

PERFORMANCES ENERGETICHE DELLA MORFOLOGIA URBANA: LE TIPOLOGIE URBANE DELLA CITTÀ DI MILANO IN RAPPORTO AL FABBISOGNO ENERGETICO.

Matteo DONI¹, Christian KEIM²

SOMMARIO

Il contributo ha come oggetto la stima del fabbisogno energetico della città di Milano a partire dall'analisi delle performances energetiche di vari brani di tessuto urbano. La metodologia sviluppata ha il fine di correlare i temi dell'analisi urbana con quello del consumo energetico. L'immagine puntuale e d'insieme dei tessuti analizzati consente dei confronti sulle prestazioni energetiche delle varie parti della città in funzione dell'epoca di costruzione, della densità, della morfologia prevalente, delle tecniche costruttive. La città di Milano è stata analizzata in relazione alla domanda energetica per diverse tipologie residenziali. A questo scopo è stato sviluppato un modello integrato nel sistema d'informazione geografica (GIS) ArcGIS 9.3 di ESRI. La ricerca si è focalizzata sul fabbisogno di energia da riscaldamento ed è direttamente correlato con la tipologia degli edifici e le tecniche costruttive applicate. Il modello utilizzato prende le premesse dalla quantificazione del comportamento energetico di ogni singolo edificio, applicando poi una generalizzazione delle informazioni ed una semplificazione di alcuni parametri, giungendo così ad una stima delle relazioni che intercorrono tra tipologie urbane diverse nella città, consentendo la valutazione del rapporto tra morfologia urbana e fabbisogno energetico.

¹ Dottorando presso il Diap – Dipartimento di Architettura e Pianificazione, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 3, 20133 Milano – Italy, email: matteo.doni@polimi.it

² EIFER – Emmy-Noether-Str. 11, 76135 Karlsruhe – Germany, email: keim@eifer.org

1 Introduzione - perché Milano ed il settore residenziale

La città rivesta un ruolo importantissimo per quanto riguarda le tematiche della sostenibilità energetica, ma è solo negli ultimi anni che è emersa una sempre maggiore attenzione all'insediamento nel suo complesso (Commission of European Communities, 2007) rispetto alla sola scala edilizia. Se si considera poi il fatto che la città risulta un insieme complesso di relazioni tra spazi aperti e costruiti, è molto importante approfondire gli studi anche ad un livello differente (Droege, 2006). In particolare, l'interazione tra elementi architettonici e impianto urbanistico risulta essere un campo solo ultimamente in corso di esplorazione (Diappi, 2000; APUR, 2007; Viejo *et al.*, 2008).

Partendo da queste considerazioni, la ricerca mira ad indagare la valenza fisico-spaziale dell'energia all'interno della città, fondamentale proprio perché è all'interno delle aree urbanizzate che la domanda energetica assume un ruolo importantissimo: “*Cities consume the vast majority of the world's energy*” (The World Bank, 2009). Nel panorama internazionale si osservano molte agenzie di ricerca che si occupano di tematiche energetiche, un ruolo di rilievo è rivestito dall'*International Energy Agency*, che dal 2007 si è fatta promotrice della necessità di maggiori riflessioni sulle questioni energetiche da parte dei governi locali: “*...energy efficiency goals and action plans at all levels of government*” (IEA, 2008). Ma è anche vero che gli “enti città”, sebbene significativi consumatori di energia e responsabili della maggior parte del consumo energetico nazionale, possiedono limitate aree di azione, e le normative di edificazione implementano più o meno facilmente il ricorso a requisiti di efficienza energetica. L'influenza indiretta dell'uso energetico nelle città è determinata dalla pianificazione urbana per quanto riguarda l'inserimento di funzioni ed il loro conseguente impatto sulla forma urbana e sulle infrastrutture di trasporto. Alcune analisi (ENEA, 2008) mostrano come l'incidenza del settore residenziale e terziario in Italia si attesti intorno al 32 % nell'uso finale dei consumi di energia. Osservando i consumi finali di energia nel solo settore residenziale, il riscaldamento occupa una percentuale del 70% (ENEA, 2008). Dunque una significativa quota di energia è spesa per il riscaldamento: questo è principalmente dovuto alla struttura delle abitazioni italiane, che per 2/3 sono di costruzione antecedente alla legge 373/77 (Casoli *et al.*, 2005). L'applicazione di norme o azioni sugli edifici residenziali e terziari consentirebbero consistenti risparmi di energia, con un potenziale di riduzione stimato rispettivamente al 27% e al 30% (ENEA, 2008). In questo quadro le abitazioni rivestono un ruolo significativo nei consumi energetici, ma le stesse abitazioni si concentrano prevalentemente nelle città, che come abbiamo visto, sono il maggior luogo di concentrazione della popolazione.

La sola città di Milano presenta consumi energetici superiori a intere regioni italiane attestandosi intorno ai 3.546 tep (contro una media nazionale per regione di 6.653 tep),

inoltre, il consumo tep per anno di Milano è simile a quello della regione Sardegna, pur avendo una superficie territoriale inferiore di 130 volte (Agenzia Mobilità e Ambiente, 2007). I dati disponibili sulla città di Milano mostrano un quadro dei consumi energetici destinato per il 43,5% ad usi civili; 37,5% ad usi industriali-terziari, 18,20% a trasporti (Agenzia Mobilità e Ambiente, 2007). Un ulteriore approfondimento mostra il ruolo rivestito dal riscaldamento del settore civile, il quale ricopre il 30% dei consumi energetici milanesi andando pertanto ad incidere notevolmente anche sulle emissioni di inquinanti in atmosfera. Queste sintetiche riflessioni hanno determinato la scelta di analizzare Milano rispetto alla domanda energetica del settore residenziale, data la significativa incidenza del solo riscaldamento sui consumi complessivi dell'organismo città. Se poi si considerano le possibilità di riduzione e risparmio energetico conseguenti ad eventuali interventi sul patrimonio edilizio esistente, ciò potrebbe consentire notevoli risparmi in termini di sostenibilità economica, sociale ed ambientale.

2 Metodologia - Un approccio per tessuti

L'obiettivo di indagare il rapporto esistente tra domanda di energia e forma urbana, vede come premesse l'osservazione e il confronto delle caratteristiche urbanistiche che connotano diverse parti di città, che corrispondono a diverse grandi famiglie di macro tessuti urbani milanesi. Con il termine "tessuto urbano" si intende un'organizzazione territoriale, urbanistica-edilizia, che presenta caratteri di omogeneità dal punto di vista della trasformazione storica, del rapporto formale e dimensionale tra spazi pubblici e spazi privati, del rapporto tra tipo edilizio e lotto di riferimento, con la prevalenza di una o più funzioni urbanistiche principali. Partendo da questa definizione sono state considerate 25 porzioni di tessuti urbani (con una dimensione di 500 metri per lato), classificate ed analizzate in base agli aspetti urbanistici sopra riportati. Il processo di identificazione di questi ambiti ha seguito una semplificazione e generalizzazione, in modo da far emergere i caratteri salienti di ciascuno di essi. Tale processo di semplificazione ha permesso di identificare nella città 5 categorie (macro tessuti) in cui è possibile aggregare i 25 tessuti urbani studiati: *Traditional urban block* – (TUB); *Regular urban block* – (RUB); *Slab housing* – (SH); *Tower block housing* – (TB); *Detached housing* – (D). L'analisi dei macro tessuti ha riguardato anche alcuni parametri urbani calcolati tramite GIS, permettendo di evidenziare sinteticamente le caratteristiche prevalenti per ogni tipologia considerata. Come anticipato, l'evoluzione storica è un elemento che ha consentito di classificare le parti di città in queste cinque macro-categorie. Osservando la crescita urbana di Milano rispetto alla maglia viaria generata dai Piani Regolatori, si nota un modello di sviluppo di tipo radiocentrico, dove la città è cresciuta per addizioni storiche, successive e stratificate.

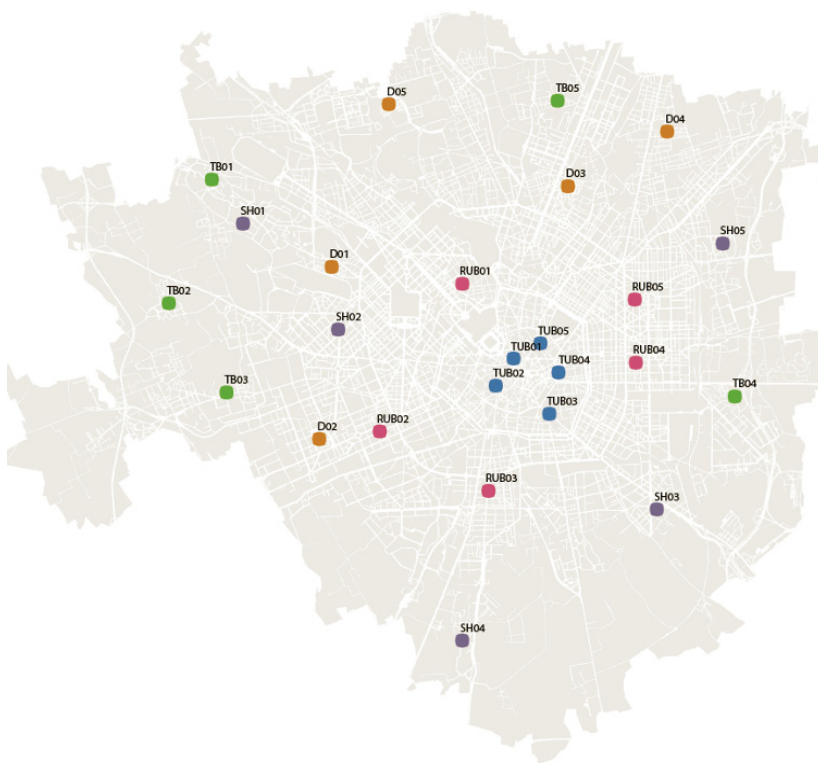


Figura 1 - Localizzazione dei 25 macro tessuti

Il primo piano milanese è il Piano Beruto del 1889 che amplia la città aggiungendo una fascia d’espansione a corona del vecchio centro, attraverso isolati di media grandezza e nuove tipologie edilizie (Oliva, 2002). Nel 1912 gli ingegneri Pavia e Masera redigono il secondo PR per la città che in sostanza ripropone i criteri di quello precedente (anche se con maggiore densità), aggiungendo una nuova rete di strade a corona attorno alle precedenti. Nel 1934 è redatto un nuovo PR (a cura dell’ingegner Alberini) costituito da un fitto reticolo viario, anch’esso a corona dei precedenti, tale da raggiungere i limiti comunali, solo attuato in casi sporadici. Gli ultimi due PR vanno a dare indicazioni – sventramenti e saturazioni, anche conseguenti al piano di ricostruzione post bellica – su tessuti storici e in generale sulla città esistente. Il PRG del 1953 introduce gli azzonamenti funzionali - secondo i criteri della legge del 1942 – con una progressiva saturazione edilizia delle aree libere anche prossime al centro storico, portando quindi alla realizzazione di edifici “moderni” all’interno di contesti prevalentemente storici. Il PRG prevede, inoltre, il completamento dei tessuti disegnati dai piani precedenti con indici volumetrici diversi, oltre che la realizzazione di nuovi quartieri residenziali, anche di tipo autosufficiente in zone periferiche.

2.1 I caratteri urbanistici dei tessuti urbani

Un approfondimento sulle caratteristiche urbanistiche che distinguono questi macro tessuti consente di specificare meglio le differenze tra i brani di città presi in esame.

Le parti di città classificate nel *Traditional Urban Block (TUB)* corrispondono a quei tessuti localizzati nella zona della città storica, caratterizzati da una morfologia edilizia tale da creare una cortina continua su filo strada, formata da edifici singoli o agglomerati. Le altezze dei complessi edilizi sono in media comprese tra i quattro e sei piani fuori terra. La storia urbana milanese ci ha insegnato che all'interno di questi tessuti sono avvenute nel corso dei secoli una serie di sostituzioni edilizie, generando morfologie urbane a volte differenti, ma sempre caratterizzate per un'alta densità. Si notano isolati con netta prevalenza di funzioni terziarie, frutto delle politiche urbanistiche dei Piani Regolatori che hanno governato la crescita della città (esemplificativo il caso del Piano del '53, che anziché favorire il decentramento del terziario prevedeva un'ulteriore concentrazione nella zona centrale). Il mix funzionale vede anche la presenza di funzioni residenziali (dove spesso il piano terra è commerciale) e servizi.

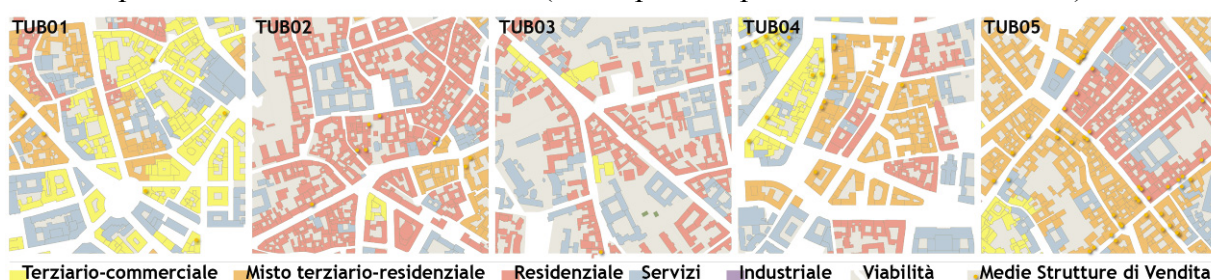


Figura 2 - Funzioni prevalenti nella tipologia *Traditional Urban Block*

Alla tipologia *Regular Urban Block (RUB)* appartengono parti di città presenti nelle zone a corona del centro storico, dove è riconoscibile il disegno urbanistico dei tracciati viari, appartenenti ai PR storici del 1889 (Piano Beruto) e del 1912 (Piano Pavia-Masera). Prevalgono tessuti chiusi a medio-alta densità caratterizzati da edifici in linea o a corte che formano un fronte continuo su strada. Gli edifici presentano altezze molto varie, comprese in media tra i quattro e gli otto piani fuori terra, con una sufficiente dotazione di verde privato e spazi pertinenziali, accessibili tramite androni carrabili. La destinazione prevalente è quella residenziale, con attività commerciali e di servizio al pian terreno, garantendo un medio mix funzionale.

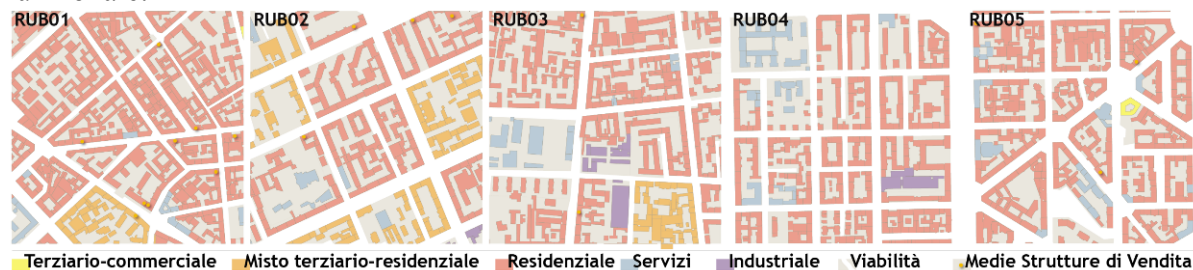


Figura 3 - Funzioni prevalenti nella tipologia *Regular Urban Block*

I tessuti urbani appartenenti alla tipologia *Slab Housing (SH)* sono parti di città localizzate nelle zone urbane semiperiferiche, brani di città dove il tipo edilizio prevalente è l'edificio

residenziale a stecca. Dunque tessuti aperti a medio alta densità, con edifici arretrati rispetto al filo stradale e tipologie edilizie simili; si caratterizzano per la presenza di spazi verdi o aperti tra i corpi di fabbrica, determinando così una maggiore permeabilità anche di tipo visivo. Questi tessuti possiedono un impianto compositivo e tipologico spesso aderente al canone razionalista, con edifici liberi o orientati rispetto l'asse elio termico, all'interno di una maglia stradale spesso ortogonale e con altezze medie superiori a quattro piani fuori terra. Generalmente queste tipologie di tessuti sono frutto di un progetto comune e quindi un disegno unitario, spesso finalizzato alla costruzione di quartieri a prevalente carattere popolare. Esempi in questo senso sono i tessuti realizzati dall'Istituto Case Popolari: il quartiere Feltre (sorto sul finire degli anni Cinquanta), il Gallaratese (prima metà degli anni Sessanta) e il Selinunte (uno dei più grandi quartieri popolari realizzato tra il 1935 e il 1947). I canoni progettuali utilizzati hanno determinato lo sviluppo di tessuti con discreta dotazione di verde, ed ottima permeabilità dei suoli. Si nota il netto prevalere di edifici a funzione residenziale, intervallati da edifici a servizi, determinando un basso mix funzionale.

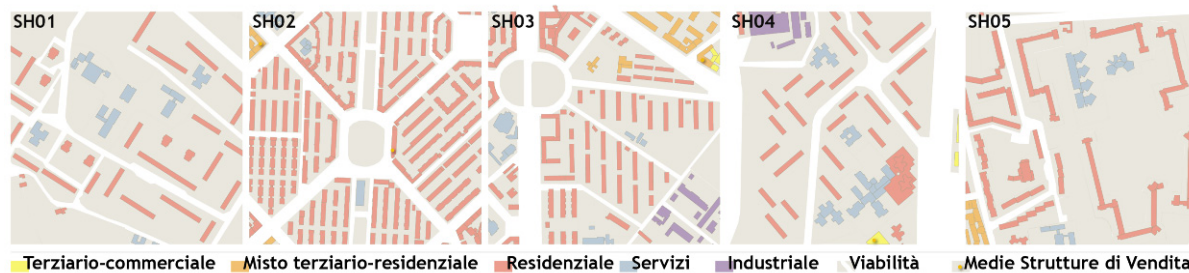


Figura 4 - Funzioni prevalenti nella tipologia Slab Housing

I tessuti urbani rientranti nella macrotipologia delle *Tower Block housing (TB)*, possiedono caratteri urbanistici simili alla categoria delle *slab housing*, ma in questo caso prevalgono edifici a torre che è parte di un disegno urbano in cui sono presenti anche edifici a stecca, si osserva un'altezza media solitamente superiore ai cinque piani fuori terra. La lettura dell'evoluzione storica colloca la nascita di questi tessuti dopo gli anni '50 come per i quartieri unitari delle *slab housing*, ma spesso derivanti anche da progetti organici posteriori agli anni settanta. La configurazione generale di queste parti di città determina lo sviluppo di tessuti con buona dotazione di verde, con edifici a prevalente funzione residenziale, spesso intervallati da edifici destinati a servizi di quartiere, con basso mix funzionale.

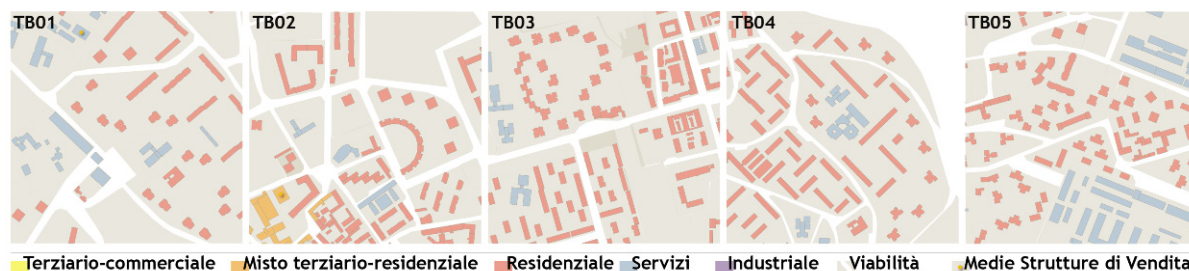


Figura 5 - Funzioni prevalenti nella tipologia Tower Block

La tipologia delle *Detached housing* (D) si caratterizza per la prevalenza di edifici con una bassa densità edilizia. I tessuti di questo tipo si localizzano nelle zone urbane semiperiferiche, ma non è rara la localizzazione semicentrale spesso causata dalle scelte dei piani urbanistici. Si osserva un netto prevalere della destinazione residenziale basata su una lottizzazione frammentata che privilegia le tipologie della villetta singola/bifamiliare, mini-palazzina o a schiera. Gli immobili sono isolati su lotto, con un'altezza variabile tra 1-3 piani e sono dotati con una discreta quantità di verde privato, che garantisce una buona permeabilità del terreno. Le parti di città con questa configurazione appartengono a diversi periodi storici (prevalentemente nel dopoguerra, ma anche i PR Beruto e Pavia-Masera spesso localizzano aree a villini, come nel caso della Maggiolina). Alcuni di questi tessuti a bassa densità sono frutto di un progetto pionieristico (questo è il caso del QT8, quartiere sperimentale dell'edilizia moderna, nato tra il 1946 e il 1949, in occasione dell'ottava Triennale di Milano e caratterizzato per l'accostamento di molteplici tipologie edilizie, tra cui anche l'isolato su lotto e la schiera), piuttosto che di una chiara volontà progettuale (per esempio il Villaggio dei Giornalisti edificato intorno gli anni sessanta). Per questi tessuti è facilmente distinguibile un'organizzazione ortogonale delle strade, dove il disegno urbanistico determina una discreta dotazione di verde pubblico, che se associata alla percentuale di verde privato, porta ad avere un'alta permeabilità dei suoli. Il mix funzionale è relativamente basso, giacché prevalgono edifici a funzione residenziale, anche se è possibile riscontrare la presenza di aree destinate a servizi.

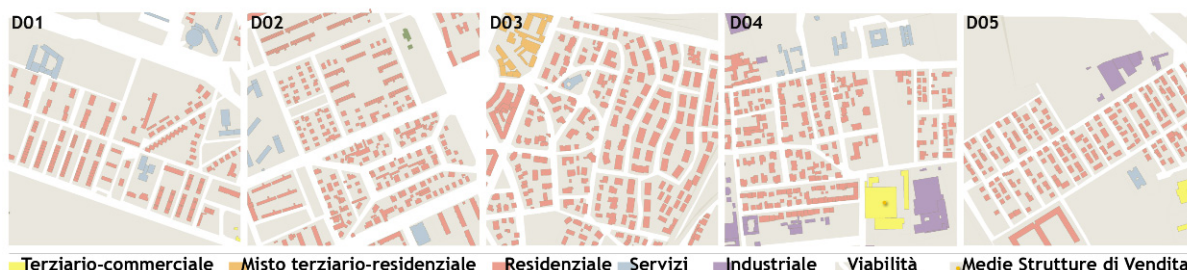


Figura 6 - Funzioni prevalenti nella tipologia *Detached Housing*



Grafico 1 - Suddivisione percentuale delle superfici occupate per diversa destinazione funzionale (a sinistra) e suddivisione percentuale per funzioni della Superficie lorda pavimentata



Grafico 2 - Percentuali medie per funzioni prevalenti, valori medi di superficie coperta e indice edilizio medio per tipologia di tessuti

3 I tessuti in dettaglio

Come abbiamo visto i tessuti scelti possono essere classificati a seconda delle caratteristiche principali che li distinguono. Tali caratteri distintivi appartengono a due classi: sia di tipo qualitativo (vale a dire quei caratteri connessi alla storia urbanistica che ne ha determinato l'origine, piuttosto che alla funzione prevalente o alla morfologia), sia di tipo quantitativo (metri quadri costruiti, percentuale di superficie coperta, indici edilizi, ecc.).

Dato l'obiettivo di classificare i tessuti urbani secondo la variabile della domanda energetica di calore, è stato necessario approfondire l'analisi della componente costruita di ogni tessuto, analizzando gli edifici presenti. Questo è stato fatto tramite l'individuazione di tipologie edilizie prevalenti, al fine di applicare parametri omogenei ad edifici simili. L'applicazione di parametri affini è giustificata anche dall'esigenza di osservare gli edifici dal punto di vista della capacità termica: l'uso di materiali costruttivi diversi causa un diverso comportamento nel rapporto tra le superfici di confine (l'ambiente esterno e quello interno) dell'involucro edilizio, comportando una differenza termica, andando così a incidere sul consumo generale dell'edificio e quindi anche del tessuto urbano in cui è inserito. Questo concetto è estendibile sia alle componenti opache sia a quelle trasparenti, pertanto si è ritenuto opportuno individuare una serie di valori medi da applicare alle diverse tipologie edilizie (l'epoca di costruzione, la trasmittanza medie delle superfici opache e trasparenti). Il processo di definizione di questi parametri ha seguito differenti approcci e semplificazioni con l'intenzione di costruire un modello generale applicabile sul territorio comunale, data l'evidente difficoltà di redigere indagini ad hoc per tutti gli edifici appartenenti ai tessuti presi in esame. Prima di illustrare le modalità attraverso cui sono stati individuati i valori medi applicati alla trasmittanza delle superfici opache e trasparenti, è necessario comprendere il procedimento che ha permesso di individuare diverse tipologie edilizie.

3.1 Le tipologie edilizie nei tessuti

Il processo di classificazione ha esaminato gli edifici tramite i seguenti indicatori:

- *uso del suolo*, funzione prevalente dell'isolato urbano in cui l'involucro è inserito (F);
- *piani fuori terra*, altezza media in termini di piani fuori terra (S);
- *impronta a terra dell'edificio* (C);
- *rapporto superficie costruita e perimetro*, al fine di valutare la complessità (C/P);
- *rapporto tra impronta a terra e volume*, che valuta la compattezza dell'edificio (C/V);
- *rapporto tra piani fuori terra e superficie costruita*, per valutare l'intensità dell'edificazione (S/C);
- *rapporto superficie e volume*, indice di compattezza (Sf/V) ;
- *muri interni ed esterni*, percentuale delle pareti di contatto tra edifici.

L'analisi degli aspetti geometrici dell'edificio è un elemento molto importante dato che influisce in maniera significativa sugli scambi termici ai fini del calcolo energetico. Di seguito sono elencate le tipologie edilizie identificate secondo i criteri sopraesposti, presenti all'interno dei tessuti analizzati, la cui combinazione caratterizza i brani di città considerati nella ricerca.

Parametri	Villa isolata su lotto	Villetta a schiera	Stecca ad alta densità	Stecca a bassa densità	Torre	Blocco	Grande corte	Edificio intercluso	
								linea	corte
Funzione prevalente	Residenziale	Residenziale	Residenziale	Residenziale	Residenziale	Ind.Comm. Terziario	Misto	Misto	Misto
Piani fuori terra(S)	≤ 3 Pt	≤ 3 Pt	≥ 4 Pt	≤ 4 Pt	> 4 Pt	≤ 5 Pt	≥ 2 Pt	≥ 2 Pt	≥ 2 Pt
Impronta a terra dell'edificio(C)	≤ 250	≤ 100	≥ 150	> 70 < 450	> 120 < 600	> 300	> 130	> 70	> 70
Impronta a terra/perimetro(C/P)	≤ 6	≤ 6	>10 <40	> 1 < 5,2	> 2,5 < 5,5	> 2,5	> 2,5	> 1	> 1
Impronta a terra/volume(C/V)	< 0,25	< 0,25	< 0,18	> 0,15 < 0,70	> 0,15 < 0,70	< 0,50	< 0,50	>0,02	>0,02
Altezza edificio/impronta a terra(S/C)	< 0,25	< 0,25	< 0,10	> 0,3 < 0,6	< 0,70	> 0,1 < 0,5	> 0,1 < 0,5	> 0,1	> 0,1
Rapporto superficie/volume(Sf/V)	> 0,45	> 0,75	< 1	≥ 0,3 ≤ 1,35	≥ 0,25 ≤ 0,60	0,68	0,68	≥ 0,25	≥ 0,25
Muri Interni (MI) e Muri Esterni (ME)	ME>50%P	ME>30%P	ME=P	ME>80% P	ME= P	ME>80%P	ME>80% P	-	-
Perimetro (P)	-	-	-	≤ 100	≥ 40 e ≤ 160	> 100	> 100	-	-

Tabella 1 – Le tipologie edilizie individuate ed i parametri geometrico-funzionali utilizzati

Considerando i valori e i parametri riportati nella tabella precedente, è possibile identificare le seguenti tipologie di edifici:

- *Villa isolata su lotto e villetta a schiera*, edifici residenziali caratterizzati per una bassa densità edilizia, oltre che per il fatto di trovarsi prevalentemente isolati su lotto. Gran parte degli edifici di questa tipologia sono concentrati in una fascia in cui il rapporto Sf/V è compreso tra 0,5 ed 1 (valore medio di 0,85). Gli edifici a schiera possiedono parametri differenti rispetto alla casa isolata su lotto: i rapporti di Sf/V risultano maggiori di 0,75; posseggono, inoltre, una minore estensione dei muri esterni rispetto al perimetro dell'edificio.
- *Stecca ad alta densità*, edifici residenziali caratterizzati in primo luogo da una densità edilizia abbastanza elevata, secondariamente da una relativa prevalenza del perimetro rispetto

all'impronta a terra ed infine per il fatto di trovarsi isolati su lotto. Gran parte degli edifici si concentrano in una fascia in cui il valore medio di Sf/V è pari a 0,40.

- *Stecca a bassa densità*, edifici di tipo residenziale che risultano avere delle caratteristiche intermedie tra quelli prima identificati. Gli edifici rientranti in queste categorie hanno generalmente una media densità edilizia, oltre ad essere prevalentemente isolati su lotto. Gran parte degli edifici sono concentrati in una fascia in cui il rapporto Sf/V è compreso tra 0,35 e 0,65 (valore medio di 0,52).

- *Torre*, edifici residenziali caratterizzati da una densità edilizia elevata, ad impianto urbano irregolare e senza un diretto contatto con altri blocchi edilizi. Gran parte degli edifici appartengono ad una fascia in cui il rapporto Sf/V è compreso tra 0,25 e 0,45 (valore medio 0,35) dove prevale il volume dell'edificio rispetto l'involucro edilizio.

- *Blocco*, edifici con funzione prevalente terziario-commerciale e/o industriale caratterizzati da una densità edilizia medio-alta, dovuta soprattutto all'estensione della superficie costruita. Il rapporto Sf/V solitamente è maggiore di 0,4 (valore medio 0,58), in queste tipologie rientrano quindi tipicamente gli edifici a "blocco" o "piastra" solitamente liberi su lotto, a medio-alta densità.

- *Grande corte*, edifici con funzione mista sia di tipo terziario-commerciale, di servizi e residenziale. Anche in questo caso si osservano edifici con caratteristiche intermedie tra quelli precedenti, in generale possiedono una densità edilizia elevata e si inseriscono in contesti densi spesso con un diretto contatto con altri blocchi edilizi. Gran parte degli edifici sono concentrati in una fascia in cui il rapporto Sf/V è compreso tra 0,25 e 0,35 (valore medio 0,3). In queste tipologie rientrano tipicamente gli edifici a "corte" di grandi dimensioni ed in grado di occupare anche l'intero isolato, con una medio-alta densità edilizia.

- *Altra tipologia - edificio intercluso*, per questa tipologia si devono fare riflessioni supplementari. Gli edifici interclusi appartengono prevalentemente ai tessuti storici, dove la principale caratteristica è proprio la complessità delle forme dell'involucro edilizio. Tra le caratteristiche comuni vi è la commistione di funzioni presenti, spesso con il piano terra dedicato al commercio mentre gli altri riservati ad attività varie sia di tipo terziario sia residenziale. Un elemento caratterizzante risulta la continuità dell'edificato con estese superfici di contatto (un $\frac{1}{4}$ degli edifici ha un'estensione del perimetro esterno minore di quello di contatto con altri edifici). Osservando l'altezza in piani fuori terra (S) questa risulta nell'80% dei casi maggiore di 4 piani. Il rapporto Sf/V è generalmente sempre maggiore a 0,25, almeno il 60% degli edifici possiede anche un rapporto Sf/V minore di 0,6 indicante non solo la possibilità di una complessità dell'involucro edilizio, ma anche una certa compattezza tipica dei contesti storici. Data la difficoltà di individuare tipologie ben definite tramite i parametri riportati, è necessario fare riferimento al rapporto che questi edifici hanno rispetto ad altri elementi urbani, come per esempio con le strade oltre che con gli altri complessi edilizi. In particolare, la geometria dell'involucro risulta essere un utile elemento per

suddividere – almeno indicativamente – questi edifici in due principali categorie: *corte* e *linea*.

Per quanto riguarda gli edifici a *corte*, si presentano come complessi che tendono a individuare una corte per la forma degli edifici a “C”, o “L”. In generale hanno caratteristiche simili alla tipologia delle “grandi corti”, ma hanno dimensioni e densità più ridotte. Sulla totalità degli edifici si osserva come gran parte (65%) possa essere collocata in isolati con funzione prevalentemente residenziale. Sebbene si osservino caratteristiche e valori differenti, si può comunque dedurre dal rapporto Sf/V una concentrazione maggiore di edifici nella fascia 0,6-0,3 (valore medio pari a 0,46) quindi edifici mediamente compatti aventi inoltre forme complesse. Per quanto riguarda gli edifici in *linea*, questi si organizzano prevalentemente lungo il filo strada, possiedono caratteristiche dimensionali e di rapporti simili a quelli delle tipologie “semplici” precedenti ma si differenziano per avere uno o più muri perimetrali in comune. Gli edifici rientranti in questa tipologia per più del 75% dei casi appartengono ad isolati con funzione prevalentemente residenziale. Per quanto riguarda il rapporto Sf/V risulta trovarsi nella fascia 0,25-0,50 (valore medio pari a 0,37).

3.2 L'epoca di costruzione

L'età di una costruzione ha conseguenze dirette sullo stato dell'edificio, in relazione sia alle scelte dei materiali sia alle tecnologiche proprie del periodo in cui l'edificio è stato realizzato. Da alcune ricerche sul caso Lombardo (Ruggieri *et al.*, 2007) è possibile delineare un quadro generale degli edifici esistenti che si discosta parzialmente da quello nazionale soprattutto per l'intensità attraverso cui è avvenuta l'edificazione. Si osserva un forte trend di crescita specialmente dagli anni del dopoguerra (1951-1991) - in linea con i caratteri nazionali - anche se la produzione edilizia in termini quantitativi è stata superiore rispetto alla media nazionale. Tale sviluppo ha visto un freno nell'ultimo decennio, dove prevalgono interventi di riqualificazione dell'esistente.

A causa dell'inaccessibilità di alcuni dati (in particolare l'epoca di costruzione per singolo corpo edilizio) l'approccio per lo studio del caso milanese ha comportato una serie di semplificazioni, ed aggregazione di informazioni, prendendo come input i dati dei censimenti ISTAT (Abitazioni per epoca di costruzione, 2001) suddivisi per sezioni³. Questo ha permesso di assegnare un'epoca di costruzione ai 25 tessuti presi in esame per il calcolo del fabbisogno di calore, e successivamente anche un valore di trasmittanza differente a seconda del diverso materiale tipico del periodo storico.

³ Unità minima di rilevazione dei dati del territorio (fonte Istat). In media le sezioni sono composte da 67 famiglie e 193 individui e spesso la forma della sezione coincide con l'isolato urbano.

Dai dati disponibili si evince come gran parte del parco edilizio milanese (più del 70%) è comunque anteriore alla legge 373/76, inerente al risparmio energetico. I dati purtroppo non tengono conto dei rinnovamenti edilizi e delle ristrutturazioni, elemento questo importantissimo nella questione energetica. Ovviamente la lettura della città attraverso l'aggregazione dei dati del censimento non mostra la situazione reale ma una sua semplificazione, per questo motivo è necessario evidenziare anche la maggiore o minore variabilità dell'epoca presente in ogni sezione di censimento. Osservando le sezioni di censimento che compongono il tessuto edilizio residenziale si nota come le zone centrali risultano avere maggiori variabilità in termini di periodo di costruzione dell'edificio. Mentre per le zone più periferiche la variabilità tende a diminuire trovandosi in settori cresciuti secondo progetti più omogenei.

Per assegnare l'epoca di costruzione ad ogni edificio appartenente ai 25 tessuti urbani considerati si è fatto riferimento alla sezione di censimento in cui l'edificio si localizza. Nei casi in cui ad una stessa sezione il censimento assegni più epoche di costruzione, si è fatto ricorso alla costruzione di una matrice capace di relazionare la tipologie edilizia con il periodo di costruzione (matrice tipologia-epoca storica). Ciò ha consentito di escludere per alcune tipologie edilizie (come per esempio gli edifici a torre) alcuni periodi di edificazione. Questo processo ha tenuto conto delle analisi morfologiche e storiche dei tessuti urbani precedentemente descritte, unitamente al ricorso a ricerche ad hoc che hanno consentito di identificare il periodo storico prevalente, più evidente per le tipologie urbane dove prevale il progetto unitario e riconoscibile. Ovviamente il procedimento di assegnazione adottato ha molti aspetti critici, dovuti soprattutto alla carenza di dati e di ricerche, ma il metodo consente una lettura urbanistica delle componenti, soprattutto se associata alla lettura per tessuti.

3.3 La trasmittanza termica per le componenti opache

L'assegnazione dell'epoca di costruzione ha la finalità di individuare la classe di materiale da associare ai complessi edilizi presi in esame per il successivo calcolo del fabbisogno energetico. Il metodo di calcolo utilizzato per la trasmittanza è quello riportato nella norma UNI EN ISO 6946 dove la trasmittanza (U) dipende dalle resistenze termiche (R), le quali a loro volta dipendono dalla conduttività del materiale (λ). Data l'evidente difficoltà a compiere indagini ad hoc per tutti gli edifici appartenenti ai 25 tessuti (oltre 2 milioni di slp), si è fatto riferimento a ricerche ed analisi già compiute capaci di associare l'epoca di costruzione dell'involucro ai valori di trasmittanza. Infatti, è risaputo che a determinati periodi storici è quanto meno possibile associare le tecniche di costruzione prevalentemente utilizzate e, tramite opportune semplificazioni, anche il materiale edilizio tipico per quella tecnica.

Questo risulta essere anche l'approccio seguito per la costruzione dell'Abaco delle strutture murarie utilizzate in Italia in edifici esistenti (UNI/TS 11300-1, Appendice "B", 2008), in cui

vengono fornite indicazioni sulle principali strutture murarie e sulla loro diffusione sul territorio italiano. L'abaco identifica 19 strutture murarie per poi associarvi l'epoca storica e la diffusione geografica prevalente. Le murature sono raggruppate secondo la composizione della sezione della struttura e del materiale, di cui vengono individuati valori relativi allo spessore, alla massa volumetrica (Kg/m^3) e conduttività termica [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$].

Partendo da quest'abaco sono stati definiti i valori medi della trasmittanza termica di ogni struttura applicando alcune semplificazioni ai parametri (come per esempio le direzioni dei flussi termici). Il ricorso a semplificazioni e generalizzazioni è stato necessario data la scala che si intende indagare e la carenza di dati ad essa correlati.

In sintesi, il procedimento seguito per il calcolo delle trasmittanze delle 19 strutture murarie individuate dall'abaco è il seguente:

- Definizione dello spessore medio (d) della struttura muraria e conseguente definizione dello spessore medio per ogni materiale componente la struttura, se non già definito dall'Abaco UNI/TS 11300-1.
- Definizione della conduttività termica del materiale (λ), nella maggior parte dei casi l'abaco fornisce il valore preciso per λ , altrimenti si è fatto riferimento ai tabulati ISO in rapporto alla tipologie di materiale ed alla sua massa volumetrica.
- Definizione della resistenza secondo le normative ISO (R).
- Definizione delle resistenze termiche superficiali interne e esterne (R_{si} e R_{se}) secondo valori di default indipendentemente dalla giacitura dell'elemento (0,125 e 0,043).
- Calcolo della trasmittanza (U) per ogni struttura muraria.

Una volta ottenuti i valori per la trasmittanza di ogni muratura, sono stati associati a seconda delle epoche storiche così come individuato dall'Abaco della UNI/TS 11300-1.

La semplificazione di alcune indicazioni date dall'abaco consente di tracciare un profilo delle principali caratteristiche relativamente la diffusione geografica delle strutture murarie principali. Dall'aggregazione di queste informazioni è stato possibile individuare la trasmittanza media (U) delle murature per il periodo di costruzione dell'edificio. Dato che l'abaco definisce i valori fino agli anni Ottanta, per gli edifici costruiti negli anni successivi sono stati assunti i valori medi definiti dalla legislazione energetica. I valori della trasmittanza individuati sono stati messi a confronto con altri disponibili (valori medi della Germania e, a livello di città, Parigi) ciò ha permesso di individuare alcune carenze nell'approccio utilizzato. In particolare, confrontando l'andamento medio dei valori italiani con quelli tedeschi (ma anche nel caso di Parigi), si nota come i valori della trasmittanza, tra gli anni '50 e gli anni '70, continuino a diminuire nel caso italiano, mentre nella realtà tedesca (e parigina) gli edifici di questo periodo possiedono valori di trasmittanza maggiori dei decenni precedenti. L'andamento tedesco e parigino sono probabilmente spiegabili con il boom edilizio, in cui a una rapida edificazione non è stata corrisposta un'adeguata attenzione alla qualità degli elementi costruttivi, portando così anche a un minore interesse degli aspetti relativi al

risparmio energetico. Le fasi successive di questa ricerca hanno pertanto tra gli obiettivi anche la risoluzione di questo gap dovuto alla mancanza di dati a livello italiano che non evidenziano questo scarto.

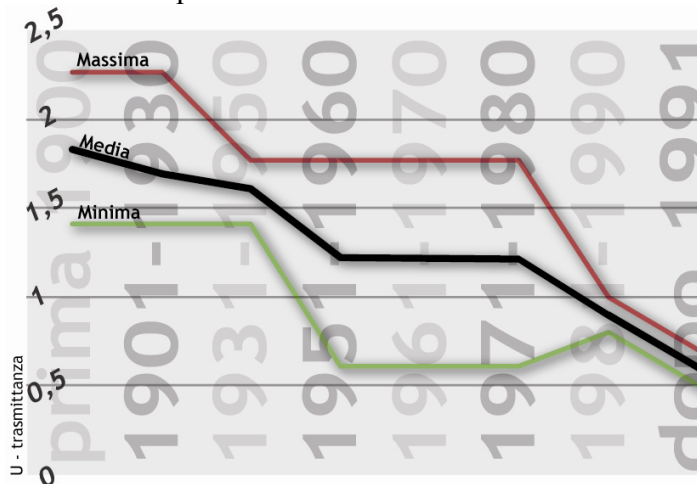


Grafico 3 - Evoluzione media (con i valori massimi e minimi) della trasmittanza delle superfici opache in Italia per periodo storico redatto partendo dalle informazioni fornite dall'Abaco UNI/TS 11300-1 (Appendice "B", 2008)

3.4 La trasmittanza termica per le componenti trasparenti

Le superfici trasparenti dell'edificio rivestono una certa importanza nella determinazione del fabbisogno energetico. Nei casi di analisi energetica del singolo corpo di fabbrica sono comprese anche le trasmittanze di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio. Data la scala urbana che si intende studiare anche in questo caso è stato inevitabile compiere delle semplificazioni ed aggregazioni rispetto alle metodologie di analisi energetica in essere a livello di singolo edificio. Date queste premesse, l'analisi delle superfici trasparenti ha riguardato: dapprima l'individuazione della percentuale di superficie trasparente rispetto alla tipologia edilizia, cui successivamente sono stati inseriti i diversi valori di trasmittanza per le superfici vetrate (considerando assenti le schermature solari).

Per quanto riguarda l'individuazione della percentuale di superficie trasparente, questa è stata determinata tramite un'analisi di 140 edifici campione attraverso indagini fotografiche per le facciate, appartenenti alle nove tipologie edilizie precedentemente individuate. Una volta acquisita l'immagine della facciata, questa è stata riportata alla giusta prospettiva tramite programmi di fotoritocco, per inserirla poi sulle facciate degli edifici e calcolare la percentuale di superficie vetrata. Il *grafico 4* mostra la superficie media (con i valori massimi e minimi riscontrati) per facciata appartenente alle diverse tipologie edilizie identificate nei 25 tessuti analizzati. Ottenute le percentuali di superficie vetrata per tipologia edilizia, sono stati associati i valori di trasmittanza ad essi relativa, facendo riferimento al prospetto C.3 della UNI/TS 11300-1.

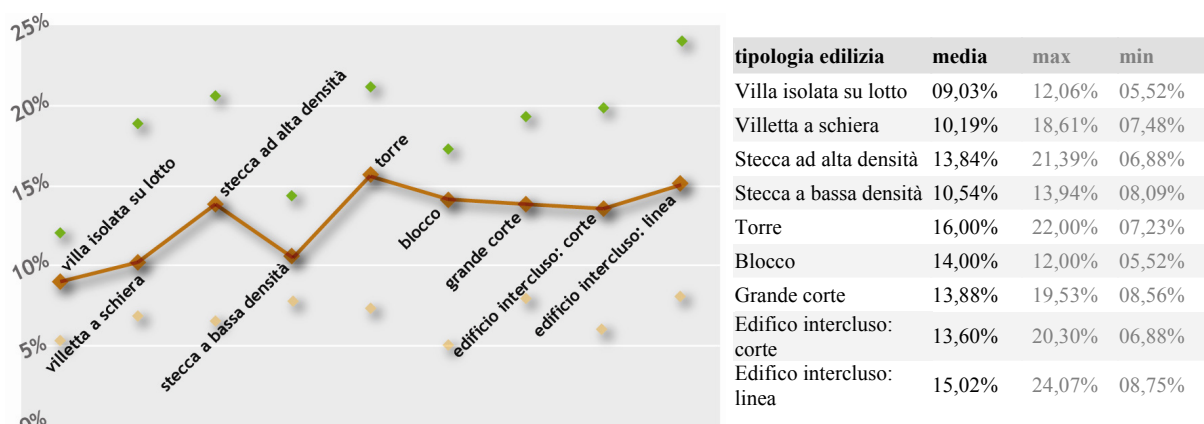


Grafico 4 - Percentuale media di superficie vetrata (con i valori massimi e minimi riscontrati) per facciata appartenente alle diverse tipologie

4 Calcolo energetico

Il fabbisogno di energia di riscaldamento dipende principalmente dalle prestazioni del sistema costruttivo dell'involucro di un edificio a contatto con il clima esterno. Il fabbisogno energetico descrive la quantità di energia che un sistema di riscaldamento dovrebbe produrre per mantenere costante la temperatura interna di una costruzione, considerando sia le perdite che i guadagni energetici. Questo delinea il limite del modello presentato in seguito, che non intende quantificare l'energia finale o persino primaria - che rappresentano il passo successivo all'estimazione del fabbisogno di calore – e che considerano sia la tecnologia sia il vettore energetico. Le perdite energetiche avvengono quando la temperatura esterna scende sotto una certa soglia rispetto alla temperatura interna, provocando uno scambio di energia tra interno ed esterno, vale a dire attraverso l'involucro e/o le aperture di un edificio. Pertanto, nel caso di perdite di energia, la trasmissione di calore tra le superfici a contatto con l'esterno è una diretta conseguenza del micro-clima esterno e del tipo di materiali componenti l'involucro.

Le perdite attraverso il vettore aria sono quelle più variabili: da una parte possono essere generate dal tipo di costruzione dell'edificio stesso e dalle sue aperture; dall'altra sono direttamente influenzate dal comportamento del fruitore nell'utilizzare le aperture. Le perdite di calore devono però essere bilanciate con i guadagni derivanti dall'irradiazione solare che penetra attraverso le superfici trasparenti dell'involucro, riscaldando l'aria interna. Inoltre, l'uso di elettrodomestici e la nostra presenza stessa nell'edificio, provocano apporti di calore non trascurabili.

4.1 Temperatura esterna

La prima variabile di maggior impatto sul fabbisogno energetico è la temperatura esterna, relazionata ad un confort termico interno compreso tra i 19°C ed i 26°C. Nel nostro caso la

temperatura di riferimento è 19°C, definendo come periodo di riscaldamento il periodo in cui la temperatura media mensile esterna scende al di sotto di questa soglia di riferimento. Si va a definire così le “heating degree hours (HDH)”, che definiscono per quanti gradi e per quanto tempo (t_{pr}) la temperatura esterna (T_{est}) sta al di sotto della temperatura interna (T_{int}):

$$HDD = \sum (T_{int} - T_{est}) \cdot t_{pr}$$

Il fabbisogno energetico (E_{risc}) è definito dal bilancio tra gli apporti di calore (E_a) e le perdite (E_p): $E_{risc} = E_p - E_a$

Le perdite E_p sono definite dalla sommatoria delle perdite dovute alla trasmissione delle superfici esterne (P_t) e alla trasmissione per ventilazione (P_v):

$$E_p = HDD \cdot (P_t + P_v)$$

Gli apporti di calore sono definiti dalla somma dell'energia proveniente dalla radiazione solare (A_s) e il calore disperso dagli occupanti e dalle varie apparecchiature domestiche (G_i) durante il periodo di riscaldamento. I guadagni di energia sono inoltre scalati per un fattore di riduzione ($\eta_g = 0.95$), dato che non tutti i guadagni sono guadagni utili:

$$E_a = \sum \eta_g \cdot (G_s + G_i)$$

4.2 Perdite: trasmissione

$$P_t = HDD \cdot \sum (U_e \cdot A_e \cdot \eta_g)$$

Le perdite per trasmissione sono definite dalla sommatoria della conduttività termica (U_e) per la superficie dell'elemento a contatto con l'esterno (A_e). L'energia persa dalle varie superfici deve essere corretta per un fattore che dipende dal tipo di ambiente non climatizzato con cui le varie superfici sono a contatto (p.e.: ambiente esterno, terreno, corpo scala, ecc.).

Tra le perdite per trasmissione sono da considerare anche quelle riguardanti i ponti di calore (P_{pc}), definite dalla lunghezza dello spigolo d'incontro tra i diversi elementi costruttivi (L_i) ed il coefficiente di trasmissione lineare (ψ_i):

$$P_{pc} = \sum L_i \cdot \psi_i$$

La prassi ha però mostrato che questa definizione porta ad una sovraestimazione delle perdite da parte dei ponti di calore, soprattutto nelle costruzioni più recenti dove lo standard di costruzione è più alto. Una possibile semplificazione per il calcolo dei ponti termici è quella di aumentare di 0.05 W/m²K il coefficiente di trasmissione delle superfici esterne, assumendo così un certo standard nell'esecuzione della costruzione.

4.3 Perdite: ventilazione

$$P_v = c_a \cdot \eta_a \cdot V_u \cdot HDD$$

Le perdite per ventilazione sono definite dalla portata d'aria di rinnovo perso per unità di tempo (η_a) sul volume utile totale (V_u), considerando la capacità termica volumica dell'aria

(c_a) come $0.34 \text{ Wh/m}^3\text{K}$. Ovviamente, la portata del rinnovo dipende soprattutto dall'iterazione che gli abitanti hanno con le aperture dell'edificio, che può dunque avere notevoli variazioni caso per caso. In questo lavoro η_a è stato considerato costante a 0.5 h^{-1} .

4.4 Apporti: interni

$$A_i = q_{i,a} \cdot A_u$$

Gli apporti interni di calore sono soprattutto dovuti al metabolismo degli occupanti ed al calore generato dalle apparecchiature elettriche. Nella metodologia applicata si è seguito un approccio semplificato, utilizzando un indice di apporto di calore totale durante il periodo di riscaldamento per unità di superficie utile, definendo il coefficiente $q_{i,a}$ pari a 22 kWh/m^2 . L'area utile, come anche il volume utile, è definito dall'area, e volume, totali, moltiplicati per un fattore di 0.8. Questo valore può sicuramente variare in base alla tipologia edilizia, ma per l'assenza di informazioni si è deciso di applicare una costante.

4.5 Apporti: radiazione solare

$$A_s = \sum I_{i,s} \cdot \sum (F_{s,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{c,i} \cdot g_i \cdot A_i)$$

Gli apporti dovuti alla radiazione solare sono in primo luogo definiti dalla radiazione solare ($I_{g,s}$) incidente su una superficie trasparente i con esposizione s espressa in kWh/m^2 . L'area A_i esprime la superficie trasparente lorda. I fattori $F_{i,j}$ identificano diversi fattori di riduzione, dovuti alla geometria del serramento identificato o ad elementi di ombreggiamento nell'ambiente circostante. $F_{s,i}$ identifica il fattore di riduzione dovuto al telaio del serramento, considerato pari a 0.85 in tutti i casi. $F_{o,i}$ identifica possibili elementi di ombreggiatura orizzontale posti in corrispondenza delle superfici trasparenti; in questo approccio non viene considerata la presenza di elementi di ombreggiatura, pertanto è mantenuta pari a 1. $F_{c,i}$ rappresenta l'ombreggiamento causato da edifici o altri elementi presenti nell'ambiente che circonda la facciata. g_i definisce la trasmittanza di energia solare di una superficie trasparente, che dipende dal materiale utilizzato. Nelle pagine successive si approfondiranno le questioni relative al fattore di riduzione causato dalla presenza di elementi circostanti.

5 Metodologia di calcolo

La metodologia per il calcolo del fabbisogno di calore dei tessuti presi in esame si basa sull'utilizzo del Sistema di Informazione Geografica (GIS), in questo caso utilizzando il programma ESRI ArcInfo 9.3. L'approccio in GIS consente di estendere il calcolo del fabbisogno di calore dalla scala del singolo edificio alla scala urbana, senza il bisogno di

aggregazioni - e la conseguente perdita di informazioni - soprattutto dal punto di vista dell'informazione geografica (Rapp *et al.*, 2009). Il metodo di calcolo del fabbisogno di calore - descritto nei paragrafi precedenti - è implementato da una metodologia più ampia: un primo passo ha riguardato l'uso del GIS per definire i dati di input per il modello di calcolo, vale a dire il calcolo delle dimensioni costruttive e geometriche degli edifici, approfondendo poi la questione dell'irraggiamento solare in ambito urbano; successivamente, i dati ottenuti sia a livello di facciata sia a livello di edificio sono stati inseriti in un modello di calcolo sviluppato dall'EIFER al fine di definire il fabbisogno energetico.

L'utilizzo della cartografia digitale ha consentito di ottenere molteplici informazioni dal punto di vista anche tridimensionale, come si può evincere dai paragrafi precedenti, nei quali la morfologia urbana è ampiamente descritta dal punto di vista sia geometrico sia tipologico. Inoltre, il ricorso ai dati statistici ha consentito di associare ulteriori informazioni agli edifici, sia di tipo quantitativo che qualitativo, essenziali per il calcolo energetico. Il ricorso a dati di tipo geografico consente di affrontare il tema del consumo energetico con una minore astrazione rispetto ai modelli statistici (spesso su base comunale o aree di censimento) permettendo di riportare l'indagine alla scala urbana, quindi tessuti ed edifici. La successiva aggregazione dei risultati - come si vedrà meglio in seguito - permette di sviluppare molteplici temi e riferimenti urbanistici.

Oltre a dati specifici per i tessuti, sono stati considerati i dati relativi alle temperature ed all'irraggiamento globale nella zona considerata. Per assicurare un'uguale riproduzione dello stesso approccio in tutta l'area europea con dati comparabili, si è scelto di usare le informazioni pubblicate dal progetto della Joint Research Centre (PVGIS © European Communities, 2001-2008).

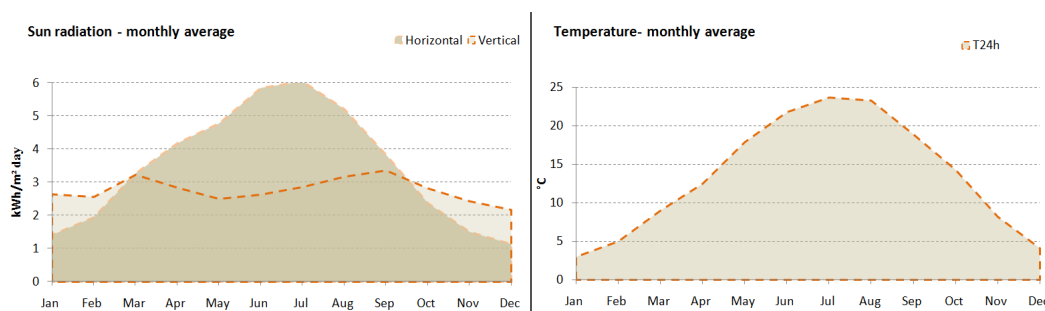


Grafico 5 - Irradiazione solare media mensile in kWh/m2 orizzontale e verticale (a sinistra) e temperatura media mensile su 24 h per Milano (PVGIS © European Communities, 2001-2008)

5.1 Preparazione dei dati

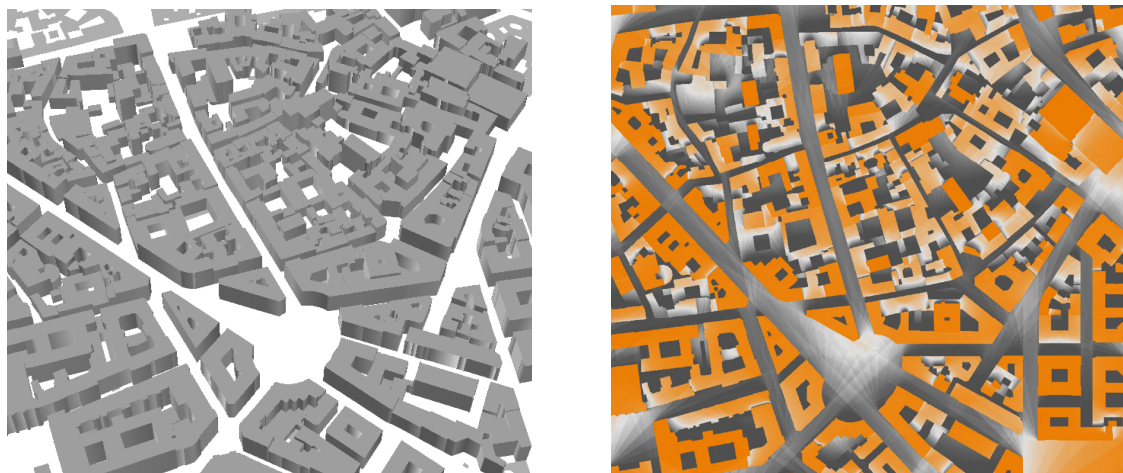


Figura 7 – Mappa 3D della base geografica (a sinistra); a destra, output dell'analisi solare rispetto alla durata della radiazione solare diretta (in arancione massima intensità, in grigio la minima)

La base cartografica digitale integrata dall'informazione delle altezze (*Figura 7 - sinistra*) non è di per sé direttamente utilizzabile per il calcolo energetico, ma deve essere prima elaborata per permettere di avere un database geografico topologicamente corretto, al fine di identificare le pareti comuni a più edifici, che per definizione della temperatura interna costante non hanno uno scambio energetico e quindi non contribuiscono a perdite o apporti energetici. L'approccio identifica anche le frazioni di pareti comuni a più edifici con altezze diverse, permettendo quindi di individuare la porzione di parete esposta all'ambiente esterno. Una volta definiti dei dati topologicamente corretti, questi possono essere usati per ulteriori analisi. In particolare, si è scelto di approfondire il tema dell'irradiazione solare grazie a un'estensione del GIS utilizzato, che permette di andare oltre ad un approccio semplificato che considera solo l'orientamento di una facciata e il corrispondente apporto di energia solare. A questo scopo i dati catastali sono stati trasformati in un "Digital Elevation Model"(DEM), con una risoluzione di 50 cm x 50 cm. Per ogni punto del DEM è stata calcolata la quantità della radiazione solare diffusa (la radiazione in tutte le direzioni del cielo), la radiazione incidente diretta e la durata della radiazione solare diretta. Come mostrato in *Figura 8*, questo permette di avere un'analisi dettagliata della radiazione su tutte le facciate contenute nei tessuti presi in considerazione. I risultati così generati portano ad un'approssimazione più dettagliata dell'irraggiamento solare. Nel grafico della figura 8 si osserva un approccio semplificato, che considera solo l'orientamento di una facciata, sovrapposto ai risultati ottenuti dall'analisi con il GIS. Ogni dato relativo ad una facciata è stato inserito nel grafico, ottenendo sia un approccio semplificato (linea nera) sia valori per ogni facciata. Grazie al metodo sviluppato tramite GIS, ogni facciata è rapportata al suo intorno, rendendo i risultati specifici per ogni tessuto esaminato.

Come è stato descritto nei paragrafi precedenti, i dati sono stati sottoposti ad un'analisi delle diverse tipologie di edifici presenti nei tessuti scelti. Come abbiamo visto, la classificazione tramite tipologie ha permesso di associare ad ognuna di essa le informazioni provenienti dalle statistiche ISTAT, definendo in questo modo l'età degli edifici, unitamente ai diversi piani urbanistici, arricchendo la descrizione delle aree urbane scelte. Il database geografico così definito è stato inserito in un modello sviluppato presso l'EIFER, consentendo il calcolo del fabbisogno energetico, programmato sulla piattaforma AnyLogic.

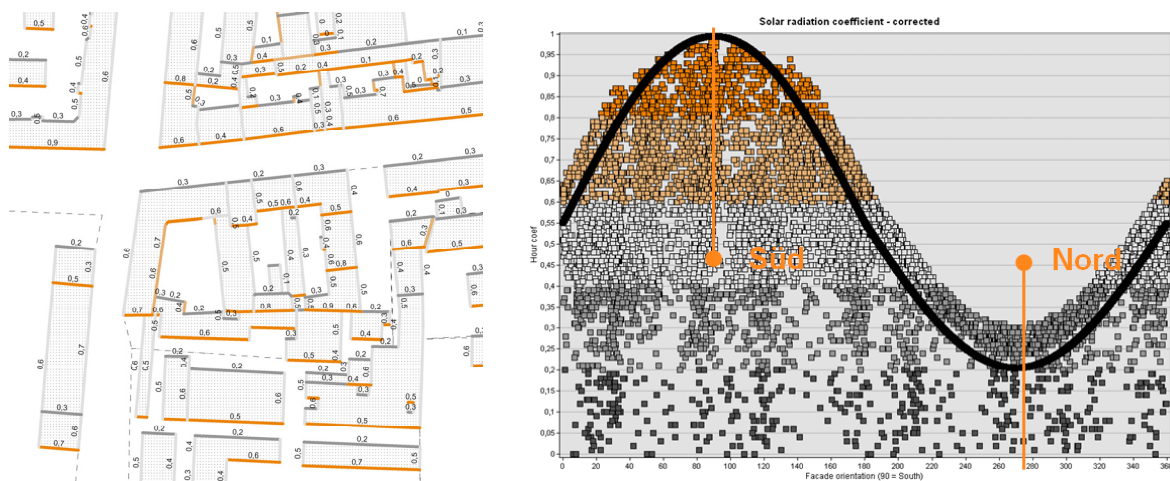


Figura 8 - Radiazione solare per facciata espressa tramite un coefficiente di irraggiamento normalizzato secondo un massima esposizione a sud a sinistra. Grafico dei valori ideali e calcolati per facciata (a destra), in ascissa l'orientamento delle facciate degli edifici, in ordinata il coefficiente di irraggiamento normalizzato secondo la massima esposizione a sud

5.2 Modello di simulazione – scenario I

Il modello è stato elaborato in modo da permettere di simulare diversi scenari per i tessuti analizzati. In un primo approccio, è stato deciso di analizzare l'influsso della morfologia urbana sul consumo energetico. Per questo esercizio di simulazione i parametri riguardanti la percentuale di vetratura, la trasmittanza termica di tutti gli elementi costruttivi e le temperature interne sono stati mantenuti costanti per tutti i tessuti, indipendentemente dall'età dell'edificio o della tipologia. Questo ha permesso di confrontare i valori di fabbisogno energetico, guadagni interni o solari, per ciascuno degli edifici senza l'influsso generato dalle tecniche costruttive nelle diverse epoche storiche, che darebbero una visione distorta dell'efficienza dei diversi macro tessuti urbani considerati. Questo tipo di approccio ha messo chiaramente in risalto l'efficienza delle tipologie urbane con alte densità costruttive, appartenenti ai macro tessuti tradizionali.

Il procedimento seguito mostra il ruolo della morfologia urbana, la quale assume una forte influenza sull'efficienza energetica, generando un fattore 2 tra i 25 casi analizzati. Si osserva

come le differenze all'interno delle tipologie tradizionali dense risultino trascurabili, mentre sono soggette a variazioni sostanziali le tipologie del Tower Block e Slab Housing, che variano molto sia dal punto di vista urbanistico che energetico. In questo scenario, i due estremi più chiari sono rappresentati dalle Detached Housing da un lato e dalle Regular Urban Block dall'altro.

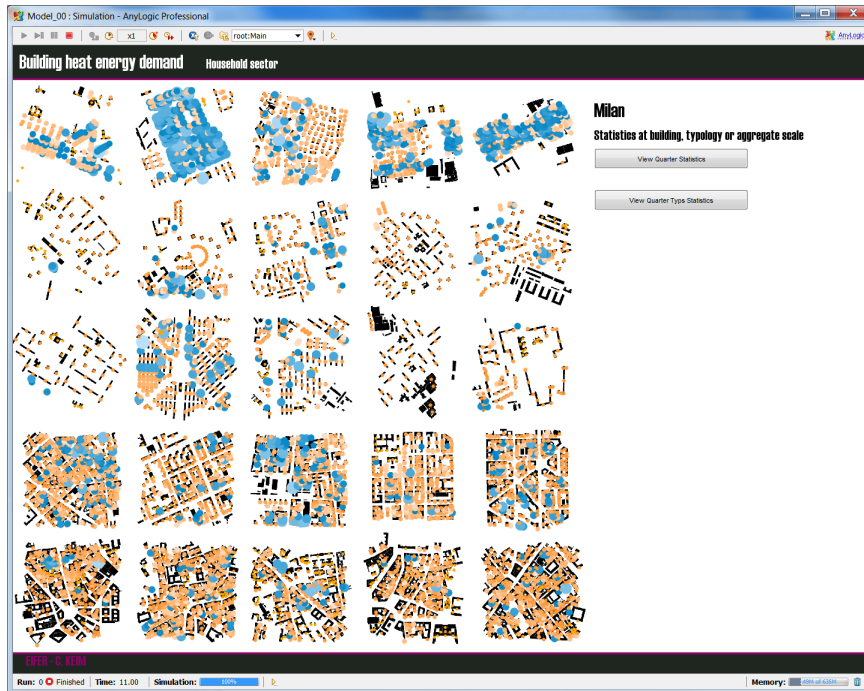


Figura 9 - Screenshot del modello con la visualizzazione dei 25 tessuti e del fabbisogno medio annuo per edificio, in blu edifici con alto fabbisogno di calore, in arancione quelli con basso fabbisogno

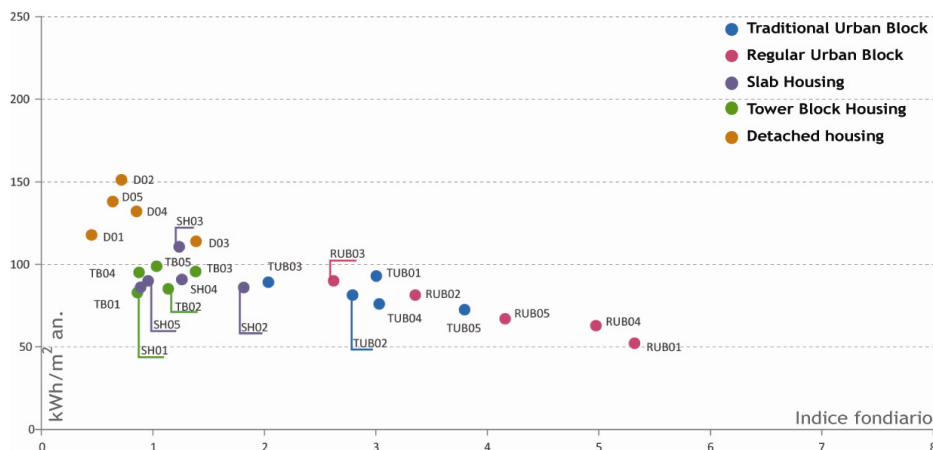


Grafico 6 - Primo scenario. L'asse x rappresenta l'indice fondiario e l'asse y il fabbisogno di calore medio espresso in kWh/m²

5.3 Modello di simulazione – scenario II

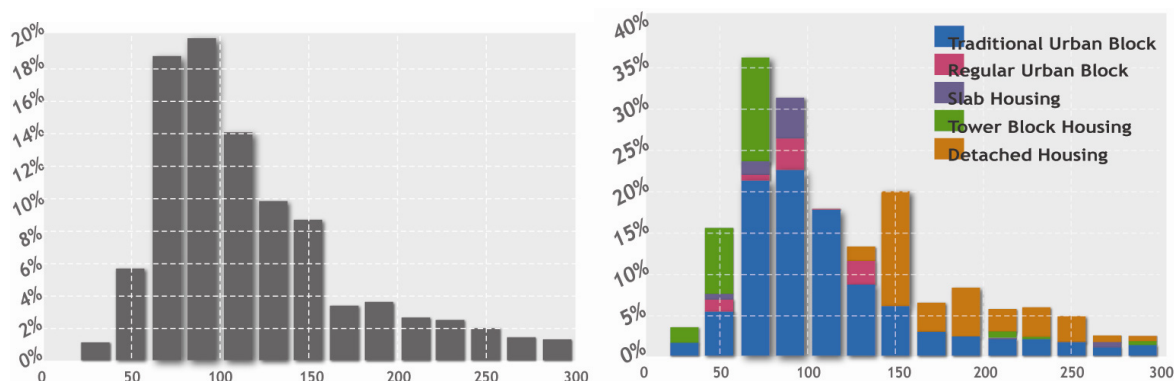


Grafico 7 - Istogrammi della frequenza dei valori del fabbisogno di calore espresso in kWh/m² an. a livello di edificio per i 25 tessuti analizzati (a sinistra) e per tipologia urbana (a destra)

In un secondo scenario si è deciso di definire più realisticamente i tessuti analizzati. Questo è stato raggiunto applicando diversi parametri, vale a dire i coefficienti di vetratura media per tipologia edilizia, ed i valori di trasmittanza termica per età e tipologia di ogni edificio. Questo ha portato ad un generale peggioramento delle performance energetiche per le tipologie più antiche, a cui sono stati associate tecniche costruttive meno efficienti e quindi con peggiori valori di trasmittanza. I tessuti densi più recenti, come le Tower Block e Slab Housing, presentano in media migliori coefficienti di trasmissione termica, rendendo pertanto questi tessuti più efficienti rispetto allo scenario precedente. Si osserva comunque come la tipologia urbana con maggior densità risulti più efficiente rispetto a quella delle Detached Housing come nel caso descritto nel paragrafo precedente.



Grafico 8 - Valori medi del fabbisogno di calore in kWh/m² an. per tipologia di tessuto urbano (a sinistra) e per tipologia edilizia (a destra)

6 Conclusioni ed Outlook

Il modello applicato consente un confronto dei tessuti ed una prima valutazione del consumo energetico di intere parti urbane. Scegliendo tessuti rappresentativi è possibile applicare un approccio urbanistico alle tematiche energetiche, le quali sono ancora troppo poco presenti nella prassi urbanistica attuale. Attualmente l'attenzione da parte dei Comuni è concentrata nella redazione di regolamenti prevalentemente rivolti al solo aspetto edilizio, senza considerare i risvolti urbanistici e senza avere un'immagine di insieme degli aspetti energetici della città. Lo strumento del PEC (Piano Energetico Comunale) potrebbe in questo senso rivestire un ruolo più ampio, come legante tra gli aspetti prettamente tecnico-energetici e quelli urbanistici.

La metodologia applicata potrebbe essere di supporto alle decisioni della PA, fornendo, da una lato, indicazioni sullo stato energetico attuale dei tessuti urbani; dall'altro, la conoscenza di questi elementi potrebbe consentire scelte maggiormente consapevoli in termini di sostenibilità energetica, ambientale ed economica.

Tuttavia affinché il modello sia più rappresentativo della realtà indagata, è necessario superare alcuni gap dovuti principalmente alla scarsa disponibilità di dati reali. Infatti, sebbene le sezioni di censimento ISTAT abbiano consentito di ricostruire alcuni caratteri delle tipologie edilizie (relativi all'epoca di costruzione degli edifici), l'elevato livello di aggregazione e la successiva disaggregazione stocastica semplifica di molto l'analisi degli edifici. Allo stesso modo anche la definizione della trasmittanza termica – individuata secondo l'abaco della UNI/TS 11300-1 – per le componenti opache e trasparenti presenta alcuni elementi di criticità.

Pertanto i limiti principali del modello risiedono nella poca disponibilità dei dati di input, che se confrontati con altre realtà europee (Germania in testa), evidenziano l'arretratezza di ricerche su questo fronte (nella realtà tedesca accanto ad un'identificazione delle tipologie edilizie prevalenti, sono indicati i periodi storici prevalenti, le tipologie di materiale ed i valori di trasmittanza termica rilevati).

Un altro limite del modello è l'analisi del solo settore residenziale, questo sarebbe da integrare anche con gli altri settori, anche a causa della rilevanza del mix funzionale in termini di bilancio energetico (Steemers, 2003).

Le seguenti fasi della ricerca prevedono un ulteriore affinamento, anche tramite un'analisi di sensibilità tesa a verificare se in presenza di rilevanti scostamenti dei dati di input il dato di output (il consumo medio per macrotessuto) non differisca in maniera significativa dai dati ricavati.

7 Bibliografia

- Agenzia Mobilità e Ambiente Srl (2007), *Comune di Milano. Rapporto qualità dell'aria, energia e agenti fisici*, Agenzia Mobilità e Ambiente Srl, Milano.
- APUR (2007), *Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. Atelier Parisien d'Urbanisme, Paris (mimeo).
- Casoli P., Gambarotta A., Guerra M., Pagliarini G., Rizzi A., Giusiano F., De Leo G., Moretti S. (2005) Lo sviluppo sostenibile nelle aree urbane: metodi e strumenti per progettare e soddisfare la richiesta di energia. Paper presentato alla *Conferenza Nazionale sulla politica energetica in Italia*. Tenuta a Bologna, Italy: Aprile.
- Commission of European Communities (2007), *Comunicato della commissione al consiglio europeo e al parlamento europeo, Una politica energetica per l'Europa*, Bruxelles, COM(2007) 1 definitivo.
- Diappi L. (2000), *Sostenibilità urbana: dai principi ai metodi di analisi; forma urbana, energia e ambiente*. Torino: Paravia Scriptorium.
- Droege P. (2006), *The Renewable City: A Comprehensive Guide to an Urban Revolution*, England: Wiley Accademy a division of Wiley & Sons Ltd.
- ENEA (2008), *Rapporto energia e ambiente 2007. Analisi e scenari*, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma.
- IEA International Energy Agency (2008), *Promoting Energy Efficiency Best Practice in Cities - A pilot study*. <http://www.iea.org/>
- Oliva F. (2002), *L'urbanistica di Milano – quel che resta dei piani urbanistici nella crescita e nella trasformazione della città*. Milano: Hoepli.
- Rapp F., Peter M., Keim C., Viejo G. P. (2009), Energy demand assessment of European urban structures based on a multi-scale approach, Paper presentato al *45th ISOCARP Congress 2009*, Tenuta a Porto, Portogallo: 18-22 Ottobre.
- Ruggieri G., Dall'Ò G., Galante A., (2007), *Le barriere all'efficienza energetica nei condomini italiani, progetto coordinato dal WWF Italia*, Politecnico di Milano, Università degli Studi dell'Insubria (mimeo).
- Steemers K. (2003), Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and buildings*, 35, 3-14.
- The World Bank (2009), *The little Green Data Book 2009*, Development Data Group of the Development Economics Vice Presidency and the Environment Department of the World Bank, Washington D.C.
- UNI/TS 11300-1 (2008), *Prestazioni energetiche degli edifici*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Firenze.
- Viejo Garcia P., Keim C. (2006), Simulation model of heat and power demand in a German region until 2030, Paper presentato alla *Desing and Decision Support System (DDSS 2008) Conference*, Tenuta a Eindhoven, Olanda: 7-8 Luglio.

ABSTRACT

The paper presents a methodology that allows calculating the heat energy demand of the residential sector from the building to the urban level, on the base of spatial data. This work is an application of a methodology under development in EIFER (European Institute For Energy Research – KIT – Karlsruhe - Germany). In this work this methodology has been applied to the case study of Milan, identifying different urban morphologies and analysing their performances related to heat energy demand. The case study of Milan is part of an ongoing PhD thesis, aiming to identify a methodology for delineating indicators on the urban level to contribute in the development of guidelines and planning strategies for the urban planning practice applied to existing cities which is capable of including energy matters.

In first instance, 25 different urban morphologies have been identified within the city of Milan. These belong to 5 main typologies, representing the highest scale of aggregation. The 25 examples belong to different parts of the city and their historical development is also reflected within this classification and allocation within the tissue: for e.g. the historical city centre (the traditional urban block), tissues belonging to the first growth phase of the city (as the regular urban block), or located in the first periphery (as slab housing, tower block or detached housing). These urban areas have been analysed considering different indicators and parameters (historical development, land use, cadastral plan, height of buildings, 3D relationships, etc.) in order to have better understanding and classification of their morphological features, on both tissue and building level. Furthermore functional features have been considered, belonging to land use policies, allocating the various economical sectors, the residential sector, taking in consideration also green and public areas.

In this first research the residential sector has been analyzed, focusing on heat energy demand. For the energy demand estimation two main scenarios have been considered. In the first case reality is neglected, buildings are considered only in their morphological features, identifying better energy performing tissue or typologies, avoiding the distortion of their technical endowment. In a second scenario, the typological features of both building and tissues are considered. The actual state of the build environment is better described and result are more application oriented than the first scenario, aiming to identify more principal features of existing urban structures. The aim of the work is to target in its further development a methodology that allows a comprehensive description of the whole urban system under consideration, using the urban fabric as start point in order to allow the enhancement of the urban planning discourse applied to energy matters.