



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Comportamento della piattaforma in relazione al corretto
abbinamento tra curve di domanda e sistemi di generazione e
controllo

P. Caputo, G. Costa, V. Canotto, L. Pistocchini, A. Roscetti



COMPORTAMENTO DELLA PIATTAFORMA IN RELAZIONE AL CORRETTO ABBINAMENTO TRA
CURVE DI DOMANDA E SISTEMI DI GENERAZIONE E CONTROLLO

Paola Caputo, Gaia Costa, Valentina Canotto (Politecnico di Milano, Dipartimento BEST),
Lorenzo Pistocchini, Andrea Roscetti (Politecnico di Milano, Dipartimento Energia)

Luglio 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'Uso dell'Energia Elettrica

Progetto: Studi e Valutazioni sull'Uso Razionale dell'Energia: Strumenti e tecnologie per
l'efficienza energetica nel settore dei servizi

Responsabile Progetto: Ilaria Bertini, ENEA

*Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di
Sistema Elettrico – PAR 2008-09
Progetto 3.1 “Strumenti e tecnologie per l'efficienza
energetica nel settore dei servizi”
Politecnico di Milano, Dipartimento BEST*

Deliverable B:

**Comportamento della piattaforma in relazione
al corretto abbinamento tra curve di
domanda e sistemi di generazione e
controllo**

*Gruppo di lavoro: Paola Caputo, Gaia Costa, Lorenzo
Pistocchini (Dip. Energia), Andrea Roscetti (Dip. Energia) e
Valentina Zanotto*

Luglio 2011

Indice

1	PREMESSA	5
2	INTRODUZIONE	6
3	DEFINIZIONE DEI CARICHI E DEI PROFILI ELETTRICI E VALUTAZIONE DEI GUADAGNI INTERNI RELATIVI A PERSONE, LUCI E APPARECCHIATURE	7
	3.1 Definizione dei profili di domanda elettrica	7
	3.2 Dati SIA 2024 (2006) elaborati per gli edifici residenziali	8
	3.3 Dati SIA 2024 (2006) elaborati per gli edifici per uffici	11
	3.4 Verifica del contributo dei guadagni interni sulla base della UNI TS 11300-1	14
	3.5 Considerazioni conclusive	16
4	CONFIGURAZIONI DI IMPIANTO PER IL SODDISFACIMENTO DELLA DOMANDA ENERGETICA DEGLI EDIFICI RISPETTO AI DIVERSI USI FINALI	18
	4.1 Modello in ambiente Simulink	18
	4.1.1 Logica di controllo	19
	4.1.2 Componenti della configurazione	21

1 Premessa

Il presente rapporto fa riferimento alla collaborazione in corso tra ENEA e il Dipartimento BEST del Politecnico di Milano, nata in seno all'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2008-2009, Progetto 3.1 : “*Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi*” e avente come oggetto: “*Valutazioni e simulazioni per l'ottimizzazione del paradigma energetico a scala di distretto*”.

Come descritto nell'allegato tecnico concordato, il contributo del gruppo di lavoro BEST riguarda i seguenti temi:

A. Validazione del modulo edificio (*Deliverable A: rapporto sulla validazione del modulo edificio*):

- individuazione di nuovi edifici benchmark che, a differenza di quelli considerati nell'attività della precedente annualità, sono per profili di utilizzo, forma e caratteristiche strutturali rappresentativi del parco edilizio;
- analisi del modello in oggetto in relazione alle diverse tipologie edilizie sopra menzionate. A tal scopo saranno completate simulazioni comparative mediante i *tools* TRNSYS e Energy plus.

B. Supporto nella messa a sistema dei moduli domanda/generazione (*Deliverable B: rapporto sul comportamento della piattaforma in relazione al corretto abbinamento tra curve di domanda e sistemi di generazione e controllo*):

- analisi dei moduli di impianto e indicazioni sulle relative configurazioni di sistema;
- supporto in merito alla definizione delle curve di domanda elettrica e termica e all'architettura complessiva della piattaforma ai fini dell'implementazione di un modello a scala di distretto.

Nell'ambito del punto B, il gruppo di lavoro ha prodotto i seguenti contributi, che vengono descritti nei capitoli del presente rapporto:

- analisi utile alla definizione dei carichi elettrici e dei profili elettrici per luci e apparecchiature per i diversi edifici analizzati;
- analisi utile alla definizione dei profili termici (riscaldamento, ventilazione e condizionamento) per i diversi edifici analizzati (per tale punto si rimanda alle assunzioni e alle simulazioni descritte nella Deliverable A);
- analisi delle configurazioni implementabili in Odesse;
- analisi e correzione dei moduli precedentemente implementati in ambiente Simulink relativi a: caldaia, collettore solare termico, sistema fotovoltaico, accumulo termico e pompa di calore;
- sviluppo del modello in ambiente Simulink della configurazione di impianto contenente i seguenti elementi: caldaia + collettore solare termico + sistema fotovoltaico + accumuli termici + pompa di calore + sistemi di controllo + collegamento a curve di domanda di elettricità, acqua calda sanitaria, riscaldamento e condizionamento + collegamento alla rete elettrica (per tale punto si rimanda anche ai file Simulink *parametri sistema fpc.m* e *parametri sistema etc.m*).

2 Introduzione

Le attività svolte consentono di completare le valutazioni relative alle annualità precedenti. In particolare, come descritto nella *Deliverable A*, vengono introdotti nuovi edifici, vengono affinate le procedure di calcolo e di comparazione con gli strumenti TRNSYS ed EnergyPlus (valutandone in maniera approfondita gli algoritmi di calcolo) e vengono definite le condizioni di gestione degli edifici (nelle precedenti annualità analizzati sempre in assenza di carichi interni), individuando dei plausibili profili di occupazione, ventilazione e domanda elettrica. Inoltre, poiché la piattaforma Odesse ha come fine ultimo la simulazione energetica a scala di distretto, si è collaborato al processo di definizione di alcune configurazioni tipo rappresentative della messa a sistema degli edifici, con le relative domande energetiche, e dei sistemi di generazione e distribuzione dell'energia. Tra tali configurazioni, una in particolare (basata sostanzialmente su pompa di calore e sistemi solari) è stata simulata in ambiente Simulink. I diversi componenti di impianto devono essere in grado di soddisfare le domande di:

- elettricità (valori derivanti dai profili di uso e gestione degli edifici, con particolare riferimento all'impiego di luci e apparecchiature; vedere paragrafo successivo).
- riscaldamento (valori derivanti dalla simulazione del comportamento energetico degli edifici);
- raffrescamento (valori derivanti dalla simulazione del comportamento energetico degli edifici);
- acqua calda sanitaria (valutazioni statistiche effettuate da Enea conformi alla normativa).

3 Definizione dei carichi e dei profili elettrici e valutazione dei guadagni interni relativi a persone, luci e apparecchiature

3.1 Definizione dei profili di domanda elettrica

La definizione dei profili di domanda elettrica si inquadra all'interno delle elaborazioni finalizzate alla messa a punto della piattaforma Odesse (edificio e configurazioni di impianto). Per ovvi motivi di coerenza, si è ritenuto opportuno tenere gli stessi profili sia per le simulazioni del comportamento energetico degli edifici con i software TRNSYS e EnergyPlus sia per la definizione delle curve di domanda elettrica da introdurre nella piattaforma Odesse. In tal senso, le domande elettriche specifiche potranno essere lette, nell'ambito delle simulazioni energetiche, come guadagni interni utili alla determinazione delle domande di *heating* e *cooling* e, nell'ambito delle configurazioni energetiche di distretto, come domande di base per determinare le richieste che dovranno essere supportate dagli impianti di generazione simulati e/o da microreti elettriche ulteriori e/o dalla rete elettrica nazionale.

La definizione dei profili di carico elettrico per gli edifici residenziali e terziari ha comportato una lunga fase di ricerca, dettata principalmente dalla difficoltà di definire, in maniera sufficientemente affidabile e generale, l'energia oraria richiesta per unità di superficie.

È noto infatti che i profili di domanda elettrica possono essere molto differenti per numerosi fattori che dipendono dalle caratteristiche dell'edificio, dalle attività ivi previste, dal numero di occupanti, dalle modalità di gestione e dalle caratteristiche qualitative e quantitative delle luci e delle apparecchiature presenti.

A tal fine, sono stati presi in esame alcuni importanti riferimenti come:

- Micene. Misure dei Consumi di ENergia Elettrica in 110 abitazioni Italiane, eERG- Politecnico di Milano, 2004;
- Remodece. Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe, A. De Almeida et al., 2008;
- El-Tertiary. Monitoring Electricity Consumption in the Tertiary Sector, E. Gruber et al., 2008;
- UNI TS 11300-1. Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, UNI, 2008;
- Merkblatt 2024. Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, SIA, 2006 (riporta dati di riferimento per le condizioni d'uso degli edifici e dei loro impianti, sulla base di diverse destinazioni d'uso), denominato nel seguito come quaderno tecnico svizzero SIA 2024.

Poiché la specifica tecnica UNI TS 11300-1 (2008) non riporta i profili elettrici, ma soltanto i guadagni interni derivanti dalla presenza di luci, apparecchiature e persone, essa è stata considerata soltanto come elemento utile alla verifica dei profili altrimenti definiti (vedere ultimo paragrafo). Inoltre, poiché i dati forniti dai progetti Micene (2004) e Remodece (2008) fanno riferimento ad un campione di scarsa significatività statistica sui 21.7 milioni totali di abitazioni presenti sul territorio italiano, e quelli forniti dal progetto El-Tertiary (2008) fanno riferimento a situazioni di carichi elettrici peculiari dovuti alla tipologia edilizia e alle differenti attività svolte, non è stato possibile tradurli direttamente in profili di domanda elettrica medi di riferimento, ma sono stati usati come elemento di verifica della compatibilità dei profili elaborati con la realtà dei casi particolari monitorati. Pertanto il quaderno tecnico svizzero SIA 2024 (2006) è stato considerato come riferimento di base, dopo averne accertata la necessaria affidabilità e universalità e, quindi, la possibilità di impiego sia nel caso residenziale sia nel caso terziario.

I dati reperiti nel quaderno tecnico svizzero SIA 2024 (2006) sono stati elaborati in termini di profili orari, considerando per le apparecchiature:

- i valori di potenza elettrica installata, che può essere minima, massima o media in funzione

- della tipologia/efficienza degli elementi presenti nel locale;
- il profilo medio orario giornaliero;
 - il fattore di simultaneità, che può essere specifico per ogni mese o espresso come media annuale e che prende in conto gli eventuali periodi di vacanza distribuiti nel corso dell'anno;
- e, per l'illuminazione artificiale:
- i valori di potenza elettrica installata massima, che corrisponde all'uso di lampade standard (utilizzate nella pratica diffusa) per coprire il fabbisogno di illuminamento, e minima, calcolata sulla base delle caratteristiche di lampade ad alta efficienza;
 - il numero di ore di funzionamento giornaliere;
 - un fattore di correzione legato al *daylighting*; vengono suggeriti un valore standard, che corrisponde alle condizioni tipiche della pratica diffusa, e un valore ottimizzato, che presuppone una progettazione finalizzata alla valorizzazione della componente naturale per l'illuminazione.

3.2 Elaborazioni dei dati SIA 2024 (2006) per gli edifici residenziali

Per quanto riguarda gli edifici a destinazione d'uso residenziale, il quaderno tecnico riporta i dati di domanda elettrica dovuta alle apparecchiature e all'illuminazione disaggregati per i locali di soggiorno e camera da letto e per quello di cucina.

Al fine di definire una residenza tipo sono stati utilizzati i dati ISTAT utili a determinare la superficie media e la composizione delle unità immobiliari a destinazione d'uso residenziale in Italia: sono stati quindi combinati i dati del Censimento 2001 sulle abitazioni occupate da residenti e gli Annuari Statistici dal 2001 al 2010 per le caratteristiche degli edifici residenziali di nuova costruzione.

Ne è risultata un'abitazione di 94.5 m², composta da 4 locali (una cucina abitabile, un soggiorno e due camere) e 3 locali di servizio (quali bagno e locali di distribuzione), con le seguenti caratteristiche:

- Cucina: 10m²
- Soggiorno: 20 m²
- Camere da letto: 2 da 20 m²
- Locali di servizio: 24.5 m²

Come precedentemente accennato, la SIA 2024 riporta una definizione precisa dei carichi per soggiorno, camera da letto e cucina, ma non dà informazioni sui locali di servizio: questi ultimi sono stati trattati in maniera analoga a quanto fatto per camera da letto e cucina per quanto riguarda l'illuminazione artificiale, mentre non è stato previsto alcun tipo di apparecchiatura elettrica installata.

I grafici seguenti riportano gli andamenti orari dei carichi elettrici per la settimana tipo.

SETTIMANA TIPO - Edificio residenziale Potenza elettrica assorbita dalle apparecchiature

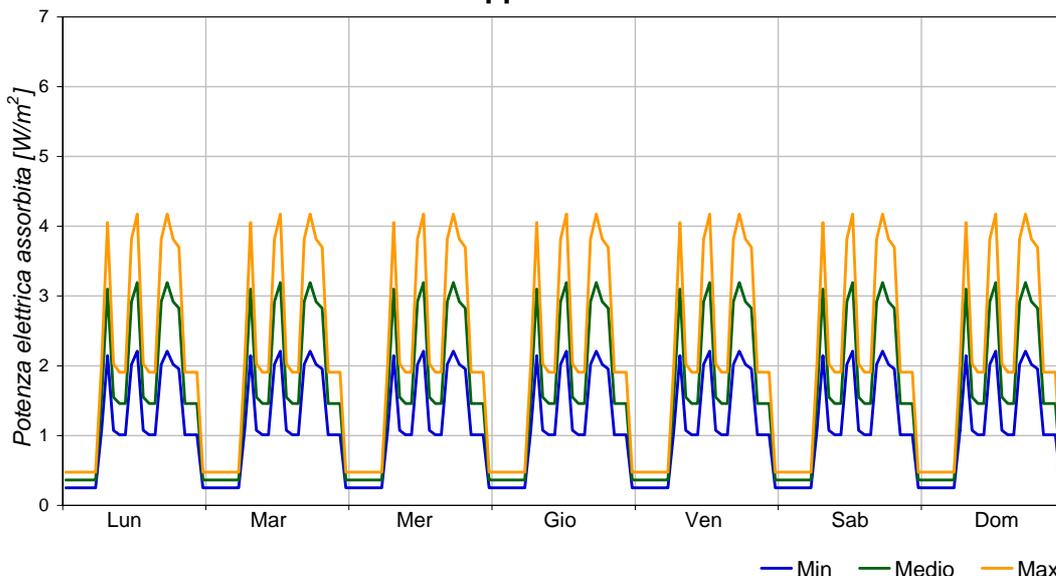


Figura 1: Profilo orario per una settimana tipo (con fattore di simultaneità medio) dei carichi elettrici dovuti alle apparecchiature installate nell'edificio residenziale.

SETTIMANA TIPO - Edificio residenziale Potenza elettrica assorbita dalle luci

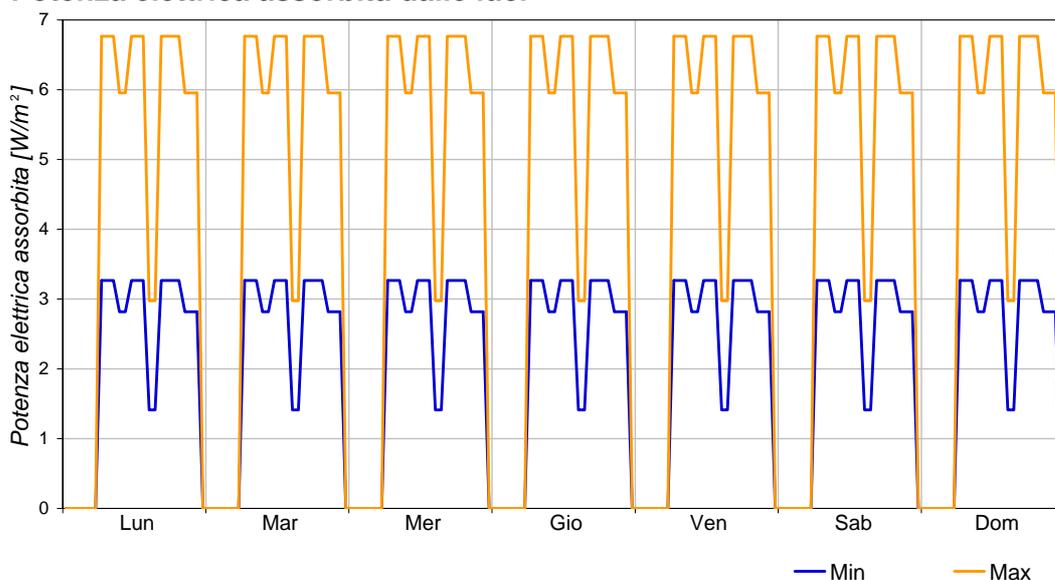


Figura 2: Profilo orario per una settimana tipo (con fattore di simultaneità medio) dei carichi elettrici dovuti alle luci installate nell'edificio residenziale.

Tali risultati sono stati messi a confronto con alcuni dati provenienti da campagne di misura, come definito nei rapporti Micene (2004), Remodece (2008) e in altri lavori correlati.

In particolare, è stato preso in esame il caso della Casa Passiva di Cherasco (CN), edificio monitorato per un lungo periodo e quindi caratterizzabile con un profilo reale per un intero anno.

Edifici residenziali - Confronto dei dati mensili

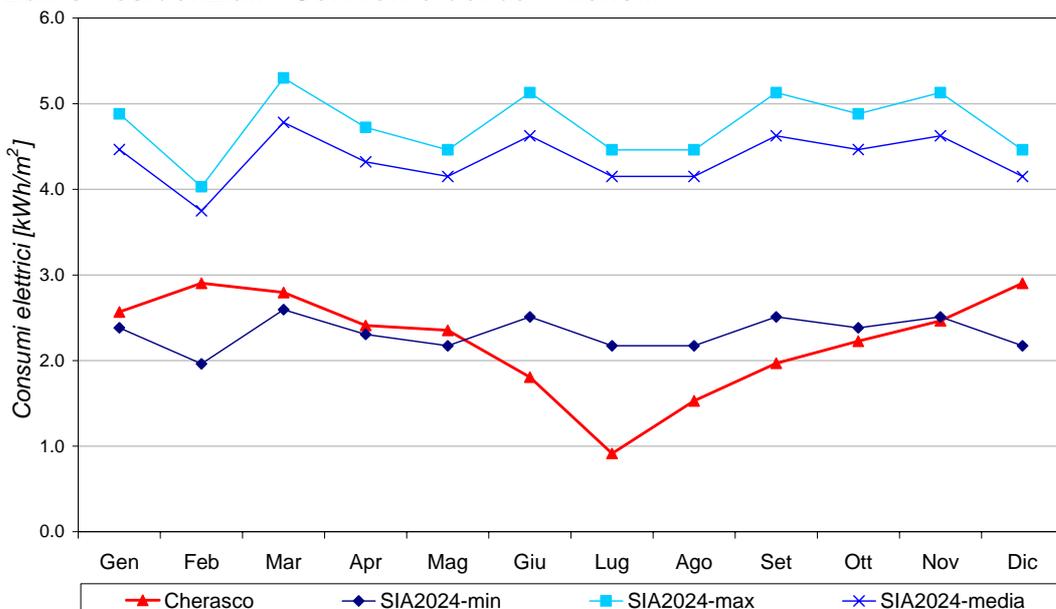


Figura 3: Confronto tra i consumi elettrici mensili (in kWh/m²) valutati sulla base del quaderno SIA 2024 e quelli monitorati per la casa di Cherasco.

Le differenze tra i valori previsti dal quaderno tecnico e quelli monitorati possono essere ricondotte essenzialmente alle peculiarità della casa di Cherasco, che ha una superficie di 200 m² e una composizione dei locali diversa da quella della casa “media” ipotizzata ed è ovviamente fortemente influenzata dalle abitudini e dai comportamenti dei suoi abitanti durante l’anno in cui sono state prese le misure. In particolare, la sommatoria annuale dei consumi risulta leggermente più bassa di quella minima prevista dalla SIA 2024 (grafico seguente), proprio a causa del fatto che in una casa di superficie maggiore il peso del locale cucina (che è quello caratterizzato dai carichi maggiori) è molto inferiore.

Verifica dei consumi annuali per l'edificio residenziale Confronto con dati della casa di Cherasco

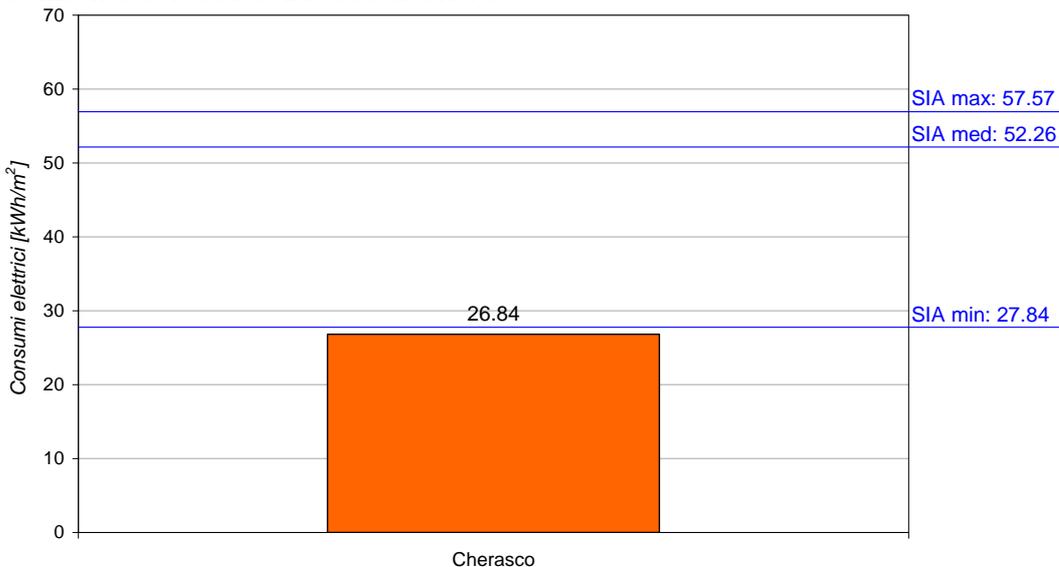


Figura 4: Confronto tra i risultati ottenuti sulla base del quaderno SIA 2024 e i rispettivi valori misurati per la casa di Cherasco.

I valori annui per l’abitazione tipo sono stati anche confrontati con i valori medi di consumo riportati in Micene (che ha monitorato i consumi di 121 abitazioni tra il 2000 e il 2003) e

Remodece (che ha monitorato i consumi di 59 abitazioni tra il 2007 e il 2008) per abitazioni da 3 o 4 abitanti e dotazioni di elettrodomestici variabili (minima, media e massima). Tale confronto è riportato nel grafico seguente.

**Verifica dei consumi annuali per l'edificio residenziale
Confronto con dati Micene e Remodece**

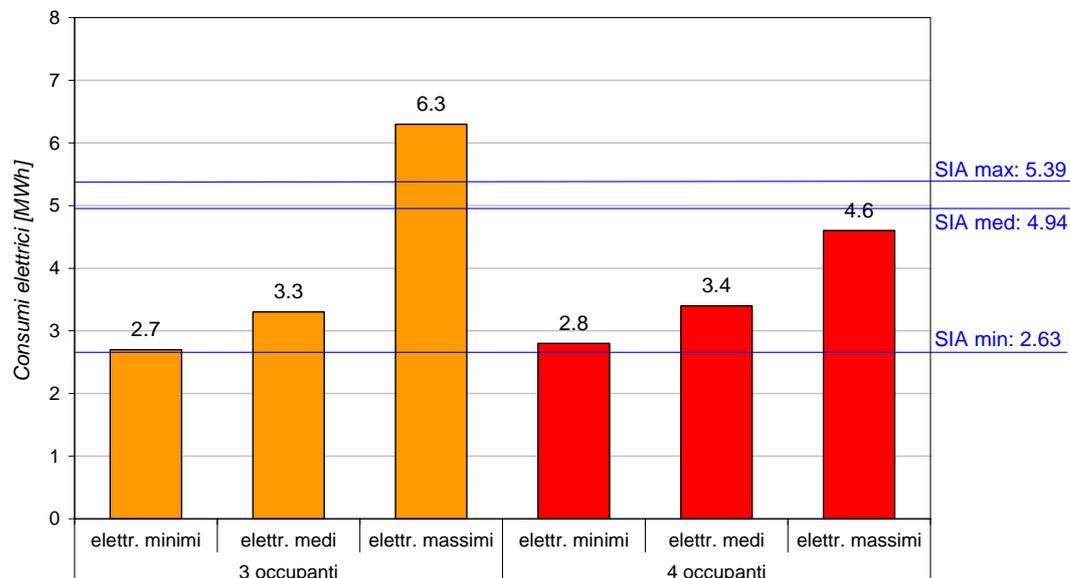


Figura 5: Confronto tra i consumi elettrici annuali (in MWh) valutati sulla base del quaderno SIA 2024 (in blu) e quelli ricavati dai progetti Micene e Remodece, organizzati per numero di occupanti e dotazione di elettrodomestici.

Come si può notare, la gran parte delle tipologie considerate (ad eccezione delle abitazioni da 3 occupanti con il massimo numero di apparecchiature installate) ricade tra i valori minimo e medio valutati a partire dal quaderno tecnico.

3.3 Elaborazioni dei dati SIA 2024 (2006) per gli edifici per uffici

Nel caso degli edifici a destinazione d'uso terziario (uffici), si è seguita una procedura del tutto analoga; i dati suggeriti dal quaderno tecnico svizzero SIA 2024 sono stati elaborati come segue.

Sono stati presi come riferimento i dati relativi ad uffici per massimo 6 occupanti e la superficie totale è stata considerata per il 60% occupata dai veri e propri locali ad ufficio e per il 40% da ambienti di servizio e distribuzione, come da UNI TS 11300-1.

Sulla base dell'esperienza maturata dal gruppo di lavoro, i carichi relativi alle apparecchiature sono stati applicati esclusivamente alla parte relativa agli uffici, secondo il profilo orario e il fattore di simultaneità precedentemente descritti, mentre per quanto riguarda l'illuminazione, questa è stata distribuita sull'intera superficie allo stesso modo durante le ore di occupazione ed è stata considerata ridotta al 20% del totale (luci di sicurezza ecc.) e solo nelle aree di distribuzione e servizio nel periodo notturno.

I grafici seguenti riportano gli andamenti orari dei carichi elettrici per la settimana tipo.

SETTIMANA TIPO - Edificio ad uso uffici
Potenza elettrica assorbita dalle apparecchiature

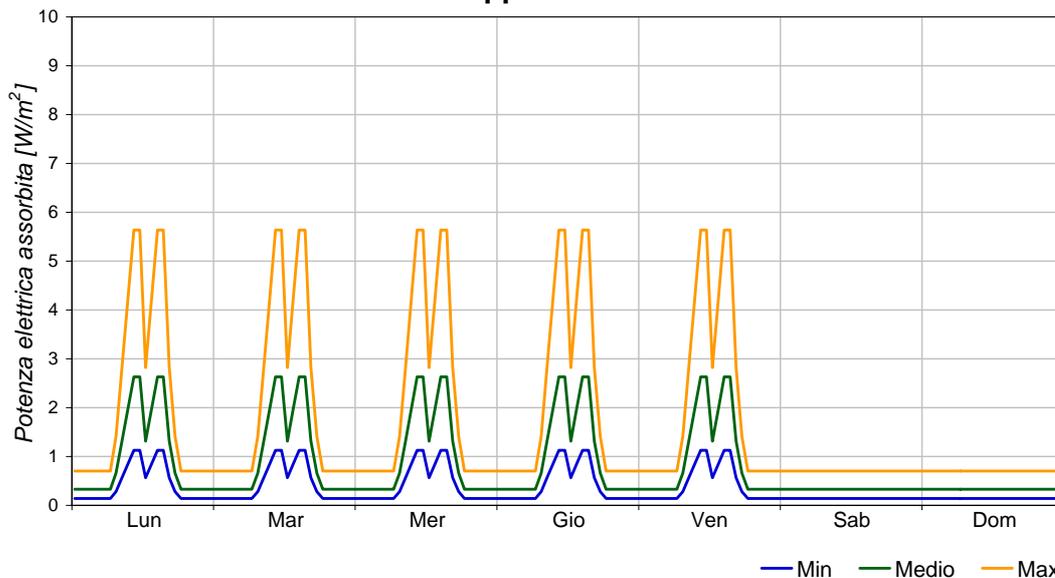


Figura 6: Profilo orario per una settimana tipo (con fattore di simultaneità medio) dei carichi elettrici dovuti alle apparecchiature installate nell'edificio terziario ad uso uffici.

SETTIMANA TIPO - Edificio ad uso uffici
Potenza elettrica assorbita dalle luci

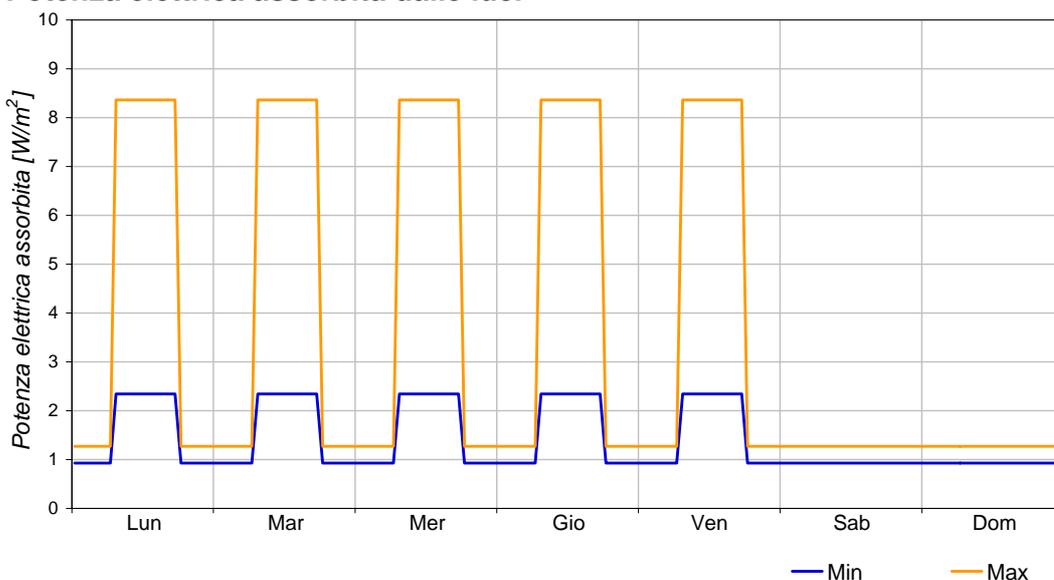


Figura 7: Profilo orario per una settimana tipo (con fattore di simultaneità medio) dei carichi elettrici dovuti alle luci installate nell'edificio terziario ad uso uffici.

L'andamento mensile dei consumi, che tiene conto anche del fattore di simultaneità mensile, è riportato nel grafico seguente.

Edificio per uffici Consumi elettrici totali

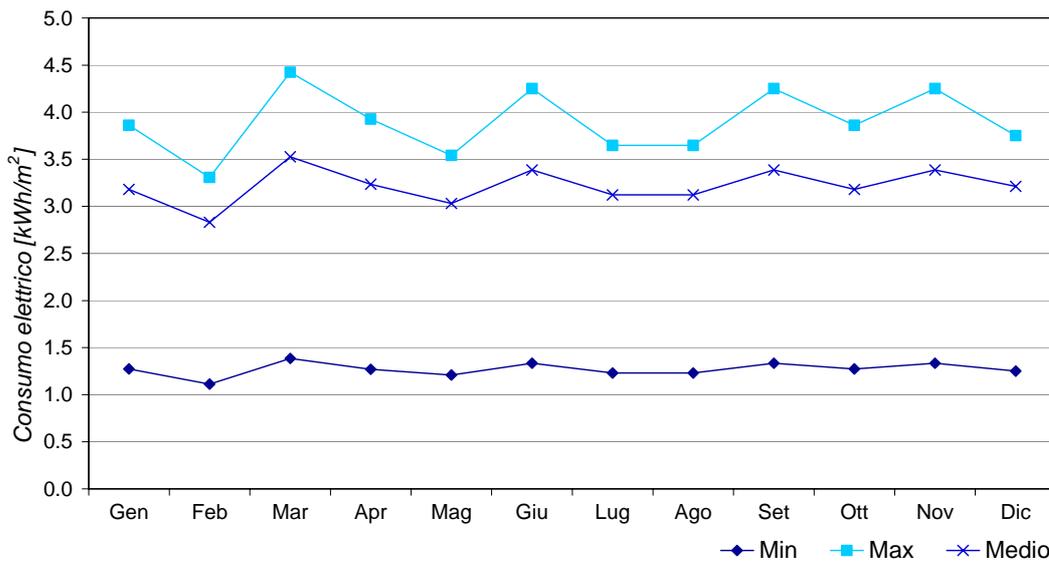


Figura 8: Consumi elettrici mensili (in kWh/m²) valutati sulla base del quaderno SIA 2024.

Tali risultati sono stati messi a confronto con i dati risultanti dalle campagne di *audit* del progetto europeo El-Tertiary (2008). Dato che il numero degli edifici per uffici monitorati sul territorio italiano non costituisce un campione significativo ai fini del confronto, si è deciso di utilizzare i valori medi relativi a tutti gli edifici per uffici del progetto (51 edifici monitorati in totale in tutta Europa). Nel terziario infatti, è plausibile supporre che le peculiarità riguardino più le caratteristiche di utilizzo degli edifici individuali che le diverse nazioni di appartenenza (rimanendo nell'ambito europeo). Ovviamente, per questo studio sono stati utilizzati i soli dati di El-Tertiary relativi all'illuminazione elettrica e alle apparecchiature da ufficio. Il confronto è riportato nel grafico seguente. I dati di consumo elettrico per illuminazione e apparecchiature d'ufficio derivate dal progetto El-Tertiary (2008) si attestano ad un valore che si avvicina a quello massimo previsto dalla SIA 2024 (2006), che può essere perciò preso come riferimento per l'edificio C.

Verifica dei consumi annuali per l'edificio per uffici Confronto con dati EI-Tertiary

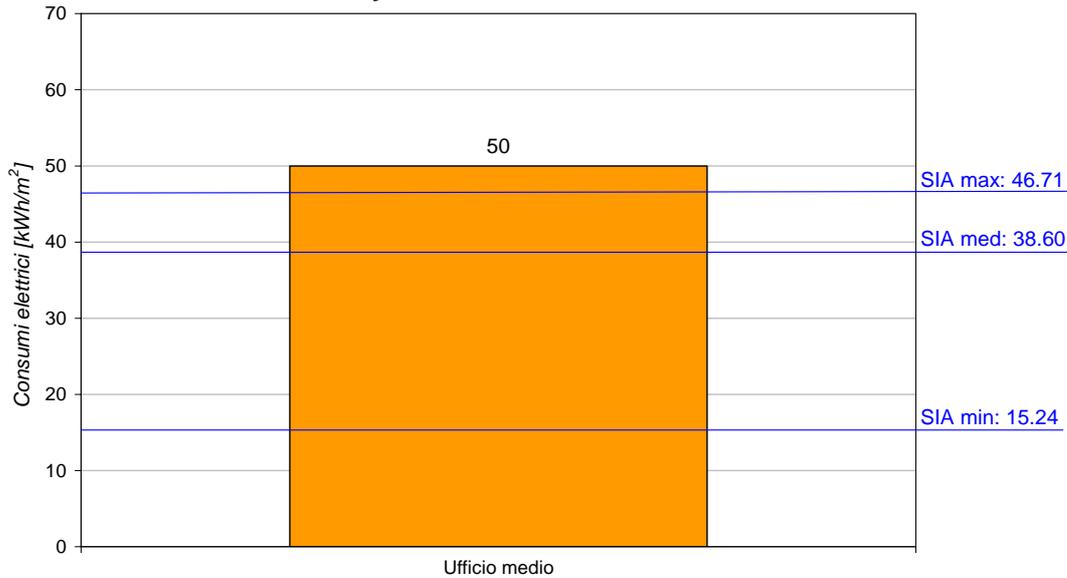


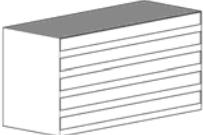
Figura 9: confronto tra i risultati ottenuti sulla base del quaderno SIA 2024 e i rispettivi valori misurati come riportato in EI-Tertiary.

3.4 Verifica del contributo dei guadagni interni sulla base della UNI TS 11300-1

Come ulteriore verifica è stato valutato il carico termico derivante dai guadagni interni determinati a partire dai profili di gestione precedentemente descritti secondo la procedura riportata nella specifica termica italiana UNI TS 11300-1. Quest'ultima consente di effettuare sia una "valutazione di progetto o standard", che si basa su un valore orario medio per unità di superficie, sia una "valutazione adattata all'utenza", per la quale vengono suggeriti profili orari distinti per i locali di soggiorno e cucina e per tutti i restanti spazi climatizzati. Il carico termico, inoltre, è dovuto sia alla presenza di dotazioni elettriche (quali le luci e le apparecchiature già analizzate in precedenza) sia a quella di occupanti: per questa ragione i profili precedentemente illustrati sono stati completati con i dati di occupazione (minima, massima e media) suggeriti sempre dal quaderno SIA 2024.

A tabella successiva riporta il contributo attribuibile alla presenza di persone per ciascun edificio-tipo.

Tabella 1: Caratteristiche complessive del profilo di produzione termica legato alla presenza di occupanti utilizzato nelle simulazioni per il confronto con i dati della UNI TS 11300-1.

	EDIFICIO A	EDIFICIO B	EDIFICIO C
			
Carico specifico [W/m ²]	1.85	2.43	6.50 ¹
Produzione annua [kWh/m ²]	5.25	7.32	4.80

Il grafico seguente mostra il confronto tra il flusso termico annuale dovuto alle fonti interne dell'edificio residenziale medio calcolato secondo il quaderno svizzero (nelle formulazioni minima, media e massima) e quello calcolato secondo la specifica tecnica italiana, sulla base dei dati riferiti sia alle valutazioni standard sia a quelle adattate all'utenza.

Come visto in precedenza nel confronto con i risultati dei progetti Micene e Remodece, anche in questo caso i guadagni interni si attestano all'interno dell'intervallo tra i valori minimo e medio valutati tramite la SIA 2024, in particolare se si considera la valutazione adattata all'utenza.

**Verifica dei carichi termici annuali per l'edificio residenziale
Confronto con dati UNI TS 11300-1**

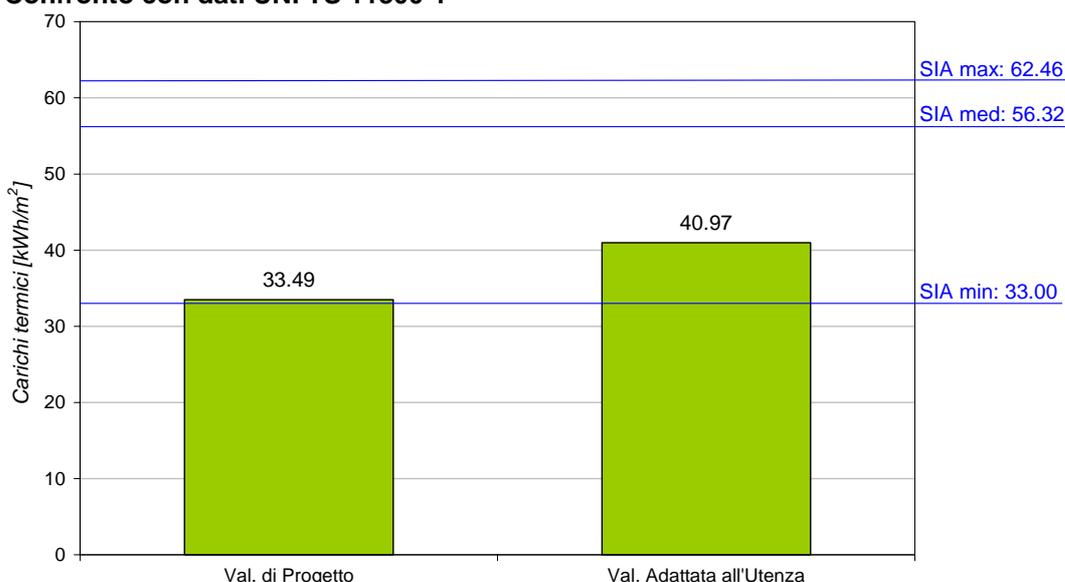


Figura 10: Confronto tra i carichi termici annuali (in kWh/m²) valutati sulla base del quaderno SIA 2024 (in blu) e quelli valutati sulla base della UNI TS 11300-1 per valutazioni di progetto-standard e per valutazioni adattate all'utenza.

In modo simile a quanto fatto per gli edifici a destinazione d'uso residenziale, anche per gli edifici del terziario è stato verificato il contributo termico legato alla presenza di occupanti e all'impiego di luci e apparecchiature, mettendo a confronto la procedura suggerita dal quaderno tecnico 2024 e quella della UNI TS 11300-1.

I dati di carico elettrico collegati ad un guadagno termico che più si avvicina alle indicazioni della

¹ Il dato di carico termico specifico si riferisce qui ai soli locali adibiti ad uffici. Poiché l'edificio terziario è considerato occupato da uffici per il 60%, per tenere conto della porzione destinata a servizi e distribuzione, che è priva di occupazione fissa, il valore effettivo di carico termico specifico risulta pari a 3.90 W/m².

specifica tecnica nazionale, sia per quanto riguarda valutazioni di progetto o standard sia per quanto riguarda valutazioni adattate all'utenza, sono ancora una volta quelli del profilo massimo.

Verifica dei carichi termici annuali per l'edificio per uffici Confronto con dati UNI TS 11300-1

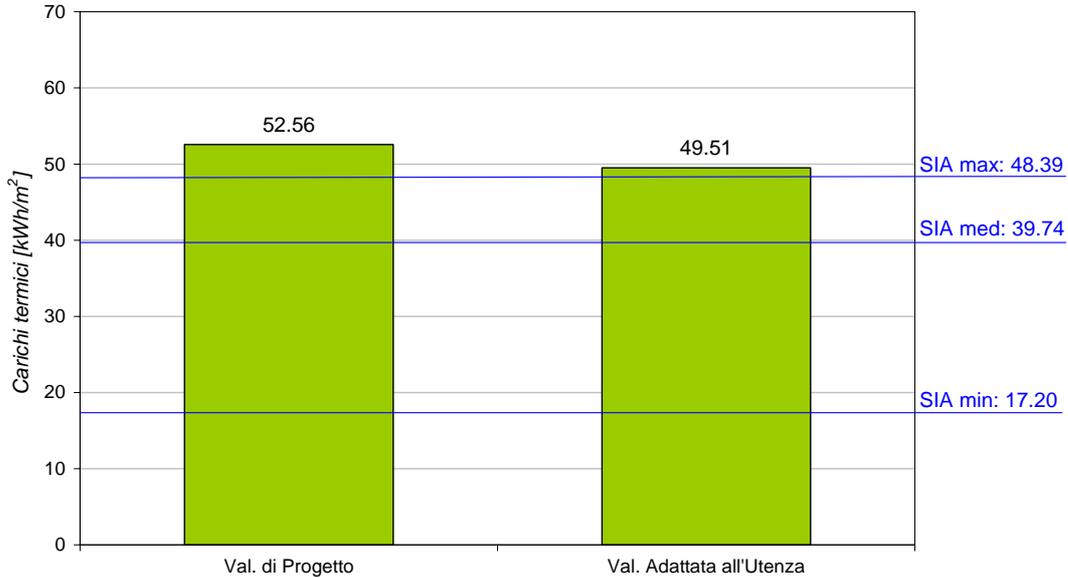


Figura 11: Confronto tra i carichi termici annuali (in kWh/m²) valutati sulla base del quaderno SIA 2024 (in blu) e quelli valutati sulla base della UNI TS 11300-1 per valutazioni di progetto-standard e per valutazioni adattate all'utenza.

3.5 Considerazioni conclusive

Per gli edifici ad uso residenziale, sulla base delle elaborazioni condotte, delle simulazioni precedentemente effettuate ai fini dell'analisi del comportamento energetico complessivo degli edifici e degli obiettivi complessivi del lavoro, si è optato per assumere il profilo medio in riferimento all'edificio B, presumibilmente occupato da appartamenti, e il profilo minimo in riferimento all'edificio A, che potrebbe rappresentare un'abitazione mono o bifamiliare con unità residenziali di superficie superiore, e quindi caratterizzate da una densità di domanda elettrica inferiore.

Analogamente, si è optato di assumere il profilo massimo definito sulla base del quaderno tecnico SIA 2024 in riferimento all'edificio C a destinazione d'uso terziaria.

Tabella 2: Caratteristiche complessive del profilo elettrico selezionato per l'edificio A.

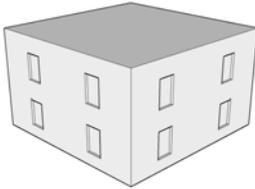
	EDIFICIO A	<i>Luci</i>	<i>Apparecchiature</i>	<i>TOTALE</i>
	Potenza installata [W/m ²]	6.95	3.81	10.76
	Consumo annuo [kWh/m ²]	18.10	9.74	28.84

Tabella 3: Caratteristiche complessive del profilo elettrico selezionato per l'edificio B.

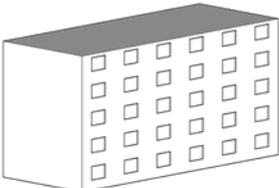
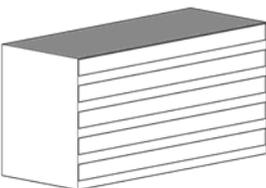
	EDIFICIO B	<i>Luci</i>	<i>Apparecchiature</i>	<i>TOTALE</i>
	Potenza installata [W/m ²]	10.20	5.50	15.71
	Consumo annuo [kWh/m ²]	37.73	14.53	52.26

Tabella 4: Caratteristiche complessive del profilo elettrico selezionato per l'edificio B.

	EDIFICIO C	<i>Luci</i>	<i>Apparecchiature</i>	<i>TOTALE</i>
	Potenza installata [W/m ²]	15.90	15.00 ²	30.90
	Consumo annuo [kWh/m ²]	31.50	15.21	46.71

² Il dato di potenza elettrica installata si riferisce qui ai soli locali adibiti ad uffici. Poiché l'edificio terziario è considerato occupato da uffici per il 60%, per tenere conto della porzione priva di apparecchiature destinata a servizi e distribuzione il valore effettivo di potenza elettrica installata risulterebbe pari a 9 W/m². Ai fini di questo studio, però, il valore nominale è stato mantenuto pari a 15 W/m², e il coefficiente correttivo di 0.6 è stato riportato nella schedule oraria di funzionamento delle apparecchiature.

4 Configurazioni di impianto per il soddisfacimento della domanda energetica degli edifici rispetto ai diversi usi finali

Come anticipato, la piattaforma Odesse ha come fine ultimo la simulazione energetica a scala di distretto. A tal proposito essa dovrà consentire, da un lato, la determinazione dei profili di domanda energetica degli edifici in relazione ai diversi usi finali e dall'altro lato, la simulazione della generazione e distribuzione di energia per il soddisfacimento delle domande.

Le attività svolte in relazione alla definizione di profili di domanda termica sono state descritte nella Deliverable A; mentre i profili di domanda di ACS sono stati determinati autonomamente da ENEA e già implementati nella piattaforma Odesse e, infine, le attività svolte in relazione alla definizione di profili di domanda elettrica sono state riportate nel capitolo 3 del presente rapporto.

Rispetto alla definizione di configurazioni di impianto, il gruppo di lavoro ha partecipato alla definizione di configurazioni-tipo effettivamente applicabili alla realtà italiana anche alla luce dei nuovi provvedimenti tesi a favorire l'integrazione delle fonti rinnovabili e il modello di generazione diffusa dell'energia, oltre che, ovviamente, il collegamento con le grandi reti energetiche nazionali già esistenti.

Inoltre, tra le diverse configurazioni selezionate, una in particolare (basata sostanzialmente su pompa di calore e sistemi solari) è stata approfondita e simulata in ambiente Simulink.

Anche in questo caso, i diversi componenti di impianto devono essere in grado di soddisfare le domande di:

- elettricità (valori derivanti dai profili di uso e gestione degli edifici, con particolare riferimento all'impiego di luci e apparecchiature).
- riscaldamento (valori derivanti dalla simulazione del comportamento energetico degli edifici);
- raffrescamento (valori derivanti dalla simulazione del comportamento energetico degli edifici);
- acqua calda sanitaria (valutazioni statistiche effettuate da Enea conformi alla normativa).

4.1 Modello in ambiente Simulink

Come anticipato, nel corso del lavoro sono state ipotizzate e discusse alcune configurazioni di impianto da implementare nella piattaforma Odesse. Tra queste, quella composta da

- generatore dati climatici (NWG);
- edificio;
- 2 caldaie di back-up, per riscaldamento e acqua calda sanitaria (ACS);
- collettore solare termico (nella versione "flat plate" per il sistema fpc, ed "evacuated tube" per il sistema etc);
- sistema fotovoltaico;
- 2 accumuli termici, per riscaldamento e acqua calda sanitaria (ACS);
- pompa di calore (2 modelli, relativi al funzionamento invernale ed estivo);
- sistemi di controllo;
- collegamento a curve di domanda di elettricità, acqua calda sanitaria, riscaldamento e condizionamento.

è stata implementata in ambiente *Simulink* (vedere anche i file *sistema_fpc.mdl* e *sistema_etc.mdl*).

La modellazione della configurazione di impianto ha implicato l'analisi dei moduli rappresentativi dei diversi componenti, con relativa verifica e implementazione di eventuali modifiche che ne permettessero la messa a sistema e l'interfacciamento, in particolare con i moduli di controllo specificamente sviluppati.

Particolare importanza assume il sistema di controllo che seleziona, a seconda delle condizioni operative, gli impianti che garantiscano la migliore efficienza energetica. Esso è diviso in due fasi, quella "in", per valutare la domanda e decidere conseguentemente l'attivazione degli impianti, e

quella “out” per valutare le prestazioni degli impianti così attivati, e confermarne o annullarne quindi l’attivazione.

Ad esempio, sulla base delle temperature degli accumuli si può decidere che i collettori siano attivati per produrre ACS, quindi lavoreranno sui livelli di temperatura previsti per l’ACS. Ciò comporta una certa efficienza dei collettori, che dipende dalla radiazione disponibile e dalle temperature (ambiente e del fluido).

Il controllo “out” valuta se tale efficienza sia sufficiente a giustificare l’attivazione dei collettori.

È inoltre implementata una logica a relè per limitare i cicli di on/off degli impianti.

Si segnala che, tra tutti gli elementi simulati, il “campo fotovoltaico” non è soggetto al sistema di controllo: trattandosi di un impianto collegato alla rete elettrica, la logica operativa prevede semplicemente che sia prodotta tutta la potenza elettrica consentita dalle condizioni meteo.

4.1.1 Logica di controllo

Il modello del sistema di controllo mira al mantenimento delle temperature di target degli accumuli, ed è stato progettato allo scopo di rappresentare un controllo realistico, ovvero effettivamente implementabile in un impianto reale, e robusto (anche in termini informatici), e di minimizzare i consumi di energia primaria.

Nello sviluppo del controllo sono stati quindi perseguiti alcuni obiettivi specifici:

1. l’eliminazione di “loop” di segnali relativi a uno stesso “blocco”, che possono generare errori e impedire la convergenza durante le simulazioni;
2. il contenimento dei cicli di accensione/spegnimento degli impianti, tramite l’utilizzo di logiche a relè, che permettono di evitare i problemi dovuti alle potenziali oscillazioni dei valori di funzionamento nell’intorno di particolari condizioni operative;
3. la prioritizzazione dell’attivazione degli impianti sulla base di una valutazione dell’efficienza, in particolare in situazioni di “concorrenza”, quando cioè impianti diversi sono in grado di contribuire a soddisfare lo stesso carico. Nello specifico, si è scelto di:
 - 3.1. attivare i collettori solari quando l’efficienza di funzionamento supera il 10% (cioè quando il guadagno termico può giustificare il consumo di potenza elettrica relativo alle pompe);
 - 3.2. attivare la pompa di calore (in funzionamento invernale) quando le condizioni operative determinano un Rapporto di Energia Primaria ($REP = COP \cdot \eta_{\text{elettrico}}$) superiore a 0.85, e quindi superiore al rendimento della caldaia di back-up. Nello specifico, si è stabilito un limite inferiore di 1.9 per il COP elettrico, che moltiplicato per un rendimento di conversione gas/elettricità $\eta_{\text{elettrico}} = 0.45$, fornisce un $REP = 0.855$;
 - 3.3. attivare le caldaie di back-up solo quando gli altri impianti non sono in grado di mantenere il livello di temperatura richiesto. Ciò è stato ottenuto semplicemente con l’utilizzo di una logica a relè in un range di temperatura inferiore a quello applicato ai relè di attivazione degli altri impianti di riscaldamento del sistema.

Il sistema di controllo è stato diviso in due blocchi, denominati “in” e “out”, proprio allo scopo di eliminare i loop di segnali che si sarebbero avuti concentrando le logiche di controllo in un unico modulo.

Nel blocco “in”, in base alle condizioni operative (clima, carichi termici) si determina la priorità nell’attivazione degli impianti e nella copertura dei carichi. A tale proposito va ricordato che nel sistema in esame sono presenti due accumuli separati (con relative caldaie di back-up) per il riscaldamento e l’ACS. Nel periodo invernale, entrambi i “generatori” di potenza termica (collettori solari, pompa di calore) possono alimentare ciascun accumulo, ma alternativamente: un generatore non può alimentare contemporaneamente due accumuli. Nel periodo estivo, l’accumulo di ACS può essere alimentato solo dai collettori, perché la pompa di calore, operante in modalità

frigorifera, alimenta esclusivamente il secondo serbatoio, mantenuto a bassa temperatura e al servizio della climatizzazione estiva.

La logica di controllo del blocco “in” distingue quindi i due periodi dell’anno, analizza lo stato degli accumuli e conseguentemente definisce i comandi di primo livello:

Funzionamento estivo

- il blocco “pompa di calore funzionamento invernale” non viene attivato.
- il blocco “pompa di calore funzionamento estivo” viene attivato unicamente al servizio dell’accumulo per il raffrescamento, e solo se le condizioni dell’accumulo lo richiedono. Tale domanda di potenza termica è definita da una logica a relè basata sulla temperatura (ad esempio, la richiesta di freddo si attiva quanto al temperatura dell’accumulo sale sopra 15°C, e si interrompe quando scende sotto 10°C).
- il campo solare viene attivato unicamente al servizio dell’accumulo per ACS, e solo se le condizioni dell’accumulo lo richiedono, sempre tramite una logica a relè basata sulla temperatura dell’accumulo.

Funzionamento invernale

A causa della citata “concorrenza” tra impianti, e della “concorrenza” tra carichi, la logica di controllo è necessariamente più elaborata, ma senza eccedere in sofisticazioni che aprono la strada a instabilità, soprattutto in applicazioni (come la presente) in cui una piattaforma con molteplici funzioni è a disposizione di un’utenza variegata.

- il blocco “pompa di calore funzionamento estivo” non viene attivato.
- entrambi i blocchi “collettore solare” e “pompa di calore funzionamento invernale” sono attivati da qualsiasi accumulo che ne faccia richiesta (sempre tramite logica a relè).
- nel caso di contemporanea domanda di potenza da parte di entrambi gli accumuli, si alimenta quello che si trova a temperatura inferiore, allo scopo di permettere a pompa di calore e collettori solari di operare con maggiore efficienza. Tale logica è applicabile a qualsiasi sistema di distribuzione, sia che operi con temperature dell’accumulo superiori (nel caso di radiatori) o inferiori (nel caso di convettori o pavimento radiante) rispetto all’accumulo dell’ACS. Si noti che per evitare frequenti “switch” dell’alimentazione verso un accumulo o l’altro, anche la condizione di “accumulo a temperatura inferiore” è gestita con logica a relè.

Il blocco “in” definisce quindi un’attivazione di primo livello, ed avendo determinato quale accumulo è da alimentare, indica ai componenti anche la temperatura operativa, corrispondente appunto a quella dell’accumulo, che ne determina le prestazioni in abbinamento alle condizioni meteorologiche.

Il **blocco “out”** valuta le prestazioni degli impianti così attivati, e ne conferma o annulla l’attivazione sulla base della prioritizzazione precedentemente descritta, che mira a minimizzare i consumi di energia primaria (obiettivo specifico n° 3 del controllo).

Ad esempio: sulla base delle temperature degli accumuli il blocco di controllo “in” può stabilire che i collettori solari siano attivati per produrre ACS. Ciò comporta che essi debbano operare ai livelli di temperatura previsti per l’ACS, e una relativa efficienza, che è funzione della radiazione disponibile e della differenza di temperatura tra ambiente e fluido.

Il controllo “out” valuta se tale efficienza sia sufficiente ($\geq 10\%$) a giustificare l’attivazione dei collettori. Anche in questo caso è implementata una logica a relè relativa ai valori di efficienza per limitare i cicli di on/off degli impianti.

4.1.2 Componenti della configurazione

La funzione dei diversi elementi delle configurazioni elaborate è riportata nella tabella successiva.

I parametri dei componenti, e l'elenco delle variabili di input e output, sono riportati nei file *parametri_sistema_fpc.m* e *parametri_sistema_etc.m*

Tabella 5: Configurazione *simulink* implementata.

<i>Elemento</i>	<i>Funzione prioritaria</i>	<i>Funzione secondaria</i>
Edificio	Calcolo del carico termico ed elettrico per gli impianti	
NWG	Fornisce i dati di radiazione e temperatura ambiente per il calcolo dei carichi e delle prestazioni degli impianti	
caldaia	Riscaldamento ambienti	
caldaia ACS	Produzione ACS	
collettore solare termico	Produzione ACS	Riscaldamento ambienti
sistema fotovoltaico	Generazione elettricità	
accumulo termico	Accumulo caldo per riscaldamento ambienti	Accumulo freddo per condizionamento ambienti
accumulo ACS	Accumulo termico ACS	
pompa di calore, funzionamento invernale	Riscaldamento ambienti	Produzione ACS
pompa di calore, funzionamento estivo	Condizionamento ambienti	
Controllo "in"	Valutazione dei carichi e relativa attivazione degli impianti	
Controllo "out"	Valutazione delle performance dei componenti attivati dal controllo "in", e relativo secondo livello di attivazione	

Nella figura successiva si riporta la schermata Simulink di uno dei sistemi implementati.

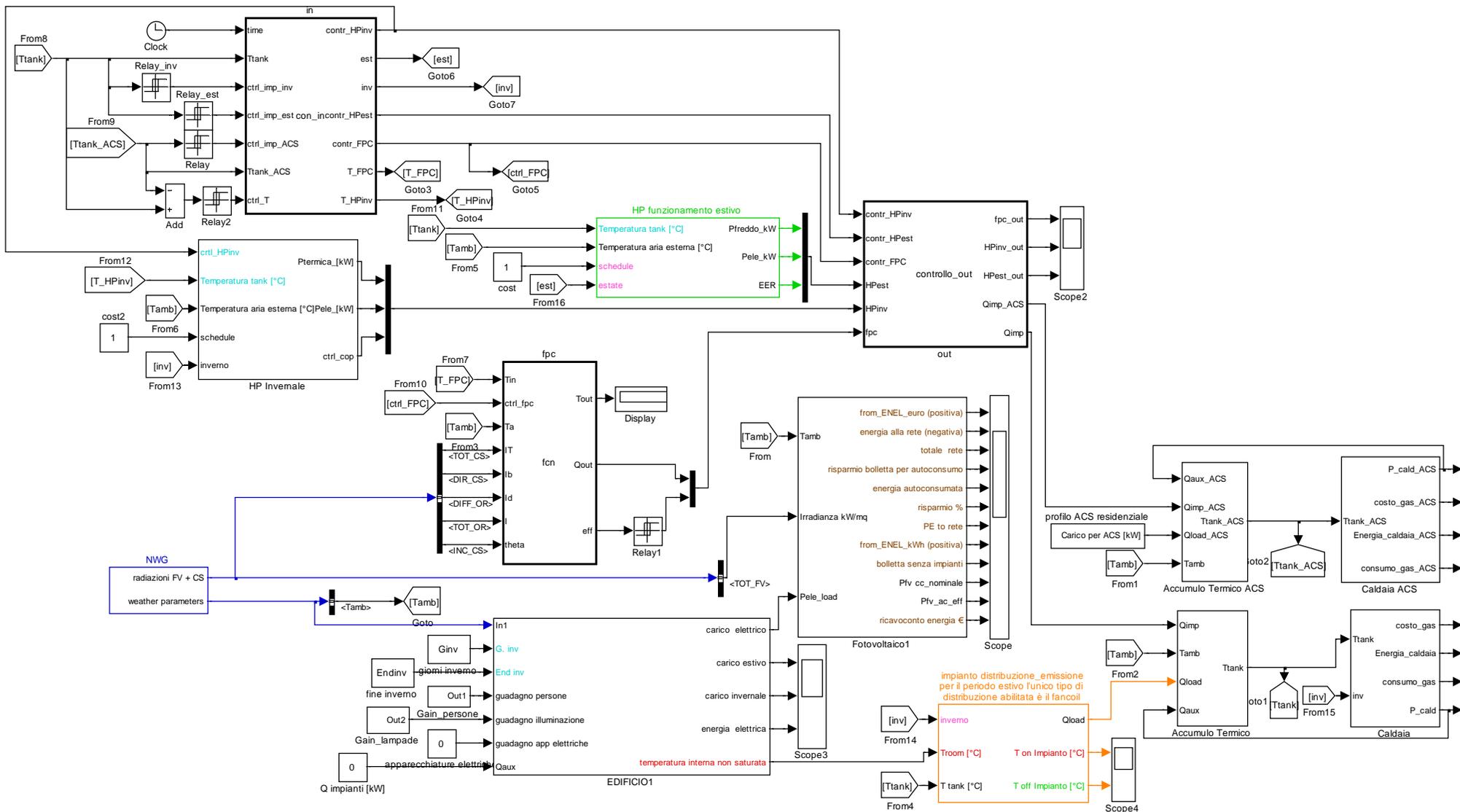


Figura 12: Schermata Simulink del file “sistema_fpc.mdl”