e distacco tra gli edifici pari a 1,34.

La sezione B-B invece taglia trasversalmente gli edifici definendo un profilo in cui il rapporto tra altezza degli edifici e distacco è pari a 0,13.

Nel caso del primo risultato l'elevato valore dovuto ad una altezza dell'edificio maggiore rispetto alla distanza fra esso e gli edifici circostanti comporta un alto grado di compattezza. Viceversa, l'aspect ratio basso del secondo profilo considerato mostra una distanza maggiore fra gli edifici e, quindi, una situazione meno densa.

Sky view factor

Lo SVF, o fattore vista cielo, indica la porzione angolare di cielo visibile dal punto di osservazione considerato. Calcolare lo SVF è molto dispendioso in termini di tempo e risorse informatiche ed impossibile poterlo eseguire su un'area urbana intera con delle macchine di calcolo non professionali. Nel calcolo dello SVF, per il contesto analizzato si ritiene poco utile considerare la sezione B-B che presenta un indice di compattezza molto basso e che per le sue caratteristiche morfologiche condurrebbe ad un risultato abbastanza alto nell'intervallo di valori del parametro che va da zero ad uno.

Tuttavia, si è ritenuto interessante proporre il calcolo per la sezione A-A che presenta un aspect ratio alto. In questo caso attraverso il software "urban micromet" è stato possibile calcolare lo sky view factor nello spazio di distacco tra gli edifici, risultato uguale a 0,20.

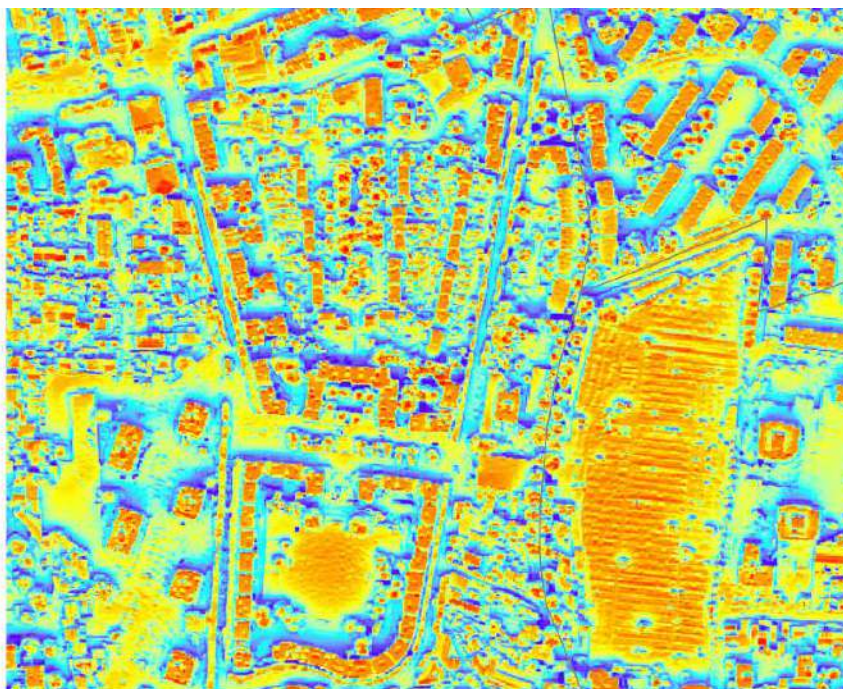
2.1.3 Fase simulativa (C)

Simulazione microclimatica

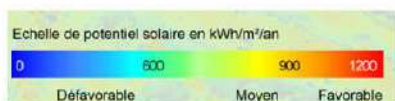
Potenziale solare

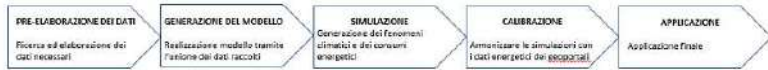
L'analisi del livello di irraggiamento solare locale consente di valutare il potenziale solare delle coperture degli edifici componenti l'ambito urbano di intervento.

In aree urbane è necessario considerare - mediante una mappatura 3D ed avanzati strumenti di modellazione, che permettano di stimare efficacemente la radianza solare disponibile a livello dei singoli tetti - i fattori che influenzano l'irraggiamento solare locale, come eterogeneità tridimensionale, riflettanza, torbidità atmosferica ed ombreggiamento.

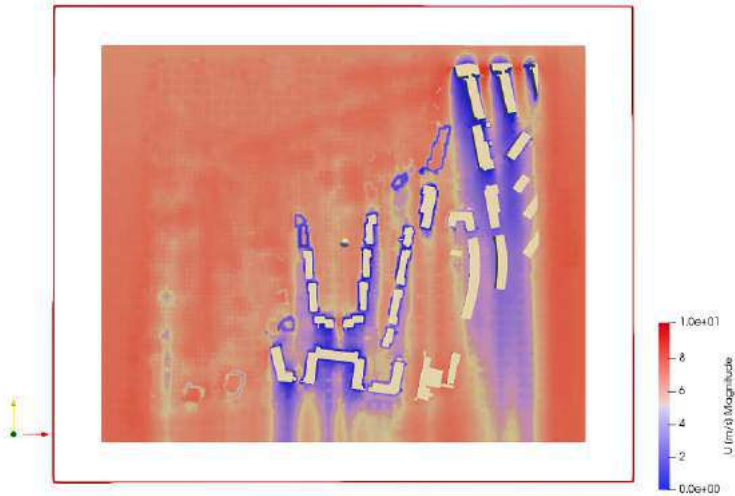


Mappa irraggiamento della città giardino di Pré-Saint-Gervais. Fonte: cadastre solaire, 2021

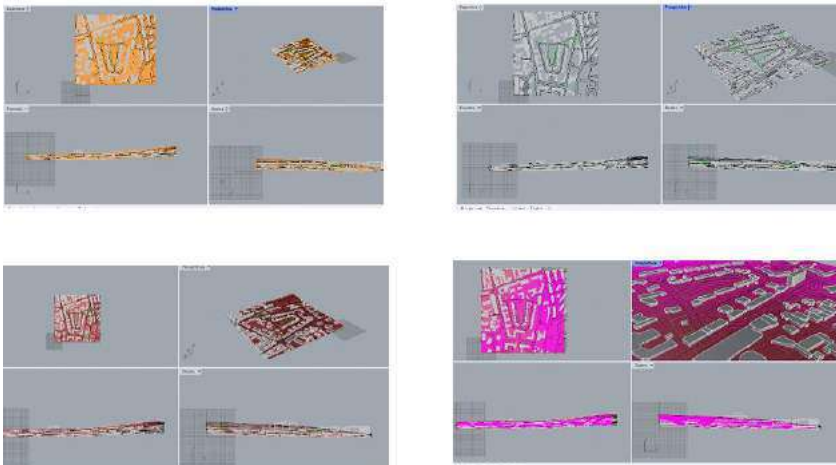




Simulazione
flusso del ven-
to estivo



Sviluppo mo-
dello tramite
software



A questo scopo, è ormai consolidato l'uso di strumenti digitali come i GIS che hanno permesso di sviluppare metodologie basate sul calcolo della radianza solare, utilizzando i parametri di orientamento ed esposizione derivati dai modelli digitali in tre dimensioni (Šúri & Hofierka, 2004).

Attraverso il “cadastre solaire”, un portale interattivo che fornisce informazioni sul potenziale solare di ogni edificio dell'Ile-de-France indicando il livello di insolazione, calcolato dalla simulazione dell'irraggiamento solare medio annuo e tenendo conto degli effetti delle ombre degli edifici o alberi, è possibile visualizzare i dati relativi all'ambito urbano di nostro interesse. Il potenziale solare può essere considerato “positivo”, quindi, favorevole per una buona produzione fotovoltaica, se il valore relativo alla superficie in copertura dell'edificio è superiore a 1.000 kWh/m² all'anno.

Come illustrato nell'immagine seguente, le coperture degli edifici presi in considerazione nel progetto di riqualificazione sono bene esposte ai raggi solari con un potenziale maggiore del valore che indica una produzione vantaggiosa.

Flussi di aria

La fluidodinamica computazionale (CFD) costituisce un metodo per risolvere e analizzare problemi che coinvolgono flussi di fluidi. Utilizzata negli ultimi dieci anni anche nel campo dell'architettura e del progetto urbano, la CFD è utile per l'analisi della ventilazione e del flusso d'aria nell'ambiente costruito.

L'analisi dei flussi d'aria che attraversano l'ambito urbano di intervento può essere effettuata tramite un software, in questo caso Autodesk CFD, di simulazione fluidodinamica computazionale.

Il processo di simulazione dei flussi del vento all'interno del contesto urbano prevede la preparazione di un modello 3d del brano di città interessato. Il modello 3d può essere sviluppato tramite qualsiasi software CAD 3D o BIM, in questo caso è stato utilizzato Rhino. Successivamente si è proceduto ad importare il modello in Autodesk CFD e sono stati definiti i parametri caratterizzanti il

“volume di controllo”, in particolare le dimensioni del volume ed i parametri di intensità e direzione del vento.

Il risultato ha permesso di controllare i flussi del vento nelle immediate vicinanze degli edifici e degli spazi fruibili dall'uomo in modo da valutare gli effetti positivi e negativi sul comfort termico.

Simulazione energetica

In questo paragrafo verrà approfondito lo studio sul consumo energetico degli immobili ricadenti nel brano urbano considerato ai fini della riqualificazione energetica.

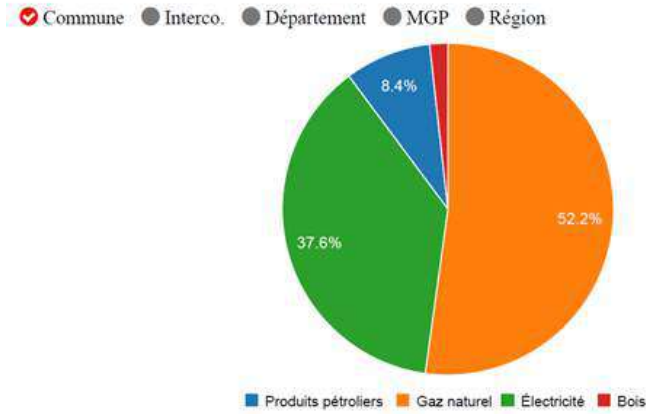
Secondo alcune statistiche elaborate da ADEME⁸ per la parte di tessuto residenziale (come visto nei paragrafi precedenti tutti gli edifici considerati sono destinati ad un uso abitativo) il consumo medio valutato al metro quadrato è di circa 250 kWh/m². Tuttavia, per un calcolo più attento sarebbe utile rilevare i consumi effettivi attraverso l'analisi delle dispersioni di calore dell'immobile e la lettura degli apporti energetici relativi alle singole unità immobiliari.

Ad ogni modo, data l'impossibilità di procedere con la rilevazione strumentale in loco, si ritiene opportuno analizzare i consumi attraverso due principali strumenti:

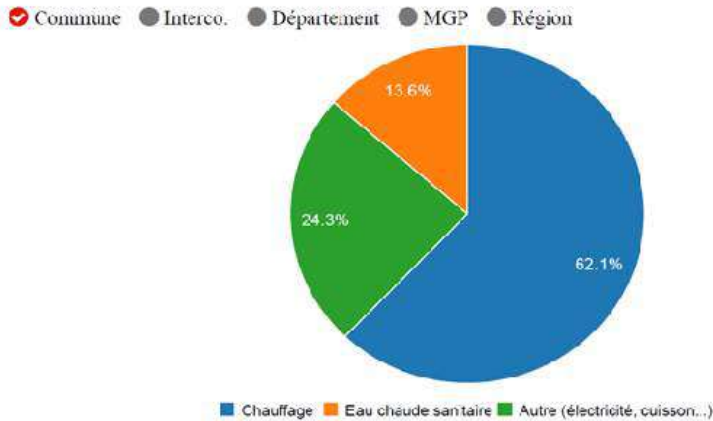
- i database messi a disposizione dallo strumento “ENERGIF”⁹, per analizzare i tipi di energia usati e il modo in cui vengono usati nel settore residenziale di riferimento;
- il toolbox per la mappatura del fabbisogno energetico in

8. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

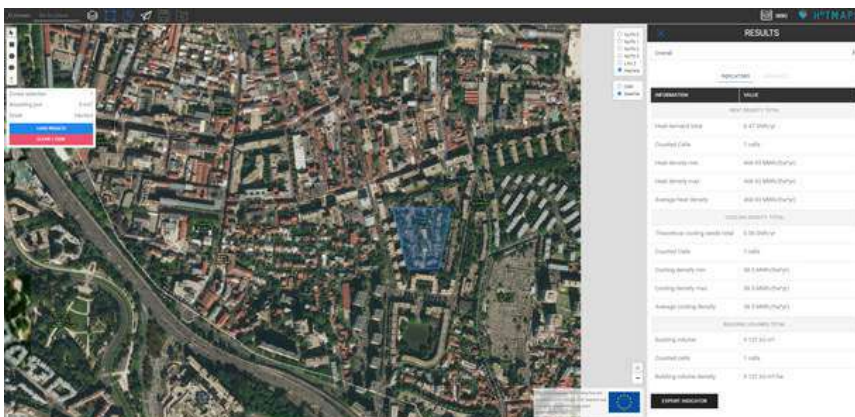
9. L'inventario del consumo energetico e delle emissioni di gas a effetto serra è stato elaborato sulla base delle migliori conoscenze disponibili e si appoggia su metodologie e studi di riferimento come le prescrizioni del Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux (PCIT), in accordo con il comitato tecnico ROSE.



Consumi energetici suddivisi per tipo di fonte energetica. fonte: ENER-GIF



Consumi energetici suddivisi per tipo di fonte energetica. fonte: ENER-GIF



Estratto riguardante i dati dei consumi. Fonte: portale Hot-maps, 2021

Europa denominato “HOTMAPS”¹⁰, per quantificare, con buona approssimazione, il valore di consumo espresso come MWh/anno.

Per quanto riguarda il primo punto, di seguito vengono riportati due grafici:

- nel primo si ritrova la suddivisione dei consumi energetici per tipologia di fonte energetica utilizzata ed è possibile notare come gas ed elettricità siano le due fonti di energia predominanti;
- nel secondo, che suddivide il consumo energetico per tipologia d’uso finale, è possibile notare che, per il territorio comunale di Le Pré-Saint-Gervais, i consumi relativi al riscaldamento (62%) e alla produzione di acqua calda sanitaria (13%), legati sicuramente al consumo di gas, compongono la maggiore quota di energia consumata.

Queste due letture permettono di avanzare alcune ipotesi sulle modalità e tipologia di consumo all’interno delle unità abitative oggetto del presente intervento.

In particolare, si deduce che il gas naturale è la risorsa energetica più utilizzata, giustificando l’alta percentuale dei consumi legati al riscaldamento e alla produzione di acqua calda sanitaria, e che l’energia elettrica destinata ad “altri usi” include l’energia necessaria per il raffrescamento estivo.

Per quanto riguarda i dati estratti dal portale “HOTMAPS”, attraverso la selezione dell’area oggetto di studio, è stato possibile ricavare la quantità di energia espressa in GWh/anno per la richiesta di riscaldamento (termico e acs) e di raffrescamento.

Con riferimento alla richiesta di riscaldamento si ottiene un valore di 0,47 GWh/anno e per il raffrescamento un valore di 0,06 GWh/anno. Infine, attraverso alcuni calcoli è possibile valutare il

10. Hotmaps è un software online basato su GIS che supporta le autorità e i pianificatori energetici e che nasce da un progetto europeo finanziato dal programma di ricerca ed innovazione Horizon 2020.

consumo energetico espresso negli studi dell'ADEME sopracitati. In particolare, considerando i circa 8000 m³ e 2400 m² di volumi e superfici residenziali, si ottengono i seguenti consumi:

- consumo energetico legato al riscaldamento (termico e ACS) = 195,83 kWh/m² per anno;
- consumo energetico legato al raffrescamento = 25 kWh/m² per anno.

Dalla somma tra il totale del consumo energetico per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria e il consumo per raffrescamento si ottiene come risultato: **220,83 kWh/m² per anno**. A questi consumi si possono aggiungere circa il 10% di "altri consumi" dovuti all'uso di dispositivi tecnologici all'interno dell'abitazione, quali tv, lavatrice, frigorifero, lavastoviglie ed illuminazione.

Per riepilogare, per gli edifici ad uso abitativo presenti nell'area urbana esaminata è possibile concludere che il consumo energetico è di **242,91 kWh/m² per anno**, che si avvicina molto al valore indicato nelle statistiche sopra menzionate.

2.1.4 Fase applicativa (D)

Nella fase applicativa si sono delineate le azioni di intervento urbane ed architettoniche da attuare sul tessuto esistente al fine di ottenere un miglioramento dei parametri energetici e, di conseguenza, del bilancio energetico del costruito.

A questo punto, come indicato nel precedente capitolo, attraverso i dati e le deduzioni riguardanti i punti di vista - climatici, morfologici ed energetici - e, soprattutto, attraverso la sensibilità architettonica, che il patrimonio tutelato della città giardino impone, è stato possibile selezionare le azioni progettuali puntuali da applicare al contesto considerato.

Nel particolare, l'analisi sugli aspetti morfologici, climatici ed energetici del tessuto urbano ha condotto alla costruzione di tre differenti categorie progettuali di trasformazione dell'area ai fini della riqualificazione energetica:

- Strategie verdi: legate all'uso della vegetazione;
- Strategie gialle: legate all'uso di elementi tecnologici-spaziali e materiali;
- Strategie blu: legate all'uso dell'acqua.

Queste tre categorie strategiche rivestono un ruolo di particolare importanza nelle due condizioni climatiche, estiva ed invernale e nel caso specifico: le strategie gialle avranno maggior peso nella determinazione del bilancio energetico invernale e le strategie verdi e blu avranno un maggior peso nella determinazione del bilancio energetico estivo.

Tuttavia, considerando l'obiettivo di perseguire una visione olistica, per la quale assume particolare rilevanza il bilancio complessivo annuale, si è ritenuto corretto considerare in maniera

integrata la totalità del bilancio energetico nelle diverse stagioni. Non si considereranno, infatti, in maniera separata l'influenza delle strategie su singoli bilanci energetici nelle diverse stagioni (estiva ed invernale), nonostante la consapevolezza del diverso peso che i due periodi (per le relative caratteristiche climatiche) esercitano sul bilancio complessivo, in particolare in relazione alla progettazione condotta alla scala dell'edificio. Si privilegerà, invece, un approccio integrato ed orientato allo sviluppo di strategie utili a compensare i dispendi energetici annuali al fine di raggiungere un obiettivo energetico complessivamente positivo alla scala del quartiere. La scelta è avvalorata, infatti, dalla volontà di condurre uno studio, efficace alla scala del quartiere, che permetta di tramutare le teorie sottese in una soluzione finale morfologico-spaziale.

Il fine ultimo è infatti lo sviluppo di un progetto di trasformazione guidato da strategie complessive, che mettano a sistema consumo, produzione e conservazione, in cui le singole componenti urbane, contribuendo energeticamente, permettano di ottenere un bilancio finale pari a zero o più.

Per realizzare questo, sono state selezionate una serie di azioni progettuali in funzione di quattro principali obiettivi:

- Il miglioramento delle caratteristiche materiali, morfologiche e tecnologiche degli spazi esterni.
- Il miglioramento delle caratteristiche materiali, morfologiche e tecnologiche dell'edificio.
- L'adozione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili.
- La collocazione di impianti innovativi per lo stoccaggio e condivisione dell'energia.

Nella tabella seguente si è proceduto a riassumere gli interventi applicabili (evidenziati in rosso) al contesto della città giardino di Pré-Saint-Gervais. Si sono suddivisi per categoria progettuale (verde, gialla o blu) e sono stati indicati per ognuno di essi gli ambiti

di miglioramento i cui si inseriscono e i fenomeni termici che influenzano.

Pertanto, all'interno della categoria del verde, è possibile identificare:

- Strategie di intervento sugli spazi esterni:
 - o sostituzione di circa il 30% della superficie impermeabile con superficie vegetale permeabile mediante la conversione di gran parte della superficie impermeabile della piazza centrale con superficie erbosa;
 - o integrazione delle alberature esistenti prediligendo la piantumazione di alberi sempreverdi che creino una barriera frangivento al fine di rallentare i flussi di aria freddi provenienti da nord-est durante i mesi invernali (vedi Inquadramento climatico);
 - o addizione di alberi caducifoglie che creino un ombreggiamento dello spazio pubblico e degli edifici filtrando i raggi solari solamente durante i mesi caldi.

- Strategie di intervento sugli edifici:
 - o integrazione di elementi schermanti come pergolati ricoperti da vegetazione per l'ombreggiamento delle facciate orientate a sud;
 - o realizzazione di piccole porzioni di "tetto giardino" nelle parti di copertura non utilizzate per l'alloggiamento di pannelli fotovoltaici;

All'interno della categoria delle strategie gialle si ritrovano:

- Strategie di intervento sugli spazi esterni:
 - o sostituzione del tradizionale asfalto (albedo 0,2) e cemento (albedo 0,4) utilizzato su strade e marciapiedi con materiali "freddi", i cosiddetti "cool pavements",

- cioè con elevato albedo (0,5);
- o collocazione centrale di stoccaggio e di condivisione dell'energia prodotta dai singoli utenti del quartiere.
- Strategie di intervento sugli edifici:
- o sostituzione degli infissi in legno e singolo vetro attualmente esistenti con infissi a taglio termico e vetro con doppia camera¹¹;
 - o isolamento delle pareti perimetrali sul lato interno con materiali di ridotto spessore per tutelare la finitura esterna delle facciate;
 - o installazione di serre solari sul lato sud-est dell'edificio così da massimizzare i guadagni provenienti dalla radiazione solare invernale¹², favorire la ventilazione naturale e sostituire i vari volumi accessori aggiunti successivamente alla costruzione;
 - o sostituzione dei tradizionali tetti piani rivestiti da materiali a bassa albedo con materiali "freddi" (albedo da 0,3 a 0,6);
 - o implementazione di impianto di pannelli fotovoltaici inserito nella sagoma della copertura piana;
 - o implementazione di impianti minieolici sulle coperture degli edifici più alti e più esposti ai flussi di vento;
 - o implementazione di impianti di captazione geotermica superficiale;
 - o implementazione di impianti di stoccaggio di energia prodotta dalle singole unità immobiliari.

Infine, all'interno dell'ultima categoria delle strategie blu si ritrovano soluzioni ibride che prevedono l'intervento sia su spazi

11. L'uso di vetri a doppia camera con intercapedine di argon garantisce un isolamento termico elevato

12. La serra solare utilizzata ha la possibilità di prevedere delle aperture che favoriscano il passaggio dei flussi di aria in estate.

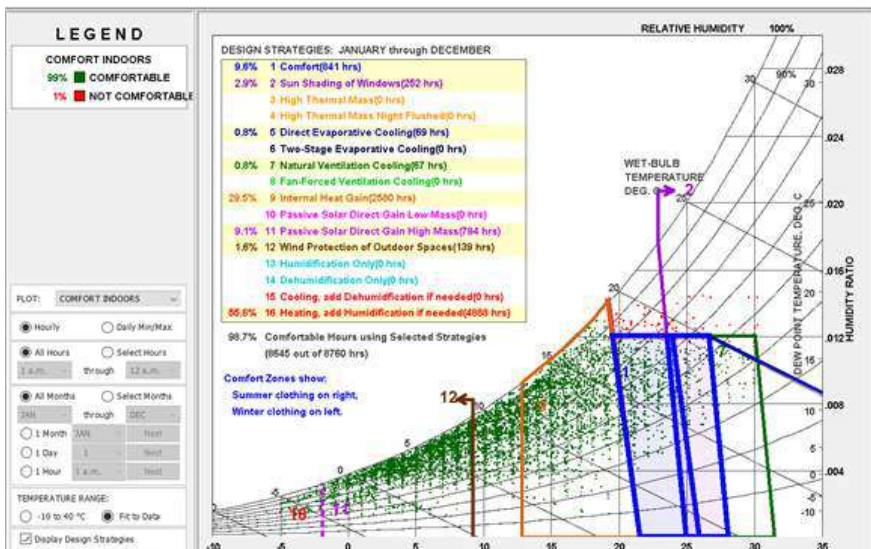
esterni che in prossimità degli edifici e si possono sintetizzare in:

- Realizzazione di una rete di acque superficiali che comprenda piccoli specchi d'acqua, fontane e getti d'acqua per il raffrescamento evaporativo;
- Predisposizione di una rete per il recupero delle acque piovane da utilizzare per il sistema delle acque superficiali e per irrigazione degli spazi verdi.

La traduzione grafica

Nelle pagine successive si riportano gli elaborati grafici significativi inerenti al progetto di riqualificazione della città giardino di Prè-Saint-Gervais, con specifiche indicazioni riguardanti le rispettive strategie sopra descritte.

Diagramma psicometrico delle strategie progettuali passive.



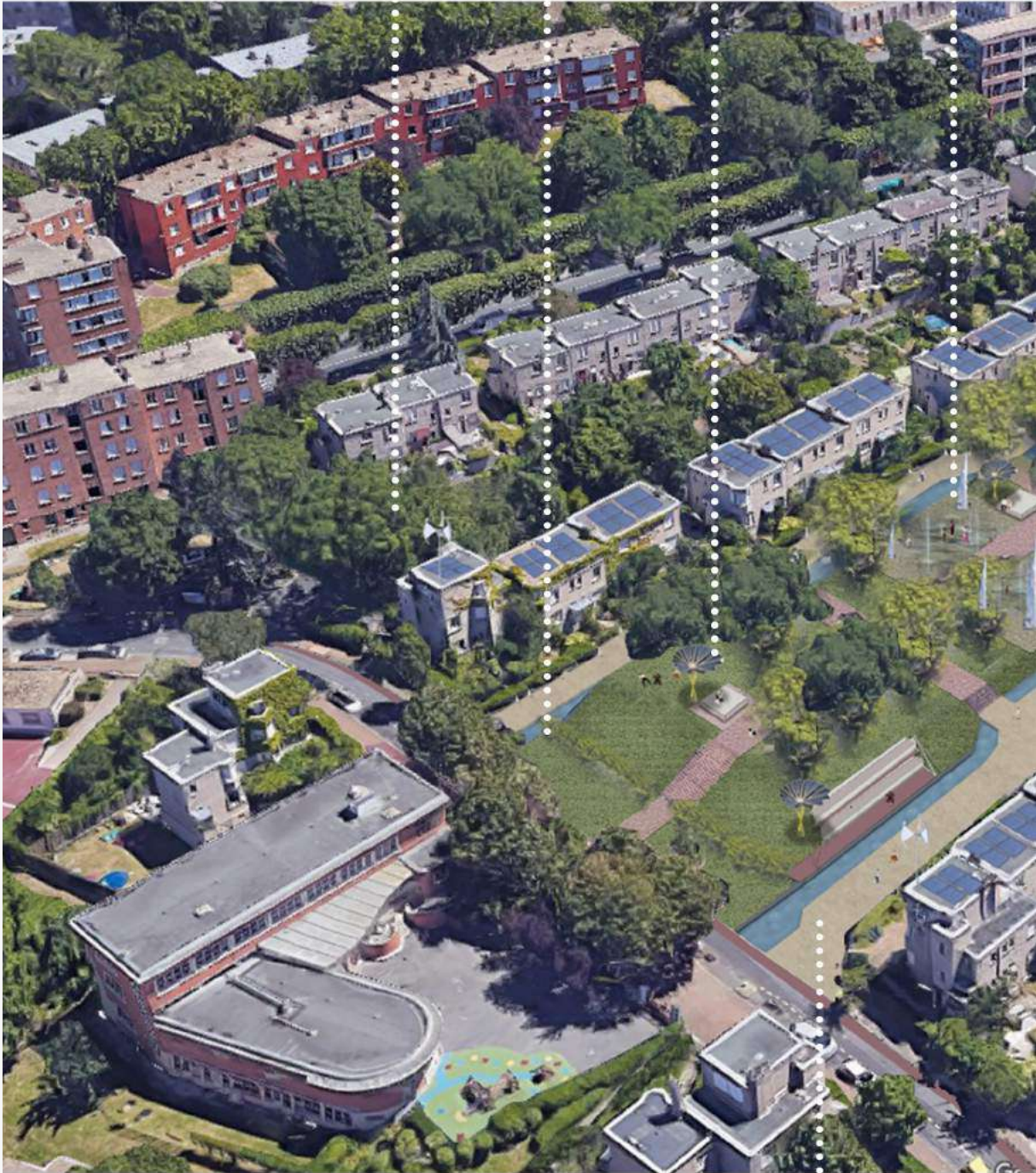
Soluzioni	Ambito di miglioramento		Fattori influenzati			
	Quartiere	Edificio	Inerzia termica	Ombra	Ventilazione	
				Albedo	Evaporazione	Energia
Parchi	●		●	●	●	●
Alberi	●			●	●	●
Verde "orizzontale"	●			●	●	
Coperture vegetali		●	●	●	●	
Verde pensile	●	●		●	●	
Materiali "freddi"	●	●		●		
Strutture ombreggianti	●	●			●	
Sistemi morfologico-spaziali bioclimatici		●	●		●	
Sostituzione infissi		●	●			
Impianto geotermico		●				●
Mini colico	●	●				●
Pannelli solari	●	●		●	●	●
Rivestimenti dall'elevato valore di albero	●	●	●	●		
Rivestimenti drenanti	●				●	
Rivestimenti a cambiamento di fase	●	●	●			
Isolamento involucro		●	●			
Fontane/getti d'acqua	●			●	●	
Sistemi di irrigazione	●	●			●	
Sistema delle acque superficiali	●		●		●	
Infrastrutture per la gestione delle acque piovane	●				●	

Alberature
ombreggianti

Specchi d'acqua

Sistemi di
ombreggiamento
tecnologici

Getti d'acqua per
raffrescamento
evaporativo



Pavimentazione
produttrice di
energia

Serra so

Verde orizzontale
permeabile

Generatore micro
eolico

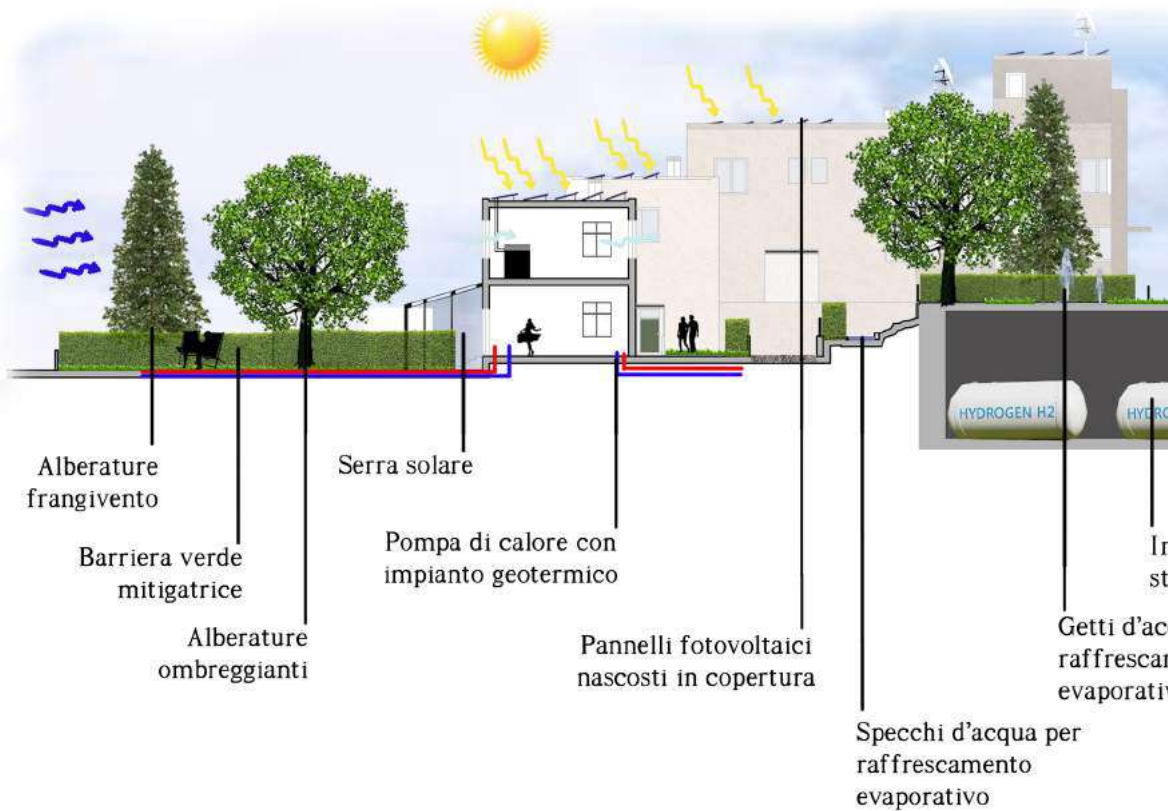


lare

Alberature
frangivento

Pannelli
fotovoltaici







3 SECONDO CASO APPLICATIVO

3.1 La città giardino Aniene

Analogamente, per quanto riguarda l'applicazione sulla città giardino Aniene a Roma, è stata ripercorsa la metodologia sperimentale.

Per quanto riguarda la fase conoscitiva (A), si ritiene utile approfondire tutti gli aspetti, da quello geografico a quello climatico e da quello storico a quello morfo-tipologico. Per brevità, invece, si riporteranno in maniera sintetica i dati e le analisi delle fasi successive, analitica (B) e simulativa (C), che sono state considerevolmente esplorate nel precedente caso applicativo, per concentrarci esclusivamente sul masterplan di progetto della fase applicativa (C).

Vista aerea
della città
giardino
Aniene. Fonte:
Google earth
2021





3.1.1 Fase conoscitiva (A)

A.1 – Inquadramento del contesto geografico, climatico e urbano

Inquadramento geografico

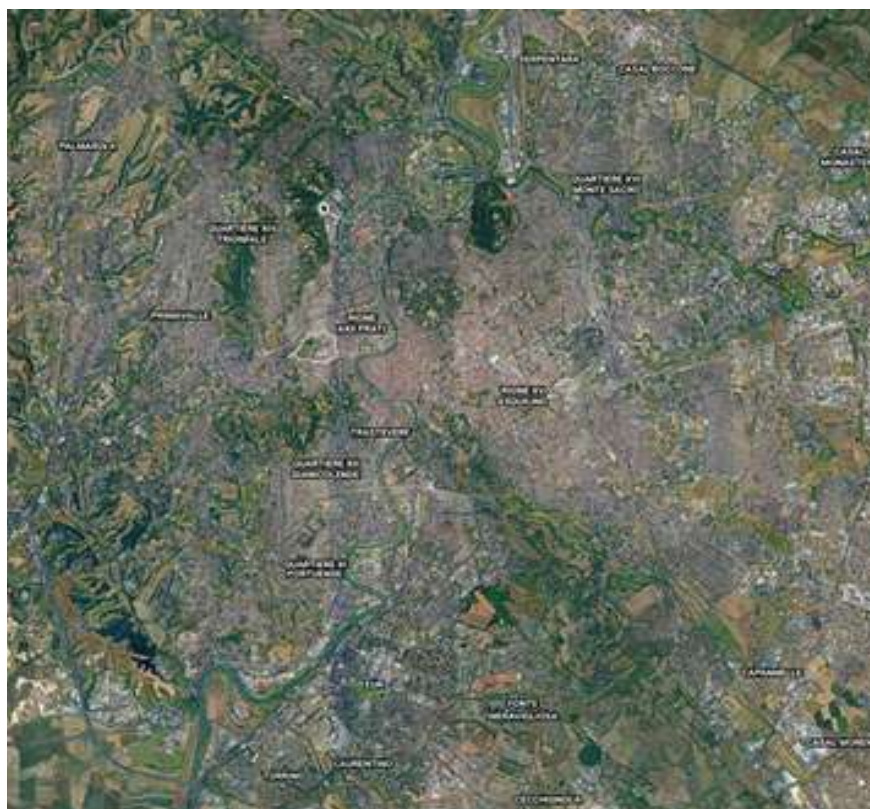
La città giardino Aniene, oggi parte del quartiere di Montesacro, è situata a Nord-Est di Roma lungo la via Nomentana, sulla collina¹ che sorge sulla riva destra del fiume Aniene ed in prossimità della confluenza di quest'ultimo con il Tevere.

La città giardino, occupando quasi interamente la zona urbanistica Montesacro², fa parte del terzo dei quindici municipi che compongono l'area amministrativa del comune di Roma. Rispetto al centro della capitale dista circa 6 km e viene tagliata da tre importanti arterie stradali della capitale: Viale Jonio, che permette il collegamento con via Salaria (corridoio di entrata e di uscita dal comune di Roma); Via Nomentana, collegamento viario diretto con il centro della città; Via delle Valli, collegamento veloce con la Tangenziale-est di Roma.

Anche se facente parte del terzo municipio più esteso del comune di Roma, la città giardino Aniene ne occupa una porzione molto ridotta di circa 3,5 km² e ospita circa dodici mila abitanti in confronto ai quasi duecentomila dell'intero municipio.

1. La collina, situata a 50 metri sopra il livello del mare, è caratterizzata da rocce sedimentarie, soprattutto di tipo alluvionale, dovute ai depositi fluviali.

2. In questa trattazione ci riferiamo esclusivamente alla zona urbanistica "4A" del Municipio III di Roma Capitale.



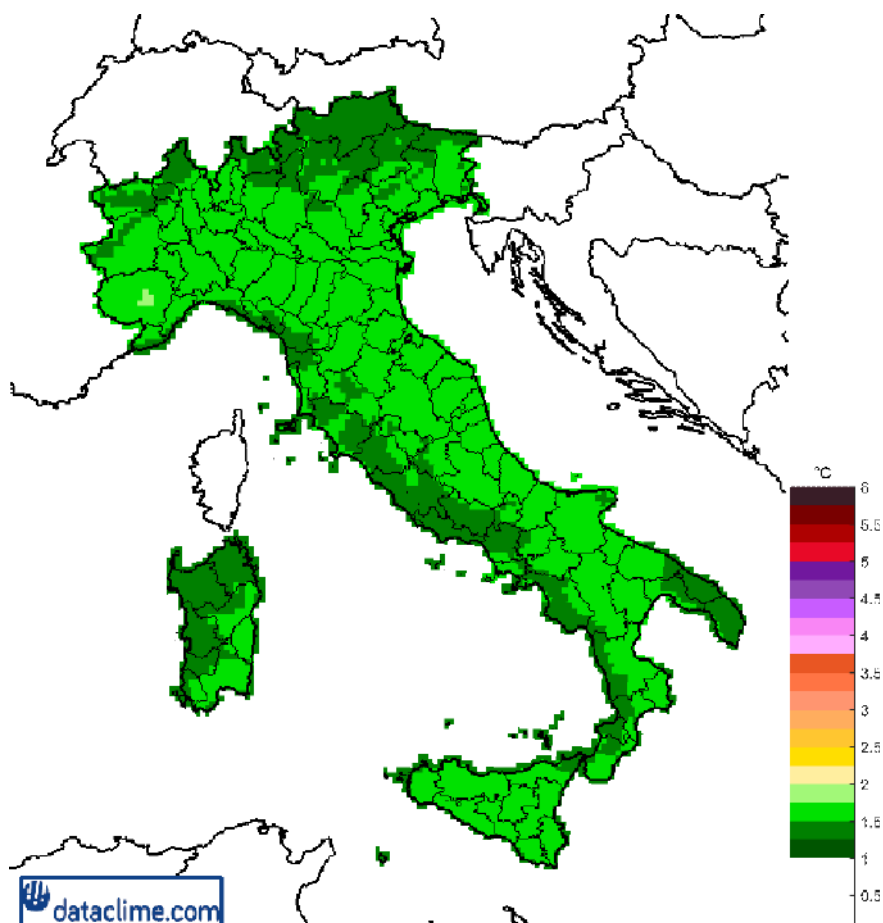
Inquadramento territoriale città giardino Aniene. Fonte: Google earth 2021

Inquadramento climatico

Così come fatto con il caso applicativo precedente, anche in questo caso si è ritenuto utile consultare la mappa elaborata da Beck et al. (2018) che mostra la classificazione “Köppen-Geiger” nel presente e nel futuro³. Nella città giardino Aniene è possibile rilevare che il territorio è caratterizzato attualmente da un clima temperato (csa), con precipitazioni copiose durante i mesi invernali e con temperature superiori ai 22 °C durante i mesi estivi caratterizzati da un clima secco. In questo caso la proiezione futura fornita da Beck et

3. Beck, H.E., N.E. Zimmermann, T.R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, E.F. Wood Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution Scientific Data 5:180214, doi:10.1038/sdata.2018.214 (2018)

Variazione temperatura in Italia, intervallo 2021-2050. Fonte: CMCC, 2021



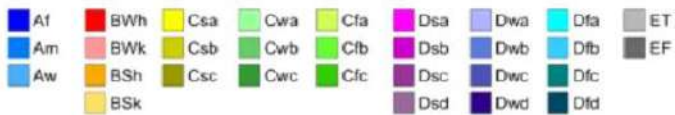
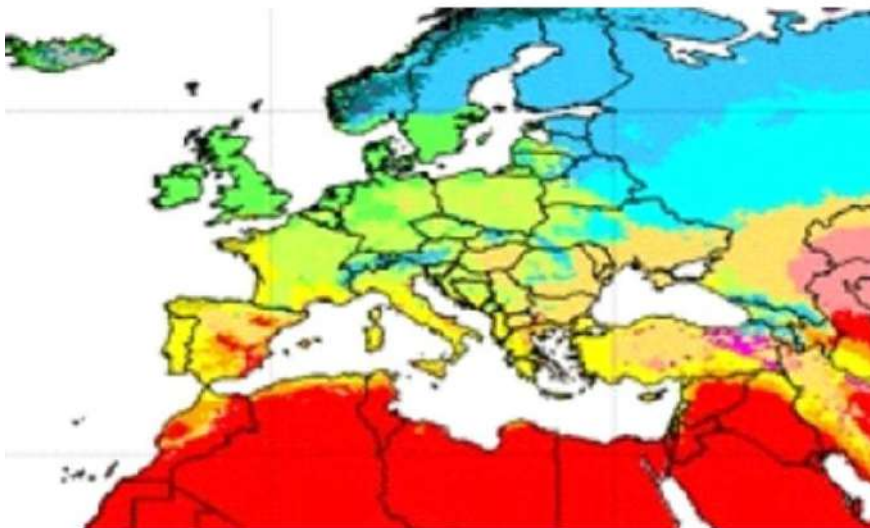
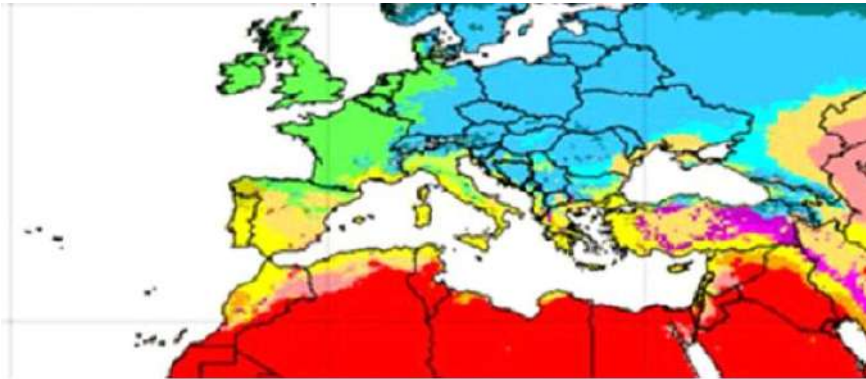
al. nel 2014 non è idonea a distinguere una variazione climatica.

A tal proposito è utile riportare una mappa elaborata dal CMCC⁴ che permette di analizzare con più attenzione le variazioni di temperature future previste per il territorio della città giardino Aniene.

Così come è possibile osservare dall'immagine che segue, la città giardino Aniene si colloca nella rilevante fascia costiera in cui si prevede un aumento della temperatura di circa 1,5 ° C nel periodo considerato (2021-2050). Anche in questo caso, i dati climatici esplorati nella seconda parte della tesi possono essere recuperati dalla lettura dei database

4. Fondazione Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici fondato nel 2005 con il supporto del MIUR e del MATT. L'obiettivo della fondazione è realizzare studi e modelli del nostro sistema climatico.

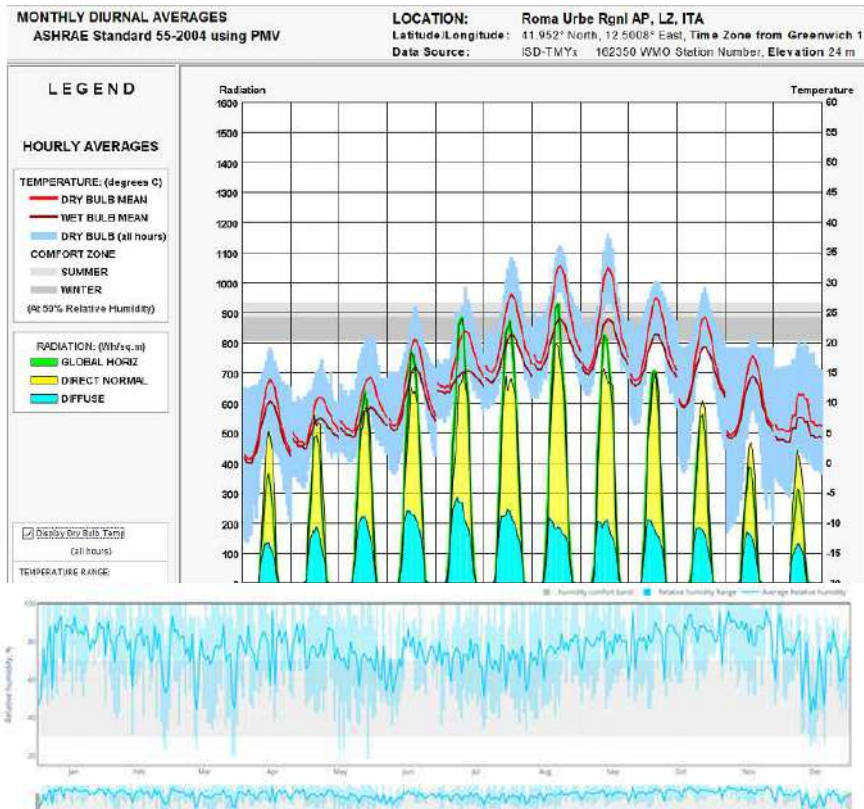
Zoom su
Europa della
mappa di Beck
et al, 2018

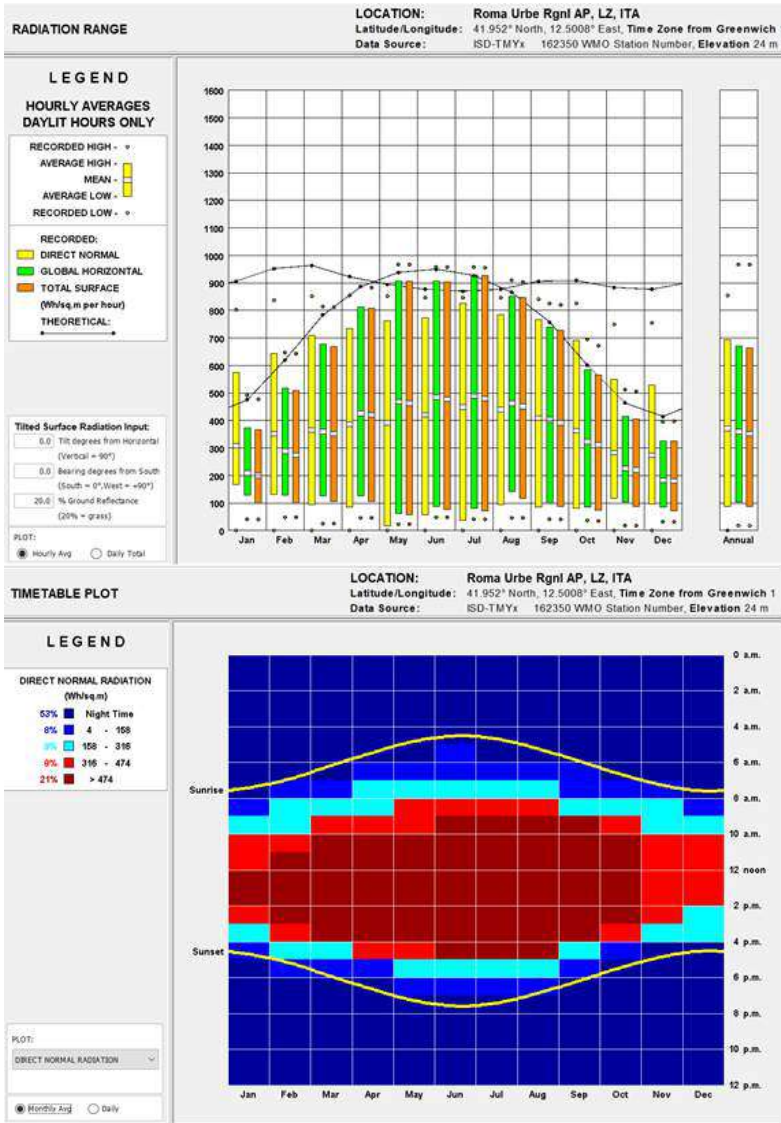


delle stazioni meteorologiche più vicine all'area di intervento. Per la città giardino Aniene è stata individuata la stazione meteorologica del piccolo aeroporto "Roma-Urbe" che dista circa 2 km dall'area di nostro interesse. E' utile precisare che i dati estratti possono essere usati, con un certo grado di approssimazione, per la sperimentazione sulla città giardino anche se per un calcolo più accurato sarebbe preferibile rilevare i dati in luogo attraverso strumentazioni specifiche.

Temperatura dell'aria e umidità relativa

È possibile notare che i valori della temperatura a bulbo secco raggiungono dei valori molto alti d'estate, con temperature dell'aria che si attestano al di sopra dei 35°C e valori che raggiungono i 5°C in inverno. Le temperature a bulbo umido, nel caso specifico, sono di circa 10°C. I valori della umidità relativa sono mostrati nella seconda tabella.





Radiazione solare

Il grafico riguardante la radiazione solare¹ include le misure registrate di radiazione diretta, diffusa e globale mettendole a confronto con quelle teoriche. Nel caso della città giardino

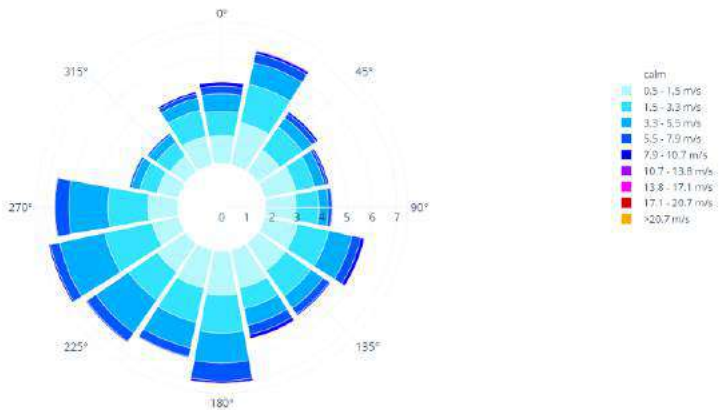
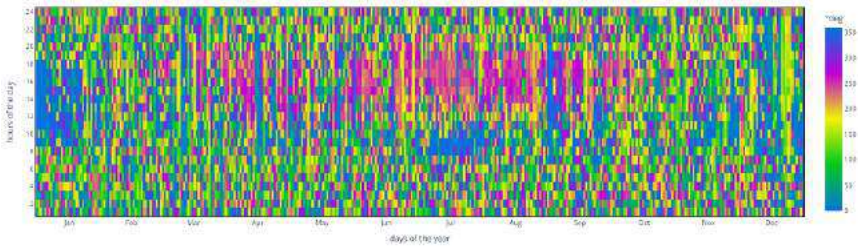
1. Si ricorda che per radiazione solare s'intende l'integrale dell'irraggiamento solare su un periodo di tempo specificato [kWh/m²].

Aniene la radiazione espressa in Wh/m²/ora si attesta su una media di circa 300 Wh/m²/ora durante i mesi invernali e di circa 500 Wh/m²/ora durante i mesi estivi.

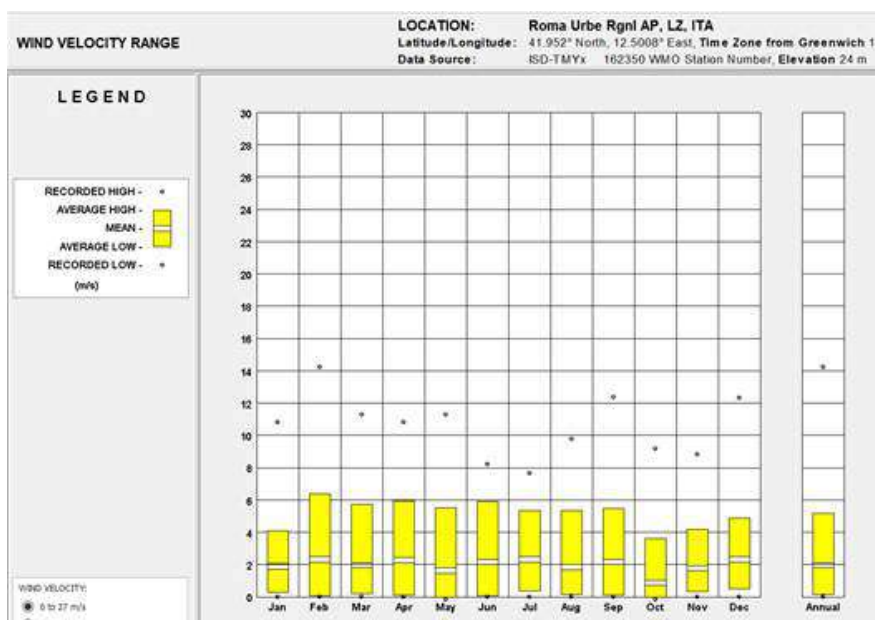
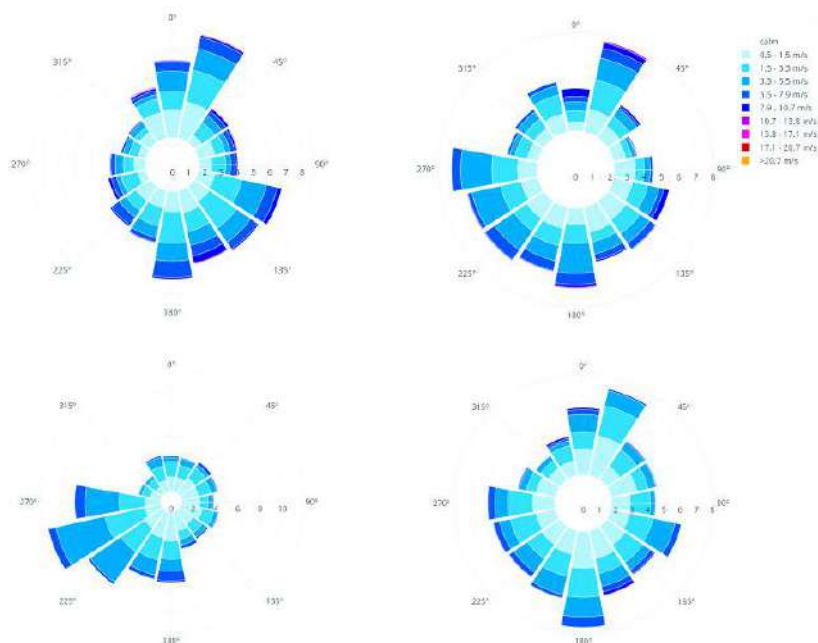
Venti

Il territorio in oggetto è caratterizzato in generale da venti con velocità media uguale o inferiore a 10 m/s. In particolare, è possibile notare: durante i mesi più freddi frequenti venti nordici ma anche venti provenienti sud-est (caldi e secchi); durante i mesi di primavera ed autunno un'alternanza di venti provenienti da est, sud ed ovest; durante i mesi più caldi, prevalgono venti caldi provenienti da sud-ovest.

Osservazione dei venti durante l'intero anno.



Osservazione dei venti nelle 24 ore delle giornate tra: dicembre e febbraio, tra marzo e maggio, tra giugno e agosto, tra settembre e novembre.



Temperatura del sottosuolo

Il grafico permette di evidenziare che la temperatura a due metri di profondità (profondità massima dei sistemi geotermici orizzontali) è variabile; si riscontra una curva di temperatura crescente che partendo dai 12°C invernali raggiunge i 20°C estivi.

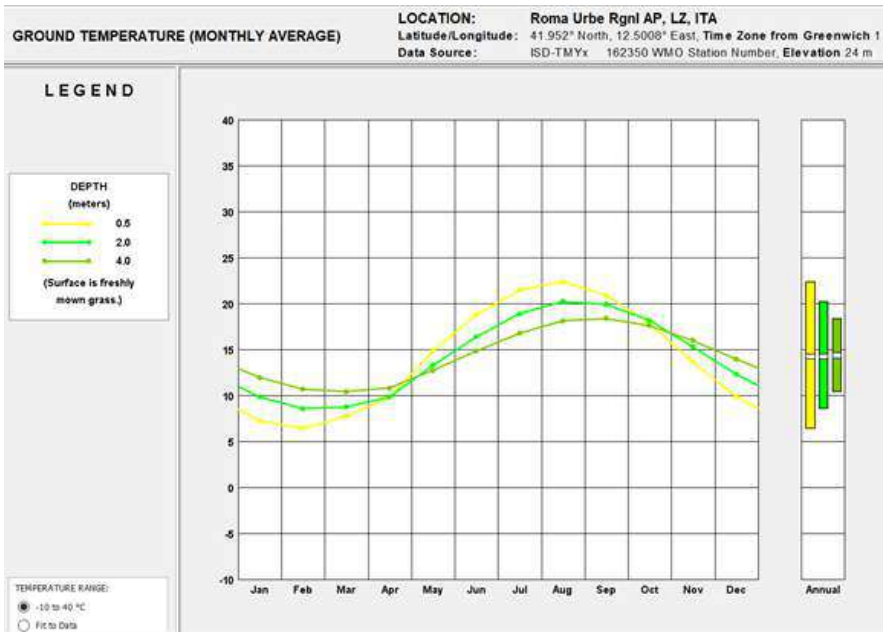
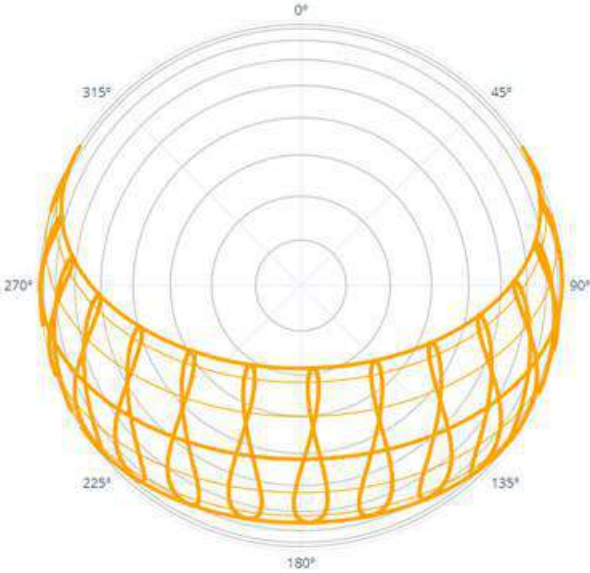
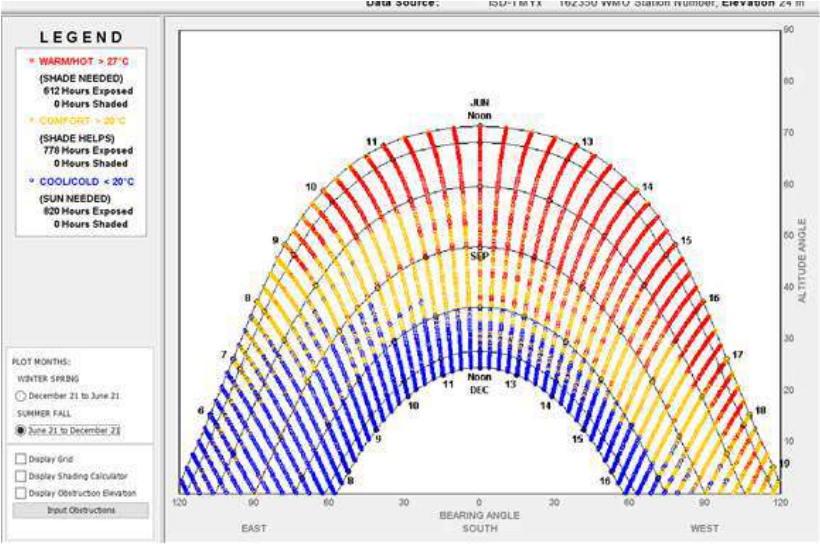


Diagramma
solare nei
mesi estivi ed
autunnali



Inquadramento storico

La Città Giardino Aniene, sorta su una collina nell'allora periferia della capitale, è stata costruita in seguito alla seduta del consiglio comunale del 19 aprile 1920.

Tuttavia, essa si inserisce in alcune dinamiche urbane iniziate dopo alcuni anni dalla proclamazione di Roma come Capitale del Regno Italiano. Per far fronte alle problematiche, che sorsero nel Novecento, relative all'assetto urbanistico, caratterizzato dalla presenza di quartieri incompiuti o mancanti di servizi principali, alla penuria urbana che aumentava in modo sproporzionato con la crescita della densità urbana e al forte tasso di immigrazione, dopo la creazione dell'istituto case popolari (1903), viene approvato il piano regolatore (1909) volto a migliorare l'aspetto urbanistico della città di Roma. In particolare, per ogni area individuata vennero previste diverse tipologie edilizie:

- I fabbricati, edifici intensivi che possono raggiungere i 24 metri di altezza;
- I villini, edifici plurifamiliari che non possono superare i 4 metri di altezza e devono essere circondati dal giardino;
- I giardini, case unifamiliari di lusso che devono avere una superficie coperta non superiore a 1/20 di altezza.

Tuttavia, nonostante la ripresa dell'attività edilizia dopo il primo conflitto mondiale, le problematiche sopra elencate rimasero costanti. Pertanto, divenne necessario redigere dei provvedimenti urgenti per la città di Roma (D.L. n. 2318/1919) al fine di costruire abitazioni popolari fruibili dal ceto popolare e medio borghese.

Questo provvedimento risulta propedeutico alla costituzione, nel 1920, di un Consorzio tra il Comune di Roma, l'Unione Edilizia Nazionale e l'Istituto Case popolari per la edificazione della città giardino Aniene.

Tuttavia, fu durante il consiglio comunale del 1920 che venne approvata la relazione della commissione, presieduta da Gustavo

Giovannoni, riguardante le aree da destinarsi alla realizzazione di nuovi quartieri economici e popolari per una città in forte espansione². La relazione illustrò i criteri di massima, che i nuovi quartieri avrebbero dovuto rispettare, che vennero seguiti come principi fondativi della scelta dei luoghi: alcuni di essi collocati entro il limite del PRG ed altri in parte all'esterno di esso, come nel caso di città giardino Aniene.

Il piano d'insieme della Città Giardino Aniene venne approvato con un decreto-legge nel 1919, dando inizio alla sistemazione successiva del terreno di sedime dell'intera aerea e dello sviluppo delle infrastrutture, tra cui il nuovo ponte nomentano. L'unione edilizia nazionale si occupò, in un primo momento, della stipula dei primi contratti di appalto dei singoli lotti per poi cedere all'azione di vendita diretta di insieme di lotti alle cooperative aventi le caratteristiche individuate dal regolamento della Città Giardino Aniene³. Nonostante, le numerose vendite di lotti e la gran quantità di realizzazioni, l'unione edilizia nazionale nel 1921 incominciò a riscontrare alcune difficoltà economiche che avevano portato al trasferimento delle proprietà all'Istituto Case Popolari.

L'istituto proseguì l'attività edificatoria del periodo precedente, accresciuto dal nuovo potere datogli a livello nazionale, dando un impulso sempre maggiore allo sviluppo della città giardino ed in particolare procedendo all'edificazione di costruzioni semintensive al fine di accrescere la popolazione del quartiere. Dal 1924 sorgono, infatti, i vari complessi del ICP tra cui si ritrovano i lotti I, II, III che fanno parte dell'insieme di alloggi a carattere popolare denominato "Montesacro II" (Galassi, 2013).

2. Dall'anno in cui Roma divenne capitale del regno d'Italia, la popolazione residente si duplicò, passando dai 213.633 abitanti del 1871 ai 424.943 del 1901 (Sonnino, Protasi, Rosati)

3. Art. 12 del regolamento Città Giardino Aniene, indica i requisiti per usufruire delle agevolazioni.

Ponte Tazio in
costruzione.
Fonte: Galassi,
Rizzo, 2013

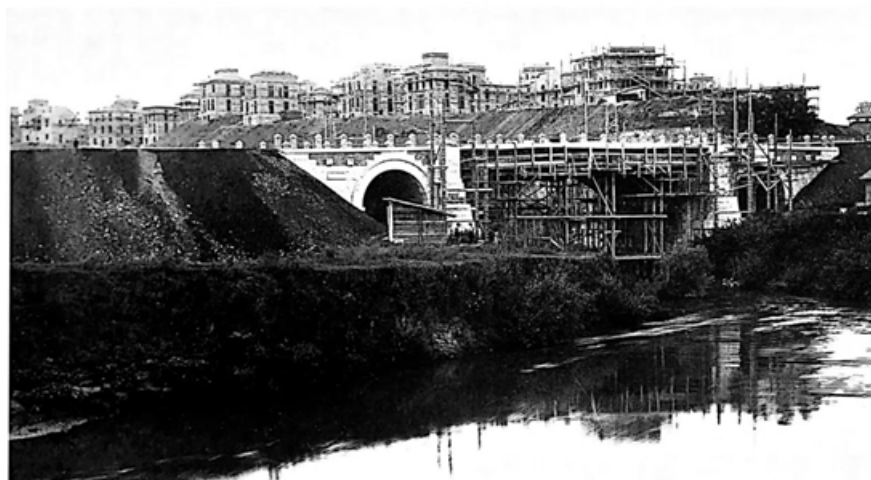


Foto del Ponte
Nomentano
negli anni '30.
Fonte: Wiki-
pedia



Piano regolatore della città Giardino Aniene. esemplificazione progettuale con indicazione degli edifici, G. Giovannoni. Fonte: Galassi, Rizzo, 2013



Sviluppo Storico-urbanistico

La città giardino è situata in un'area strategica nel funzionamento urbano del comune di Roma. Infatti, anche se nei primi anni del Novecento faceva parte delle periferie della città, oggi viene considerata abbastanza vicina al centro storico della capitale. L'area nel tempo è stata oggetto di un aumento della valutazione sia in termini sia economici e sociali sia dal punto di vista architettonico ed urbano.

La stessa, infatti, è attorniata da elementi naturali quali il fiume nonché da aree verdi che delimitano spazi privati e pubblici, includendo una quantità di aree ricreative per la cittadinanza.

Lo sviluppo degli anni '20 del Novecento riveste sicuramente un ruolo di particolare importanza nell'analisi morfologica del tessuto. Tuttavia, come si potrà leggere più avanti, la città giardino fu terreno di un'evoluzione costante che si protrasse fino agli '70 del XX secolo.

Come detto, il piano e progetto della Città Giardino Aniene nasce dalle mani dell'ingegnere, architetto ed urbanista romano Gustavo Giovannoni.

Il progetto risente sicuramente dell'influenza delle riflessioni sulle garden cities di E.Howard desumibile da alcune caratteristiche dell'impianto urbano tra i quali il sistema viario, il sistema degli spazi verdi, la composizione dei lotti.

Lo studio del sistema viario e della ripartizione dei lotti furono alla base di tutto il processo progettuale, insieme alla configurazione orografica d'origine del terreno che ha contribuito alla suddivisione delle varie zone. Il progettista prese in considerazione, in primo luogo, gli elementi naturali, caratterizzanti il luogo - il sinuoso tracciato del fiume Aniene, l'insieme delle colline - e gli elementi storici esistenti - aree archeologiche e il ponte Nomentano⁴. In tal modo il quartiere appariva e tutt'oggi appare composto da zone

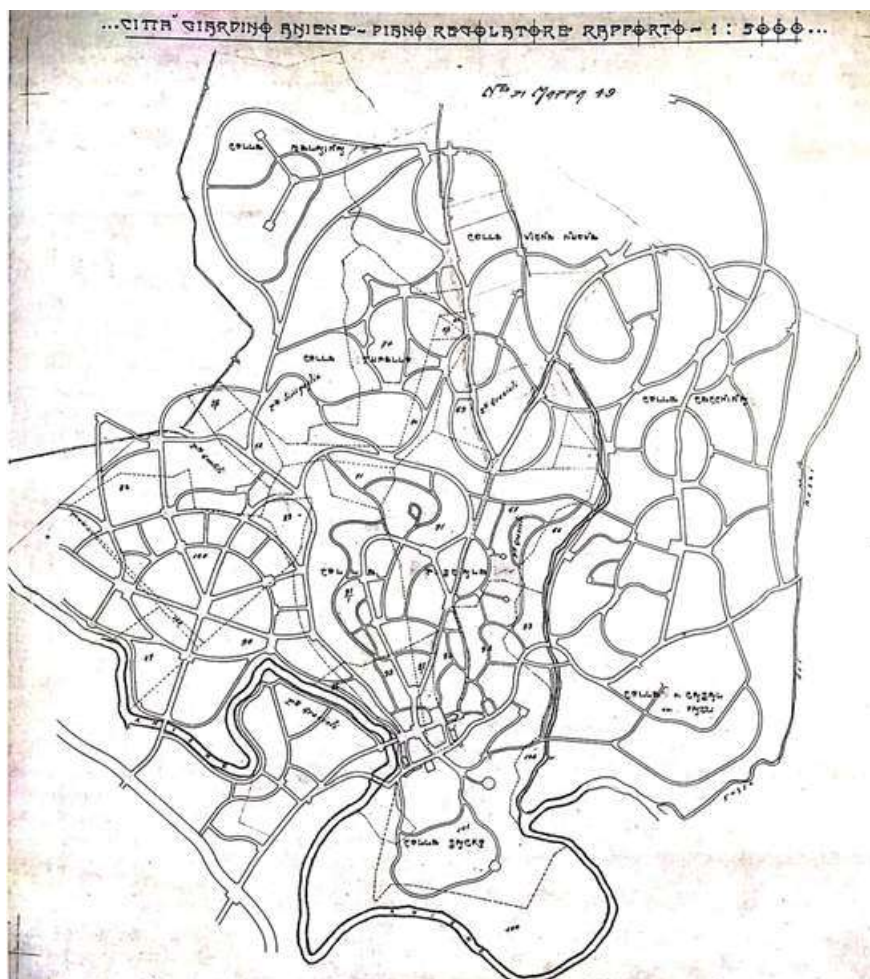
4. Ponte con forte valenza storico-architettonica. Uno dei ponti di collegamento dell'antica Roma che subì delle demolizioni, ricostruzioni e stratificazione successive. Legato tradizionalmente alla storia per l'incontro di Carlo Magno e Leone III avvenuto proprio all'interno.

differenziate per la diversa inclinazione delle piccole colline nelle cui dorsali sono state tracciate le strade principali.

L'apparato stradale risulta quindi suddiviso in due ordini di vie, quelle principali di comunicazione con i quartieri vicini e quelle secondarie interne al quartiere, per diversi motivi:

- Ritmo estetico, influenzato dalle garden cities d'oltre alpi;
- Ragioni orografiche;
- Ragioni legate all'economicità della realizzazione;
- Ragioni di utilità, contendo una separazione degli usi.

L'asse di ingresso della città giardino è rappresentato dal prolungamento in seguito all'allargamento della nuova parte



Piano regolatore generale della Città Giardino Aniene, planimetria dei tracciati viari, Giovanni G.

della via Nomentana (precedentemente attraversava l'Aniene su Ponte Nomentano) che attraverso ponte Tarsio giunge della piazza principale, Piazza Sempione. In corrispondenza della piazza si dipartono le strade principali: ad est viale Gottardo e ad ovest i viali Carnaro e Adriatico.

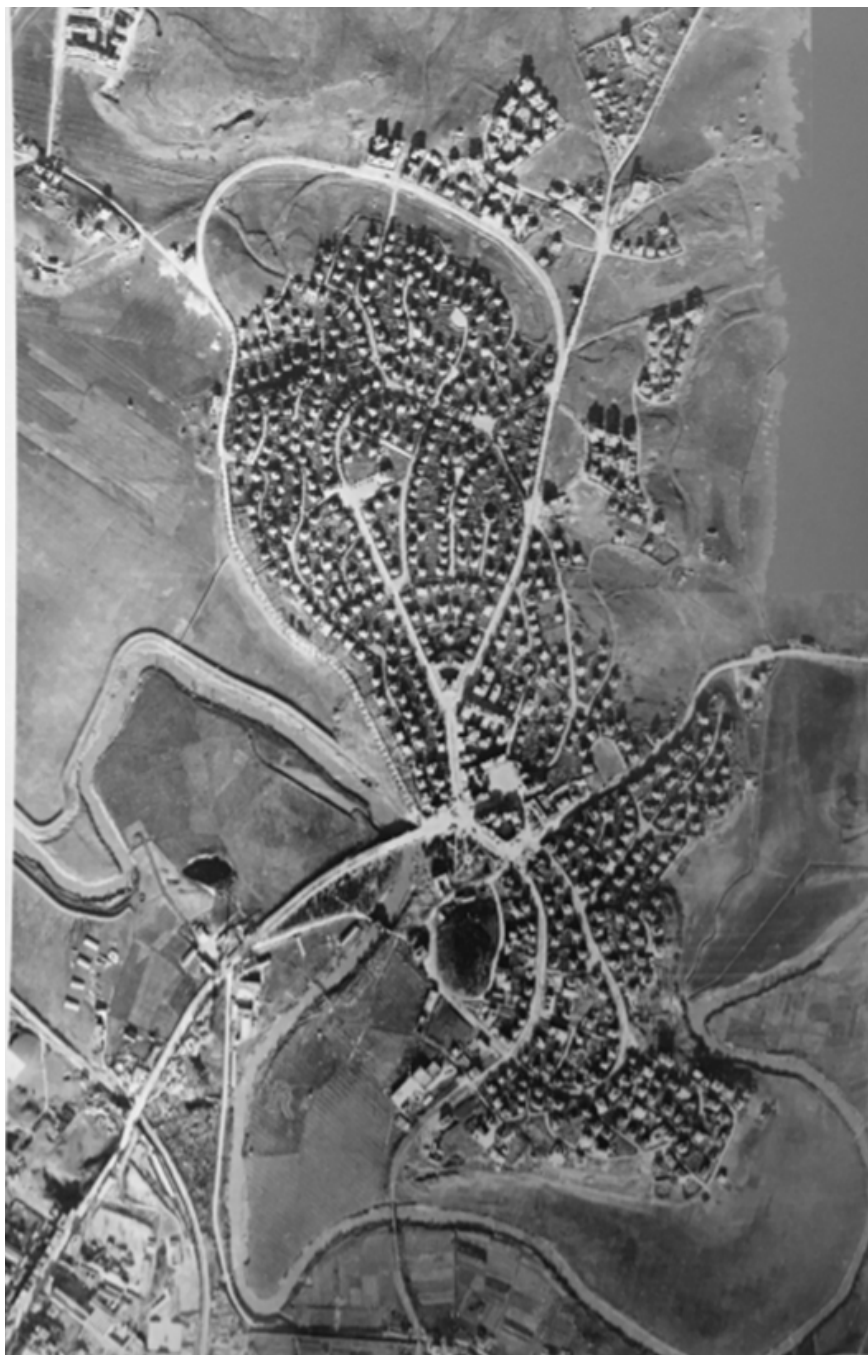
Il sistema risulta complesso e pittoresco vantando un ampio vocabolario di soluzioni che l'architetto ha voluto mettere in pratica nel disegno unitario della città: dai tracciati rettilinei a quelli curvilinei, alle piazzette, slarghi, scalinate e pendii.

Ritornando al tessuto edilizio della città giardino, Giovannoni si sofferma sul verde, indicando addirittura le alberature sulla planimetria alla scala di quartiere. Lui stesso, nel libro "Vecchie città ed edilizia nuova" ricorda l'importante ruolo della componente vegetale che dovrebbe investire spazi pubblici e privati.

*"Poiché non era stato possibile ottenere un qualunque ordine nella disposizione degli elementi, io proponevo di raggiungerlo in parte col colore e con la vegetazione; suggerivo di sospendere i lavori esterni giunti al termine dell'ossatura, per lasciare le pareti grezze col colore bruno del tufo e violaceo della pozzolana, ovvero di rivestirle di un rustico intonaco fratazzato a tinta scura, uniforme per ciascun villino e poco diverso da villino a villino, sì da conferire saldezza di massa; e suggerivo poi tutto un programma di sviluppo vegetale, sicché lo studio fosse volto alle pergole, ai cancelli, ai tralicci, alle aiuole ed alle specie più adatte di alberi, di arbusti e di piante rampicanti che quegli elementi rivestissero, o che, meglio ancora, ricoprissero di un verde manto le pareti dei fabbricati"*⁵

Il tessuto urbano d'origine della città giardino Aniene è resistito per circa trentacinque anni. Infatti, fu proprio negli anni '60 del Novecento che la grande espansione edilizia che connotava quegli anni trasformò la realizzazione unitaria e verde del progetto di Giovannoni in un quartiere stratificato ed eterogeneo. Se la struttura stradale è rimasta identica all'originale, lo stesso non può esser

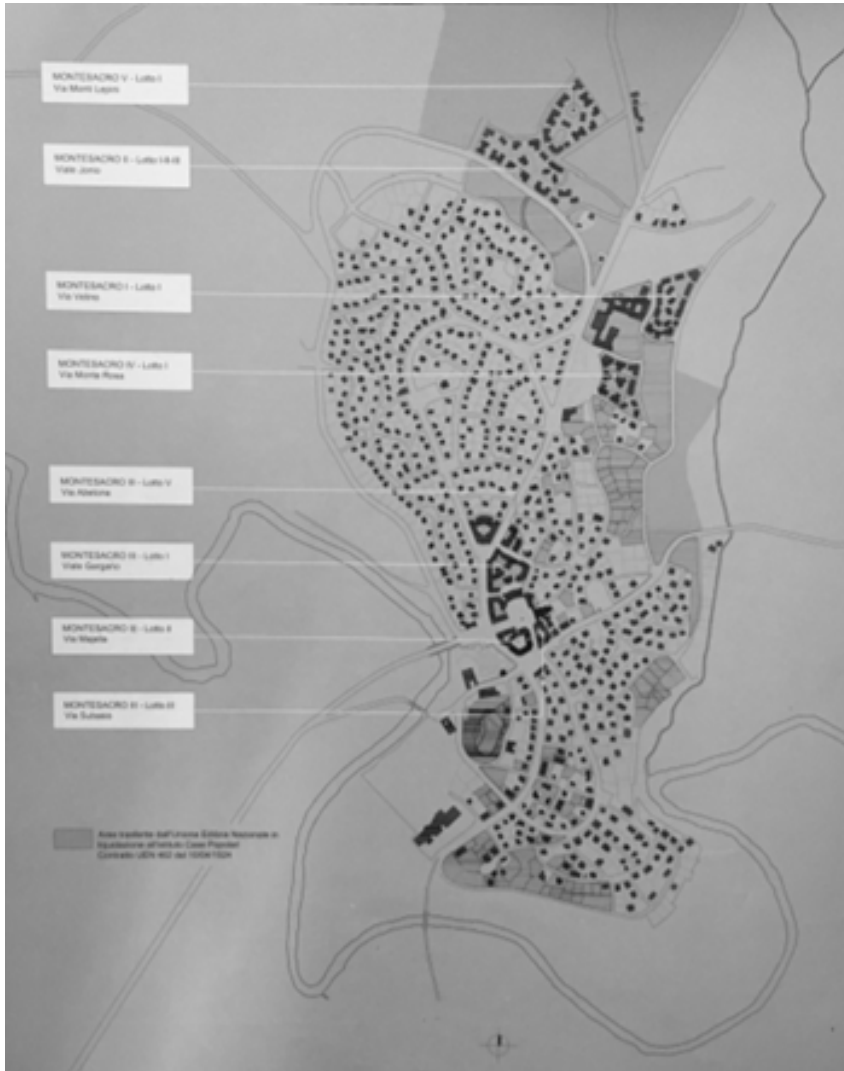
5. Giovannoni G., vecchie città ed edilizia nuova, Unione tipograficoeditrice torinese, 1931, pagg.140,141



Veduta Aerea
di città giardino
Aniene, 1934.
Fonte: Galassi,
Rizzo, 2013

Veduta Aerea
di città giardino
Aniene, 1961.
Fonte: Galassi,
Rizzo, 2013





Planimetria delle aree di intervento dell'ICP a Città giardino Aniene. Fonte: Galassi, Rizzo, 2013

affermato per gli spazi verdi pubblici e privati, per la tipologia degli edifici e per i loro volumi.

Dell'originaria vista aerea della città giardino degli anni '20 è rimasto poco; i successivi anni '50 e '60 sono stati caratterizzati dalla sostituzione edilizia dei villini della città giardino con palazzine, simbolo del moderno, quest'ultime in pieno contrasto con la morfotipologia organica dell'impianto della città giardino, che hanno in parte mutato l'originaria bellezza del quartiere.

A.2 - Analisi morfotipologica

Dall'analisi storico-urbanistica appena condotta si può desumere come l'idea della garden city di Howard abbia avuto un ruolo importante nello sviluppo della reinterpretazione romana operata da Giovannoni. Escludendo le sostituzioni edilizie avvenute negli anni '50 e '60, che tratteremo brevemente più avanti, già dal primo progetto del 1909, l'architetto intraprese uno studio attento dei paesaggi, delle forme architettoniche e dei materiali che caratterizzano l'intero tessuto della città giardino.

La prima rapidissima parte della realizzazione del piano per la città giardino e l'organicità del progetto trovano compimento nella organizzazione degli spazi verdi e nei villini con giardino di pertinenza.

La disposizione nello spazio è governata dall'orografia del terreno in cui la città si inserisce, le strade seguono la dorsale delle collinette ed i singoli lotti vengono distribuiti in funzione del naturale andamento dei terreni, seguendo entrambi tracciati prevalentemente curvilinei, irregolari, quasi mai perpendicolari tra loro. Focalizzandoci sui villini è possibile notare, così come indicato da Vincenzo Fasolo nei suoi scritti, come essi garantiscano la coerenza dell'insieme del tessuto urbano.

Le tipologie di villini sono numerose ed ognuna di esse presenta



Analisi pieni e vuoti città giardino Aniene.

dei caratteri unici, dalle coperture piane a terrazza ai tetti spioventi, dall'uso di piccoli balconi alla realizzazione di bow-windows, da ingressi con scalinata ad ingressi semplici e disallineati. Tutte le realizzazioni si distinguono per l'interessante studio della volumetria e dei prospetti ricchi di particolari decorativi. L'architettura dei villini e la sistemazione degli spazi esterni risulta particolarmente curata. Per l'edificazione e per le finiture vengono scelti i materiali del luogo, sia per economicità sia per scelta progettuale – tra questi si possono notare i muretti in tufo sormontati da una fascia di mattoni posti a coltello o i grandi muri di contenimento sempre in tufo. Il dettaglio degli elementi non era lasciato sicuramente al caso – come la realizzazione di cancelli e cancellate in ferro battuto con disegni “art decò”. A questi bisogna aggiungere una particolare menzione al trattamento eterogeneo delle facciate, dal liscio al bugnato, dall'uso di decorazioni tipiche del “barocchetto” alla semplicità stilistica della casa romana tradizionale.

Gli spazi verdi infine sono caratterizzati da una scelta puntuale di alberature d'alto fusto (pini, lecci e abeti) ed ornamentali come palme e magnolie nonché di siepi di edera, alloro o glicine. Venivano

molto spesso organizzati con elementi di supporto al verde come i pergolati oppure erano utilizzati come orti urbani.

La libertà di sperimentazione progettuale vista per i villini si ritrova anche negli edifici semintensivi sorti con l'avvento del fascismo ed il passaggio della realizzazione degli interventi nelle mani dell'Istituto Case Popolari.

Gli interventi appena citati, infatti, rappresentano degli esempi antologici del lavoro di grandi architetti romani: da Sabatini a Limongelli, da Energici a Piacentini⁶.

Anche se differenti per soluzioni formali e distributive, tutti gli esempi sono testimonianza del linguaggio architettonico di un'epoca di transizione, quello del "barocchetto romano". Il barocchetto, infatti, distaccandosi dall'eclettismo degli anni precedenti, voleva essere rappresentazione di uno stile regionale che teneva conto non solo delle peculiarità materiche o formali ma anche delle condizioni climatiche, dei colori e degli elementi caratterizzanti il livello locale.

Analisi funzionale-compositiva degli edifici

Il progetto iniziale della città giardino Aniene prevedeva una distribuzione dei lotti definita secondo un rapporto che legava la superficie coperta del villino e la superficie di terreno di pertinenza pari a 1/7. Questa proporzione era dettata per garantire inutili sprechi di suolo e per concedere un'area di coltivazione proporzionale alla densità abitativa. Allo stesso modo, il piano si pronunciava anche sulle funzioni ospitate all'interno degli edifici che dovevano rispettare la destinazione d'uso residenziale e in nessun caso era possibile aprire botteghe o osterie senza permesso degli organi tecnici.

Ad oggi la città giardino del progetto originale ospita al suo interno degli "innesti" di edifici che si identificano nel tipo della "palazzina romana". Questi ultimi hanno sicuramente sconvolto le destinazioni d'uso prevalente prescritta dal piano degli anni '20.

6. Si tratta di Massimo Piacentini.



Area di cantiere di alcuni villini della città Giardino Aniene.
Fonte: Galassi, Rizzo, 2013



Area di cantiere di alcuni villini della città Giardino Aniene.
Fonte: Galassi, Rizzo, 2013

Alcuni villini della cooperativa "Parva Domus". Fonte: Galassi, Rizzo, 2013



Il mix funzionale eterogeneo che caratterizza la città giardino Aniene, formato da residenze, uffici, botteghe e ristoranti, non segue un piano d'insieme ma, al contrario, è frutto di una casualità di eventi.

Così come le funzioni, anche il progetto degli alloggi, che nel progetto originario si distinguevano per igiene, comfort spaziale ed organicità con la natura, appare oggi non regolato da nessuna prescrizione se non quelle generali urbanistiche. Gli edifici in moltissimi casi risultano essere in un cattivo stato manutentivo e presentano volumetrie aggiunte che deturpano la città giardino dell'aspetto unitario ed organico del progetto originario.

A.3 - Inquadramento normativo

La città giardino Aniene è indicata nelle tavole "Sistemi e regole" del Piano Regolatore Generale del Comune di Roma come tessuto della "città storica".

Per quanto riguarda l'intervento architettonico e l'applicazione di particolari tecnologie architettoniche o impiantistiche previste nell'intervento di riqualificazione energetica proposto per gli edifici della città giardino è utile fare riferimento al Piano Regolatore Generale di Roma Capitale- in particolare gli elaborati denominati "Carta per la qualità" e "Sistemi e Regole".

A tal proposito è utile riportare un estratto del testo delle norme tecniche di attuazione del piano, in particolare, parte del comma 1 dell'art. 24 che tratta questo tipo di tessuto definendolo:

“ Per Città Storica si intende l'insieme integrato costituito...dalle parti urbane dell'espansione otto-novecentesca consolidata, interne ed esterne alle mura, e dai singoli siti e manufatti localizzati nell'intero territorio comunale, che presentano una identità storico-culturale definita da particolari qualità, riconoscibili e riconosciute dal punto di vista dei caratteri morfogenetici e strutturanti dell'impianto urbano e di quelli tipo-morfologici, architettonici e d'uso dei singoli tessuti, edifici e spazi aperti, anche in riferimento al senso e al significato da essi assunti nella memoria delle comunità insediate.”

Spazi semi-pubblici.
Lotto di progetto, Viale
Jonio 205,
Roma.





Spazi semi-pubblici.
Lotto di progetto, Viale Jonio 205, Roma.



Lo stesso art.24 indica gli obiettivi a cui deve mirare la conservazione e la valorizzazione delle qualità del tessuto e, in particolare, si ritiene che le lettere a, b, e, g e h del comma 2 includano delle azioni di fondamentale importanza nel caso della città giardino. Per completezza vengono riportate di seguito:

a) la conservazione dei tessuti edilizi esistenti e degli specifici e stratificati caratteri storico-morfologici, anche attraverso l'eliminazione delle superfetazioni;

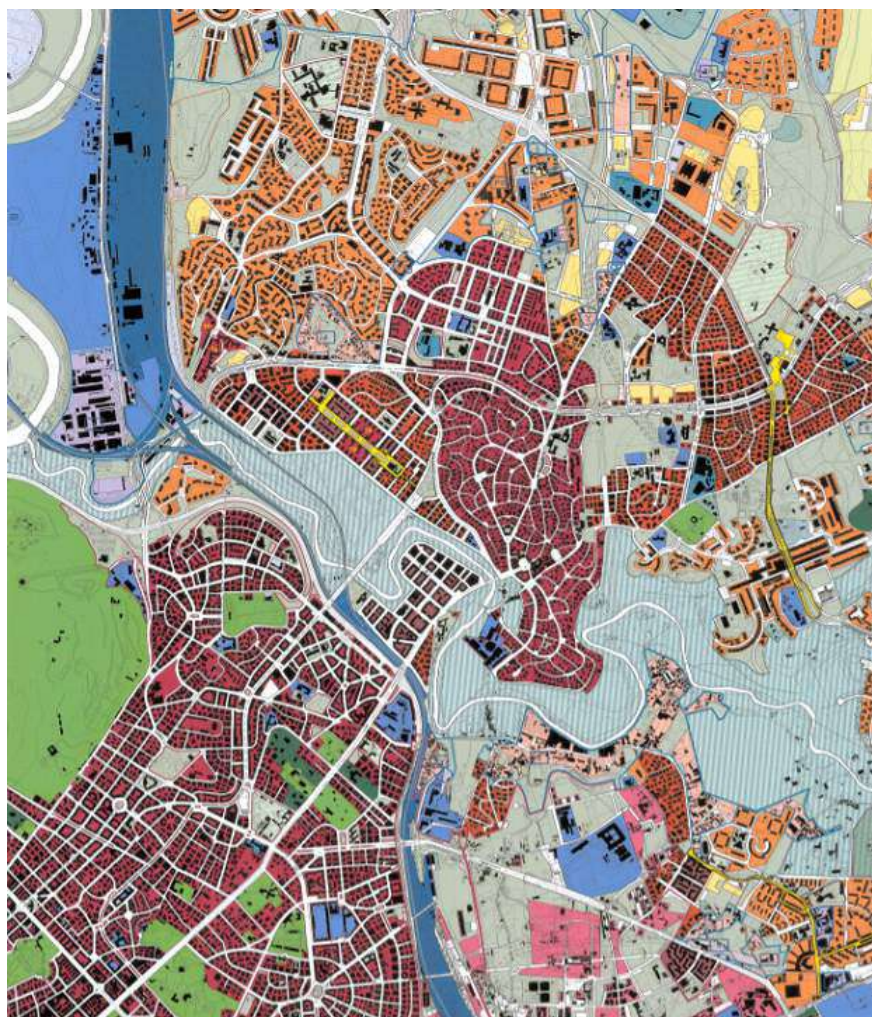
b) la preservazione della destinazione residenziale prevalente, nonché del tessuto commerciale e artigianale che riveste un valore storico-artistico e di identità sociale e culturale;

e) il restauro dei complessi e degli edifici speciali con la conferma, la riscoperta e la valorizzazione del loro ruolo storico-morfologico, funzionale e simbolico nella struttura urbana;

g) la manutenzione e il recupero degli spazi aperti esterni (strade, piazze, parchi e giardini) e interni (corti, orti e giardini) come componenti strutturanti dei diversi impianti insediativi;

h) la riqualificazione degli edifici e delle aree degradate, anche attraverso interventi di demolizione con o senza ricostruzione, e ridisegno degli spazi aperti.

Nello specifico le aree, trattate nel caso applicativo preso in esame, sono classificate come “complessi di edifici di rilevante interesse architettonico, urbano o ambientale” e di conseguenza dovranno rispettare le specifiche dettate dagli artt. 25 e 36 delle NTA di PRG. Questi due articoli normano in maniera più puntuali gli interventi diretti sui tessuti e sui complessi a carattere storico.



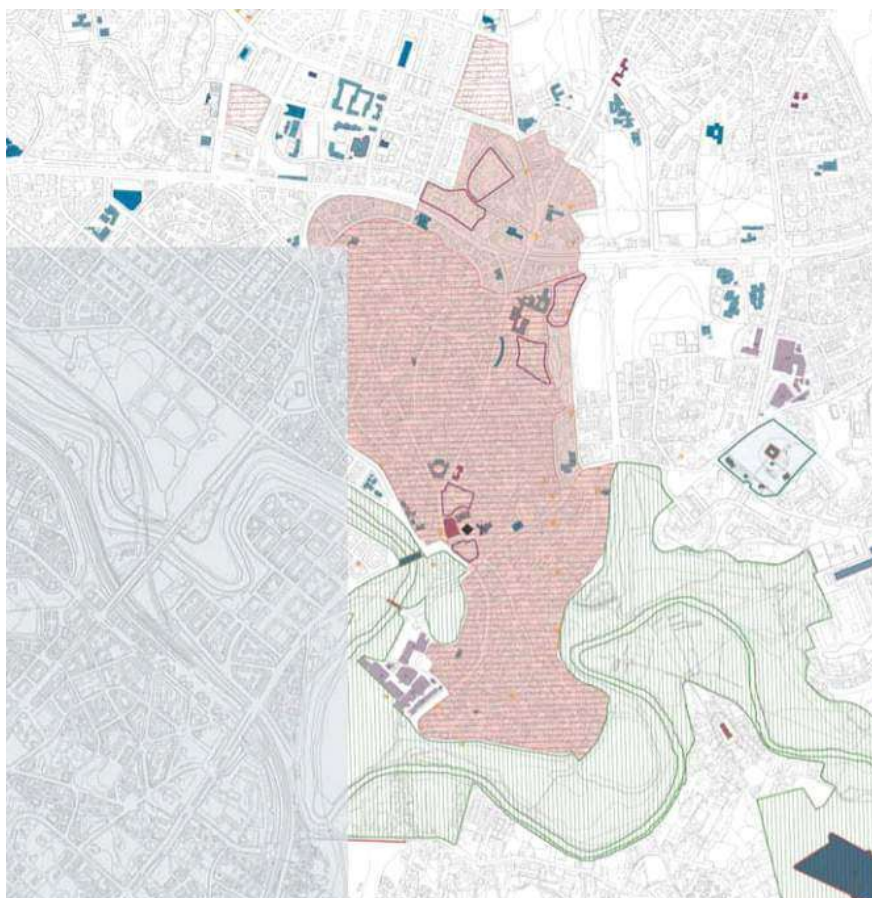
Sistema insediativo

CITTA' STORICA

- Tessuti vel. scale: 1:5.000
- 18 Espansione otto-novecentesca a lottizzazione edilizia puntiforme
- 19 Espansione novecentesca a fronti continue
- 27 Espansione novecentesca a lottizzazione edilizia puntiforme
- 19 Espansione novecentesca a impianto moderno e unitario
- 18 Nuclei storici isolati


Edifici e complessi speciali


- Centro archeologico monumentale
- Casisaldi architettonici e urbani
- Ville storiche
- Grandi attrezzature e impianti post-unitari
- Edifici speciali isolati di interesse storico-architettonico e monumentale
- Spazi aperti vel. scale: 1:5.000
- Spazi verdi privati di valore storico-morfologico-ambientale




MORFOLOGIE DEGLI IMPIANTI URBANI


Morfologie dei tessuti di origine medievale

 Tessuti medievali condizionati da preesistenti edifici speciali di epoca romana


 Tracciati rinascimentali e moderni di ristrutturazione urbanistica


Morfologie degli impianti urbani dell'espansione otto-novecentesca


 Impianti con progetto unitario e disegno urbano a struttura geometrica regolare


 Impianti con progetto unitario e disegno urbano a struttura irregolare


Morfologie degli impianti urbani moderni

 Tessuti caratterizzati dall'impianto volumetrico degli edifici

 Tessuti o porzioni di tessuto caratterizzati dal rapporto fra tracciati, occupazione del suolo e/o qualità degli spazi aperti

 Comprensori a carattere estensivo, di case unifamiliari isolate o aggregate

 Nuclei isolati di interesse storico - ambientale

 Complessi di edifici di rilevante interesse architettonico, urbano o ambientale



Vista aerea
area di in-
tervento lotti
"Montesacro
II". Fonte:
Google earth,
2021

3.1.2 Fase analitica (B)

Per semplificazione del processo, in questa fase si è ritenuto opportuno sviluppare le attività su una porzione urbana più ristretta, considerando una porzione omogenea – dal punto di vista costruttivo, architettonico e temporale – di città giardino.

In particolare, abbiamo considerato il tessuto urbano del lotto I, II e III del complesso denominato “Montesacro II”⁷ racchiuso tra viale Jonio, via Capraia, via Cimino e via Monte Fascia.

Il complesso appare oggi come uno spazio chiuso e recintato. Tuttavia, esso contiene al suo interno degli spazi “semi-pubblici” molto interessanti per lo sviluppo di un progetto di riqualificazione che includa, in aggiunta alla questione energetica, le problematiche di carattere architettonico ed urbano.

Parametri di uso del suolo

Una prima analisi include le considerazioni sulla tipologia d’uso

7. Riferimento divisione per lotti degli interventi dell’Istituto Case Popolari su Montesacro riportata nel libro: Galassi A., Rizzo B., Città Giardino Aniene, Minerva Edizioni, Bologna, 2013

Carta uso del suolo dell'area di intervento.



del suolo e la relativa superficie per l'intera area di progetto.

Nello specifico, per l'intero tessuto urbano della porzione di città giardino che si sviluppa su 15.500 m² si possono identificare:

- 4766 m² area occupata da edifici;
- 5171 m² area verde;
- 5563 m² spazio” pavimentato “semi-pubblico e rete dei percorsi interni.

Parametri urbani

Una seconda fase di analisi prende in considerazione i parametri del costruito che permettono di descrivere morfologicamente il tessuto urbano.

Altezza media edifici

Nell'area considerate sono presenti sostanzialmente 4 tipologie di edifici che si differenziano per la loro altezza. La media tra le altezze così considerate è di 11,20 metri.

Albedo

Dalla norma UNI 8477 è possibile estrarre i valori caratteristici del coefficiente di riflessione (albedo) per le diverse superfici presenti nel nostro ambito di intervento:

- Asfalto invecchiato: 0,10
- Calcestruzzo invecchiato: 0,22
- Suolo incolto: 0,20
- Tetti e terrazze in bitume: 0,13
- Tetti con tegole in cotto 0,33
- Pietrisco: 0,20

Orientamento degli edifici

Il costruito preso in considerazione in questa analisi presenta un unico orientamento rispetto ai quattro punti cardinali. In particolare, gli edifici seguono la direzione Nord-sud con i lati maggiori rivolti ad Ovest ed Est.

Land/Building ratio

Questo parametro indica il rapporto tra l'area urbana considerata e l'area occupata dagli edifici. In questo caso il rapporto tra le due superfici ha permesso di calcolare una percentuale di copertura degli edifici di 30,74%.

Aspect ratio

Questo parametro definisce il rapporto di un edificio con il suo contesto, tenendo in considerazione l'altezza dell'edificio e la distanza con gli edifici intorno. Nel caso analizzato si rilevano tre sezioni significative sulle quali effettuare l'analisi. La sezione A-A e B-B tagliano rispettivamente trasversalmente e longitudinalmente l'edificio ad angolo tra via Capraia e viale Jonio: in questo modo

si vanno a definire due profili che hanno come sede stradale una volta viale Jonio e un'altra via Capraia. La sezione A-A determina un rapporto tra altezza e distacco tra gli edifici pari a 0,31. La sezione B-B ha valore 0,68. La sezione B-B, invece, taglia trasversalmente via Monte Fascia definendo un profilo in cui il rapporto tra altezza degli edifici e distacco è pari a 2,40. Nel caso del terzo risultato l'elevato valore dovuto ad una altezza dell'edificio maggiore rispetto alla distanza fra esso e gli edifici circostanti comporta un alto grado di compattezza. Viceversa, l'aspect ratio basso del secondo profilo considerato mostra una distanza maggiore fra gli edifici e, quindi, una situazione meno densa.

Sky view factor

Nel calcolo dello SVF per il contesto analizzato si è ritenuto interessante proporre l'analisi della sezione C-C che presenta un aspect ratio alto. In questo caso attraverso il software "urban micromet" è stato possibile calcolare lo sky view factor nello spazio di distacco tra gli edifici, risultato uguale a 0,35.

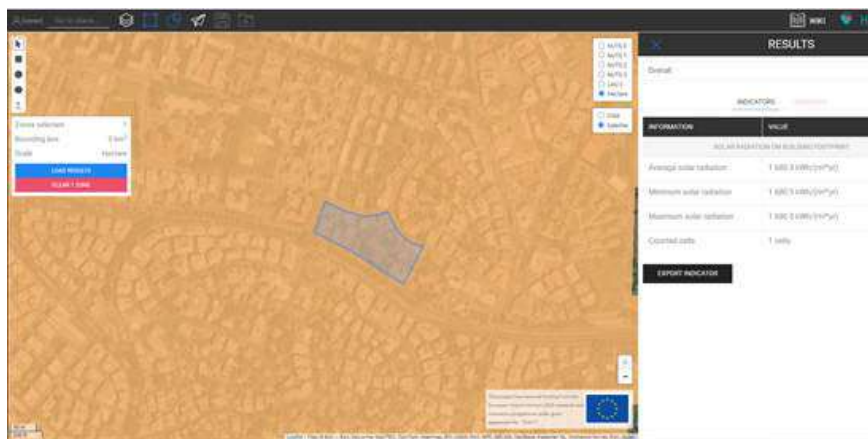
3.1.3 Fase simulativa (C)

Simulazione microclimatica

Potenziale solare

Riguardo al caso applicativo della città giardino Aniene è utile precisare che non è stato possibile utilizzare un sistema simile al “cadastre solaire” del caso francese. L'analisi del livello di irraggiamento solare è stata tuttavia condotta attraverso l'applicativo Hotmaps (di cui abbiamo parlato nei paragrafi precedenti) da cui si deduce il valore di circa 1680 kWh/m² all'anno. Questo dato ha permesso di valutare positivamente l'applicazione di sistema di produzione da energia solare⁸.

Non è stato possibile, tuttavia, analizzare le coperture degli edifici presi in considerazione con verifiche dell'irraggiamento tramite mappe satellitari⁹.



8. Il potenziale solare può essere considerato “positivo”, quindi favorevole per una buona produzione fotovoltaica, se il valore relativo alla superficie in copertura dell'edificio è superiore a 1.000 kWh/m² all'anno.

9. L'analisi dell'irraggiamento e dell'ombreggiamento richiede dunque uno studio approfondito in loco tramite sistemi sofisticati.

Flussi di aria

Anche per questo caso applicativo è stato prodotto un modello 3d con il software Rhyno e, successivamente, è stato importato in Autodesk CFD e sono stati definiti i parametri caratterizzanti il “volume di controllo”, in particolare le dimensioni del volume ed i parametri di intensità e direzione del vento.

Il risultato ha permesso di controllare i flussi del vento nelle immediate vicinanze degli edifici e degli spazi fruibili dall'uomo in modo da valutare gli effetti positivi e negativi sul comfort termico.

Simulazione energetica

In questo paragrafo verrà approfondito lo studio sul consumo energetico degli immobili ricadenti nel brano urbano considerato ai fini della riqualificazione energetica.

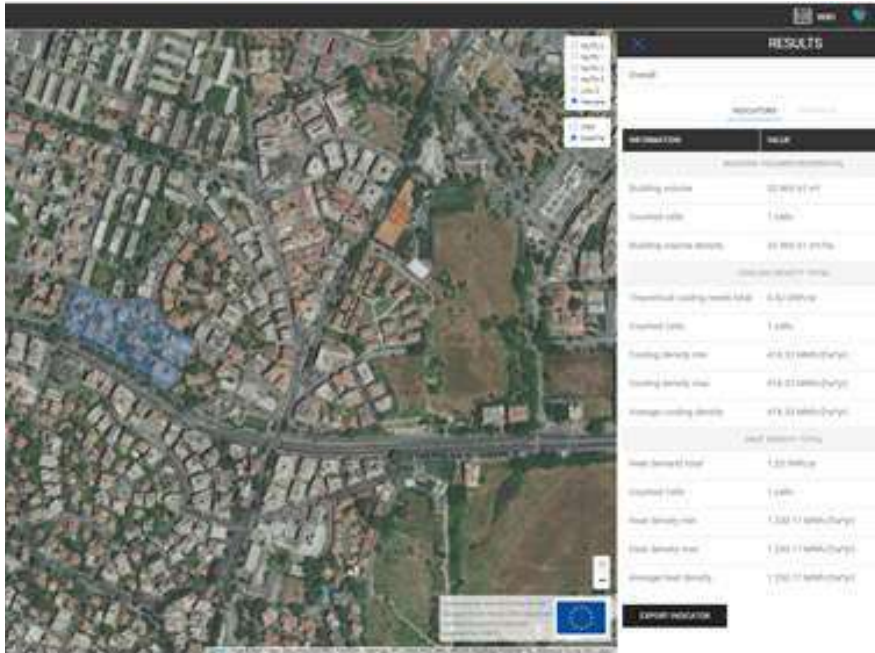
Secondo alcune statistiche elaborate da ENEA nel SIAPE¹⁰, per la parte di tessuto residenziale (come visto nei paragrafi precedenti tutti gli edifici considerati sono destinati ad un uso abitativo) il consumo medio valutato al metro quadrato è di circa 175 kWh/m². Tuttavia, per un calcolo più attento sarebbe utile rilevare i consumi effettivi attraverso l'analisi delle dispersioni di calore dell'immobile e la lettura degli apporti energetici relativi alle singole unità immobiliari.

Ad ogni modo, data l'impossibilità di procedere con la rilevazione strumentale in loco, si ritiene opportuno analizzare i consumi attraverso il toolbox per la mappatura del fabbisogno energetico in Europa denominato “HOTMAPS”¹¹, per quantificare, con buona approssimazione, il valore di consumo espresso come MWh/anno.

Dal portale “HOTMAPS”, attraverso la selezione dell'area oggetto dei nostri studi è stato possibile ricavare la quantità di energia

10. Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE) è lo strumento nazionale per la raccolta degli Attestati di Prestazione Energetica (APE) di edifici e unità immobiliari.

11. Hotmaps è un software online basato su GIS che supporta le autorità e i pianificatori energetici e che nasce da un progetto europeo finanziato dal programma di ricerca ed innovazione Horizon 2020.



Scermata del portale “Hot-Maps”.

espressa in GWh/anno per la richiesta di riscaldamento (termico e acs) e di raffrescamento.

Per quanto riguarda la richiesta di riscaldamento abbiamo un valore di 0,47 GWh/anno e per il raffrescamento abbiamo un valore di 0,06 GWh/anno.

Attraverso i calcoli è possibile verificare il consumo energetico espresso negli studi dell’ENEA sopracitati. In particolare, considerando i circa 33000 m³ e 4800 m² di volumi e superfici residenziali, si ottengono i seguenti consumi:

- consumo energetico legato al riscaldamento (termico e ACS) = 123 kWh/m² per anno;
- consumo energetico legato al raffrescamento = 42 kWh/m² per anno;

Dalla somma del totale del consumo energetico per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria ed il consumo per raffrescamento si ottiene come risultato: **165 kWh/m² per anno.**

A questi consumi possiamo aggiungere circa il 10% di “altri

consumi” dovuti all’uso di dispositivi tecnologici all’interno dell’abitazione, quali tv, lavatrice, frigorifero, lavastoviglie ed illuminazione.

Per riepilogare, per gli edifici ad uso abitativo presenti nell’area urbana esaminata è possibile affermare che il consumo energetico è di **180 kWh/m² per anno**, che si avvicina molto al valore indicato nelle statistiche sopra menzionate.

3.1.4 Fase applicativa (D)

A tal fine, sono state selezionate una serie di azioni progettuali in funzione di quattro principali obiettivi:

- Il miglioramento delle caratteristiche materiali, morfologiche e tecnologiche degli spazi esterni;
- Il miglioramento delle caratteristiche materiali, morfologiche e tecnologiche dell’edificio;
- L’adozione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili;
- La collocazione di impianti innovativi per lo stoccaggio e condivisione dell’energia.

Nella tabella seguente sono stati riassunti gli interventi applicabili (evidenziati in rosso) al contesto della città giardino Aniene, questi sono stati suddivisi per categoria progettuale (verde, gialla o blu) e sono stati indicati per ognuno di essi gli ambiti di miglioramento i cui si inseriscono e i fenomeni termici che influenzano.

Pertanto, all’interno della categoria del verde, è possibile identificare:

- Strategie di intervento sugli spazi esterni:
 - sostituzione di circa il 40% della superficie impermeabile con superficie vegetale permeabile mediante la conversione di gran parte della superficie impermeabile con superficie erbosa;

- integrazione alberature sul lato sud-est del lotto con alberi caducifoglie in grado di filtrare i raggi solari estivi e permettere il soleggiamento invernale;
- addizione di alberi caducifoglie che creino un ombreggiamento dello spazio centrale semi-privato degli edifici filtrando i raggi solari solamente durante i mesi caldi;
- inserimento di vegetazione “orizzontale” sui lati dei percorsi pavimentati in modo da favorire il raffrescamento delle superfici esposte alla radiazione solare.

All'interno della categoria delle strategie gialle troviamo:

- Strategie di intervento sugli spazi esterni:
 - sostituzione del tradizionale asfalto (albedo 0,2) e cemento (albedo 0,4) utilizzato su strade e marciapiedi con materiali “freddi”, i cosiddetti “cool pavements”, cioè con elevato albedo (0,5);
 - collocazione centrale di stoccaggio e di condivisione dell'energia prodotta dai singoli utenti del quartiere.
- Strategie di intervento sugli edifici:
 - sostituzione degli infissi poco performanti attualmente esistenti con infissi a taglio termico e vetro con doppia camera¹²;
 - isolamento delle pareti perimetrali sul lato interno con materiali di ridotto spessore per tutelare la finitura esterna delle facciate;
 - isolamento delle coperture;
 - realizzazione ventilazione naturale dei tradizionali tetti a falda inclinata;

12. Uso di vetri a doppia camera con intercapedine di argon garantisce un isolamento termico elevato

- o sostituzione dei rivestimenti dei tetti piani, attualmente rivestiti da materiali a bassa albedo, con materiali “freddi” (albedo da 0,3 a 0,6);
- o implementazione di impianto di pannelli fotovoltaici inserito nella sagoma delle coperture;
- o implementazione di impianti di captazione geotermica superficiale;
- o implementazione di impianti di stoccaggio di energia prodotta dalle singole unità immobiliari.

Infine, all'interno dell'ultima categoria delle strategie blu ritroviamo soluzioni ibride che prevedono l'intervento sia su spazi esterni che in prossimità degli edifici e si possono sintetizzare in:

- Realizzazione di una rete di acque superficiali che comprenda piccoli specchi d'acqua, fontane e getti d'acqua per il raffrescamento evaporativo;
- Predisposizione di una rete per il recupero delle acque piovane da utilizzare per il sistema delle acque superficiali e per irrigazione degli spazi verdi.

La traduzione grafica

Nelle pagine successive si riportano gli elaborati grafici significativi inerenti al progetto di riqualificazione della città giardino Aniene, con specifiche indicazioni riguardanti le rispettive strategie sopra descritte.

Scheda riepilogativa dell'intervento.

Soluzioni	Ambito di miglioramento		Fattori influenzati				
	Quartiere	Edificio	Inerzia termica	Ombra		Ventilazione	
				Albedo	Evaporazione	Energia	
Parchi	●		●	●	●	●	
Alberi	●				●	●	
Verde "orizzontale"	●			●	●		
Coperture vegetali		●	●	●	●		
Verde pensile	●	●		●	●		
Materiali "freddi"	●	●		●			
Strutture ombreggianti	●	●			●	●	
Sistemi morfologico-spaziali bioclimatici		●	●			●	
Sostituzione infissi		●	●				
Impianto geotermico		●				●	
Mini colico	●	●				●	
Pannelli solari	●	●		●		●	
Rivestimenti dall'elevato valore di albero	●	●	●	●			
Rivestimenti drenanti	●				●		
Rivestimenti a cambiamento di fase	●	●	●				
Isolamento involucro		●	●				
Fontane/getti d'acqua	●			●	●		
Sistemi di irrigazione	●	●			●		
Sistema delle acque superficiali	●		●		●		
Infrastrutture per la gestione delle acque piovane	●				●		

Tegole
fotovoltaiche

Sistemi di
ombreggiamento
tecnologici

Pavimentazione
produttrice di
energia



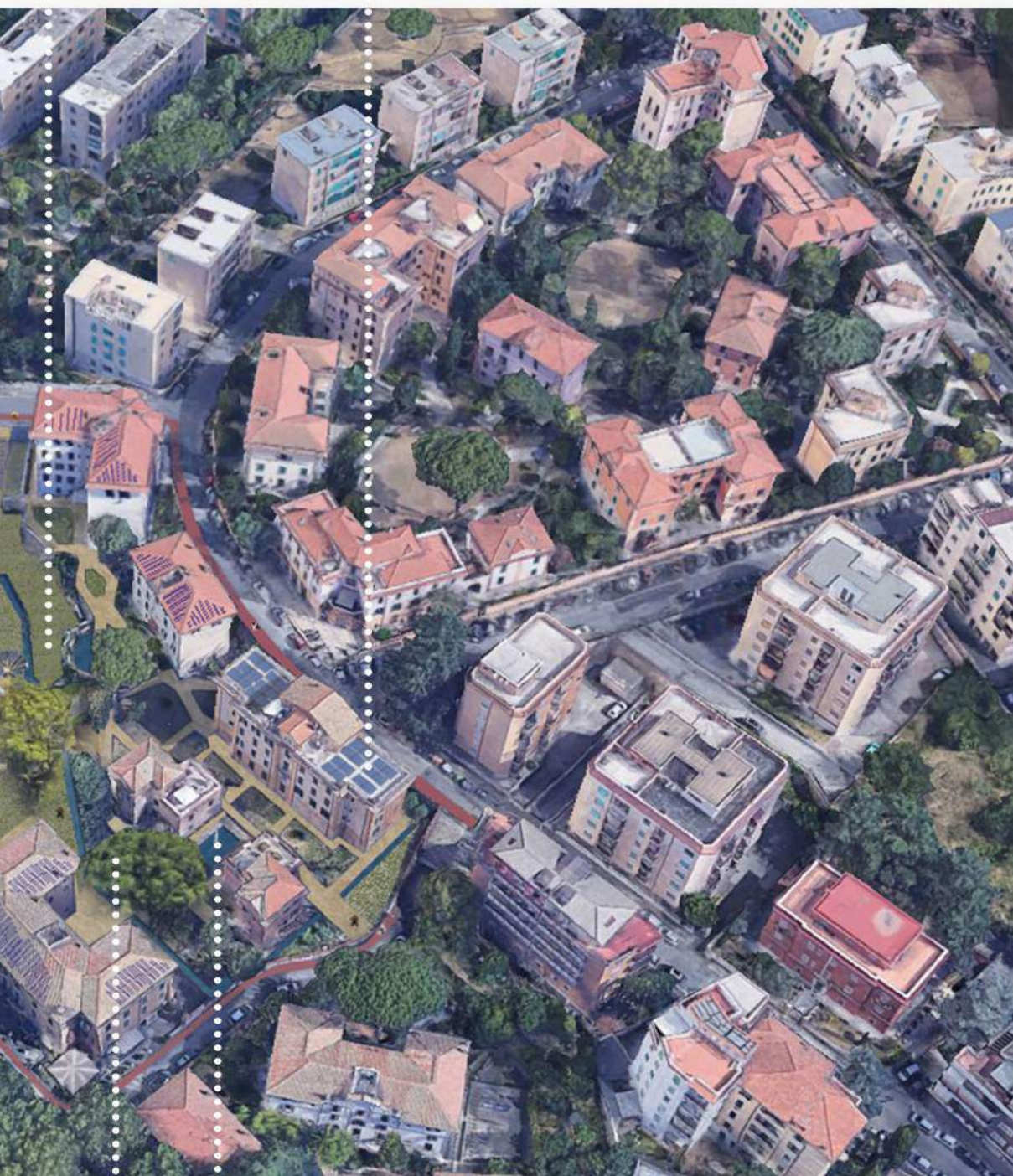
Alberature
ombreggianti

Pista ciclabile
produttrice di
energia

Getti d'acqua per
raffrescamento
evaporativo

Verde orizzontale
permeabile

Pannelli
fotovoltaici

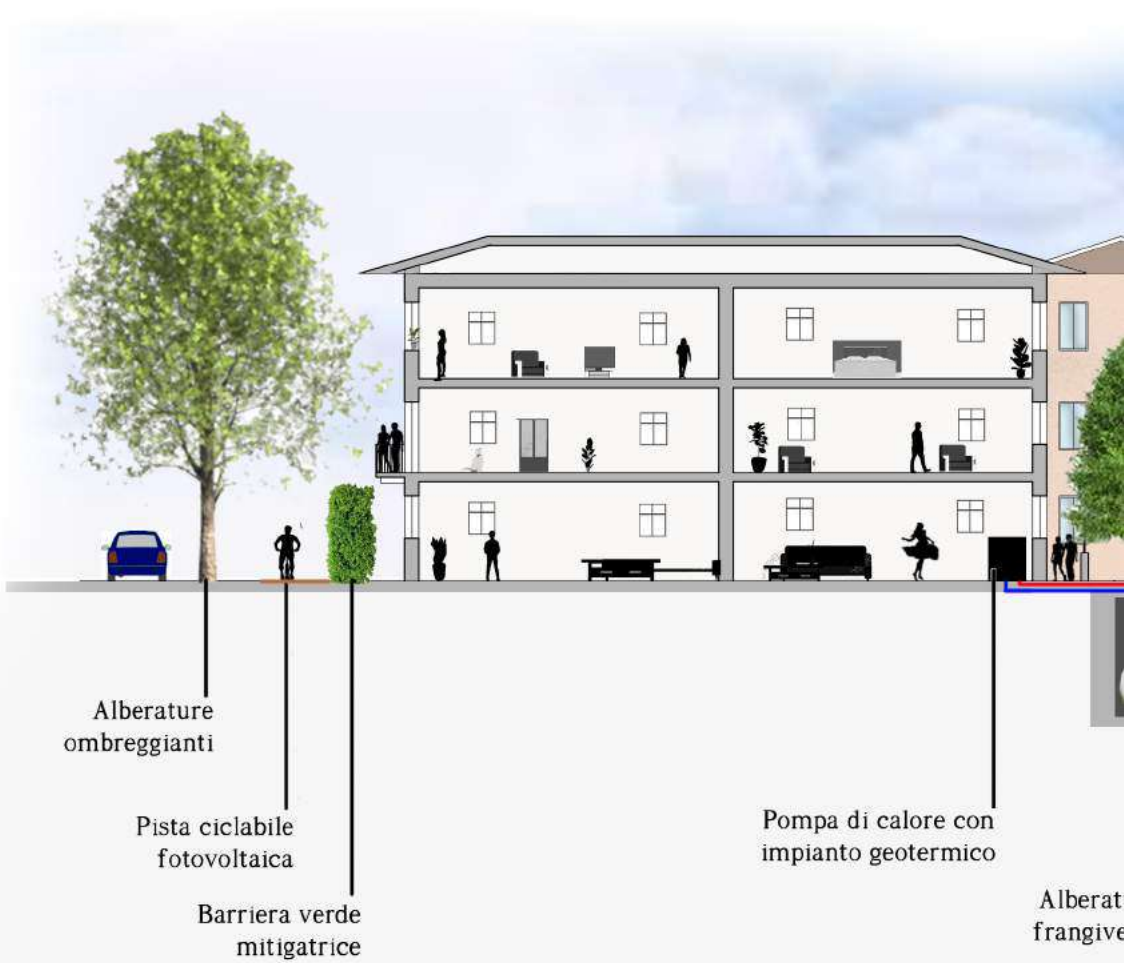


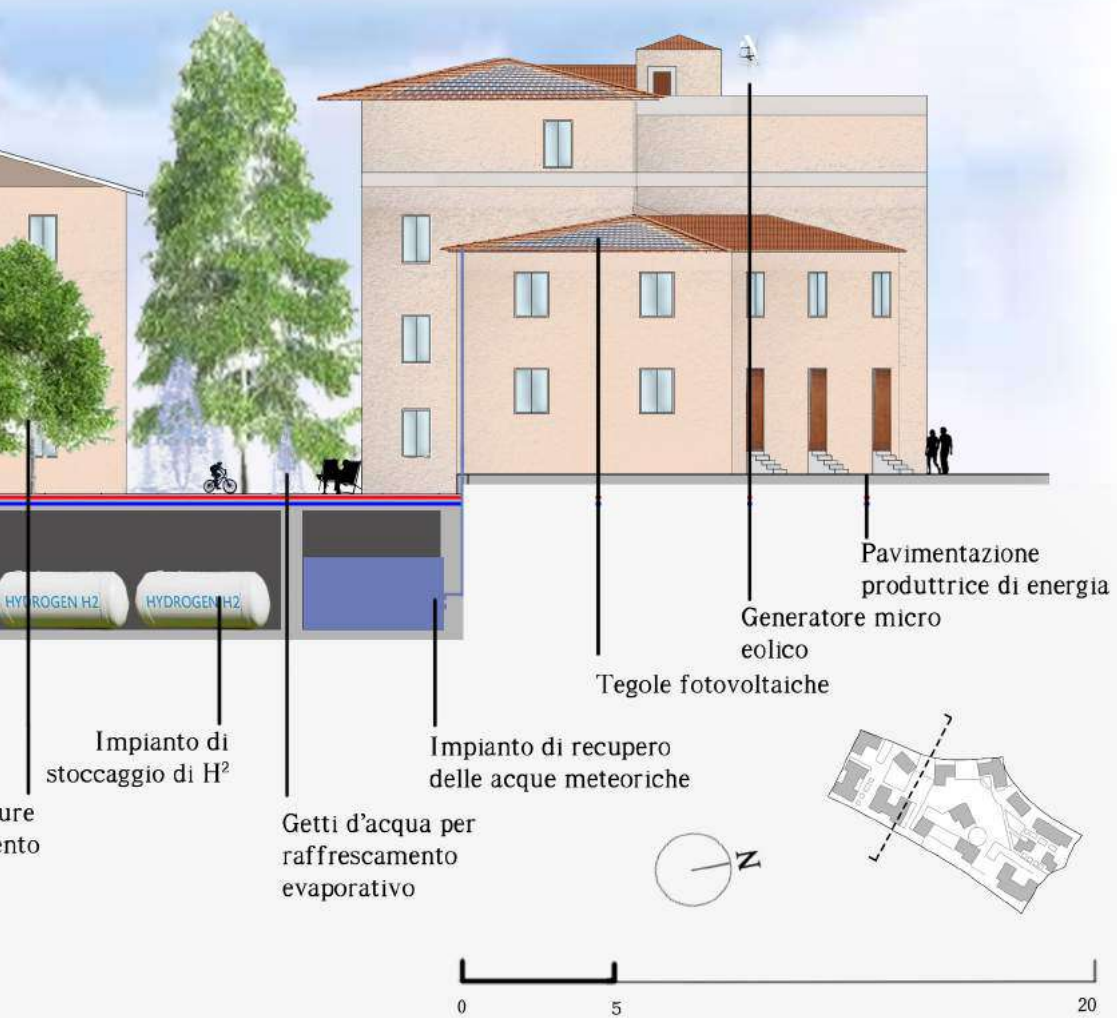
Specchi d'acqua

Alberature
frangivento



0 5 20





Conclusioni

Questo paragrafo, diversamente dal configurarsi come conclusione di un ragionamento finito e definito, rappresenta una rilettura in chiave critica delle soluzioni agli interrogativi che stanno alla base del lavoro di ricerca: in altre parole, una sintesi dei ragionamenti svolti e delle esplorazioni effettuate.

Il lavoro sviluppato ha preso avvio dalla consapevolezza della necessità di ricercare soluzioni a due crisi fondamentali che coinvolgono la città della prima metà del ventunesimo secolo: le forti ripercussioni del cambiamento climatico sullo spazio antropizzato e la necessità di abbattere le emissioni inquinanti in atmosfera.

Le problematiche presentate sono intimamente legate e trovano il loro anello di congiunzione nel rafforzamento del risparmio energetico e nella produzione da fonti di energia rinnovabile.

In questa cornice, la città esistente riveste un ruolo di fondamentale importanza in quanto principale protagonista del consumo di energia e, al contempo, in quanto campo di più rara applicazione delle azioni volte al risparmio energetico.

Pertanto, la ricerca si è concentrata sul patrimonio edilizio esistente valutando i consumi dell'edificato legati all'uso e alle

influenze del clima locale. Più nello specifico, inserendosi in uno spazio di riflessione ancora aperto ed estremamente ampio in letteratura, la tesi si configura come elemento di esplorazione della riqualificazione energetica della città consolidata.

Il percorso è stato condotto attraverso alcune fasi di ricerca racchiuse all'interno delle diverse parti della trattazione.

La prima fase ha riguardato l'osservazione dello stato di fatto in cui versano gli ambienti urbani contemporanei e le relative problematiche fondamentali. Dal panorama esplorato emerge il ruolo primario della città esistente nei consumi energetici globali e la relativa influenza esercitata sul clima. In questo contesto, la stessa analisi ha evidenziato le potenzialità dell'integrazione tra le variabili morfologiche, climatiche ed energetiche nel progetto olistico di riqualificazione della città esistente.

Tuttavia, è emersa la complessità dell'intervento sulla città consolidata, dettata dalle molteplici esigenze di riuso e tutela del patrimonio che rende sempre più difficile le possibilità di concretizzare interventi efficienti. È evidente, infatti, che i caratteri dei tessuti urbani esistenti costituiscono l'elemento più resiliente alle trasformazioni derivanti da sperimentazioni morfologiche e tecnologiche innovative.

Inoltre, la complessità dei fenomeni fisico-energetici che si instaurano alla scala urbana rappresenta un campo di analisi multidisciplinare in cui convergono domini di conoscenza specialistici che, ad oggi, risultano ancora indipendenti e slegati.

Nel quadro esplorato, permane in sintesi l'interrogativo sotteso all'intero lavoro di ricerca: La città esistente e consolidata, attualmente energivora e inquinante, può trasformarsi in un buon esempio di sostenibilità energetica?

La risposta alla questione, sviluppata nella seconda fase della ricerca, assume una rilevanza particolare nel contesto urbano europeo, in cui il patrimonio consolidato prevale sui nuovi

insediamenti. In questa fase le caratteristiche morfologiche, i parametri microclimatici e la performance dei tessuti urbani costituiscono l'elemento imprescindibile di confronto per stabilire strategie – morfologiche, architettoniche e tecnologiche – per il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico e il complessivo miglioramento ambientale delle aree urbane.

Tale approccio, multidisciplinare e multi-scalare, risponde a due tipi di utilità nel settore della progettazione architettonica e urbana: una di carattere scientifico-conoscitivo, l'altra di carattere operativo.

Per perseguire tale obiettivo, si è analizzato il quadro teorico di riferimento per lo studio sulle relazioni esistenti tra morfologia urbana, parametri microclimatici e prestazioni energetiche. L'analisi di alcuni importanti contributi ha confermato l'importanza di tali relazioni mostrandone gli elementi che concorrono all'esistenza di tale rapporto. In questo contesto, si sono rivelati di grande importanza i ragionamenti riguardanti il cambio di scala nella pratica progettuale, dalla scala dell'edificio alla scala urbana, che, pur non mancando di alcune basi teoriche, sembra non essere ancora largamente adottato nelle politiche di intervento sulla città esistente.

Il progetto di riqualificazione energetica alla scala di quartiere presenta, infatti, un maggiore potenziale rispetto alle soluzioni analitiche e progettuali incentrate sulla scala del singolo edificio.

Lo stato dell'arte così delineato ha consentito di predisporre delle basi su cui fondare la terza fase di ricerca. La stessa è stata finalizzata allo sviluppo di una sperimentazione progettuale definita attraverso la costruzione una strategia di intervento utile a perseguire un bilancio energetico locale massimizzato e declinata su due casi applicativi.

Tale strategia olistica, riguardante le diverse discipline progettuali – architettonica-urbana, tecnologica, ambientale – e caratterizzata da interventi puntuali sulle varie componenti del tessuto urbano,

ha mostrato le potenzialità di un progetto integrato alla scala del quartiere, da un lato rispettoso dell'esistente e dall'altro innovativo nelle soluzioni adottate. Le soluzioni previste

La sfida maggiore si è rivelata essere l'integrazione delle soluzioni all'interno del tessuto esistente, rispettando i vincoli imposti dalla normativa di tutela e le condizioni contestuali, pur confermando un elevato livello di efficienza se paragonato a nuovi interventi.

Al contempo, la sperimentazione ha mostrato un ulteriore potenziale della tipologia di intervento proposta, rappresentato dalla possibilità di una riqualificazione formale e funzionale degli ambiti urbani, permettendo di implementare non solo le performance energetiche e le caratteristiche microclimatiche, ma anche qualità e vivibilità degli spazi riqualificati.

Lo studio ha, infine, mostrato alcuni limiti di intervento dettati dalle stringenti e poco flessibili condizioni contestuali. Tuttavia, il potenziale della proposta emerge dalle possibilità fornite dal sistema di condivisione che sta alla base del processo di riqualificazione: le problematiche che possono insorgere nell'ambito dell'efficientamento del singolo edificio tutelato possono essere attenuate o risolte attraverso meccanismi di compensazione che caratterizzano il funzionamento delle cosiddette comunità energetiche.

L'insieme delle strategie ha, quindi, determinato un approccio metodologico al progetto di riqualificazione energetica della città esistente stabilendo alcune direzioni operative che, riadattate in funzione dei diversi contesti di intervento, possono rispondere efficacemente alle esigenze delle realtà urbane.

L'obiettivo che si può dunque perseguire in futuri sviluppi di questo ambito di ricerca, potrebbe essere l'approfondimento della sperimentazione progettuale all'interno di un corso di studi in composizione architettonica, in modo da stimolare maggiormente il dibattito sul legame tessuto urbano-energia, spesso trascurato, e al contempo definire una casistica utile a successive comparazioni di risultati.

Riferimenti Bibliografici

Parte I

Aymonino C., *Lo studio dei fenomeni urbani*, Roma, 1977

Battisti A., Tucci F., *Energia: occasione o minaccia per il paesaggio urbano europeo?*, Technische Universität München, Monaco 2015.

Batty, M., *City and complexity*, MIT Press, Cambridge Massachusetts 2005

Batty, M., *The New Science of Cities*, The MIT Press, Londra 2013

Bishop J. (2017), *Building sustainable cities for the future*, Springer International Publishing, Switzerland

Breil M., 2050: Transizione urbana per un sistema low carbon energy, in "Equilibri, Rivista per lo sviluppo sostenibile" 2/2016, pp. 321-334

Caniggia, G., Maffei G.L., *Composizione architettonica e tipologia edilizia. Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia 1979

Castex J., *L'architecture et la ville*, in «Les Cahiers de la recherche architecturale», n°5, Paris, 1980

Charlot-Valdieu C., Outrequin P. (2011), *L'urbanisme durable. Concevoir un écoquartier*, Le Moniteur, Paris

Chiri G.M., *Climatica: forma urbis*, LIST Lab, Trento 2018.

Daniels K., Hammann R. E., *Energy design for tomorrow*, Axel Menges, London 2009

Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A. (2009). *Climate Change and Spatial Planning Responses* in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, pp. 9-17.

Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A. (2009). *Climate Change and Spatial Planning Responses* in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, pp. 9-17

Davoudi, S. (2009b). *Framing the role of spatial planning in climate change*, in GURU - Global Urban Research Unit. Electronic Working Paper, 43.

De Pascali, P. (2008). *Città ed energia: la valenza energetica dell'organizzazione insediativa*. Milano: Franco Angeli

De Santoli L., *Le comunità dell'energia; introduzione di Jeremy Rifkin*, Quodlibet, Macerata 2011.

Droege P. (2009), *100% renewable*, Earthscan, London.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2011). *Politiche e misure nazionali sui cambiamenti climatici. Elementi per una valutazione*, Roma.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2013). *REA-Rapporto energia e ambiente Scenari e strategie*.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2014b). *Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2015*. Roma.

Firrone T., *Le camere dello scirocco: archetipi bioclimatici della Palermo antica*, In Fatta Giovanni (a cura di), *Palermo Città delle Culture. Contributi per la valorizzazione di luoghi e architetture* (pp. 43-52). Palermo : 40due edizioni.

Fistola, R. (2009). *GIS – Teoria ed applicazione per la pianificazione, la gestione e la protezione della città*. Roma, Gangemi Editore.

Franceschelli S., Gribaudi M., Le Bras H. (2015), *Morphogenèse et dynamiques urbaines*, La Défense : PUCA

Friedman, K. & Cooke, A. (2011). *City Versus National Energy Use: Implications For Urban Energy Policy and Strategies*. *Procedia Engineering*, 21, pp. 464–472.

Friedman, N. (2006). *It's About How and Where We Build: Connecting Energy and Smart Growth 1*, *Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 11, pp. 11–48.

Gossop, C. (2011). *Low carbon cities: An introduction to the special issue*. *Cities*, 28, pp. 495–497.

Graafland A., *Cities in transition: power, environment, society*. nai010, Rotterdam 2015

Howard, J. (2009). *Climate change Mitigation and Adaptation in Developed Nations: A Critical Perspective on the Adaptation Turn in Urban Climate Planning*, in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, 19–32

Ingallina, P. (2019), *Ecocity, knowledge city, smart city: vers une ville écosoutenable?*, Presses universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq

Haas T. (2012), *Sustainable Urbanism and Beyond: Rethinking Cities for the Future*, Rizzoli, New York

Kammen D.M., D.A. Sunter (2016), *City-integrated renewable energy for urban sustainability*, *Science*, 352, p. 6288

- Karimi, K. (2012), "A configurational approach to analytical urban design: 'Space syntax' methodology", *Urban Design International*, 17, 297–318
- Kennedy C.A., N. Ibrahim, D. Hoornweg (2014), Low-carbon infrastructure strategies for cities, *Nat. Clim. Change*, 4
- Kropf, K. (2018). *The Handbook of Urban Morphology*. Hoboken, John Wiley & Sons, Incorporated.
- La Greca, P., *Interventi nella città consolidata. Casi francesi e italiani a confronto*, Gangemi, Roma 1996
- Lehmann S. (2010), *The principles of green urbanism*, Routledge, London and Washington
- Magnaghi A. (2014), *La biorégion urbaine*, Editions Etérotopia, Paris
- Maretto, M (2014) "Sustainable urbanism: the role of urban morphology", *Urban Morphology* 18 (2), 69–70.
- Maretto, M. (2012a) *Saverio Muratori. Un'eredità nella progettazione urbana*, Franco Angeli, Roma-Milano.
- Maretto, M (2012b) *Ecocities. Il progetto urbano tra morfologia e sostenibilità*, Franco Angeli, Roma-Milano.
- Masbouni A., *L'énergie au coeur du projet urbain*, Editions du Moniteur, Paris 2014
- Papa R., Fistola R. (2016), *Smart Energy in the Smart City. Urban Planning for a Sustainable Future*, Springer International Publishing Switzerland.
- Ratti C., Claudel M. (2017), *La città di domani. Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*, Einaudi, Torino
- Rauland V., Newman P. (2015), *Decarbonising Cities. Mainstreaming Low Carbon Urban Development*, Springer International Publishing, Switzerland
- Rassia S. Th., Pardalos P. M., *Cities for smart environmental and energy futures: impacts on architecture and energy futures*, Springer, Heidelberg 2014
- Rifkin J., *La terza rivoluzione industriale*, Mondadori, Milano 2011
- Rogers R., *Città per un piccolo pianeta*, Kappa, Roma 2000
- Rossi, A. (1966) *L'architettura della città*, Marsilio, Padova
- Salat, S., Bourdic, L., Labbe, F., *Breaking symmetries and emerging scaling urban structures, A Morphological Tale of 3 Cities: Paris, New York and Barcelona*, *International Journal of Architectural Research*, Volume 8 – Issue 2 – July 2014 – (77–93)
- Salat, S., *Energy loads, CO2 emissions and building stocks: morphologies, typologies, energy systems and behaviour*, *Building Research and Information*, 2009
- Salat, S., *Urban morphology and the quest for zero carbon cities*, In *Towards o-impact Buildings and Built* 368

Environments, Techne Press, 2010

Salat, S., Nowacki, C., L'efficacité énergétique dans la forme urbaine, In Construire pour un développement durable, AFEX, 2008

Salat, S., Nowacki, C., La forme urbaine, un critère primordial du développement durable, Regard sur la terre 2010, "Villes, changer de trajectoire", Presses de Science Po, (AFD, IDDRI), 2010

Salat, S., Labbé, F., Nowacki, C., & Walker, G. (2011). Cities and forms: on sustainable urbanism. [Paris], CSTB Urban Morphology Laboratory.

Terrin J.J. (2015), Villes et changement climatique : Ilots de chaleur urbains. Barcelona, Lyon, Marseille, Montréal, Nantes, Rennes, Roma, Stuttgart, Toulouse, Wien, Parenthèses Editions, Marseille

Trasi, N., Tufano A., MO.R.E.S. mutant : mobilité et réhabilitation énergétique du bâti : scénarios mutant, Dossier per Ministère de la Culture et de la Communication, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Atelier international du Grand Paris, Veolia Environnement, IEED VeDeCoM, Paris 2015

Trasi, N., Tufano A., Réhabilitation énergétique et mobilité urbaine: Étude de la contrainte patrimoniale au regard de celle de l'énergie Deux quartiers à Rome et Paris, Le Moniteur, Paris 2019

Tucci F., Monticelli C., La dimensione dell'energia nel progetto per la resilienza edilizia e urbana, in: Progettare Resiliente, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2018

Tucci F., Parasacchi A., Cecafozzo V., Le linee guida per le green city. La forma di una nuova consapevolezza, in: ACER, 2018, pp. 82-85.

Tucci F., Battisti A., Rigenerazione e ridensificazione del patrimonio residenziale pubblico con efficientamento bioclimatico e ambientale nel Centro Italia, in: RE-Cycling Social Housing. Ricerche per la rigenerazione sostenibile dell'edilizia residenziale sociale , Clean Edizioni, Napoli, 2015, pp. 172-185.

Yalciner Ercoskun O. (2012), Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities, Business Science Reference, Hershey

World Bank. (2009). World Development Report 2010: Development and Climate Change. Washington, DC, The World Bank.

Parte II

Aymonino C., *Lo studio dei fenomeni urbani*, Roma, 1977

Battisti A., Tucci F., *Energia: occasione o minaccia per il paesaggio urbano europeo?*, Technische Universität München, Monaco 2015.

Batty, M., *City and complexity*, MIT Press, Cambridge Massachusetts 2005

Batty, M., *The New Science of Cities*, The MIT Press, Londra 2013

Bishop J. (2017), *Building sustainable cities for the future*, Springer International Publishing, Switzerland

Breil M., 2050: Transizione urbana per un sistema low carbon energy, in "Equilibri, Rivista per lo sviluppo sostenibile" 2/2016, pp. 321-334

Caniggia, G., Maffei G.L., *Composizione architettonica e tipologia edilizia. Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia 1979

Castex J., *L'architecture et la ville*, in «Les Cahiers de la recherche architecturale», n°5, Paris, 1980

Charlot-Valdieu C., Outrequin P. (2011), *L'urbanisme durable. Concevoir un écoquartier*, Le Moniteur, Paris

Chiri G.M., *Climatica: forma urbis*, LIST Lab, Trento 2018.

Daniels K., Hammann R. E., *Energy design for tomorrow*, Axel Menges, London 2009

Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A. (2009). *Climate Change and Spatial Planning Responses* in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, pp. 9-17.

Davoudi, S., Crawford, J., Mehmood, A. (2009). *Climate Change and Spatial Planning Responses* in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, pp. 9-17

Davoudi, S. (2009b). *Framing the role of spatial planning in climate change*, in GURU - Global Urban Research Unit. *Electronic Working Paper*, 43.

De Pascali, P. (2008). *Città ed energia: la valenza energetica dell'organizzazione insediativa*. Milano: Franco Angeli

De Santoli L., *Le comunità dell'energia; introduzione di Jeremy Rifkin*, Quodlibet, Macerata 2011.

Droege P. (2009), *100% renewable*, Earthscan, London.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2011).

Politiche e misure nazionali sui cambiamenti climatici. Elementi per una valutazione, Roma.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2013). REA-Rapporto energia e ambiente Scenari e strategie.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). (2014b). Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2015. Roma.

Fistola, R. (2009). GIS – Teoria ed applicazione per la pianificazione, la gestione e la protezione della città. Roma, Gangemi Editore.

Franceschelli S., Gribaudi M., Le Bras H. (2015), Morphogenèse et dynamiques urbaines, La Défense : PUCA

Friedman, K. & Cooke, A. (2011). City Versus National Energy Use: Implications For Urban Energy Policy and Strategies. *Procedia Engineering*, 21, pp. 464–472.

Friedman, N. (2006). It's About How and Where We Build: Connecting Energy and Smart Growth 1, *Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 11, pp. 11–48.

Gossop, C. (2011). Low carbon cities: An introduction to the special issue. *Cities*, 28, pp. 495–497.

Graafland A., *Cities in transition: power, environment, society. naio10*, Rotterdam 2015

Howard, J. (2009). Climate change Mitigation and Adaptation in Developed Nations: A Critical Perspective on the Adaptation Turn in Urban Climate Planning, in Davoudi S., Crawford, J., Mehmood, A. (Ed.) *Planning for Climate change. Strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*, London, Earthscan, 19–32

Ingallina, P. (2019), *Ecocity, knowledge city, smart city: vers une ville écosoutenable?*, Presses universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq

Haas T. (2012), *Sustainable Urbanism and Beyond: Rethinking Cities for the Future*, Rizzoli, New York

Kammen D.M., D.A. Sunter (2016), City-integrated renewable energy for urban sustainability, *Science*, 352, p. 6288

Karimi, K. (2012), “A configurational approach to analytical urban design: ‘Space syntax’ methodology”, *Urban Design International*, 17, 297–318

Kennedy C.A., N. Ibrahim, D. Hoornweg (2014), Low-carbon infrastructure strategies for cities, *Nat. Clim. Change*, 4

Kropf, K. (2018). *The Handbook of Urban Morphology*. Hoboken, John Wiley & Sons, Incorporated.

La Greca, P., *Interventi nella città consolidata. Casi francesi e italiani a confronto*, Gangemi, Roma 1996

Lehmann S. (2010), *The principles of green urbanism*, Routledge, London and Washington

- Magnaghi A. (2014), *La biorégion urbaine*, Editions Etérotopia, Paris
- Maretto, M (2014) "Sustainable urbanism: the role of urban morphology", *Urban Morphology* 18 (2), 69-70.
- Maretto, M. (2012a) Saverio Muratori. *Un'eredità nella progettazione urbana*, Franco Angeli, Roma-Milano.
- Maretto, M (2012b) *Ecocities. Il progetto urbano tra morfologia e sostenibilità*, Franco Angeli, Roma-Milano.
- Masboungi A., *L'énergie au coeur du projet urbain*, Editions du Moniteur, Paris 2014
- Papa R., Fistola R. (2016), *Smart Energy in the Smart City. Urban Planning for a Sustainable Future*, Springer International Publishing Switzerland.
- Ratti C., Claudel M. (2017), *La città di domani. Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*, Einaudi, Torino
- Rauland V., Newman P. (2015), *Decarbonising Cities. Mainstreaming Low Carbon Urban Development*, Springer International Publishing, Switzerland
- Rassia S. Th., Pardalos P. M., *Cities for smart environmental and energy futures: impacts on architecture and energy futures*, Springer, Heidelberg 2014
- Rifkin J., *La terza rivoluzione industriale*, Mondadori, Milano 2011
- Rogers R., *Città per un piccolo pianeta*, Kappa, Roma 2000
- Rossi, A. (1966) *L'architettura della città*, Marsilio, Padova
- Salat, S., Bourdic, L., Labbe, F., *Breaking symmetries and emerging scaling urban structures, A Morphological Tale of 3 Cities: Paris, New York and Barcelona*, *International Journal of Architectural Research*, Volume 8 – Issue 2 – July 2014 – (77-93)
- Salat, S., *Energy loads, CO2 emissions and building stocks: morphologies, typologies, energy systems and behaviour*, *Building Research and Information*, 2009
- Salat, S., *Urban morphology and the quest for zero carbon cities*, In *Towards 0-impact Buildings and Built Environments*, Techne Press, 2010
- Salat, S., Nowacki, C., *L'efficacité énergétique dans la forme urbaine*, In *Construire pour un développement durable*, AFEX, 2008
- Salat, S., Nowacki, C., *La forme urbaine, un critère primordial du développement durable*, *Regard sur la terre* 2010, "Villes, changer de trajectoire", Presses de Science Po, (AFD, IDDRI), 2010
- Salat, S., Labbé, F., Nowacki, C., & Walker, G. (2011). *Cities and forms: on sustainable urbanism*. [Paris], CSTB Urban Morphology Laboratory.

Terrin J.J. (2015), Villes et changement climatique : îlots de chaleur urbains. Barcelona, Lyon, Marseille, Montréal, Nantes, Rennes, Roma, Stuttgart, Toulouse, Wien, Parenthèses Editions, Marseille

Trasi, N., Tufano A., MO.R.E.S. mutant : mobilité et réhabilitation énergétique du bâti : scénarios mutant, Dossier per Ministère de la Culture et de la Communication, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Atelier international du Grand Paris, Veolia Environnement, IEED VeDeCoM, Paris 2015

Trasi, N., Tufano A., Réhabilitation énergétique et mobilité urbaine: Étude de la contrainte patrimoniale au regard de celle de l'énergie Deux quartiers à Rome et Paris, Le Moniteur, Paris 2019

Tucci F., Monticelli C., La dimensione dell'energia nel progetto per la resilienza edilizia e urbana, in: Progettare Resiliente, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2018

Tucci F., Parasacchi A., Cecafosso V., Le linee guida per le green city. La forma di una nuova consapevolezza, in: ACER, 2018, pp. 82-85.

Tucci F., Battisti A., Rigenerazione e ridensificazione del patrimonio residenziale pubblico con efficientamento bioclimatico e ambientale nel Centro Italia, in: RE-Cycling Social Housing. Ricerche per la rigenerazione sostenibile dell'edilizia residenziale sociale , Clean Edizioni, Napoli, 2015, pp. 172-185.

Yalciner Ercoskun O. (2012), Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities, Business Science Reference, Hershey

World Bank. (2009). World Development Report 2010: Development and Climate Change. Washington, DC, The World Bank.

Parte III

AAVV., Les cités-jardins de la région Île-de-France, Cahiers de l'IAURIF, n° 51, mai 1978.

Baty Tonikian G., SELLALI A., Cités-jardins : genèse et actualité d'une utopie. Paris, éditions Recherches. IPRAUS, 2001.

Champeaux J., Champeaux N, Les cités-jardins. Un modèle pour demain. Foncier Conseil, Paris, 2007.

Chemetov P., Dumont M.-J., Marrey B., Paris banlieue 1919-1939. Architectures domestiques, Paris, Dunod, 1989.

Frouard H., L'architecte Félix Dumail (1883-1955) et le logement social, Université Paris IV, maîtrise d'histoire de l'art, 1991.

- Gaudry G., Les jardins de la cité, Les Cités-jardins de la banlieue du nord-est parisien, Le Moniteur, Paris, 2007.
- Guerrand R., Moissinac C., Henri Sellier, urbaniste et réformateur social, éditions La Découverte, Paris, 2005.
- Horne J., Cités-jardins, Genèse et actualité d'une utopie, Les Cahiers de l'IPRAUS n°2, Editions Recherches / IPRAUS, Paris, 2001, p.73-82.
- Howard E., Les cités-jardins de demain, Paris, Sens & Tonka, 1998.
- Lempereur H., L'urbanisme des HBM au Pré-Saint Gervais de 1920 à 1954 : la cité-jardin Henri Sellier, dans Le Pré, entre Paris et Banlieue. Histoire(s) du Pré-Saint-Gervais, Paris, Créaphis, 2004.
- Rahm P., Histoire naturelle de l'architecture: Comment le climat, les épidémies et l'énergie ont façonné la ville et les bâtiments, Pavillon de l'Arsenal, Paris 2020
- Pouvreau B., Couronné M., Laborde M.-F., Gaudry G., Les cités-jardins de la banlieue du nord-est parisien, Paris, Le Moniteur, 2007
- Pouvreau B., Le logement social en seine-saint-denis (1850-1999) - itinéraires du patrimoine, n.286, 2003
- Roze T., Les cités-jardins de la Région Île-de-France, Cahiers de l'IAURIF, Volume 51, mai 1978.
- Sellier H., La Cité-Jardin du Grand Paris, La Vie urbaine, nO 5, 1920, p. 63-77.
- Sharifi A., From Garden City to Eco-urbanism: The quest for sustainable neighborhood development, Sustainable Cities and Society, Volume 20, 2016, p.1-16.
- Ŝúri, M., Hofierka, J., A new GIS-based solar radiation model and its application to photo-voltaic assessments. Transactions in GIS, 8(2):175-190, 2004
- Ward S., The Garden City. Past, Present and Future, E. & F.N. Spoon, London, 1992.

Pascal Federico CASSARO

Tissu urbain, énergie, microclimat.

**Une stratégie d'intervention architecturale pour la
requalification énergétique de la ville existante.**

Résumé

Le rôle crucial de la ville existante nous confronte à la nécessité de développer de nouvelles pratiques de requalification énergétique du tissu urbain déjà construit.

L'augmentation du CO2 et l'effet d'îlot de chaleur urbain sont deux des principaux problèmes qui déterminent le changement climatique de notre planète. En particulier, le patrimoine bâti de la ville consolidée représente un composant de l'organisme urbain particulièrement influent dans le budget global, et nécessite donc des actions de réhabilitation énergétique soigneuses et opportunes.

Le travail suivant vise à mettre en évidence la relation entre les paramètres morphologiques, climatiques et énergétiques pour identifier les critères valables d'intervention sur la ville existante.

La méthodologie, définie à travers l'analyse et la systématisation de la littérature considérée, est testée sur deux cités-jardins, Paris et Rome, dans le but de fournir une stratégie de conception orientée vers la résilience du tissu urbain à travers la réduction de la consommation d'énergie et l'atténuation des problèmes microclimatiques.

Mots-clés: Microclimat – Énergie - Morphologie urbaine - Ville existante

Résumé en anglais

The crucial role played by the existing city confronts us with the need to develop new practices on the urban fabric already built.

At a moment when world's attention is focused on the near future of our cities, we are preparing to establish useful criteria for the ongoing energy transition; in particular, this work is part of the theoretical reference context outlined in the studies carried out by P. Droege and S. Lehman concerning the energy transition, in the work of the Urban Morphology Institute in Paris focused on the study of urban morphology and in the recent study 'Solar cities of the Senseable city lab directed by C. Ratti. In order to analyze the relationship between energy and morpho-typology within the existing urban fabric and, at the same time, to develop an immediately operational intervention methodology, the work will focus on that part of the city called 'consolidated'. Cities in fact are directly responsible for a large part of the energy consumption of the urban fabric, as demonstrated by numerous studies that will be treated and explained within the work. Specifically, will be considered a piece of the city strongly characterized from a historical, architectural and morphological point of view: that of the garden city.

The study will be conducted on two garden cities in the metropolitan areas of Paris and Rome: the cité jardin du Pré-Saint-Gervais and the garden city Aniene. A concluding chapter will explain a critical synthesis of the analyzes carried out and in the light of the results that emerged, it will propose operational methods for intervening in the research context.

Keywords: Microclimate – Energy – Urban Form – Existing city