



Ricerca di Sistema elettrico

Simulazione in regime dinamico di edifici rappresentativi del parco edilizio italiano

F. Baldi, E. Genova, A. Gugliandolo, M.-A. Segreto, C. Romeo

SIMULAZIONE IN REGIME DINAMICO DI EDIFICI RAPPRESENTATIVI DEL PARCO EDILIZIO ITALIANO

F. Baldi, E. Genova, A. Gugliandolo, M.-A. Segreto, C. Romeo

Con il contributo di: I. Falcone, I. Roselli, F. Saitta, M. Ricci, T. Susca, P. Sdringola, A. Tallini, A. Marzo, C. Tripepi, E. Genova, A. Di Micco, S. Tamburrino, A. Ciappa, E. Monno

Dicembre 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: N. 1 - Tecnologie

Progetto: 1.6 - Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Work package: 2 - Miglioramento dell'efficienza energetica di processi di produzione e di gestione dell'ambiente costruito

Linea di attività: LA 2.1 - Simulazione in regime dinamico di edifici rappresentativi del parco edilizio italiano

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti

Responsabile del Work package: Maria-Anna Segreto

Si ringraziano i colleghi G. Puglisi (ENEA), M. Benedetti (ENEA) e G. Margareci (EGE e Libero Professionista) per il supporto alla stesura del presente Rapporto.

Indice

INDICE	3
INDICE DELLE FIGURE.....	4
SOMMARIO.....	5
INTRODUZIONE	6
2 OBIETTIVI DEL PROGETTO	11
2.1 IMPATTI SUL SISTEMA ELETTRICO E BENEFICI ATTESI	12
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	15
4 DEFINIZIONE DELL'EDIFICIO RICORRENTE.....	16
4.1 DATI ATTI A DETERMINARE IL MODELLO.....	16
4.1.1 <i>Definizione dell'edificio ricorrente</i>	17
4.1.2 <i>Riepilogo delle caratteristiche geometriche del modello</i>	21
4.1.3 <i>Definizione delle zone termiche</i>	21
4.2 DATI CLIMATICI	25
4.3 CONDIZIONI DI COMFORT INTERNO	27
5 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO RICORRENTE	29
5.1 COMPONENTI D'INVOLUCRO.....	29
5.2 IMPIANTI	31
5.2.1 <i>Caldaia</i>	31
5.2.2 <i>Impianto di generazione di acqua calda per usi igienico-sanitari</i>	33
5.2.3 <i>Impianti di zona</i>	33
5.2.4 <i>Altri componenti</i>	35
5.3 PROGRAMMI DI ATTIVITÀ	35
5.3.1 <i>Ventilazione</i>	35
5.3.2 <i>Climatizzazione invernale</i>	36
5.3.3 <i>Climatizzazione estiva</i>	37
<i>Definizione di zone termiche estive</i>	38
<i>Definizione dei programmi di climatizzazione e ventilazione estiva</i>	38
5.3.4 <i>Programma di consumo dell'acqua calda sanitaria</i>	41
6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	43
7 CONCLUSIONI.....	49
ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	50
BIBLIOGRAFIA	50

Indice delle figure

Figura 1: Investimenti nel comparto costruzioni anno 2017.....	6
Figura 2: Edifici residenziali italiani per classi di età (Fonte: ENEA)	6
Figura 3: Valori percentuali degli edifici a uso abitativo per epoca di costruzione (Fonte: ISTAT)	7
Figura 4: Quota di edifici residenziali costruiti prima del 1981 nelle Regioni italiane	7
Figura 5: Indicatori medi di consumo per destinazione d'uso (Fonte: ENEA)	7
Figura 6: Tematiche relative all'OSC maggiormente discusse in letteratura, raggruppate in sette categorie (adattato da (Jin et al., 2018)).	9
Figura 7: <i>Framework</i> degli attuali e futuri temi di ricerca sull'OSC (Jin et al., 2018)	10
Figura 8: Quota di consumi finali di energia per settore in Italia e nell'Unione Europea (UE28)	12
Figura 9: Intensità energetica nel residenziale Italia-UE	13
Figura 10: Consumi finali di energia per il settore residenziale in Italia e in UE	13
Figura 11: Schema delle attività svolte nella prima annualità del progetto (2019)	16
Figura 12: Edifici e complessi di edifici (val.% sul totale nazionale)	17
Figura 13: Superficie media delle abitazioni occupate da persone residenti (valori medi in m2)	20
Figura 14: Modello dell'edificio di riferimento.....	21
Figura 15: Abitazioni occupate da persone residenti senza impianto di riscaldamento (%)	22
Figura 16: Tipologia installazione di riscaldamento	23
Figura 17: Tipo di combustibile o energia che alimenta l'impianto di riscaldamento	23
Figura 18: Dati relativi alla località designata in <i>DesignBuilder</i>	25
Figura 19: Template località	26
Figura 20: Caratteristiche del terreno	26
Figura 21: Caratteristiche del terreno	27
Figura 22: Rappresentazione schematica degli impianti di generazione e distribuzione per riscaldamento, condizionamento, e ACS.....	31
Figura 23: Rappresentazione schematica dell'impianto di generazione del calore per riscaldamento.....	32
Figura 24: Variazione dell'efficienza della caldaia in funzione del carico.....	32
Figura 25: Rappresentazione schematica dell'impianto di generazione del calore per acqua calda sanitaria.....	33
Figura 26: Rappresentazione schematica degli impianti di zona	34
Figura 27: Domanda energetica di input, relativa alle condizioni di design, per i condizionatori in funzione delle temperature di esercizio.....	35
Figura 28: Programma degli orari di accensione del riscaldamento per zona climatica	37
Figura 29: Risultati della procedura di analisi e ricerca volta alla definizione di un programma di funzionamento per ventilazione e condizionamento estivi	40
Figura 30: Rappresentazione grafica del programma di consumo di acqua calda sanitaria	42
Figura 31: Distribuzione delle temperature medie annuali sul territorio italiano. Da meteobook.it	43
Figura 32: Diagramma a scatola e baffi dell'EP invernale, suddiviso per zona climatica invernale	45
Figura 33: Diagramma a scatola e baffi dell'EP estivo, suddiviso per zona climatica estiva	45
Figura 34: Risultati delle simulazioni dinamiche per una giornata estiva di riferimento, Palermo (zona climatica estiva F)	47
Figura 35: Risultati delle simulazioni dinamiche per una giornata invernale di riferimento, Bologna (zona climatica invernale E).....	48

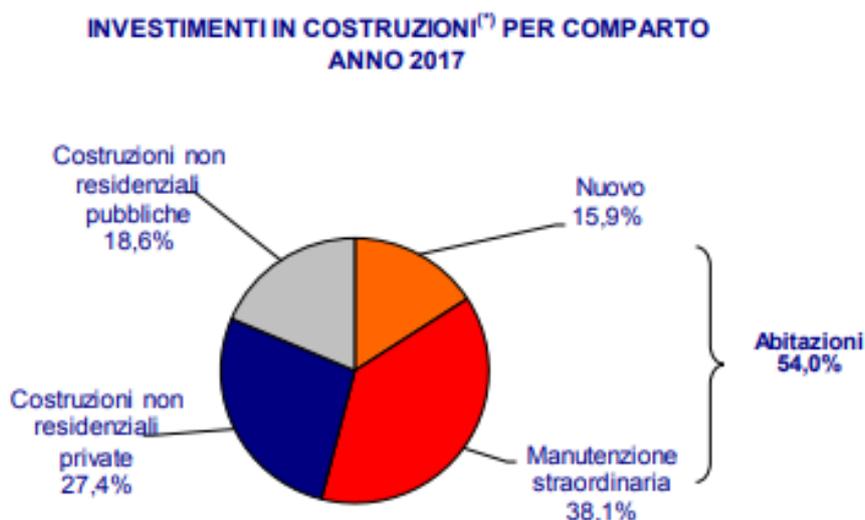
Sommario

In Italia circa il 55% degli edifici residenziali risale agli anni '60-'70, e circa il 19,2% è stato realizzato in data antecedente al 1919: tuttora un quarto di queste costruzioni non ha subito interventi di ristrutturazione e riqualificazione energetica. Questo scenario denota un alto livello di inadeguatezza del parco edilizio esistente: oltre il 25% degli edifici registra consumi medi annuali nel *range* 160-220 kWh/m²*anno. Un mercato saturo, case esistenti obsolete e un ridotto potere d'acquisto sono i primi fattori che portano alla scelta di una profonda riqualificazione energetica degli edifici esistenti. Il progetto Ambiente Costruito si prefigge di migliorare tale condizione attraverso il ricorso a soluzioni di tipo modulare (*Off-Site Construction* - OSC) che consentano la posa in opera dell'isolamento esterno con sistemi a secco, garantendo contemporaneamente tempi rapidi di realizzazione, esecuzione in presenza di abitanti, limitazione di polveri nell'aria e costi contenuti.

Il presente *report* mostra l'attività iniziale svolta da ENEA in merito all'individuazione di un edificio italiano definibile come "ricorrente", sul quale sono state svolte numerose simulazioni energetiche in regime dinamico, finalizzate a individuare *benchmarks* di riferimento per l'intero territorio nazionale.

Introduzione

Da fonti ufficiali, in Italia nel 2017 si è registrata nelle ristrutturazioni una spesa doppia rispetto al 2016, pari a 47 miliardi di euro, più del doppio rispetto ai 19 miliardi spesi per l'acquisto di nuove abitazioni. Gli investimenti in sola riqualificazione del patrimonio abitativo confermano una dinamica positiva, giungendo a rappresentare il 38% del valore degli investimenti in costruzioni. Rispetto al 2016, per gli investimenti in tale comparto si stima una crescita dello 0,5% in termini reali (ANCE, 2018).



(*) Investimenti in costruzioni al netto dei costi per trasferimento di proprietà
Fonte: Ance

Figura 1: Investimenti nel comparto costruzioni anno 2017

Gli investimenti privati in costruzioni non residenziali segnano un aumento dell'1,5% in termini reali nel 2017.

L'Italia ha una condizione molto particolare poiché circa il 55% delle costruzioni residenziali risale agli anni '60 ed il 19,2% a prima del 1919 (ISTAT): circa un quarto di questi edifici non ha mai subito interventi di ristrutturazione o riqualificazione. Da ciò emerge uno scenario molto particolare, che denota un alto livello di inadeguatezza del parco edilizio esistente: di questi edifici, oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di 160 kWh/m² anno ad oltre 220 kWh/m² anno (ISTAT).

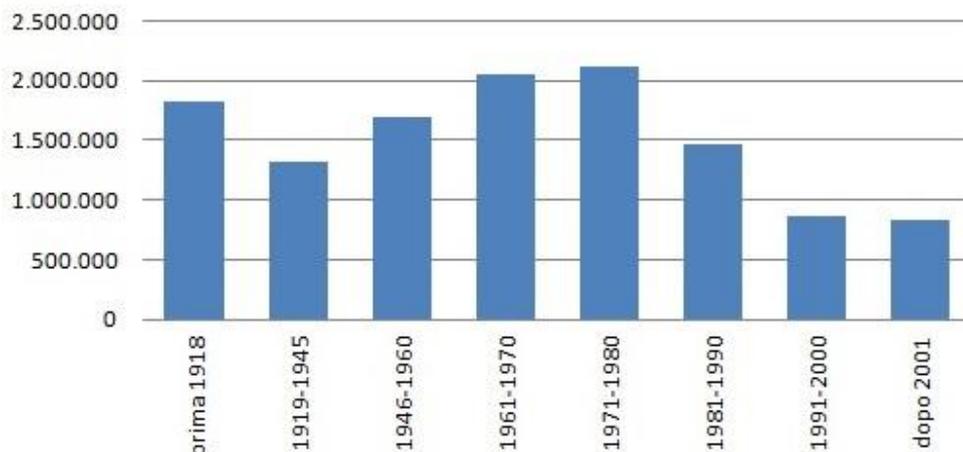


Figura 2: Edifici residenziali italiani per classi di età (Fonte: ENEA)

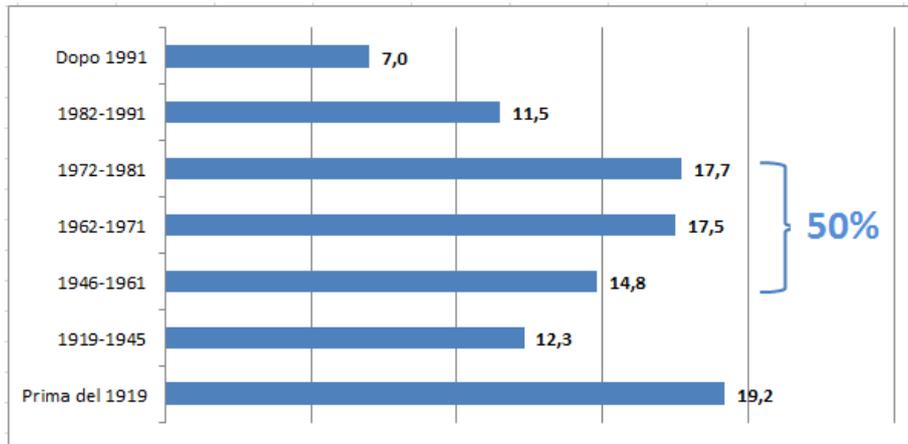


Figura 3: Valori percentuali degli edifici a uso abitativo per epoca di costruzione (Fonte: ISTAT)

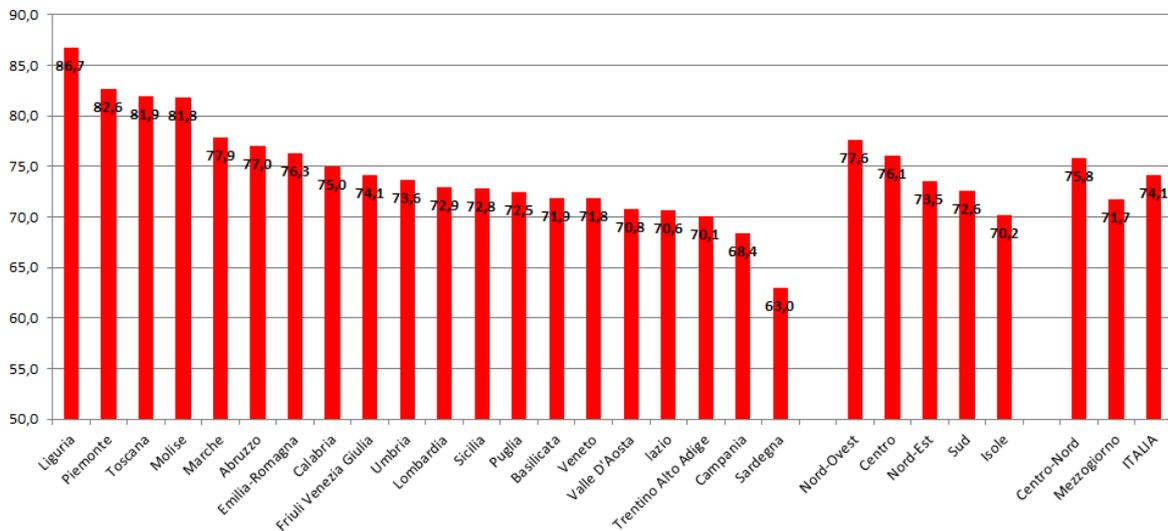


Figura 4: Quota di edifici residenziali costruiti prima del 1981 nelle Regioni italiane (Studio Confartigianato su dati ISTAT)

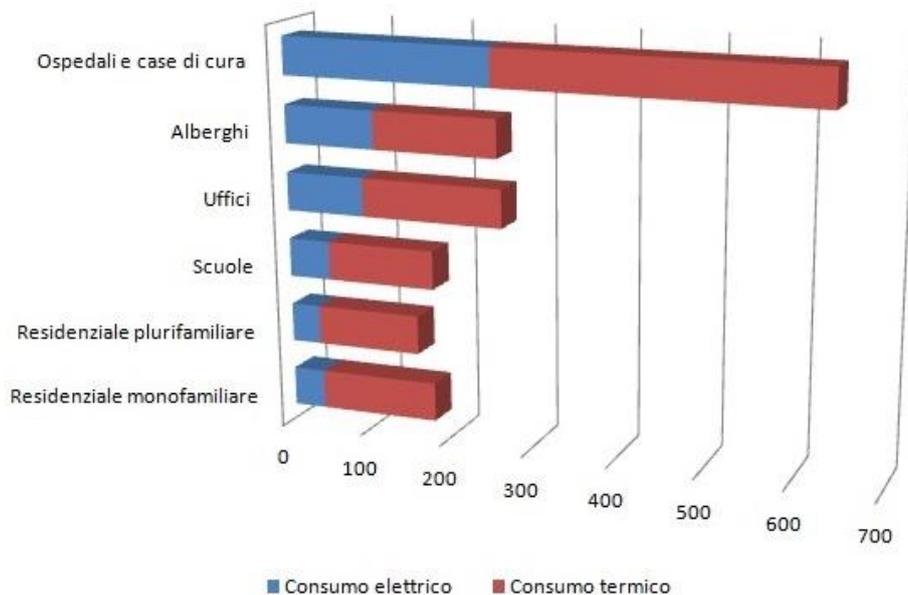


Figura 5: Indicatori medi di consumo per destinazione d'uso (Fonte: ENEA)

Un mercato saturo, case esistenti obsolete e un ridotto potere d'acquisto sono i primi fattori che portano alla scelta di una riqualificazione energetica profonda degli edifici esistenti. Ma ci sono anche altri aspetti che incoraggiano la volontà di ottimizzare l'efficienza energetica e il benessere abitativo, concentrandosi sul recupero degli edifici esistenti; uno di questi aspetti riguarda, ad esempio, gli incentivi fiscali per il settore, che hanno dato un'enorme spinta al mercato delle costruzioni dando benefici sotto due aspetti molto diversi ma complementari: da un lato si è innescato un meccanismo di rinascita del settore della costruzioni e dall'altro il privato è stato invogliato a migliorare le condizioni di efficienza energetica dei propri immobili. Il mercato offre soluzioni prefabbricate per isolamento realizzate con diversi materiali ma, solitamente, questo tipo di sistemi ha costi più alti rispetto alla soluzione tradizionale. Inoltre, di volta in volta, si rende necessario il calcolo delle prestazioni energetiche (termo-igrometriche) finali per verificare il rispetto dei requisiti minimi previsti dalle vigenti normative. Ulteriore elemento da valutare, e che spesso viene tralasciato, è quello relativo alla risposta sismica di questi sistemi laddove la corrente normativa sismica per le costruzioni (NTC/2018 e Circolare Esplicativa 11/02/19) prescrive che per gli elementi non strutturali devono essere adottati magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione del sisma e che è necessario migliorare i collegamenti degli elementi non strutturali, sia alla struttura che tra loro.

Sebbene gli interventi volti ad accrescere l'efficienza energetica generino un sicuro ritorno in termini economici e di benessere, l'attivazione di un processo spontaneo è spesso ostacolata, soprattutto negli interventi di piccola taglia, da diverse criticità:

- elevati costi d'investimento iniziali legati soprattutto a spese fisse molto alte (costi di istruttoria delle pratiche edilizie, costo dei ponteggi, che aumenta all'aumentare del periodo di ristrutturazione ...);
- scarsa consapevolezza dei potenziali risparmi sia energetici che economici;
- disomogeneità a livello territoriale di procedure e prescrizioni previste dagli strumenti urbanistici ed edilizi che disciplinano e regolano gli interventi di riqualificazione;
- limitata conoscenza di soluzioni innovative;
- diffidenza verso tempi di ritorno medio-lunghi;
- scarsa propensione ai prestiti per riqualificazione da parte delle banche;
- scarso interesse delle ESCo per interventi medio-piccoli;
- resistenza, sulla base di ragioni pratiche ed economiche, rispetto all'eventualità di lasciare l'abitazione per il periodo di esecuzione degli interventi;
- preoccupazione verso la dispersione e inalazione di polveri durante i lavori (nel caso in cui si rimanga nell'abitazione);
- nei casi condominiali, rischi legati ad eventuali morosità *post* intervento.

La realizzazione fuori opera, che caratterizza l'*Off-Site Construction* (OSC), attraverso un controllo maggiore dei diversi parametri in gioco consente importanti vantaggi, quali:

1. possibilità di integrazione della facciata con altre funzioni;
2. rapidità di posa in opera;
3. abbattimento di polveri e rumori in cantiere;
4. flessibilità nella scelta modulare;
5. applicazione su edifici esistenti.

“Costruzione fabbricata”, “costruzione *off-site*”, “produzione *off-site*” sono alcuni termini usati in letteratura per descrivere la costruzione prefabbricata, il cui intento è principalmente quello di spostare parte importante dello impegno realizzativo dal sito di utilizzo all'ambiente controllato e più preciso dell'impianto di produzione. L'edilizia *off-site* riduce, quindi, l'intensità delle lavorazioni in cantiere per localizzarla principalmente in fabbrica, consentendo una riorganizzazione di tecnologie e processi volta a una maggiore efficienza e qualità. Questa metodologia, tra l'altro, tende a minimizzare gli sprechi, eliminando il concetto stesso di scarto. L'edilizia *off-site* è attenta alla standardizzazione, all'analisi dei costi e delle prestazioni nell'intero ciclo di vita dell'edificio, pertanto mira a ottimizzare l'intera filiera.

L'edilizia *off-site* apre la strada a molteplici applicazioni, dal nuovo costruito, alla riqualificazione, all'ampliamento. Ulteriore vantaggio, connesso all'impiego di tecnologie di posa in opera “a secco”, è dato

dal fatto che una facciata realizzata con questa metodologia può essere oggetto di “aggiornamenti” tecnologici senza grandi impatti, in maniera rapida e con costi contenuti.

Sebbene sia ancora in una fase applicativa iniziale in molti Paesi, l’OSC ha attirato negli ultimi anni molta attenzione, in ambito sia accademico sia industriale, grazie alle sue potenzialità nel raggiungimento di migliori prestazioni di progetto, come ad esempio la *riduzione della durata del progetto e degli scarti di costruzione*, e sta sempre più prendendo piede soprattutto nei Paesi in via di sviluppo (Hong et al., 2018).

Diversi studi hanno confrontato le prestazioni dell’OSC e dei metodi di costruzione convenzionali in termini di costo (Hong et al., 2018) di prestazioni energetiche (Hong, 2016) e di sostenibilità complessiva del processo (Hewage, 2017). L’OSC si fonda sulla modularità dei prodotti, che vengono prefabbricati e poi assemblati in cantiere, che è a sua volta resa possibile da un cambio di paradigma nelle attività di progettazione, produzione, ottimizzazione della *supply chain* e valutazione del ciclo di vita (Sonogo et al., 2018), le quali assumono connotazioni tipiche della manifattura in generale e dell’*automotive* in particolare. A rafforzare il legame esistente tra edilizia e manifattura nell’OSC esistono una serie di temi di ricerca e innovazione emergenti comuni ai due ambiti, come l’impiego di tecnologie informatiche (ad es. il *Building Information Modelling*, BIM), la realizzazione di progetti integrati (*Integrated Project Delivery*, IPD) e la sostenibilità ambientale.



PRATICHE DI GESTIONE	<ul style="list-style-type: none"> •L’OSC è stato spesso legato a pratiche di lean construction (Arashpour et al., 2016), che richiamano i concetti di produttività (Chen et al., 2017), simulazione (Mitterhofer et al., 2017), e gestione del rischio (Shahtaheri et al., 2017).
PROCESSO	<ul style="list-style-type: none"> •L’OSC non si riferisce semplicemente all’assemblaggio di componenti degli edifici in cantiere, ma coinvolge il processo di progettazione e gestione dell’ambiente costruito fin dalle fasi iniziali, come la progettazione e pianificazione (Choi et al., 2016), la produzione (es. automazione (Isaac et al., 2016) e la standardizzazione (Lei et al., 2015)) dei componenti.
PRODOTTO	<ul style="list-style-type: none"> •Il calcestruzzo prefabbricato è uno degli elementi comunemente studiati nell’off-site.
PRESTAZIONI	<ul style="list-style-type: none"> •È stato ampiamente studiato l’impatto dell’OSC sulla sostenibilità (Kamali e Hewage, 2016) e sulla gestione della supply chain (Wikberg et al., 2014).
METODO DI RICERCA	<ul style="list-style-type: none"> •La definizione di casi studio (Gledson, 2016; Wang et al., 2016) sembra essere un metodo di ricerca popolare nello studio dell’OSC.
LUOGO	<ul style="list-style-type: none"> •I paesi o regioni in cui sono stati realizzati la maggior parte degli studi sull’OSC sono Malesia, Hong Kong, Cina, e Svezia
TECNOLOGIA	<ul style="list-style-type: none"> •Il BIM è stato esteso alla definizione del modello architettonico del prodotto (Ramaji et al., 2017).

Figura 6: Tematiche relative all’OSC maggiormente discusse in letteratura, raggruppate in sette categorie (adattato da (Jin et al., 2018)).

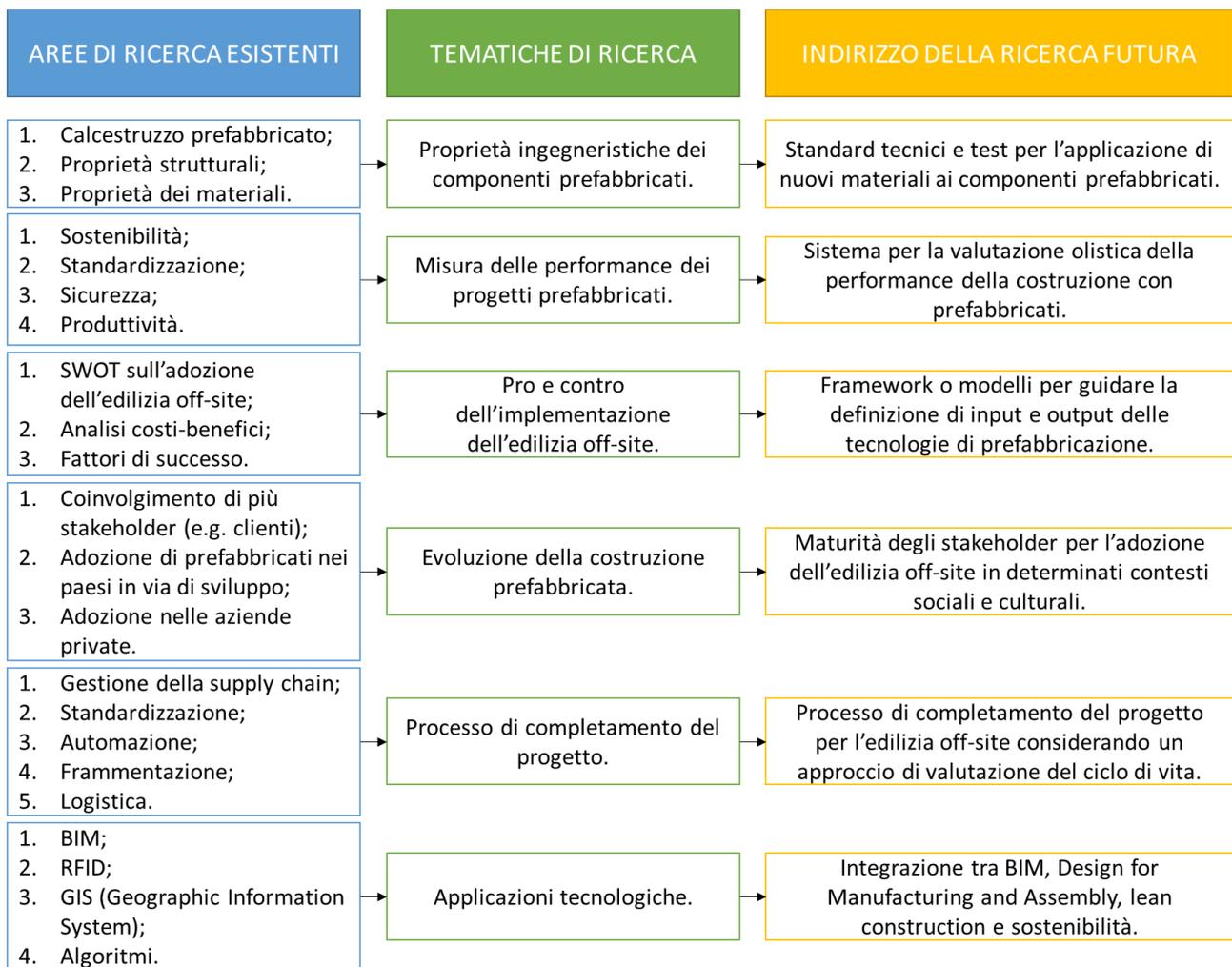


Figura 7: Framework degli attuali e futuri temi di ricerca sull'OSC (Jin et al., 2018)

Valutando le Aree di Ricerca Esistenti e le attuali Tematiche di Ricerca (Figura 6 e Figura 7) è possibile prevedere scenari sui quali muoversi al fine di trovare l'indirizzo più corretto per la ricerca futura.

Dal punto di vista del processo, inoltre, si possono raggiungere ulteriori importanti obiettivi:

- stabilizzare i processi produttivi, abbattendo le incertezze legate alla realizzazione dei progetti. La minore variabilità consente un maggior rispetto dei cronoprogrammi, con un considerevole aumento della precisione, maggiore affidabilità dei beni prodotti, tracciabilità dei componenti, semplificazione e riduzione delle attività manutentive. Alcuni studi in merito, condotti da RICS (*Royal Institution of Chartered Surveyors*), mostrano come le tecnologie tradizionali consentano il rispetto dei tempi per circa il 63% dei casi, valore che con l'edilizia *off-site* cresce fino al 96%;
- rispettare il budget, riducendo sensibilmente extra-costi che risultano fisiologici in un intervento con tecniche di tipo tradizionale. Dallo studio RICS (RICS, 2018) emerge un rispetto del *budget* del 49% con tecniche tradizionali, del 94% con edilizia *off-site*;
- riduzione dei costi fino al 25%;
- consentire "personalizzazioni" spesso onerose dal punto di vista tecnico ed economico.

2 Obiettivi del progetto

L'obiettivo principale del progetto è creare sistemi utili alla replicabilità, su larga scala, di moduli per la riqualificazione energetica delle facciate di edifici esistenti che possano essere: sostenibili in termini energetici e ambientali, efficaci dal punto di vista prestazionale, facili e rapidi da posare, sicuri, idonei ad accedere a incentivi nazionali e locali con procedure semplificate.

In funzione dell'analisi menzionata nel paragrafo precedente, che coinvolge le Aree di Ricerca Esistenti e le attuali Tematiche di Ricerca, si mira a redigere un catalogo di configurazioni costruttive *standard* (predefinite) per sistemi d'isolamento di facciata, da applicare a edifici esistenti. Tali configurazioni dovranno tener conto dell'intera filiera di produzione, dalla progettazione e produzione dei componenti all'assemblaggio e installazione, fino alla valutazione delle effettive prestazioni energetiche e sismiche, affinché il catalogo includa tutte le informazioni necessarie per la scelta e l'installazione della soluzione più adatta, senza necessità di ulteriori attività di progettazione o pianificazione.

Le configurazioni individuate saranno molteplici, e sarà messo a punto uno strumento (***matrice dinamica di opzioni***) per consentire di associare a ciascuna tipologia di edificio un numero ristretto di configurazioni standardizzate "consigliate".

L'individuazione di un numero ristretto di configurazioni ideali predefinite e l'ottimizzazione della relativa *supply chain* consentiranno di abbattere notevolmente i costi di produzione, progettazione e installazione.

Le prestazioni delle diverse configurazioni che saranno valutate e descritte all'utente non saranno solo quelle energetiche, ma anche quelle sismiche (attraverso un'analisi che preveda uno specifico studio degli ancoraggi) e gestionali-manutentive (facilità tecnico-economica di effettuare interventi di manutenzione). Per alcune delle configurazioni del catalogo si implementeranno soluzioni che prevedono l'integrazione del sistema di distribuzione dell'impianto termico, in modo tale da agevolare interventi manutentivi o successive modifiche impiantistiche (ad esempio il passaggio da sistemi autonomi a sistemi di riscaldamento condominiali centralizzati) e quindi abbattere futuri costi di gestione e manutenzione.

I benefici conseguibili a valle di questo processo possono essere sintetizzati in una maggiore rapidità di esecuzione della costruzione, minore spreco di materiali, possibilità di riuso dei componenti demoliti, riduzione nell'impiego di mano d'opera, miglioramento prestazionale dell'edificio, razionalizzando e riducendo i consumi energetici globali dell'intera filiera.

Attraverso quest'attività si vuole dare, quindi, un impulso alle esperienze di industrializzazione del settore delle costruzioni, ancora scarsamente diffuse in Italia, orientandole verso una produzione realizzata quasi totalmente in stabilimento e incentrata su concetti di sostenibilità, decarbonizzazione, controllo di qualità del prodotto ed economia circolare. Il processo produttivo integrato alla progettazione globale dell'intervento consentirà di ottenere prodotti/sistemi certificati e ottimizzati sotto i profili energetico/ambientali e di sicurezza strutturale/sismica. Oltre all'individuazione di dettagli tecnici e costruttivi che consentano un grado elevato di flessibilità nella progettazione architettonica, si porrà particolare attenzione ad aspetti legati alla cantierizzazione dei lavori al fine di ottimizzare tempi e costi di realizzazione.

Il catalogo che sarà realizzato nell'ambito del progetto non vuole essere una mera raccolta di possibili soluzioni ma mira a costituire un'interfaccia dinamica con l'utente, che, attraverso l'inserimento di alcune opzioni all'interno di una matrice predefinita (zona climatica, tipologia costruttiva, integrazione impiantistica...), potrà ottenere in modo semplice e rapido una o più soluzioni adatte alle sue esigenze, che assicurino efficacia, sicurezza e possibilità di accesso a benefici fiscali.

L'idea progettuale non si ferma, però, alla sola ottimizzazione del processo di scelta da parte dell'utente, ma si sposta su una visione più ampia che comprenda l'ottimizzazione del processo produttivo e delle fasi di cantiere. Tutto ciò con lo scopo di abbattere i costi di produzione, i costi legati al cantiere (occupazione suolo pubblico, affitto del ponteggio, costi legati al giorno/uomo...) senza tralasciare l'abbattimento dei disturbi legati alla fase di ristrutturazione (spostamento degli abitanti, polveri, rumori per periodi prolungati...).

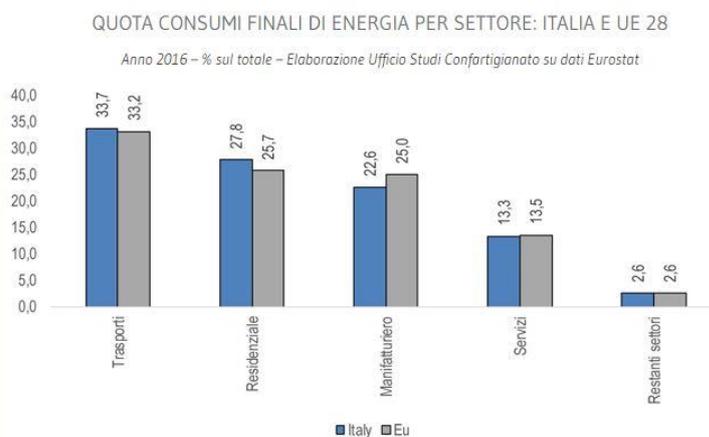
Gli obiettivi del progetto sono fortemente coerenti con i piani di azione ambientale e, soprattutto, di efficienza energetica emanati a livello nazionale. In particolare, uno degli obiettivi nazionali punta alla

riduzione dei consumi energetici attraverso una serie di azioni mirate all'efficientamento energetico del parco edilizio esistente, nonché alla realizzazione di nuovi edifici con *target* di consumo quasi zero (Misura nZEB – *nearly Zero Energy Buildings* del Decreto 102/2014, che recepisce la Direttiva Europea 27/2012 e i DM 26/06/2015, che recepiscono la Direttiva UE 31/2010 sulla prestazione energetica degli edifici).

Lo sviluppo di prodotti e sistemi con prestazioni più alte rispetto a quelle disponibili a oggi sul mercato consentirà di rispondere in modo efficace alle nuove richieste di efficienza energetica anche tenendo conto del fatto che le soluzioni sviluppate potranno garantire, in maniera integrata, vantaggi di natura energetica, ambientale e sismica.

2.1 Impatti sul sistema elettrico e benefici attesi

La comparazione europea dei bilanci energetici mostra che in Italia il trasporto determina il 33,7% dei consumi di energia, il settore residenziale il 27,8%, l'industria il 22,6% e i servizi il 13,3%. L'Italia presenta una quota più elevata rispetto all'UE28 di 2,1 punti percentuali nel residenziale e di 0,5 punti nei trasporti, mentre registra una quota inferiore di 2,4 punti nell'industria e di 0,2 punti nei servizi.



CONSUMI FINALI DI ENERGIA PER RESIDENZIALE IN ITALIA E UE

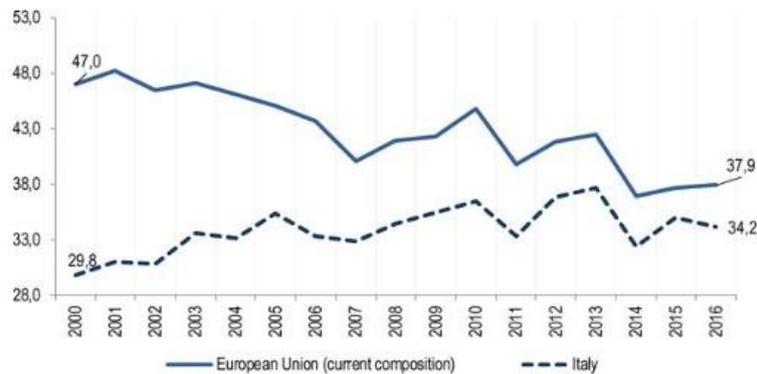
Anno 2000-2016 – indice 2000=100 – migliaia di tonnellata equivalente di petrolio – tutti i prodotti – Elaborazione Ufficio Studi Confartigianato su dati Eurostat

Figura 8: Quota di consumi finali di energia per settore in Italia e nell'Unione Europea (UE28)

L'intensità energetica del settore residenziale nel lungo periodo presenta una tendenza alla crescita: tra il 2000 e il 2016 il rapporto tra consumi energetici e spesa delle famiglie sale del 14,6%, mentre nello stesso periodo nell'Unione Europea scende del 19,3%. In Italia si evidenzia un rallentamento della domanda di energia del residenziale dovuto principalmente agli investimenti sostenuti usufruendo degli incentivi fiscali. Sui consumi energetici del settore residenziale pesa moltissimo la vetustà dello *stock* edilizio esistente: oltre la metà degli edifici sono stati costruiti prima degli anni '70, antecedenti agli *shock* energetici del 1973 e del 1979 e pertanto costruiti senza alcuna regola legata al risparmio energetico.

INTENSITÀ ENERGETICA RESIDENZIALE IN ITALIA E UE

Anno 2000-2016 – tonnellata equivalente di petrolio per milione di spesa delle famiglie– tutti i prodotti – Elaborazione Ufficio Studi Confortigianato su dati Eurostat



TREND PRODUZIONE NELLE COSTRUZIONI IN ITALIA E UEM

far. % tendenziale 2000-2017 – dati corretti con gli effetti di calendario – Elaborazione Ufficio Studi Confortigianato su dati Eurostat

Figura 9: Intensità energetica nel residenziale Italia-UE

CONSUMI FINALI DI ENERGIA PER RESIDENZIALE IN ITALIA E UE

Anno 2000-2016 – indice 2000=100 – migliaia di tonnellata equivalente di petrolio – tutti i prodotti – Elaborazione Ufficio Studi Confortigianato su dati Eurostat

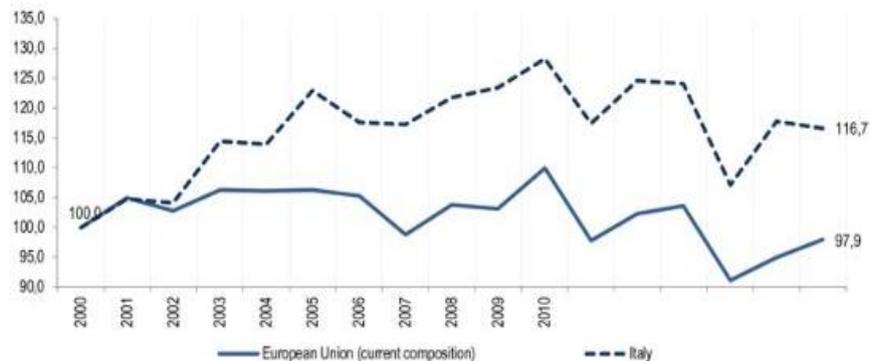


Figura 10: Consumi finali di energia per il settore residenziale in Italia e in UE

È prassi consolidata che i consumi termici per la climatizzazione invernale possano essere ridotti attraverso soluzioni di isolamento termico dall'esterno. Le soluzioni OSC seguono il medesimo principio con il significativo vantaggio di standardizzare soluzioni efficienti sia dal punto di vista termico e sismico sia dei costi di produzione.

Questa categoria di prodotti può, inoltre, favorire la concorrenza nel mondo delle costruzioni, consentendo agli edifici di raggiungere *standard* energetici e funzionali più elevati. La tecnologia, oltre i risultati attesi nell'ambito del progetto, consente di coinvolgere una realtà industriale molto ampia, che include rappresentanti del mondo delle costruzioni, realtà industriali ma anche ESCo e società di servizi. Dato di rilievo è che, agendo sugli strati più esterni dell'involucro edilizio, i sistemi sviluppati possono essere utilizzati con proficuità sia nei nuovi edifici sia nel caso di ristrutturazioni, leggere e pesanti e riqualificazioni, consentendo anche l'integrazione dei sistemi di distribuzione degli impianti (elemento di grande rilievo nei casi di ristrutturazione importante di primo livello).

Esiste un potenziale di 27 milioni di abitazioni residenziali (unità immobiliari) in Italia, più un settore del terziario in continua espansione, su cui intervenire in modo efficace con soluzioni innovative che spingono sempre più verso gli edifici a consumo quasi zero (nZEB). Si aggiunga il potenziale indotto generato

dall'edilizia scolastica, che in questi anni riveste sempre di più un ruolo centrale nella riqualificazione del parco edilizio pubblico.

Il progetto dimostrerà anche le rilevanti ricadute ambientali derivanti dallo sviluppo e dall'applicazione della tecnologia in esame. La riduzione dei fabbisogni di climatizzazione è associata a una riduzione dei consumi di energia primaria e di emissioni di gas climalteranti.

Volendo, inoltre, considerare i benefici attesi per gli utenti finali civili, la maggiore diffusione di interventi di Riqualificazione, grazie a una migliore e più semplice implementazione delle tecniche di edilizia *off-site*, consentirebbe di ridurre i costi delle bollette energetiche (dati ARERA indicano un aumento delle tariffe elettriche di circa 3% annuo: https://www.arera.it/it/com_stampa/07/cs_070928.htm) e di ottenere importanti risparmi in termini di fabbisogno energetico dell'edificio, con conseguente riduzione del consumo di energia primaria e di potenza installata.

Si può, altresì, affermare che l'efficacia delle soluzioni che saranno sviluppate dal progetto risulterà valida in tutte le condizioni climatiche italiane; pertanto l'applicazione su larga scala potrebbe costituire una consistente fonte di risparmio energetico e i benefici derivanti sarebbero molteplici:

- profitto diretto delle aziende generato dall'abbattimento dei costi di produzione;
- spinta verso l'aumento delle riqualificazioni energetiche di edifici e condomini esistenti;
- concretizzazione di opportunità e iniziative contro la disoccupazione;
- riduzione dei consumi petroliferi e della dipendenza energetica dall'estero.

3 Descrizione delle attività svolte e risultati

L'attività 2019 svolta dal gruppo di lavoro ENEA ha coinvolto numerose risorse, ognuna delle quali ha avuto un ruolo specifico per l'ottenimento dei risultati previsti a conclusione della prima annualità.

Molteplici sono state le sinergie tra le parti ed ognuno ha contribuito all'ottenimento degli obiettivi prefissati.

Di seguito si elencano le risorse ENEA coinvolte e si esplicitano le attività svolte:

MARIA-ANNA SEGRETO (Responsabile del WP2): si è occupata della scrittura del WP2, di definirne tempi e attività, di valutare gli impatti e i benefici del progetto sia a breve che a lungo termine. Ha definito gli output della modellazione e in che termini devono essere definiti i *benchmarks* di riferimento sui fabbisogni. Ha coordinato le diverse attività 2019 fungendo da collettore dei diversi risultati. Ha partecipato attivamente all'elaborazione del Rapporto finale e ne ha validato la stesura definitiva.

FRANCESCO BALDI: si è occupato, nella definizione dell'edificio ricorrente, dell'esame della parte impiantistica relativa al riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Ha, inoltre, supportato la parte di modellazione istruendo delle procedure *ad hoc* per le simulazioni multiple e definendo i programmi di funzionamento degli impianti. Ha contribuito alla stesura del Rapporto finale.

ANTONIO DI MICCO: ha supportato il team che si è occupato della modellazione con ricerca di dati storici in bibliografia e attraverso lo studio della normativa tecnica di riferimento per la parte relativa agli impianti meccanici.

ILARIA FALCONE: ha supportato il team di lavoro attraverso una precisa e approfondita ricerca bibliografica sul parco edilizio esistente italiano.

ENRICO GENOVA: si è occupato dello studio delle parti d'involucro con l'obiettivo di definire una soluzione "ricorrente" italiana da usare come *benchmark* di riferimento per la modellazione dei fabbisogni energetici dell'edificio tipo. Ha supportato il collega Baldi nel definire i programmi di funzionamento degli impianti in fase d'uso. Ha partecipato alla stesura del Rapporto finale.

ALESSANDRA GUGLIANDOLO: si è occupata della definizione dell'edificio ricorrente, della relativa modellazione e simulazione in regime dinamico. Ha inoltre analizzato quali fossero le condizioni di *comfort* interno più rappresentative del caso in esame effettuando anche una specifica analisi sui sistemi schermanti e sulla ventilazione naturale. Con il collega Genova, ha collaborato allo studio sui componenti d'involucro. Ha partecipato alla stesura del Rapporto finale.

ANNA MARZO: si è occupata di verificare ed analizzare i dati relativi alla struttura di riferimento individuata accompagnando un'analisi delle normative sismiche cogenti al fine di ottenere un quadro preciso del contesto in cui dovrà essere inserito il telaio da progettare per l'esecuzione delle tavole vibranti (attività che si svolgeranno nella seconda e terza annualità).

MATTIA RICCI: si è occupato di organizzare e coordinare il gruppo di lavoro che progetterà le attività relative allo studio degli ancoraggi. Ha, inoltre, verificato le attuali norme tecniche relative ai sistemi di ancoraggio.

CARLO ROMEO: ha supportato il team che si è occupato della modellazione attraverso studi e ricerche mirate alla conoscenza approfondita del parco edilizio italiano col fine di definire tipologie costruttive ricorrenti.

IVAN ROSELLI: si è occupato di verificare ed analizzare i dati relativi alla struttura di riferimento individuata al fine di ottenere un quadro preciso del contesto in cui dovrà essere inserito il telaio da progettare per l'esecuzione delle tavole vibranti (attività che si svolgeranno nella seconda e terza annualità).

FERNANDO SAITTA: in supporto al collega Rosselli, si è occupato di verificare ed analizzare i dati relativi alla struttura di riferimento individuata al fine di ottenere un quadro preciso del contesto in cui dovrà essere inserito il telaio da progettare per l'esecuzione delle tavole vibranti (attività che si svolgeranno nella seconda e terza annualità).

ALESSANDRO TALLINI: ha supportato il collega Baldi, nell'individuazione di soluzioni impiantistiche ricorrenti sul territorio italiano.

SALVATORE TAMBURRINO: ha supportato il team che si è occupato della modellazione con ricerca di dati storici in bibliografia e attraverso lo studio della normativa tecnica di riferimento per la parte relativa all’involucro edilizio.

CONCETTA TRIPEPI: si è occupata, in supporto alla collega Marzo, di verificare ed analizzare i dati relativi alla struttura di riferimento individuata accompagnando un’analisi delle normative sismiche cogenti al fine di ottenere un quadro preciso del contesto in cui dovrà essere inserito il telaio da progettare per l’esecuzione delle tavole vibranti (attività che si svolgeranno nella seconda e terza annualità).

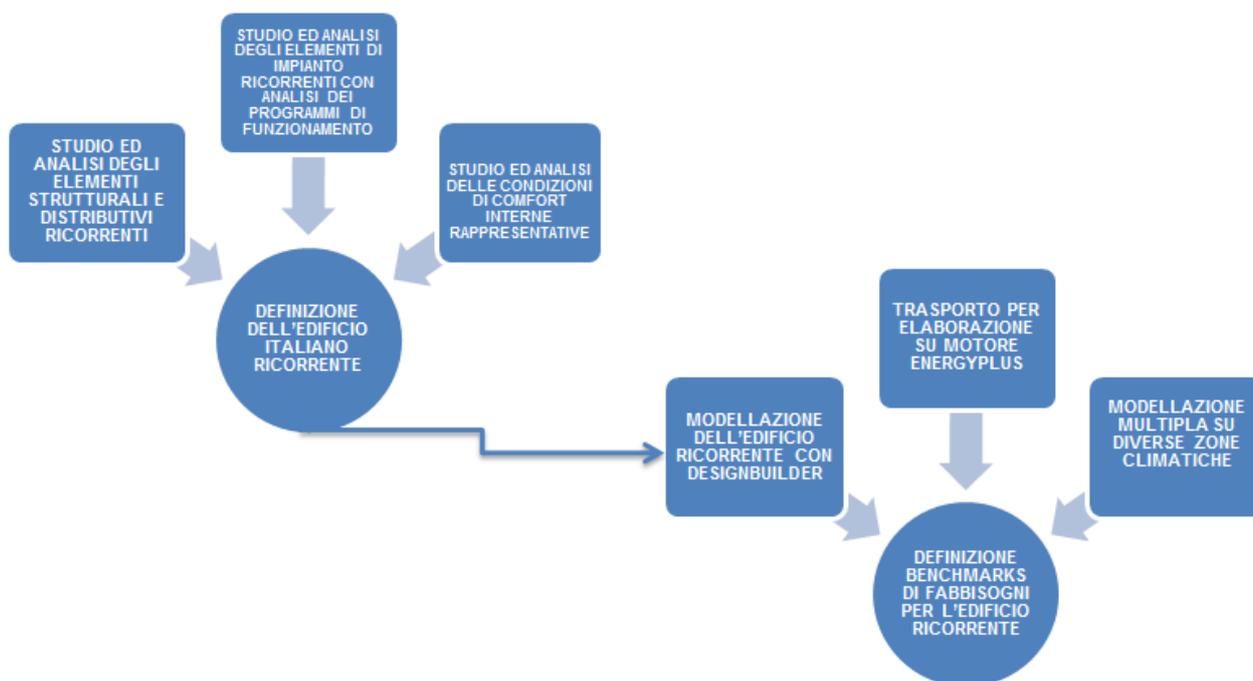


Figura 11: Schema delle attività svolte nella prima annualità del progetto (2019)

4 Definizione dell’edificio ricorrente

4.1 Dati atti a determinare il modello

L’oggetto dello studio è l’identificazione di un edificio residenziale che sia rappresentativo di gran parte del parco edilizio italiano e sul quale sia possibile fare delle valutazioni termiche. Al fine di definire il modello del suddetto edificio, si è scelto di riferirsi al censimento generale della popolazione e delle abitazioni condotto dall’Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) in Italia nel 2011 (15° del 9 ottobre 2011)¹.

Il 15° Censimento generale contiene informazioni a livello subcomunale, sugli indici demografici e sociali della popolazione con dimora abituale in Italia e sul patrimonio edilizio a destinazione residenziale ad esso riferito.

I questionari fotografano la popolazione italiana al 9 ottobre 2011. I dati, ricavabili dagli stessi questionari, sono presentati su tavole multidimensionali, che possono comporre tabelle e grafici personalizzati al variare dei filtri scelti.

¹ I dati sono consultabili all’indirizzo <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/>. “Il censimento della popolazione e delle abitazioni rileva, per ciascun comune, la totalità delle persone dimoranti abitualmente e consente di conoscere la struttura demografica e sociale dell’Italia e dei suoi territori. Il 9 ottobre 2011 è la data di riferimento del 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni [...]”. Tra i moduli del questionario sono compresi un “Modello di edificio” (<http://siqua.istat.it/SIQual/files/CP.ED.pdf?ind=7777789&cod=4758&progr=1&tipo=4>) e un “Foglio di famiglia” (http://siqua.istat.it/SIQual/files/CP.1_3P.pdf?ind=7777789&cod=4754&progr=1&tipo=4), nei quali sono richieste informazioni sull’edificio e sull’abitazione.

Le elaborazioni dei dati si riferiscono alle cinque macro-aree “Nord-Ovest”, “Nord-Est”, “Centro”, “Sud” e “Isole”, così composte:

- Nord-Ovest: Liguria, Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta;
- Nord-Est: Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Trentino-Alto Adige, Veneto;
- Centro: Lazio, Marche, Toscana ed Umbria;
- Sud: Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia)
- Isole: Sardegna, Sicilia.

Dai dati del censimento del 2011 emerge che in Italia esistono 14.452.680 edifici e 63.115 complessi di edifici, per un totale di 14.515.795. Di questi il 25,2% si trova al Sud, il 22,6 % nel Nord-Ovest; il 19,2% nel Nord-Est; il 16,9% al Centro e il restante 16,1% nelle Isole. La gran parte degli edifici sono concentrati in due regioni: la Lombardia (12,2%) e la Sicilia (11,9%) (Figura 12).

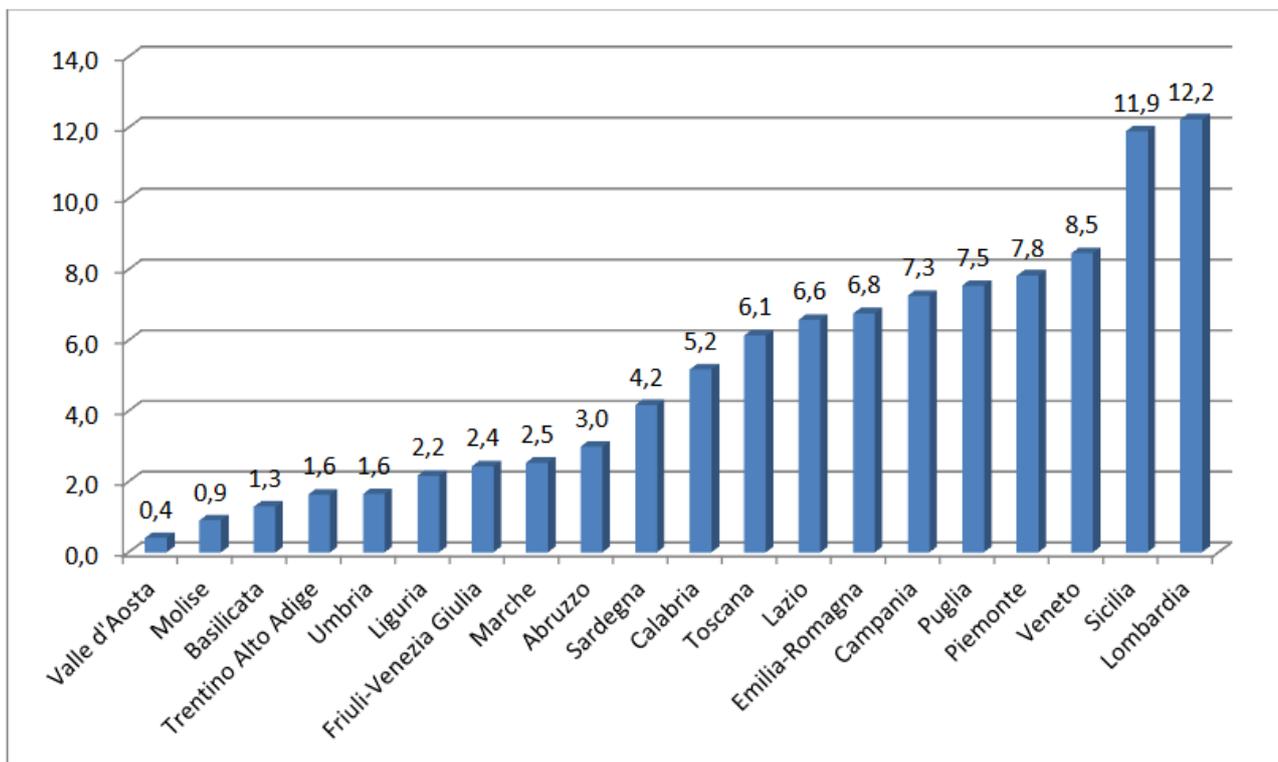


Figura 12: Edifici e complessi di edifici (val.% sul totale nazionale)

Fonte: elaborazione su dati Istat del Centro Studi sull’Economia Immobiliare –CSEI Tecnoborsa

4.1.1 Definizione dell’edificio ricorrente

Esaminando le varietà degli edifici è emerso che in Italia l’88,5% sono destinati a uso residenziale. In Italia gli edifici residenziali sono 12.187.698.

Dai dati del censimento del 2011 emerge che, per il patrimonio residenziale nazionale, il periodo di più intensa attività edilizia è il decennio 1971-1980 (2.177.651 edifici residenziali); poco inferiore è il numero di costruzioni del decennio 1961-1970 (2.050.833); seguono il periodo del dopoguerra, 1946-1960 (1.700.836), e il decennio 1981-1990 (1.462.767).

In tutte le “macroregioni” del Paese il patrimonio edilizio residenziale si concentra soprattutto nei decenni 1961-1970 e 1971-1980. Nell’Italia settentrionale (“Nord-Ovest” e “Nord-Est” secondo le ripartizioni dell’ISTAT) il numero di edifici è leggermente maggiore nel periodo 1961-1970, ma il decennio successivo predomina sia nell’Italia centrale (“Centro”) sia in quella meridionale (“Sud” e “Isole”).

In Italia gli edifici residenziali sono 12.187.698 e la maggiore concentrazione si trova in Sicilia e in Lombardia, dove la densità abitativa è strettamente correlata con la distribuzione della popolazione.

In Italia negli edifici a uso residenziale in media ci sono 2,6 abitazioni; da un’indagine legata al territorio emerge una certa disomogeneità legata agli sviluppi urbanistici del territorio in esame. Nel caso dei Comuni “maggiori” il numero delle abitazioni è decisamente più elevato:

- a Milano 15;
- a Torino 12,4;
- a Genova 10,4;
- a Roma 9,2;
- a Napoli 8,9;
- a Palermo 6,2.

Al fine di determinare la distribuzione della popolazione residente in edifici a uso abitativo si è evinto che in Italia il 18,8 % risiede in fabbricati con un solo interno, il 16,6% in quelli con due interni, il 34,4% fra tre e dieci interni e il restante 30,1% in quelli con più di dieci interni.

Dal momento che il numero degli interni non dà un’indicazione di massima sulle modalità costruttive degli edifici oggetto dell’indagine, si è scelto di fare un’analisi qualitativa in funzione dell’epoca di costruzione degli edifici presenti sul territorio nazionale.

Dai dati del censimento emerge che il 70% della popolazione italiana risiede in edifici che hanno più di 30 anni e nello specifico e: il 9,4% della popolazione in abitazioni costruite prima del 1919; il 7,9% tra il 1919 ed il 1945, il 13,2% tra il 1946 e il 1960; il 38,8% tra 1961 e il 1980; il 22,3% tra il 1981 e il 2000 e il restante 8,4% tra il 2001 e il 2011.

L’edificio residenziale preso a modello per questa indagine sarà, dunque, quello che fa riferimento alle tecniche costruttive diffuse nel decennio 1971-1980, poiché risulta il più rappresentativo.

Dal punto di vista delle tecniche costruttive, questo periodo risulta abbastanza omogeneo in ambito residenziale. La scelta strutturale ricade sulle strutture intelaiate in calcestruzzo armato con tamponamenti in laterizi forati, di cui si comincia a definire una grande varietà di tipologie, funzione dell’indice di foratura e della fornace di produzione.

Nel parco edilizio residenziale italiano i fabbricati a destinazione residenziale più numerosi sono quelli a due elevazioni (5.981.256), seguiti da quelli a tre (2.948.147) e un piano fuori terra (2.083.389). Solo 1.174.906 risultano essere le costruzioni residenziali con almeno quattro piani fuori terra.

Per rivolgere la ricerca ad agglomerati urbani con modelli edilizi largamente diffusi, si è concentrata l’attenzione su centri urbani di grandi dimensioni.

Alla luce dei dati del censimento, si sono analizzate le distribuzioni edilizie in funzione dell'elevazione dei fabbricati, circoscrivendo l'indagine alle città italiane più popolate².

Città	1 elevazione	2 elevazioni	3 elevazioni	4 o più elevazioni
Roma	17.523	34.802	29.998	54.698
Milano	2.940	6.043	5.503	28.494
Napoli	4.807	12.197	7.272	16.479
Torino	3.217	7.368	4.446	21.127
Palermo	7.533	16.558	9.274	12.928
Genova	2.771	7.600	5.573	13.724
Bologna	510	4.788	5.144	11.707
Firenze	3.170	11.102	6.813	9.985
Bari	4.838	6.730	4.463	7.221
Catania	9.438	8.739	5.279	5.532

Il gruppo più rappresentativo è quello con edifici con più di quattro elevazioni, ad eccezione di Palermo e Firenze, dove questo gruppo risulta essere solo al secondo posto subito dopo gli edifici con due piani fuori terra. Nel caso di queste due città, si prende nota del fatto che la maglia urbanistica risente della storia dello sviluppo sociale della città. Nel caso di Catania, invece, gli edifici più numerosi sono quelli a una e a due elevazioni.

I dati del censimento non consentono di analizzare la consistenza degli edifici in funzione della posizione rispetto al centro dell'aggregato urbano; si assume dunque che l'edificio da adoperare nella definizione di un esempio di riferimento abbia almeno quattro elevazioni.

Dai dati del 15° Censimento è possibile filtrare i risultati relativi al numero di abitazioni in funzione della "classe di superficie"³. Si ricava così che in Italia le abitazioni occupate da residenti hanno una dimensione media di 99,3 mq; nel Nord-Est questo valore raggiunge i 105,2 mq e nelle isole i 100,9 mq; al contrario nel Nord-Ovest e nel Centro questi valori risultano rispettivamente 95,8 mq e 97,3mq.

Suddividendo questi valori per numero di edifici si ottiene che il gruppo più rappresentativo è quello delle abitazioni con superficie⁴ compresa fra 80 m² e 99 m² (6.081.472 - 25,2%); seguono la classe di superficie relativa a 60÷79 m² (4.993.602 - 20,7%), quella con abitazioni comprese tra 100÷119 m² (4.192.549 - 12%); il 20,7% corrisponde alle abitazioni con una superficie inferiore ai 60 m² e l'11,3% a quelle con una superficie di oltre 150 m². La classe di superficie 80÷99 m² è, dunque, la più numerosa in ciascuna "macroregione"; di seguito viene mostrato un grafico relativo alla distribuzione media delle aree delle abitazioni suddivise per regione.

² Limitando l'interrogazione al decennio 1971-1980, si ottiene il numero complessivo di edifici ma non la distinzione per numero di piani.

³ Questi dati si ottengono attraverso l'interrogazione "Abitazioni occupate da persone residenti"/"Abitazioni per numero di stanze e classi di superficie dell'abitazione (mq)"

⁴ Nel modulo "Foglio di famiglia" del censimento, a pagina 6, si specifica di considerare come superficie dell'abitazione "la superficie del pavimento di tutte le stanze dell'abitazione, compresi i bagni, le cucine, i vani accessori ed esclusi i terrazzi, i balconi e le pertinenze (come, ad esempio, cantine, soffitte, garage e box auto)" (http://siqua.istat.it/SIQual/files/CP.1_3P.pdf?ind=777789&cod=4754&progr=1&tipo=4).

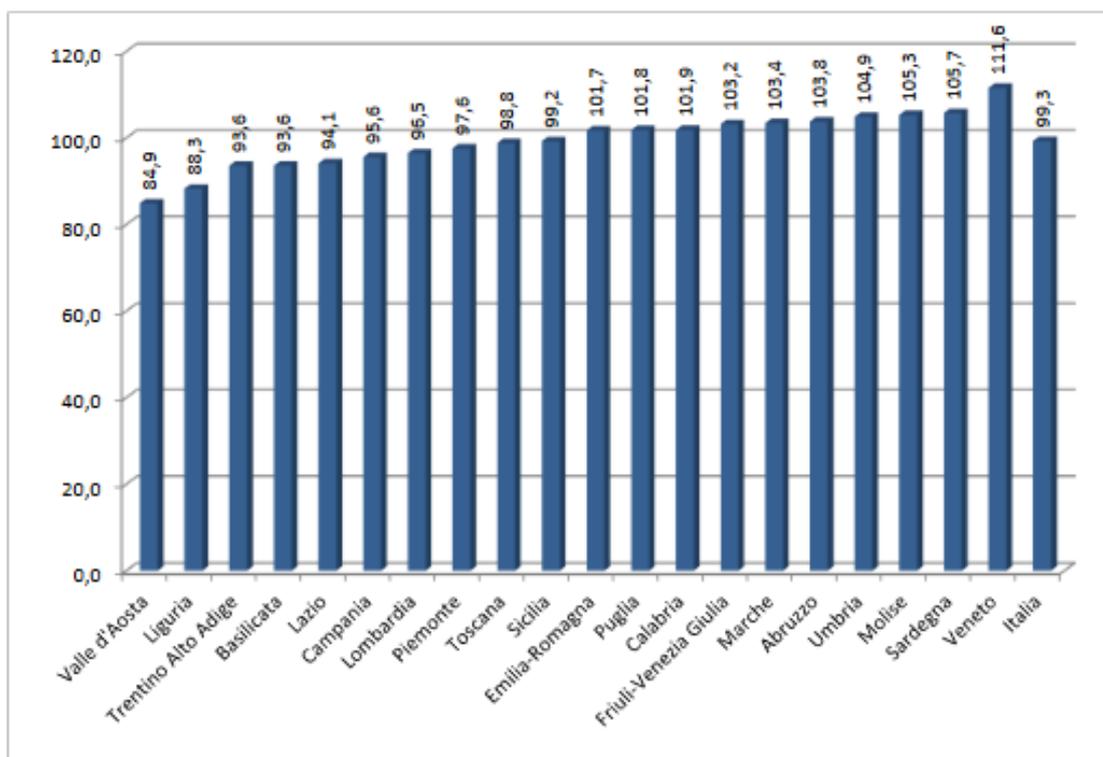


Figura 13: Superficie media delle abitazioni occupate da persone residenti (valori medi in m2)

Fonte: elaborazione su dati Istat del Centro Studi sull'Economia Immobiliare – CSEI Tecnoborsa

Nel Nord-Ovest si osserva la percentuale più alta di residenze con superficie inferiore a 80 m², nel Nord-Est la più alta di abitazioni sopra i 149 m²; nella macroregione “Centro” è seconda la classe 60÷79 m², mentre al Sud e nelle Isole questa posizione è occupata dalla classe 100÷119 m².

I dati del censimento racchiudono in un unico gruppo gli edifici, definiti dal filtro “SCALA”, costituiti da almeno sedici abitazioni.

Al fine di stabilire il numero delle unità immobiliari da prendere in considerazione e far sì che questi siano suddivisibili nei vari piani in numero pari (identificazione del *piano tipo*) si è effettuata una nuova interrogazione con filtri.

Si sono analizzati i risultati relativi a “Edifici residenziali” / “Edifici residenziali per numero di scale e numero di piani fuori terra”, circoscritti ai fabbricati con “4 e più piani”. Sia a livello nazionale sia nelle singole “macroregioni”, fra i tre gruppi rilevati nel censimento, si sono considerate le seguenti condizioni: “nessuna scala”, “una scala”, “due o più scale”.

Il gruppo maggiormente rappresentativo risulta essere quello degli edifici con un accesso/scala, considerazione che trova conferma anche nelle dieci città più popolate, sempre limitando l’interrogazione agli edifici con più di quattro piani.

Dalla progettazione secondo regola d’arte e considerazioni relative all’architettura e alla composizione architettonica si è assunto che un corpo scala dia accesso a un numero di unità immobiliari compreso fra due e quattro.

4.1.2 Riepilogo delle caratteristiche geometriche del modello

Le caratteristiche del modello edilizio, individuate anche attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati del Censimento generale del 2011, possono essere così riassunte:

- l'edificio, privo di piano cantinato, si sviluppa per sei elevazioni ed è dotato di un solo corpo scala, a servizio di tre unità immobiliari per piano (incluso quello terraneo);
- ciascuna unità immobiliare ha una superficie utile di 90 m², intermedia fra i valori estremi che definiscono la classe di superficie 80÷99 m²;
- il corpo scala-ascensore e il disimpegno d'accesso agli appartamenti hanno un'area di sedime⁵ complessiva di 30 m²;
- la superficie lorda di piano è pari a 1,2 volte la superficie netta, cioè 360 m²;
- l'edificio è profondo 12 m (di conseguenza la larghezza è pari a 30 m);
- l'altezza netta di piano è pari a 2,70 m, valore minimo dell'altezza interna dei locali d'abitazione stabilito con D.M. del 5 luglio 1975;
- lo spessore dei solai di piano è pari a 30 cm al finito (in tal modo l'interpiano risulta pari a 3 m);
- la copertura è piana;
- la superficie degli infissi non è inferiore a 1/8 della superficie di pavimento, come stabilito nell'articolo 5 del D.M. del 5 luglio 1975 in merito alla superficie finestrata apribile.

4.1.3 Definizione delle zone termiche

Nel definire l'oggetto della simulazione si è ipotizzato che lungo una delle facciate maggiori dell'edificio si affacci il corpo scala. In un primo momento i lati minori dello stesso sono stati rivolti rispettivamente a sud e ad est ma in seguito si è deciso di ruotare il modello per verificare come mutavano i risultati al variare dell'esposizione.

Si assume che l'edificio sia privo di rientranze e aggetti; per ciò che riguarda l'ombreggiamento si è proceduto ad analizzare il modello con e senza la presenza di edifici limitrofi.

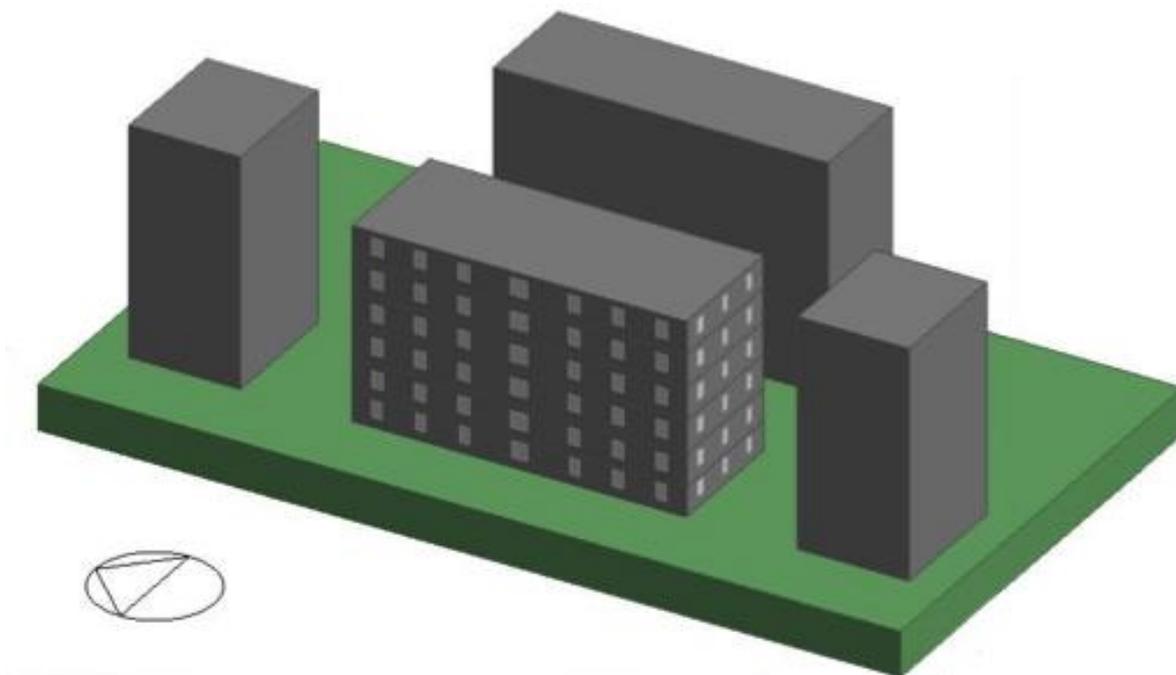


Figura 14: Modello dell'edificio di riferimento

⁵ Si assume: lunghezza scala = (3,2+1,2+1,2+1) m; larghezza scala = (1,2+1,2+0,3) m; ascensore = (2·2) m²; disimpegno = (2·4) m².

Dai dati del 15 ° Censimento generale delle abitazioni e della popolazione si evince che, in Italia, il 91,4 % delle abitazioni occupate da persone residenti siano dotate di un impianto di riscaldamento; questo dato varia in stretta correlazione con la regione di riferimento. Risulta evidente, infatti, come nelle regioni meridionali e nelle isole questo dato presenti un picco al ribasso, probabilmente legato alla presenza di abitazioni stagionali in località di villeggiatura estiva (Figura 15).

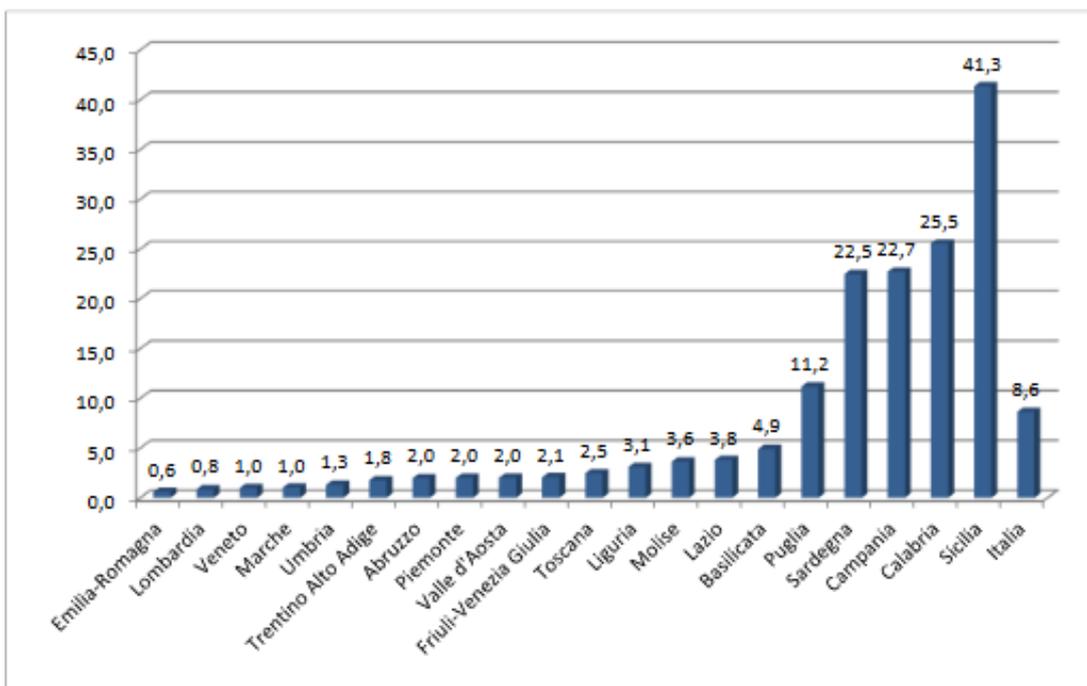


Figura 15: Abitazioni occupate da persone residenti senza impianto di riscaldamento (%)

Fonte: elaborazione su dati Istat del Centro Studi sull’Economia Immobiliare – CSEI Tecnoborsa

Di queste abitazioni termo-dotate, il 65,1% ha un impianto di riscaldamento autonomo; il 20,2 % un impianto centralizzato, il 13,5% ha apparecchi singoli fissi che riscaldano alcune parti dell’abitazione e l’8,9% ha apparecchi singoli fissi che riscaldano la maggior parte dell’abitazione⁶.

Tuttavia, il modello edilizio da sottoporre a simulazione è più specificatamente rappresentativo degli agglomerati urbani con una forte urbanizzazione. Da questo punto di vista si osserva che gli impianti di riscaldamento centralizzati a uso di più abitazioni sono molto diffusi nelle maggiori città italiane: Milano (77,2%), Torino (70,8%), Genova (49,8%) e Roma (46,5%). Le altre tipologie di impianti di riscaldamento sono comunque poco presenti in ognuna delle 5 macroregioni, e di conseguenza a livello nazionale (Figura 16).

⁶ La somma delle percentuali delle abitazioni occupate da almeno una persona residente per tipologia di impianto di riscaldamento supera il 100% perché in un’unità abitativa possono essere presenti più installazioni (Fonte: Tecnoborsa).

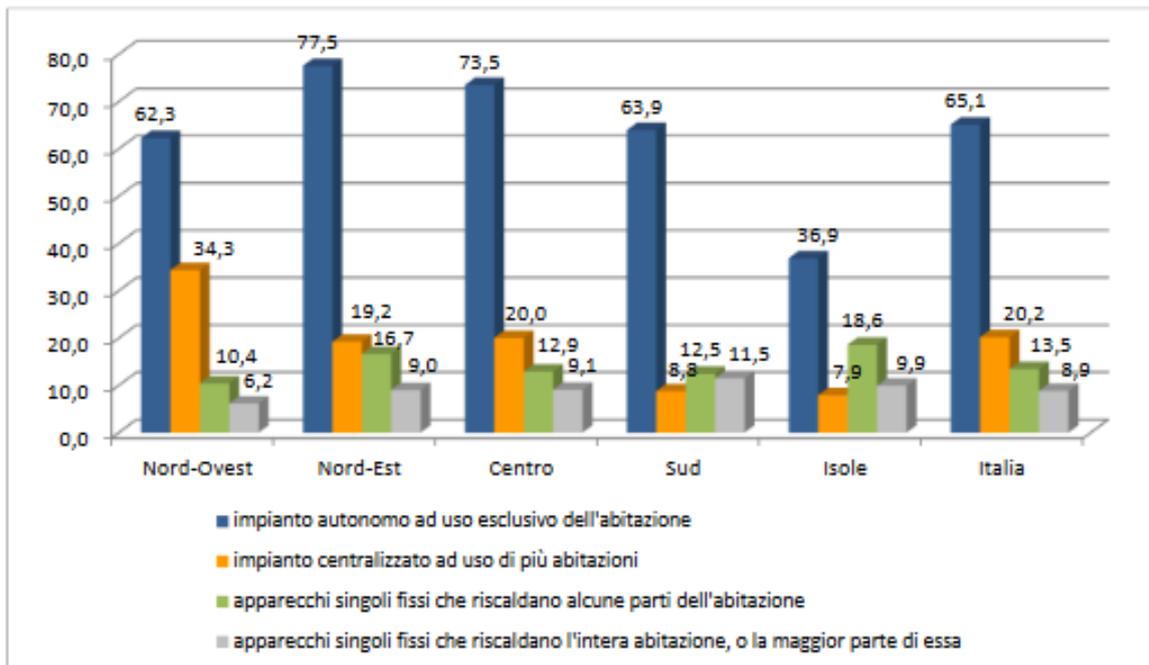


Figura 16: Tipologia installazione di riscaldamento
(val.% sul totale abitazioni occupate da persone residenti)

Fonte: elaborazione su dati Istat del Centro Studi sull'Economia Immobiliare – CSEI Tecnoborsa

Dall'analisi dei dati si è evinto anche quale tipo di combustibile e vettore energetico sia maggiormente rappresentato.

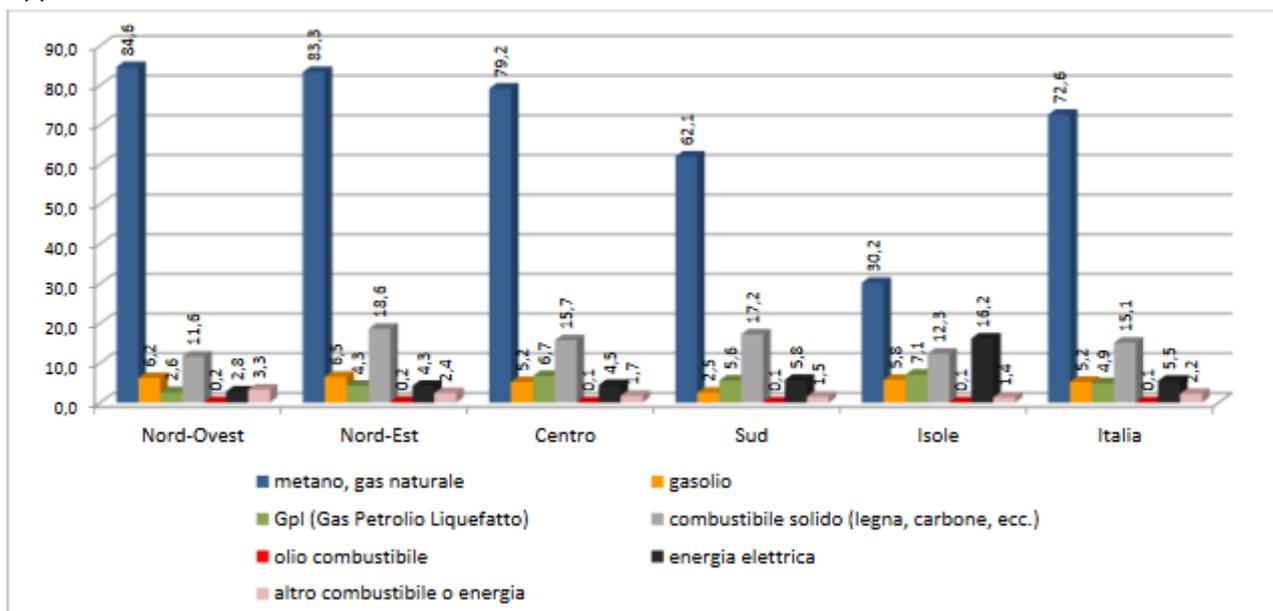


Figura 17: Tipo di combustibile o energia che alimenta l'impianto di riscaldamento
(val.% sul totale delle abitazioni occupate da persone residenti)

Fonte: elaborazione su dati Istat del Centro Studi sull'Economia Immobiliare – CSEI Tecnoborsa

Risulta dunque evidente come il 72,6 % delle abitazioni abbia un impianto alimentato a metano o a gas naturale; il 15,1 % da combustibile solido; da energia elettrica sono alimentati il 5,5% degli impianti elettrici; mentre gasolio e gpl risultano presenti per il 5,2% ed il 4,9%; infine solo il 2,3% da altri combustibili/energia o olio.

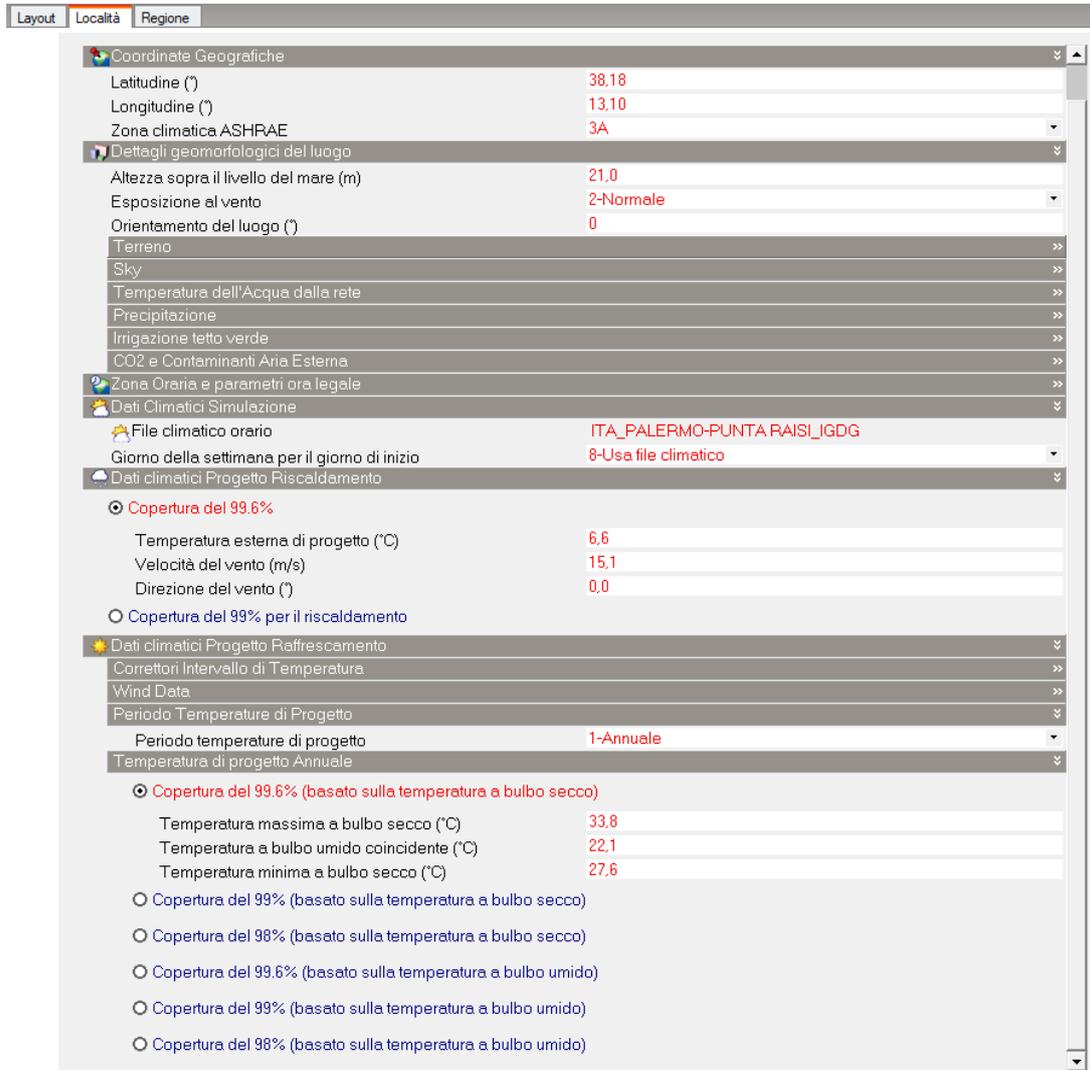
Si è assunto che nell'edificio sia presente un impianto centralizzato di riscaldamento alimentato a metano poiché in Italia più di due terzi degli impianti di riscaldamento sono alimentati a metano o gas naturale. Quest'ultimo può essere schematizzato in funzione delle zone termiche a cui afferisce, una per ogni appartamento ed una per il vano scala. Gli interni per piano sono tre e dunque si avranno tre zone termiche per piano a destinazione abitativa; artificio utile nella modellazione termica tramite *software*.

Il vano della scala, denominato "Z1" in ciascun piano, è esposto su uno dei lati maggiori del fabbricato; per le unità immobiliari, invece, le denominazioni sono "Z2", "Z3", "Z4" in ciascun piano.

La zona del vano scala è stata assunta come "non climatizzata".

4.2 Dati climatici

I dati climatici del luogo di progetto sono stati desunti dai dati metereologici rinvenibili sul sito http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/ITA_Italy/index.html, riferiti all'anno 2003-2017. Queste informazioni sono sostanziali per un'analisi energetica del comportamento di un edificio; comportamento influenzato anche dai dettagli del luogo (quota s.l.m., caratteristiche del terreno, temperature mensili, precipitazioni ed esposizione al vento).



Layout	Località	Regione
Coordinate Geografiche		
Latitudine (°)	38,18	
Longitudine (°)	13,10	
Zona climatica ASHRAE	3A	
Dettagli geomorfologici del luogo		
Altezza sopra il livello del mare (m)	21,0	
Esposizione al vento	2-Normale	
Orientamento del luogo (°)	0	
Terreno		>>
Sky		>>
Temperatura dell'Acqua dalla rete		>>
Precipitazione		>>
Irrigazione tetto verde		>>
CO2 e Contaminanti Aria Esterna		>>
Zona Oraria e parametri ora legale		
Dati Climatici Simulazione		
File climatico orario	ITA_PALERMO-PUNTA RAISI_IJGDG	
Giorno della settimana per il giorno di inizio	8-Usa file climatico	
Dati climatici Progetto Riscaldamento		
<input checked="" type="radio"/> Copertura del 99.6%		
Temperatura esterna di progetto (°C)	6,6	
Velocità del vento (m/s)	15,1	
Direzione del vento (°)	0,0	
<input type="radio"/> Copertura del 99% per il riscaldamento		
Dati climatici Progetto Raffrescamento		
Correttori Intervallo di Temperatura		>>
Wind Data		>>
Periodo Temperature di Progetto		>>
Periodo temperature di progetto	1-Annuale	
Temperatura di progetto Annuale		
<input checked="" type="radio"/> Copertura del 99.6% (basato sulla temperatura a bulbo secco)		
Temperatura massima a bulbo secco (°C)	33,8	
Temperatura a bulbo umido coincidente (°C)	22,1	
Temperatura minima a bulbo secco (°C)	27,6	
<input type="radio"/> Copertura del 99% (basato sulla temperatura a bulbo secco)		
<input type="radio"/> Copertura del 98% (basato sulla temperatura a bulbo secco)		
<input type="radio"/> Copertura del 99.6% (basato sulla temperatura a bulbo umido)		
<input type="radio"/> Copertura del 99% (basato sulla temperatura a bulbo umido)		
<input type="radio"/> Copertura del 98% (basato sulla temperatura a bulbo umido)		

Figura 18: Dati relativi alla località designata in DesignBuilder

Il terreno circostante è stato considerato pieno, senza ostacoli alla radiazione solare diretta e avente uno specifico coefficiente di riflessione (ad esempio pari a 0,2) e temperature mensili del terreno suddivise in funzione della profondità dello stesso, così come si può evincere dal prospetto dedicato. Questi dati variano al variare della tipologia del terreno. Più nello specifico, per lo strato corticale del terreno, si assume che la temperatura vari rispetto alla media annuale della temperatura dell'aria secondo una curva sinusoidale, di periodo pari a un anno e ampiezza di 5°C; si ipotizza che il valore massimo di temperatura del terreno cada alla metà di agosto".

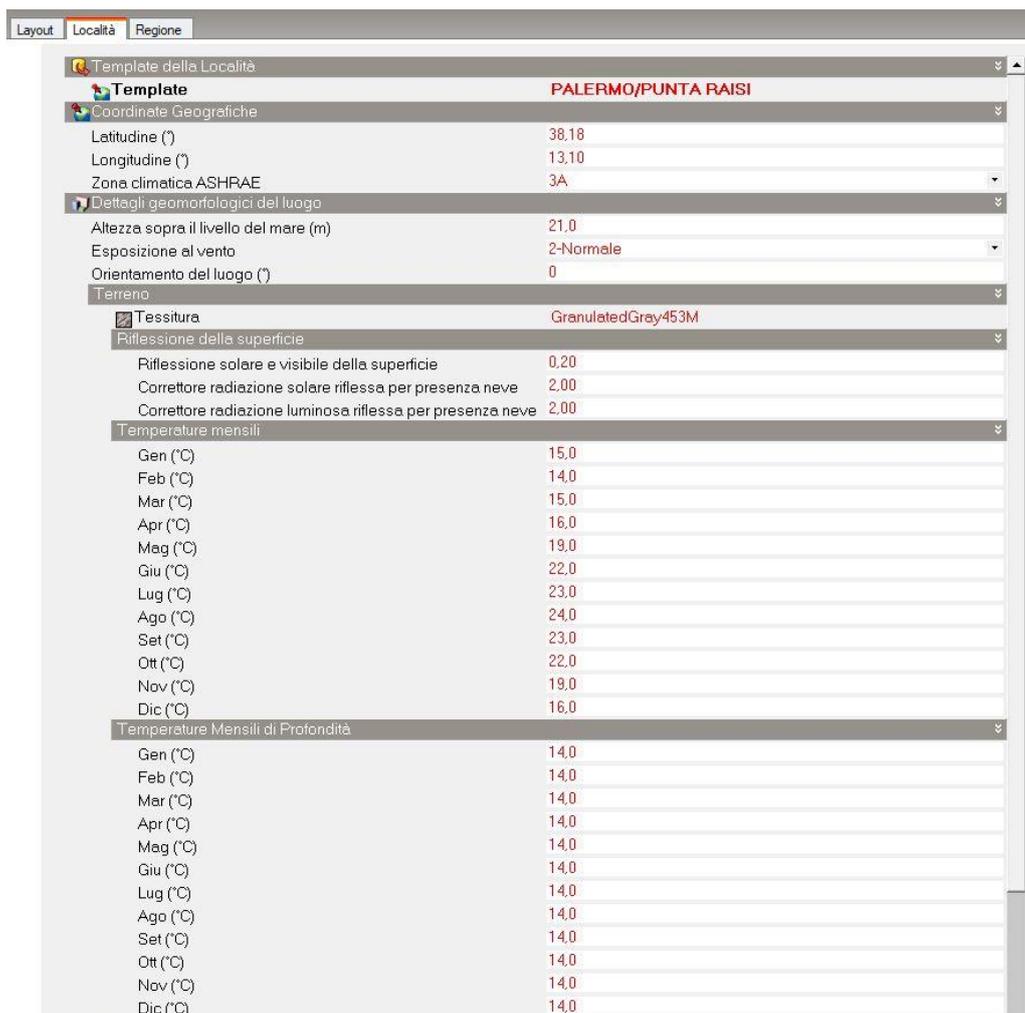


Figura 19: Template località



Figura 20: Caratteristiche del terreno

Le caratteristiche del terreno sono riassunte in funzione delle proprietà termofisiche del materiale e della geolocalizzazione dello stesso, così come di seguito indicato.

Materiali	
Report di dati (Non editabile)	
Generale	
Soil - earth, common	
Fonte	CIBSE Guide A (2006)
Categoria	Sabbie, pietre e terreni
Regione	General
Spessore Strato di Materiale	
Spessore forza	No
Proprietà Termiche	
Proprietà dettagliate	Si
Proprietà termo fisiche del materiale	
Conducibilità (W/m-K)	1,2800
Calore specifico (J/kg-K)	880,00
Densità (kg/mc)	1460,00
Resistenza (valore-R)	No
Resistenza alla Diffusione del Vapore	
Definizione resistenza alla diffusione del vapore	1-Fattore
Fattore di Resistenza alla Diffusione del Vapore	50
Resistività alla diffusione del vapore (MN/g)	10
Trasferimento dell'umidità	
Include le impostazioni di trasferimento dell'umidità	Si
impostazioni di trasferimento dell'umidità	Generic Soil
Proprietà della superficie	
Assorbanza termica (emissività)	0,900
Assorbanza solare	0,600
Assorbanza visibile	0,600
Rugosità	3-Ruvido
Colore	
Tessitura	Ground

Figura 21: Caratteristiche del terreno

Modellando in regime dinamico, i file climatici risultano essere una variabile importante su cui basare la propria indagine, in quanto forniscono le informazioni dell'intorno fisico in cui verrà condotta l'indagine sull'edificio.

All'interno del software commerciale *DesignBuilder* esiste una sezione definita "modellazione HVAC dettagliata" all'interno della quale vengono settati i parametri climatici influiscono sensibilmente sulle prestazioni dell'edificio simulato ed è dunque essenziale che questi siano i più affidabili possibile.

I dati attuali è necessario fare ricorso ad un file climatico in formato.epw.

Questi dati rappresentano le osservazioni meteorologiche dei cosiddetti "anni tipo", sintesi dei 12 mesi più rappresentativi delle condizioni climatiche del luogo.

Le grandezze presenti in questi file climatici sono la temperatura dell'aria, la temperatura di rugiada, l'umidità relativa, la pressione atmosferica, la velocità e la direzione del vento, l'irraggiamento orizzontale globale, componente orizzontale diffusa e quella normale diretta e la quantità di precipitazioni.

4.3 Condizioni di comfort interno

Affinché vengano rispettate le condizioni di *comfort* interno, gli spazi interni del modello edilizio sono dimensionati nel rispetto dei minimi *standard* dati dalla legislazione corrente e dalle norme tecniche in materia di salubrità degli ambienti. Si fa riferimento alla norma UNI 10339, che definisce anche quali siano le condizioni termoisometriche all'interno dei locali affinché vengano definiti i ricambi d'aria minimi e affinché le condizioni interne risultino confortevoli. Il benessere interno dipende, oltre che dalla località, dal regime di funzionamento degli impianti (riscaldamento/raffrescamento), dall'attività metabolica prevista, dalla resistenza del vestiario e dal tempo di permanenza degli occupanti.

Nella norma sono indicate condizioni di benessere *standard*, che variano al variare della stagione.

PERIODO INVERNALE	PERIODO ESTIVO
Temperatura interna: 20° C	Temperatura interna: 26° C
Umidità relativa interna: 35 - 45%	Umidità relativa interna: 50 - 60%
Umidità relativa esterna: 60%	

Nel caso in esame i locali sono utilizzati come residenza abituale, nella quale ordinariamente si svolgono attività dal basso dispendio metabolico nel rispetto di **tre indici abitativi**:

1. **indice di affollamento;**
2. **standard abitativo;**
3. **rapporto aeroilluminante.**

- **L'indice di affollamento** si calcola dividendo il numero di abitanti per il numero di vani principali dell'appartamento, senza considerare bagni e disimpegni.

I.A. = N° abitanti/N° vani

x ≤ 1	OTTIMALE
1 > x > 2	AFFOLLAMENTO
x > 2	SOVRAFFOLLAMENTO

- **Lo standard abitativo** si calcola dividendo la superficie totale netta per il numero degli abitanti

STANDARD ABITATIVO = Superficie totale/N° Abitanti

SUPERFICIE MINIMA PER ABITANTE	<i>Se inferiore a 20 mq/ab</i>	INADEGUATO
---------------------------------------	--------------------------------	-------------------

Il rapporto aeroilluminante si calcola dividendo la superficie delle finestre e quella del pavimento :

Rapporto aeroilluminante = Sup finestre / Sup pavimento

Questo valore non dovrebbe essere inferiore a 1/8 per un numero efficace di ricambi d'aria orario ed un opportuno illuminamento; tale rapporto minimo è reso prescrittivo.

Al fine di voler dimensionare l'edificio, oggetto dello studio, in assoluta ottemperanza con la legislazione corrente in materia di salubrità degli ambienti, si è scelto di riferirsi dal Decreto Ministeriale 5 maggio 1975 e s.m.i.

Alla luce delle evidenze sopra citate, si è ritenuto opportuno assegnare un valore di densità di occupazione differente tra le zone termiche afferenti agli appartamenti e quelle relative al vano scala. Nel primo caso si ha un'occupazione pari a 0,045 persone/m² con tasso metabolico per persona 115 W/persona, corrispondente a una attività motoria di tipo leggero ("Lecture" in *DesignBuilder*).

Nel secondo caso si ha un'occupazione pari a 0,033 persone/ m² con tasso metabolico per persona 133 W/persona, corrispondente a una attività motoria quale la camminata ("Standing/Walking/Light office work" in *Design Builder*).

In entrambi i casi si prevede un fattore metabolico medio pari a 0,85 (uomini=1,00, Donne=0,85, Bambini=0,75). Si è inoltre ipotizzato un periodo di occupazione contemporanea degli spazi da parte degli utenti, riassunta in un'apposita *schedule*, in cui al valore "1" corrisponde l'occupazione massima degli spazi, dunque 4 persone per zona.

5 Descrizione dell'edificio ricorrente

5.1 Componenti d'involucro

Le caratteristiche costruttive del modello d'edificio si fondano sull'ipotesi che il fabbricato sia stato eretto nel decennio 1971-1980. Di conseguenza, si assume che il sistema costruttivo adottato sia quello intelaiato in calcestruzzo armato, cioè la soluzione più diffusa nell'edilizia residenziale italiana a partire dal secondo dopoguerra; in particolare, si ipotizza che la struttura si componga di tre telai piani orientati secondo la dimensione maggiore dell'edificio e sei telai trasversali.

Le lunghezze dei ponti termici corrispondenti a travi e pilastri in calcestruzzo armato sono state calcolate assumendo che sul perimetro del vano scala, che è esterno al volume riscaldato, i pilastri si collochino agli spigoli. Escludendo la struttura di fondazione:

- le travi di perimetro hanno una lunghezza complessiva di 576 m (96 m/piano · 6 piani);
- i pilastri si sviluppano per 108 m (3 m/pilastro per piano · 6 pilastri · 6 piani) lungo spigoli "sporgenti" e per 36 m (3 m/pilastro per piano · 2 pilastri · 6 piani) lungo spigoli "non sporgenti";
- i pilastri intermedi corrono per 144 m (3 m/pilastro per piano · 8 pilastri · 6 piani).

Per definire le caratteristiche termiche delle chiusure esterne, si ipotizza che l'edificio sia stato costruito prima dell'emanazione della Legge 373 del 1976 e che nei decenni successivi sia stato sottoposto a interventi di manutenzione ma non di riqualificazione energetica.

Per verificare e affinare il metodo di ricerca, si è elaborato un modello preliminare, con caratteristiche costruttive generiche e, in quanto tali, facilmente riscontrabili in tutto il territorio nazionale. Lo schema di simulazione, definito per questo modello di base, sarà poi replicato per quelli corrispondenti alle tipologie edilizie adottate per descrivere il patrimonio residenziale esistente.

Nel modello edilizio, le pareti di tamponamento sono costituite da un unico strato di laterizi con foratura media, intonacato su entrambi i paramenti. I relativi dati termofisici sono desunti dal rapporto tecnico UNI/TR 11552:2014, che per i componenti opachi d'involucro riporta un abaco di soluzioni costruttive diffuse nel patrimonio edilizio esistente. In particolare, si adotta la stratigrafia corrispondente a una "muratura in laterizio semipieno" (MLP03) spessa 29 cm.

I solai di piano previsti nel modello edilizio sono latero-cementizi ($h = 16 + 4$ cm), mentre la chiusura orizzontale inferiore del piano terra è costituita da una soletta in calcestruzzo armato su vespaio di pietrame. Per finalità di semplificazione e generalità, stratigrafie e dati termofisici sono tratti dallo stesso rapporto tecnico, facendo riferimento al "soffitto contro-terra in calcestruzzo" (SOL13) per la chiusura contro terra, al "soffitto in laterocemento - blocchi non collaboranti" (SOL05) per i solai di piano, alla "copertura piana praticabile" (COP04) per la copertura.

I dati geometrici, materici e termofisici dei componenti d'involucro opaco del modello edilizio, tratti dal rapporto tecnico UNI/TR 11552, sono raccolti nella Tabella 1.

Si ipotizza che le partizioni fra le unità immobiliari (e fra queste e il vano scala), spesse 20 cm, siano costituite da "blocchi in laterizio semipieno" (UNI/TR 11552) da 16 cm e rivestite d'intonaco (2 cm, "intonaco interno" da UNI/TR 11552) su entrambi i paramenti. La trasmittanza termica di questi componenti risulta pari a $1,39 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Nel modello realizzato in *DesignBuilder*, non si è aggiunta alle singole zone climatiche - cioè alle unità immobiliari - una massa termica sostitutiva delle partizioni interne.

Gli infissi dell'edificio sono composti da un telaio in alluminio senza taglio termico e da lastre vetrate a singola camera (con spessore 4-12-4 mm e aria in intercapedine). In base ai dati riportati nella norma UNI/TS 11300-1:2019, la trasmittanza termica è $U_f = 7,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ per il primo (prospetto B.2) e $U_g = 2,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ per il secondo (prospetto B.1).

Assumendo che i distanziatori fra le lastre vetrate siano ordinari e che la superficie di telaio costituisca il 20% di quella complessiva dell'infisso (sia per le finestre sia per le porte-finestre), la trasmittanza termica del serramento è $U_w = 3,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ (prospetto B.3 della norma UNI/TS 11300-1).

Tenendo conto dell'epoca costruttiva di riferimento, si ipotizza che gli infissi siano dotati di avvolgibile con cassonetto in legno non coibentato, emergente dal paramento interno del tamponamento. Nel modello costruito in *DesignBuilder*, quest'informazione non è stata tradotta nell'aggiunta di un ponte termico; inoltre non si è considerato alcun contributo alla trasmittanza termica del serramento da parte della chiusura oscurante.

Nella costruzione dei componenti d'involucro opaco, al repertorio di *DesignBuilder* si sono aggiunti nuovi materiali, con caratteristiche corrispondenti a quelle riportate nel rapporto UNI/TR 11552. Per il vetro degli infissi, invece, si è adoperato un materiale già disponibile nel programma, "Generic Clear 4mm glass", caratterizzato da un fattore solare $FS = 0,742$, da un valore di trasmissione solare diretta pari a 0,67 e da un valore di trasmissione luminosa $TL = 0,801$.

Tabella 1: Componenti opachi d'involucro modello edilizio di base, tratti dal rapporto tecnico UNI/TR 11552:2014

Elemento tecnico (codice d'abaco da UNI/TR 11552)	Strato	s	ρ	c	λ	R	U	κ_i	Y_{ie}
		[cm]	[kg·m ⁻³]	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	[m ² ·K·W ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	[kJ·m ⁻² ·K ⁻¹]	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tamponamento (MLP03)	Intonaco interno	2	1.400	1.000	0,700	-	1,18	58,5	0,423
	Blocchi in laterizio	25	1.000	1.000	-	0,625			
	Intonaco esterno	2	1.800	1.000	0,900	-			
Solaio di piano (SOL05)	Pavim. interna (grès)	1,5	1.700	1.000	1,470	-	1,87 (flusso ascendente) 1,65 (flusso discendente) 1,77 (flusso orizzontale)		
	Malta di cemento	2	2.000	1.000	1,400	-			
	Massetto in cls ordinario	2	1.500	1.000	1,060	-			
	Malta di cemento	2	2.000	1.000	-	0,330			
	Calcestruzzo armato	4	2.400	1.000	-				
	Laterizi e travetti	16	900	1.000	-				
Intonaco esterno	2	1.800	1.000	0,900	-				
Chiusura contro terra (SOL13)	Pavim. interna (grès)	1,5	1.700	1.000	1,470	-	2,36 (flusso ascendente) 2,02 (flusso discendente) 2,20 (flusso orizzontale)		
	Malta di cemento	3	2.000	670	1,400	-			
	Calcestruzzo ordinario	10	2.000	1.000	1,160	-			
	Ghiaione - ciottoli di fiume	20	1.700	1.000	1,200	-			
Solaio piano di copertura (COP04)	Intonaco interno	2	1.400	1.000	0,700	-	1,52 (flusso ascendente) 1,38 (flusso discendente) 1,46 (flusso orizzontale)		
	Laterizi e travetti	16	900	1.000	-	0,330			
	Calcestruzzo armato	4	2.400	1.000	-				
	Malta di cemento	2	2.000	1.000	-				
	Massetto in cls ordinario	6	2.000	1.000	1,060	-			
	Membrana imperm. bitum.	1	1.200	1.000	0,170	-			

5.2 Impianti

Per il modello di edificio ricorrente elaborato in questo studio sono stati scelti impianti di riscaldamento e climatizzazione estiva in linea con l'ipotesi di edificio *standard* costruito negli anni Settanta.

Questo comporta le seguenti scelte impiantistiche:

- in merito al riscaldamento invernale, per la generazione si è ipotizzato un impianto centralizzato (caldaia a gas naturale) e come terminali si sono scelti dei radiatori;
- per il condizionamento estivo si assume che l'edificio sia dotato di impianti decentralizzati basati su ciclo frigorifero a compressione (condizionatori posizionati in ogni appartamento);
- la produzione acqua calda sanitaria (ACS) è affidata a una caldaia a gas naturale.

L'insieme degli impianti è rappresentato graficamente in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

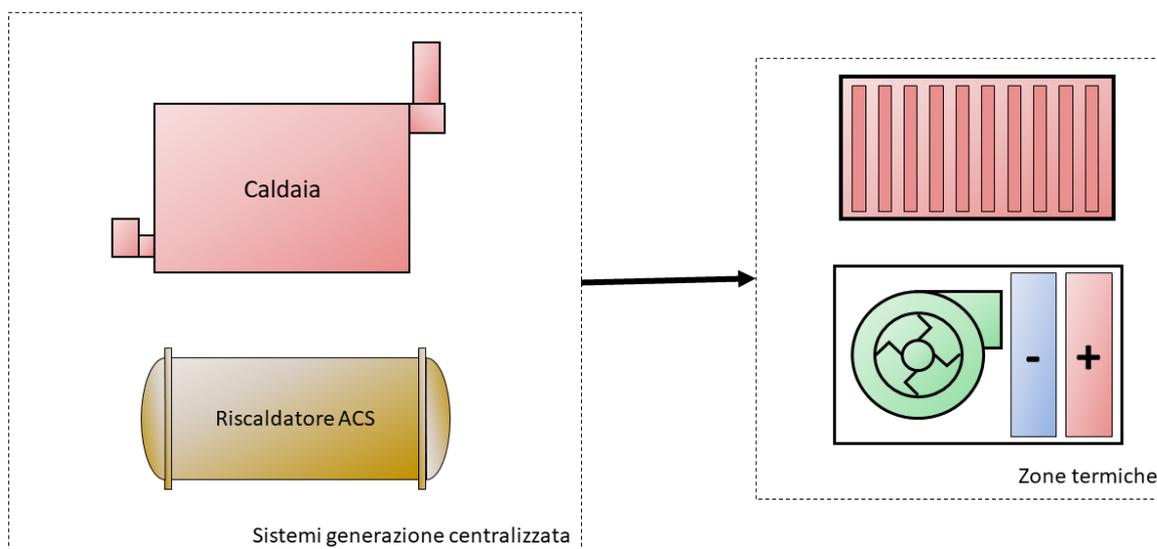


Figura 22: Rappresentazione schematica degli impianti di generazione e distribuzione per riscaldamento, condizionamento, e ACS

5.2.1 Caldaia

L'impianto di generazione di calore per riscaldamento è rappresentato in Figura 23.

Per la modellazione della caldaia si è scelto di affidarsi alle librerie presenti all'interno del *software DesignBuilder*. In particolare, è stato scelto come riferimento una caldaia di tipo "Old Style high temperature boiler circa 1975", coerentemente con il periodo di costruzione dell'edificio, alimentata a gas naturale. Si è ipotizzato che l'efficienza termica della caldaia, di *design* sia pari a 0,81, si riduca fino a 0,68 in condizioni di carico parziale, seguendo le curve di carico rappresentate in Figura 24.

Il carico elettrico ausiliario è stato approssimato a 25 W, valore predefinito in *DesignBuilder*. La dimensione della caldaia è calcolata automaticamente dal programma in modo da soddisfare il carico in condizioni di *design*.

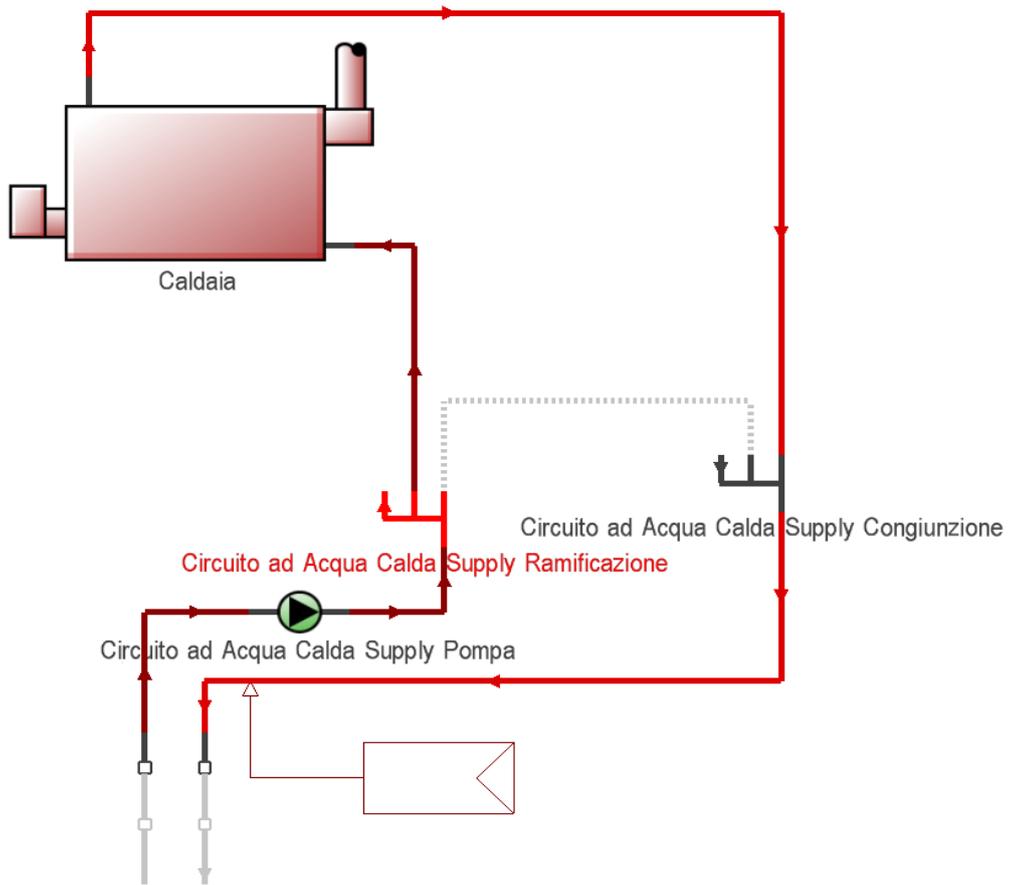


Figura 23: Rappresentazione schematica dell'impianto di generazione del calore per riscaldamento

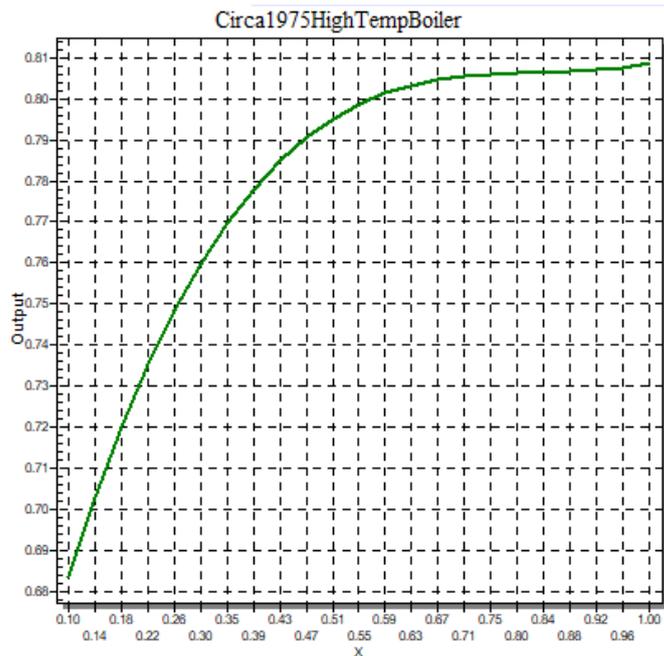


Figura 24: Variazione dell'efficienza della caldaia in funzione del carico

5.2.2 Impianto di generazione di acqua calda per usi igienico-sanitari

Nel modello di edificio residenziale si è scelto di inserire la caldaia per la produzione di acqua calda sanitaria come elemento separato e indipendente rispetto alla caldaia per il riscaldamento invernale, ai fini di una semplificazione della struttura e gestione del modello. La temperatura dell'acqua all'interno del serbatoio dell'impianto raggiunge un massimo di 80°C, mentre la temperatura di mandata del circuito è fissata a 56°C. Una rappresentazione schematica dell'impianto di generazione dell'ACS è presentata in Figura 25. Il generatore di calore interno al serbatoio è alimentato a gas naturale ed è definito secondo gli stessi criteri di efficienza e comportamento a carico parziale del generatore di calore utilizzato nel sistema di riscaldamento.

5.2.3 Impianti di zona

Le appendici impiantistiche situate in ciascuna zona termica sono:

- i radiatori per il riscaldamento invernale, collegati con la caldaia centralizzata;
- i terminali dei condizionatori per il condizionamento estivo.

Nella modellazione, la scelta di considerare ogni appartamento come una singola zona termica si traduce nell'esistenza di un unico radiatore e unità di distribuzione dell'aria per ogni appartamento. Ogni terminale è dimensionato in modo da far fronte all'intero fabbisogno dell'appartamento, di fatto corrispondendo alla somma di tutti i terminali di un corrispondente edificio reale.

Una rappresentazione schematica degli impianti di zona è presentata in Figura 26.

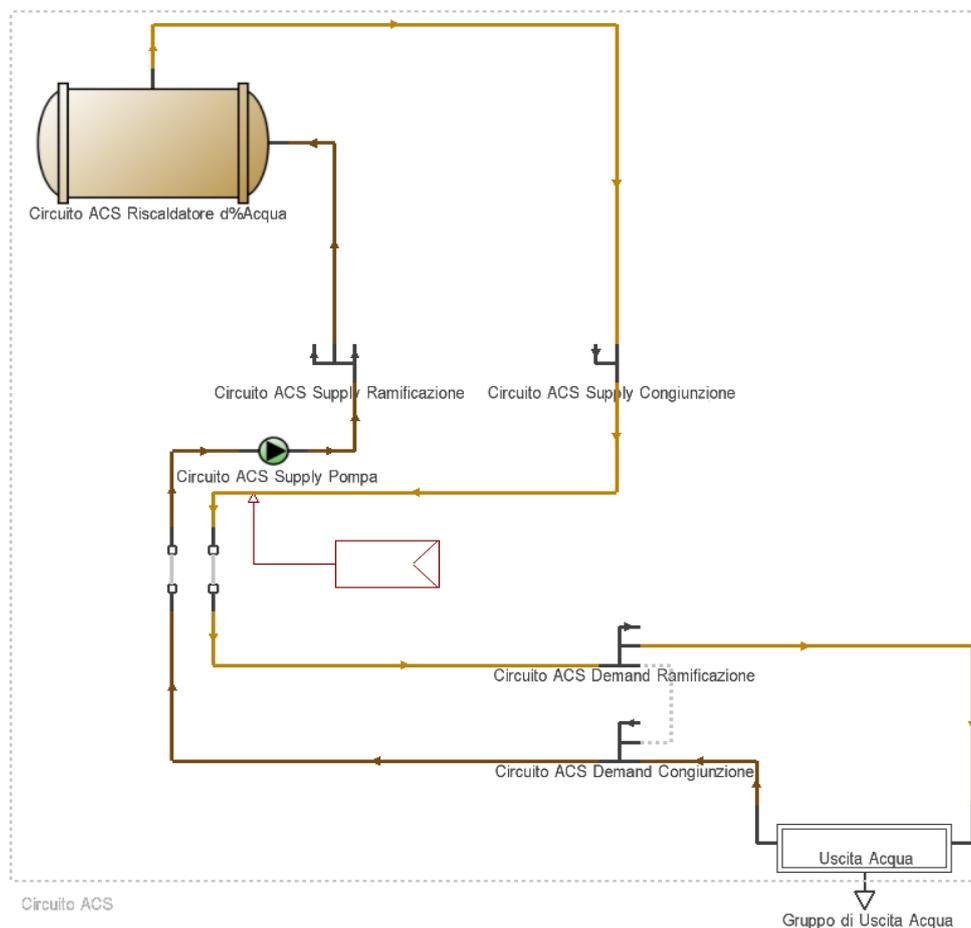


Figura 25: Rappresentazione schematica dell'impianto di generazione del calore per acqua calda sanitaria

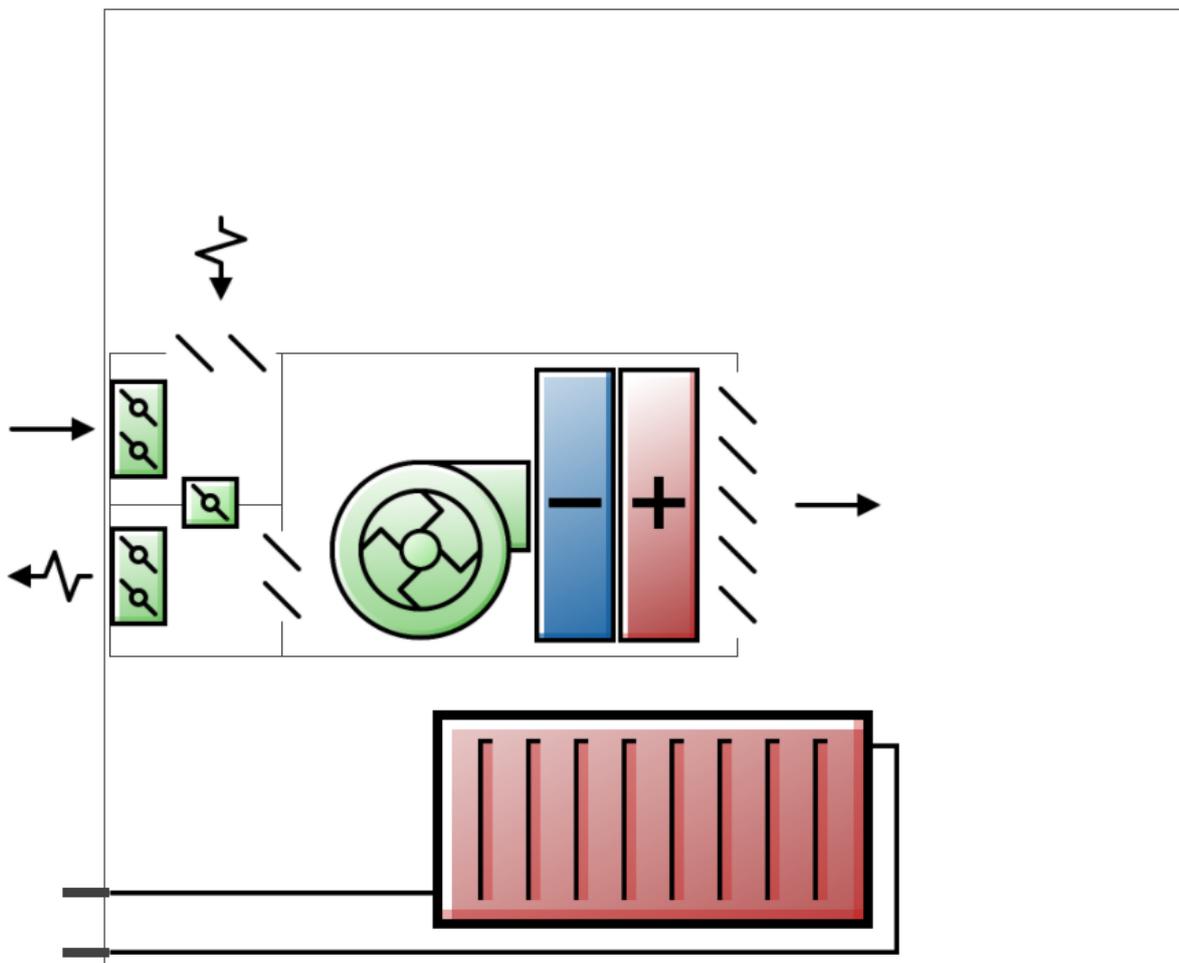


Figura 26: Rappresentazione schematica degli impianti di zona

I radiatori sono definiti in *DesignBuilder* in Tabella 2 che corrisponde alle impostazioni predefinite del programma.

Tabella 2: Parametri utilizzati in Design Builder per la definizione dei radiatori

Nome parametro	Valore	Unità
Temperatura media nominale	75.00	°C
Portata massica nominale dell'acqua	0.063	kg/s
Frazione radiante	0.30	-
Frazione dell'energia radiante incidente sugli occupanti	0.10	-

Per quel che riguarda il condizionatore, esso presenta sia una batteria di raffreddamento sia una di riscaldamento, ove quest'ultima è considerata sempre spenta per evitare che si sovrapponga al sistema di riscaldamento centralizzato. La batteria di raffrescamento è modellizzata tramite un COP nominale pari a 3,0. Il funzionamento in condizioni differenti da quelle nominali è definito utilizzando le curve di prestazione predefinite in *DesignBuilder* riferite al modello "DXClgCoil". Ai fini degli interessi di questa pubblicazione, si riporta la curva di prestazione che fornisce il consumo elettrico dell'apparecchio (normalizzato al consumo nominale) in funzione della temperatura dell'aria esterna (vedi le diverse curve in Figura 27: Domanda energetica di input, relativa alle condizioni di design, per i condizionatori in funzione delle temperature di esercizio e della temperatura di mandata selezionata (vedi asse Figura 27).

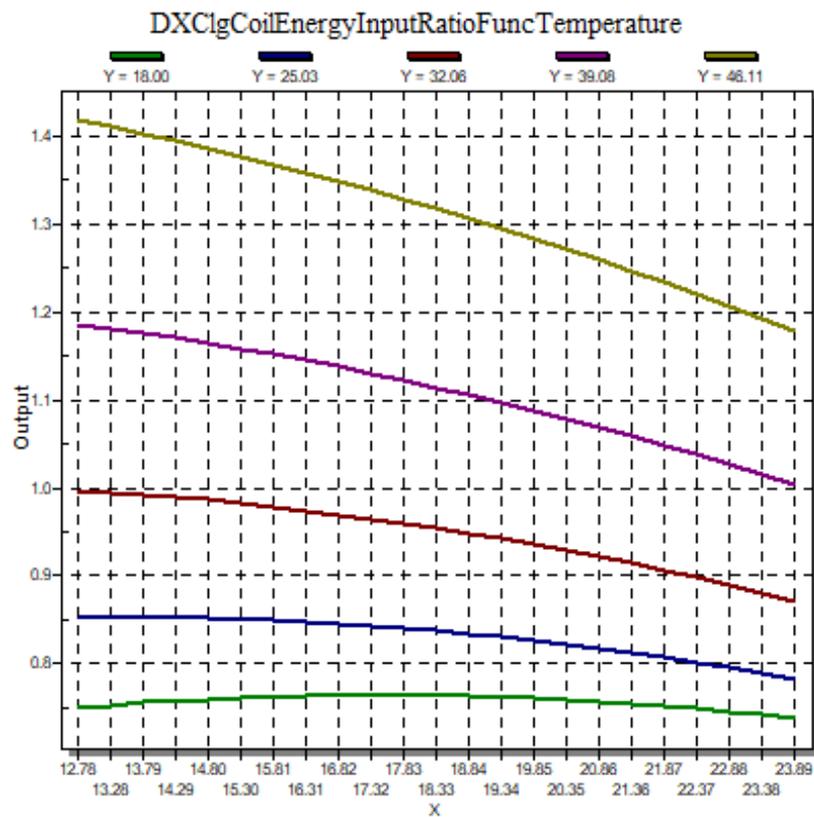


Figura 27: Domanda energetica di input, relativa alle condizioni di design, per i condizionatori in funzione delle temperature di esercizio

5.2.4 Altri componenti

Gli impianti contengono altri componenti ausiliari, che sono definiti in maniera semplificata in quanto hanno un impatto limitato sulle prestazioni energetiche dell'edificio.

Le pompe di circolazione del circuito ACS e di quello di riscaldamento hanno un'efficienza pari a 0,9 per il motore elettrico

5.3 Programmi di attività

L'utilizzo dell'ambiente di modellazione e simulazione di edifici *Energyplus* richiede la definizione di programmi che definiscano gli orari di attività degli impianti durante i diversi periodi dell'anno. La stessa logica è utilizzata per definire la ventilazione naturale (di fatto gli orari di apertura delle finestre), l'intensità dell'attività degli occupanti nei locali, l'illuminazione, la presenza di eventuali apparecchiature elettroniche eccetera. In questa sezione, le ipotesi considerate per ciascuna di queste categorie saranno descritte in dettaglio.

Si evidenzia che le schede programmatiche definite ai fini dello studio sono quelle riguardanti il riscaldamento invernale, la climatizzazione estiva, l'illuminazione e attività degli occupanti. Le altre voci (principalmente l'utilizzo di apparecchiature elettroniche) hanno minor influenza sui parametri da analizzare ai fini della ricerca e si prestano poco a una programmazione dettagliata che abbia valore generale.

5.3.1 Ventilazione

A livello di gestione degli impianti e della ventilazione è necessario verificare che siano assicurati i minimi ricambi d'aria per ogni appartamento, facendo riferimento alle specifiche della norma UNI/TS 11300-

1:2014 sulle valutazioni di tipo *standard*. Si è fatto qui in particolare riferimento alla portata di ventilazione effettiva, condizione per il calcolo della prestazione dell'edificio (*prospetto 8*).

Nelle "condizioni effettive" si considera la modalità di ventilazione effettivamente esistente o definita nel progetto.

Nell'ipotesi di sola ventilazione naturale (12.3.1), la portata media effettiva coincide con la portata di ventilazione in condizioni di riferimento. Per il calcolo si adopera l'Equazione 1

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,0,k} \cdot f_{ve,t,k} \tag{1}$$

che esprime la portata media giornaliera media mensile come prodotto fra la portata minima di progetto di aria esterna e un fattore di correzione (frazione di tempo che tiene conto delle infiltrazioni e del profilo di utilizzo dell'areazione).

Per gli edifici residenziali di destinazione E.1 la portata minima di progetto di aria esterna, $q_{ve,0}$, è data dalla relazione 2

$$q_{ve,0} = n \cdot V \cdot 3.600^{-1} [m^3 \cdot s^{-1}] \tag{2}$$

nella quale V è il volume netto della zona termica (comprensivo di cucine, bagni, corridoi e locali di servizio), mentre n, tasso di ricambio d'aria in h^{-1} , è posto pari a $0,5 h^{-1}$.

Il termine $f_{ve,t,k}$, tratto dal prospetto E.2 ("fattore di correzione per la ventilazione in condizioni di riferimento"), è pari a 0,60 per le abitazioni civili (destinazione d'uso E.1.1).

Assumendo come volume netto quello della singola unità immobiliare ($90 m^2 \cdot 2,7 m$) si ottiene:

$$q_{ve,0} = [0,50 \cdot (90 \cdot 2,7) \cdot 3.600^{-1}] \cdot 0,60 = 0,30 \cdot (90 \cdot 2,7) \cdot 3.600^{-1} = 0,30 \cdot V \cdot h^{-1} \tag{3}$$

Questo risultato è adoperato per definire la portata d'aria esterna per ventilazione naturale da utilizzare nelle simulazioni. In *DesignBuilder* il dato è specificato in *Edificio>scheda HVAC>Ventilazione naturale (on)>Aria esterna*.

In *Edificio>scheda HVAC>Ventilazione naturale (on)>Funzionamento>Programma* si specifica invece il programma operativo della ventilazione naturale. Si prevede in particolare che nel periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento si provveda al ricambio d'aria per un'ora al giorno; per simulare un'apertura parziale degli infissi si dimezza la portata di ventilazione. Durante i mesi primaverili e autunnali, invece, si prevede una maggiore aerazione diurna, distribuita tra una fascia oraria mattutina e una pomeridiana. Infine, durante i mesi estivi, si prevede la ventilazione notturna, dalle 21 (un'ora dopo lo spegnimento dell'impianto di climatizzazione) alle 8 del giorno seguente.

5.3.2 Climatizzazione invernale

In base all'articolo 9 del D.P.R. 412 del 1993, l'esercizio degli impianti termici è consentito con i limiti massimi relativi al periodo annuale di esercizio e alla durata giornaliera di attivazione:

Tabella 3: Classificazione di fasce climatiche per riscaldamento invernale in Italia e corrispondenti periodi di accensione e spegnimento degli impianti di riscaldamento

Fascia	Gradi giorno	Data inizio	Data fine	Ore giornaliere
A	0 – 600	1 dicembre	15 marzo	6
B	601 – 900	1 dicembre	31 marzo	8
C	901 – 1400	15 novembre	31 marzo	10
D	1401 – 2100	1 novembre	15 aprile	12
E	2101 – 3000	15 ottobre	15 aprile	14
F	3001 -	-	-	24

I programmi di funzionamento dell'impianto di riscaldamento centralizzato, definiti per le condizioni climatiche locali, prevedono che l'impianto sia acceso quotidianamente per un numero di ore pari a quello massimo consentito dal D.P.R. 412 del 1993.

La scelta dei periodi giornalieri di accensione del riscaldamento è stata effettuata seguendo prassi comuni ed è rappresentata in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

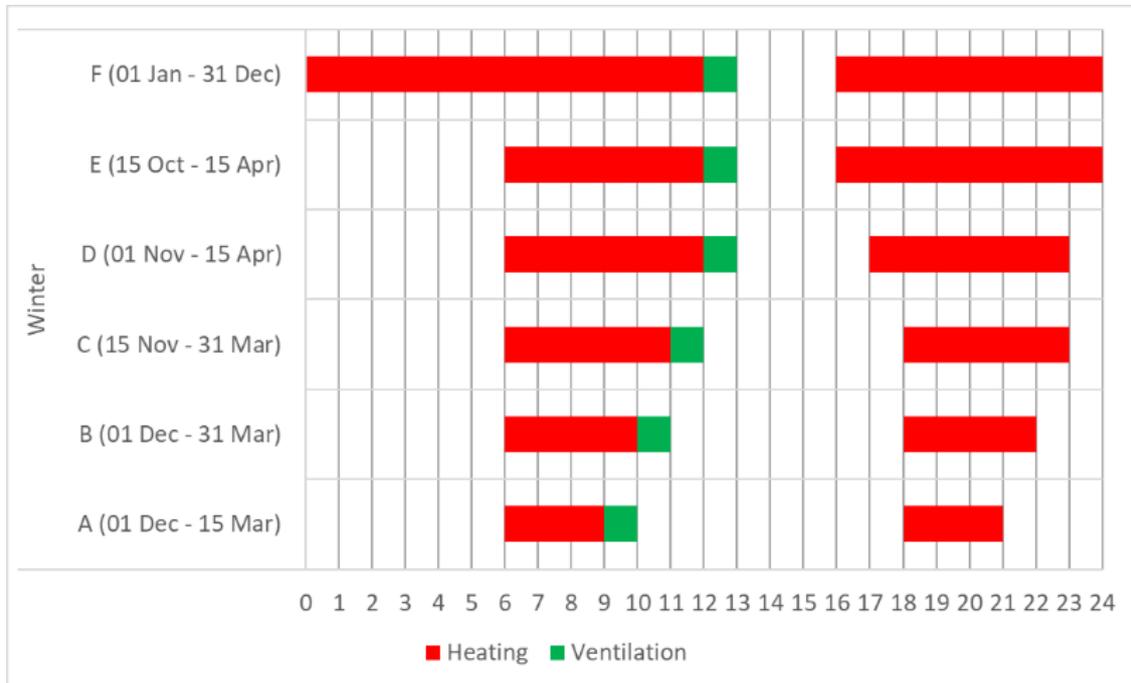


Figura 28: Programma degli orari di accensione del riscaldamento per zona climatica

In concerto con la definizione degli orari di accensione e spegnimento dell'impianto di riscaldamento è stata anche definita la programmazione della ventilazione naturale. Come visibile in Figura 28, questa è stata fissata per un periodo di un'ora al giorno, in modo da non sovrapporsi agli orari di accensione del riscaldamento. Ai ricambi d'aria programmati si aggiungono le infiltrazioni d'aria, calcolate automaticamente dal *software*.

5.3.3 Climatizzazione estiva

La programmazione della climatizzazione e ventilazione estiva è più complessa di quella invernale: innanzitutto, in quanto non esplicitamente regolata da normative di legge; in secondo luogo, in quanto durante la stagione estiva si complica il controllo dell'umidità relativa al fine di assicurare le condizioni di benessere termigrometrico degli occupanti; infine, si deve notare come d'estate la regolazione di temperatura e umidità sia spesso ottenuta tramite una combinazione di ventilazione naturale (apertura e chiusura delle finestre) e condizionamento artificiale dell'aria, aggiungendo quindi un'ulteriore variabile di controllo (invece d'inverno la ventilazione è volta ai ricambi d'aria e non al raggiungimento del benessere termigrometrico).

Di conseguenza, si è deciso di approfondire la definizione dei programmi di ventilazione naturale e accensione degli impianti di condizionamento dell'aria. Nello specifico, sono state assegnate zone termiche anche per la stagione di condizionamento estivo e, per ciascuna di queste, sono state definiti i programmi di accensione degli impianti di condizionamento dell'aria e di ventilazione naturale.

Definizione di zone termiche estive

Nonostante possa apparire intuitivo, utilizzare per la stagione estiva zone termiche definite in relazione al riscaldamento invernale sarebbe inappropriato, in quanto le caratteristiche climatiche locali possono essere gravose per gli impianti tanto d'inverno quanto d'estate. A questo proposito, ad esempio, il caso di Bologna è da prendersi a esempio, in quanto a una elevata domanda energetica invernale (zona climatica E) è associata una stagione estiva calda e umida, che presenta quindi elevati consumi di condizionamento estivo. Altre località, come spesso accade ad esempio per le aree costiere, usufruendo dell'effetto mitigante del mare possono avere fabbisogni energetici moderati tanto d'estate quanto d'inverno.

La definizione delle zone termiche estive, in questo studio, si è ricondotta alla definizione di "indice di severità climatica" definito nella norma UNI 10349/94⁷. In base alle conclusioni espresse dai riferimenti di cui sopra, a ogni comune italiano è stata assegnata una zona climatica estiva, classificata dalla A (minori consumi stimati di condizionamento) alla G (maggiori consumi stimati di condizionamento). L'indice di severità climatica è calcolato come una funzione della temperatura di bulbo secco dell'aria esterna, dell'umidità relativa dell'aria esterna e dell'irradiazione globale sul piano orizzontale.

Definizione dei programmi di climatizzazione e ventilazione estiva

Definite le zone termiche di appartenenza di ogni località oggetto di studio, si è reso necessario definire i programmi di climatizzazione e ventilazione estiva. Come già evidenziato, l'accensione degli impianti di condizionamento e la ventilazione naturale costituiscono due modi alternativi e, di fatto, "antagonisti" per il raggiungimento delle condizioni di benessere termoigrometrico in estate.

Al fine di individuare regole chiare e generali (per ogni zona climatica) per la definizione dei programmi di climatizzazione e ventilazione estiva, si è seguita la seguente metodologia:

- per ogni zona climatica, si è identificata una località di riferimento. Si sono scelte località il cui indice di severità climatica fosse prossimo alla metà dell'intervallo di riferimento, cioè Salerno (zona climatica G), Palermo (F), Bologna (E), Firenze (D), Vicenza (C), Frosinone (B) e Treviso (AV)(A);
- per ognuna delle località selezionate, si è simulato il comportamento dell'edificio di riferimento in *EnergyPlus*, ipotizzando ventilazione naturale sempre attiva (finestre sempre aperte) e impianto di condizionamento sempre spento. Questo procedimento è dettato dalla logica per cui l'utente, ove possibile, proceda a regolare la temperatura interna aprendo le finestre, utilizzando il condizionatore soltanto ove questo sia possibile;
- per ogni passo di simulazione, si sono sintetizzati i risultati di temperatura e umidità relativa di ciascuna delle diciotto unità immobiliari che compongono l'edificio di riferimento. A tal fine, si sono determinati innanzitutto i valori di T e U.R. rappresentativi per ciascun piano: calcolata la media aritmetica dei tre dati disponibili (per le zone Z2, Z3 e Z4 di piano), come temperatura di piano si è assunta la temperatura massima se questa si discosta dalla media per più di 0,5 °C, altrimenti la temperatura media; analogamente si è proceduto per l'U.R., assumendo una differenza massima dell'1% rispetto alla media aritmetica dei dati di U.R. riguardanti le tre unità immobiliari di piano. Si è adottato lo stesso criterio per determinare, sulla base dei valori corrispondenti alle sei elevazioni, i dati di T e U.R. associabili all'intero edificio per ogni passo di simulazione;
- per ogni ora dell'anno simulato, facendo riferimento ai dati sintetici di temperatura interna e umidità relativa dell'edificio, si sono calcolate le condizioni di *discomfort*, inteso come un valore binario (1 = assenza di *comfort*, 0 = *comfort*). L'assegnazione di tale valore è stata definita seguendo le indicazioni della norma tecnica UNI EN ISO 7730. In particolare, per l'individuazione delle condizioni di benessere stagionali durante il periodo estivo, la norma riporta che vi è benessere per

⁷ Terronini L., Signoretti P., Iatauro D. (2012) Indice di severità climatica: classificazione dei comuni italiani ai fini della climatizzazione estiva degli edifici. Report Ricerca di sistema elettrico 2012/107

valori di temperatura dell'aria compresi tra 23°C e 26°C, e per valori di umidità relativa compresi tra 30% e 70%;

- per i mesi da maggio a settembre, in ognuna delle località esaminate, si è analizzata la frequenza con la quale, per ciascuna località e in ciascuna ora del giorno, si siano verificate condizioni di *discomfort* in termini di temperatura e umidità relativa (riferite all'intero edificio), al fine di evidenziare le fasce orarie nelle quali fosse più opportuno prevedere la chiusura degli infissi e l'accensione dell'impianto di climatizzazione. L'analisi è stata iterata modificando la durata del periodo a seconda della località, in base all'andamento orario della temperatura interna dell'edificio;
- per ogni località si è riportata graficamente (Figura 29) la frequenza con la quale, per ogni ora del giorno, la temperatura interna dell'edificio superi le soglie di 26°C o 28°C, nonché la frequenza con la quale si verificano le condizioni di *discomfort* ($T_{int,ed} > 26^{\circ}\text{C}$, $U.R._{ed} > 70\%$).

Soprattutto per quanto concerne la distribuzione giornaliera delle ore nelle quali si superano 26°C di temperatura interna, le differenze evidenziate dai grafici (Figura 29) non appaiono sufficienti per definire programmi distinti di funzionamento dell'impianto di condizionamento dell'aria. Le differenze fra le diverse località non appaiono infatti sufficientemente rilevanti; inoltre non si nota un andamento sufficientemente coerente e monotono da giustificare la definizione e l'uso di un programma di ventilazione e condizionamento univoco per ciascuna zona climatica estiva.

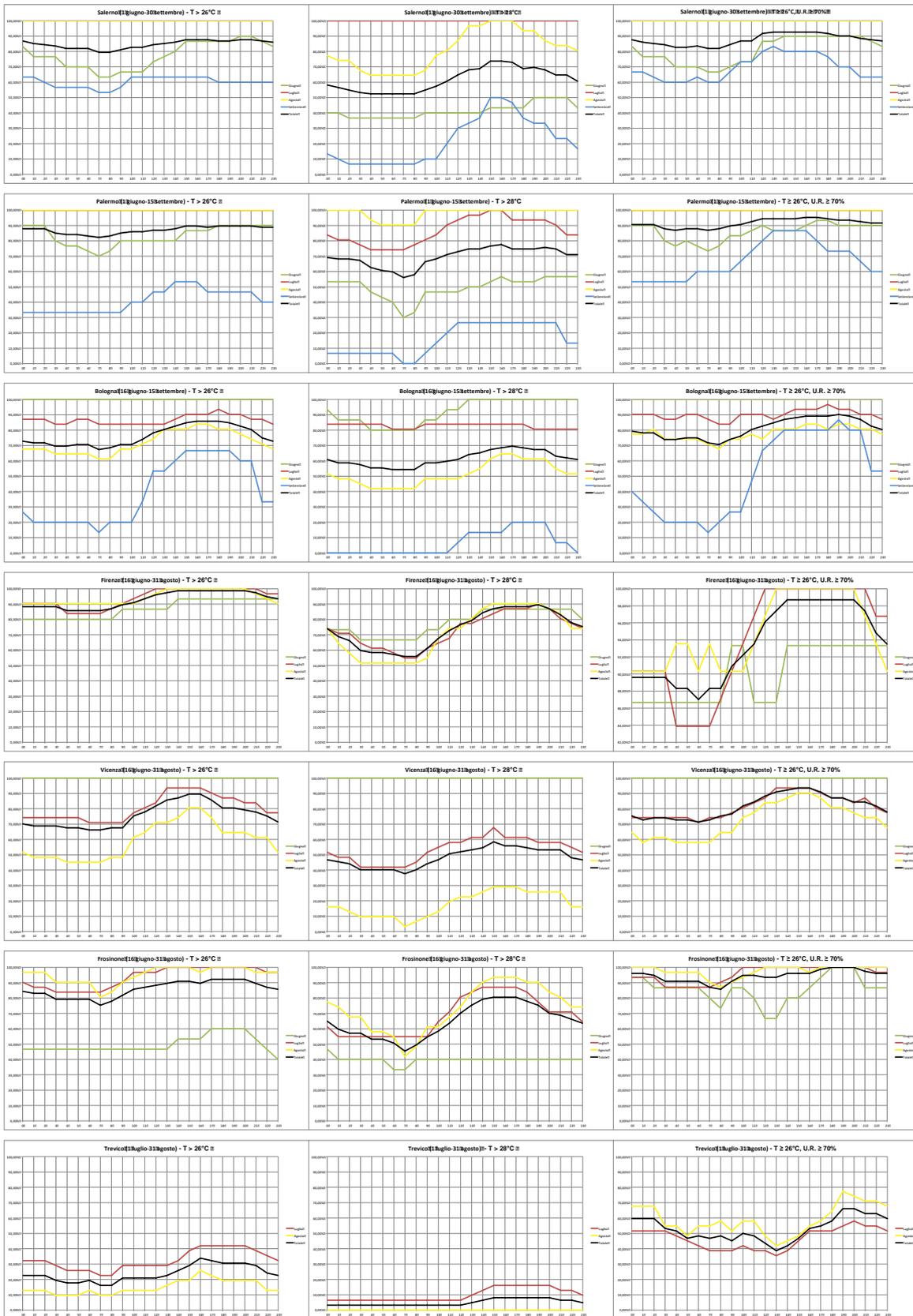


Figura 29: Risultati della procedura di analisi e ricerca volta alla definizione di un programma di funzionamento per ventilazione e condizionamento estivi

Queste difficoltà nella definizione di un programma di funzionamento ben definito, che si possa applicare in modo razionale alle differenti zone climatiche estive italiane, nascono principalmente dalla complessità della regolazione della temperatura e dell'umidità interna: generalmente, queste vengono raggiunte tramite un uso combinato della ventilazione naturale e del condizionamento artificiale dell'aria.

Di conseguenza si è adottata una logica più semplice, basata sul seguente algoritmo concettuale: se la temperatura esterna è sufficientemente bassa ($T_{ext} < 24^{\circ}\text{C}$), allora l'utente apre le finestre per ventilare; altrimenti, le finestre sono chiuse e, se necessario ($T_{int} > 26^{\circ}\text{C}$), si accendono i condizionatori. Questo è espresso in termini algoritmici come segue:

se $T_{ext} < 24^{\circ}\text{C}$
allora $f_{nat\ ven} = 1$ (finestre aperte)
altrimenti
se $T_{int} > 26^{\circ}\text{C}$
allora HVAC: ON

La differenza tra le temperature limite esterna (24°C) ed interna (26°C) è volta a evitare la condizione di simultanea apertura delle finestre e accensione dell'impianto di condizionamento. Simulazioni di verifica hanno evidenziato che, effettivamente, 2°C di differenza tra le due temperature rende trascurabile la sovrapposizione.

Il programma è inserito in *Sistema HVAC>Gruppo di zone>|Nome della zona|>|Batteria di raffrescamento della zona|>Edit component>Batteria di Raffrescamento DX>Funzionamento>Programma di disponibilità.*

5.3.4 Programma di consumo dell'acqua calda sanitaria

Le simulazioni includono anche il computo dei consumi energetici legati al soddisfacimento della domanda di acqua calda sanitaria, sebbene questa non abbia un impatto diretto sui consumi per la climatizzazione. Secondo la norma UNI/TS 11300-2:2019, l'energia termica (Q_w) richiesta per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un edificio è stimata basandosi sulla valutazione del volume d'acqua calda giornaliero ($V_{w,i}$, in $\text{m}^3 \cdot \text{giorno}^{-1}$) necessario per ogni attività o servizio richiesto, che nel caso di edifici residenziali si riduce ai consumi di ACS per uso domestico.

Il volume di acqua richiesto per gli edifici residenziali è calcolato, da norma, attraverso la relazione (4):

$$V_w = a \cdot S_u + b \left[\frac{l}{d} \right] \quad (4)$$

dove con S_u si fa riferimento alla superficie utile dell'abitazione (in m^2). Nel caso in esame, l'edificio è composto da un totale di 18 appartamenti da 90 m^2 ciascuno. I parametri a e b si ricavano dal prospetto 30 della norma, che ne fornisce i valori in funzione della superficie utile S_u : per l'intervallo $50 < S_u \leq 200$ essi corrispondono rispettivamente a $1,067 \frac{l}{\text{m}^2 d}$ e $36,67 \frac{l}{d}$.

Per ciascun appartamento risulta dunque $V_{w,app} = 1,067 \cdot 90 + 36,67 = 132,70$ litri-giorno⁻¹. Di conseguenza:

$$V_w = (1,067 \cdot 90 + 36,67) \cdot 3 \cdot 6 \left[\frac{l}{d} \right] \approx 2,278 \cdot 10^5 \left[\frac{\text{m}^3}{s} \right] \quad (5)$$

Si può dunque stimare un consumo annuale di acqua calda sanitaria di 876 m^3 .

Ai fini del dimensionamento dell'impianto, è necessario fornire anche informazioni sulla distribuzione giornaliera della domanda. A questo proposito, si è fatto riferimento alle appendici E ed F della norma UNI 9182:2014. In particolare, in base al paragrafo F.2, il massimo consumo orario contemporaneo di acqua calda a 40°C può calcolarsi attraverso la formula

$$q_M = \left(\frac{q_1 \cdot N_1}{d_1} + \frac{q_2 \cdot N_2}{d_2} + \dots \right) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (6)$$

L'i-esimo termine q_i esprime il consumo in litri di ogni unità di riferimento (tipologia immobiliare: alloggio, appartamento, utenza), N_i è il numero delle unità di riferimento corrispondenti al consumo q_i e d_i è la durata oraria corrispondente al consumo $q_i \cdot N_i$.

In questo studio si è ipotizzato che il consumo *pro capite* sia pari a 80 litri giornalieri⁸ e che ciascuna delle 18 unità immobiliari ospiti quattro persone. Si è posta una durata del periodo di punta pari a 2,5 h⁹.

Il fattore f_1 tiene conto del numero di alloggi ed è pari a 0,42 nel caso di 18 unità immobiliari (prospetto F.2). Il fattore f_2 considera il numero di vani che compongono ciascun alloggio ed è pari a 1,0 se i vani sono 3 o 4 (prospetto F3). Il fattore f_3 dipende dal tenore di vita degli utilizzatori: al tenore "normale" corrisponde il valore 1,0 (prospetto F.4).

Ne discende che:

$$q_M = (80 \cdot 4 \cdot 18) \cdot 0,42 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 967,68 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} = 0,0002688 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \approx 0,0003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}. \quad (7)$$

Il profilo d'utilizzo del servizio di acqua calda sanitaria (*profilo della frazione di portata* in *DesignBuilder*) è determinato considerando che il consumo medio corrisponde a circa il 9,3% della portata di picco.

Affinché il programma d'utilizzo del servizio di acqua calda sanitaria (*programma della frazione di portata* in *DesignBuilder*) corrisponda al consumo annuo stimato, si è ipotizzato che il consumo giornaliero si concentri principalmente in due fasce orarie (dalle 6 alle 8 e dalle 20 alle 22); si è calcolato il corrispondente valore orario come multiplo del consumo medio (4,925), sulla base dei consumi fissati *a priori* per le altre ore del giorno (10% del consumo medio giornaliero fino alle 6, dalle 8 alle 13 e dalle 22 in poi; 100% dalle 13 alle 15; 20% dalle 15 alle 20). Esprimendo il consumo medio come frazione della portata di picco si ottiene il seguente programma d'utilizzo (*schedule*):

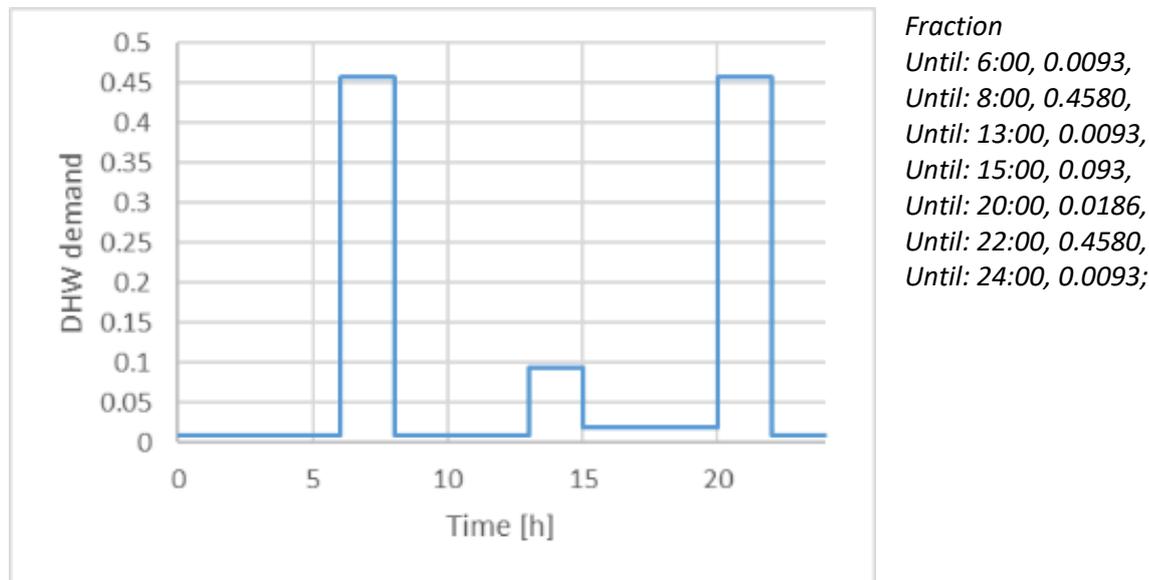


Figura 30: Rappresentazione grafica del programma di consumo di acqua calda sanitaria

Sia il picco di portata sia il programma della frazione di portata sono inseriti in Sistema HVAC>Circuito ACS>Circuito ACS Demand Side>Gruppo di Uscita Acqua>Uscita Acqua>Edit component.

⁸ Pari al valore massimo riportato nel prospetto E.1 per l'utenza "case di abitazione di tipo medio".

⁹ Valore massimo per case d'abitazione con alloggi sino a 4 vani, prospetto F.1; si è fatta l'ipotesi che quattro sia un numero di vani appropriato per appartamenti con superficie utile di 90 m².

6 Risultati delle simulazioni

Al fine di testare le potenzialità del modello e del sistema di gestione delle simulazioni, si è scelto di raccogliere il maggior numero possibile di *file* climatici in modo da effettuare simulazioni su tutto il territorio italiano. Poiché infatti questo è caratterizzato da un'ampia varietà di condizioni climatiche, si è ritenuto interessante e opportuno valutare il comportamento del modello edilizio in tali varie situazioni.

La lista completa delle località, con indicazione delle zone climatiche invernale ed estiva, è fornita in Tabella 5. Per ogni regione per cui erano disponibili dati climatici è stata identificata una città di riferimento (*benchmark*), in base alle dimensioni (l'edificio di riferimento è stato scelto basandosi principalmente sulle statistiche per le grandi città) e alla rappresentatività del clima regionale. La lista completa delle città scelte è formata da Pescara (AB), Salerno (CA), Bologna (ER), Trieste (FVG), Roma (LA), Genova (LI), Brescia (LO), Ascoli Piceno (MA), Campobasso (MO), Torino (PI), Lecce (PU), Cagliari (SA), Palermo (SI), Firenze (TO), Bolzano (TAA), Perugia (Umbria) e Verona (Veneto).

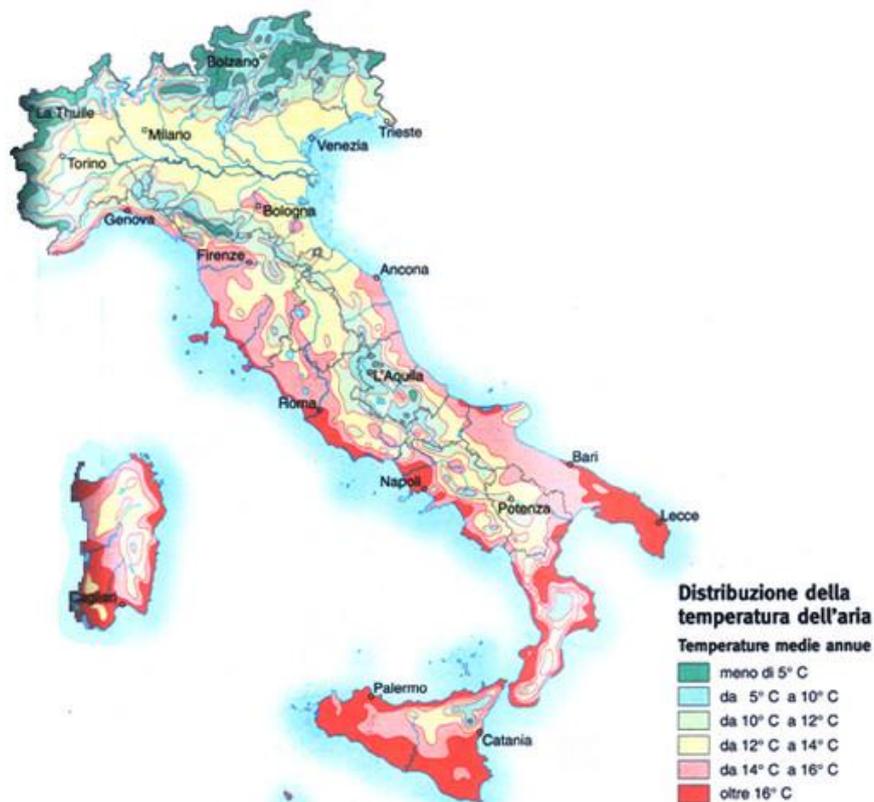


Figura 31: Distribuzione delle temperature medie annuali sul territorio italiano. Da meteobook.it

Tabella 4: Quantificazione dei file climatici disponibili, per zona climatica

Classificazione invernale				Classificazione estiva			
Zona climatica	N	Esempi	\overline{EP}_{inv}	Zona climatica	N	Esempi	\overline{EP}_{est}
A	1	Lampedusa	12.5	A	6	Dobbiaco	0.33
B	10	Palermo	28.5	B	8	Piacenza	1.49
C	18	Taranto	47.7	C	15	Arezzo	2.68
D	12	Roma	72.9	D	16	Viterbo	2.66
E	30	Bologna	103.0	E	9	Pescara	3.82
F	4	Cuneo	188.0	F	13	Trapani	4.91
				G	8	Salerno	5.53

Tabella 5: Lista delle località simulate

Nome località	Regione	ZC _{inv}	ZC _{est}	Nome località	Regione	ZC _{inv}	ZC _{est}
Pescara	Abruzzo	D	E	Bari	Puglia	C	E
Latronico	Basilicata	E	B	Bari (Aeroporto)	Puglia	C	E
Bonifati	Calabria	D	D	Brindisi	Puglia	C	E
Crotone	Calabria	B	F	Foggia	Puglia	D	E
Lamezia	Calabria	C	E	Ginosa	Puglia	D	G
Reggio Calabria	Calabria	B	F	Lecce	Puglia	C	F
Capri	Campania	C	F	Monte Sant'Angelo	Puglia	E	A
Salerno	Campania	C	G	Taranto	Puglia	C	F
Trevico	Campania	F	A	Alghero	Sardegna	C	E
Bologna	Emilia-Romagna	E	E	Cagliari	Sardegna	C	F
Cervia	Emilia-Romagna	E	C	Decimomannu	Sardegna	C	F
Ferrara	Emilia-Romagna	E	C	Olbia	Sardegna	C	G
Forlì	Emilia-Romagna	D	D	Catania (Fontanarossa)	Sicilia	B	G
Parma	Emilia-Romagna	E	D	Enna	Sicilia	E	C
Piacenza	Emilia-Romagna	E	B	Gela	Sicilia	B	G
Rimini	Emilia-Romagna	E	C	Lampedusa	Sicilia	A	G
Tarvisio	Friuli-Venezia Giulia	F	A	Palermo (Bocadifalco)	Sicilia	B	F
Trieste	Friuli-Venezia Giulia	E	D	Palermo (Punta Raisi)	Sicilia	B	F
Civitavecchia	Lazio	C	F	Pantelleria	Sicilia	B	F
Frosinone	Lazio	E	B	Prizzi	Sicilia	E	A
Latina	Lazio	C	D	Trapani	Sicilia	B	F
Messina		B	G	Ustica	Sicilia	B	F
Ponza	Lazio	C	D	Arezzo	Toscana	E	C
Roma (Ciampino)	Lazio	D	D	Firenze (aeroporto)	Toscana	D	D
Viterbo	Lazio	D	D	Grosseto	Toscana	D	D
Albenga	Liguria	C	D	Monte Argentario	Toscana	C	D
Genova	Liguria	D	E	Pisa (aeroporto)	Toscana	D	D
Brescia	Lombardia	E	D	Bolzano	Trentino-Alto Adige	E	C
Milano (Linate)	Lombardia	E	D	Dobbiaco	Trentino-Alto Adige	F	A
Milano (Malpensa)	Lombardia	E	B	Perugia	Umbria	E	B
Milano (Orio al Serio)	Lombardia	E	C	Istrana	Veneto	E	C
Ascoli Piceno	Marche	D	D	Padova	Veneto	E	C
Frontone	Marche	E	A	Treviso	Veneto	E	C
Campobasso	Molise	E	B	Venezia (Polo)	Veneto	E	C
Termoli	Molise	C	G	Verona	Veneto	E	C
Cuneo	Piemonte	F	B	Vicenza	Veneto	E	C
Torino	Piemonte	E	C				
Torino (Bric. Della Croce)	Piemonte	E	C				
Torino (Caselle)	Piemonte	E	B				

In Figura 32 si può osservare la distribuzione del valore dell'indice di prestazione energetica invernale (EP_{inv}) suddiviso per le differenti zone climatiche. Si può notare come le prestazioni nelle diverse zone differiscano in modo sostanziale. In aggiunta, la deviazione standard delle varie distribuzioni è ridotta, con l'eccezione della zona F (tuttavia il campione in zona F è decisamente ridotto).

La situazione è sostanzialmente diversa per il caso della classificazione estiva. Come visibile infatti in Figura 33, le distribuzioni dei valori dell'EP nel caso estivo tendono a presentare ampie fasce di sovrapposizione, nonostante sia chiaro l'andamento crescente con il passaggio verso classi climatiche più elevate. Appare comunque emblematico il fatto che il valore medio dell'EP in classe C sia fondamentalmente lo stesso di quello in classe D.

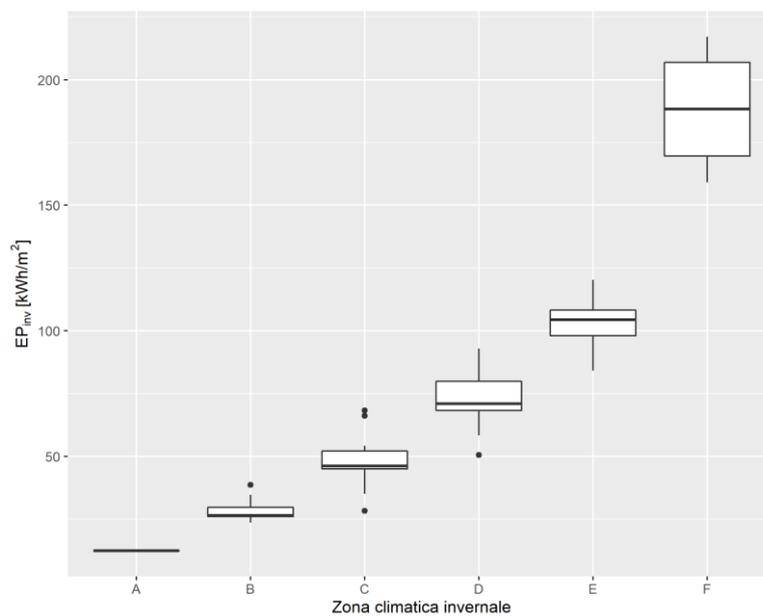


Figura 32: Diagramma a scatola e baffi dell'EP invernale, suddiviso per zona climatica invernale

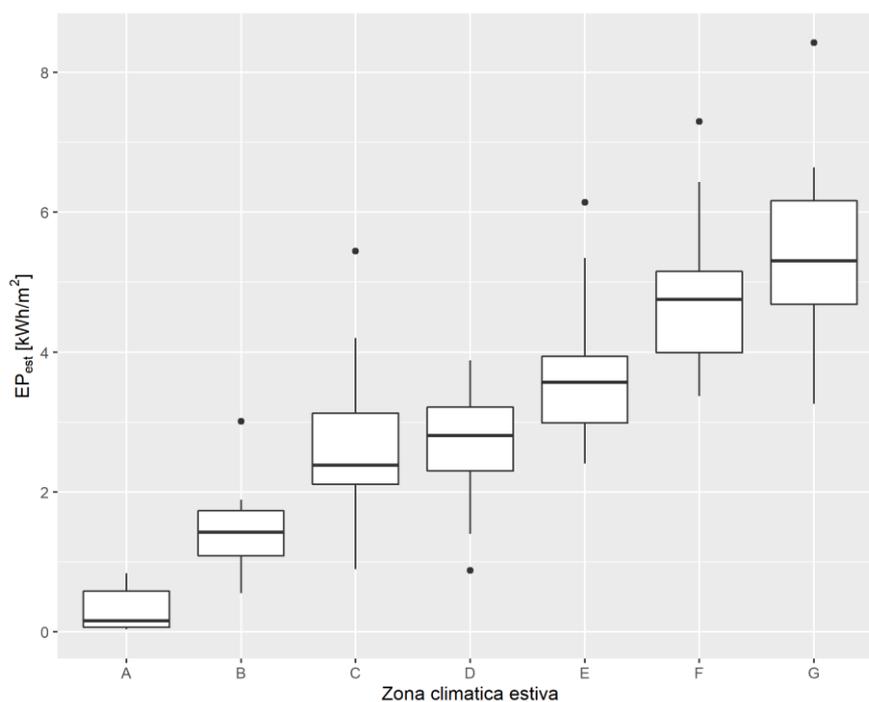


Figura 33: Diagramma a scatola e baffi dell'EP estivo, suddiviso per zona climatica estiva

I risultati dettagliati per le città scelte come riferimento sono forniti in Tabella 6.

Tabella 6: Riassunto dei fabbisogni annuali di elettricità e gas naturale

	Fabbisogno elettrico [MWh]	Fabbisogno gas naturale [MWh]	Fabbisogno elettrico [TEP]	Fabbisogno gas naturale [TEP]	\overline{EP}_{inv}	\overline{EP}_{est}
Pescara	4.84	116	0.93	10.0	71.6	2.99
Crotone	6.47	63	1.22	5.4	38.6	3.99
Salerno	8.99	67	1.70	5.8	41.3	5.55
Bologna	6.38	171	1.24	14.7	105.6	3.94
Trieste	4.58	136	0.89	11.7	84.1	2.83
Roma (Ciampino)	5.71	112	1.10	9.6	69.1	3.53
Genova	3.90	106	0.76	9.1	65.6	2.41
Brescia	4.60	172	0.91	14.8	106.1	2.84
Ascoli Piceno	3.87	133	0.75	11.4	81.9	2.39
Campobasso	2.58	163	0.52	14.0	100.3	1.59
Torino	3.03	190	0.62	16.3	117.3	1.87
Bari	9.94	46	1.88	3.9	28.2	6.14
Cagliari	6.31	74	1.20	6.3	45.6	3.89
Palermo (Bocadifalco)	7.86	43	1.48	3.7	26.4	4.85
Firenze (aeroporto)	5.75	124	1.11	10.7	76.8	3.55
Bolzano	2.13	185	0.45	15.9	114.2	1.32
Perugia	3.06	153	0.61	13.2	94.6	1.89
Verona	6.80	171	1.32	14.7	105.7	4.20

Al di là dei risultati aggregati basati sulle simulazioni distribuite per il territorio italiano, sono state anche effettuate delle simulazioni relative a determinati casi specifici, che sono qui riportate per due casi di riferimento: Bologna e Palermo. Queste simulazioni, puramente informative, sono volte a mostrare le potenzialità del sistema di simulazione dinamica sviluppato per la ricerca, che verrà poi perfezionato e applicato alle varie soluzioni proposte nelle successive annualità.

In Figura 34 è rappresentato l'andamento delle temperature interne ed esterne e dei contributi al raffrescamento degli ambienti da parte della ventilazione naturale e degli impianti di condizionamento per una giornata tipo estiva nel caso di Palermo. Si può notare facilmente come le simulazioni dinamiche effettuate in ambiente *EnergyPlus* permettano di comprendere in maniera molto più approfondita i fenomeni che determinano le prestazioni energetiche dell'edificio, sia dal punto di vista della domanda energetica sia da quello dell'attivazione degli impianti e dei conseguenti consumi di gas naturale ed elettricità.

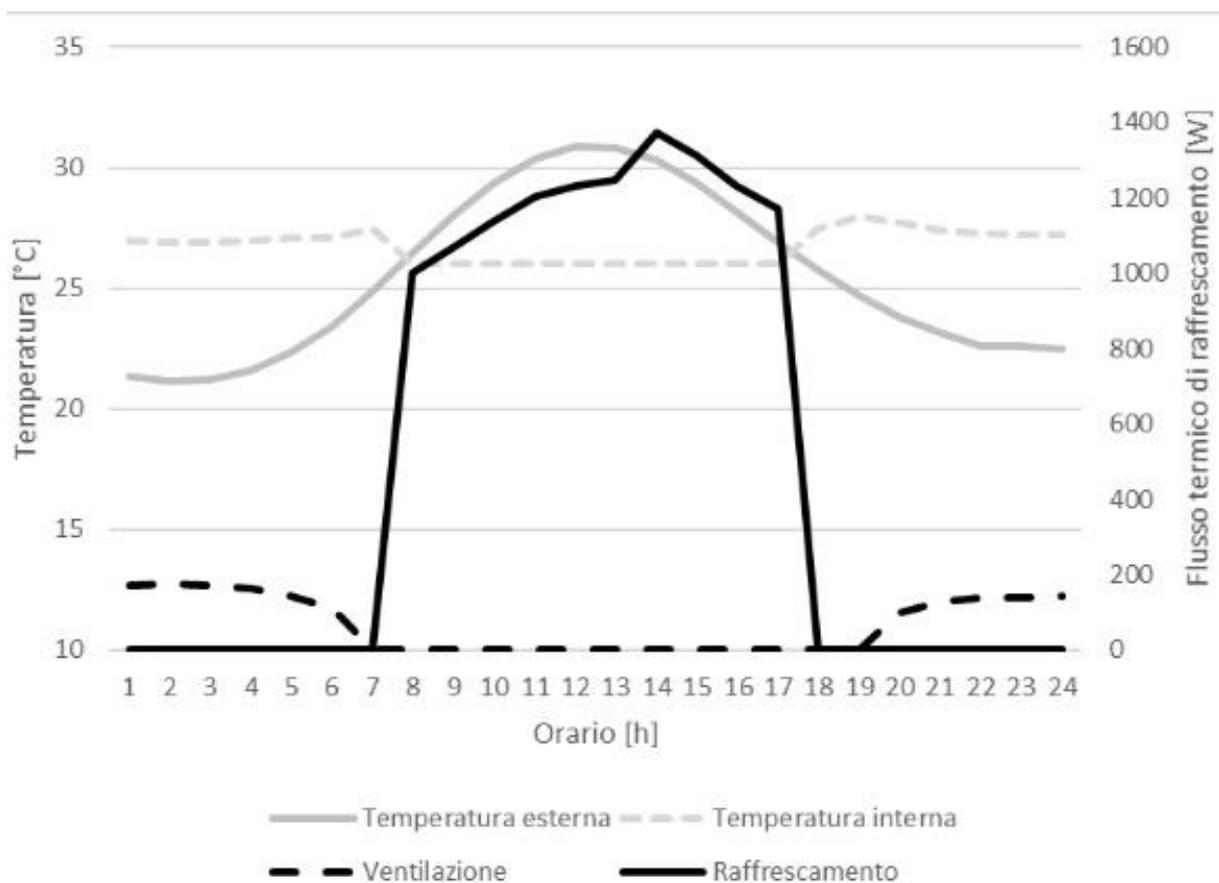


Figura 34: Risultati delle simulazioni dinamiche per una giornata estiva di riferimento, Palermo (zona climatica estiva F)

Gli andamenti in Figura 34 mostrano chiaramente gli effetti delle scelte effettuate per quanto riguarda i programmi di ventilazione e condizionamento. Durante le ore più fresche della giornata la temperatura interna si mantiene comunque, per la maggior parte del tempo, al di sotto dei 26°C necessari per l'attivazione del sistema di raffrescamento. Nel momento in cui la temperatura esterna sale sopra i 24°C si verificano la chiusura delle finestre e l'accensione degli impianti, una volta superata la soglia interna dei 26°C. Si nota quindi come, anche se quando l'impianto di condizionamento è spento la temperatura interna sale sopra i 26°C, l'incremento è limitato (max 27,5°C).

La Figura 35 rappresenta invece un esempio di riscaldamento invernale, applicato al caso di Bologna. In questo caso si può notare l'effetto del programma di accensione del riscaldamento, che porta allo spegnimento della caldaia nelle ore intermedie della giornata e durante la notte. Durante questi intervalli di tempo la temperatura interna si abbassa fino a 15°C, generando così condizioni di *discomfort*: questa situazione è ben spiegata dalla elevata trasmittanza termica delle pareti (non isolate) e delle superfici vetrate, evidenziando così il fatto che un intervento volto al miglioramento dell'isolamento termico dell'involucro dell'edificio non andrebbe soltanto a migliorare la prestazione energetica dell'edificio ma anche il *comfort* dei suoi occupanti.

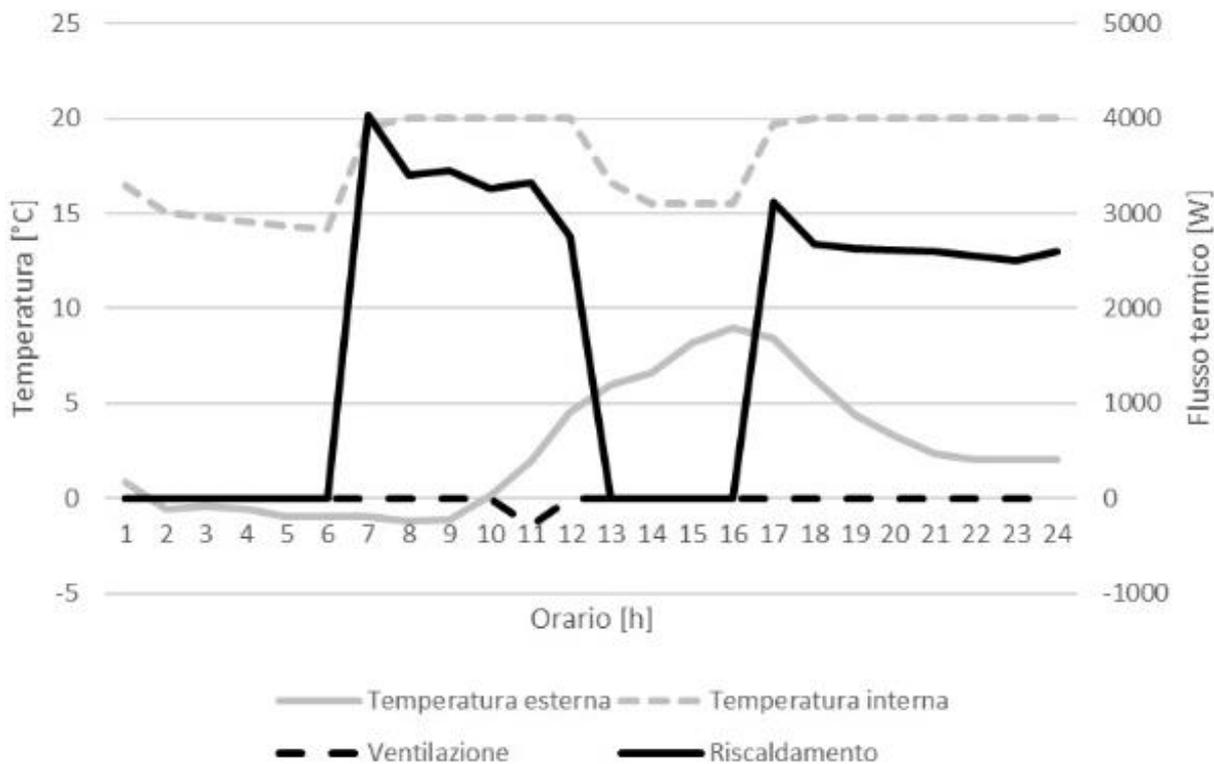


Figura 35: Risultati delle simulazioni dinamiche per una giornata invernale di riferimento, Bologna (zona climatica invernale E)

7 Conclusioni

In questo report sono descritte le attività svolte da ENEA durante la prima annualità del *Work Package 2* “Miglioramento dell'efficienza energetica di processi di produzione e di gestione dell'ambiente costruito” di Ricerca di Sistema Elettrico (anno 2019). Questo *Work Package*, inserito nel Progetto 1.6: “Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali”, si pone lo scopo di migliorare le prestazioni e l'efficienza di pacchetti di involucro per l'isolamento termico di edifici residenziali.

Il lavoro svolto in questa linea di attività si è concentrato sull'identificazione di un “edificio ricorrente”, che sia il più possibile rappresentativo del parco edilizio italiano in particolare per le grandi città, e sulla costruzione di un ambiente di simulazione numerica delle prestazioni energetiche di edifici, da utilizzare nelle successive fasi di progetto per valutare in anticipo le prestazioni attese dalle diverse soluzioni identificate.

La fase di ricognizione del patrimonio edilizio italiano ha evidenziato la presenza di elementi ricorrenti, in particolare nel caso delle grandi città. Questo ha permesso la definizione di un edificio rappresentativo, avente le caratteristiche costruttive ed impiantistiche di un edificio costruito negli anni Settanta, di sei elevazioni fuori terra e per una superficie del terreno occupata di circa 200 m². Tale edificio è stato riprodotto all'interno del software di simulazione energetica di edifici *DesignBuilder*, includendo la definizione non solo delle caratteristiche di involucro, ma anche degli impianti e dei profili di attività e d'uso dell'edificio.

Il modello così ottenuto è stato testato su un totale di 75 località italiane, scelte in funzione della disponibilità di opportuni dati climatici. Questa operazione ha permesso, da un lato, di verificare la correttezza e le potenzialità del modello; dall'altro, di costituire un benchmark rappresentativo per diverse località italiane delle prestazioni energetiche degli edifici precedentemente ad interventi di efficientamento di involucro e impianti.

Il lavoro qui proposto sarà dunque cruciale per le successive fasi del progetto, in quanto permetterà: di fornire informazioni quantitative sulle prestazioni attese dei pacchetti di involucro proposti, e quindi di dare un contributo alla scelta delle soluzioni standardizzate più efficaci; e di valutare con precisione, una volta determinate tali soluzioni standardizzate, l'impatto atteso sul sistema energetico nazionale.

Abbreviazioni ed acronimi

ANCE – Associazione Nazionale Costruttori Edili
ARERA – Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente
BIM – Building Information Modeling
ENEA – Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
ESCo – Energy Service Company
IPD - Integrated Project Delivery
ISTAT – Istituto Nazionale di Statistica
NTC – Norme Tecniche per le Costruzioni
nZEB – nearly Zero Energy Building
OSC – Off-Site Construction
TEP – Tonnellate Equivalenti di Petrolio
RICS – Royal Institution of Chartered Surveyors

Bibliografia

- AA.VV., RE+BUILD ITALIA, Piattaforma per l'innovazione delle costruzioni italiane, Outlook 2017, n°2 Giugno
- Arashpour, M., Wakefield, R., Abbasi, B., Lee, E.W.M., Minas, J., 2016. Off-site construction optimization: sequencing multiple job classes with time constraints. *Autom. Construct.* 71 (Part 2), 262-270.
- Chen, J.H., Yan, S., Tai, H.W., Chang, C.Y., 2017. Optimizing profit and logistics for precast concrete production. *Can. J. Civ. Eng.* 44 (6), 393-406.
- Choi, J.O., O'Connor, J.T., Kim, T.W., 2016. Recipes for cost and schedule successes in industrial modular projects: qualitative comparative analysis. *J. Construct. Eng. Manag.* 142 (10).
- Gledson, B.J., 2016. Hybrid project delivery processes observed in constructor BIM innovation adoption. *Construct. Innovat.* 16 (2), 229-246.
- Hong, J., Shen, G.Q., Li, Z., Zhang, B., Zhang, W., 2018. Barriers to promoting prefabricated construction in China: a costbenefit analysis. *J. Clean. Prod.* 172, 649-660.
- Hong, J., Shen, G.Q., Mao, C., Li, Z., Li, K., 2016. Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input-output-based hybrid model. *J. Clean. Prod.* 112, 2198-2207.
- Isaac, S., Bock, T., Stoliar, Y., 2016. A methodology for the optimal modularization of building design. *Autom. Construct.* 65, 116-124.
- Jiang, R., Mao, C., Hou, L., Wu, C., Tan, J., 2018. A SWOT analysis for promoting offsite construction under the backdrop of China's new urbanisation. *J. Clean. Prod.* 173, 225-234.
- Jin, R., Gao, S., Cheshmehzangi, A., Aboagye-Nimo, E., 2018. A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. *J. Clean. Prod.* 202, 1202-1219.
- Kamali, M., Hewage, K., 2016. Life cycle performance of modular buildings: a critical review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 62, 1171-1183.
- Kamali, M., Hewage, K., 2017. Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *J. Clean. Prod.* 142, 3592-3606.

Lei, Z., Taghaddos, H., Han, S.H., Bouferguene, A., Al-Hussein, M., Hermann, U., 2015. From autoCAD to 3ds max: an automated approach for animating heavy lifting studies. *Can. J. Civ. Eng.* 42 (3), 190-198.

Mitterhofer, M., Schneider, G.F., Stratbücker, S., Sedlbauer, K., 2017. An FMI-enabled methodology for modular building performance simulation based on Semantic Web Technologies. *Build. Environ.* 125, 49-59.

Ramaji, I.J., Memari, A.M., Messner, J.I., 2017. Product-oriented information delivery framework for multistory modular building projects. *J. Comput. Civ. Eng.* 31 (4).

RICS, September 2018, *Modern Methods of Construction*. A forward-thinking solution to the housing crisis?

Shahtaheri, Y., Rausch, C., West, J., Haas, C., Nahangi, M., 2017. Managing risk in modular construction using dimensional and geometric tolerance strategies. *Autom. Construct.* 83, 303-315.

Sonego, M., Echeveste, M.E.S., Galvan Debarba, H., 2018. The role of modularity in sustainable design: a systematic review. *J. Clean. Prod.* 176, 196-209.

Wikberg, F., Olofsson, T., Ekholm, A., 2014. Design configuration with architectural objects: linking customer requirements with system capabilities in industrialized house-building platforms. *Construct. Manag. Econ.* 32 (1e2), 196- 207.

Wang, T., Li, Y., Zhang, L., Li, G., 2016. Case study of integrated prefab accommodations system for migrant on-site construction workers in China. *J. Prof. Iss. Eng. Ed. Pr.* 142 (4).