

Edifici esistenti altamente isolati come elemento indispensabile per smart cities, bilanciamento della rete e potenziale accumulo per fonti di energia rinnovabile

PROF. LORENZO PAGLIANO

Docente di Advanced Building Physics

Direttore del Master RIDEF (Renewable, Efficiency, Energy Planning) www.ridef2.com

Direttore df eERG-PoliMI – end-use Efficiency Research Group www.eerg.it

ING. ROBERTO ARMANI

Researcher at eERG-PoliMI, building simulation and analysis

ING. ANDREA SANGALLI

Researcher at eERG-PoliMI, building simulation and analysis

PHD. SILVIA ERBA

Researcher at eERG-PoliMI, building simulation and analysis

Convenzione di ricerca tra
knauf insulation italia e
politecnico di milano





LA CENTRALITÀ DEL CONCETTO DI “**FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA**” NELLA DEFINIZIONE E VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DELL’EDIFICIO

L’URGENZA DI RIDURRE IL **FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA** COME PASSO INDISPENSABILE PER UNA RAPIDA DECARBONIZZAZIONE

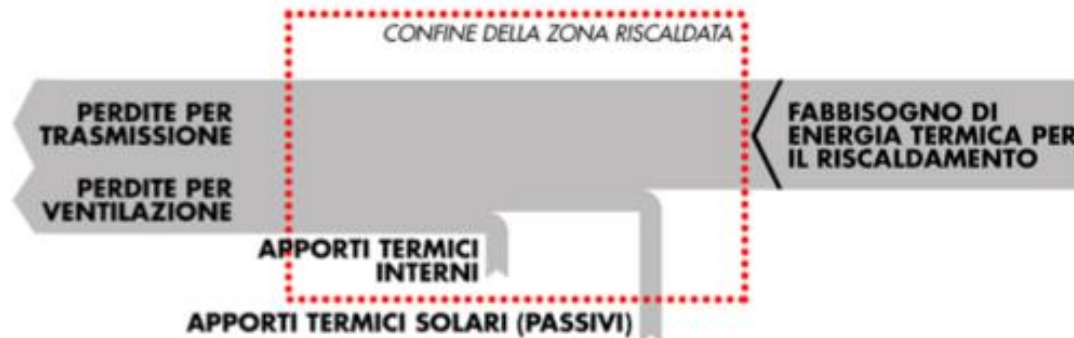
GLI EDIFICI CON **BASSO FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA** COME **SERBATOI NAZIONALI DI ENERGIA**

GLI EDIFICI FLESSIBILI COME ELEMENTO FONDANTE DELLE SMART CITIES E PER LA GESTIONE DELLA VARIABILITÀ DELLE FONTI RINNOVABILI

Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento=
(perdite per trasmissione + perdite per ventilazione)
- (apporti solari passivi + apporti termici interni)

PERDITE PER TRASMISSIONE
(conduzione e convezione)

PERDITE PER VENTILAZIONE
(ventilazione meccanica e naturale
e infiltrazioni)



UNI TS 11300-1

fabbisogno di energia termica (utile):

Quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo.

descrive la qualità termica dell'involucro dell'edificio e l'efficienza di recupero del calore nelle condizioni tipiche invernali (o estive)

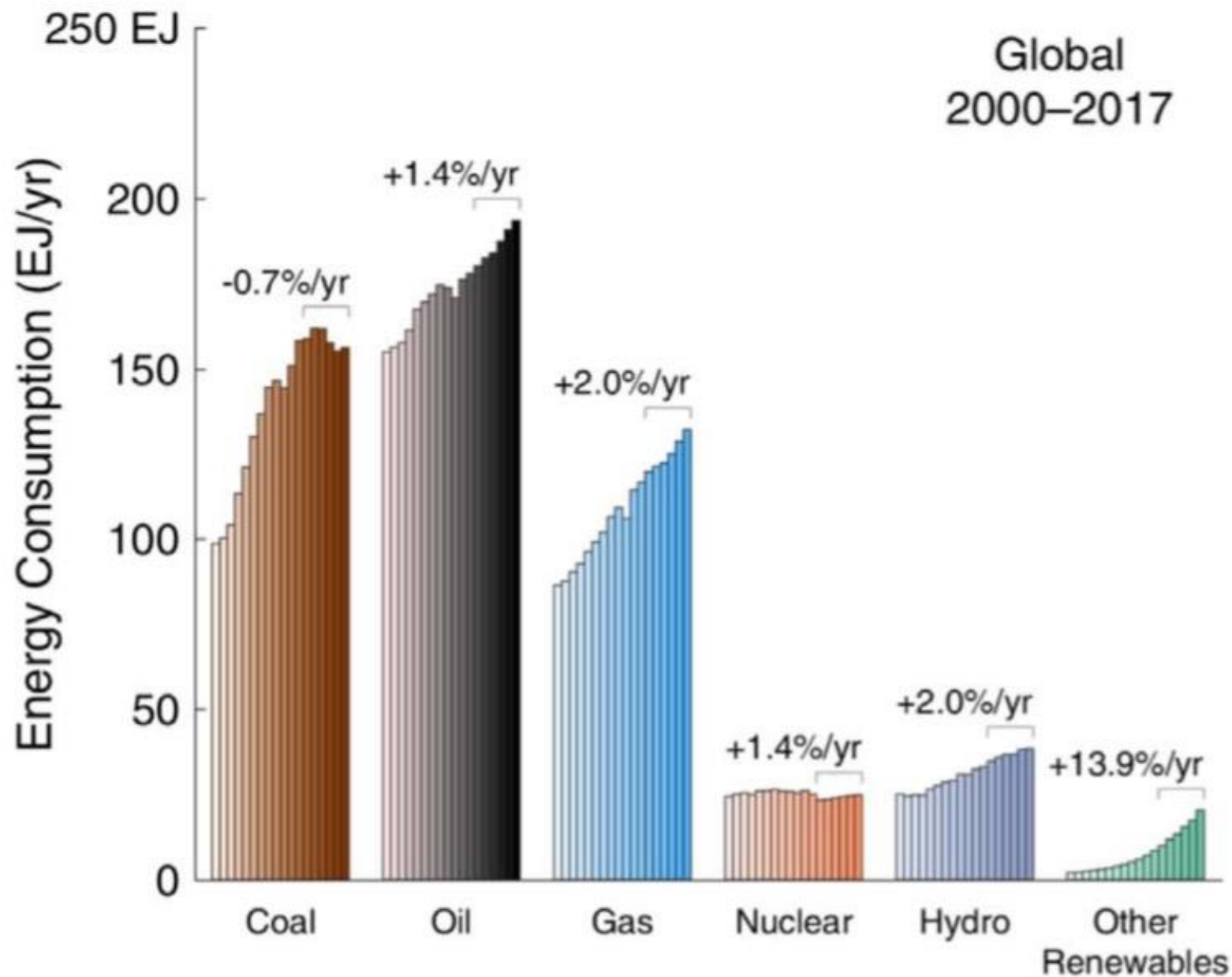
Costituisce il punto di partenza per qualsiasi calcolo della prestazione energetica di un edificio

Secondo lo standard EN ISO 52000-2 (CEN & ISO, 2017b):

- ❑ "L'utilizzo di un solo requisito, ad esempio l'indicatore numerico dell'uso di energia primaria, è fuorviante»
- ❑ CEN raccomanda l'adozione di diversi requisiti per una valutazione coerente di edifici a energia quasi zero.
- ❑ La metodologia proposta «procede per passaggi successivi dal fabbisogno di energia termica alla prestazione energetica globale espressa in termini di uso di energia primaria"
- ❑ Un edificio può essere classificato come “a energia quasi zero” solo se soddisfa i requisiti a ogni passaggio.
- ❑ Questo approccio è simile a una corsa a ostacoli.

GLI SCOPI DI QUESTA SEQUENZA DI INDICATORI POSSONO ESSERE RIASSUNTI COME SEGUE:

- ❑ • L'INDICATORE **FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA PER RISCALDAMENTO** (O RAFFRESCAMENTO), PROMUOVE LA QUALITÀ TERMICA DELL'INVOLUCRO E IL RECUPERO DI CALORE SULLA VENTILAZIONE. È IL PARAMETRO CRUCIALE NELL'APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO *"EFFICIENCY FIRST"*
- ❑ • L'INDICATORE **ENERGIA PRIMARIA TOTALE** TIENE CONTO DELLA QUANTITÀ DI ENERGIA PRIMARIA EQUIVALENTE DI TUTTI I FLUSSI ENERGETICI RINNOVABILI E NON RINNOVABILI ATTRAVERSO IL CONFINE DELL'EDIFICIO. PORRE UN LIMITE SU QUESTO INDICATORE MIGLIORA LA PRESTAZIONE DEGLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO E LA QUALITÀ DELLE FONTI DI ENERGIA UTILIZZATE
- ❑ • L'INDICATORE **USO DI ENERGIA PRIMARIA NON RINNOVABILE** TIENE CONTO DELLA QUANTITÀ DI ENERGIA PRIMARIA EQUIVALENTE DEI SOLI FLUSSI ENERGETICI NON RINNOVABILI ATTRAVERSO IL CONFINE DELL'EDIFICIO. PORRE UN LIMITE SU QUESTO INDICATORE PROMUOVE L'UTILIZZO DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI, UNA VOLTA CHE I PRIMI DUE INDICATORI SONO GIÀ STATI RIDOTTI



**LA CRESCITA DELLA
DOMANDA DI ENERGIA
GLOBALE STA
SURCLASSANDO LA
DECARBONIZZAZIONE**

Jackson, R. B., Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Korsbakken, J. I., Liu, Z., Peters, G. P., & Zheng, B. (2018). **Global energy growth is outpacing decarbonization.** *Environmental Research Letters*, 13(12), 120401. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf303>

ESTRATTO DAL REPORT BP 2018

- ❑ LE EMISSIONI CLIMALTERANTI NEL 2018 SONO CRESCIUTE AL TASSO PIÙ RAPIDO (2%) IN 10 ANNI
- ❑ MAGGIOR INCREMENTO NEI CONSUMI MONDIALI DI GAS DA PIÙ DI 30 ANNI A QUESTA PARTE
- ❑ SECONDO ANNO CONSECUTIVO DI INCREMENTO DI CONSUMO DI CARBONE, ROVESCANDO TRE ANNI DI DIMINUZIONE ALL'INIZIO DI QUESTO DECENNIO
- ❑ SPENCER DALE, CAPO ECONOMISTA DI BP:
«L'AUMENTO DEI LIVELLI DI GAS CLIMALTERANTI GENERA EVENTI CLIMATICI PIÙ ESTREMI, CHE A LORO VOLTA CREANO MAGGIOR DOMANDA DI ENERGIA DA PARTE DI FAMIGLIE E IMPRESE CHE TENTANO DI COMPENSARNE GLI EFFETTI»

1970

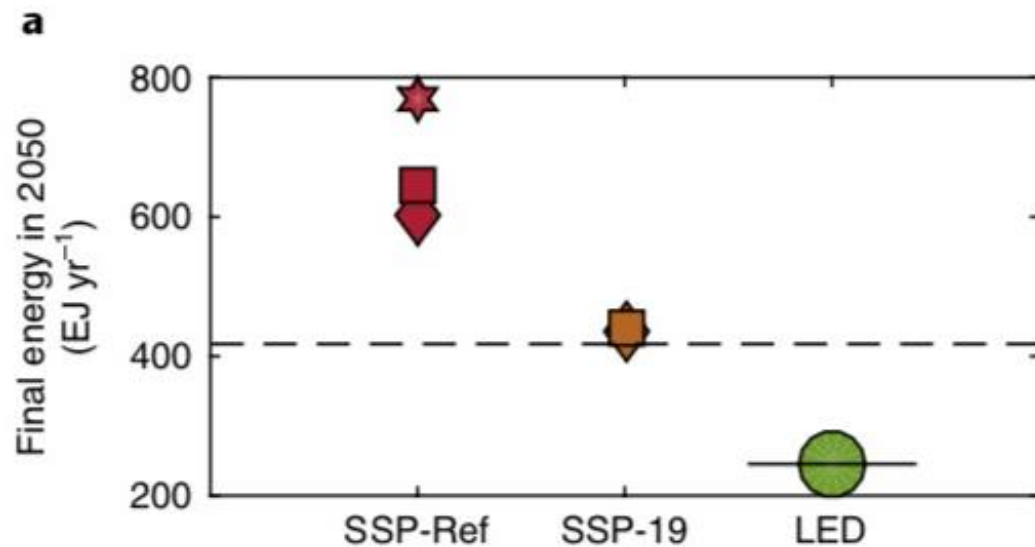
1980

1990

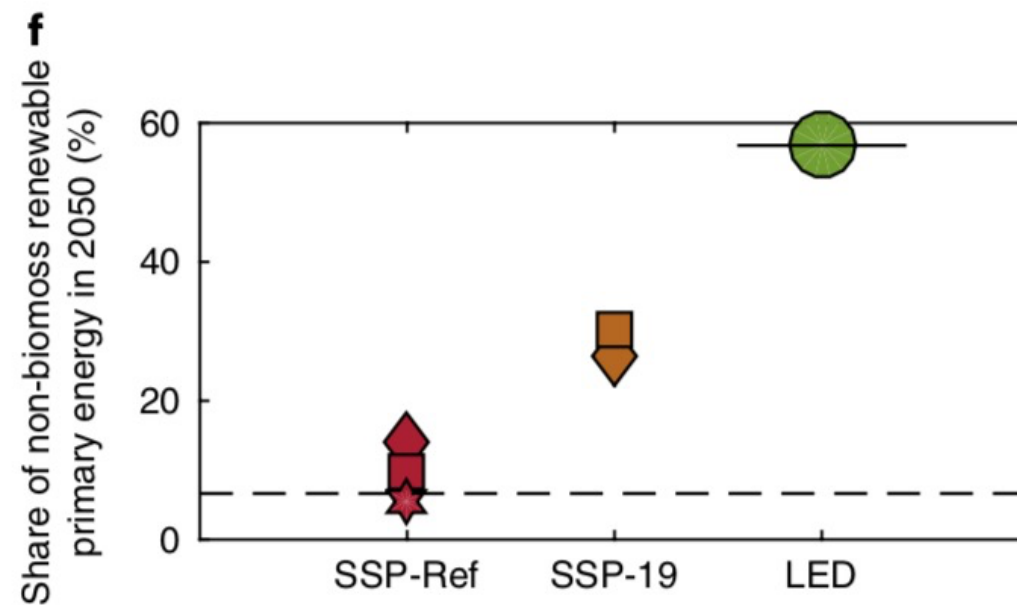
2000

2010

2018



- a) Uso di **energia finale** mondiale in vari scenari compresi nel rapporto IPCC 2018, incluso lo scenario Low Energy Demand (LED) in ExaJoule/anno al 2050;



- f) frazione di **energia primaria** da fonti rinnovabili (escluse biomassa) al 2050.

Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., ... Valin, H. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 3(6), 515–527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>



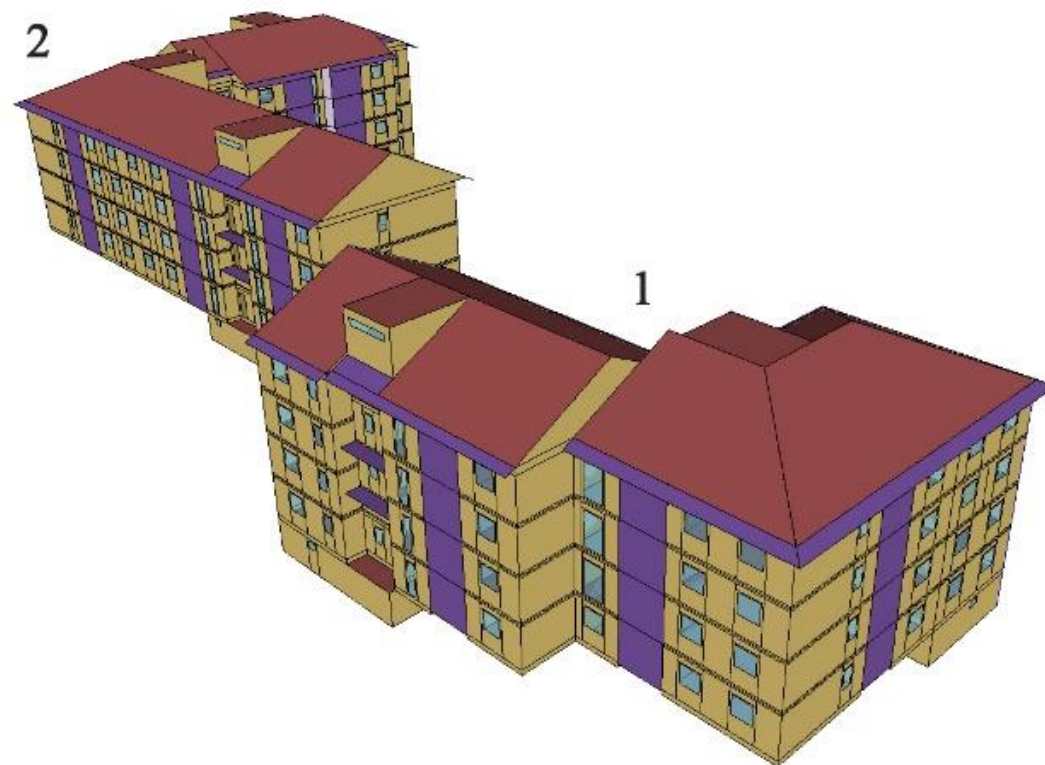
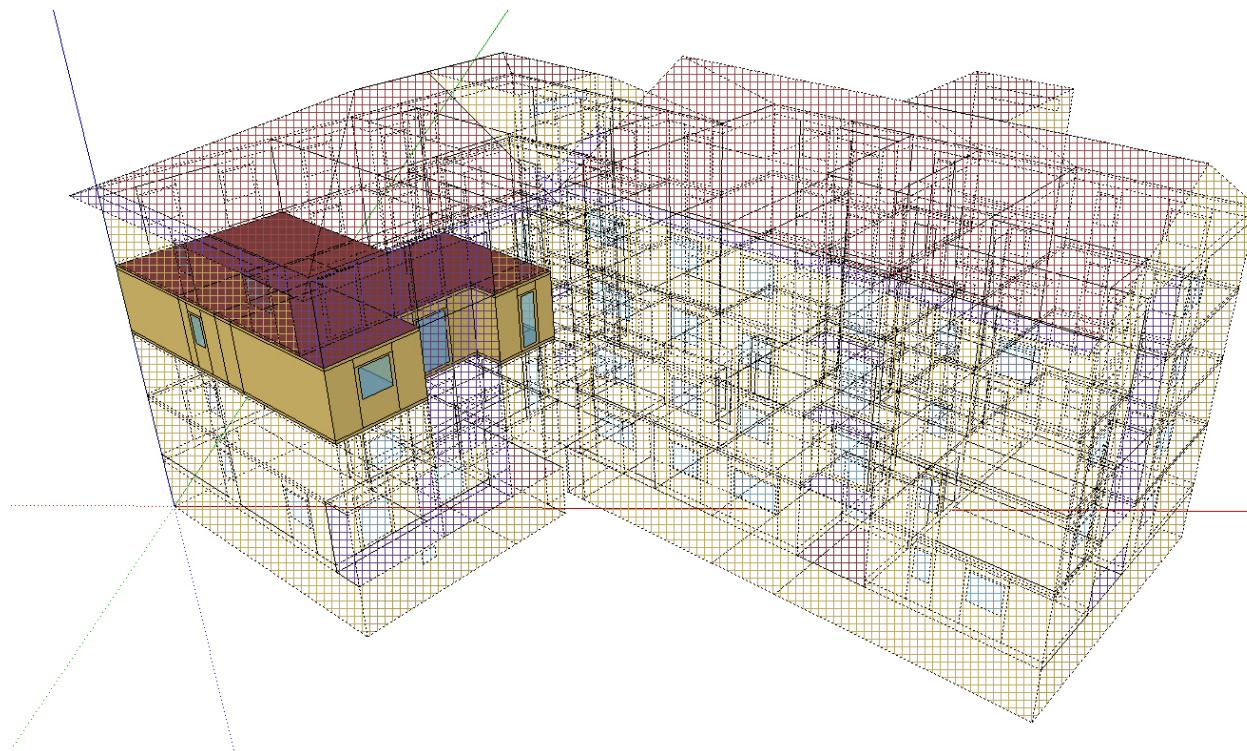
PRE-
RETROFIT



POST-
RETROFIT

	Superficie lorda [m ²]	Superficie utile [m ²]	Volume lordo [m ³]	Superficie disperdente lorda [m ²]	Rapporto S/V [m ⁻¹]	Rapporto Superficie vetrata / Superficie disperdente	Numero di piani
Edificio 1	2836	-	8462	4583	0.54	0.14	4
Edificio 2	1797	-	5361	2967	0.55	0.14	4
Totale	4633	4170	13824	7549	0.55	0.14	4
Scale e vani ascensore	543	-	.	.	.		.

Caratteristiche fisiche dell'involucro edilizio			prima della ristrutturazione	dopo la ristrutturazione
Trasmittanza termica strutture opache verticali	U	[W/(m2K)]	1,15	0,13
Trasmittanza termica solaio verso sottotetto non abitabile	U	[W/(m2K)]	3,00	0,15
Trasmittanza termica solaio su pilotis	U	[W/(m2K)]	2,40	0,17
Trasmittanza termica dei vetri	U	[W/(m2K)]	3,00	1,42
Trasmittanza termica dei telai	U	[W/(m2K)]	5,00	1,6
Trasmittanza solare totale dei vetri	%		0,75	0,52
Ricambi d'aria all'ora	n-1		0,5 di giorno 0,25 di notte	0,5 di giorno 0,25 di notte
Ventilazione meccanica con recupero del calore	Efficienza di recupero %		Assente 0%	Presente 75%
Ponti termici			elevati	Fortemente attenuati



MODELLAZIONE 3D DEGLI EDIFICI USANDO LA COMBINAZIONE DEI SOFTWARE SKETCH-UP E ENERGY PLUS. DETTAGLIO DELLA SUDDIVISIONE FINE DELLE ZONE TERMICHE.

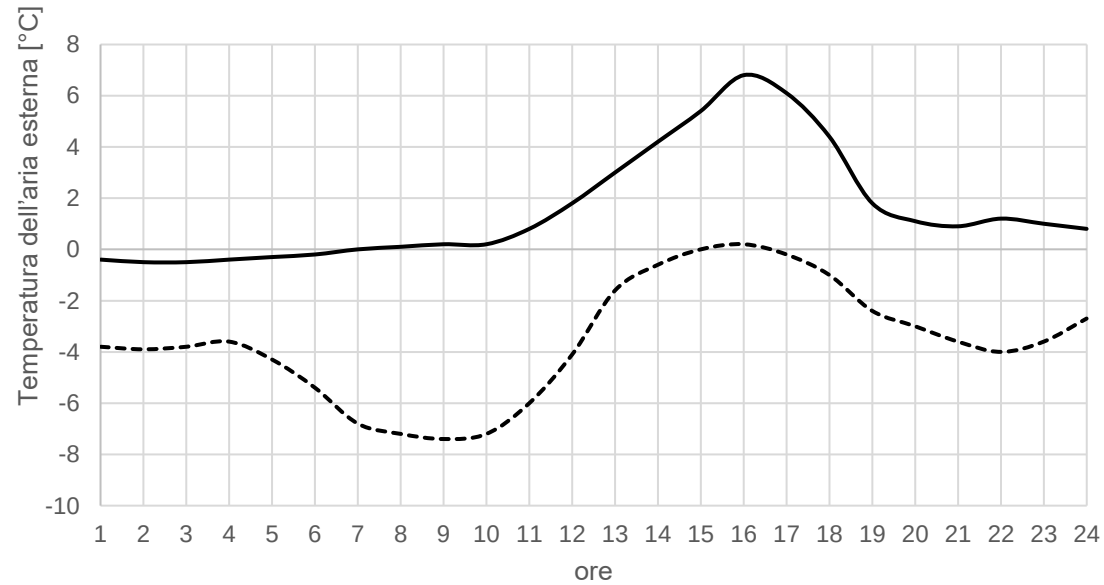
Dati di base raccolti nell'ambito dei progetti europei EU-GUGLE (<http://eu-gugle.eu/pilot-cities/milano/>) e Sharing Cities (<https://sharingcities.wixsite.com/milano>). Elaborazioni e analisi sulla "flessibilità" condotte nell'ambito dell'Accordo di Ricerca tra Politecnico di Milano e Knauf Insulation Italia

- Al fine di determinare la fascia di comfort, è stato fatto riferimento alla norma EN 16798 (CEN, 2019), selezionando la categoria II (per edifici nuovi, PMV tra -0,5 e + 0,5) e adottando il modello di Fanger per edifici riscaldati, con
- vestiario tipico invernale in ambienti interni (1 clo)
- livello di attività metabolica corrispondente a lavoro da ufficio (1,2 met)
- velocità dell'aria 0,1 m/s e umidità relativa 40%
- Utilizzando il tool online per il calcolo del comfort termico dell'università di Berkeley California, <http://comfort.cbe.berkeley.edu>
- che incorpora gli algoritmi del modello di Fanger e il modello di comfort adattivo presenti in EN 16798 - 2019 e ASHRAE 55 -2017,
- Si ottiene una fascia di comfort dai 19,5 °C ai 24,1 °C in termini di temperatura operante UNI/TS o operativa UNI ISO 7730 (approssimata come media tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante)

GIORNO INVERNALE MEDIO E GIORNO INVERNALE SFAVOREVOLE

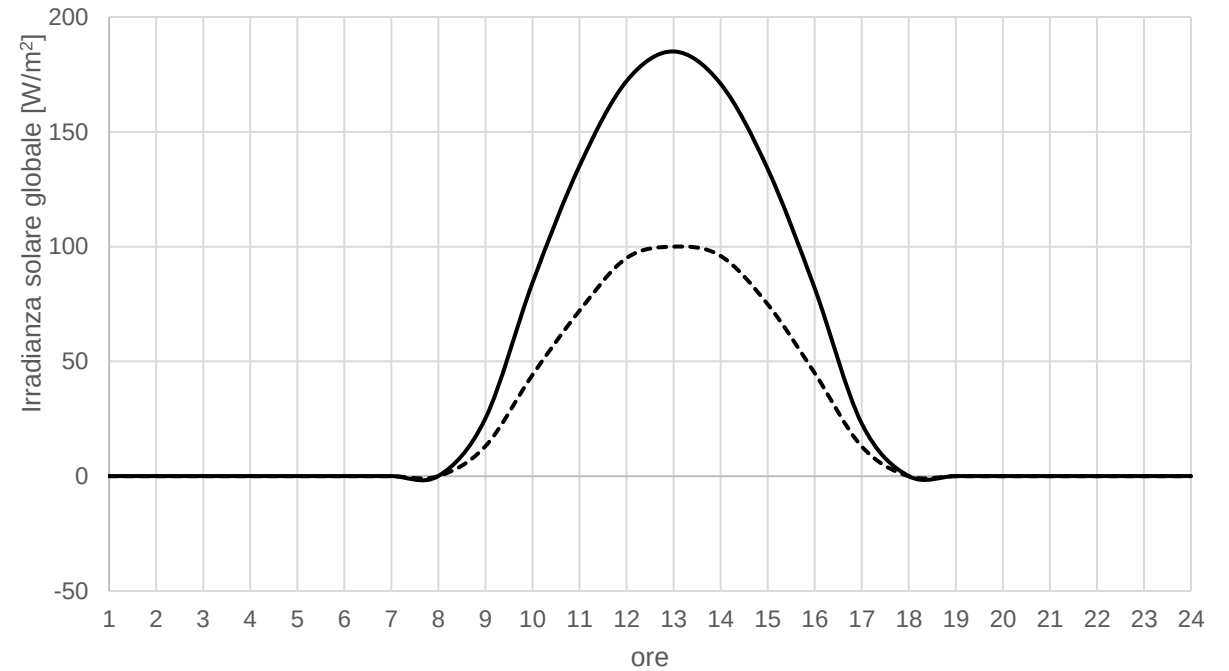
Temperatura dell'aria esterna (bulbo secco)

— giorno medio - - - giorno sfavorevole



Irradianza solare globale su superficie orizzontale W/m²

— giorno medio - - - giorno sfavorevole



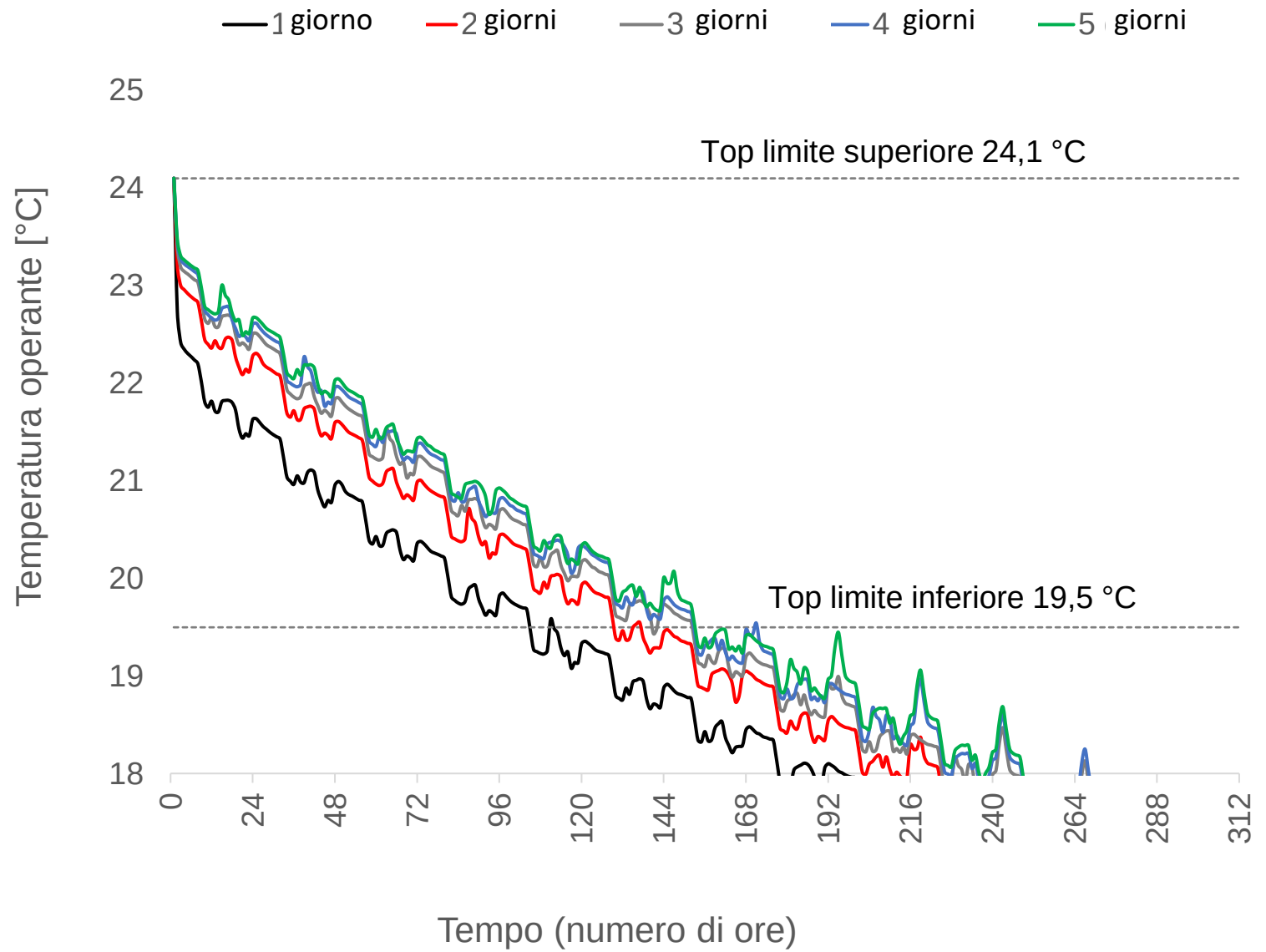
PER QUANTO TEMPO UN
EDIFICIO CHE È STATO
SOTTOPOSTO A
RIQUALIFICAZIONE
PROFONDA

RIMANE NELLA FASCIA DI
COMFORT,

DOPO CHE IL
RISCALDAMENTO VIENE
SPENTO?

Temperatura operante (UNI TS) o operativa
(ISO 7730) approssimata come media
aritmetica della temperatura dell'aria e della
temperatura media radiante al centro della
zona considerata

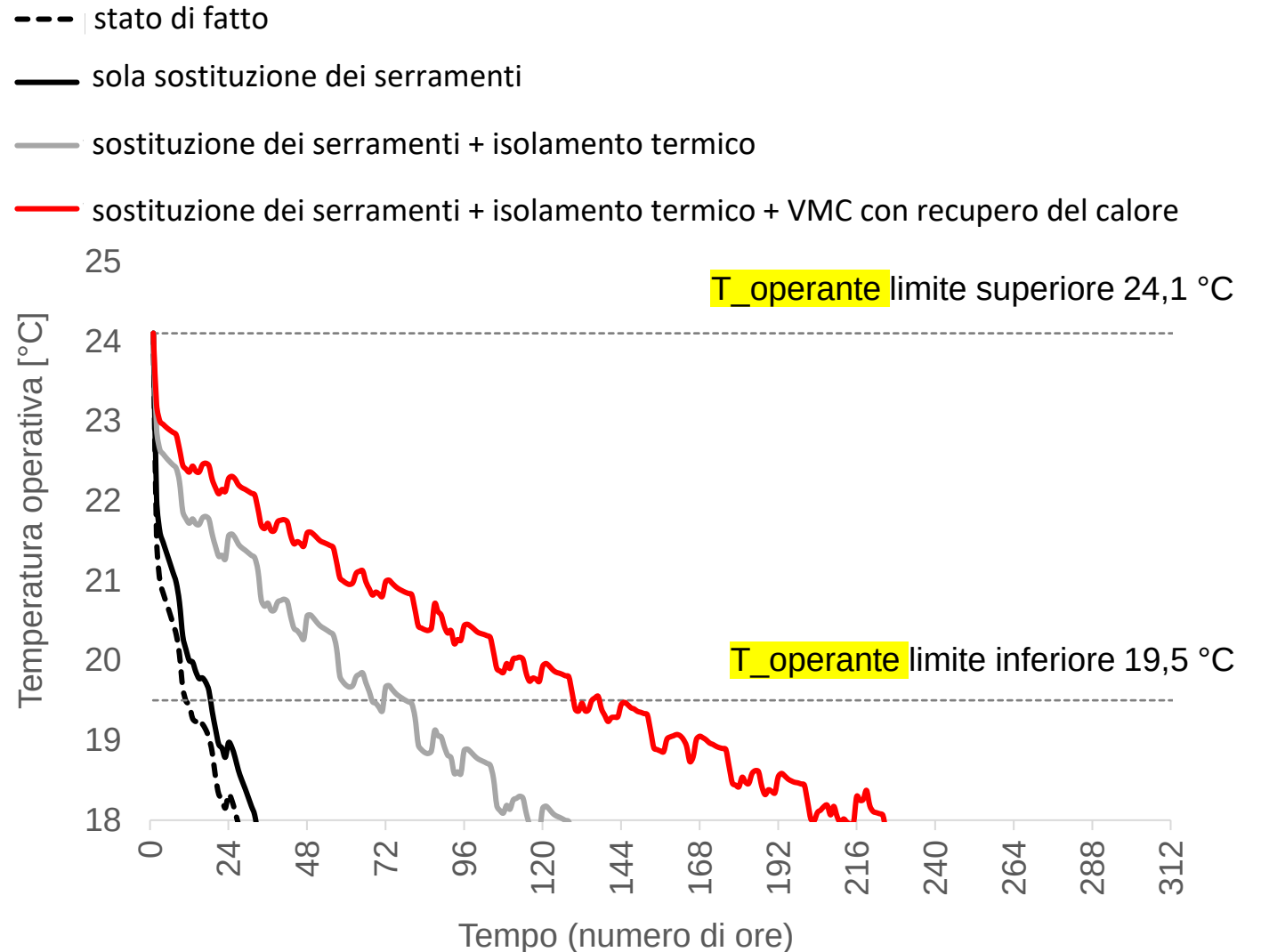
Temperatura operante Curva di decadimento in una zona di riferimento al variare del periodo di carica



QUANTO PROFONDA DEVE
ESSERE LA
RIQUALIFICAZIONE

PER INCREMENTARE
SIGNIFICATIVAMENTE LA
FLESSIBILITÀ DI UN
EDIFICIO?

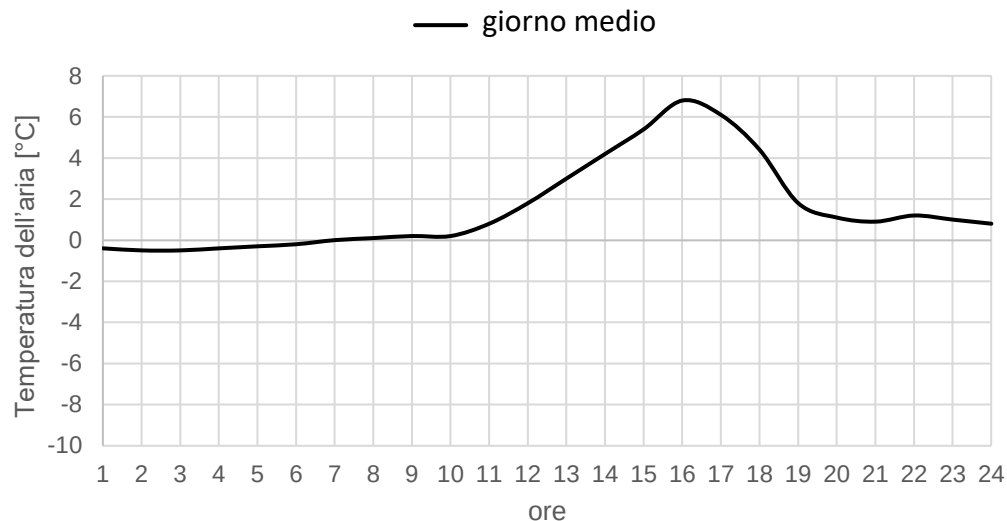
Temperatura Operante
curva di decadimento in una zona di riferimento al
variare del livello tecnologico di ristrutturazione dopo 2
giorni di carica



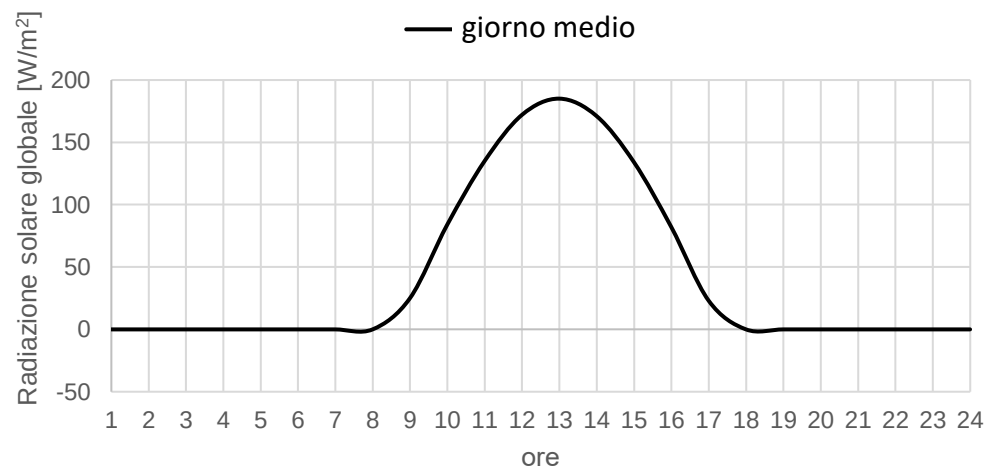
CHE VARIABILITÀ CI SARÀ NELL'EDIFICIO?

(GIORNO INVERNALE MEDIO, RISCALDAMENTO PER 1 GIORNO)

Temperatura dell'aria esterna (bulbo secco)

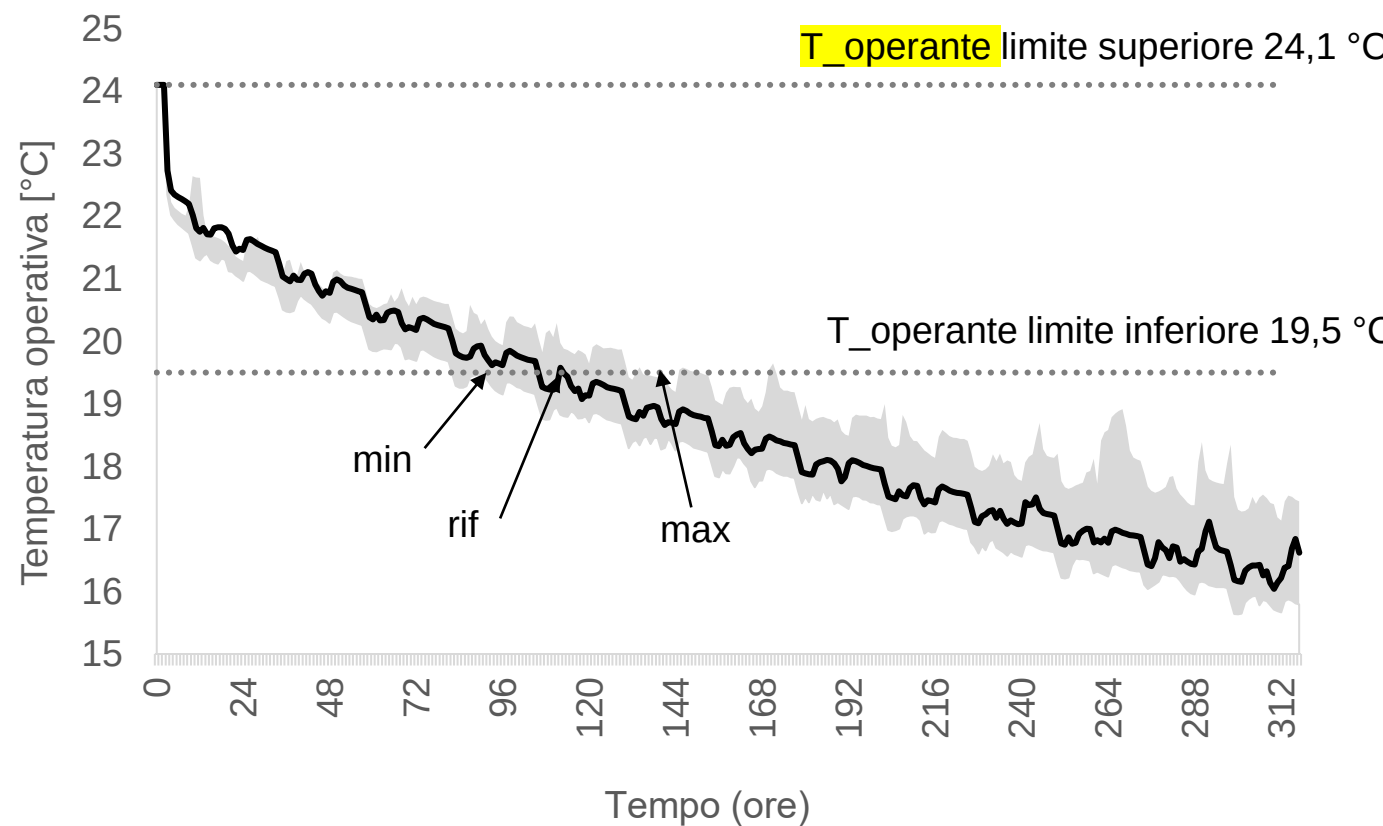


Radiazione solare globale su superficie orizzontale



Temperatura Operante

curva di decadimento – tutte le zone
dopo un giorno di carica



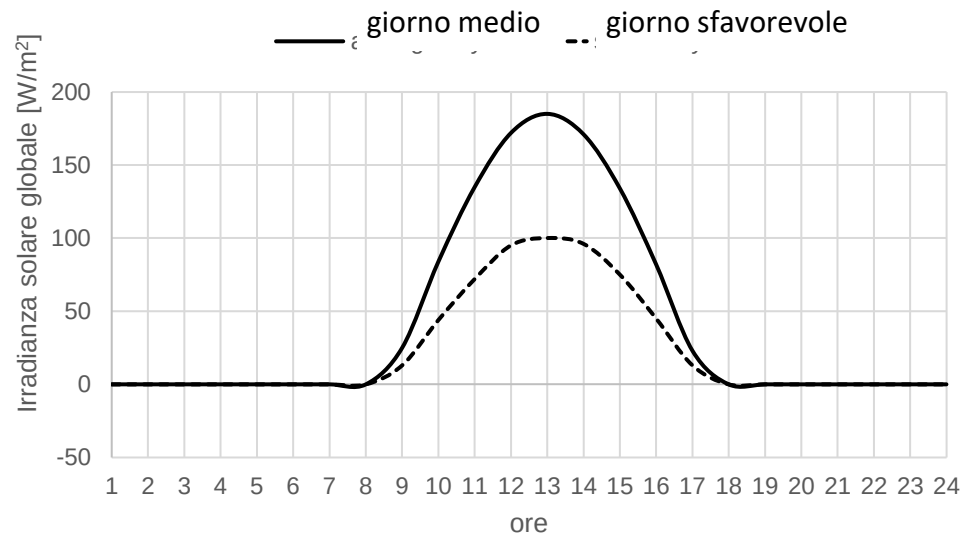
CHE EFFETTO HA UN CLIMA RIGIDO?

(GIORNO INVERNALE SFAVOREVOLE, RISCALDAMENTO PER 1 GIORNO)

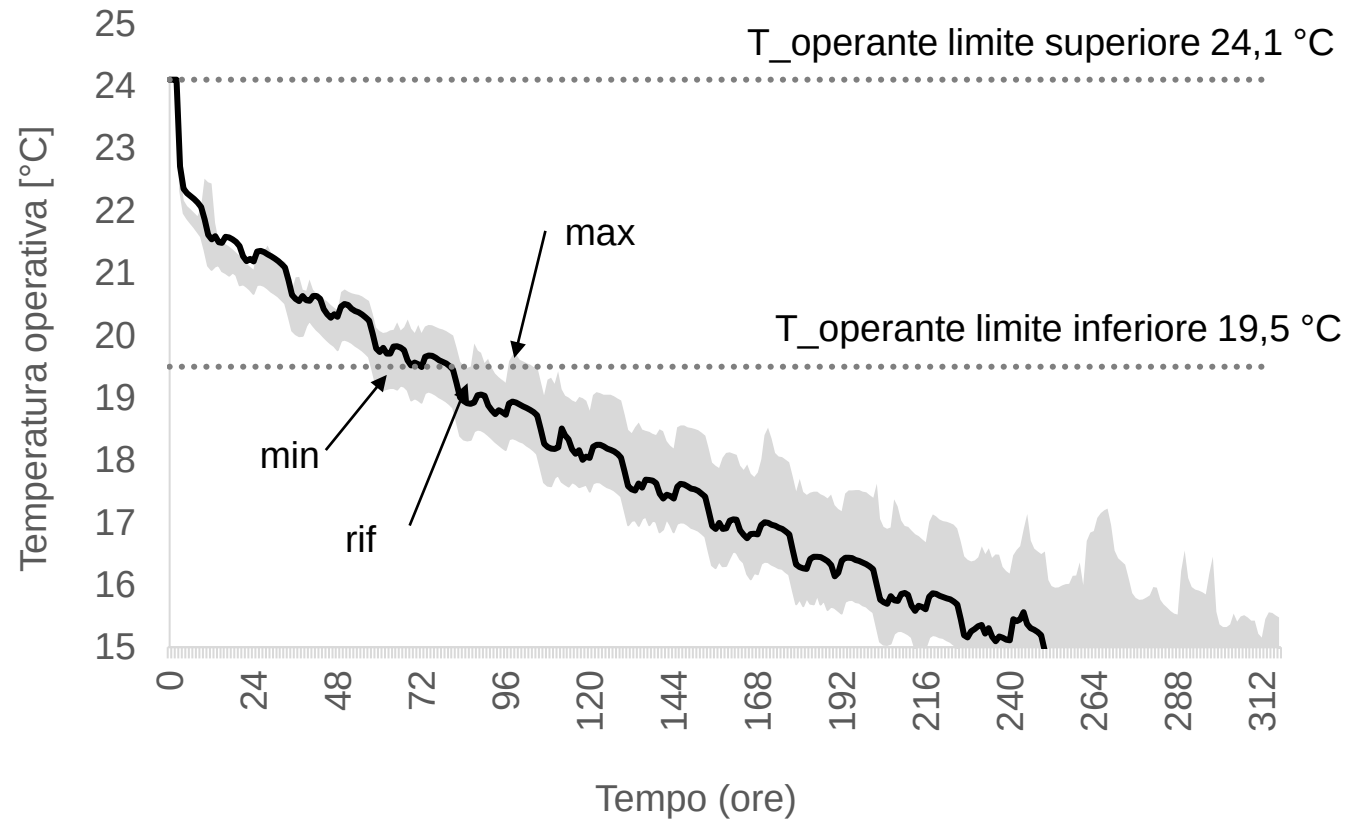
Temperatura dell'aria esterna (bulbo secco)



Irradianza solare globale su superficie orizzontale [W/m²]



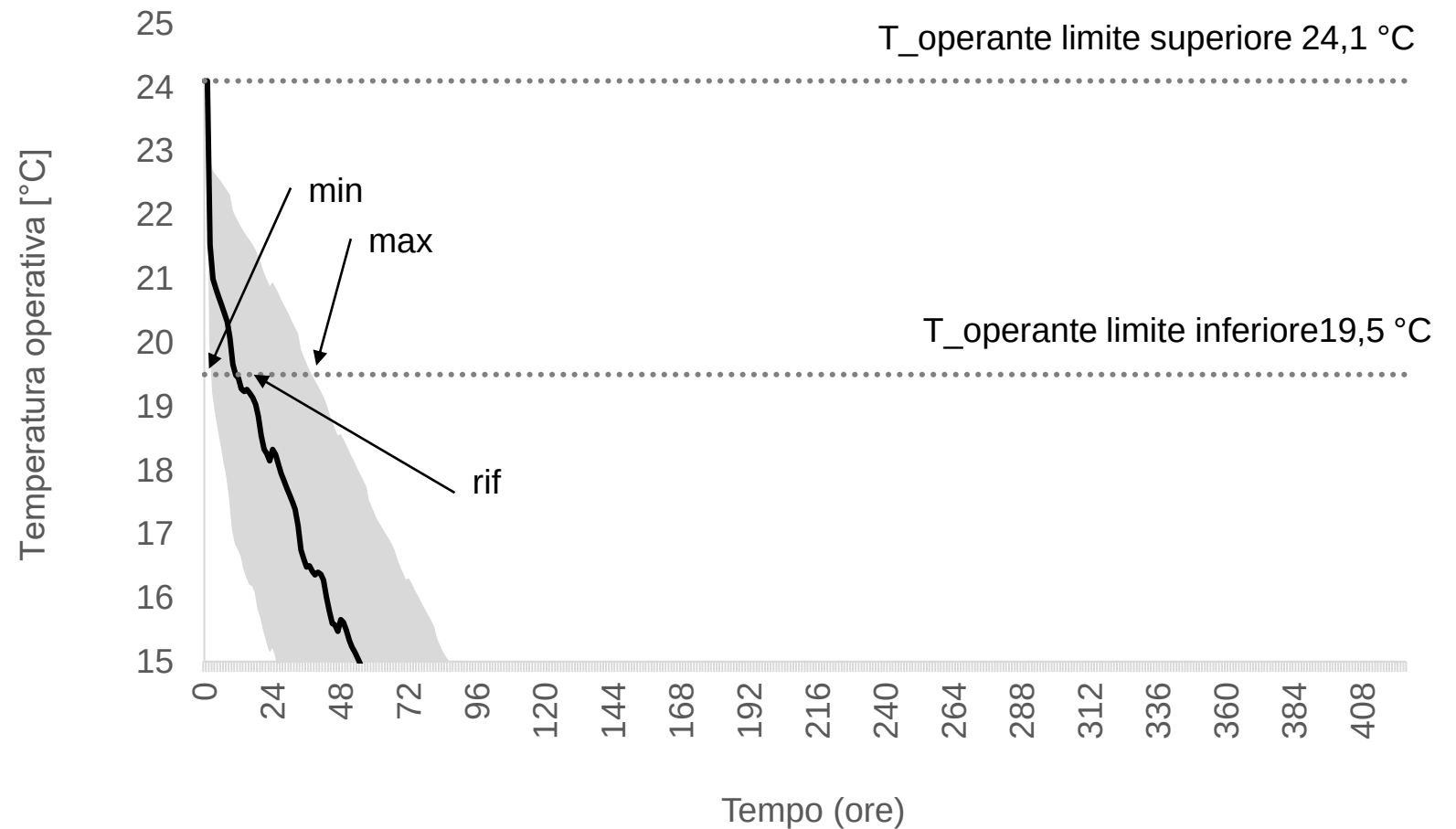
Temperatura Operante
curva di decadimento – tutte le zone termiche
dopo un giorno di carica



**PERCHÉ L'ATTUALE
PARCO EDILIZIO**

**NON PUÒ
CONTRIBUIRE ALLA
SMART CITY?**

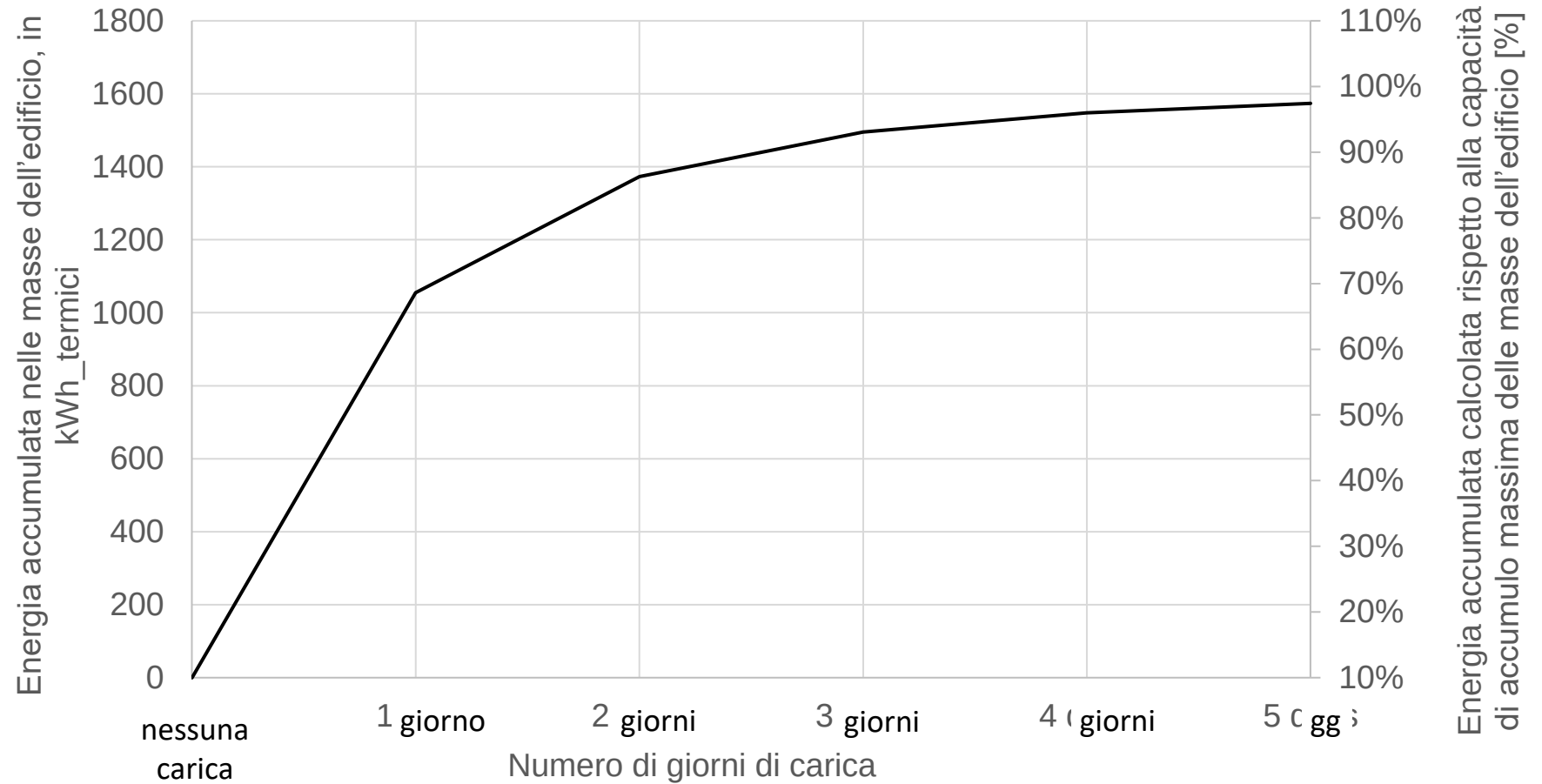
**Temperatura Operante
curva di decadimento – tutte le zone
dopo un giorno di carica**



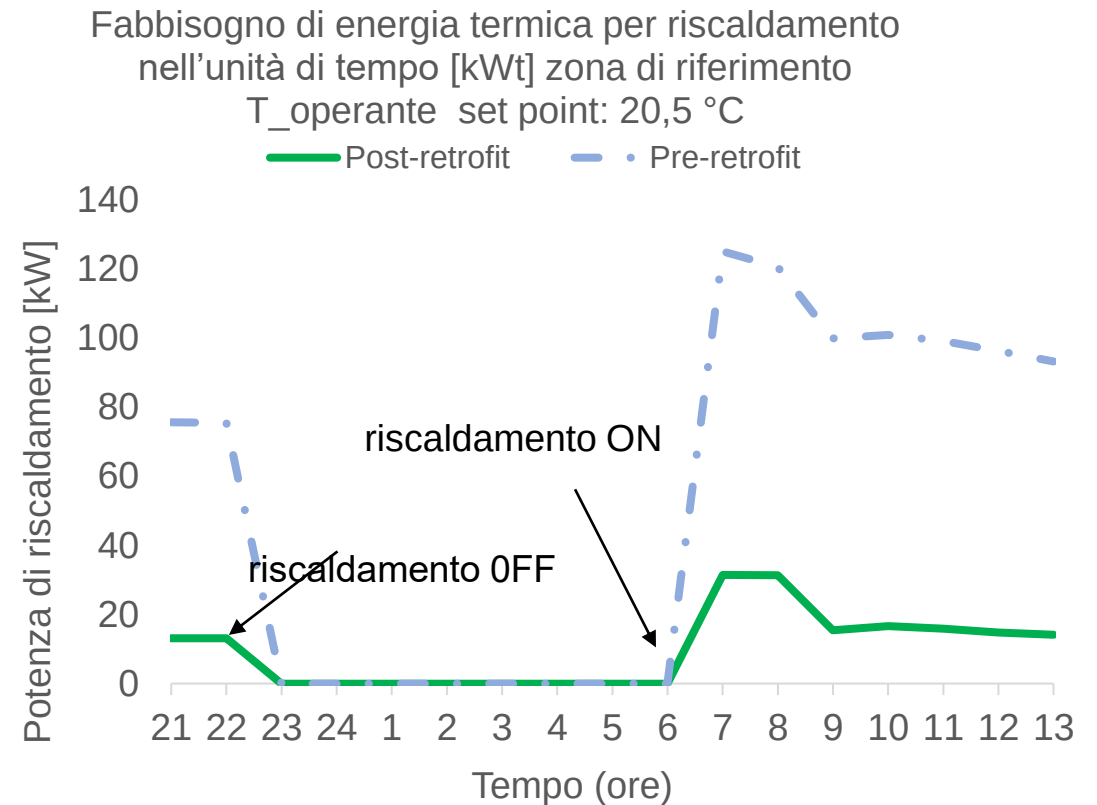
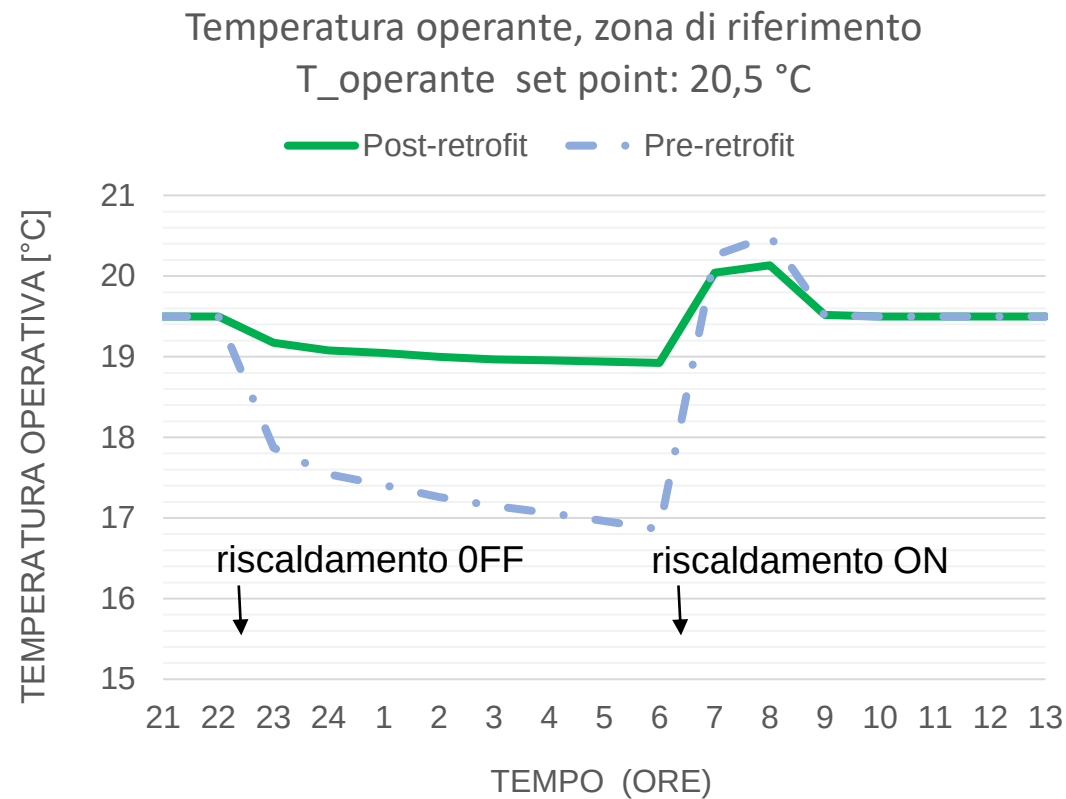
**QUANTA ENERGIA
TERMICA**

**PUÒ ESSERE
ACCUMULATA IN
UN EDIFICIO?**

Energia accumulata nelle masse dell'edificio al variare del periodo di carica

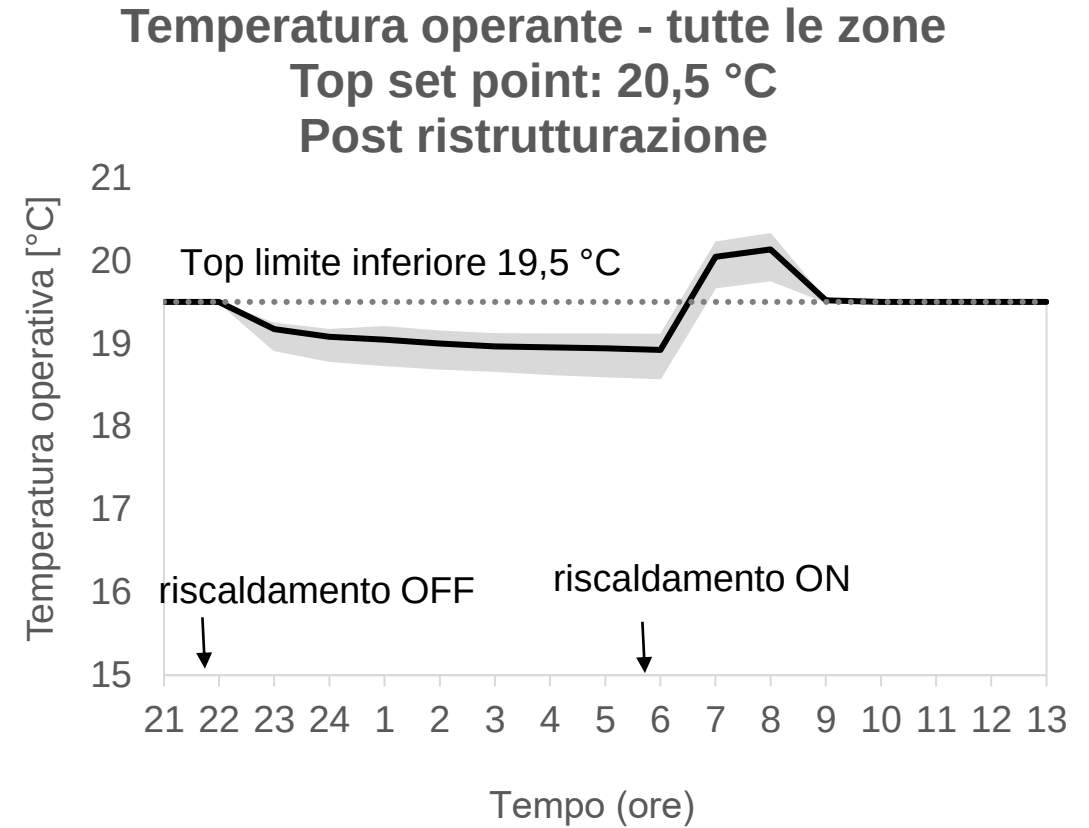
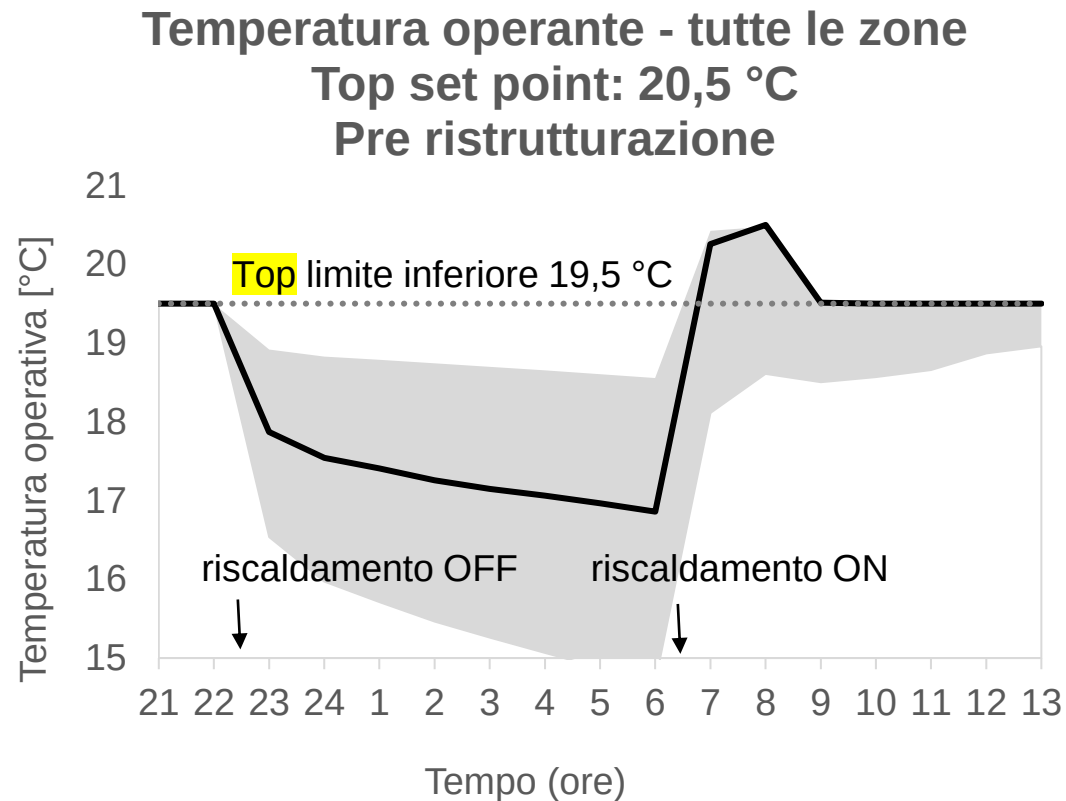


QUANTA POTENZA TERMICA È STATA RISPARMIATA IN SEGUITO ALLA RIQUALIFICAZIONE PROFONDA?



Il fabbisogno di energia termica per riscaldamento nell'unità di tempo pre-retrofit di 120 kW termici per l'intero edificio è ridotto a 30 kW termici dopo il retrofit , giornata media (i.e. circa 10 kW elettrici con una pompa di calore con COP=3)

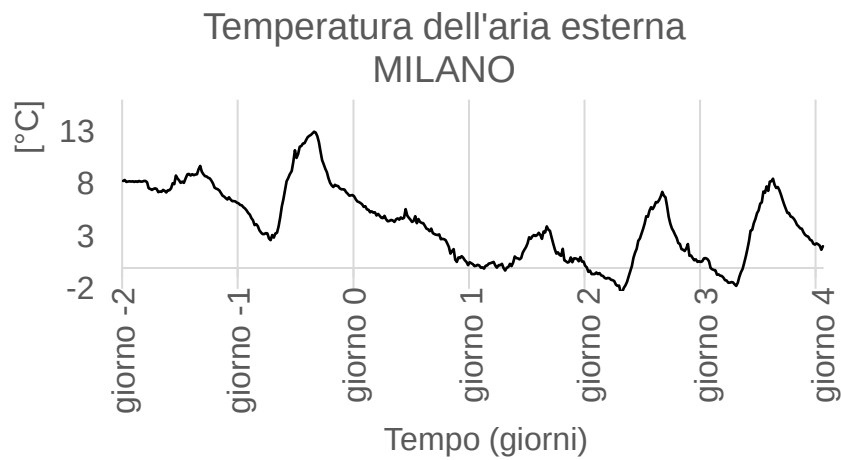
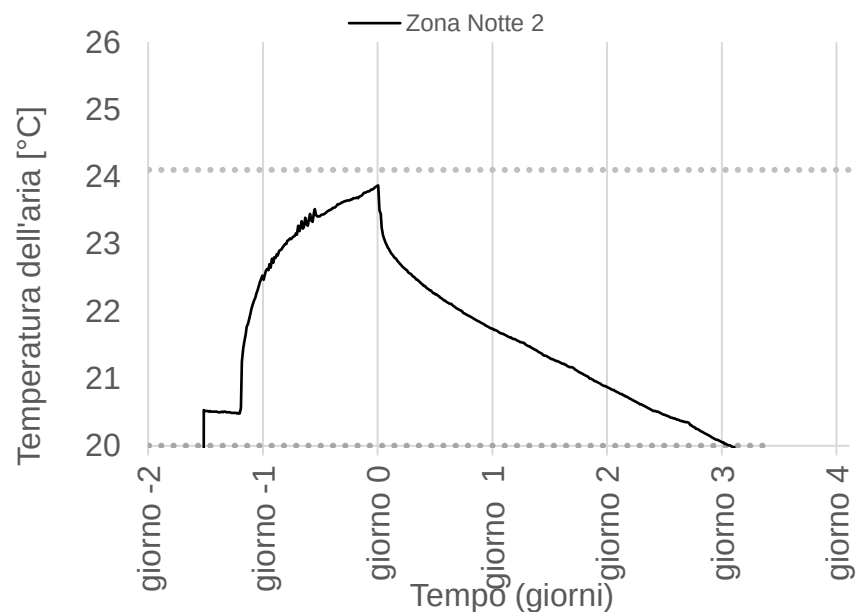
IL COMFORT E' FORTEMENTE INFLUENZATO DALL'INVOLUCRO PIUTTOSTO CHE DALLA POTENZA DISPONIBILE (O DALLA FONTE DI ENERGIA)



MISURE: INVERNO – RIQUALIFICAZIONE PROFONDA

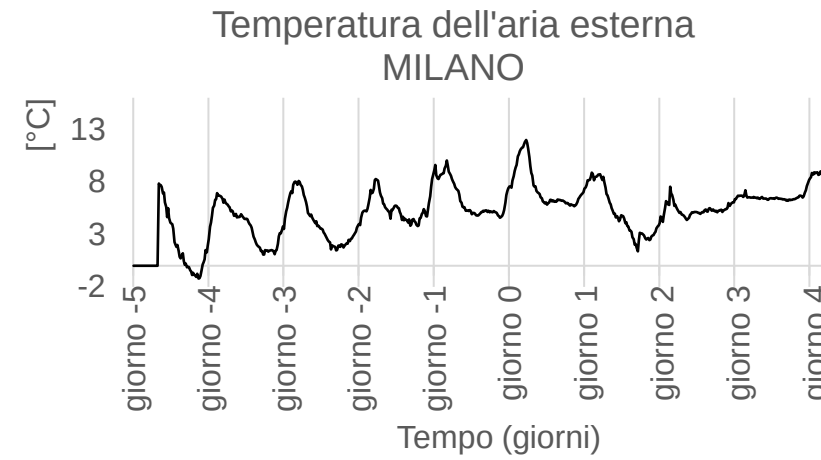
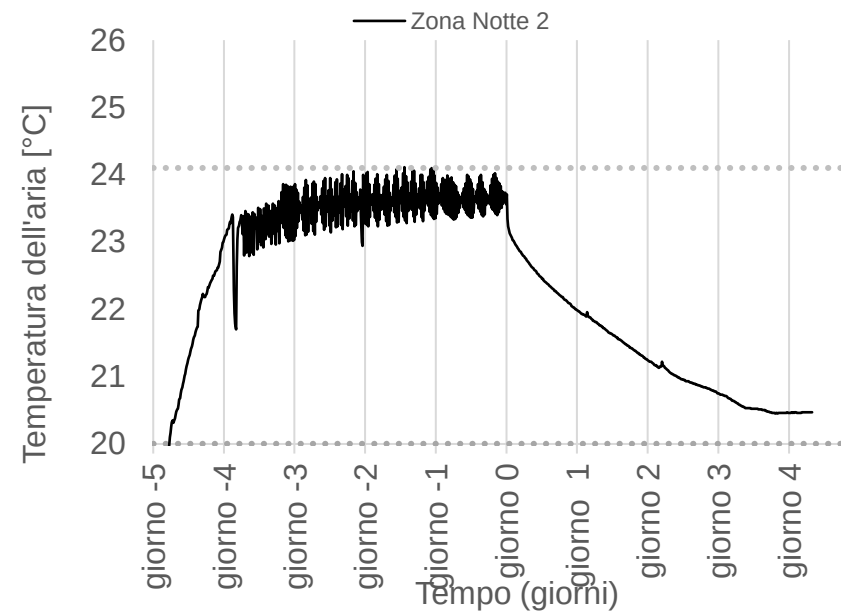
Applicazione del test di flessibilità energetica nell'unità immobiliare n. 13 all'interno di un edificio plurifamiliare. Gli ambienti sono stati riscaldati fino a 23-24 °C e mantenuti in temperatura per 24 ore. MILANO

Decadimento della curva dell'aria
Riqualificazione energetica - MILANO



Applicazione del test di flessibilità energetica nell'unità immobiliare n. 13 all'interno di un edificio plurifamiliare. Gli ambienti sono stati riscaldati fino a 23-24 °C e mantenuti in temperatura per 4 giorni. MILANO

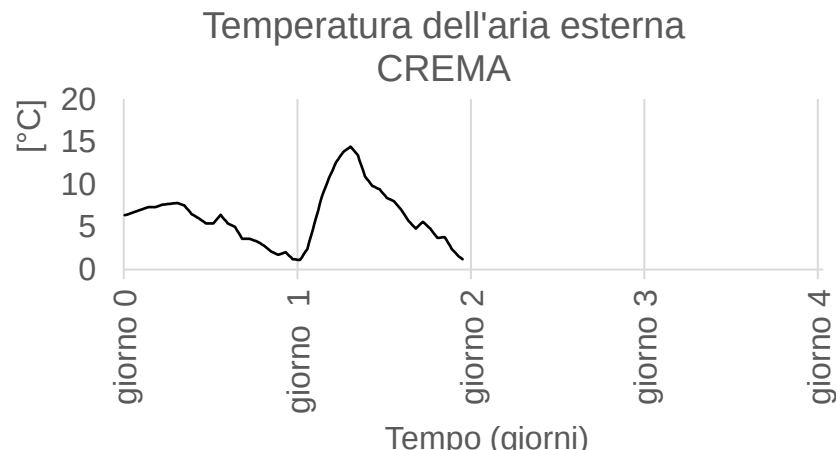
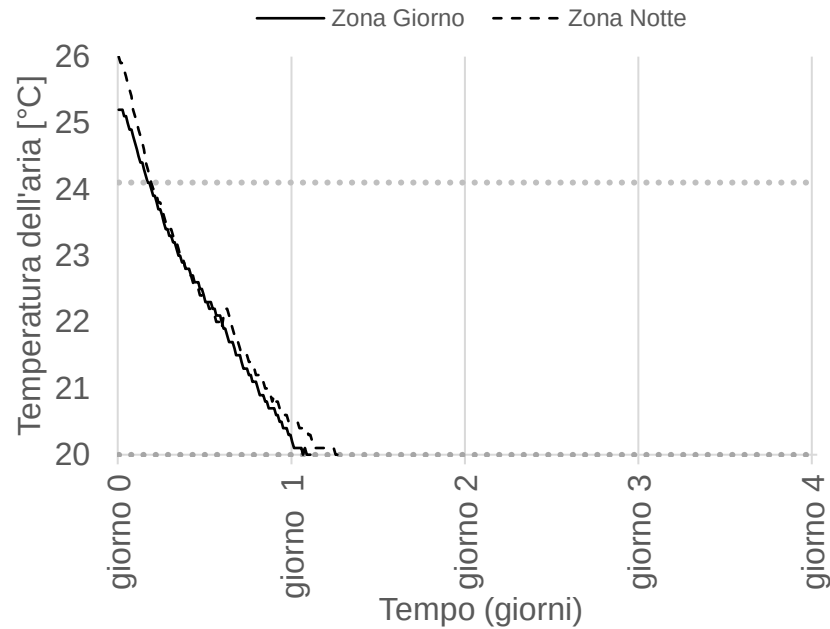
Decadimento della curva dell'aria
Riqualificazione energetica - MILANO



MISURE: INVERNO – EDIFICIO STANDARD

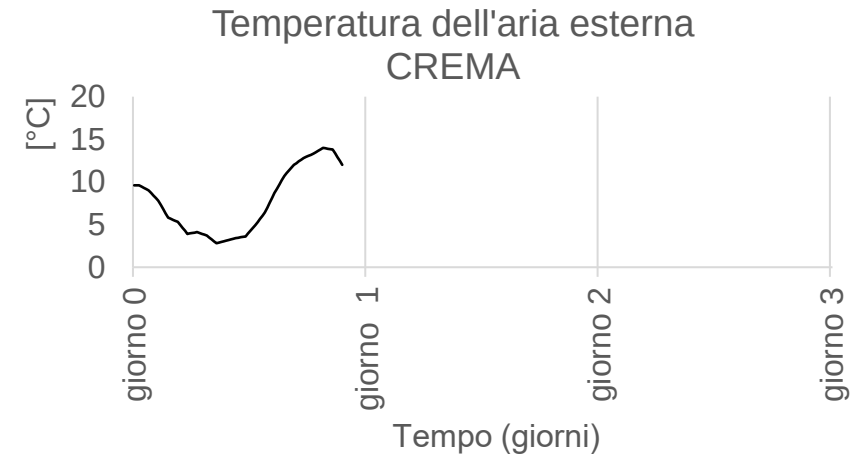
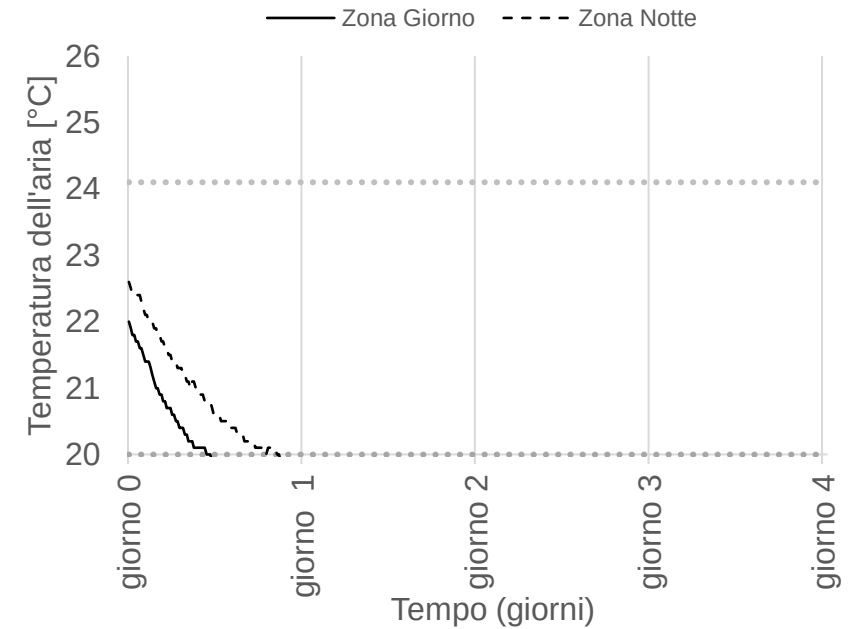
Applicazione del test di flessibilità energetica su edificio reale monofamiliare.
TEST 1: Gli ambienti sono stati riscaldati fino a 25-26 °C e mantenuti in temperatura per 24 ore.

Decadimento della temperatura dell'aria
Edificio Standard (2010) - CREMA

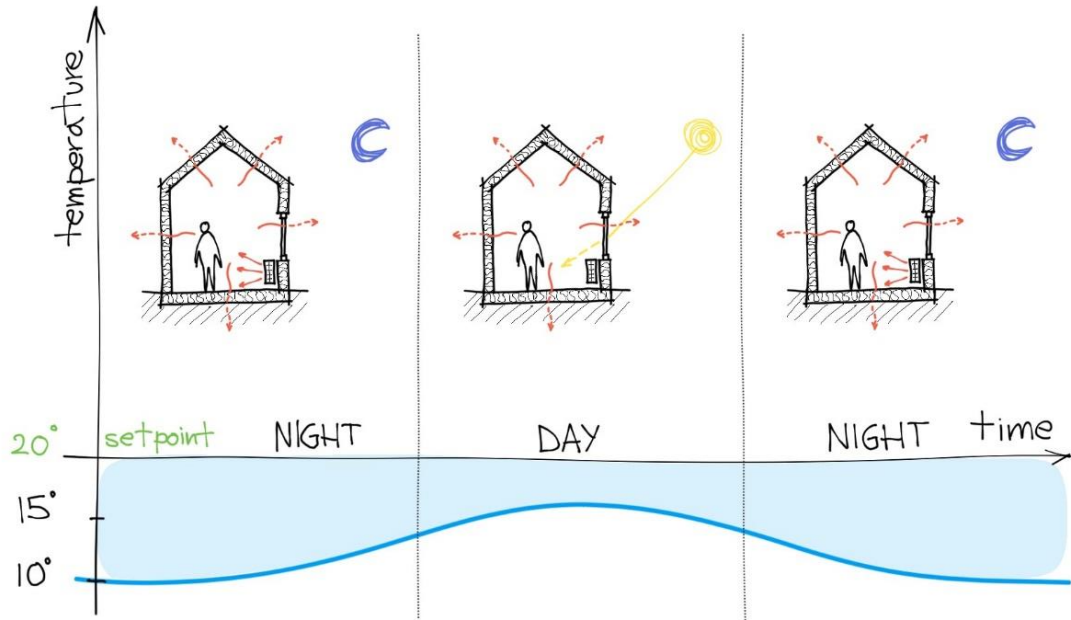


Applicazione del test di flessibilità energetica su edificio reale monofamiliare. TEST 2: gli ambienti sono stati riscaldati fino a 22-23 °C e mantenuti in temperatura per 24 ore.

Decadimento della temperatura dell'aria
Edificio Standard (2010) - CREMA

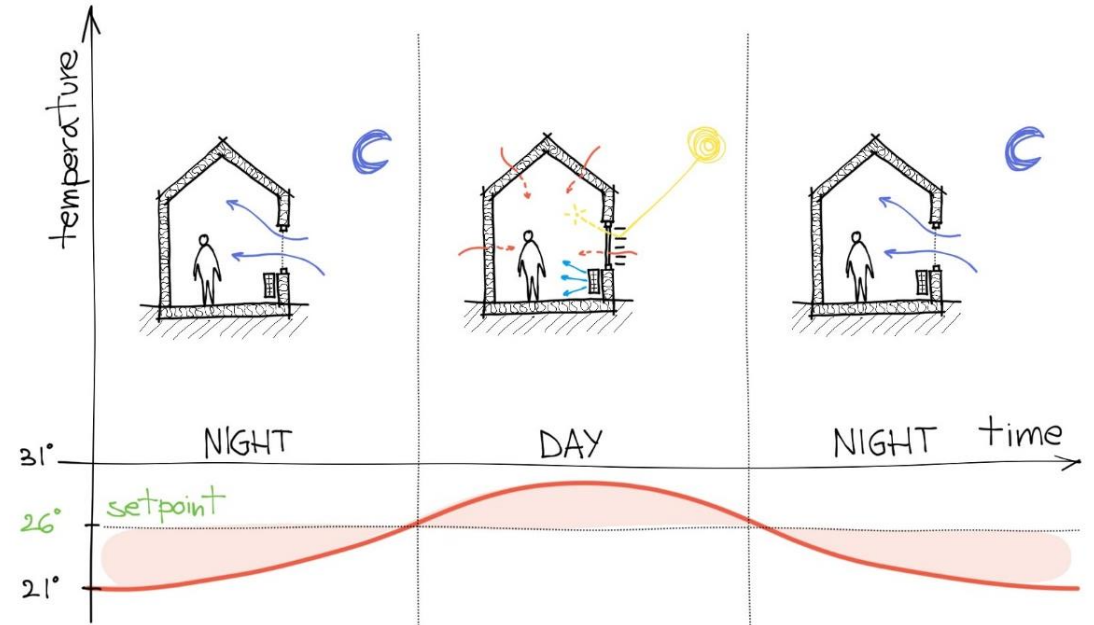


IN ESTATE SI POSSONO OTTENERE GLI STESSI BENEFICI DI FLESSIBILITA' DELLA DOMANDA?



Schema concettuale dell'interazione tra involucro edilizio e clima esterno **in inverno**

- **La temperatura dell'aria esterna è sempre minore della temperatura di setpoint (20°C) sia di giorno che di notte.**
- L'involucro deve ridurre il più possibile le dispersioni termiche e le superfici trasparenti devono essere utilizzate per sfruttare al meglio gli apporti solari gratuiti.



Schema concettuale dell'interazione tra involucro edilizio e clima esterno **in estate**

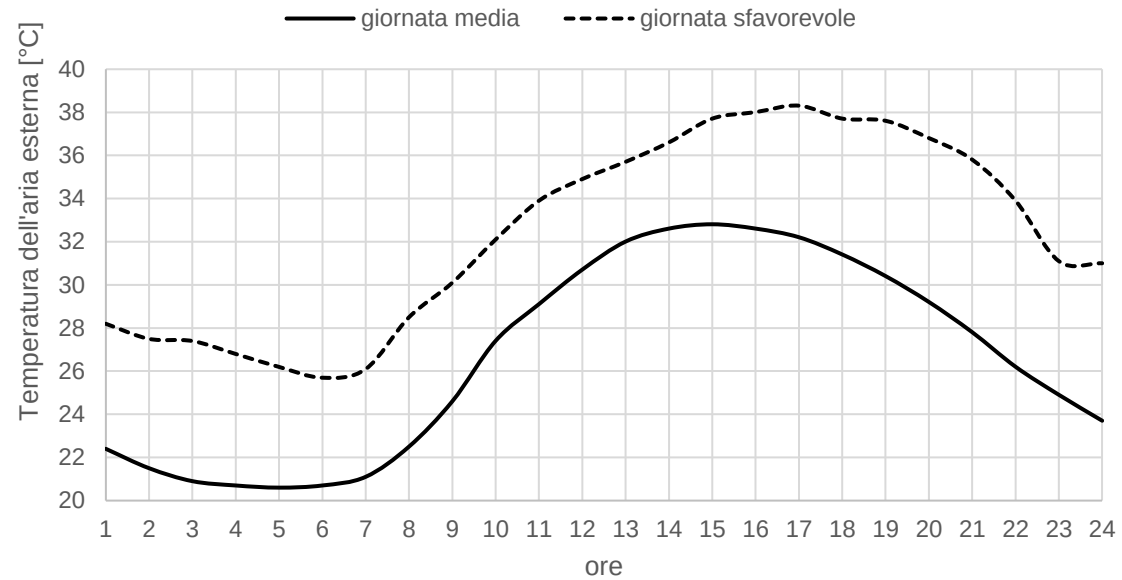
- **la temperatura dell'aria esterna oscilla nell'intorno della temperatura di setpoint (26° C).** Normalmente è più alta durante le ore giornaliere e più bassa durante le ore notturne.
- L'involucro deve ridurre il più possibile gli apporti termici e solari (con un uso razionale delle schermature solari delle superfici vetrate) durante le ore di luce, mentre durante le ore notturne è opportuno sfruttare logiche di raffrescamento passivo attraverso la ventilazione naturale.

IN ESTATE SI POSSONO OTTENERE GLI STESSI BENEFICI DI FLESSIBILITA' DELLA DOMANDA?

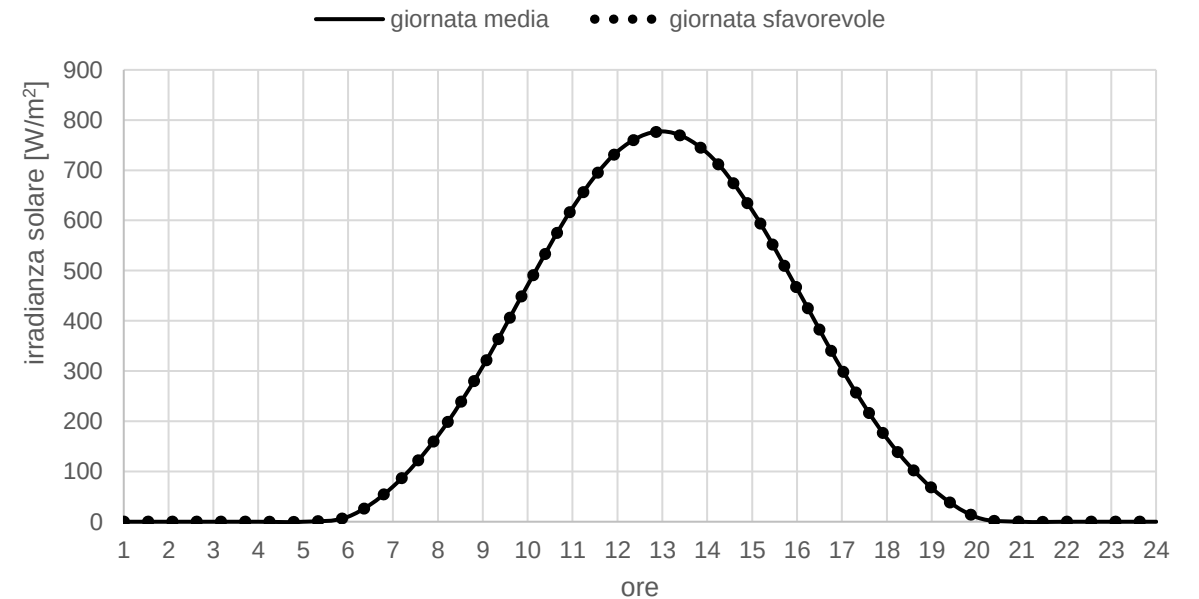
- Al fine di determinare la fascia di comfort, è stato fatto riferimento alla norma EN 16798 (CEN, 2019), selezionando la categoria II (per edifici nuovi, PMV tra -0,5 e + 0,5) e adottando il modello di Fanger per edifici raffrescati, con
- vestiario tipico estivo in ambienti interni (0,5 clo)
- livello di attività metabolica corrispondente a persona in quiete (1 met)
- velocità dell'aria 0,1 m/s e umidità relativa 60%
- Utilizzando il tool online per il calcolo del comfort termico dell'università di Berkeley California, <http://comfort.cbe.berkeley.edu>
- che incorpora gli algoritmi del modello di Fanger e il modello di comfort adattivo presenti in EN 16798 - 2019 e ASHRAE 55 -2017,
- Si ottiene una fascia di comfort dai 24,5 °C ai 27,1 °C in termini di temperatura operante UNI/TS o operativa UNI ISO 7730 (approssimata come media tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante)

GIORNO ESTIVO MEDIO E GIORNO ESTIVO SFAVOREVOLE

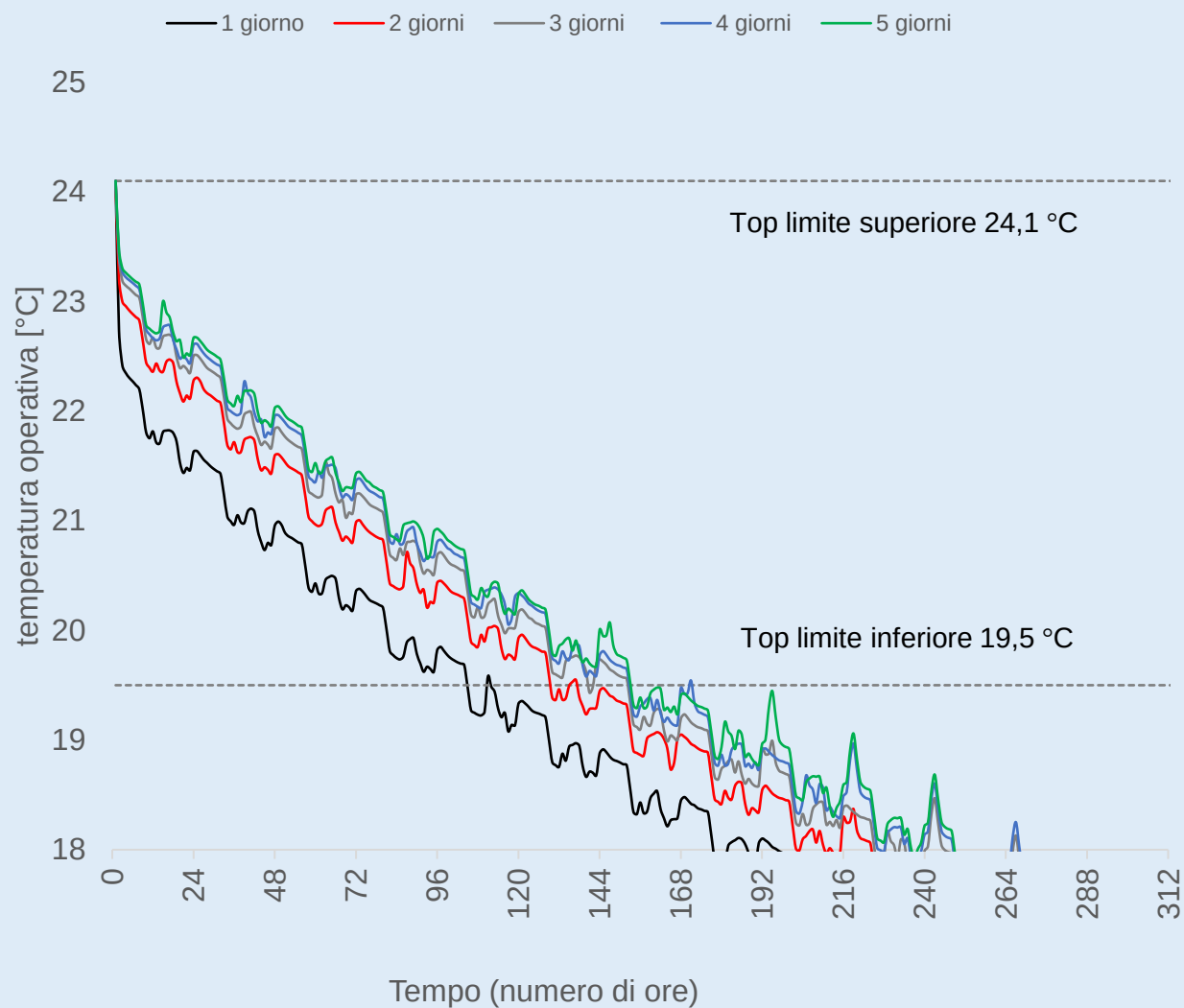
Temperatura dell'aria esterna (bulbo secco)



Irradianza solare globale su superficie orizzontale W/m²



CASO INVERNALE (PER CONFRONTO)



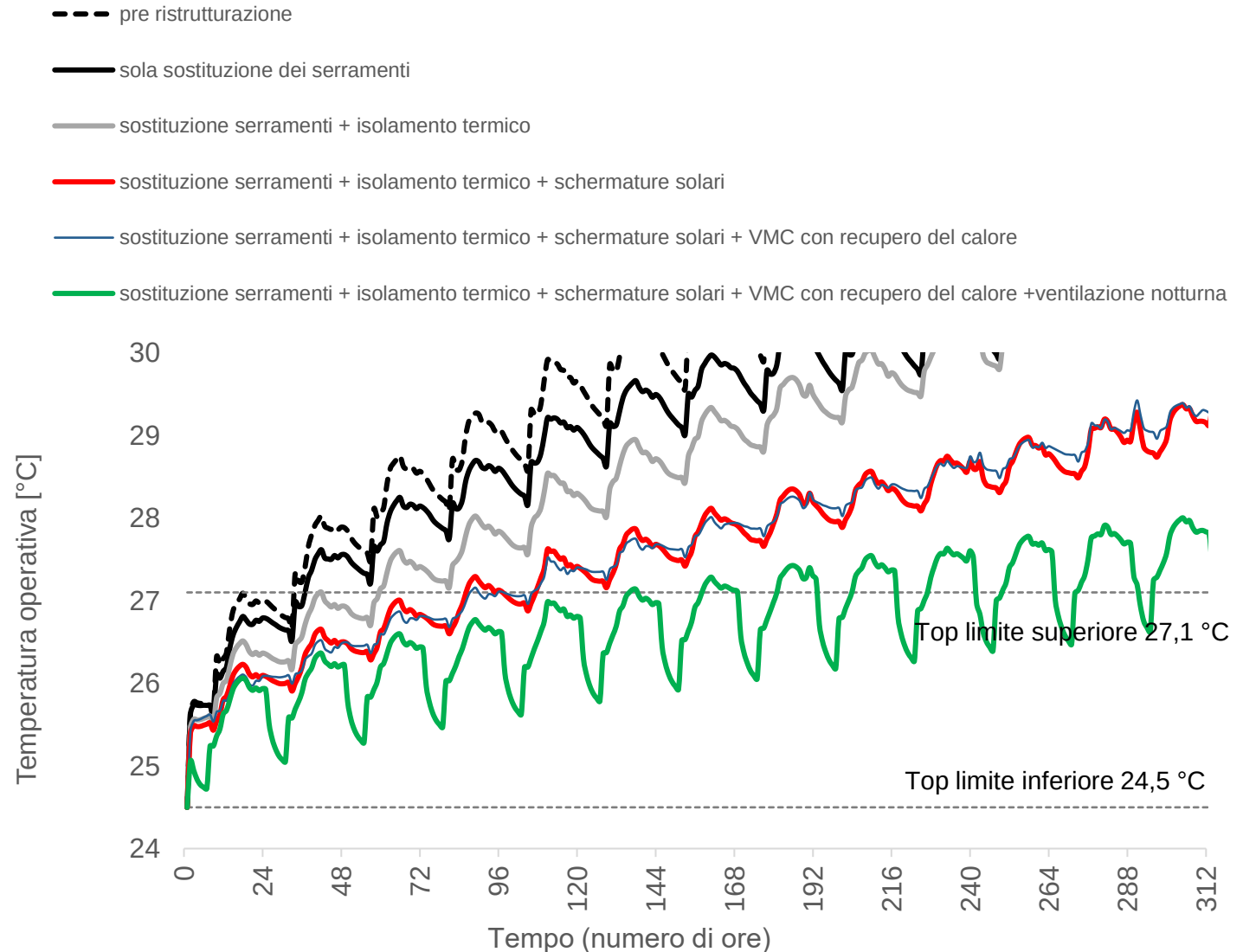
Temperatura operante: Curva di risalita in una zona di riferimento, al variare del periodo di carica



QUANTO PROFONDA DEVE
ESSERE LA
RIQUALIFICAZIONE

PER INCREMENTARE
SIGNIFICATIVAMENTE LA
FLESSIBILITÀ DI UN
EDIFICIO?

Temperatura operante
Curva di risalita di una zona termica di riferimento in
funzione delle misure di ristrutturazione applicate, dopo
un giorno di carica termica e con giornata media
ripetuta, IN ESTATE.

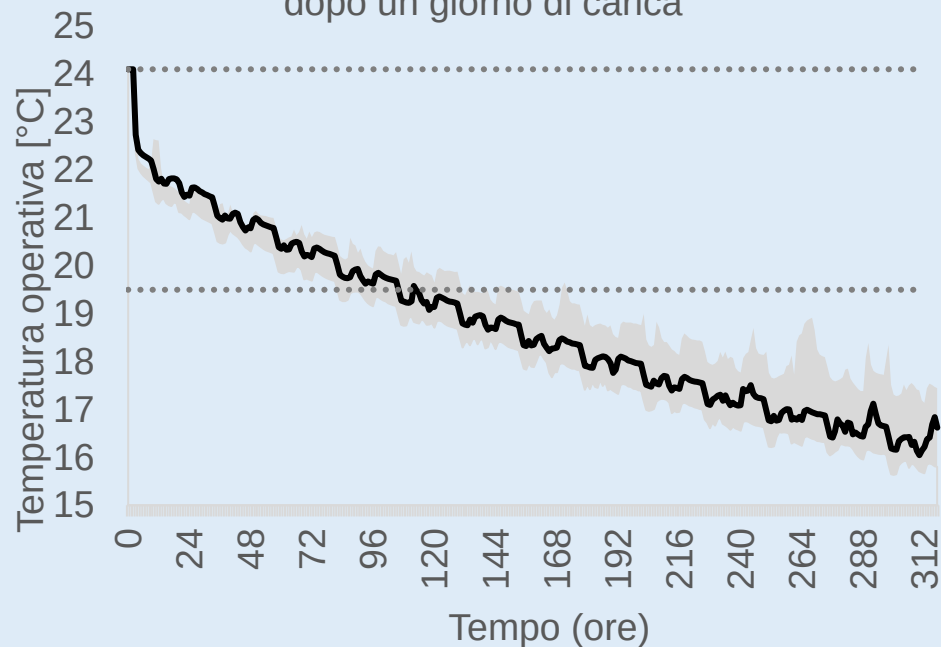


CHE VARIABILITÀ CI SARÀ NELL'EDIFICIO?

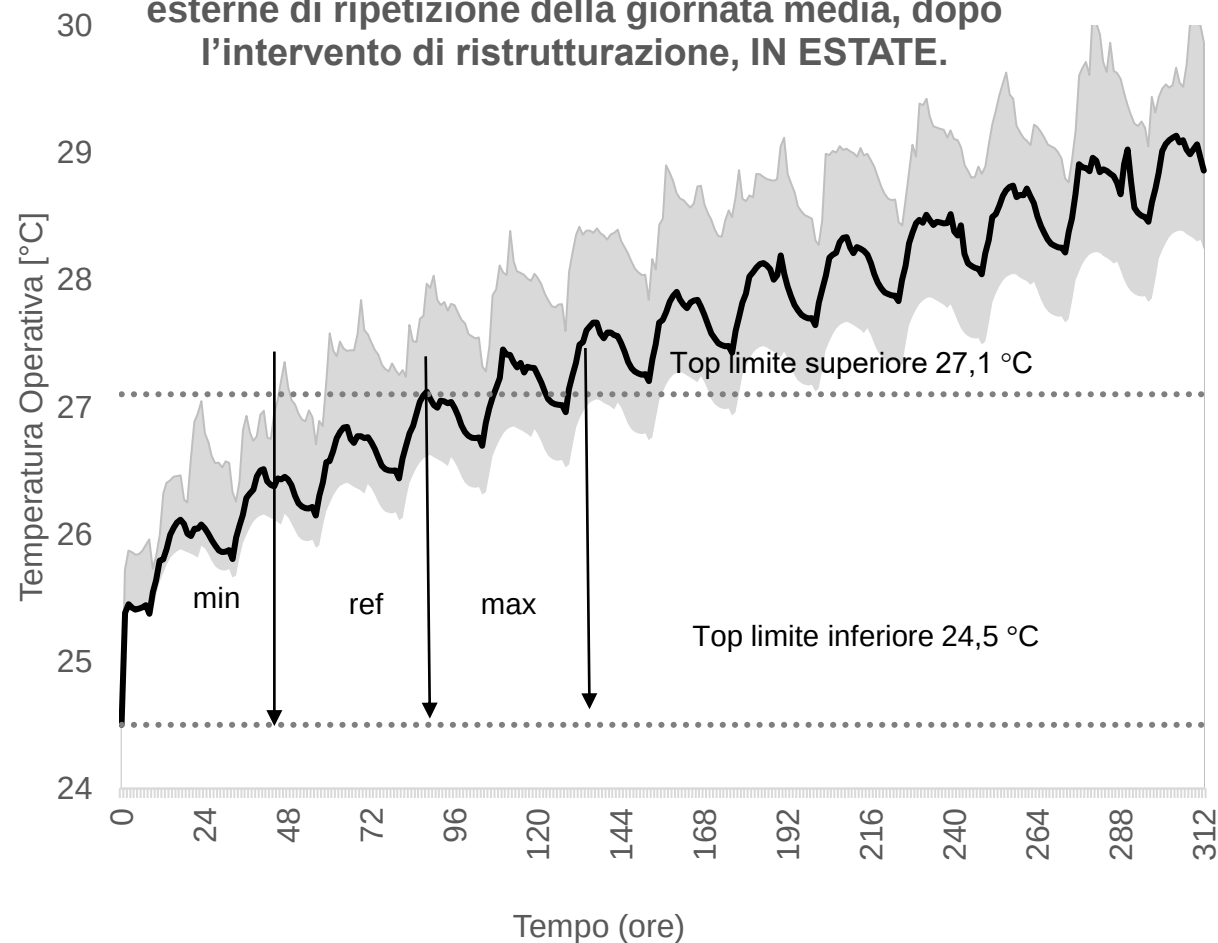
(GIORNO ESTIVO MEDIO, RAFFRESCAMENTO PER 1 GIORNO)

CASO INVERNALE

Temperatura Operante
curva di decadimento – tutte le zone
dopo un giorno di carica



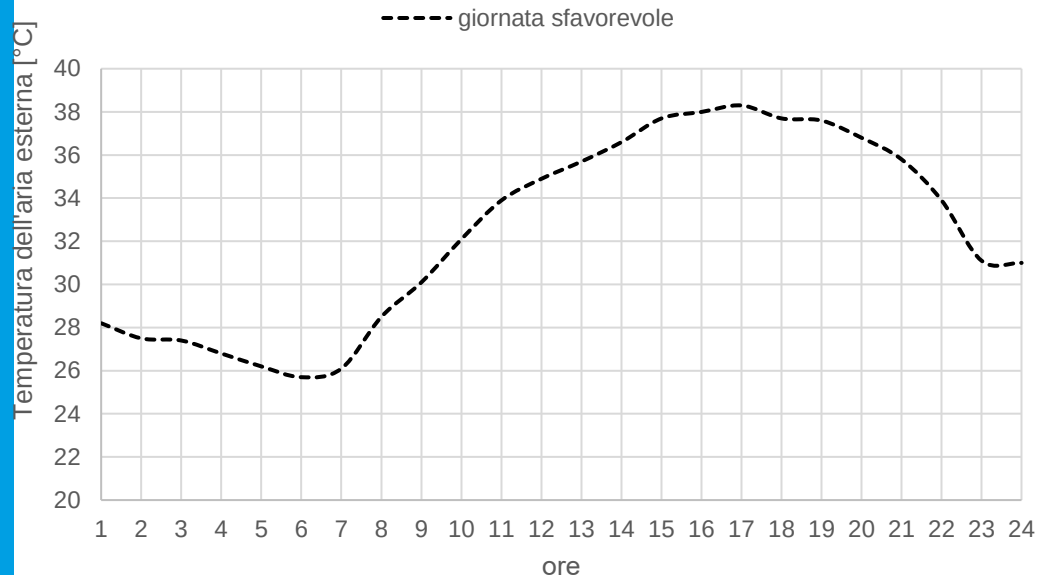
Evoluzione della temperatura operativa (Top) in diversi appartamenti (zona grigia) dopo 1 giorno di carica e successivo spegnimento dell'impianto, in condizioni esterne di ripetizione della giornata media, dopo l'intervento di ristrutturazione, IN ESTATE.



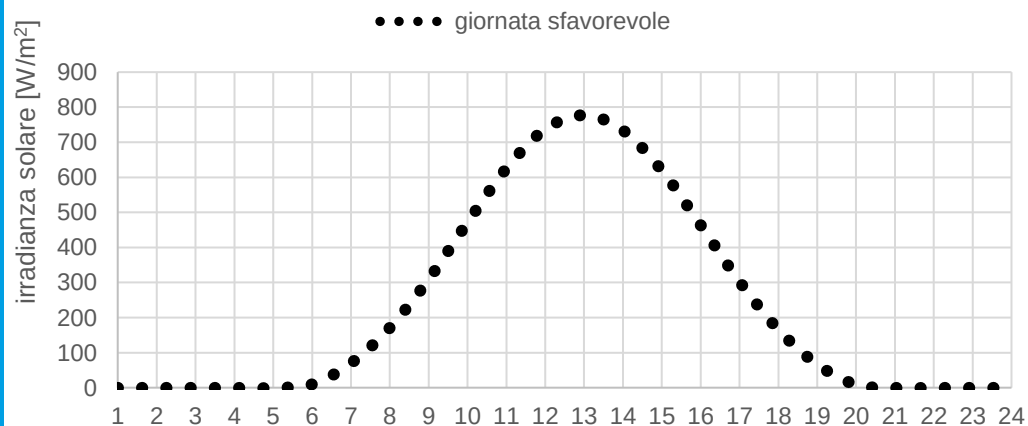
CHE VARIABILITÀ CI SARÀ NELL'EDIFICIO?

(GIORNO ESTIVO SFAVOREVOLE, RAFFRESCAMENTO PER 1 GIORNO)

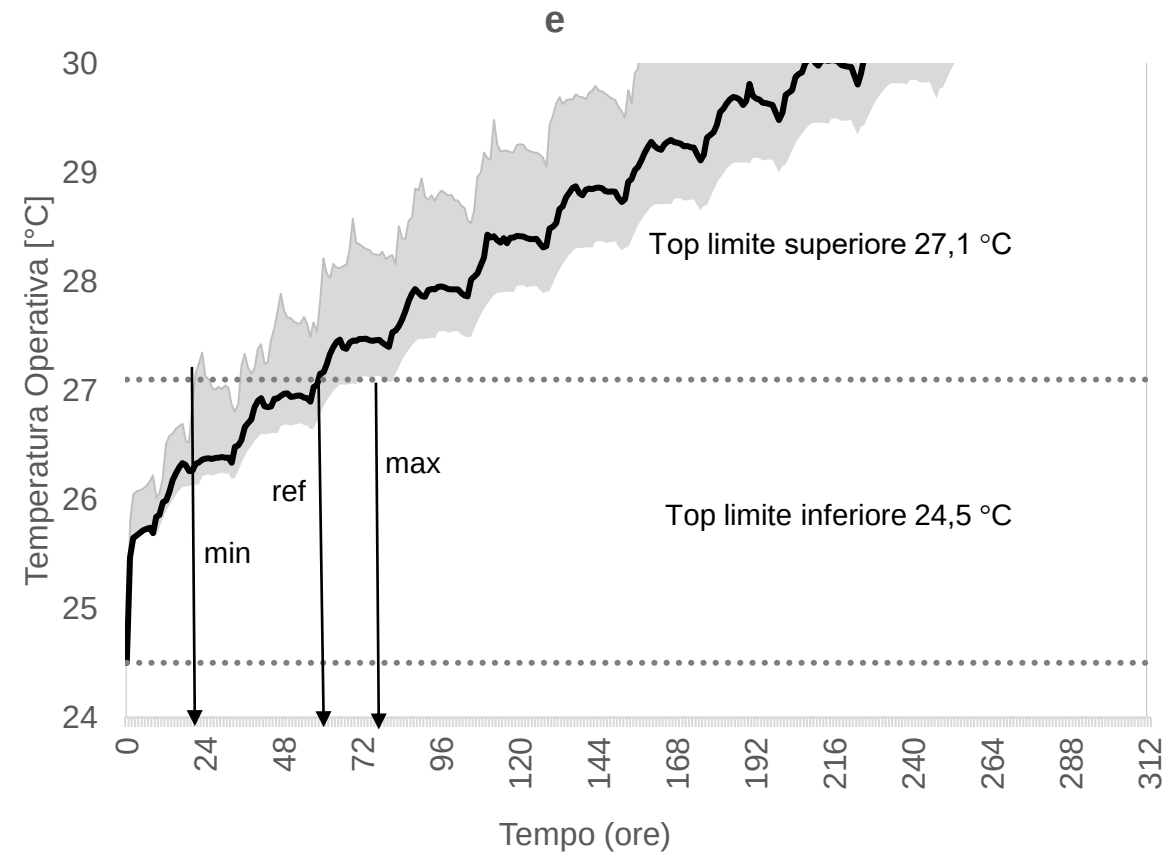
Temperatura dell'aria esterna (bulbo secco)



Irradianza solare globale su superficie orizzontale
W/m²



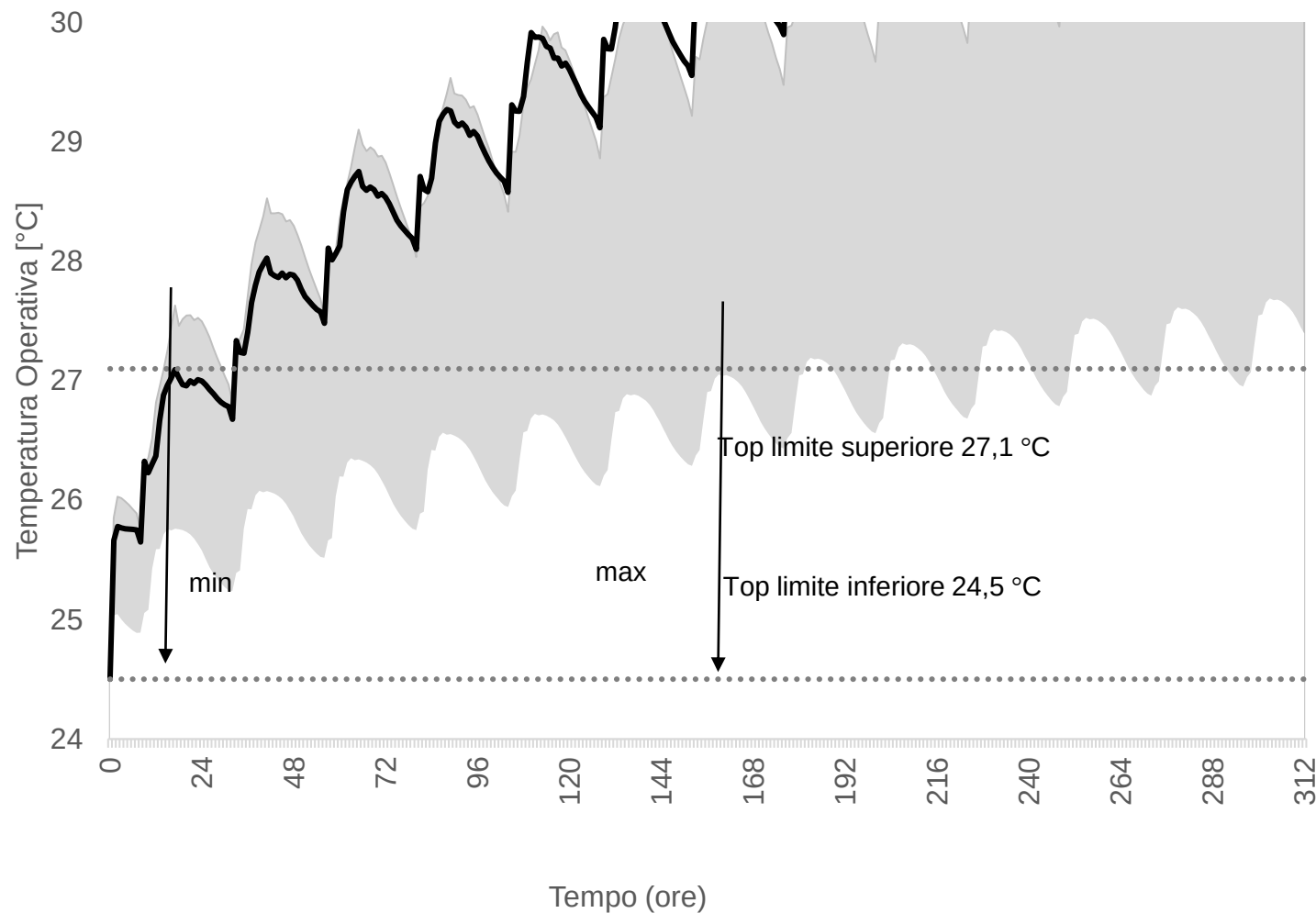
Evoluzione della temperatura operante (Top) in diversi appartamenti (zona grigia) dopo 1 giorno di raffrescamento a 24,1°C e successivo spegnimento dell'impianto, in condizioni esterne di giornate particolarmente sfavorevoli con la temperatura dell'aria



PERCHÉ L'ATTUALE
PARCO EDILIZIO

NON PUÒ
CONTRIBUIRE ALLA
SMART CITY?

Evoluzione della temperatura operante (Top) in diversi appartamenti
(zona grigia) dopo 1 giorno di carica e successivo spegnimento
dell'impianto, in condizioni esterne di ripetizione della giornata media,
prima dell'intervento di ristrutturazione, IN ESTA



□ IN AGGIUNTA ALLA RIDUZIONE DIRETTA DELL'USO DI ENERGIA E DI EMISSIONI CLIMALTERANTI, LE RIQUALIFICAZIONI PROFONDE HANNO ANCHE L'EFFETTO INDIRETTO DI CONSENTIRE UNA **PIÙ RAPIDA ED EFFICACE PENETRAZIONE DELLE FONTI RINNOVABILI** NEL SISTEMA ENERGETICO

□ L'AUMENTO DELL'**ISOLAMENTO TERMICO** NEI MURI E NELLE COPERTURE, CHE AUMENTA CONSIDEREVOLMENTE L'INTERVALLO DI TEMPO DURANTE IL QUALE L'EDIFICIO È MANTENUTO NELLA FASCIA DI COMFORT, **RENDE ANCHE POSSIBILE:**



COORDINARE LA DOMANDA CON LA FORNITURA DI ENERGIA IN SITU, O PIUTTOSTO RIMUOVERE L'ATTUALE RIGIDITÀ DELLA DOMANDA DI ENERGIA DEGLI EDIFICI E QUINDI FAR SÌ CHE ESSI POSSANO RICEVERE ENERGIA QUANDO QUESTA È DISPONIBILE DA FONTI IN SITU (ENERGIA RINNOVABILE O RECUPERATA), OPPURE SCAMBIARE ENERGIA CON ALTRI EDIFICI IN MANIERA FLESSIBILE



SFRUTTARE I MOMENTI DI SOVRABBONDANZA DI ENERGIA SULLA RETE, RENDENDO DISPONIBILE LE CAPACITÀ DI ACCUMULO DI ENERGIA QUANDO SI VERIFICANO TALI SITUAZIONI



GESTIRE LE CONDIZIONI DI SCARSITÀ DI ENERGIA ATTENUANDO LA DOMANDA DI POTENZA DI PICCO SULLA RETE ELETTRICA O DI TELERISCALDAMENTO (*PEAK SHAVING, DEMAND RESPONSE*, POTENZIALE PARTECIPAZIONE AL *CAPACITY MARKET* CREANDO ULTERIORE VALORE AGGIUNTO OLTRE A QUELLO LEGATO AI RISPARMI ENERGETICI E AL MAGGIOR COMFORT INDOOR)

LUNGI DALL'ESSERE CONTRADDITTORI O CONFLITTUALI,
I TRE ELEMENTI:

- > RIDUZIONE DEL FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO
- > MONITORAGGIO E CONTROLLO
- > RINNOVABILI

FANNO PARTE DI UN QUADRO D'INSIEME IN CUI SI TROVANO IN FORTE SINERGIA GLI UNI CON GLI ALTRI.

RIDURRE IL FABBISOGNO DI ENERGIA NON RIDURRÀ LA DOMANDA (E IL MERCATO) DI RINNOVABILI E DI MONITORAGGIO E CONTROLLO.

AL CONTRARIO, LA RIDUZIONE DEL FABBISOGNO DI ENERGIA È UN PREREQUISITO INDISPENSABILE PER L'IMPIEGO DELLE RINNOVABILI E DEI CONTROLLI CON RISULTATI EFFICACI (IN ENERGIA E COMFORT) E ACCETTABILI DAL PUNTO DI VISTA AMBIENTALE E SOCIALE, CONSENTENDO COSÌ LA LORO RAPIDA PENETRAZIONE, DELLA QUALE ABBIAMO URGENTE BISOGNO

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



www.eerg.it

KNAUFINSULATION

www.knaufinsulation.it



Lorenzo Pagliano · 1°

Director at Master RIDEF 2.0 - Politecnico di Milano

Milano, Lombardia, Italia · 500+ collegamenti ·

[Informazioni di contatto](#)

Messaggio

Altro...

Politecnico di Milano

Politecnico di Milano



SELF ASSESSMENT TOWARDS
OPTIMIZATION OF BUILDING ENERGY

SATO



This project receives funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No 957128

