



**PROGETTO E VERIFICA
DELLE SERRE SOLARI BIOCLIMATICHE:
DAL PENSIERO ALLA FORMA, DALLA NORMA AL CALCOLO**
a cura di Daniela Proietti

15 aprile 2014 ore 9.30

ROMA PIAZZA M. FANTI 47

**Il calcolo energetico di una serra solare:
esempi ed applicazioni mediante il software in-serra**

Ph.D. Ing. Riccardo Farina

Ingegnere Meccanico - Dottore di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi - Green Energy Auditor di Sacert
ing.r.farina@gmail.com

**CASA
DELL'ARCHITETTURA
ROMA**

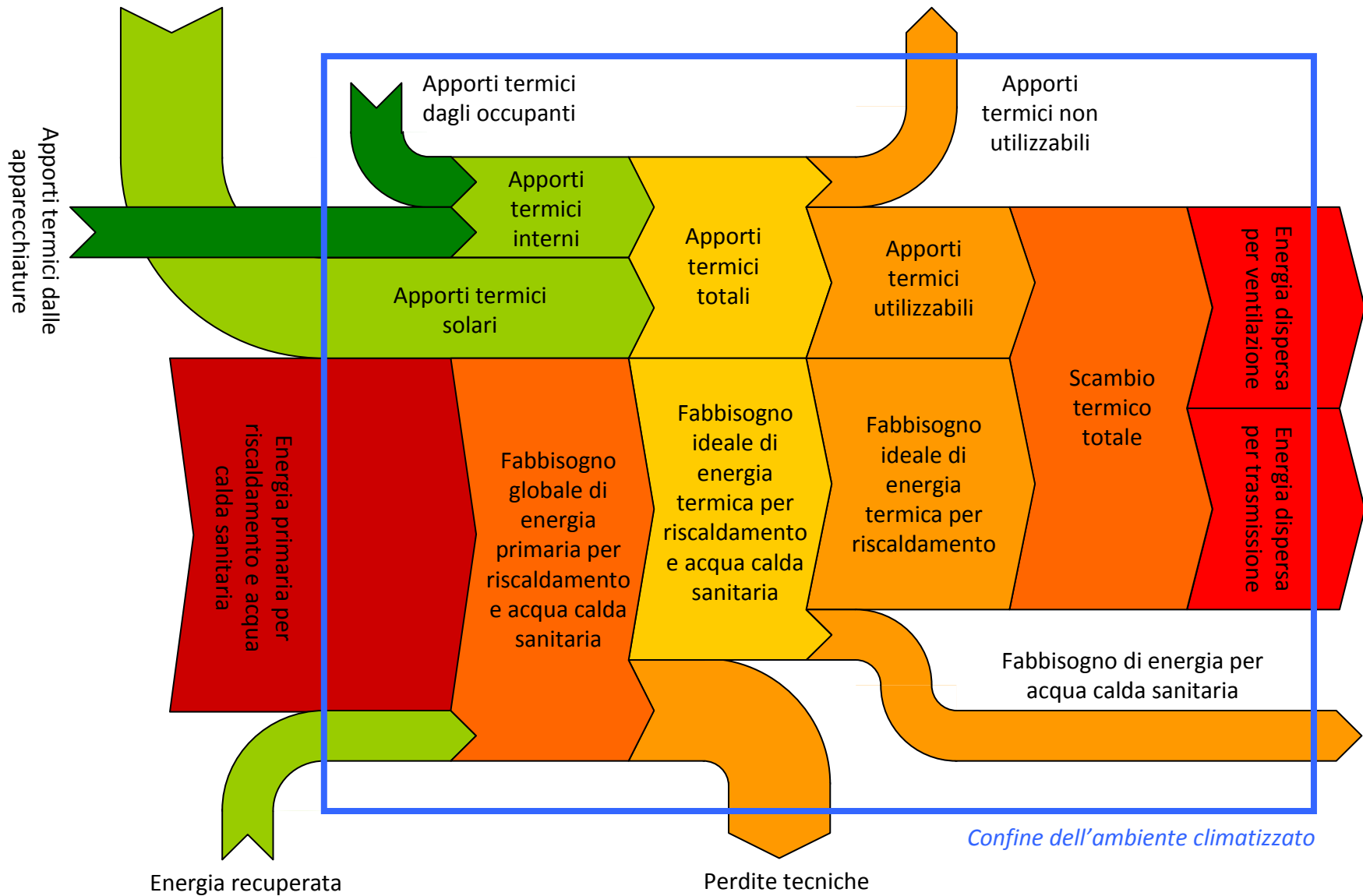
Sommario

- Il bilancio energetico dell'edificio
- La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale
- Gli scambi termici
- Gli apporti termici
- Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790
- Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra

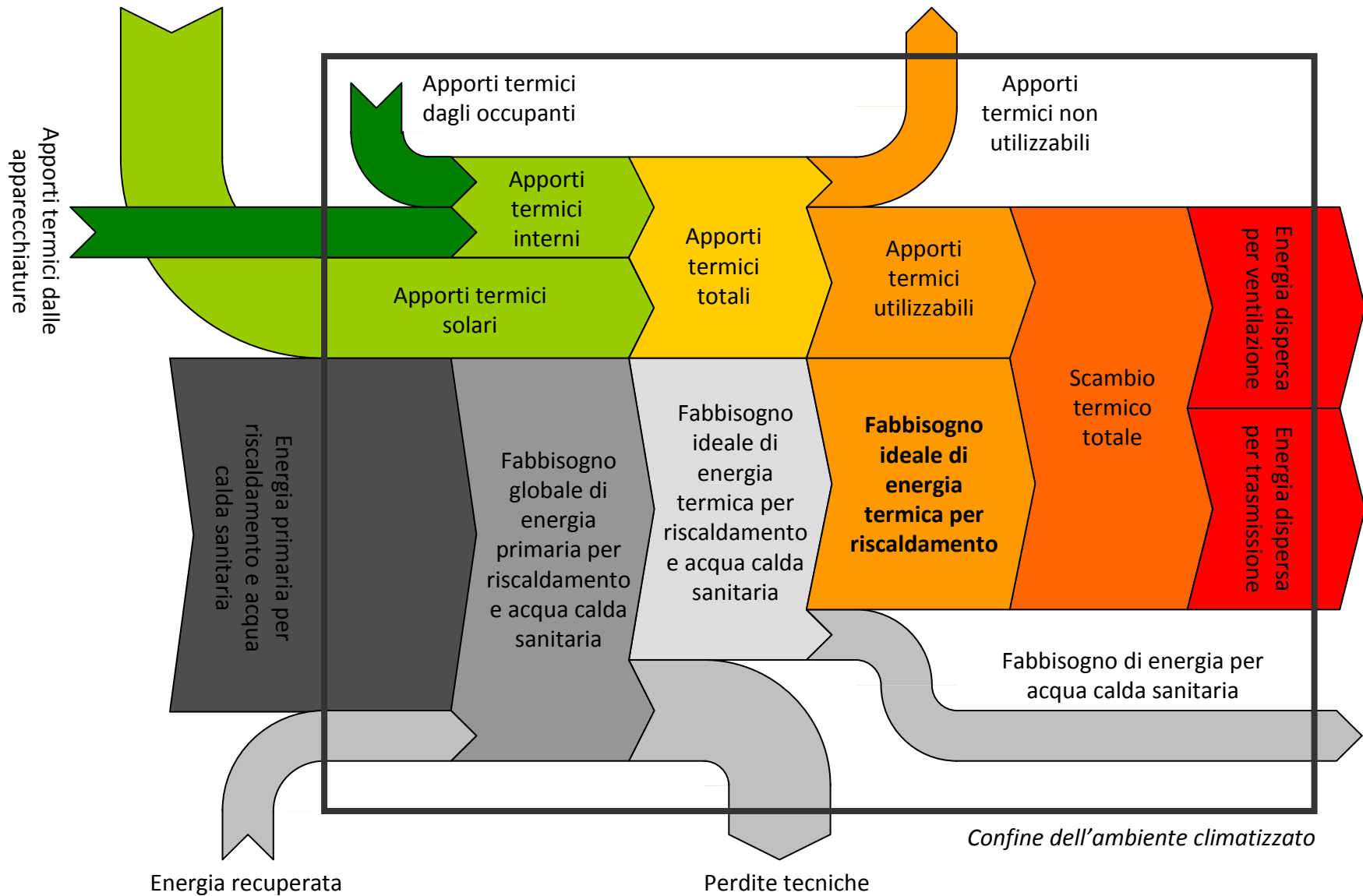
Sommario

- **Il bilancio energetico dell'edificio**
- La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale
- Gli scambi termici
- Gli apporti termici
- Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790
- Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra

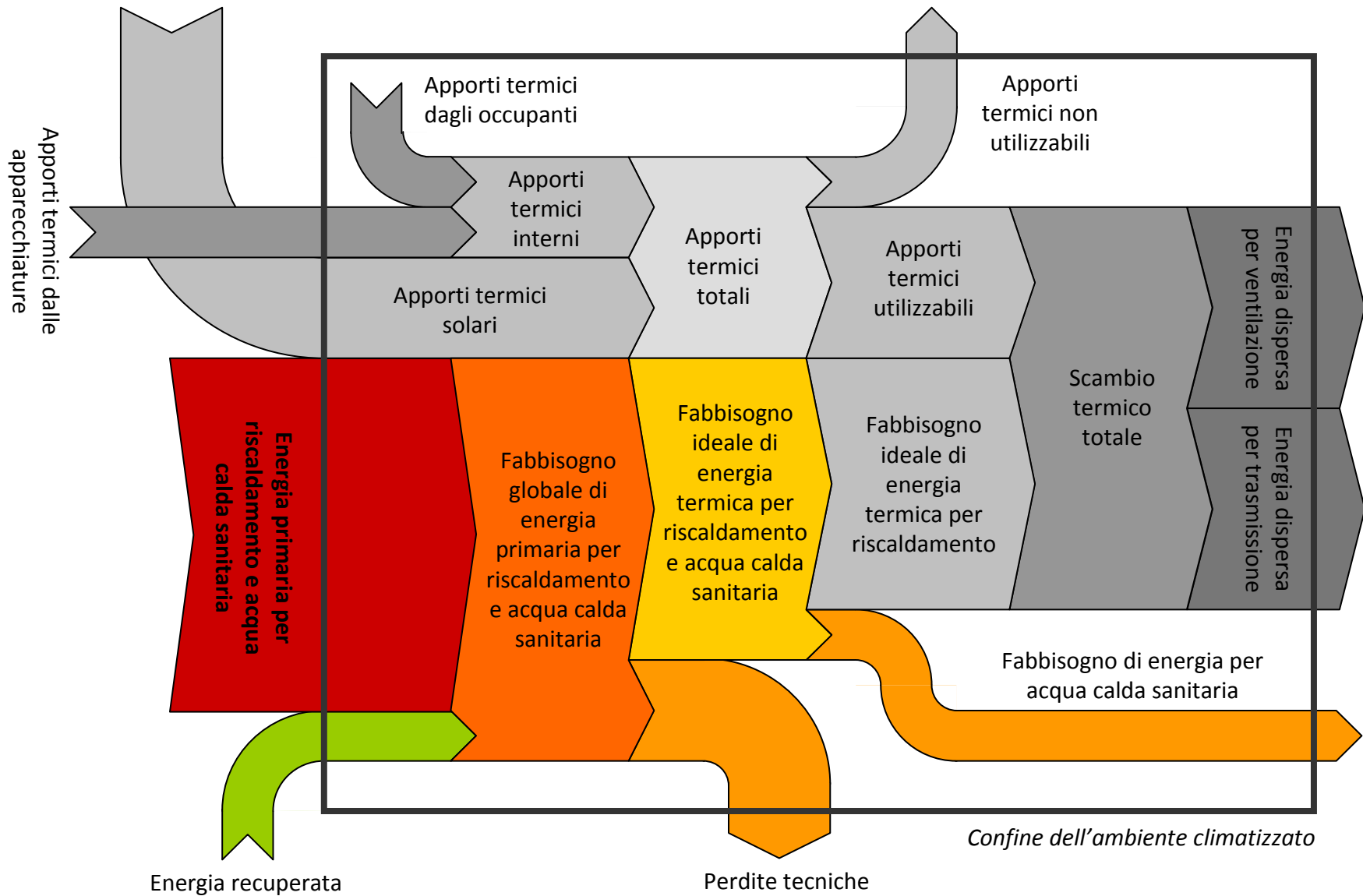
Il bilancio energetico dell'edificio per il riscaldamento



La specifica tecnica nazionale UNI/TS 11300-1



La specifica tecnica nazionale UNI/TS 11300-2



Sommario

- Il bilancio energetico dell'edificio
- **La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale**
- Gli scambi termici
- Gli apporti termici
- Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790
- Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra

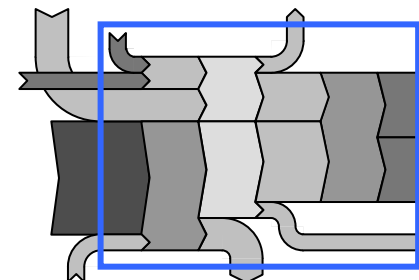
Descrizione sintetica della procedura di calcolo

La procedura di calcolo comprende i seguenti passi:

- 1) definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio;
- 2) definizione dei confini delle diverse zone di calcolo, se richiesta;
- 3) definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno;
- 4) calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento;
- 5) aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Descrizione della procedura di calcolo

- 1) definizione dei **confini** dell'insieme degli **ambienti climatizzati** e non climatizzati dell'**edificio**;
- 2) definizione dei **confini** delle diverse **zone** di calcolo, se richiesta;



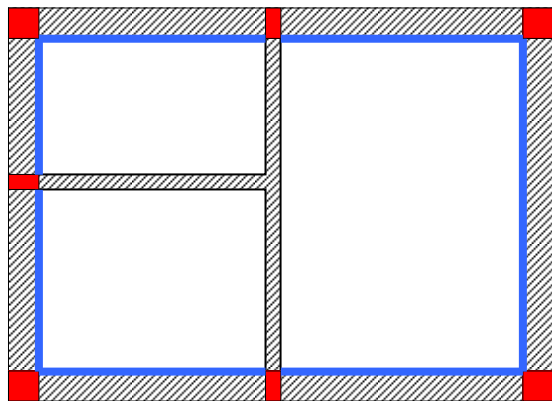
Edificio: sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturare per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti.

Ambiente climatizzato: vano o spazio chiuso che, ai fini del calcolo, è considerato riscaldato o raffrescato a determinate temperature di regolazione.

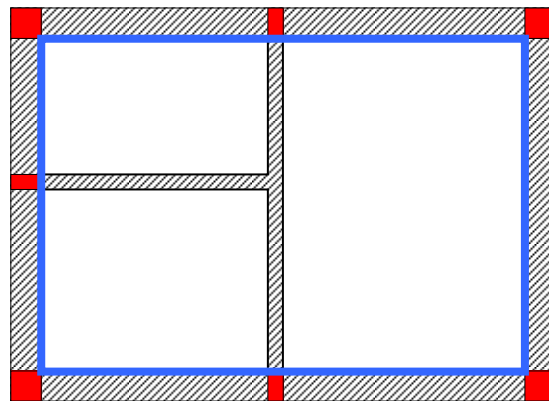
Zona termica: parte dell'ambiente climatizzato mantenuta a temperatura uniforme attraverso lo stesso impianto di riscaldamento, raffrescamento o ventilazione.

Definizione dei **confini**: le dimensioni dei componenti edilizi possono essere misurate secondo **tre diversi sistemi**, in accordo alla UNI EN ISO 13789:2008:

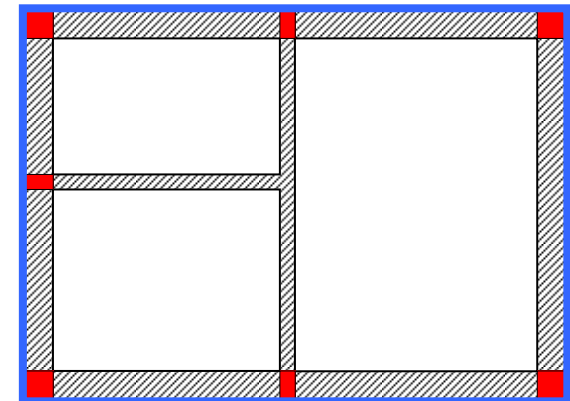
- **dimensioni interne**, misurate tra le facciate interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- **dimensioni interne totali**, misurate tra le facciate interne finite degli elementi esterni dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- **dimensioni esterne**, misurate tra le facciate esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.



Dimensioni interne



Dimensioni interne totali



Dimensioni esterne

Ognuno dei sistemi può essere adottato, purché sia utilizzato in modo uniforme per tutte le parti dell'edificio: il coefficiente di scambio termico per trasmissione risulta essere lo stesso a condizione che tutti i **ponti termici** siano presi in considerazione.

Descrizione della procedura di calcolo

3) definizione delle *condizioni interne di calcolo* e dei *dati di ingresso relativi al clima esterno*;

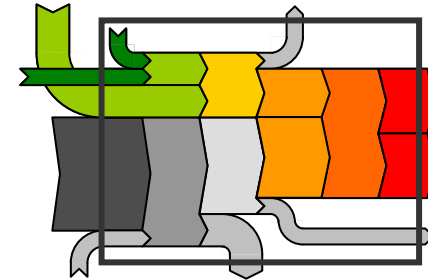
- temperatura interna;	UNI/TS 11300-1:2008
- gradi giorno;	} DPR 412/1993
- zona climatica;	
- durata della stagione di riscaldamento;	
- latitudine;	UNI 10349:1994
- valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna;	} UNI 10349:1994 + Errata Corrige n. 1 UNI/TS 11300-1:2010
- irradiazione solare giornaliera media mensile diretta e diffusa sul piano orizzontale;	
- irradiazione solare globale su superficie verticale esposta a S, SO-SE, E-O, NO-NE e N.	

Per le frazioni di mese i valori di temperatura e di irradiazione si ricavano per interpolazione, con riferimento al giorno centrale di ciascuna frazione di mese, attribuendo i valori medi mensili di temperatura riportati nella UNI 10349 al quindicesimo giorno di ciascun mese.

Descrizione della procedura di calcolo

- 4) calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, del **fabbisogno di energia termica per il riscaldamento** [MJ]:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn}$$
$$= (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$



dove:

$\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici [0], che dipende dal rapporto $\gamma_H = Q_{gn} / Q_{H,ht}$ e dalla costante di tempo termica τ della zona che è funzione della sua capacità termica interna (cioè la proprietà della zona di accumulare calore) e dello scambio termico ad essa relativo.

- 5) aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Sommario

- Il bilancio energetico dell'edificio
- La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale
- **Gli scambi termici**
- Gli apporti termici
- Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790
- Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra

Le dispersioni di energia termica nel caso di riscaldamento

Energia termica dispersa per trasmissione [MJ]

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t + Q_r$$

Energia termica dispersa per ventilazione [MJ]

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t$$

dove:

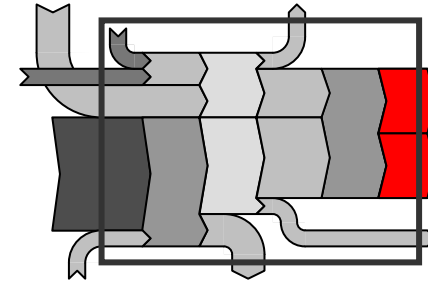
$H_{tr,adj}$ e $H_{ve,adj}$ sono i coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e per ventilazione della zona considerata, corretti per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno [W/K];

$\theta_{int,set,H}$ è la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata [K], assunta costante e pari a 20°C per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), E.6(2) e E.8;

θ_e è la temperatura esterna media del mese considerato o della frazione di mese [K];

t è la durata del mese considerato o della frazione di mese [Ms];

Q_r è lo scambio termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste [MJ].



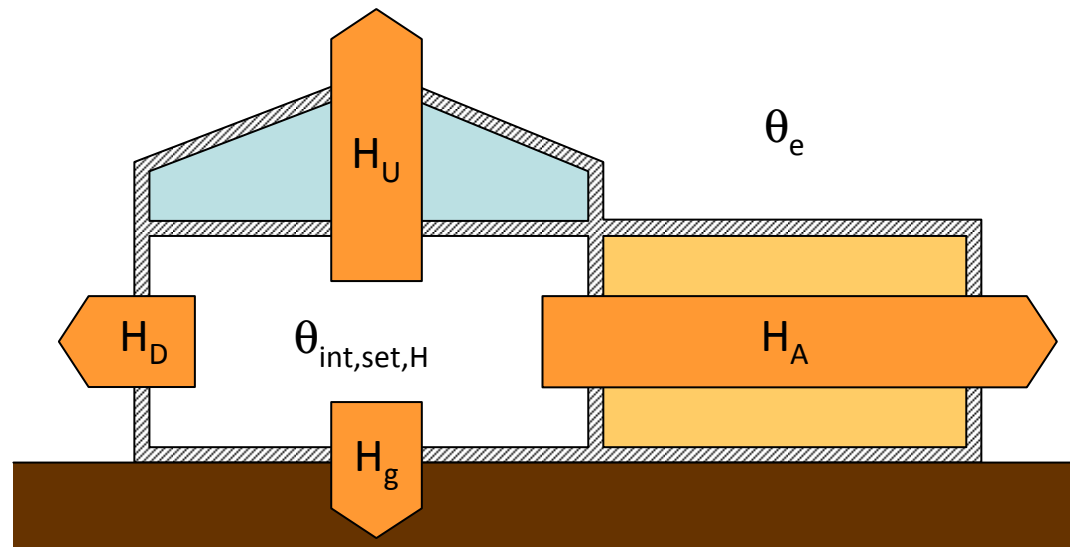
Lo scambio termico per trasmissione

Il trasferimento di calore può avvenire:

- verso l'esterno (*direct, D*);
- verso il terreno (*ground, g*);
- verso ambienti non climatizzati (*unconditioned, U*);
- fra edifici adiacenti a temperatura diversa dall'ambiente riscaldato (*adjacent, A*).

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione è quindi dato in generale dalla somma di quattro contributi:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [W/K]$$



Lo scambio termico per trasmissione

Ognuno dei quattro coefficienti dipende dalla capacità che i componenti edilizi costituenti l'ambiente hanno di *trasmettere* calore e quindi dalla *trasmittanza* di tali componenti e dalle *trasmittanze* lineica e puntuale dei ponti termici presenti nell'involucro edilizio:

$$H_x = b_{tr,x} [\sum_i A_i U_i + \sum_k \ell_k \psi_k + \sum_j \chi_j] \quad [W/K]$$

dove:

A_i è l'area dell'i-esimo componente edilizio [m^2];

U_i è la trasmittanza termica dell'i-esimo componente edilizio [$W/(m^2K)$];

ℓ_k è la lunghezza del ponte termico k-esimo [m];

ψ_k è la trasmittanza termica lineica del ponte termico k-esimo [$W/(mK)$];

χ_j è la trasmittanza termica puntuale del ponte termico j-esimo [W/K];

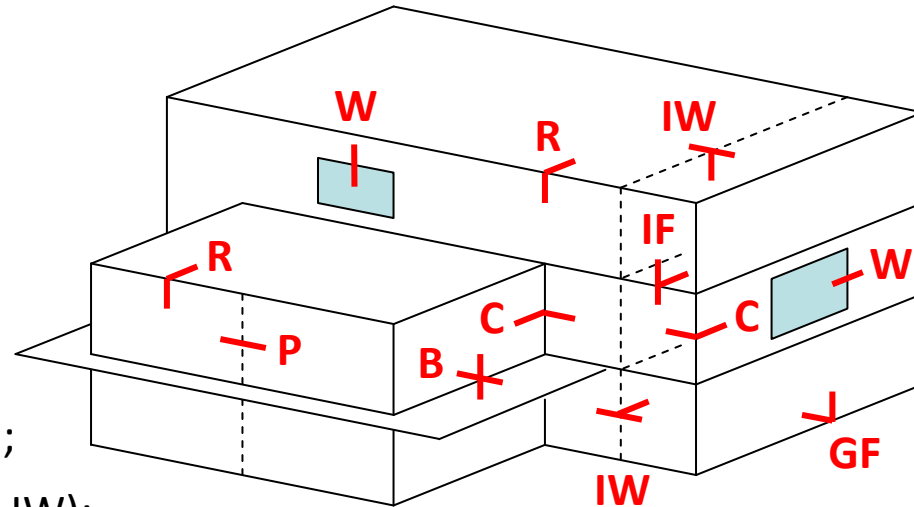
$b_{tr,x}$ è il fattore di correzione dello scambio termico tra ambienti [0], con $b_{tr,x} = 1$ nel caso di scambio termico verso l'esterno e $b_{tr,x} < 1$ negli altri casi.

N.B.: generalmente, i ponti termici puntuali (nella misura in cui risultano dall'intersezione di ponti termici lineici) possono essere trascurati; se sono significativi, devono essere valutati secondo la UNI EN ISO 10211:2008.

I ponti termici

- Sono le posizioni dell'involucro edilizio in corrispondenza delle quali si hanno modifiche del tasso di flusso termico e delle temperature superficiali, quali:

- tetti (*roofs*, R);
- balconi (*balconies*, B);
- angoli (*corners*, C);
- pavimenti intermedi (*intermediate floors*, IF);
- pilastri (*pillars*, P);
- pavimenti (*ground floors*, GF);
- pareti interne (*internal walls*, IW);
- aperture con finestre o porte (*windows*, W).



- Nella norma UNI EN ISO 14683:2008 sono riportati valori di riferimento di ψ , discriminati per tipo di ponte termico, disposizione dell'isolante all'interno della struttura (all'esterno, nella parte intermedia, all'interno o uniformemente distribuito) e sistema di dimensioni adottato (interne, interne totali o esterne)

N.B.: se il ponte termico si riferisce ad un giunto tra due strutture relative a due zone termiche diverse, il valore di ψ deve essere ripartito tra le due zone interessate

Lo scambio termico per trasmissione verso gli ambienti non climatizzati

- Gli ambienti non climatizzati si trovano ad una temperatura θ_u intermedia tra $\theta_{int,set,H}$ e θ_e
- Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione tra il volume climatizzato e l'esterno attraverso l'ambiente non climatizzato è dato da:

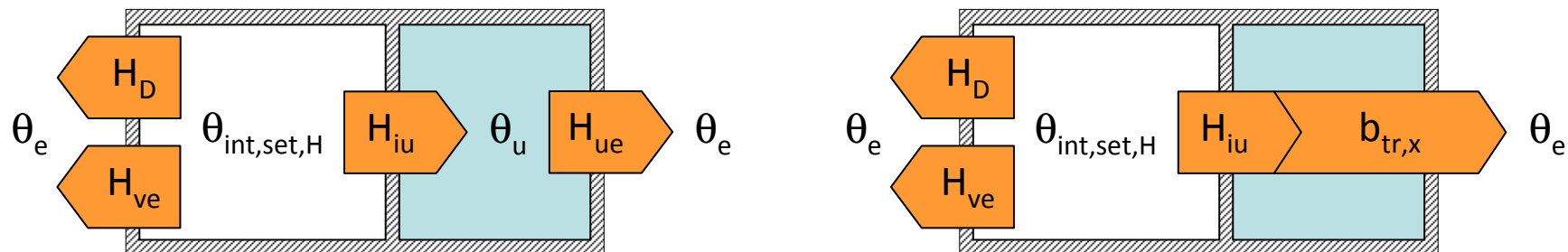
$$H_U = b_{tr,x} H_{iu} \quad [W/K]$$

dove:

$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$ è il fattore di correzione dello scambio termico tra ambienti climatizzato e non climatizzato [0];

H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato [W/K];

H_{ue} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno [W/K].



Sommario

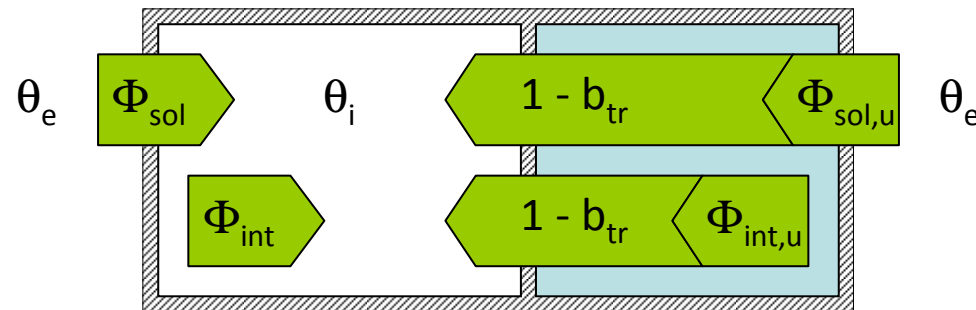
- Il bilancio energetico dell'edificio
- La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione invernale
- Gli scambi termici
- **Gli apporti termici**
- Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790
- Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra

Gli apporti termici

Per descrivere gli **scambi termici** si fa riferimento alla differenza di temperatura tra l'ambiente climatizzato e l'esterno ($\theta_i - \theta_e$) [K] e si esprime l'energia in funzione dei coefficienti di scambio termico $H_{tr,adj}$ e $H_{ve,adj}$ [W/K], cioè dei flussi di calore associati ad una differenza di temperatura unitaria.

Invece, per descrivere gli **apporti termici** l'energia termica deve essere ricondotta ai flussi di calore prodotti dalle sorgenti interne all'ambiente climatizzato Φ_{int} [W] ed ai flussi di origine solare Φ_{sol} [W].

Se l'ambiente climatizzato confina con un **ambiente non climatizzato**, oltre a tali flussi, occorre considerare quelli prodotti dalle sorgenti interne all'ambiente non climatizzato $\Phi_{int,u}$ [W] e quelli di origine solare al suo interno $\Phi_{sol,u}$ [W].



dove:
$$1 - b_{tr} = 1 - \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} = \frac{H_{iu}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad [0].$$

Gli apporti termici

Energia dovuta agli apporti interni [MJ]

$$Q_{\text{int}} = \{ \sum_k \Phi_{\text{int,mn,k}} \} \times t + \{ \sum_\ell (1 - b_{\text{tr},\ell}) \Phi_{\text{int,mn,u},\ell} \} \times t$$

Energia dovuta agli apporti solari [MJ]

$$Q_{\text{sol}} = \{ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \} \times t + \{ \sum_\ell (1 - b_{\text{tr},\ell}) \Phi_{\text{sol,mn,u},\ell} \} \times t$$

dove:

$b_{\text{tr},\ell}$ è il fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna ℓ -esima oppure il flusso termico ℓ -esimo di origine solare [0];

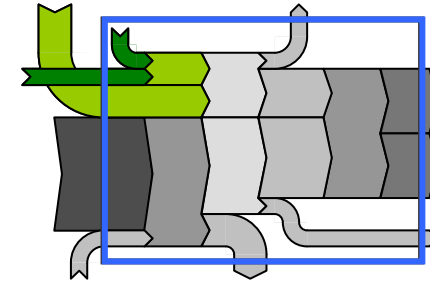
$\Phi_{\text{int,mn,k}}$ è il flusso termico prodotto dalla k -esima sorgente di calore interna, mediato sul tempo [W];

$\Phi_{\text{int,mn,u},\ell}$ è il flusso termico prodotto dalla ℓ -esima sorgente di calore interna all'ambiente non climatizzato adiacente, mediato sul tempo [W];

$\Phi_{\text{sol,mn,k}}$ è il flusso termico k -esimo di origine solare, mediato sul tempo [W];

$\Phi_{\text{sol,mn,u},\ell}$ è il flusso termico ℓ -esimo di origine solare all'interno dell'ambiente non climatizzato adiacente, mediato sul tempo [W];

t è la durata del mese considerato o della frazione di mese [Ms].



Gli apporti termici solari

Energia dovuta agli apporti solari

$$Q_{\text{sol}} = \{ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \} \times t + \{ \sum_{\ell} (1 - b_{\text{tr},\ell}) \Phi_{\text{sol,mn,u},\ell} \} \times t \quad [\text{MJ}]$$

Ciascun componente edilizio che delimita verso l'esterno l'ambiente climatizzato (pedice k) o un ambiente non climatizzato ad esso adiacente (pedice ℓ), è investito da un flusso di calore di origine solare, che si calcola come:

$$\Phi_{\text{sol,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} A_{\text{sol,k}} I_{\text{sol,k}} \quad [\text{W}]$$

dove:

$F_{\text{sh,ob,k}}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k -esima [0];

$A_{\text{sol,k}}$ è l'area di captazione solare effettiva della superficie k -esima con dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato [m^2];

$I_{\text{sol,k}}$ è l'irradianza solare media del mese considerato o della frazione di mese, sulla superficie k -esima, con dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale [W/m^2].

Gli apporti termici solari

Area di captazione solare effettiva di un **componente opaco**:

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh,ob}} A_{\text{sol}} I_{\text{sol}}$$

$$A_{\text{sol}} = \alpha_{\text{sol,c}} R_{\text{se}} U_{\text{c}} A_{\text{c}} \quad [\text{m}^2]$$

dove:

$\alpha_{\text{sol,c}}$ è il fattore di assorbimento solare del componente opaco, che può essere assunto pari a 0.3 per colore chiaro della superficie esterna, 0.6 per colore medio e 0.9 per colore scuro [0];

R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna del componente edilizio, per la quale, secondo la norma UNI EN ISO 6946:2008, si può assumere il valore di 0.04 m²K/W, qualunque sia l'angolo di inclinazione della superficie sul piano orizzontale;

U_{c} è la trasmittanza termica del componente edilizio opaco [W/(m²K)];

A_{c} è l'area proiettata del componente edilizio opaco [m²].

N.B.: il termine $R_{\text{se}} U_{\text{c}} = R_{\text{se}} / R_{\text{T}}$, dove R_{T} è la resistenza termica totale del componente edilizio, rappresenta la caratteristica del componente di trasmettere il flusso di calore di origine solare al suo interno.

Gli apporti termici solari

Area di captazione solare effettiva di un **componente vetrato**:

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh,ob}} A_{\text{sol}} I_{\text{sol}}$$

$$A_{\text{sol}} = F_{\text{sh,gl}} g_{\text{gl}} (1 - F_{\text{F}}) A_{\text{w,p}} \quad [\text{m}^2]$$

dove:

$F_{\text{sh,gl}}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili [0], quali tende o veneziane;

g_{gl} è la trasmittanza di energia solare totale della parte trasparente del componente [0];

F_{F} è la frazione di area relativa al telaio, data dal rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato [0], il cui complemento a 1 è detto fattore di correzione dovuto al telaio;

$A_{\text{w,p}}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato, cioè l'area del vano finestra [m²].

N.B.: nonostante venga denominata trasmittanza, la quantità adimensionale g_{gl} rappresenta il rapporto mediato sul tempo tra l'energia che passa attraverso l'elemento vetrato e quella che incide su di esso.

Gli apporti termici solari

Fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni:

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh,ob}} A_{\text{sol}} I_{\text{sol}}$$

$$F_{\text{sh,ob}} = F_{\text{hor}} \times F_{\text{ov}} \times F_{\text{fin}} \quad [0]$$

dove:

F_{hor} è il fattore di ombreggiatura relativo ad ostruzioni esterne [0];

F_{ov} è il fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti orizzontali [0];

F_{fin} è il fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti verticali [0].

I valori dei tre fattori di ombreggiatura dipendono dalla latitudine, dall'orientamento del componente ombreggiato, dal mese e dalla geometria degli elementi ombreggianti, la quale è sempre riconducibile ad un parametro angolare, che è detto angolo di ombreggiamento.

L'appendice D della UNI/TS 11300-1 riporta i valori dei tre fattori relativi ai dodici mesi dell'anno e riferiti a sei diverse latitudini e corrispondenti a diversi valori dell'angolo di ombreggiamento: a partire da questi valori, per interpolazione lineare o per estrapolazione, si ricava il fattore di ombreggiamento di interesse.

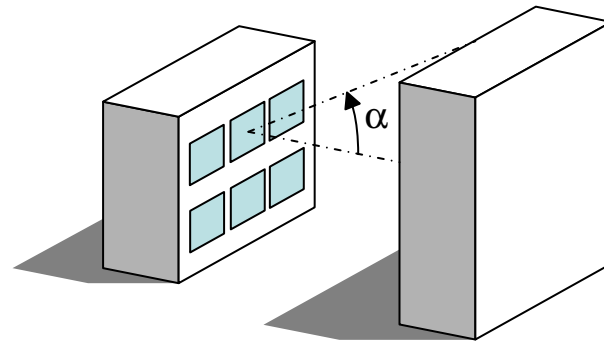
Gli apporti termici solari

Fattore di ombreggiatura relativo ad **ostruzioni esterne**, F_{hor} :

- tiene conto dell'effetto di ombreggiatura permanente risultante da altri edifici e/o dalla topografia del sito (ad esempio alture e alberi)

$$\Phi_{sol} = F_{sh,ob} A_{sol} I_{sol}$$

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$



- per il mese di gennaio, il prospetto D.1 della UNI/TS 11300-1 fornisce:

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10°	0.97	0.86	0.83	0.95	0.85	0.83	0.94	0.83	0.83	0.93	0.81	0.83	0.91	0.8	0.83	0.88	0.76	0.83
20°	0.85	0.67	0.67	0.82	0.65	0.67	0.77	0.63	0.67	0.7	0.6	0.67	0.59	0.58	0.67	0.47	0.54	0.67
30°	0.46	0.47	0.52	0.34	0.45	0.52	0.25	0.44	0.52	0.15	0.44	0.52	0.09	0.44	0.52	0.05	0.39	0.52
40°	0.05	0.37	0.38	0.05	0.33	0.38	0.05	0.3	0.38	0.05	0.27	0.38	0.05	0.23	0.38	0.04	0.21	0.38

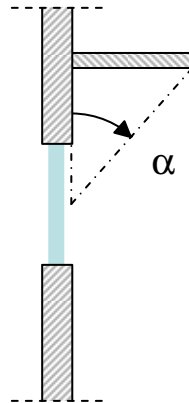
Gli apporti termici solari

Fattore di ombreggiatura relativo ad **aggetti orizzontali**, F_{ov} :

- tiene conto dell'effetto di ombreggiatura permanente risultante da aggetti orizzontali (ad esempio tettoie, brise-soleil, balconi)

$$\Phi_{sol} = F_{sh,ob} A_{sol} I_{sol}$$

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$



- per il mese di gennaio, il prospetto D.13 della UNI/TS 11300-1 fornisce:

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30°	0.85	0.85	0.8	0.86	0.85	0.8	0.87	0.86	0.8	0.88	0.87	0.8	0.89	0.87	0.8	0.9	0.88	0.8
45°	0.77	0.8	0.72	0.78	0.81	0.72	0.8	0.81	0.72	0.81	0.83	0.72	0.82	0.83	0.72	0.84	0.85	0.72
60°	0.66	0.77	0.65	0.68	0.77	0.65	0.7	0.78	0.65	0.72	0.8	0.65	0.74	0.81	0.65	0.77	0.83	0.65

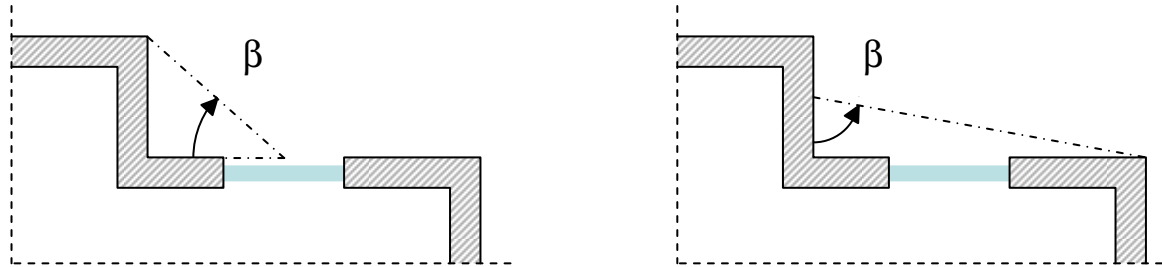
Gli apporti termici solari

Fattore di ombreggiatura relativo ad **aggetti verticali**, F_{fin} :

- tiene conto dell'effetto di ombreggiatura permanente risultante da aggetti verticali (ad esempio brise-soleil, pareti perpendicolari al componente in esame)

$$\Phi_{sol} = F_{sh,ob} A_{sol} I_{sol}$$

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$



- per il mese di gennaio, il prospetto D.25 della UNI/TS 11300-1 fornisce:

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30°	0.91	0.73	0.89	0.92	0.72	0.89	0.92	0.72	0.89	0.92	0.71	0.89	0.92	0.7	0.89	0.92	0.68	0.89
45°	0.86	0.6	0.85	0.86	0.59	0.85	0.86	0.59	0.85	0.87	0.57	0.85	0.87	0.56	0.85	0.87	0.54	0.85
60°	0.79	0.46	0.8	0.79	0.46	0.8	0.8	0.45	0.8	0.8	0.43	0.8	0.8	0.42	0.8	0.8	0.38	0.8

Sommario

- Il bilancio energetico dell'edificio
- La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- Gli scambi termici
- Gli apporti termici
- **Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790**
- Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra

Apporti termici attraverso una serra solare

La specifica tecnica UNI/TS 11300-1:2008 accenna alle serre solari nell'ambito del calcolo degli **apporti solari attraverso ambienti non climatizzati** ed indica per esse la necessità di considerare tali apporti, dati da:

$$Q_{\text{sol,u}} = (1 - b_{\text{tr}}) \left\{ \sum_{\ell} \Phi_{\text{sol,mn,u},\ell} \right\} \times t \quad [\text{MJ}]$$

In quanto ambienti non climatizzati, le serre sono da intendersi separate dall'ambiente climatizzato adiacente da una parete divisoria, la quale trasferisce all'interno sia il calore di origine solare che incide direttamente su di essa attraverso la parte vetrata dell'involucro della serra (**apporti diretti**, Q_{sd}), sia il calore che incide su altre superfici opache della serra, si accumula in quest'ultima, e viene dunque trasferito indirettamente all'interno, parzialmente, attraverso la stessa parete di separazione (**apporti indiretti**, Q_{si}).

Il metodo di calcolo degli apporti solari diretti e indiretti è contenuto nell'appendice E della norma UNI EN ISO 13790:2008 secondo cui l'apporto termico solare entrante nell'ambiente climatizzato attraverso la serra è pari a:

$$Q_{\text{ss}} = Q_{\text{sd}} + Q_{\text{si}} \quad [\text{MJ}]$$

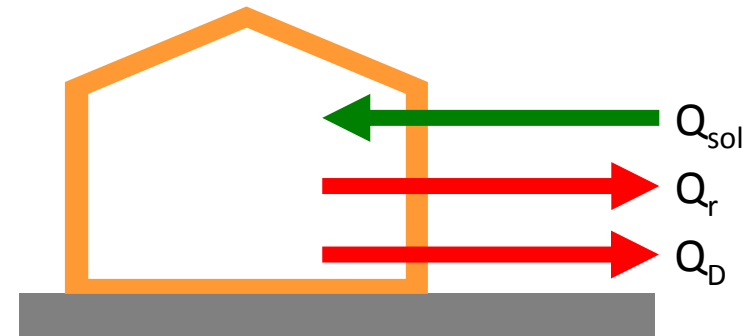
La variazione del bilancio energetico in presenza di una serra solare

Una parete che delimita un ambiente climatizzato verso l'esterno, **disperde** verso l'esterno e verso la volta celeste e **riceve** un apporto termico solare, nella misura:

$$Q_D = H_D \times (\theta_{\text{int,set,H}} - \theta_e) \times t \quad [\text{MJ}]$$

$$Q_r = \left\{ \sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k} \right\} \times t \quad [\text{MJ}]$$

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right\} \times t \quad [\text{MJ}]$$

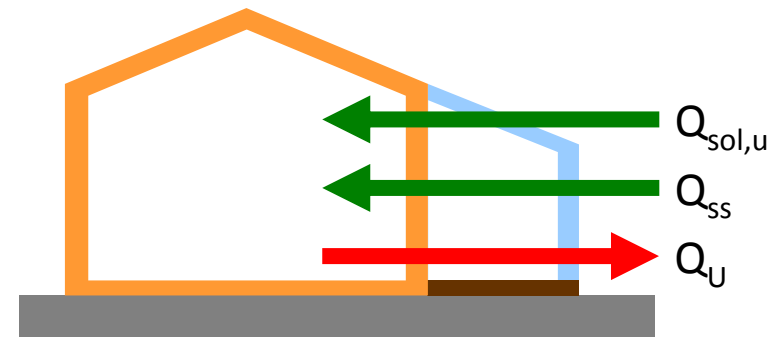


La stessa parete, in presenza di serra, **disperde** verso la serra e **riceve** un apporto solare attraverso di essa, tanto in termini di spazio non climatizzato, che a causa delle peculiarità della serra, secondo le quantità:

$$Q_U = H_U \times (\theta_{\text{int,set,H}} - \theta_e) \times t \quad [\text{MJ}]$$

$$Q_{\text{sol,u}} = (1 - b_{\text{tr}}) \left\{ \sum_{\ell} \Phi_{\text{sol,mn,u},\ell} \right\} \times t \quad [\text{MJ}]$$

$$Q_{\text{ss}} = Q_{\text{sd}} + Q_{\text{si}} \quad [\text{MJ}]$$



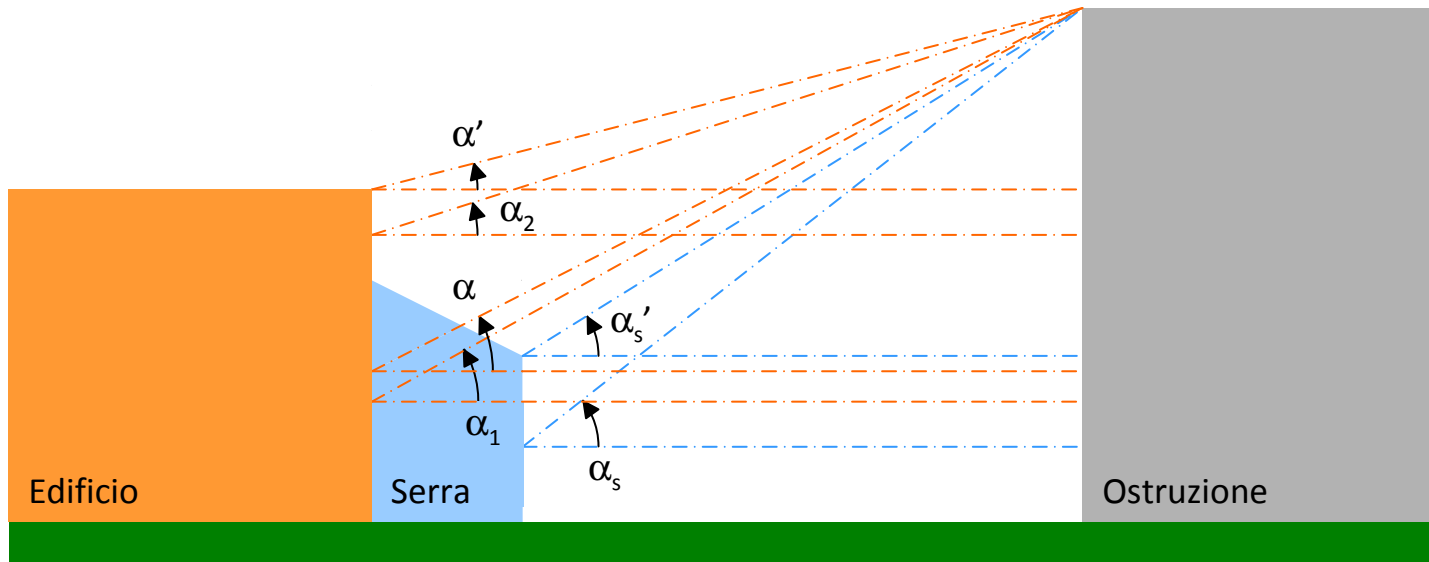
Riduzione degli apporti solari in presenza di ostruzioni

Ciascun componente edilizio che delimita verso l'esterno l'ambiente climatizzato o un ambiente non climatizzato ad esso adiacente, è investito da un flusso di calore di origine solare, che si calcola come:

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh,ob}} A_{\text{sol}} I_{\text{sol}} = (F_{\text{hor}} \times F_{\text{ov}} \times F_{\text{fin}}) A_{\text{sol}} I_{\text{sol}} \quad [\text{W}]$$

Per **superfici verticali**, l'effetto di una ostruzione, descritto attraverso un angolo α , riduce il coefficiente F_{hor} secondo quanto indicato dalla UNI/TS 11300-1;

Per **superfici comunque inclinate**, l'effetto di una ostruzione, descritto attraverso un angolo α' , riduce l'irradianza I_{sol} secondo quanto indicato dalla UNI/TR 11328-1.



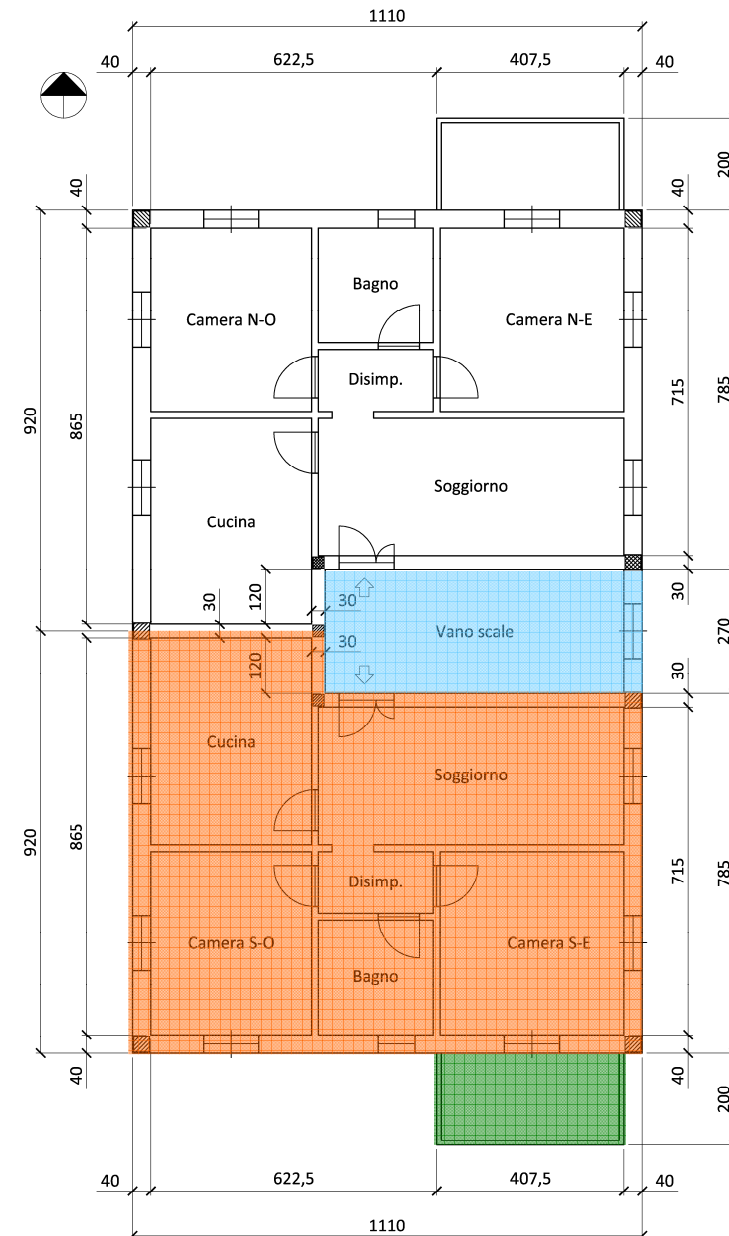
Sommario

- Il bilancio energetico dell'edificio
- La procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- Gli scambi termici
- Gli apporti termici
- Il calcolo di una serra solare secondo la norma internazionale UNI EN ISO 13790
- **Esempi ed applicazioni mediante il software in-serra**

Esempio n. 1

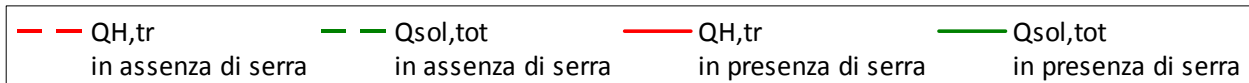
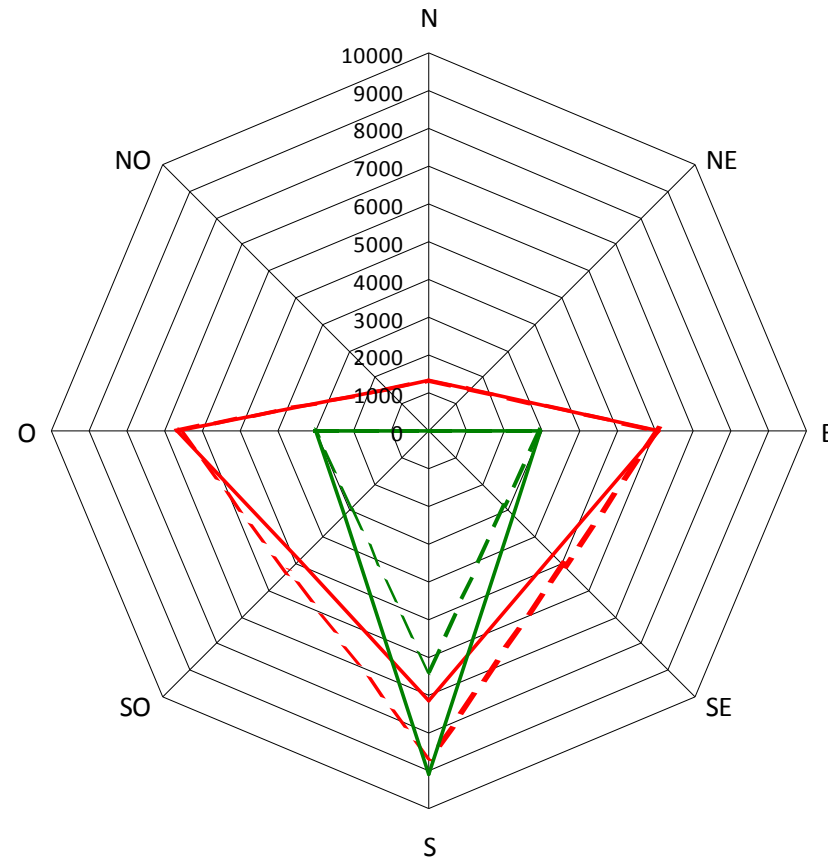
Appartamento al secondo piano di un edificio residenziale sito in Roma costruito negli anni sessanta, così caratterizzato:

- $A_f = 75.3 \text{ m}^2$
- $h_n = 3 \text{ m}$
- Trasmittanza pareti perimetrali (cassa vuota) verso esterno e verso vano scale:
 $U_p = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Trasmittanza infissi (vetro singolo):
 $U_w = 4.9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Sul fronte Sud è presente un balcone che si vuole chiudere per realizzare una serra solare avente 3 pareti verticali vetrate con $U_w = 2.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (doppio vetro normale) ed un soffitto opaco $U_p = 1.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ costituito dal balcone dell'appartamento superiore.



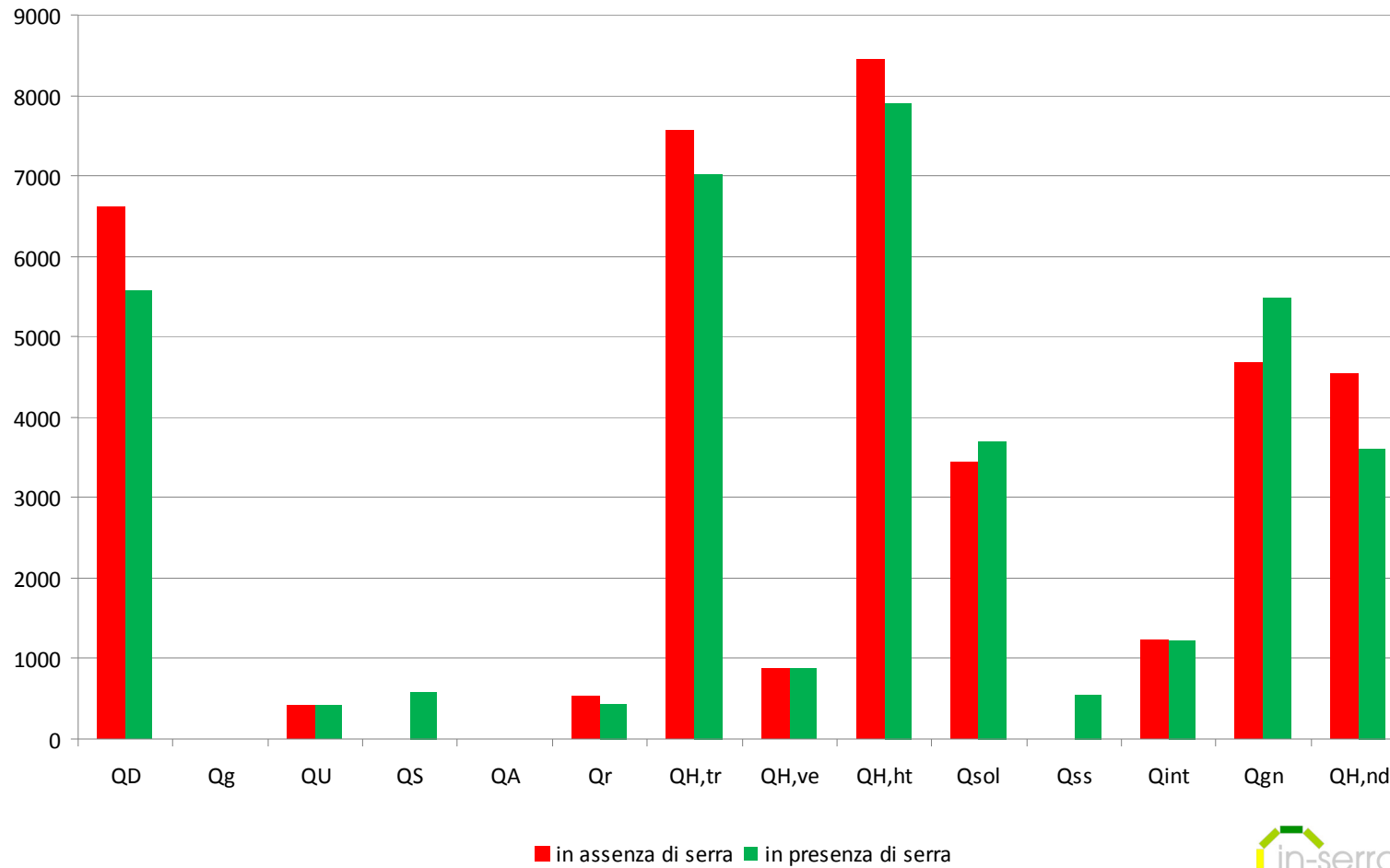
Esempio n. 1

Scambi termici per trasmissione ed apporti solari attraverso le superfici verticali opache e trasparenti e la serra, raggruppate per esposizione [MJ]



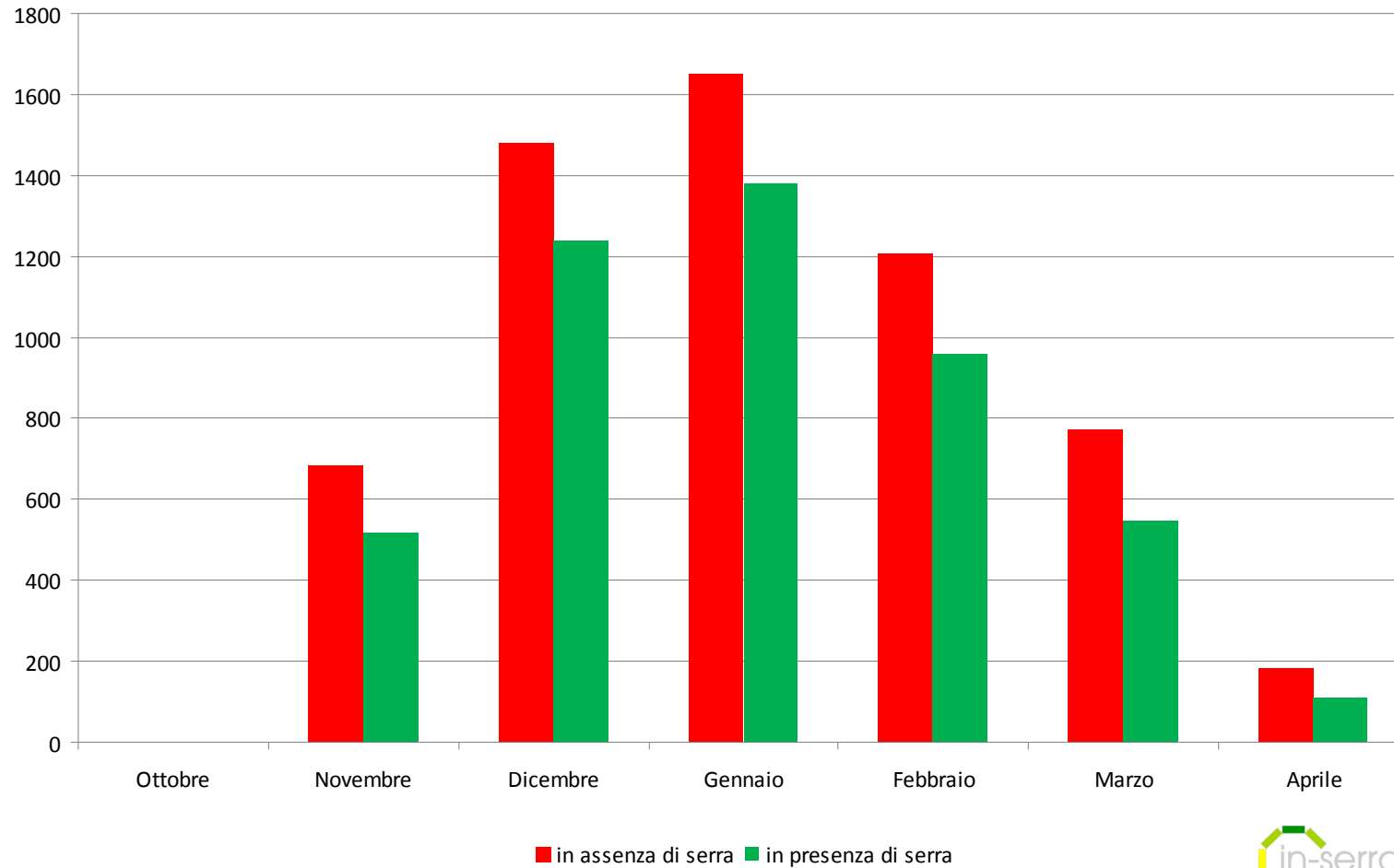
Esempio n. 1

Scambi termici ed apporti termici nella stagione di riscaldamento [kWh]



Esempio n. 1

Fabbisogni mensili di energia primaria per riscaldamento [kWh]



Esempio n. 1

Classificazione energetica relativa alla prestazione energetica per la climatizzazione invernale

Classe	da [kWh/m ² anno]	a [kWh/m ² anno]	in assenza di serra [kWh/m ² anno]	in presenza di serra [kWh/m ² anno]
Ai+		7,72		
Ai	7,72	15,44		
Bi	15,44	23,15		
Ci	23,15	30,87		
Di	30,87	38,59		
Ei	38,59	54,03		
Fi	54,03	77,18		Fi: 63,14
Gi	77,18		Gi: 79,32	

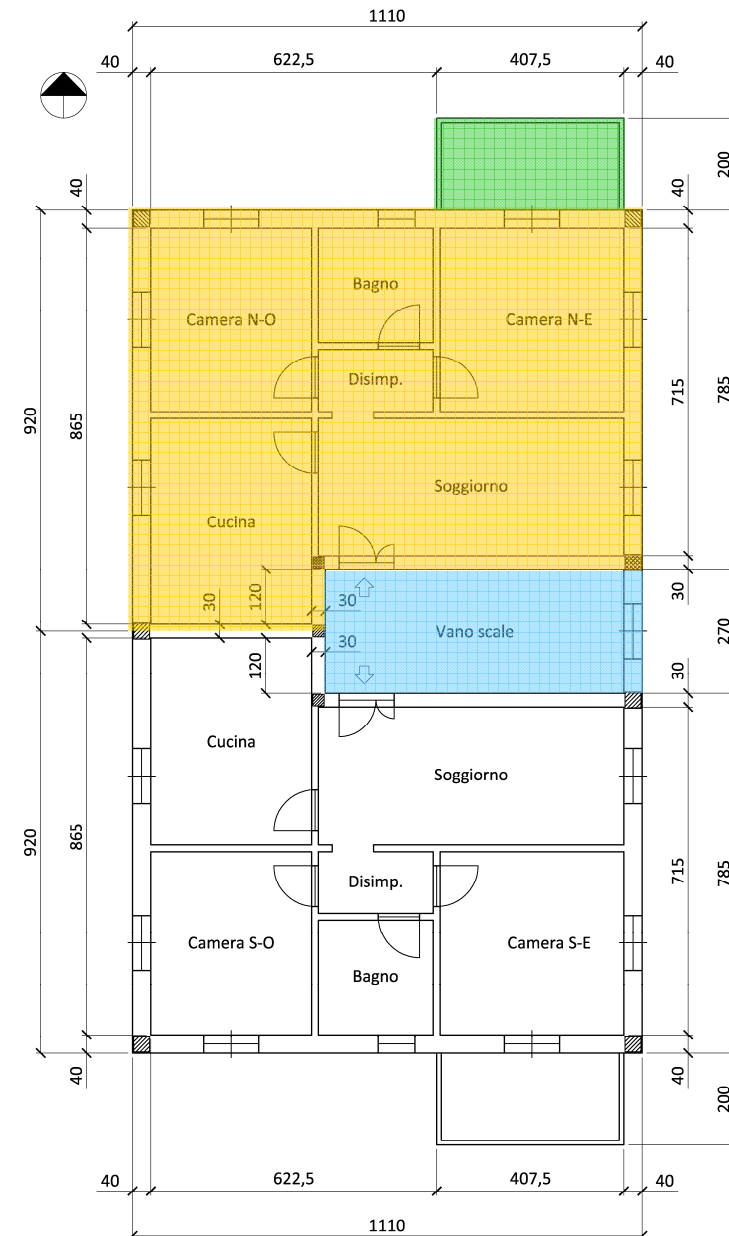


La realizzazione della serra solare **a Sud** determina una riduzione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dal valore $E_{Pi} = 79,32$ kWh/(m²anno) al valore $E_{Pi} = 63,14$ kWh/(m²anno), corrispondente ad una riduzione del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale pari al **-20,4 %**.

Esempio n. 2

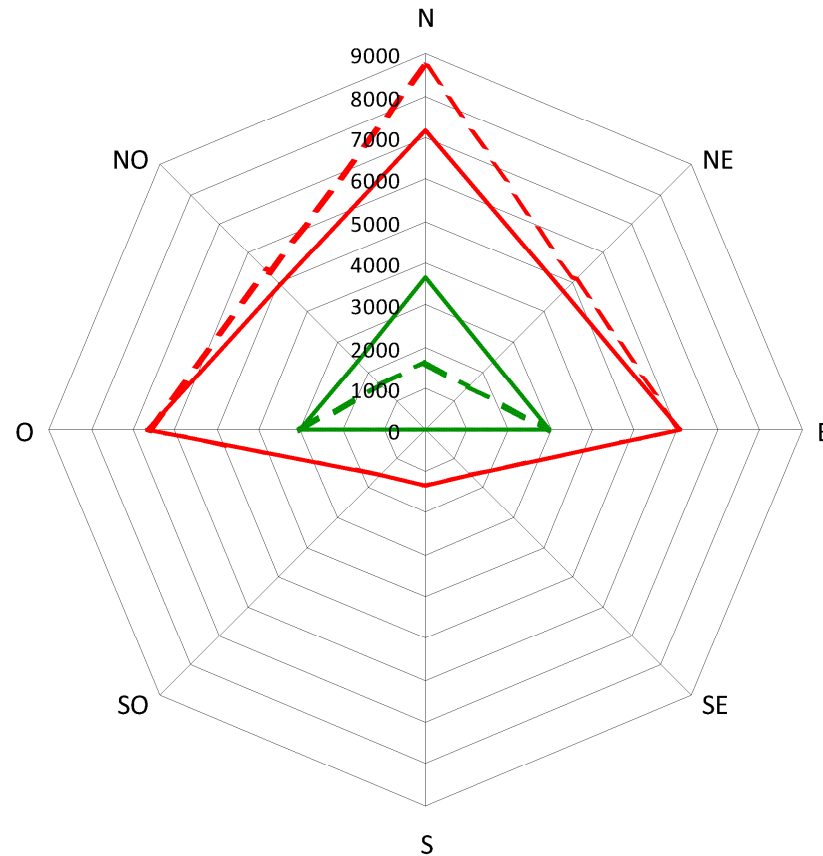
Appartamento al secondo piano di un edificio residenziale sito in Roma costruito negli anni sessanta, così caratterizzato:

- $A_f = 75.3 \text{ m}^2$
- $h_n = 3 \text{ m}$
- Trasmittanza pareti perimetrali (cassa vuota) verso esterno e verso vano scale:
 $U_p = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Trasmittanza infissi (vetro singolo):
 $U_w = 4.9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Sul fronte Nord è presente un balcone che si vuole chiudere per realizzare una serra solare avente 3 pareti verticali vetrate con $U_w = 2.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (doppio vetro normale) ed un soffitto opaco $U_p = 1.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ costituito dal balcone dell'appartamento superiore.



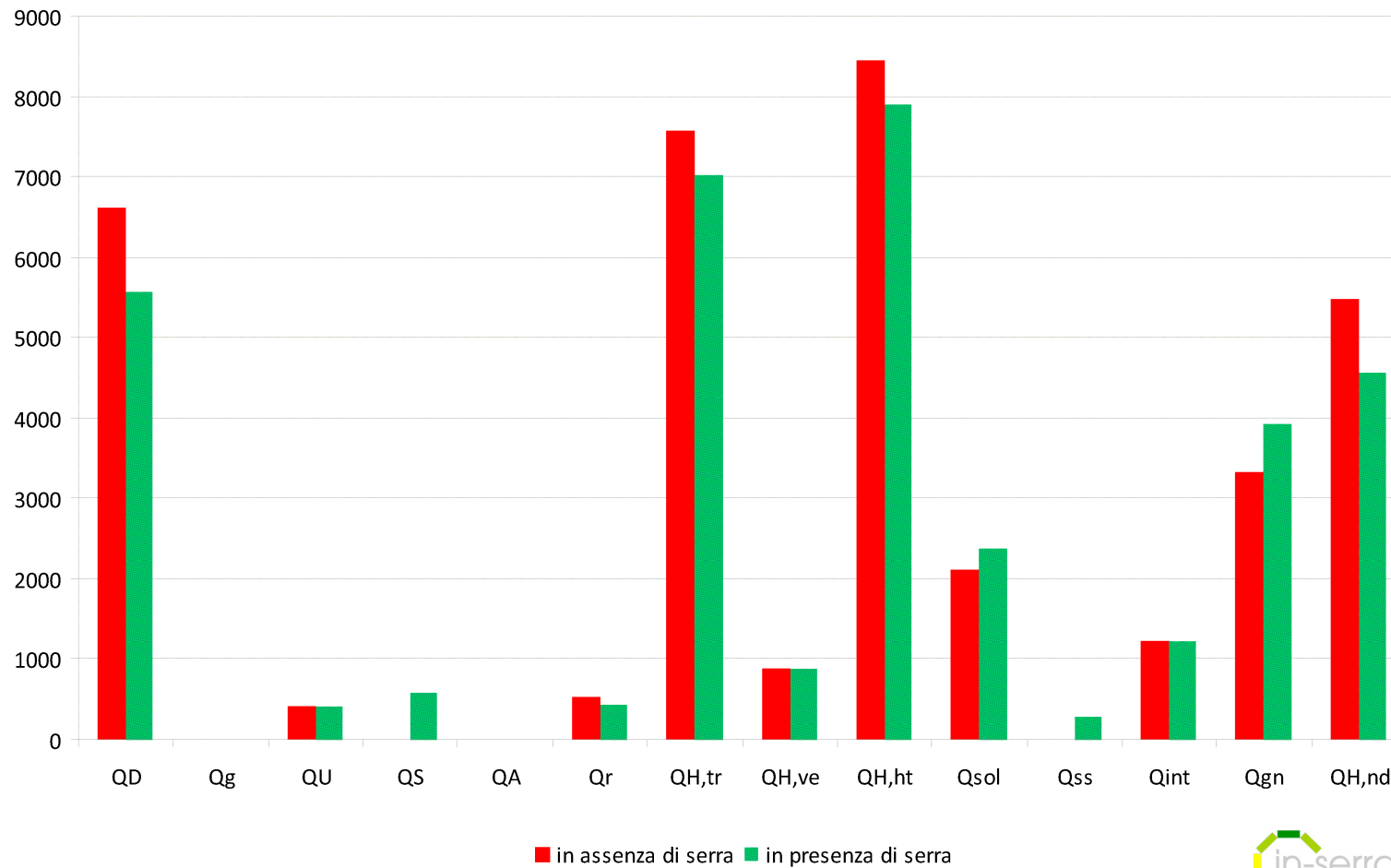
Esempio n. 2

Scambi termici per trasmissione ed apporti solari attraverso le superfici verticali opache e trasparenti e la serra, raggruppate per esposizione [MJ]



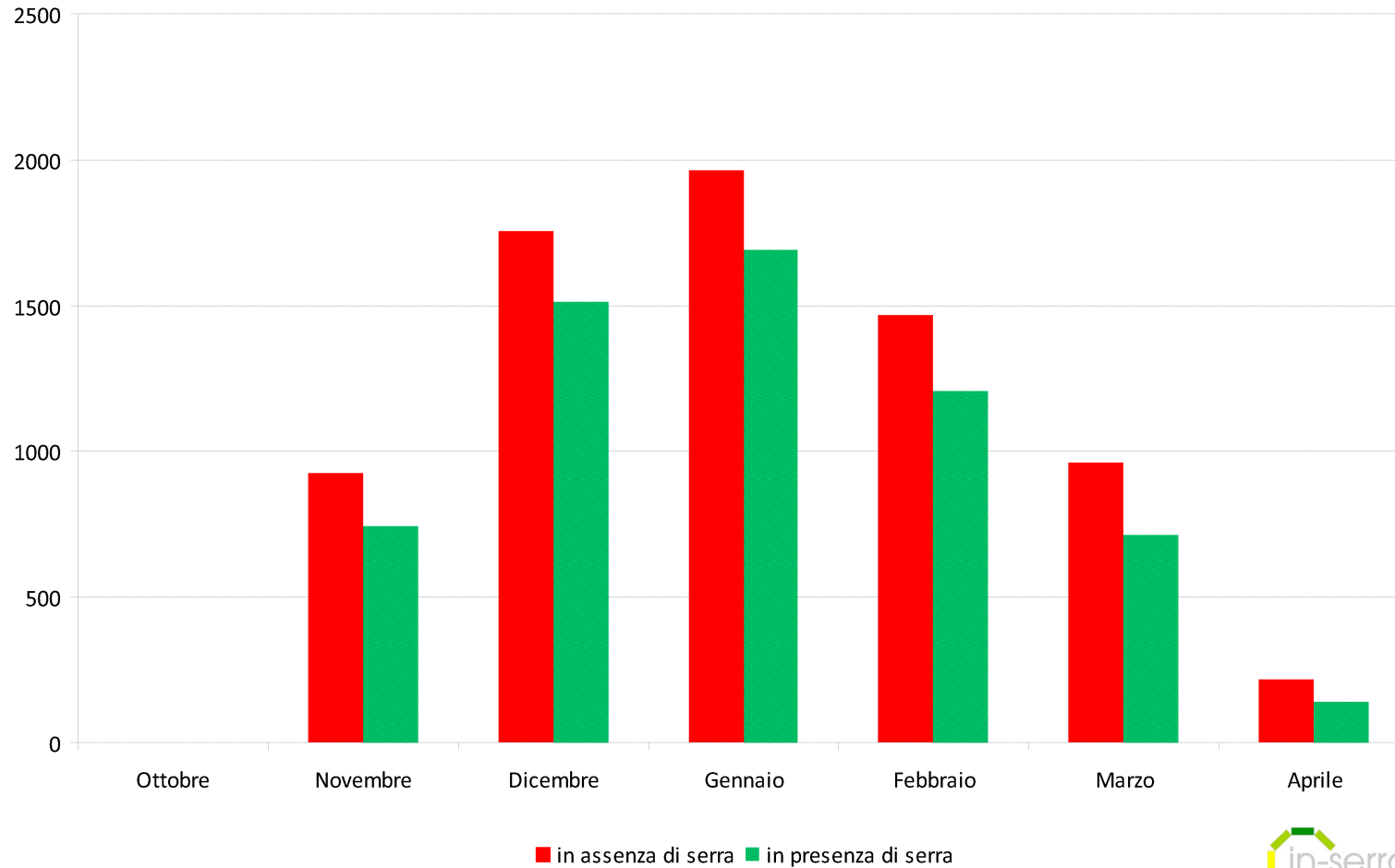
Esempio n. 2

Scambi termici ed apporti termici nella stagione di riscaldamento [kWh]



Esempio n. 2

Fabbisogni mensili di energia primaria per riscaldamento [kWh]



Esempio n. 2

Classificazione energetica relativa alla prestazione energetica per la climatizzazione invernale

Classe	da [kWh/m ² anno]	a [kWh/m ² anno]	in assenza di serra [kWh/m ² anno]	in presenza di serra [kWh/m ² anno]
Ai+		7,72		
Ai	7,72	15,44		
Bi	15,44	23,15		
Ci	23,15	30,87		
Di	30,87	38,59		
Ei	38,59	54,03		
Fi	54,03	77,18		
Gi	77,18		Gi: 96,83	Gi: 79,87



La realizzazione della serra solare **a Nord** determina una riduzione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dal valore $E_{Pi} = 96,83$ kWh/(m²anno) al valore $E_{Pi} = 79,87$ kWh/(m²anno), corrispondente ad una riduzione del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale pari al **-17,5 %**.

Grazie per l'attenzione