

Edilizia sostenibile



Ing. Giuseppe Mosca

Premessa

La cultura ambientalista ormai fa parte integrante della edilizia non solo della legislazione ma anche della pratica costruttiva, tutti parlano di cambiamento climatico emissioni di carbonio, fonti di energia rinnovabile che sono diventate dei veri e propri affari economici visti gli incentivi dello stato italiano e della Europa,. Oggi quando si costruisce una casa l'obiettivo è quello di renderla autosufficiente energeticamente ovvero non si devono pagare bollette ogni due mesi per il riscaldamento e la corrente elettrica, e con impianto di raccolta delle acque piovane si può minimizzare anche la bolletta dell'acqua. Accanto alla sostenibilità energetica vi è la sostenibilità dei materiali utilizzati del sistema costruttivo e della sua resistenza alle azioni sismiche utilizzando blocchi cassero in legno cemento, polistirolo, casseri modulari in plastica o polistirolo. Tali trasformazioni edilizie associate ad una buona architettura e finitura delle facciate apportano un miglioramento sia al paesaggio naturale che urbano migliorando la qualità urbana e la condizione di vita prevenendo il degrado sociale urbano la marginalità e la devianza microriminale. Anche queste pagine saranno oggetto di approfondimento e miglioramento utilizzando altri sistemi costruttivi, ovviamente per la edilizia in legno la sostenibilità ambientale è sottintesa. Visti i recenti eventi sismici e i danni arrecati ai nodi trave pilastri e tamponature ormai è di obbligo costruire un nuovo edificio o casa con la tecnica costruttiva del blocco cassero della muratura armata in terra cruda, laterizio, cls leggero e in legno.

Castel di Sangro

Ing. Giuseppe Masca

Indice

1- Gli edifici con blocco cassero

2- Le case in terra cruda

3-Le case di paglia

*4- La direttiva “**Case Green**”*

5- Le facciate ventilate

6- La condensa e la muffa

7- Il pannello Bcore

8- Edifici in EPS armato

9- Le case passive e gli edifici NZEB

10-Le fonti di energia rinnovabile

Edifici con blocchi cassero

1 - Introduzione

2- I blocchi in legno cemento

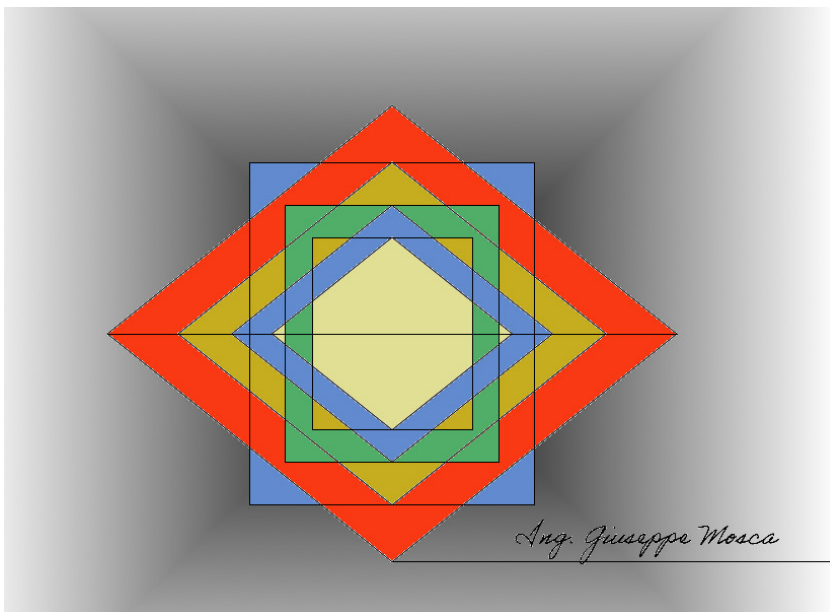
3- I blocchi cassero in EPS

4- La verifica della parete e del solaio

5- La modellazione FEM di un edificio con blocchi cassero

6- Le prescrizioni anticendio

7-Conclusioni



Ing. Giuseppe Mosca



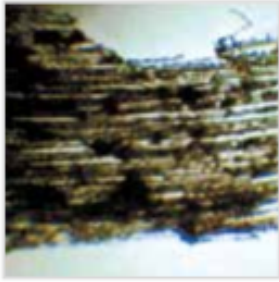
N.B. Mi scuso a priori di eventuali imprecisioni o errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti

1 - Introduzione

Gli edifici con blocchi cassero, sono degli edifici realizzati attraverso dei blocchi che hanno la funzione di casseforme all'interno dei quali viene praticato un getto di calcestruzzo in modo da ottenere delle pareti estese debolmente armate. Vengono assemblati e posti in opera come una normale muratura predisponendo le armature orizzontali e verticali della parete, sono muniti di opportuno strato di isolamento termico in modo che una volta costruita la parete esterna risponde alle richieste imposte dalla normativa per quanto concerne la trasmittanza termica dei componenti opachi. Solitamente viene costruita soltanto la parete perimetrale del nostro edificio per avere della libertà distributiva vengono predisposti dei pilastri di cemento armato intermedi, per cui la struttura è mista ovvero pareti di calcestruzzo perimetrali alle quali viene demandato il compito di assorbire le azioni sismiche orizzontali e pilastri interni con travi a spessore di solaio che supportano i carichi verticali. Una evoluzione di questo sistema è la tamponatura collaborante ovvero viene costruita una intelaiatura in cemento armato con compagni in blocco cassero, per cui la tamponatura strutturalmente è una parete di cemento armato e non si hanno problematiche di espulsione delle tamponature o di danni in occasione di eventi sismici. Forse questa rappresenta la migliore soluzione strutturale per edifici intelaiati in cemento armato avendo cura di realizzare le tamponature perimetrali non a struttura finita ma contemporaneamente al getto dei pilastri e dei cordoli trave di solaio. In Italia i blocchi cassero più utilizzati sono quelli in **LEGNO CEMENTO** e quelli in **EPS** che rispondono ai criteri della bioedilizia, il blocco è modulare ma la progettazione non necessariamente deve rispondere a criteri di modularità poiché i blocchi cassero possono essere tagliati ed assemblati per qualsiasi caratteristica geometrica dimensionale del nostro edificio. Con questi sistemi costruttivi si possono realizzare anche edifici con elevato numero di piani 10-15 poiché le pareti di calcestruzzo hanno una elevata resistenza alle azioni sismiche sono molto rigide e gli spostamenti di interpiano sono ridotti. Una struttura PEDa è di per sé una struttura poco deformabile per la quale i coefficienti di comportamento sono molto bassi $q = 1,5 \div 2$ si intuisce quindi come soprattutto in zone ad elevata sismicità $A_g = 2,7 \div 3 \text{ m/sec}^2$ sia elevato il valore delle azioni orizzontali e quindi dei taglianti di piano anche in funzione delle masse strutturali. Per edifici residenziali, villette a 2-3 piani il sistema costruttivo con tamponatura collaborante in zone ad elevata sismicità è sicuramente da consigliare poiché si ottiene un telaio spaziale in c.a. con dimensione degli elementi strutturali contenute (25x25,30x30 per i pilastri) e delle tamponature che in occasione di eventi sismici non si danneggiano oltre che gli innegabili vantaggi derivanti dalla bioedilizia attraverso l'uso di blocchi cassero in legno cemento o in EPS. È evidente che l'utilizzo di questi sistemi costruttivi contrasta con le tecniche costruttive tradizionali locali per la presenza di aziende di materiali da costruzione dislocate nel territorio, vi sono costi legati al trasporto dei materiali ed è difficile da parte del progettista modificare la mentalità del committente (anche se i vantaggi sono evidenti) che ha visto nel suo territorio sempre la costruzione di edifici in cemento armato con struttura intelaiata e tamponature di laterizio.

2- I blocchi in legno cemento

Il blocco in legno cemento è composto da legno di abete e cemento Portland ; il legno di abete proviene dagli scarti di falegnameria quindi non si tagliano alberi per la produzione di questi blocchi dove il legno viene mineralizzato con l'impiego di minerale naturale che lo rende inerte e quindi resistente al fuoco ed agli agenti atmosferici. Nel blocco cassero viene inserito dell'isolante termico ottenuto per stampata in modo che la parete una volta posta in opera soddisfi i requisiti di trasmittanza termica richiesti dalla normativa.



legno cemento



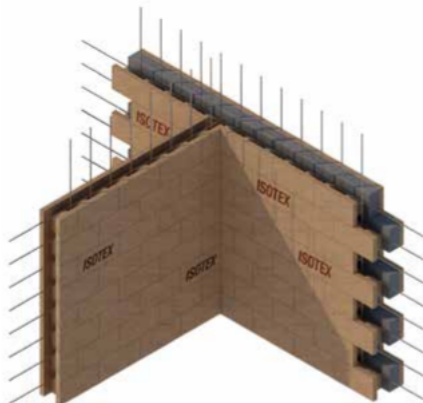
Blocco HDIII 38/14 con grafite
BASF per pareti portanti esterne



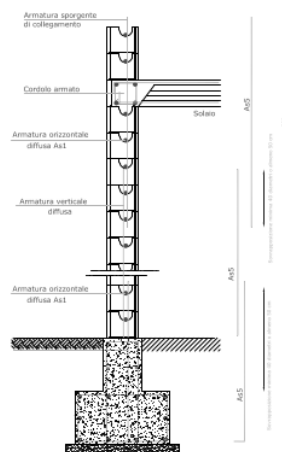
Blocco HB 25/16 per pareti
portanti interne

blocco cassero

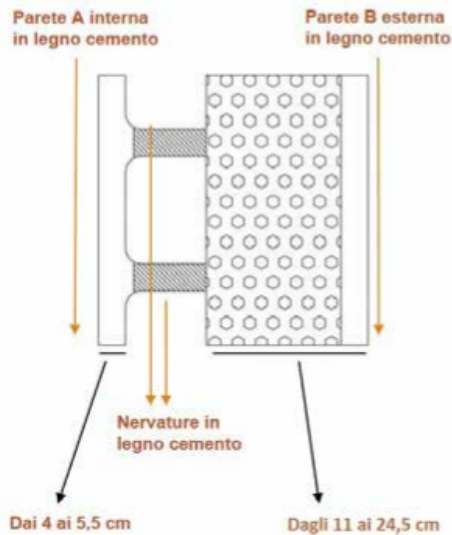
I blocchi cassero vengono messi in opera a secco viene predisposta della armatura verticale ed orizzontale all'interno viene eseguito il getto di calcestruzzo in modo da ottenere strutturalmente una parete in cemento armato il cui spessore dipende dalle dimensioni del blocco ovviamente dal numero dei piani del nostro edificio , lo spessore minimo è 15 cm per altezza di interpiano pari a 300 cm.



Schema armature verticali e orizzontali
con passo 25 cm.



La parete non è continua ovvero la presenza del legno cemento nel blocco cassero crea dei vuoti per cui la parete è concepita come un graticcio di correnti orizzontali e verticali in calcestruzzo armato molto ravvicinati ; si potrebbe pensare di irrigidire il blocco ovvero conferire alle nervature in legno cemento adeguata resistenza meccanica e rigidezza in modo che possa essere omogeneizzato nella parete di calcestruzzo senza far riferimento come stabilisce la normativa ad una sezione efficace di calcestruzzo.



Esistono differenti tipologie di blocchi per pareti portanti esterne , dove in funzione dello spessore di isolante termico viene definito lo spessore della nostra parete Sp/Si ai quali corrispondono differenti valori della trasmittanza termica



HDIII 30/7 Grafite - $U=0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$



HDIII 33/10 Grafite - $U=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$



HDIII 38/12 Sughero - $U=0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$



HDIII 38/14 Grafite - $U=0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$



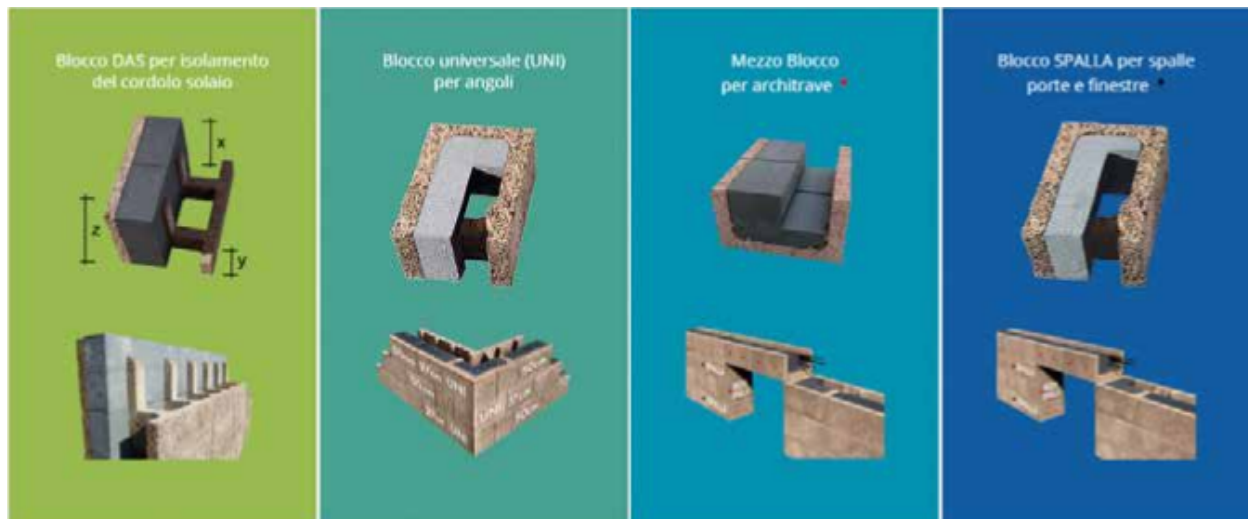
HDIII 44/20 Grafite - $U=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

Scegli il tuo blocco in base alla **zona climatica** (per nuove costruzioni)

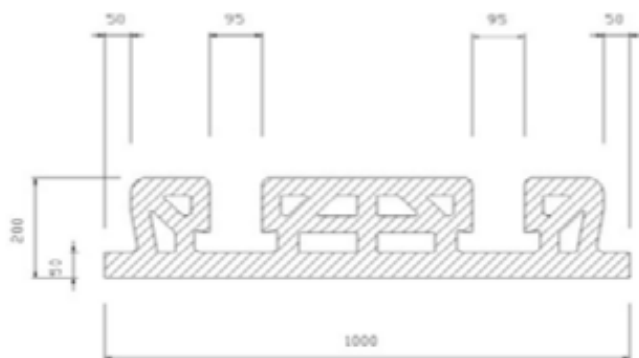
Zona climatica	Strutture opache verticali (U rif in $\text{W/m}^2\text{K}$)	
	Dal 1 Ottobre 2015	Dal 1 Gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

I blocchi cassero in cantiere possono essere tagliati ed assemblati in modo da rispondere alle esigenze dimensionali del nostro edificio; esistono anche pezzi speciali per

gli architravi gli angoli ect per la eliminazione dei ponti termici



Anche per i solai vi sono dei blocchi cassero in legno cemento , senza tralicci di armatura , è un cassero a perdere dove viene predisposta la armatura inferiore dei travi , la armatura superiore agli appoggi e viene realizzata una soletta in calcestruzzo dello spessore di 5 cm; nella carpenteria di solaio vengono inserite le travi a spessore , le fasce piene e semipiene e può essere eseguito il getto di calcestruzzo. Il cassero è autoportante non necessita di tavolato inferiore vanno inseriti dei puntelli ad interasse di 1,50 ÷ 2,00 m per sostenere il solaio nella fase di getto.



lo spessore del solaio oscilla in funzione della luce dai 20 ai 39 cm.

Solai per piani intermedi



Solaio S20 - $U=0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$



Solaio S25 - $U=0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$

Solai su ambienti freddi e di copertura



Solaio S30 - $U=0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$



Solaio S39 - $U=0,24 - 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

3- I blocchi cassero in EPS

Il blocco cassero è costituito da 2 lastre di neopor rese solidali da staffe in lamiera di acciaio zincato inglobate nel polistirene di lunghezza variabile e spessore differenziato, blocchi posti in opera a secco all'interno dei quali tramite la disposizione di armature orizzontali e verticali viene realizzata una parete di calcestruzzo continua dello spessore variabile da 16,5 cm a 21 cm, per cui è possibile costruire edifici a pareti anche con elevato numero di piani. Riportiamo le caratteristiche dei blocchi cassero

Tabella dimensionale Elemento Base Argisol per pareti in cls da 16,5cm.

Tipo Argisol	sp. cassero interno [mm]	sp. struttura in cls [mm]	sp. cassero esterno [mm]	sp. totale [mm]	altezza elemento [mm]	lunghezza elemento [mm]
Argisol 30/16.5	62	165	73	300	300	1200
Argisol 35/16.5	62	165	123	350	300	1200
Argisol 40/16.5	62	165	173	400	300	1200

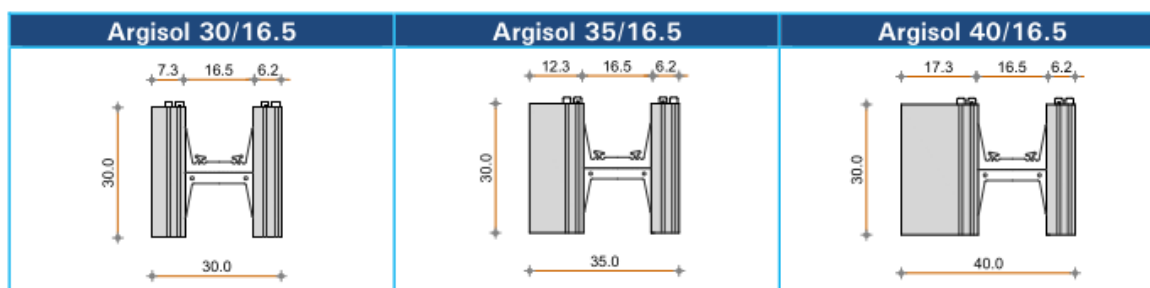
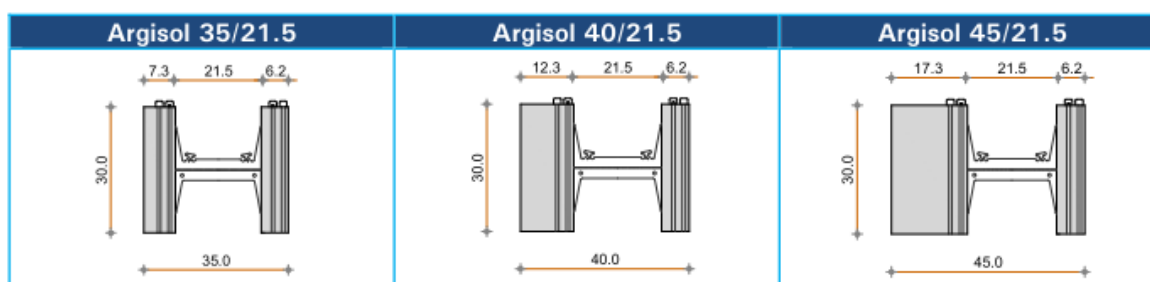


Tabella dimensionale Elemento Base Argisol per pareti in cls da 21,5cm.

Tipo Argisol	sp. cassero interno [mm]	sp. struttura in cls [mm]	sp. cassero esterno [mm]	sp. totale [mm]	altezza elemento [mm]	lunghezza elemento [mm]
Argisol 30/21.5	62	215	73	350	300	1200
Argisol 35/21.5	62	215	123	400	300	1200
Argisol 40/21.5	62	215	173	450	300	1200



Con i vari elementi si ottengono pareti portanti finite aventi spessori variabile da 25/30/35/40/45 cm realizzate con un getto di calcestruzzo in unica soluzione previo inserimento di una maglia definita di armatura orizzontale e verticale; la normativa italiana impone che lo spessore della parete non deve essere minore del doppio dell'altezza di interpiano ovvero ad una parete di 15 cm deve corrispondere un interpiano di 3 m, per cui si hanno due tipologie di pareti da 16,5 cm e 21 cm. E' evidente che lo spessore è quello risultante dai calcoli strutturali funzione del numero di piani del nostro edificio. I valori della trasmittanza termica della nostra parete oscillano tra $0,13 \div 0,27 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$. funzione dello spessore delle lastre di Neopor.

sezione verticale rappresentativa della parete	tipologia parete	U [W/mqK]	H raggiungibile [m]
	Argisol 30/16.5	0.22	3.30
	Argisol 35/16.5	0.16	
	Argisol 40/16.5	0.13	
	Argisol 35/21.5	0.22	4.30
	Argisol 40/21.5	0.16	
	Argisol 45/21.5	0.13	
	Argisol 25/14.0	0.27	2.80
	Argisol 30/14.0	0.19	
	Argisol 35/14.0	0.15	

Oltre il blocco base vi sono dei blocchi di varia forma che si adattano per architravi, angoli, elementi a T blocchi di chiusura in modo che l'edificio possa essere completato in ogni sua parte; anche questa tipologia di struttura è mista ovvero la parete realizzata con cassero è quella perimetrale, all'interno vengono disposti dei pilastri in cemento armato per questioni di libertà distributiva, che sopportano i soli carichi verticali, mentre alla parete estesa debolmente armata viene demandato l'assorbimento delle azioni sismiche orizzontali. Riportiamo i valori della trasmittanza termica U della parete finita

□ Tabella riassuntiva delle caratteristiche termiche della parete.

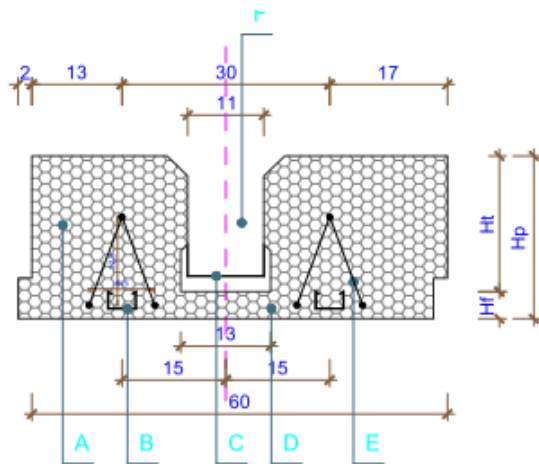
ARGISOL 30/16.5 U = 0.22 W/mqK sfasamento = 7h 53'	ARGISOL 35/16.5 U = 0.16 W/mqK sfasamento = 8h 33'	ARGISOL 40/16.5 U = 0.13 W/mqK sfasamento = 9h 31'
ARGISOL 35/21.5 U = 0.22 W/mqK sfasamento = 8h 50'	ARGISOL 40/21.5 U = 0.16 W/mqK sfasamento = 9h 30'	ARGISOL 45/21.5 U = 0.13 W/mqK sfasamento = 10h 27'
ARGISOL 25/14 U = 0.27 W/mqK sfasamento = 7h 14'	ARGISOL 30/14 U = 0.19 W/mqK sfasamento = 7h 51'	ARGISOL 35/14 U = 0.15 W/mqK sfasamento = 8h 45'

Le armature metalliche minime da disporre nella parete

□ Indicazione delle armature integrative all'interno del blocco.

Spessore parete cls [cm]	Armatura verticale (disposta su entrambi i lati)		Armatura orizzontale (disposta su entrambi i lati)	
	diametro [mm]	passo [cm]	diametro [mm]	passo [cm]
16.5	ø 10	30	ø 8	30
21.5	ø 10	30	ø 10	30
14.0	ø 10	25	ø 8	25

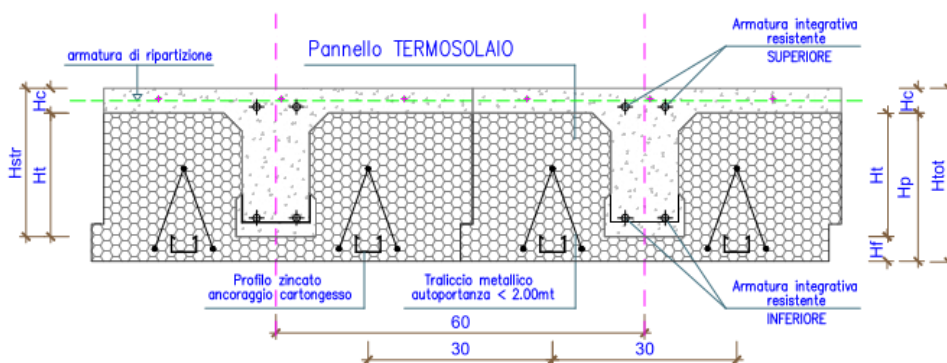
I solai vengono realizzati con un pannello cassero in polistirene espanso per solai gettati in opera in calcestruzzo armato mediante la disposizione di ferri in campata, monconi in corrispondenza degli appoggi, rete elettrosaldata, rompitratta e soletti di 5 cm in modo che il solaio sia infinitamente rigido. Il cassero è totalmente in EPS ha una larghezza di 60 cm è autoportante fino a 2 m mediante l'inserimento di due tralicci metallici.



legenda:

- A. pannello TERMOSOLAIO in polistirene espanso
- B. profilo zincato per l'ancoraggio del cartongesso
- C. distanziatore per il copriferro dell'armatura inferiore
- D. sottotravetto isolante in polistirene espanso
- E. traliccio metallico per autoportanza in fase di getto (fino a 2.00mt)
- F. travetto resistente (passo 60cm)

Con il pannello cassero **TERMOSOLAIO** si ottengono solai in cemento armato alleggeriti per la presenza del polistirene espanso al posto delle pignatte di laterizio; la struttura portante è quella dei travetti e della soletta di cls tipica dei solai gettati in opera.



4- La verifica della parete e del solaio

La parete di calcestruzzo che si forma all'interno del blocco cassero viene considerata come un elemento PEDA e valgono le normative del ministero dei lavori pubblici:

“LINEE GUIDA PER SISTEMI COSTRUTTIVI A PANNELLI PORTANTI BASATI SULL’IMPIEGO DI BLOCCHI CASSERO E CALCESTRUZZO DEBOLMENTE ARMATO GETTATO IN OPERA” che definiscono le indicazioni progettuali e costruttive, per la progettazione ed il calcolo di edifici realizzati con sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull’impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera. Tali sistemi devono essere caratterizzati da uno sviluppo esteso a buona parte del perimetro della pianta strutturale ed essere inoltre dotati di idonei provvedimenti per garantire la continuità strutturale così da produrre un efficace comportamento scatolare. Si realizza la condizione PEDA, una struttura è da considerarsi come struttura a pareti estese debolmente armate quando nella direzione considerata si ha un primo periodo di oscillazione $< T_c$ e vi sono almeno due pannelli che hanno una lunghezza $> 4\text{ m}$ o dei $2/3\text{ H}$ intendendo con H altezza di interpiano in grado di far fronte al 20% dell’azione sismica orizzontale.

Le disposizioni specifiche dell’eurocodice 8 per le grandi pareti debolmente armate:

(1) Per garantire che lo snervamento a flessione preceda il raggiungimento dello stato limite ultimo (SLU) per taglio, la forza di taglio V'_{Ed} ottenuta dall’analisi deve essere aumentata.

(2) Il requisito 1 del presente sottopunto si ritiene soddisfatto se ad ogni piano della parete la forza di taglio di progetto V_{Ed} è ottenuta dalla forza di taglio calcolata dall’analisi, V'_{Ed} , in accordo con la seguente espressione:

$$V_{Ed} = V'_{Ed} * (q+1)/2$$

(3)P Le azioni assiali dinamiche aggiuntive sviluppate in pareti grandi dovute all’innalzamento dal terreno, o dovute all’apertura e chiusura di fessure orizzontali, devono essere tenute in conto nella verifica agli stati limite ultimi SLU della parete per flessione con azione assiale.

(4) A meno che non siano disponibili i risultati di un calcolo più preciso, la componente dinamica della forza assiale nella parete in (3)P del presente sottopunto può essere considerata il 50% della forza assiale nella parete dovuta ai carichi gravitazionali presenti nella situazione sismica di progetto. Si raccomanda che questa forza sia presa con il segno più o meno, il più sfavorevole tra i due.

(5) Se il valore del coefficiente di comportamento q non è maggiore di 2,0, l’effetto della forza assiale dinamica in (3) e (4) del presente sottopunto può essere trascurato.

I meccanismi di collasso delle strutture in oggetto sono prevalentemente legati ai meccanismi di rottura per taglio o taglio-flessione, tali strutture si devono considerare appartenenti ad una classe di bassa duttilità. Il fattore di struttura q_0 non può essere superiore a 2

$$q = q_0 * K_S * K_R$$

$K_S = 1,2$ per strutture regolari in pianta

$K_S = 1,1$ per strutture irregolari in pianta

$K_R = 1$ per strutture regolari in altezza

$K_R = 0,8$ per strutture irregolari in altezza

Lo spessore equivalente del pannello può essere calcolato, in prima istanza, diffondendo nella lunghezza della base b del pannello le aree del calcestruzzo A_{ci} gettato in opera, ossia con la relazione $t = (A_{c,eff} / b)$ essendo $A_{c,eff} = \sum A_{ci}$ pari alla totale area del calcestruzzo gettato in opera nella sezione trasversale.

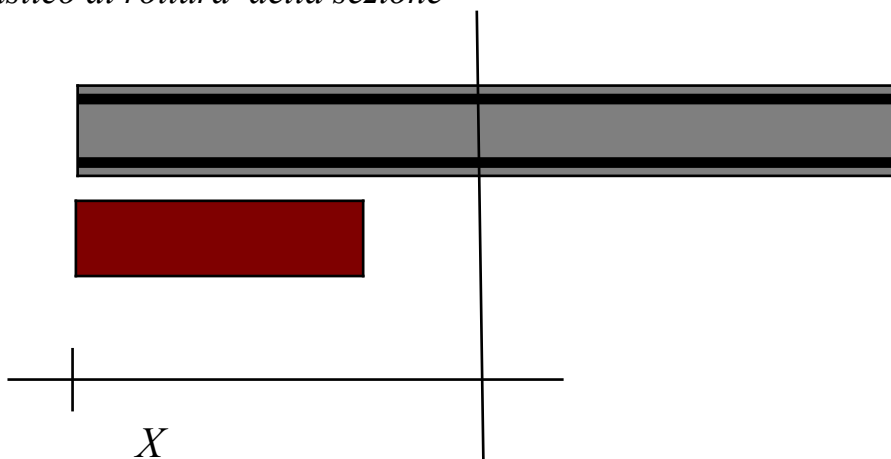
Per la verifica delle pareti si utilizzeranno i metodi previsti nelle Norme Tecniche vigenti per le pareti appartenenti alla classe di duttilità bassa. Per tali elementi la forza normale di compressione non deve eccedere il 40% del carico limite per compressione semplice $f_{cd} * A_{c,eff}$, essendo $A_{c,eff} = \sum A_{ci}$ (somma delle aree del calcestruzzo gettato in opera nella sezione trasversale). Tale limitazione (40%) va ridotta al 25%, nel caso si utilizzino armature disposte su un solo strato nello spessore della sezione.

Le verifiche da eseguire sulla parete sono :

- pressoflessione nel piano
- pressoflessione ed instabilità fuori del piano
- taglio

- Pressoflessione nel piano

La verifica a pressoflessione viene eseguita in modo analogo alla verifica a pressoflessione per pilastri in cemento armato; inizialmente riportiamo il calcolo del momento plastico di rottura della sezione



$$0,8*0,85*f_{cd}*t*X + f_{yd}*a_s*X - f_{yd}*a_s*(B-X) = P$$

P sforzo normale

$$X = (P + f_{yd}*a_s*B) / (0,8*0,85*f_{cd}*t + 2*f_{yd}*a_s)$$

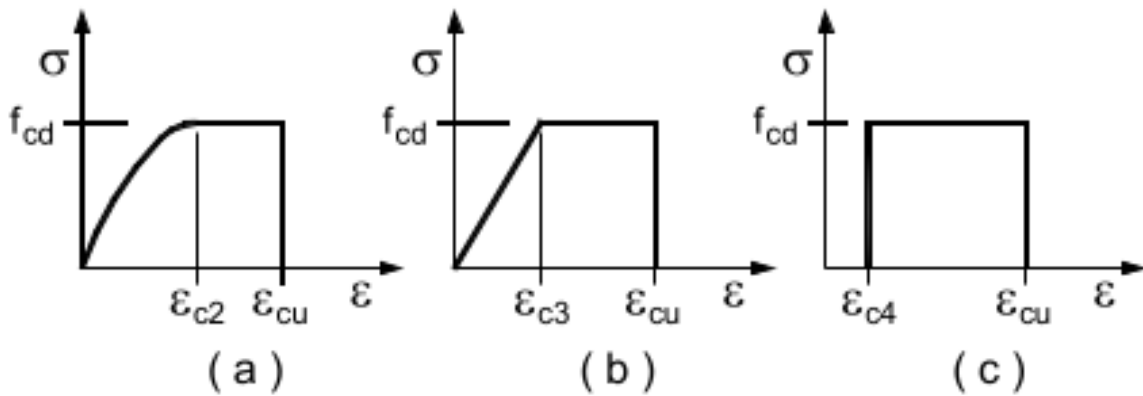
il momento plastico è calcolato rispetto al baricentro geometrico del pannello

$$M_{PL} = 0,8*0,85*f_{cd}*t*X*(B/2 - 0,4*X) + f_{yd}*a_s*X*(B/2 - X/2) - f_{yd}*a_s*(B-X)*X/2$$

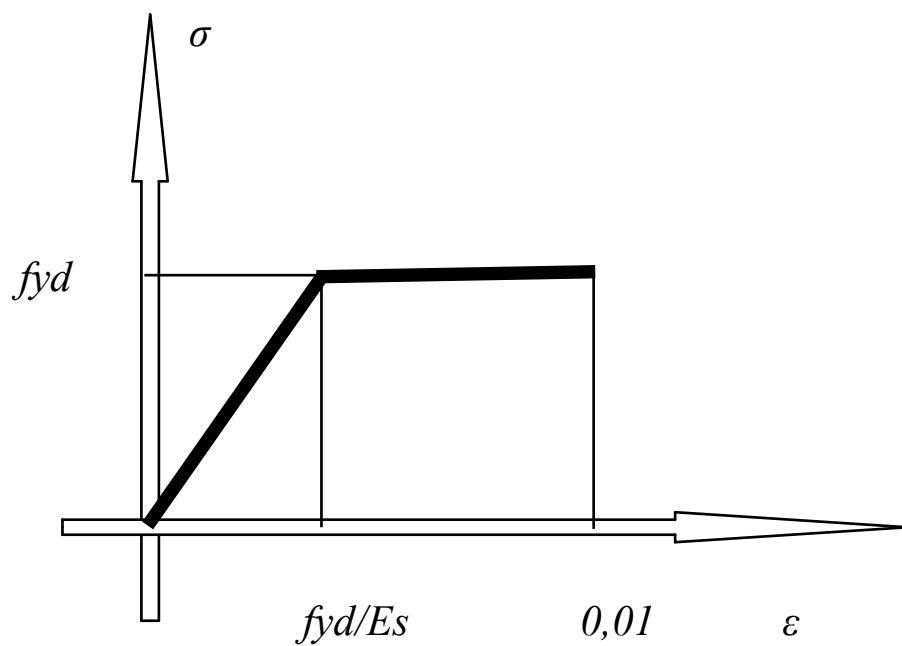
as area di ferro linearizzata $A_s = A_s/B$

i diagrammi tensione deformazione per calcestruzzo ed acciaio

CLS



Acciaio



Per il cls $\varepsilon_{cu} = 0,0035$; $\varepsilon_{c2} = 0,002$; $\varepsilon_{c3} = 0,00175$; $\varepsilon_{c4} = 0,0007$;
 $f_{cd} = 0,83 * R_{ck} / 1,5$

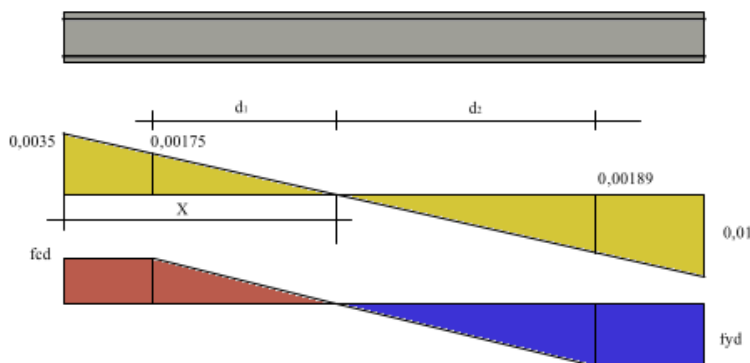
il modulo elastico a compressione $E_c = 22000 * (f_{cm}/10)^{0,3}$ N/mmq
 per un calcestruzzo leggero $E_c = 22000 * (f_{cm}/10)^{0,3} * \eta_e$ N/mmq
 $\eta_e = (1800/2200)^2 = 0,67$

per l'acciaio $f_{yd} = 450/1,15 = 391$ N/mmq $E_s = 206000$ N/mmq
 $\varepsilon_{Su} = 0,01$; $\varepsilon_e = 391/206000 = 0,00189$

La verifica a pressoflessione del pannello di calcestruzzo nella ipotesi di comportamento elastoplastico ideale del cls :

-la rottura avvenga nel cls ovvero $\varepsilon_{cu} = 0,0035$ $X > 0,259 * B$
-la rottura avvenga prima nell'acciaio $\varepsilon_s = 0,01$ $X < 0,259 * B$

nel primo tentativo si ipotizza la rottura bilanciata ovvero che si rompano contemporaneamente acciaio e cls



dall'equilibrio delle tensioni normali per $\varepsilon_{cu} = 0,0035$; $\varepsilon_s = 0,01$

$0,85 * f_{cd} * t * (X - d_1) + 0,85 * f_{cd} * t * d_1 / 2$ Compressione nel cls

$as * (B - X - d_2) * f_{yd} + as * f_{yd} * d_2 / 2$ Trazione nell'acciaio

$as * f_{yd} * (X - d_3) + as * f_{yd} * d_3 / 2$ Compressione nell'acciaio

l'equazione dalla quale ricavare la X

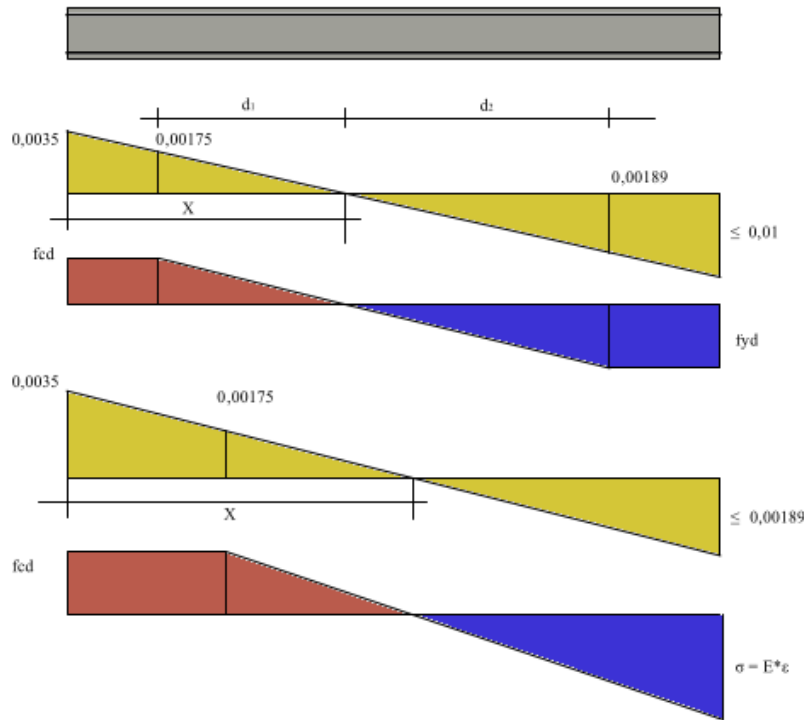
$P = 0,85 * f_{cd} * t * (X - d_1) + 0,85 * f_{cd} * t * d_1 / 2 + as * f_{yd} * (X - d_3) + as * f_{yd} * d_3 / 2 +$
 $- [as * (B - X - d_2) * f_{yd} + as * f_{yd} * d_2 / 2]$

$d_1 = X * 0,00175 / 0,0035$; $d_2 = (B - X) * 0,00189 / 0,01$; $d_3 = X * 0,00189 / 0,0035$

*IF $X > 0,259*B$ si rompe prima il cls*

*IF $X < 0,259*B$ si rompe prima l'acciaio*

-rottura nel cls $X > 0,259*B$



dall'equilibrio delle tensioni normali per $\varepsilon_{cu}=0,0035$; $0,00189 < \varepsilon_s \leq 0,01$

*$0,85*f_{cd} * t * (X-d_1) + 0,85*f_{cd}*t*d_1/2$ Compressione nel cls*

$as(B-X-d_2)*f_{yd} + as *f_{yd}*d_2/2$ Trazione nell'acciaio*

*$as * f_{yd} *(X-d_3) + as*f_{yd}*d_3/2$ Compressione nell'acciaio*

l'equazione dalla quale ricavare la X è una equazione di primo grado

$$P = 0,85*f_{cd} * t * (X-d_1) + 0,85*f_{cd}*t*d_1/2 + as * f_{yd} *(X-d_3) + as*f_{yd}*d_3/2 +$$

$$-[as*(B-X-d_2)*f_{yd} + as *f_{yd}*d_2/2]$$

$$d_1 = X* 0,00175/0,0035 ; d_2 = X* 0,00189/0,0035 ; d_3 = X* 0,00189/0,0035$$

nota la X il momento calcolato rispetto al baricentro geometrico della sezione

$$M_{rd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot (X - d_1) \cdot [B/2 - (X - d_1)/2] + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot d_1/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_1) +$$

$$+ a_s \cdot (B - X - d_2) \cdot f_{yd} \cdot [B/2 - (B - X - d_2)/2] + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_2/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_2) +$$

$$a_s \cdot f_{yd} \cdot (X - d_3) \cdot [B/2 - (X - d_3)/2] + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_3/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_3)$$

chiaramente determinata la X bisogna vedere se soddisfa il diagramma delle deformazioni ipotizzato ovvero se $0,00189 < \varepsilon_s \leq 0,01$ ed $\varepsilon_{cu} = 0,0035$;

se risulta $\varepsilon_{cu} = 0,0035$ ed $\varepsilon_s < 0,00189$

le risultanti degli sforzi di trazione e compressione

$$0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot (X - d_1) + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot d_1/2 \quad \text{Compressione nel cls}$$

$$a_s \cdot f_{yd} \cdot (X - d_3) + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_3/2 \quad \text{Compressione nell'acciaio}$$

$$1/2 \cdot a_s \cdot (B - X) \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \quad \text{Trazione nell'acciaio}$$

l'equazione di equilibrio dalla quale ricavare la X

$$P = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot (X - d_1) + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot d_1/2 + a_s \cdot f_{yd} \cdot (X - d_3) + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_3/2 +$$

$$- 1/2 \cdot a_s \cdot (B - X) \cdot E_s \cdot \varepsilon_s$$

$$d_1 = X \cdot 0,00175/0,0035 ; \quad d_3 = X \cdot 0,00189/0,0035 ; \quad \varepsilon_s = 0,0035 \cdot X/(B - X)$$

questa è una equazione di secondo grado dalla quale ricavare la X e quindi il momento resistente

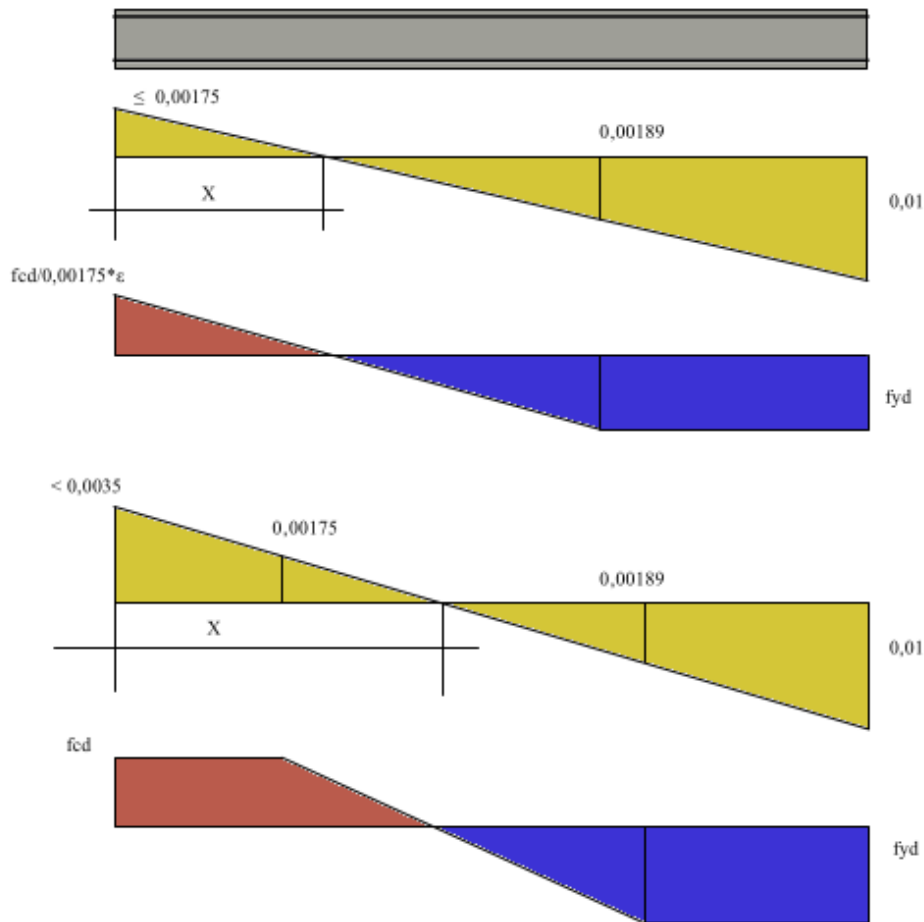
$$M_{rd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot (X - d_1) \cdot [B/2 - (X - d_1)/2] + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot d_1/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_1) +$$

$$a_s \cdot f_{yd} \cdot (X - d_3) \cdot [B/2 - (X - d_3)/2] + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_3/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_3) +$$

$$+ 1/2 \cdot a_s \cdot 2/3 \cdot (B - X)^2 \cdot E_s \cdot \varepsilon_s$$

In una sezione **pressoinflessa** come un pilastro è predominante lo sforzo normale di compressione per cui solitamente la rottura avviene sempre prima nel cls compresso e non nell'acciaio teso.

-rottura nell'acciaio $X < 0,259*B$



dall'equilibrio delle tensioni normali per $0,00175 < \varepsilon_c < 0,0035$; $\varepsilon_s = 0,01$

$0,85*f_{cd} * t * (X-d_1) + 0,85*f_{cd}*t*d_1/2$ Compressione nel cls

$as*(B-X-d_2)*f_{yd} + as *f_{yd}*d_2/2$ Trazione nell'acciaio

$as * f_{yd} *(X-d_3) + as*f_{yd}*d_3/2$ Compressione nell'acciaio

l'equazione dalla quale ricavare la X

$$P = 0,85*f_{cd} * t * (X-d_1) + 0,85*f_{cd}*t*d_1/2 + as * f_{yd} *(X-d_3) + as*f_{yd}*d_3/2 +$$

$$-[as*(B-X-d_2)*f_{yd} + as *f_{yd}*d_2/2]$$

$$d_1 = (B-X)*0,00175/0,01 ; \quad d_2 = (B-X)*0,00189/0,01 ; \quad d_3 = (B-X)*0,00189/0,01$$

il momento resistente del pannello

$$M_{rd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot (X - d_1) \cdot [B/2 - (X - d_1)/2] + 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot d_1/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_1) +$$

$$+ a_s \cdot (B - X - d_2) \cdot f_{yd} \cdot [B/2 - (B - X - d_2)/2] + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_2/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_2) +$$

$$a_s \cdot f_{yd} \cdot (X - d_3) \cdot [B/2 - (X - d_3)/2] + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_3/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_3)$$

se $\varepsilon_c < 0,00175$; $\varepsilon_s = 0,01$

ipotesi molto remota in una sezione pressoinflessa

$0,85 \cdot \sigma_c \cdot t \cdot X/2$ Compressione nel cls

$a_s \cdot (B - X - d_2) \cdot f_{yd} + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_2/2$ Trazione nell'acciaio

$a_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \cdot X/2$ Compressione nell'acciaio

da questa equazione di equilibrio possiamo calcolare la X

$$P = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t \cdot d_x/2 + a_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \cdot X/2 - [a_s \cdot (B - X - d_2) \cdot f_{yd} + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_2/2]$$

$$d_2 = (B - X) \cdot 0,00189/0,01 ; \sigma_c = f_{cd}/0,00175 \cdot \varepsilon_c ; \varepsilon_c = \varepsilon_s = X/(B - X) \cdot 0,01 ;$$

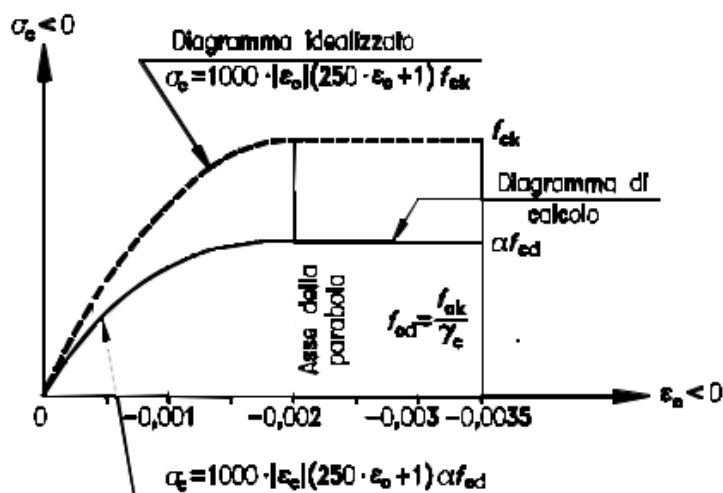
il momento resistente calcolato rispetto al baricentro geometrico del pannello B/2

$$M_{rd} = 0,85 \cdot \sigma_c \cdot t \cdot X/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot X) + a_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \cdot X/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot X) +$$

$$+ a_s \cdot (B - X - d_2) \cdot f_{yd} \cdot [B/2 - (B - X - d_2)/2] + a_s \cdot f_{yd} \cdot d_2/2 \cdot (B/2 - 2/3 \cdot d_2)$$

Se avessimo utilizzato un diagramma parabola rettangolo per il cls la risultante degli sforzi di compressione andava calcolata mediante la risoluzione di un integrale

$C = \int \sigma dA$ assumendo come incognita nella equazione di equilibrio $\xi = X/B$



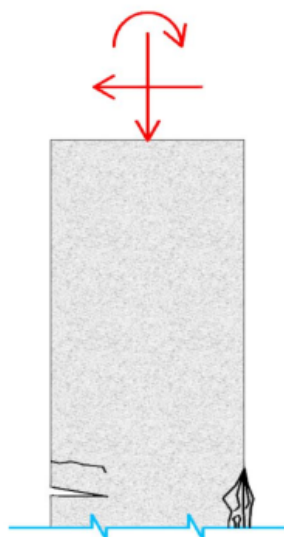
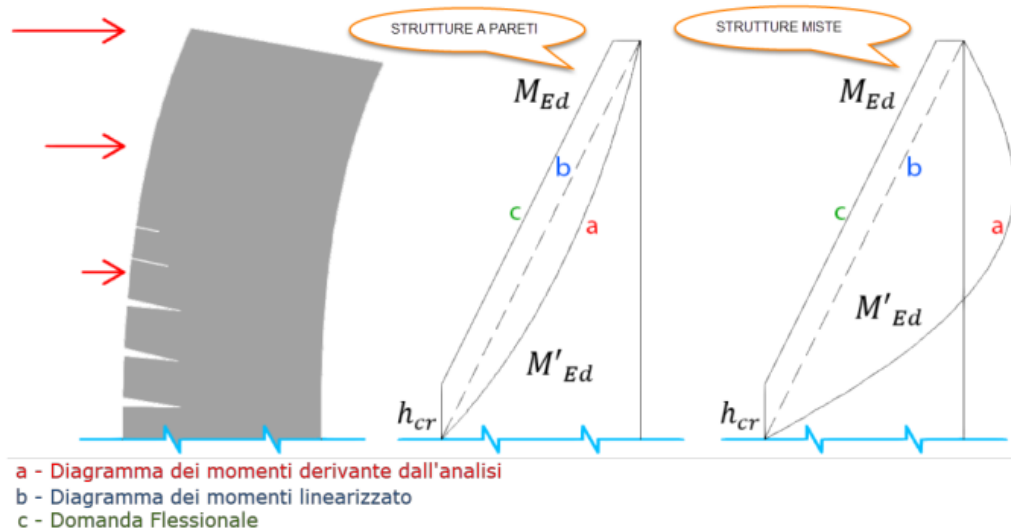
Le NTC 2018 chiariscono, innanzitutto, che solo per pareti snelle sia in CD “A” che in CD “B”, la DOMANDA FLESSIONALE si ottiene per traslazione verso l’alto dell’involuppo del diagramma dei momenti derivante dall’analisi e assunto, in via semplificata, come lineare. In analogia con quanto già indicato nelle NTC 2008, in accordo con l’inclinazione degli elementi compressi nel meccanismo resistente a taglio, la traslazione viene assunta pari ad h_{CR} , altezza della zona inelastica dissipativa di base.

$$h_{CR} \max (L_W ; H_W/6) ; \text{ purch  } h_{CR} \leq \begin{cases} 2*L_W \\ H_S & \text{ per } n \leq 6 \text{ piani} \\ 2*H_S & \text{ per } n > 7 \text{ piani} \end{cases}$$

H_S altezza libera di piano

L_W max dimensione della parete

H_W altezza max della parete



lesioni di pressoflessione nella parete

Al fine di prevenire i fenomeni di instabilità delle pareti fuori piano, in prima istanza, si dovrà rispettare il seguente limite:

$$v = N_{ED}/(A_{Ceff} * f_{CD})$$

$C = 1,7 - r_M$ dipende dalla distribuzione dei momenti $0,7 \leq C \leq 2,7$

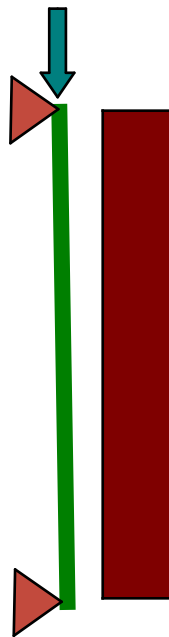
la snellezza $\lambda = L_0/i$

i raggio di inerzia $i = (J/Ac)^{1/2}$

se trascuriamo le armature $i = t/\sqrt{12}$

Le verifiche di stabilità degli elementi snelli devono essere condotte attraverso un'analisi del secondo ordine che tenga conto degli effetti flessionali delle azioni assiali sulla configurazione deformata degli elementi stessi. Si deve tenere adeguatamente conto delle imperfezioni geometriche e delle deformazioni viscosi per carichi di lunga durata. Si devono assumere legami fra azioni interne e deformazioni in grado di descrivere in modo adeguato il comportamento non lineare dei materiali e gli effetti della fessurazione delle sezioni. Cautelativamente il contributo del calcestruzzo teso può essere trascurato.

Il momento del secondo ordine può essere calcolato considerando la parete appoggiata ai solai sollecitata dalla azione sismica orizzontale , in analogia alle tamponature



L'equazione differenziale

$$EI V^{IV} - P V^{II} = q \quad ; \quad V^{IV} - \alpha^4 V^{II} = q/EI \quad ; \quad \alpha = (P/EI)^{1/4}$$

V(z) deformata

P sforzo normale v imperfezione

$$q = (S_a * W_a) / Q_a$$

S_a accelerazione massima adimensionalizzata rispetto all'accelerazione di gravità corrispondente allo stato limite in esame

W_a peso sismico dell'elemento a metro lineare

Q_a = 2 fattore di comportamento dell'elemento.

EI rigidezza dimezzata per tener conto della fessurazione ;

$$M = M^I + M^{II} \quad M(z) = -EI * V^{II}(z)$$

$$M^I = q * L^2 / 8 + P * v \quad ; \quad M^{II} = P * V(L/2)$$

- Taglio

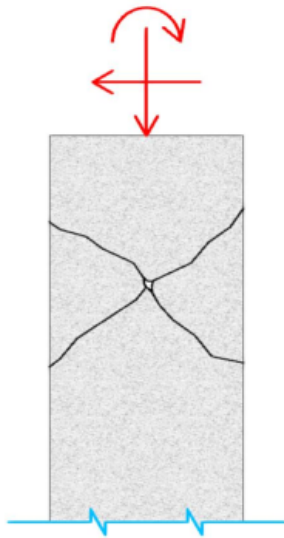
La verifica di resistenza a taglio si effettuerà in accordo a quanto stabilito nelle Norme Tecniche vigenti considerando diverse modalità di rottura:

-Taglio-Compressione;

-Taglio-Trazione;

-Taglio-Scorrimento;

-Taglio-Compressione;



Possibile rottura taglio-compressione cls dell'anima

La determinazione della resistenza viene condotta in accordo con la definizione della resistenza a taglio-compressione della sezione in c.a., assumendo un braccio delle forze interne pari a $0,8 \cdot L_w$ e un'inclinazione delle diagonali compresse pari a 45° . Nelle zone dissipative tale resistenza va ridotto del 60%.

$$V_{RD} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot v \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 0,8 \cdot L_w \cdot t \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot v / 2$$

$$0,9 \cdot d = 0,8 \cdot L_w \quad ; \quad b_w = t \text{ spessore setto}$$

$$\theta = 45^\circ \quad ; \quad \alpha = 90^\circ$$

$f_{cd} \cdot v$ resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima $v = 0,5$

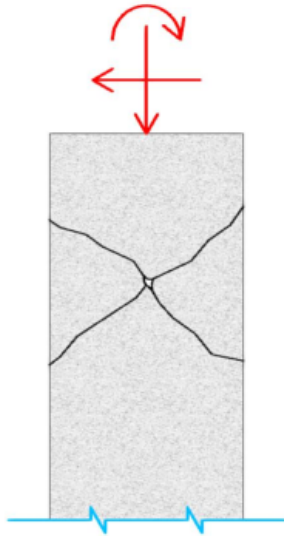
$\alpha_c = 1$ per membrature non compresse

$$\alpha_c = 1 + \sigma_{CP} / f_{cd} \quad 0 < \sigma_{CP} < 0,25 \cdot f_{cd}$$

$$\alpha_c = 1,25 \quad 0,25 f_{cd} < \sigma_{CP} < 0,5 \cdot f_{cd}$$

$$\alpha_c = 2,5 \cdot (1 - \sigma_{CP} / f_{cd}) \quad 0,5 f_{cd} < \sigma_{CP} < f_{cd}$$

-Taglio-Trazione;



La resistenza di progetto a taglio trazione consiste nel calcolo della area di armature verticali da disporre ovvero le staffe nella trave

*per $\alpha_S \geq 2$ dove $\alpha_S = M_{ED}/(V_{ED} * L_W)$*

$$V_{RSD} = 0,8 * L_W * f_{yd} * A_s / s * (\cot \alpha + \cot \theta) * \sin \alpha = 0,8 * L_W * f_{yd} * A_s / s$$

*A_s area della armatura trasversale
 s interasse delle armature*

se invece risulta $\alpha_S < 2$ come riportato nelle NTC 2018

$$V_{ED} \leq V_{RDC} + 0,75 * \rho_h * f_{yd,h} * b_W * L_W * \alpha_S$$

$$\rho_h * f_{yd,h} * b_W * z \leq \rho_V * f_{yd,v} * b_W * z + \min N_{ED}$$

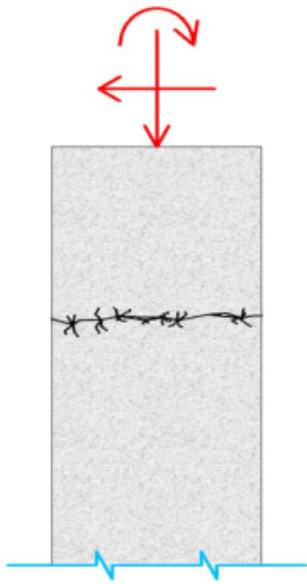
ρ_h ; ρ_V rapporti di armatura orizzontali e verticali rispetto all'area della sezione

$f_{yd,h}$; $f_{yd,v}$ resistenza f_{yd} dell'acciaio orizzontale e verticale

N_{ED} forza assiale di progetto

V_{RDC} resistenza a taglio di elementi non armati pari a zero quando lo sforzo normale è di trazione

-Taglio-Scorrimento



Sui possibili piani di scorrimento deve risultare :

$V_{ED} \leq V_{RDS}$ dove il taglio resistente è somma di tre aliquote

- effetto spinotto

$$V_{dd} = \min [1,3 * \sum A_{sj} * \sqrt{f_{cd} * f_{yd}}; 0,25 * f_{yd} * \sum A_{sj}]$$

- armature inclinate (la armatura è una doppia rete metallica)

$$V_{id} = f_{yd} * \sum A_{sj} * \cos \varphi_i$$

- resistenza per attrito

$$V_{fd} = \min [\mu_F * (f_{yd} * \sum A_{sj} + N_{ED}) * \xi + M_{ED}/z ; 0,5 * \eta * f_{cd} * \xi * L_w * b_{w0}]$$

μ_F coefficiente di attrito calcestruzzo calcestruzzo = 0,60

$\xi = X/d$ altezza normalizzata della zona compressa all'altezza della sezione

$$\eta = (1 - f_{ck}/250) * \alpha_J$$

$$\alpha_J = 0,6$$

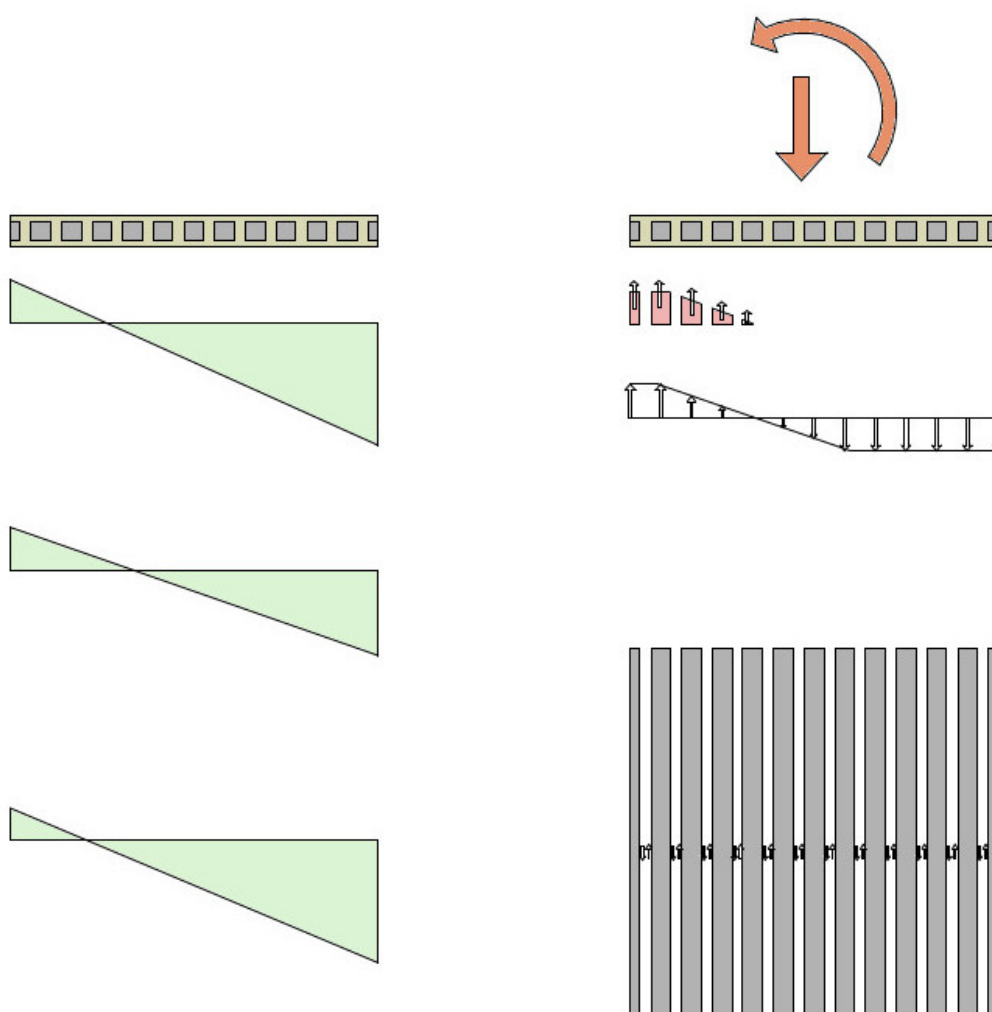
Merita un cenno la **verifica a pressoflessione della parete ISOTEX**, poiché all'interno presenta dei vuoti conseguenti alle nervature in legno cemento del blocco cassero; l'azienda fornisce un software per la verifica dei pannelli parete a pressoflessione sollecitati dallo sforzo normale e dal momento flettente.

Consideriamo una parete realizzata Isotex, di lunghezza 3 metri come indicata in figura della quale vogliamo eseguirne la verifica a pressoflessione. Affinchè la modellazione sia efficace è opportuno verificare i cordoli orizzontali a taglio in modo che si abbia un comportamento a parete composta e non a pilastro semplice ovvero che la inerzia della parete sia calcolata anche con i momenti di trasporto e sia valido il principio di conservazione delle sezioni piane per la intera sezione,

$$I = \sum t \cdot h^3 / 12 + \sum t \cdot h \cdot d_i^2 ; b \text{ ed } h \text{ dimensioni del pilastro}$$

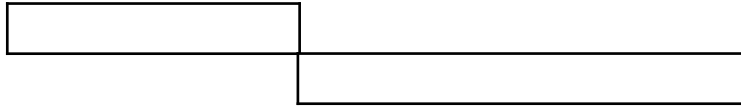
le norme tecniche fanno riferimento ad uno spessore efficace di calcestruzzo

$$t = (A_{c,eff} / b) \text{ essendo } A_{c,eff} = \sum A_{ci} ;$$



Il calcolo viene eseguito allo stato limite ultimo, anche allo stato limite plastico, per la verifica delle cordolature orizzontali si effettua una verifica con le tensioni tangenziali. La rottura può avvenire per raggiungimento della max deformazione nel calcestruzzo 0,0035 o della max deformazione nell'acciaio teso pari a 0,01.

Calcoliamo il momento ultimo plastico della sezione

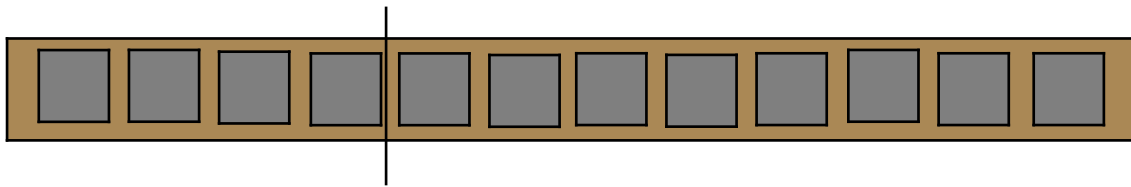


Dalla verifica alla traslazione la risultante degli sforzi di compressione e trazione eguaglia lo sforzo normale P che sollecita la sezione; per individuare la posizione dell'asse neutro conviene senza eseguire il calcolo per tentativi in questa prima fase far riferimento ad una parete continua con armatura distribuita i cui diagrammi delle tensioni sono indicati nella figura precedente.

$$P = f_{cd} * t * 0,8 * x + 2 * a_s * x * f_{yd} - 2 * a_s * (b - x) * f_{yd}$$

t è lo spessore efficace a_s l'armatura linearizzata ;

$$x = [P + 2 * a_s * b * f_{yd}] / [f_{cd} * t * 0,8 + 2 * a_s * f_{yd} + 2 * a_s * f_{yd}]$$



individuata la X calcoliamo la risultante di ciascun pilastro in cls

$$4 * f_{cd} * A_c + 4 * f_{yd} * A_s - 8 * f_{yd} * A_s = P$$

A_c area di ciascun elemento di calcestruzzo

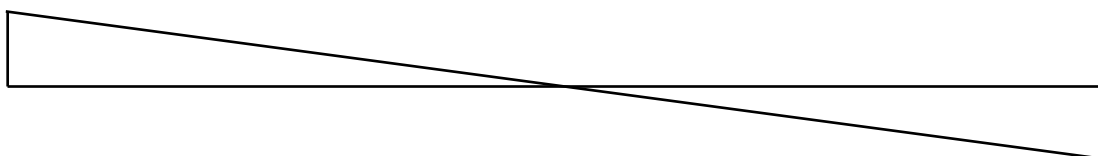
A_s area dei tondini di ferro disposti in ciascun pilastro

Se la X capita al centro di un elemento possiamo considerare una percentuale dell'area complessiva

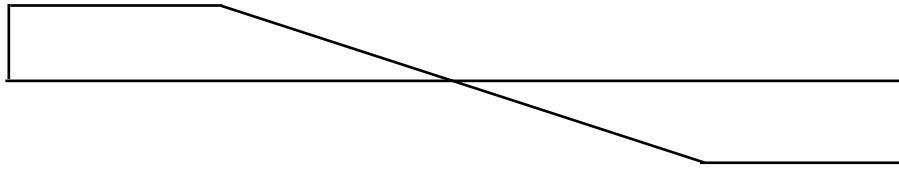
Il momento plastico ultimo della sezione calcolato rispetto al baricentro geometrico della parete:

$$M_{pl} = (f_{cd} * A_c + 2 * f_{yd} * A_s) * b_1 + (f_{cd} * A_c + 2 * f_{yd} * A_s) * b_2 + (f_{cd} * A_c + 2 * f_{yd} * A_s) * b_3 + (f_{cd} * A_c + 2 * f_{yd} * A_s) * b_4 + f_{yd} * A_s * b_5 + f_{yd} * A_s * b_6 + f_{yd} * A_s * b_7 + f_{yd} * A_s * b_8$$

*Se eseguiamo una verifica allo stato limite ultimo ipotizzando di avere la rottura nel calcestruzzo compresso i diagrammi delle tensioni non sono più rettangolari ma trapezoidali la metodologia di calcolo è analoga a quella vista in precedenza. Tramite la modellazione ad elemento **PEDA** determiniamo la posizione dell'asse neutro ovvero la x*



La deformazione al lembo compresso è pari a 0,0035 , quella al lembo teso < 0,01; il diagramma delle tensioni nel pannello



Possiamo determinare la profondità dell'asse neutro facendo riferimento allo spessore efficace t , per poi calcolare nel centro di ogni pilastrino e nel baricentro delle armature il valore della deformazione e della corrispondente tensione come già visto in precedenza a pag.13. Nota la X determiniamo la deformazione al lembo teso

$\varepsilon_s = 0,0035 * (h-X)/X$, e quindi le deformazioni nel baricentro di ogni pilastrino

La risultante degli sforzi di compressione e trazione per il pilastrino i -mo

$$C_i = b * h * \sigma_c + A_s * \sigma_s ; T_i = A_s * \sigma_s ;$$

b base pilastrino

h altezza pilastrino

A_s armatura metallica verticale nel pilastrino

σ_c tensione nel pilastrino pari a $0,85 * R_{ck} * 0,83 / 1,5$ per $0,00175 \leq \varepsilon_c \leq 0,0035$

$\sigma_c = 0,85 * R_{ck} * 0,83 / (1,5 * 0,00175) * \varepsilon_c$ se $\varepsilon_c \leq 0,00175$

σ_s tensione nell'armatura pari a $f_{yd} = 394 / 1,15$ per $f_{yd}/E_s \leq \varepsilon_s \leq 0,01$

$\sigma_s = E_s * \varepsilon_s$ se $\varepsilon_s \leq f_{yd}/E_s$

la nuova equazione di equilibrio ,

$$\sum C_i - \sum T_i \approx P$$

il momento resistente ultimo per la verifica a pressoflessione del pannello PEDA

$$\sum d_i * C_i - \sum d_i * T_i = M_{rd}$$

d_i distanza del baricentro del pilastrino dal baricentro geometrico della sezione

- Verifica dei cordoli orizzontali

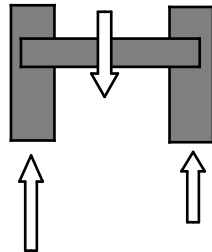
Questa verifica è importante (anche se ampiamente soddisfatta) per garantire il comportamento a parete continua della parete forata dalla presenza di nervature in legno cemento del blocco cassero. E' evidente che tali cordoli hanno una elevata rigidità tagliente , poiché lo spostamento relativo tra i due pilastrini

$$\delta = \sum F * p^3 / (12 * E * I)$$

dove p è la larghezza della nervatura , mentre F rappresenta la differenza tra le risultanti degli sforzi di compressione nei due pilastrini contigui che si annulla per comportamento plastico $C_1 = C_2$

$$F = C_1 - C_2$$

Viste le dimensioni p (molto ridotte) delle nervature in legno cemento la rigidezza del cordolo orizzontale è elevatissima, per cui è garantito il comportamento a parete continua con spessore efficace.



La verifica dell'elemento orizzontale di collegamento viene seguita a taglio determinando anche i ferri di armatura

$$A_s = \sqrt{3} * V / f_{yd} ;$$

il cordolo orizzontale si rompe per tensioni di trazione inclinate a 45° $\sigma_t = V / (\sqrt{2} * A)$ si può quindi prescindere dal calcestruzzo oppure tener conto del contributo apportato dalla sua resistenza a trazione

$$V_{rdc} = f_{ctd} * A * \sqrt{2} ; V_{rds} = A_s * f_{yd} / \sqrt{3} ; \text{ deve risultare}$$

$$V_{sd} < V_{rd} = V_{rdc} + V_{rds}$$

E' chiaro che se ipotizziamo un comportamento plastico per la parete Isotex la differenza tra le due sollecitazioni di compressione è nulla ; è opportuno quindi eseguire un calcolo alle tensioni ammissibili ipotizzando una distribuzione lineare delle tensioni $\sigma = M / I_n * y$; $\sigma = P / S_n * y$ e calcolare con la formula di Jourasky la tensione tangenziale $\tau = V / I_n * S_n / b$

il cui valore max si attinge sull'asse neutro , la forza di scorrimento che sollecita il singolo cordolo è quella relativa alle dimensioni del singolo blocco in legno cemento $S = \tau * (t * h)$ dove t è lo spessore del pilastrino ed h l'altezza del blocco . Affinchè la verifica sia soddisfatta deve essere

$$S < V_{rdc} + V_{rds} ,$$

la forza di scorrimento è una forza verticale che sollecita il cordolo pari alla risultante degli sforzi in zona compressa.

Se disponiamo in ciascun ricorso orizzontale nel blocco 2 ferri del diametro di 12 mm , una parete alta 3 metri si compone di 12 blocchi avremo 24 ferri per uno sforzo di scorrimento complessivo pari a circa 100.000 daN .

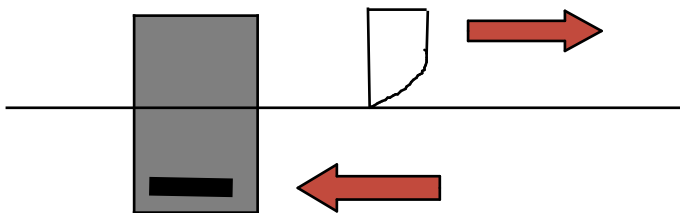
Il comportamento della **parete con blocchi cassero in legno cemento** è stato adeguatamente collaudato e testato da prove sperimentali che hanno consentito di calcolarne la rigidezza ovvero lo spostamento in sommità , nonché valutare la resistenza a

pressoflessione e taglio e verificarne il comportamento come parete globale di spessore efficace

$t = (A_{c,eff} / b)$ essendo $A_{c,eff} = \Sigma A_{ci}$; la rigidezza può essere determinata attraverso una modellazione FEM come elemento plate shell eliminando gli elementi piani in corrispondenza delle nervature , determinando quindi un modulo elastico efficace da assegnare alla parete, o ancora omogeneizzandola tenendo conto del contributo delle nervature in legno cemento.

- La verifica del solaio

Il calcolo del solaio è quello di un normale solaio gettato in opera , ci limitiamo ad un solaio ad una sola campata poiché nelle carpenterie degli edifici in c.a. i solai vanno orditi a scacchiera al fine di non sovraccaricare le travi a spessore di solaio. La verifica della sezione di solaio rettangolare è per semplice armatura inferiore in campata e superiore agli appoggi nella ipotesi di rottura bilanciata ,diagramma ten-



sioni deformazioni per il cls parabola rettangolo. La risultante degli sforzi di compressione

$$C = b * 0,85 * f_{cd} * X * \Psi \quad ; \quad T = A_s * f_{yd}$$

$$f_{cd} = 0,83 * R_{ck} / 1,5 \quad ; \quad f_{yd} = 394 / 1,15$$

per rottura bilanciata ovvero $X = 0,259 * h$

- deformazione al lembo compresso 0,0035

-deformazione al lembo teso 0,01

dalla risoluzione dell'integrale

$$\Psi = \int \sigma dA / (f_{cd} * \int dA) = 0,633 \quad ;$$

rapporto tra l'area parabola rettangolo e l'area rettangolare

$$\lambda * X = \int \sigma * y * dA / \int \sigma * dA = 0,416 * X$$

distanza del punto di applicazione della risultante degli sforzi di compressione dal bordo compresso

il momento resistente della sezione

$$M = A_s * f_{yd} * [h - 0,416 * X] \quad ; \quad M = b * 0,85 * f_{cd} * X * \Psi * [h - 0,416 * X]$$

si ricavano le seguenti formule di progetto delle armature e della altezza h

$$A_s = M / f_{yd} * h * (1 - 0,416 * 0,259) = M / (f_{yd} * 0,9 * h)$$

$$b = M / [0,85 * f_{cd} * 0,259 * h^2 * 0,633 * (1 - 0,416 * 0,259)]$$

$$h^2 = r^2 * M / b ; \quad r^2 = 1 / [0,85 * 0,83 * R_{ck} / 1,5 * 0,259 * 0,633 * (1 - 0,416 * 0,259)]$$

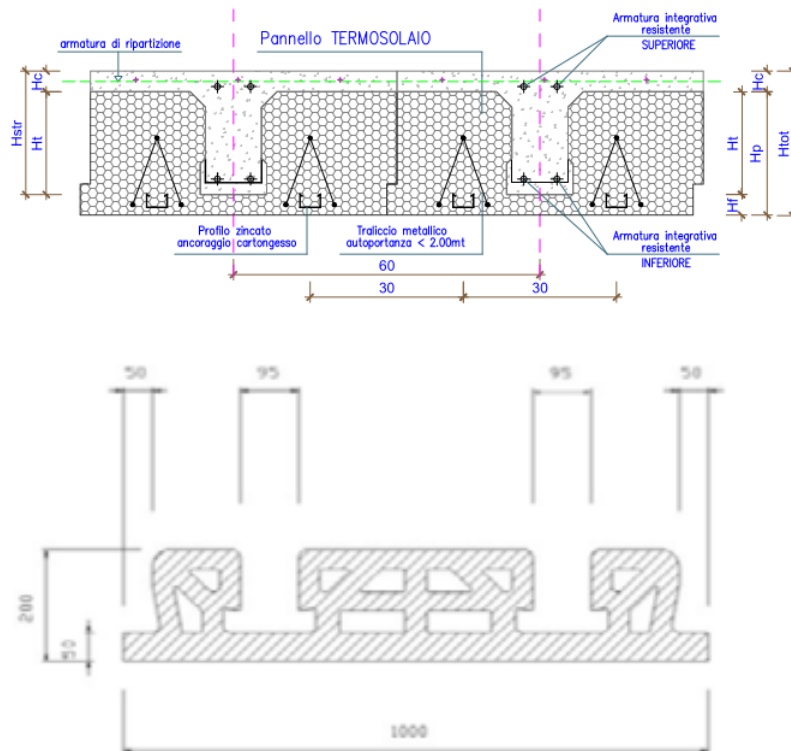
$$A_s = M / (f_{yd} * 0,9 * h) ; \quad h = r * \sqrt{(M / b)} ;$$

queste sono le formule di progetto utilizzate per il calcolo dei solai in cemento armato gettati in opera Possiamo tabellare i valori di r in funzione della resistenza caratteristica del cls.

le unità di misura $[L]$ cm $[F]$ daN

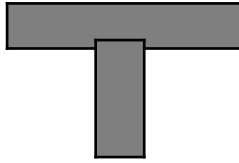
R_{ck}	r
250	0,240
300	0,22
350	0,203
400	0,190
450	0,179

I blocchi cassero dei solai hanno una dimensione di 100-120 cm sono autoportanti per luci minore di 2 m , e portano il peso del solaio gettato in opera in c.a.



Possiamo individuare per i due sistemi costruttivi le seguenti sezioni resistenti di so-

laio in c.a.



per il blocco cassero in legno cemento

base superiore $B_s = 50 \text{ cm}$

altezza superiore $H_s = 5 \text{ cm}$

base inferiore $B_i = 10 \text{ cm}$

altezza inferiore $H_i = 20 \text{ cm}$

per il blocco cassero in EPS

base superiore $B_s = 60 \text{ cm}$

altezza superiore $H_s = 5 \text{ cm}$

base inferiore $B_i = 10 \text{ cm}$

altezza inferiore $H_i = 20 \text{ cm}$

altezza totale 25 cm

Analisi dei carichi peso /mq

peso cassero

EPS	10 kg/mq	Legno cemento	150 kg/mq
------------	-----------------	----------------------	------------------

Pesi propri strutturali G_{SK}

travetti $0,10 * 0,20 * 1,00 * 2500 = 50 \text{ daN/mq}$

soletta $1,00 * 1,00 * 0,05 * 2500 = 125 \text{ daN/mq}$

Carichi permanenti G_{PK}

intonaco $0,015 * 1,00 * 1,00 * 1800 = 30 \text{ daN/mq}$

massetto $0,04 * 1,00 * 1,00 * 1900 = 76 \text{ daN/mq}$

pavimento $0,02 * 1,00 * 1,00 * 2200 = 44 \text{ daN/mq}$

incidenza tramezzi

intonaco $0,01 * 1800 = 18 \text{ daN/ml}$

laterizio $0,08 * 1100 = 88 \text{ daN/ml}$

intonaco $0,01 * 1800 = 18 \text{ daN/ml}$

il peso a ml di un tramezzo è circa $124 \cdot 3 = 372 \text{ daN/ml}$

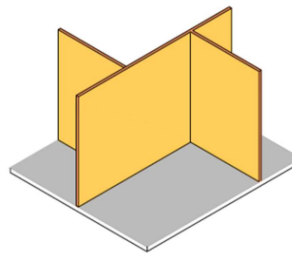
Le NTC stabiliscono :

3.1.3.1 Elementi divisori interni

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_{2k} , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito g_{2k} ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza G_{2k} delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisori con $G_2 < 1,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 < 2,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 < 3,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $3,00 < G_2 < 4,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 < 5,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.



il carico da considerare a mq è circa 160 daN/mq

Carico accidentale $Q_k = 200 \text{ daN/mq}$

Per la verifica allo stato limite ultimo si considera la combinazione fondamentale

$$F_d = \gamma_{GSK} * G_{SK} + \gamma_{GPK} * G_{GPK} + \gamma_Q * Q_K$$

con i coefficienti parziali definiti dalle NTC

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	0,9	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,1	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,8	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

$$F_d = 1,1*175 + 1,5*310 + 1,5*200 = 957,5 \approx 960 \text{ daN/mq}$$

lo schema statico del solaio di luce 5,00 m



Le sollecitazioni flettenti e taglianti

$$V_A = V_B = P_d * L / 2$$

$$M_A = M_B = P_d * L^2 / 16$$

$$M_{AB} = P_d * L^2 / 8$$

Solaio	P_d	V_A	V_B	M_A	M_B	M_{AB}
EPS	576	1440	1440	900	900	1800
LC	480	1200	1200	750	750	1500

Calcolo armature e verifica cls

Solaio	$A_s \quad A$	$A_s \quad B$	$A_s \quad AB$	$h \quad A$	$h \quad B$	$h \quad AB$
EPS	110 mmq	110 mmq	220 mmq	20,8	20,8	12,04
LC	92 mmq	92 mmq	184 mmq	19,05	19,05	12,04
	1 $\phi 12$	1 $\phi 12$	2 $\phi 12$			

$r = 0,22$ M espresso in daN *cm e b in cm come riportato in tabella

$$A_s = M / (f_{yd} * 0,9 * h) ; \quad h = r * \sqrt{M/b} ;$$

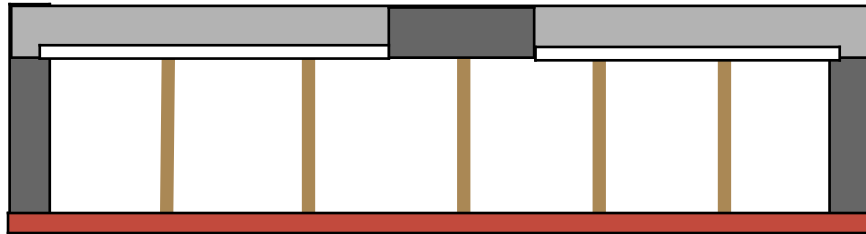
La altezza utile del nostro solaio è pari a 23 cm maggiore dei valori riportati in tabella

N.B. i monconi hanno lunghezza 120 cm



Fase transitoria

La fase transitoria è quella della posa in opera il cassero in legno cemento o EPS porta il peso proprio del solaio ed andrebbe verificato ; a questo pensa l'azienda costruttrice che ci fornisce indicazioni sulla distanza dei puntelli verticali $d < 2,0\text{ m}$

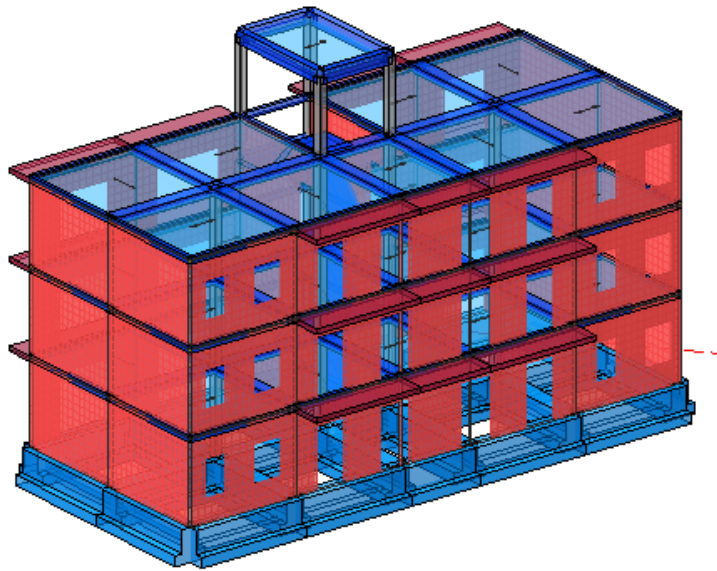


5- La modellazione FEM di un edificio con blocchi cassero

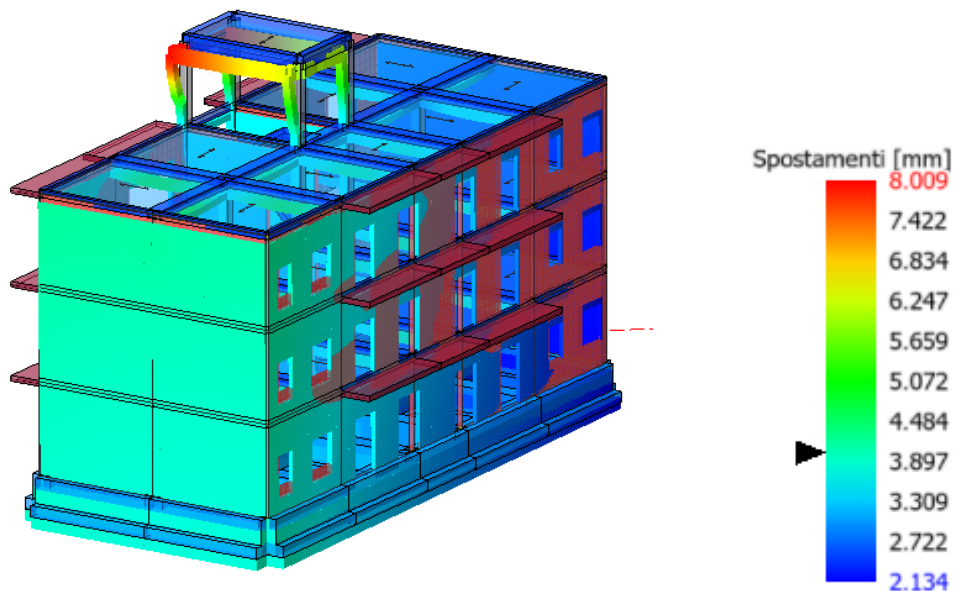
Eseguiamo il calcolo di un edificio a tre piani le cui pareti perimetrali sono realizzate con blocchi cassero ottenendo quindi una parete esterna in cemento armato che sopporta le azioni sismiche orizzontali mentre all'interno vengono disposti pilastrini a sezione quadrata in cemento armato che portano i carichi verticali. Riportiamo la pianta del nostro edificio che ha una impostazione modulare su maglia quadrata di lato 450 cm ; il piano terra è munito di portineria locale per quadri elettrici , l'edificio si compone di 3 impalcati, consta di 5 appartamenti ciascuno della superficie di circa 88 mq , ed uno al piano terra della superficie di 65 mq

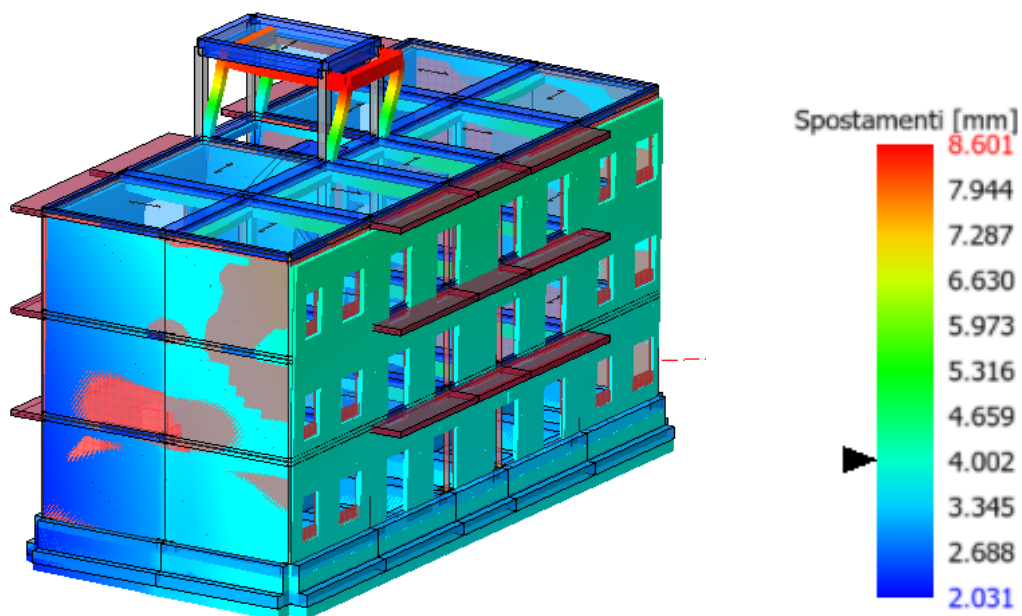


*Sulle pareti vengono realizzati dei cordoli di dimensioni 16x25 , mentre le travi a spessore hanno dimensioni 55x25 ; la scala è a soletta rampante . La geometria del nostro edificio non è vincolante poiché i blocchi cassero sia per parete che per solai possono essere tagliati ed assemblato secondo le dimensioni della carpenteria.
La modellazione FEM è per $A_g = 2,6 \text{ m/sec}^2$*

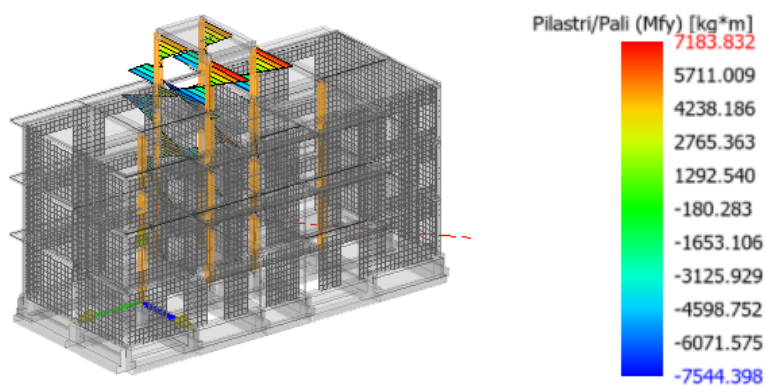
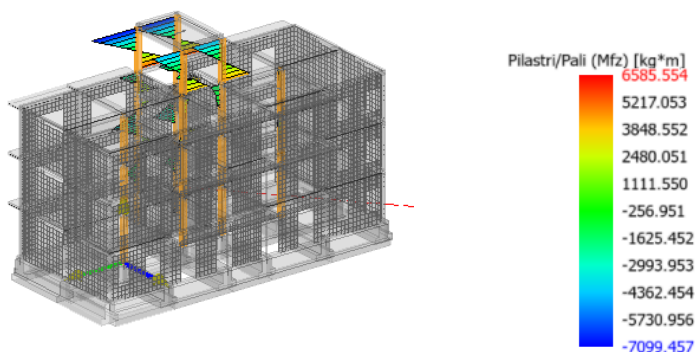


La deformata della struttura per azioni sismiche orizzontali nelle due direzioni :

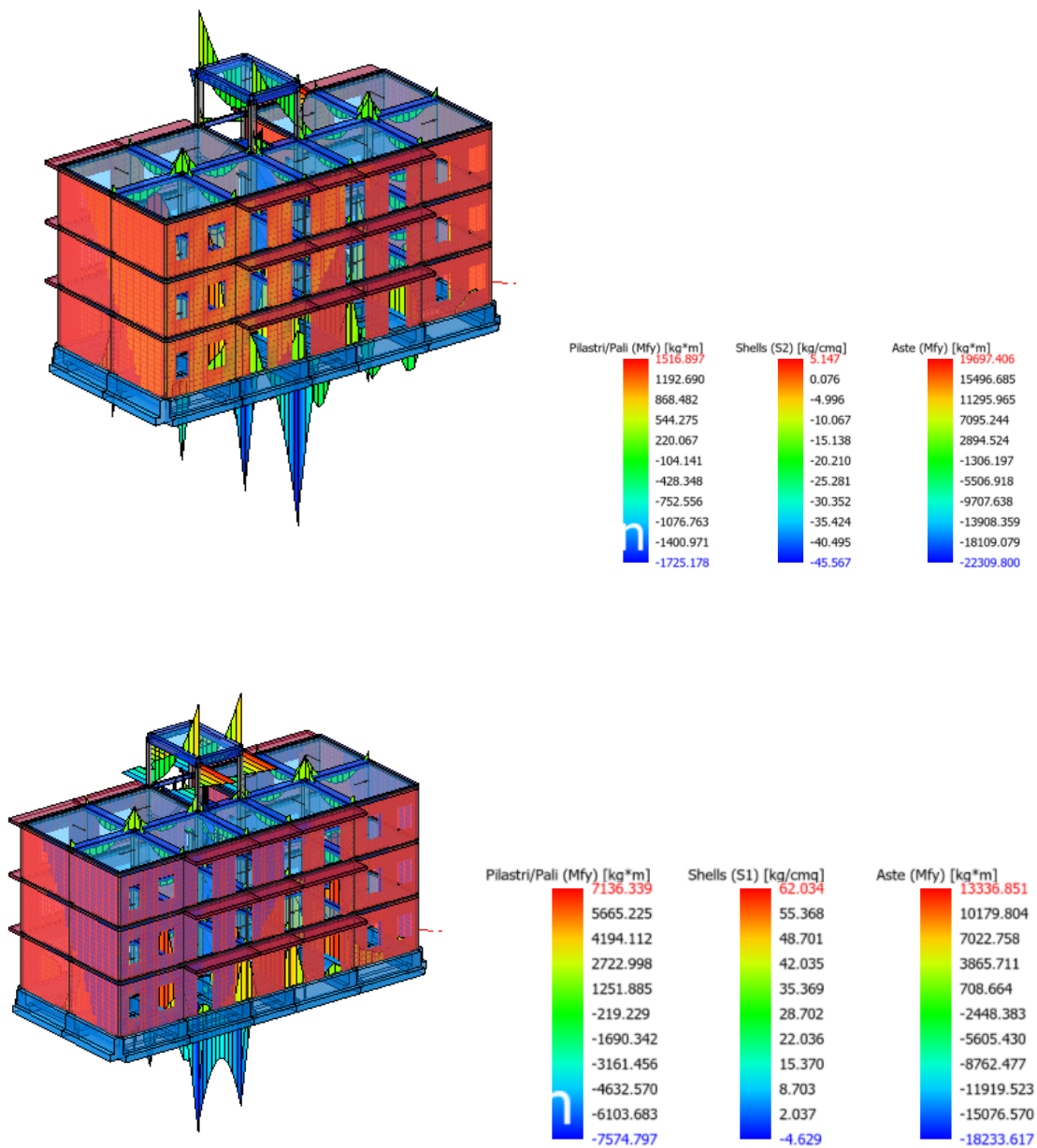




Gli spostamenti maggiori sono quelli dei pilastri del torrino scale dove non vi è la parete in c.a.; ciò che si vuole evidenziare per azioni sismiche i valori ridotti delle sollecitazioni flettenti sui pilastri centrali, per cui l'assorbimento dell'azione sismica è demandato esclusivamente alla parete di contorno.



Le tensioni principali nelle pareti S_1 ed S_2



Gli elementi strutturali sono tutti verificati e la struttura non dà problemi; il grande vantaggio di questa tipologia di struttura è la assenza di pilastri o setti interni garantendo una adeguata libertà di pianta, inoltre la tamponatura essendo realizzata con struttura in cemento armato in occasione di eventi sismici non subisce danni. I vantaggi sono innegabili

- sostenibilità edilizia
- assenza di danni alle tamponature
- libertà distributiva interna
- dimensioni ridotte degli elementi strutturali
- elevata resistenza alle azioni sismiche ect

La tamponatura collaborante

All'interno della struttura del nostro edificio è conveniente individuare un telaio spaziale in cemento armato in modo che vi sia continuità tra gli elementi strutturali siano essi travi e pilastri; nella struttura vista in precedenza le travi a spessore poggiano direttamente sulle pareti quindi è conveniente realizzare dei cordoli di dimensioni maggiori 30x40 e pilastri nei punti nodali della maglia strutturale 30x30 in modo da definire una intelaiatura in cemento armato. Esistono dei pezzi speciali sia in EPS che in legno cemento che ci consentono di ricavare all'interno della parete dei pilastri.

6- Le prescrizioni anticendio

Gli edifici per civile abitazione oggetto di prevenzione incendi sono quelli che hanno le seguenti caratteristiche

TABELLA A					
Tipo di edificio	Altezza Antincendi	Massima superficie del compartimento (m ²)	Massima superficie (m ²) di competenza di ogni scala per piano	Tipo di vani scala e di almeno un vano ascensore	Caratteristiche "REI" dei vani scala e ascensore, filtri, porte, elementi di suddivisione tra i compartimenti
a	da 12 m a 24 m	8000	500	Nessuna prescrizione	60 (**)
			500	Almeno protetto se non sono osservati i requisiti del punto 2.2.1.	60
			550	Almeno a prova di fumo interno	60
			600	A prova di fumo	60
b	da oltre 24 m a 32 m	6000	500	Nessuna prescrizione	60 (**)
			500	Almeno a prova di fumo interno se non sono osservati i requisiti del punto 2.2.1.	60
			550	Almeno a prova di fumo interno	60
			600	A prova di fumo	60
c	da oltre 32 m a 54 m	5000	500	Almeno a prova di fumo interno	90
d	da oltre 54 m a 80 m	4000	500	Almeno a prova di fumo interno con filtro avente camino di ventilazione di sezione non inferiore 0,36 m ²	90
e	oltre 80 m	2000	350 (**)	Almeno a prova di fumo interno con filtro avente camino di ventilazione di sezione non inferiore a 0,36 m ²	120

Poi vi sono quelle categorie di edifici che utilizzano materiali strutturali combustibili quali legno, paglia, per i quali in seguito ad un incendio attraverso la carbonizzazione la diminuzione di sezione resistente può pregiudicare la stabilità strutturale del nostro edificio.

Il nulla osta di fattibilità (NOF) corrisponde ad un parere rilasciato con riguardo a uno o più aspetti rilevanti dal punto di vista della prevenzione incendi, elaborato sulla base della valutazione di un progetto di fattibilità dell'opera.

Gli articoli 8 e 9 del decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151 prevedono due nuovi procedimenti facoltativi: il nulla osta di fattibilità e la verifica in corso d'opera. Tali procedimenti volontari sono di assoluto interesse per i titolari dell'attività, che possono quindi ricorrere, per aspetti di particolare complessità, alla consultazione della pubblica amministrazione, sia in fase preliminare alla progettazione, mediante la richiesta di un parere di fattibilità, sia durante l'esecuzione

dei lavori, mediante l'effettuazione di visite tecniche, da effettuarsi nel corso di realizzazione dell'opera. Gli aspetti dell'opera rilevanti dal punto di vista antincendio che possono essere sottoposti all'esame del Comando provinciale e sui quali lo stesso, dopo le opportune valutazioni, esprimerà il proprio parere, potranno riguardare:

- ubicazione;*
- comunicazioni e separazioni;*
- accesso all'area e accostamento dei mezzi di soccorso;*
- caratteristiche costruttive e lay-out (distanziamenti, separazioni, isolamento);*
- resistenza al fuoco;*
- reazione al fuoco;*
- compartimentazione;*
- vie di esodo;*
- sistema di controllo dei fumi naturale o meccanico;*
- aree e impianti a rischio specifico;*
- impianti elettrici di sicurezza;*
- illuminazione di sicurezza;*
- mezzi e impianti di estinzione degli incendi;*
- piani di rivelazione, segnalazione e allarme.*

*Il **NOF** può essere chiesto sia per nuovi insediamenti che per modifiche ad attività già esistenti. L'istanza deve contenere le generalità e domicilio del richiedente o, nel caso di ente o società, del suo legale rappresentante, specificazione della attività soggetta principale e delle eventuali attività soggette secondarie, oggetto dell'istanza di nulla osta di fattibilità ed indicazione degli aspetti di prevenzione incendi oggetto dell'istanza di nulla osta di fattibilità.*

Gli allegati, conformemente a quanto disposto dall'allegato I al DM 7/8/2012 sono:

-relazione antincendio

che evidenzia l'osservanza dei criteri generali di sicurezza antincendio, tramite l'individuazione dei pericoli di incendio, la valutazione dei rischi connessi e la descrizione delle misure di prevenzione e protezione antincendio da attuare per ridurre i rischi.

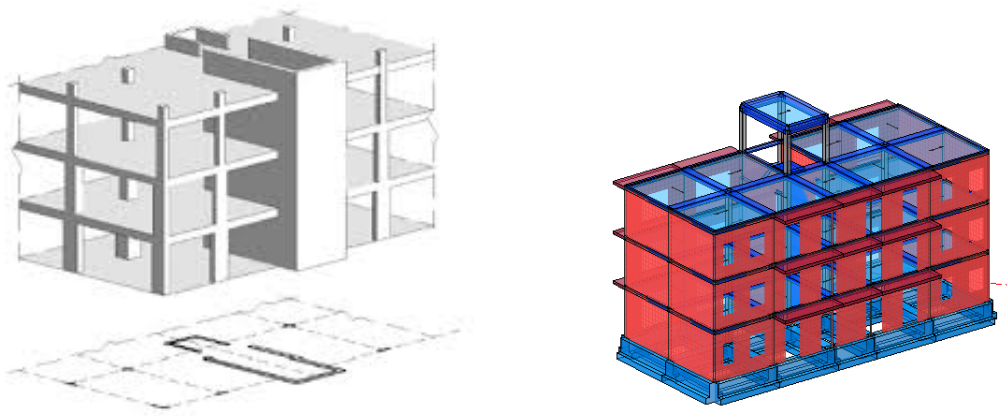
-elaborati grafici

dai quali risulti l'ubicazione delle attività, le condizioni di accessibilità all'area e di viabilità al contorno, gli accessi pedonali e carrabili, le distanze di sicurezza esterne, le risorse idriche della zona (idranti esterni, corsi d'acqua, acquedotti e riserve idriche), gli impianti tecnologici esterni (cabine elettriche, elettrodotti, rete gas, impianti di distribuzione gas tecnici).

Tutta la documentazione tecnica viene redatta dal professionista antincendio iscritto nelle liste del Ministero dell'Interno. Negli atti tecnici dovrà essere posta particolare attenzione alla descrizione dell'attività principale e sulle eventuali attività secondarie soggette a controllo di prevenzione incendi ed indicazioni sugli aspetti di prevenzione incendi. Dal momento della presentazione dell'istanza la stessa dovrà concludersi nel tempo massimo di 30 giorni.

7-Conclusioni

Gli edifici in blocco cassero rappresentano un'ottima soluzione per strutture in zone ad elevata sismicità dove la parete perimetrale estesa debolmente armata assorbe l'intera azione sismica eliminando problematiche fastidiose relative alle tamponature che in occasione di terremoti si sono sempre danneggiate. La tecnica costruttiva è quella della bioedilizia poiché si utilizzano materiali ecologici quali polistirene espanso e legno cemento all'interno dei quali viene eseguito il getto della parete in cemento armato. Il danno urbano viene notevolmente attenuato poiché la struttura in c.a. ha i caratteri della eco-sostenibilità che si palesa soprattutto nella fase di costruzione quando il calcestruzzo gettato nei blocchi cassero è praticamente invisibile modificando l'associazione mentale immediata che scaturisce dalla visione di un cantiere per un edificio in cemento armato che è quella del danno ambientale ed urbano. La tecnologia costruttiva è innovativa si ottengono edifici molto rigidi che in occasione di eventi sismici non si deformano, inoltre le pareti possono essere realizzate anche celermente combinando i vantaggi della pratica costruttiva delle murature con quella del cemento armato. Rappresentano delle tipologie di edifici alternative alla classica struttura intelaiata in cemento armato con tamponature da consigliare soprattutto in zone ad elevata sismicità dove l'elemento strutturale sia esso trave o pilastro ha assunto dimensioni proibitive. Può sostituire la tipologia strutturale a nucleo centrale dove l'edificio viene irrigidito in corrispondenza del vano scala e nucleo ascensore, l'irrigidimento è invece lungo il perimetro della costruzione.



Le pareti del nucleo scala hanno uno spessore di 30 cm, le pareti di un edificio con blocchi cassero 15cm, sono tipologie strutturali che si adattano bene ad edifici di 5-6 piani in zona sismica

Le case in terra cruda

1-Introduzione

2-Il materiale: la terra

3-La tecnica costruttiva

4-Le verifiche della muratura in terra cruda

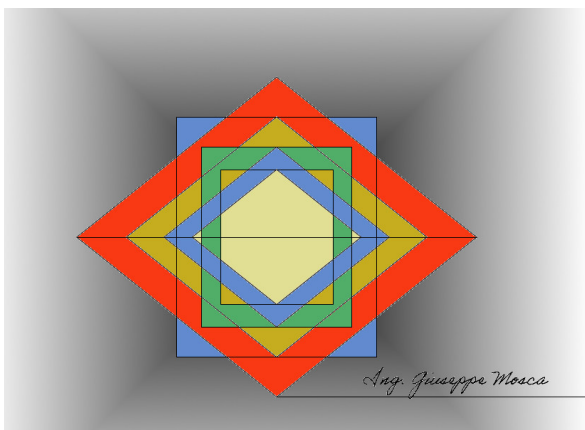
5-La resistenza sismica di muratura in terra cruda non rinforzata

6-La muratura in terra cruda armata

7-La trasmittanza termica

8-Terra cruda e edilizia sostenibile

9-Conclusioni



N.B. Mi scuso a priori di eventuali imprecisioni o errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti

Le case di paglia

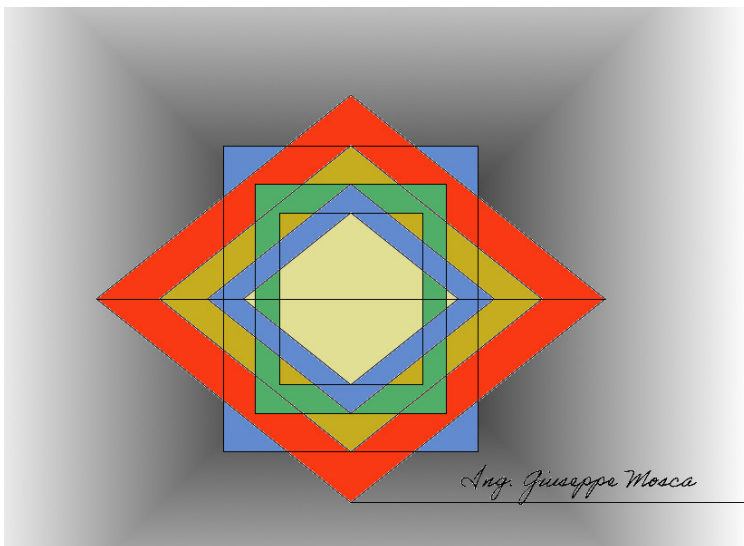
1- Introduzione

2- La paglia

3- I sistemi costruttivi

4- Edificio in paglia

5- Conclusioni



Ing. Giuseppe Mosca



N.B. Mi scuso a priori di eventuali imprecisioni o errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti .

1- Introduzione

*L'utilizzo di case di paglia ha origini molto antiche anche nel territorio Abruzzese i contadini erano soliti realizzare stalle fienili costruzioni precarie utilizzando delle balle di paglia; la paglia residuo della mietitura del grano dell'orzo ha un costo molto ridotto per cui i vantaggi economici la rapidità nella costruzione di case di paglia era immediata. Una casa di paglia oggi non è una costruzione precaria deve avere lo stesso iter burocratico ed amministrativo di una casa normale forse per questa tipologia di edifici assume rilevanza la pratica antincendio poiché il limite all'architettura naturale deriva proprio dalla scarsa resistenza al fuoco dei materiali costituenti L'evoluzione delle case di paglia è una struttura con pannelli in legno e montanti verticali , realizzando un pannello prefabbricato **PLATFORM** standardizzato avente dimensioni 120x280cm che assolve alla funzione portante , la paglia ha la esclusiva funzione di isolante termico ed acustico , realizzando la tamponatura della nostra costruzione. Le case di paglia vista la loro leggerezza sono antisismiche vanno progettate per resistere alle azioni del vento e sono in perfetta antitesi alle costruzioni in cemento armato ; permeare l'inconscio collettivo ovvero convincere un committente a preferire la casa di paglia alla casa in cemento armato è molto difficoltoso si rischia la derisione e si viene tacciati di incapacità .La casa di paglia si inserisce bene in contesti naturali e paesaggistici quali parchi naturali forse meglio di una casa in legno ,architettura naturale che valorizza il paesaggio e la natura ed è poi ciò che si richiede ad ogni intervento edilizio di migliorare l'ambiente naturale o urbano e non di danneggiarlo. Ogni persona nella sua infanzia almeno nelle zone rurali ha visto transitare trattori con rimorchi carichi di balle di paglia utilizzata come materasso per gli animali bovini ed ovini che riposavano e si adagiavano su un letto di paglia; le balle di paglia poi nel corso degli anni si sono evolute in rotoloni e non sono stati più utilizzati nelle costruzioni ma nel settore della carta ovvero venivano vendute dai contadini alle cartiere per ricavarne della carta che oggi viene riciclata.*



2- La paglia

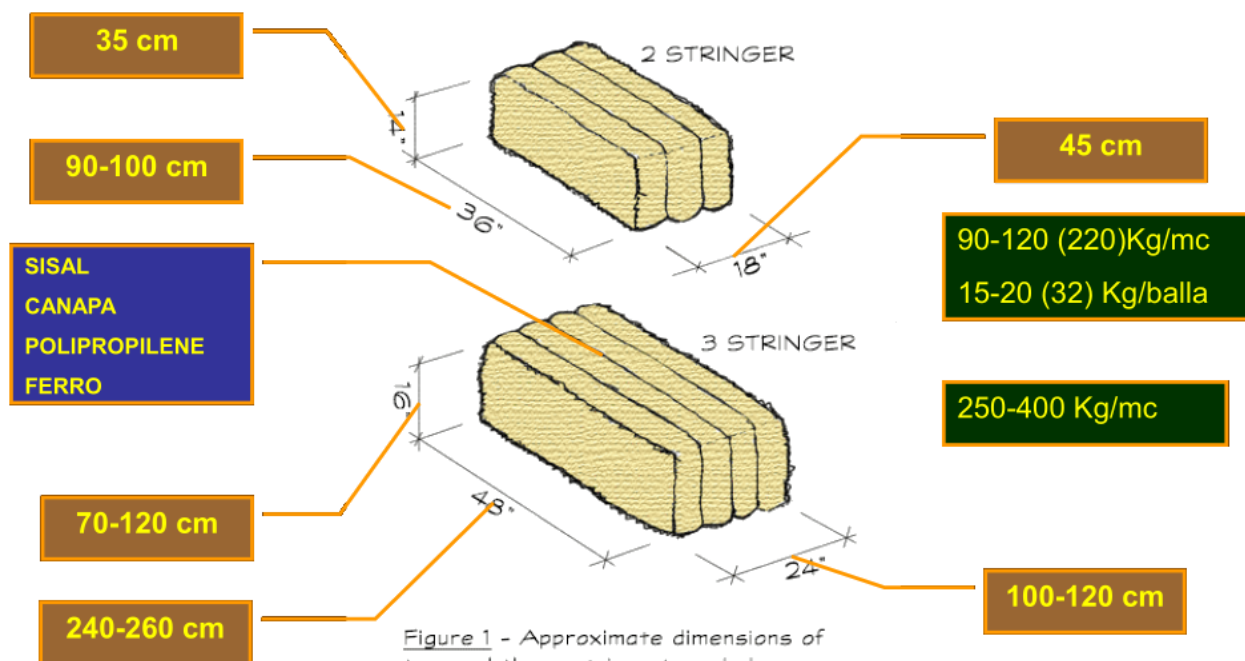
La paglia è la parte secca della pianta tra rizoma e la spiga , a maturazione avvenuta si esegue la mietitura , un tempo si realizzavano i covoni con dei manocchi di grano, attraverso l'evoluzione delle macchine agricole il grano o l'orzo vengono contemporaneamente mietuti e trebbiati e dalla paglia lasciata sul campo si ottengono le balle



La paglia è formata da :

- cellulosa
- lignina
- cere
- silicati
- minerali

CARATTERISTICHE DELLE BALLE



La paglia è un ottimo isolante termico ed acustico riportiamo i valori della conduttività termica confrontati con quelli di altri materiali;

PANNELLI DA COSTRUZIONE	λ (W/mK)
SUGHERO ESPANSO	0.045
MURO PAGLIA IN DIREZIONE $\perp$ ALLE CANNUCCIE [°]	0.052
FIBRE DI LEGNO POROSO	0.060
MURO PAGLIA IN DIREZIONE $\parallel$ ALLE CANNUCCIE [°]	0.080
P.LLI IN LANA DI LEGNO MINERALIZZATO	0.090
FIBRE DI LEGNO SEMIDURO	0,100
FIBRE DI LEGNO DURO	0,150
P.LLI IN TRUCIOLI IN LEGNO CON COLLANTE	0.160
MATTONE FORATO PORIZZATO LEGGERO MURATO CON MALTA ISOLANTE	0.18
MATTONE FORATO PORIZZATO	0.25
P.LLI IN FIBROCEMENTO	0.600
CARTONGESSO	0.910
CEMENTO ARMATO	2.3

*E' un materiale **ecosostenibile***

- rispetta i criteri della economia circolare poiché è un sottoprodotto della produzione dei cereali , non occorre dispendio di energia per produrla ;
- è un prodotto di scarto di scarso valore economico;
- è un materiale come il legno ed il cls che sottrarre anidride carbonica all'atmosfera
- è un materiale rinnovabile
- vi sono grandi disponibilità di paglia

Punti critici

- deve essere isolato dall'acqua ovvero va usato
- è poco durabile come tutti i materiali da costruzione

ha un basso costo una balla di paglia ha un prezzo di circa 2 euro

Resistenza al fuoco

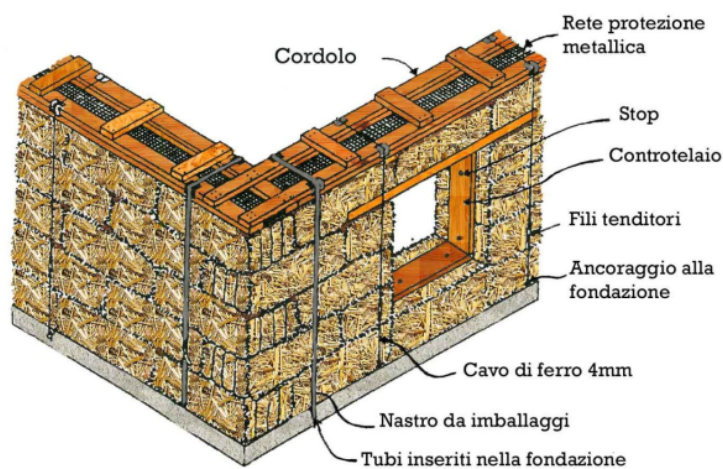
La paglia sciolta è un materiale altamente infiammabile la combustione dipende dall'ossigeno ma essendo le balle pressate la presenza di ossigeno è minima;è buona norma pressare la paglia all'interno della pannellatura in legno inoltre il muro di paglia è protetto da strati esterni di intonaco cementizio o a base di argilla . Conviene utilizzare dei materiali ignifughi come rivestimenti interni ed esterni in modo che si possa avere una resistenza al fuoco di almeno 30 min. REI30 .

3- I sistemi costruttivi

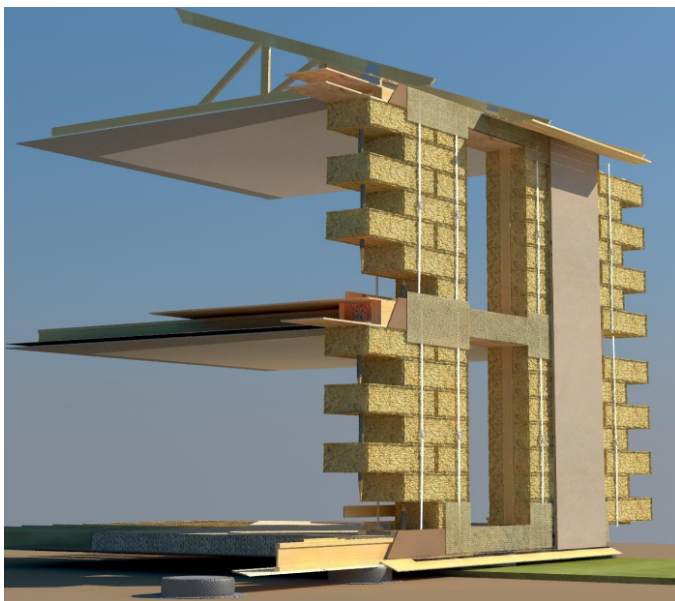
Esistono differenti sistemi costruttivi , il sistema del quale ci occuperemo è prefabbricato con pannelli platform in LVL ed isolante termico in paglia

- Metodo Nebraska

Le pareti portanti sono interamente in paglia e vengono precomprese tramite cavi di acciaio per cui la resistenza alle azioni del vento alle azioni sismiche ed ai carichi verticali viene demandata esclusivamente alle balle di paglia ; sono delle strutture precarie realizzate dai contadini anche nelle zone abruzzesi che avevano la funzione di ricovero degli animali. Le balle vengono assemblate a giunti sfalsati come una muratura in laterizio e precomprese tramite cinghie .

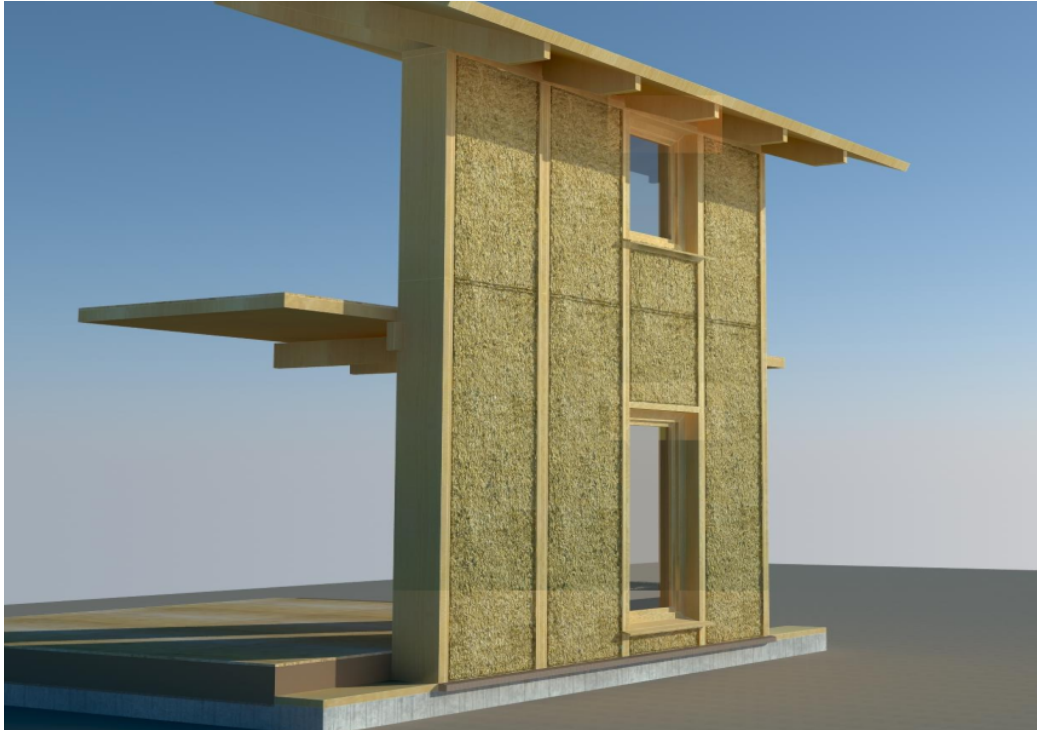


Una casa realizzata con questo sistema presenta degli orizzontamenti che appoggiano sulla parete in paglia che esplica una resistenza a compressione di circa 900 daN/ml per la balletta mentre per le jumbo bale può arrivare a 4500÷7000 daN/ml



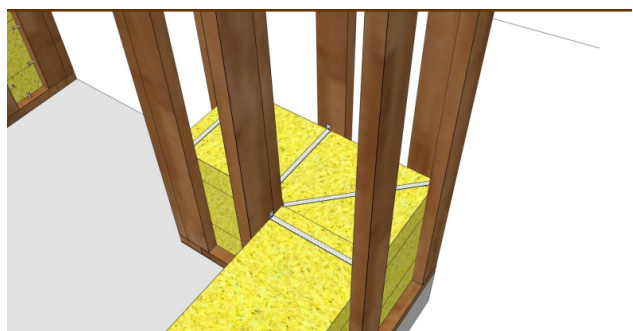
Post and Beam, Straw bale infill

Altro sistema costruttivo è quello di una struttura intelaiata in legno con travi e pilastri e la palla di paglia ha l'esclusiva funzione di tamponatura , per cui va verificata a ribaltamento fuori del piano e deve essere ancorata alla struttura intelaiata .



-Post and beam : Greb

è un sistema costruttivo di origini canadese realizzato attraverso correnti verticali in legno al cui interno vengono inserite le balle di paglie con funzione di riempimento. La struttura portante è interamente in legno chiaramente la costruzione si presenta molto laboriosa .

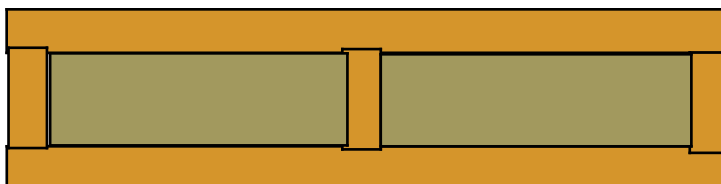
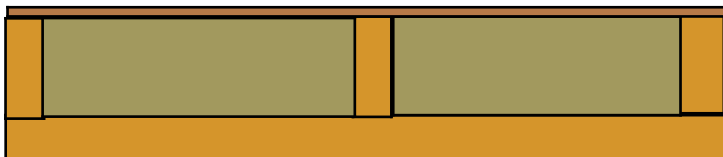


Questo sistema costruttivo incastrando le balle di paglia all'interno della struttura in legno ne evita il ribaltamento e conferisce adeguata resistenza alla tamponatura

-Sistema Platform con isolante termico in paglia

Il sistema Platform per le case in legno in LVL o in lamellare normale prevede la realizzazione di pannelli in legno mediante 3 montanti di dimensioni 45x200 e pannello in legno dello spessore di 4 cm larghezza 120 cm ed altezza 280 cm. La parte interna viene riempita con paglia avente la funzione di isolante termico. La soluzione migliore sarebbe quella di utilizzare un doppio pannello ovvero un cassettonato con una parte in legno ad alta resistenza e rigidezza, avente uno spessore da determinare un funzione dei carichi e del tipo di edificio.

I pannelli vengono assemblati e con essi si possono realizzare delle unioni tramite viti simili alle strutture in XLAM.



Merita un cenno il calcolo dello spessore della paglia che è calcolato in base alla prestazione che vogliamo ottenere, come avviene per un normale materiale isolante. La paglia è certificata e ha determinati valori di trasmittanza, capacità termica, permeabilità, densità. Ad esempio se dobbiamo costruire un NZEB in zona climatica E dove il limite è di $0,26 \text{ W/mqK}$ con le misure della balla di paglia otteniamo un valore che è quasi la metà e cioè $0,167 \text{ W/mq}^*\text{K}$. Lo standard della balla di paglia che io utilizzo è la misura $42 \times 32 \times 90 \text{ cm}$ con un peso di circa $15/20 \text{ kg}$ e una conducibilità (λ) di $0,055 \text{ W/mq}^*\text{K}$. Si tratterebbe di calcolare la trasmittanza del pannello in modo approssimativo trascuriamo i tre correnti poiché vi sono dei ponti termici e consideriamo esclusivamente lo scambio termico attraverso il pannello di legno e la paglia



Paglia 20 cm ;

Pannello di legno 4.5 cm;

Rivestimento esterno 1,5 cm

Rivestimento interno 1,5 cm

La formula della trasmittanza termica

$$U = 1/[R_{si} + \sum S_i / \lambda_i + R_{se} + R_a + R_n] =$$

$$= 1/[0,10 + 0,04 + 0,2/0,055 + 0,04/0,13 + 0,03/1,4] = 0,243 \text{ W/mq}^*\text{K}^\circ < 0,26 \text{ W/mqK}$$

R_{si} resistenza laminare interna

R_{se} resistenza laminare esterna

S_i spessore strato omogeneo

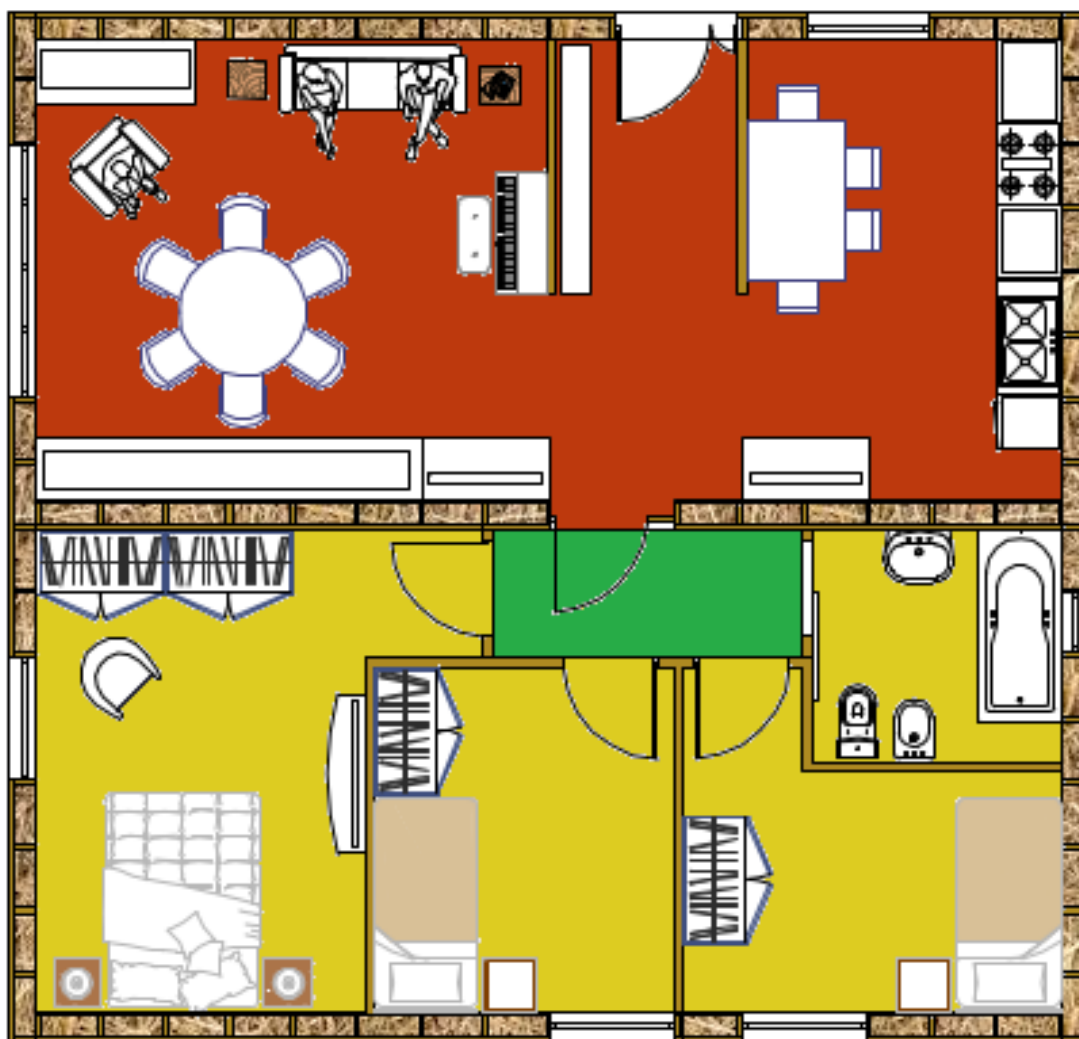
λ_i conducibilità materiale

R_a resistenza intercapedine con aria

Resistenza superficiale $\text{m}^2\text{K/W}$	Direzione del flusso termico		
	ascendente	orizzontale	discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

4- Edificio in paglia

La casa in paglia realizzata con pannelli prefabbricati non è altro che una casa in legno, ha una elevata resistenza alle azioni sismiche poiché rientra tra le costruzioni leggere e deve essere calcolata oltre che per carichi verticali anche per azioni del vento. Il calcolo strutturale prevede la modellazione dei pilastri o correnti verticali tramite aste e dei pannelli con elemento piastra lastra (plate-shell); vengono modellate le travi cordolo superiori ed i solai considerati infinitamente rigidi nel proprio piano. La paglia non ha alcuna resistenza strutturale esclusivamente la funzione di isolante termico e si possono modellare anche edifici a 4 -5 piani. Parlando di architettura naturale la progettazione prevede al massimo edifici a 1-2 piani al fine di contenere il danno urbano derivante dalla eccessiva altezza ed il danno ambientale dovuto al taglio degli alberi. Per quello che riguarda il costo devo premettere che ogni caso va valutato attentamente perché molti sono i fattori che entrano in gioco, come del resto negli altri tipi di costruzione. Ad ogni modo, generalizzando, posso dire che il costo di una casa singola di forma semplice, con struttura in legno e tamponamento in paglia, si aggira intorno ai 1000 euro al mq finita.



5- Conclusioni

Gli edifici in paglia in Italia, inizialmente, erano percepiti come una scelta a basso costo, e spesso venivano associati all'idea dell'autocostruzione, progettare edifici in paglia è diventata una tecnica costruttiva sofisticata, imbottita di fisica tecnica, ingegneria dei materiali, studio delle strutture, acustica e protezione dall'acqua.

Ci si chiede per quale motivo costruire una casa in paglia da preferire a costruzioni in cemento armato, legno, muratura, acciaio ect; la motivazione è semplice la casa in paglia è originale rappresenta la innovazione ed andrebbe architettonicamente distinta dalle altre costruzioni, oltre che trattasi di architettura naturale che si integra perfettamente in parchi naturali e zone di montagna cercando di valorizzare un'agricoltura tanto bistrattata quale la produzione di grano ed orzo dove la paglia residuo della trebbiatura veniva utilizzata come letto per gli animali.

1- Introduzione

Il calcestruzzo ed il laterizio sono ottenuti da materiali presenti nella crosta terrestre quali cave di argilla per i laterizi, cave di inerti e cave di calcare per il calcestruzzo entrambi provengono da materiale presente sulla terra come per l'acciaio e l'alluminio che subiscono dei processi industriali di lavorazione. Il legno, la paglia invece rappresentano dei materiali utilizzati in edilizia provenienti dall'ambiente naturale ovvero dalla vegetazione quali foreste e campi di frumento. La terra cruda è un materiale da costruzione utilizzato in ogni luogo della terra sin dall'antichità, nell'Unesco il 20% dei siti registrati come patrimonio mondiale sono interamente o parzialmente costruiti in terra. Nel corso degli anni è diventato materiale da costruzione privilegiato per l'uomo, vi sono esempi di realizzazione nell'antichità che fanno parte dell'archeologia



presenti in Siria in Marocco e Turkemenistan. In alcune regioni rurali della America Latina, dell'Asia e dell'Africa la terra è utilizzata come materiale da costruzione privilegiato, in Italia case in terra cruda le troviamo soprattutto in Sardegna. Quando il privato cittadino decide di costruirsi una casa ha sempre privilegiato la tecnica costruttiva del cemento armato, vedendo questo materiale come economico e sicuro dal punto di vista sismico, nel suo inconscio ha questo modello ideale di costruzione. I vari terremoti che si sono verificati negli ultimi 20 anni in Italia la modifica delle normative tecniche sulle costruzioni hanno continuato a privilegiare questa tecnica costruttiva aumentando le dimensioni degli elementi strutturali. Le politiche ambientali hanno incentivato l'uso del legno ed il ricorso alla bioedilizia per la realizzazione di nuove costruzioni, modificando l'inconscio collettivo della gente comune che di fronte a mastodontiche strutture in cemento armato parla di danno ambientale ed urbano esprimendo del disappunto, per cui quando decidono di costruirsi una nuova casa preferiscono costruzioni ecologiche in legno Xlam in legno cemento o con caseri in polistirolo strutture PEDA resistenti sismicamente. La scelta della costruzione di una casa in terra cruda ha una sua originalità e peculiarità con particolare attenzione all'ambiente naturale quasi la casa in terra cruda volesse diventare un punto un luogo di attrazione in un territorio comunale come si visitano dei monumenti dei musei, in un comune si visita il quartiere di case in terra cruda rappresenterebbe un modo per incentivare il turismo e le gite scolastiche istruttivo didatticamente avvicinando il mondo delle costruzioni alla natura.



2- Il materiale: la terra

Quando si parla di terra si fa riferimento ad un materiale sedimentario naturale utilizzato per la costruzione che deriva dalla alterazione di una roccia sedimentaria; la terra può essere residuale o trasportata dall'acqua o vento. Questo materiale sedimentario è principalmente costituito da una frazione inorganica sedimentaria costituita da frazioni inorganiche di taglia variabile ed una frazione organica.

ghiaia- pietrisco $> 2 \text{ mm}$

sabbia $> 63 \mu\text{m}$

limo $2 \div 63 \mu\text{m}$

argilla $< 2 \mu\text{m}$

La **ghiaia** con dimensioni comprese tra $2 \text{ mm} < D < 64 \text{ mm}$ e la **sabbia** $63 \mu\text{m} < D < 2 \text{ mm}$ costituiscono la parte rudimentale della terra utilizzata per costruire e ne aumentano la permeabilità, invece il **Limo** $63 \mu\text{m} < D < 2 \mu\text{m}$ ha una buona coesione interna ed una grande permeabilità. Le **argille** sono così definite per la loro minuscola granulometria $D < 2 \mu\text{m}$, sono dei silicati idrati di alluminio cristallini con struttura tetraedrica; le classi più importanti sono la caolinite, la montmorillonite, la halloysite e la beidellite. Le proprietà della terra cruda utilizzata per le costruzioni sono riportate nella seguente tabella:

Propriétés	Unités	Terre comprimée
Teneur en argile	%	5 à 30
Indice de plasticité IP	%	5 à 30
Teneur en eau initiale W_{in}	%	5 à 15
Masse volumique sèche ρ	kg/m^3	1600 à 2200
Teneur en eau ambiante w	%	0 à 5
Retrait de séchage	%	1 à 3
Coefficient résistance à la vapeur μ		5 à 20
Module de Young E	GPa	1,0 à 6,0
Résistance compression R_c	MPa	0,4 à 3,0
Résistance traction R_t	MPa	0,1 à 0,5
Capacité thermique massique c	J/kg.K	600 à 1000
Capacité thermique volumique C	$\text{kJ/m}^3 \cdot \text{K}$	960 à 2200
Conductivité thermique λ	W/m.K	0,5 à 1,7

Per la progettazione di case in terra cruda i parametri che più interessano sono:

modulo di elasticità normale $10000 \text{ daN/cm}^2 < E < 60000 \text{ daN/cm}^2$

resistenza a compressione $4 \text{ daN/cm}^2 < R_c < 30 \text{ daN/cm}^2$

resistenza a trazione $0,1 \text{ N/mm}^2 < R_t < 0,5 \text{ N/mm}^2$

Il materiale presenta una buona rigidezza essendo il modulo elastico simile a quello delle murature , anche la resistenza a compressione e a trazione sono accettabili rientrano nei valori tipici delle murature esistenti. Per quanto concerne la conduttività λ si avvicina ai valori della conduttività di altri materiali da costruzione quali malta e calcestruzzo.

<i>Terra cruda tipo Pisé</i>	$\lambda = 1 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}^{\circ}$
<i>Terra cruda alleggerita</i>	$\lambda = 0,36 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}^{\circ}$
<i>Terra cruda alleggerita 600- 800kg</i>	$\lambda = 0,24 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}^{\circ}$



3-La tecnica costruttiva

Per quanto concerne la realizzazione di murature in terra cruda possono distinguersi tre metodi costruttivi :

- Muri massicci monolitici portanti costituiti da blocchi di grandi dimensioni realizzati con l'uso di casserature;*
- Murature portanti o di tamponamento realizzate con piccoli blocchi seriali prefornati e pre-essiccati in luogo asciutto e penombra ;*
- Terra di tamponamento su strutture a graticcio alle strutture portanti.*

Le principali tecniche tradizionali sono 6 :

- Pisé*
- Torchis*
- Bauge*
- Adobe*
- La terre allégée*
- Les enduits en terre .*

L' Adobe è la tecnica edilizia che usa i blocchi o mattoni in terracorda (non cotti) prodotti artigianalmente o industrialmente, mattoni composti principalmente da un composto di argilla e sabbia e eventualmente impastati con un triturato di paglia. I mattoni in terra cruda di piccole dimensioni si ottengono da argille grasse che non contengono pietrisco (caranto), i mattoni in terra cruda più grandi, al contrario, si ottengono da argille magre (con più sabbia), alle quali viene aggiunta spesso della paglia triturata. I mattoni crudi con un elevato contenuto di sostanze leggere (sabbia, paglia) non sono adatti per la costruzione di muri portanti e vengono usati per le pareti di tamponamento. Per elevare un muro in mattoni crudi viene usata come legante una malta d'argilla o una malta di calce e il muro a sua volta, deve essere protetto dall'umidità ascendente, tramite una barriera orizzontale e, verticalmente dalla pioggia, tramite un intonaco a calce.



Il Pisé era una tecnica molto diffusa nell'architettura rurale dell'Ottocento, consiste nella costruzione di muri portanti e pareti di tamponamento, usando casseforme in cui la terra cruda, opportunamente preparata, viene collocata e pressata. Per la tecnica edilizia detta Pisé si usa un'argilla magra (sabbiosa) e poco umida.

Estrazione - Si cominciano i lavori estraendo la terra argillosa. Questo tipo di terra si incontra sotto il primo strato (strato vegetativo 50 cm più o meno) e dato che è abbastanza comune è probabile che la troverete direttamente sull'area di costruzione (vedere in seguito: come riconoscere un'argilla adatta). Alle terre troppo grasse potete aggiungere sabbia, per ottenere una granulometria più adatta che evita la formazione di fessure durante il processo di essiccamento.

Stagionatura – La terra estratta bisogna poi lasciarla “stagionare”; durante questa fase le zolle si sbriciolano, per conservare la naturale plasticità della terra argillosa, si deve coprire la terra così accumulata con dei teli bagnati per evitare l'essiccazione e proteggerla dalle piogge eventuali.

Preparazione della miscela di terra - La terra va mescolata con acqua e ad essa è aggiunta sabbia fino a raggiungere una pasta omogenea. Nel frattempo si mette la paglia a bagno per qualche ora; si tira fuori e si scola l'acqua in eccesso. Si aggiunge la paglia umida alla terra tagliuzzandola. Si fa riposare questo composto, da un minimo di 6 ore ad un massimo di 2 settimane, sotto un telo di plastica. Questo composto, preparato per il Pisé, che contiene più sabbia e meno acqua, è collocato nelle casseforme. Quando il preparato è più umido e grasso, può essere usato su di una struttura a griglia di legno o bambù, preventivamente spennellata di terra. Qualora fosse applicato manualmente con una cazzuola, raccomandiamo l'aiuto di un muratore esperto e l'uso di una betoniera.

Casseforme - Una volta preparate le casseforme si colloca il preparato in strati di 5-12 cm che va diligentemente battuto a mano o con l'ausilio di una macchina, fino ad arrivare a strati alti 80 cm. Si possono formare tre strati al giorno. Agli angoli gli strati devono unirsi per dentatura, e lo spessore dei muri portanti è di 50 cm. Le aperture di porte e finestre si ottengono creando apposite contro intelaiature, le architravi devono essere rinforzate con listelli di legno. Questa tecnica edilizia, detta Pisè, consente la costruzione di edifici alti due o tre piani. Comunque è sempre meglio erigere i muri in terra cruda con uno zoccolo di pietra alto da terra 30 cm almeno, per proteggerli contro l'umidità ascendente. La zoccolatura andrebbe protetta con un appropriato strato di intonaco a difesa dalla pioggia.



ALCUNE REGOLE DI BASE PER LA COSTRUZIONE IN TERRA CRUDA

Muri portanti

Spessore minimo dei muri portanti:

- un solo piano 30 cm
- piano inferiore di due piani 50 cm
- Altezza massima 3,5 m
- Luce massima tra due punti 5,0 m

I muri portanti e quelli che irrigidiscono la struttura devono essere costruiti contemporaneamente e ben collegati tra loro.

Aperture:

- *La distanza tra le aperture (cioè tra una porta e una finestra) non deve essere inferiore ai 75 cm.*
- *Gli architravi in terra cruda sopra le porte e le finestre devono essere armati, l'armatura consiste in listelli di legno con sezione di 40/50 mm, collocati a una distanza di 10cm uno dall'altro e con un sostegno laterale corrispondente alla metà dell'apertura (es.: una porta di 80 cm deve avere listelli che sporgono di 40cm)*

Muri di tamponamento:

- *Quando si stabilisce la dimensione del telaio portante, bisogna tener conto che il peso della terra cruda umida è maggiore rispetto a quella asciutta*
- *Il peso dei muri di tamponamento deve essere scaricato sul telaio piano dopo piano*
- *Bisogna garantire la stabilità dei muri durante la fase di battitura nelle casseforme, se necessario puntellare il telaio.*

Come riconoscere un'argilla adatta

- *Dal composto preparato secondo le regole qui sopra elencate (senza paglia), fatene un piccolo uovo alto 3 cm, pressandolo bene, lasciatelo asciugare e poi mettetelo tra il pollice e l'indice e provate a romperlo con la forza delle due dita, se non si rompe, potete dar principio ai lavori; in caso contrario diminuite la quantità della sabbia e riprovate.*

Come preparare i mattoni in terra cruda

- *Una volta che vi siete accertati che il composto abbia la giusta consistenza e plasticità, prendetene una certa quantità e facendone una palla, buttatela con forza dentro lo stampo in legno. Prima però ricordatevi di spennellare della terra asciutta dentro lo stampo, così che il composto non attacchi al legno. Pressato bene il futuro mattone, rovesciatelo in un posto dove possa seccare al sole.*

La pratica applicativa del Pisé

- *La tecnica costruttiva del Pisé (o della terra battuta) si basa sulla realizzazione di mura con argilla umida per evitare fessurazioni in fase di essiccazione. L'argilla è compattata con appositi strumenti, dentro casseforme lignee di limitata altezza e smontabili, per consentirne lo spostamento. Talvolta la massa di argilla può essere alleggerita con l'aggiunta di paglia tritata ed erba secca. In climi secchi il Pisé viene direttamente poggiato sul terreno livellato e pulito. In climi umidi, per contro, si ricorre ad una fondazione in mattoni o pietrame grezzo legato con malta cementizia. Il muro può avere uno spessore variabile ed è realizzato a strati, battendo l'argilla con strumenti in legno dalla testa larga, a punta o a cuneo, in modo da renderla compatta ed accelerare la sua essiccazione. Una volta che la terra si è indurita, si procede al disarmo della cassaforma per riarmarla di fianco mantenendo un poco di contatto con la parte realizzata in precedenza. Questo procedimento si ripete fino a che non si raggiunge l'altezza desiderata.*

-La tecnica costruttiva del Pisè

*Il **Pisé** è una tecnica di messa in opera di terra cruda definita da tre fattori indissociabili:*

- Una terra umida generalmente senza elementi vegetali ;*
- La posa in opera di questa terra per strati di altezza regolare all'interno di una casseforma rigida e stabile;*
- Una compattazione dinamica regolare eseguita manualmente o con mezzi meccanici.*

*Riportiamo in tabella i valori delle caratteristiche meccaniche del **Pisé** , che presenta una buona resistenza a compressione ma una bassa resistenza a trazione circa 1/10 di quella a compressione.*

Proprietà	Valore		Simbolo	Unità di misura
	minimo	massimo		
Densità	1,7	2,2	ρ	
Massa volumica	1700	2200	P	kg/mc
Resistenza a compressione	9	17	σ_C	daN/cm ²
Resistenza a trazione	1	1,7	σ_T	daN/cm ²
Modulo di Elasticità	5000	8000	E	daN/cm ²
Conduttività Termica	0,46	0,81	λ	W/(m*C°)
Ritiro lineare		5		mm/m

*Vi sono molti tipi di terra cruda e numerosi tipi di terre possono essere utilizzati per realizzare elementi in **Pisé** con o senza ghiaia e pietrisco solo con argilla. Nella costruzione di strutture in Pisè si hanno tre fasi fondamentali:*

- La realizzazione di un muretto di prova che mettono a punto i parametri di produzione ;*
- La analisi di questo muretto per vedere se gli elementi sono stati realizzati a regola d'arte;*
- Eseguire dei controlli in corso di costruzione al fine di garantire la costanza delle caratteristiche dei materiali;*

-Realizzazione del muro di prova

Il muro di prova va costruito prima di iniziare i lavori nel cantiere ,la forma e le dimensioni vengono stabilite dal direttore dei lavori; il muretto deve essere protetto dalle intemperie e dalla risalita di acqua capillare e deve essere realizzato con le

stesse caratteristiche con le quali verrà costruito la casa in terra cruda. In funzione della tipologia di terra cruda bisogna regolare :

-La tenuta dell'acqua

-L'altezza ottimale dei vari letti di posa in modo da garantire la omogeneità di ogni strato compattato.

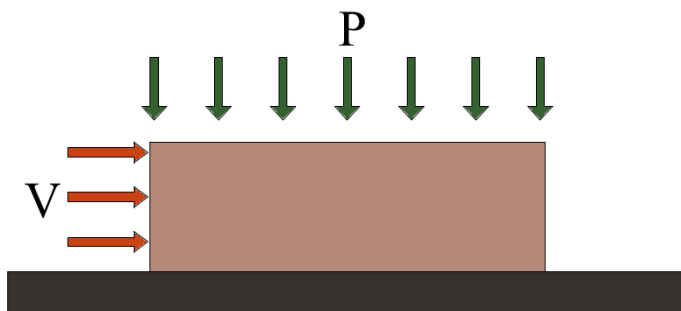
Possono essere costruiti anche più muri di prova in funzione della grandezza del cantiere ovvero del volume di terra cruda da utilizzare. La conformità del muro di prova ovvero la sua rispondenza alla regola d'arte viene seguita tramite :

-Un analisi visuale che riguarda la omogeneità, l'aspetto e la densità apparente;

-Una verifica della coesione della terra cruda ovvero della sua capacità di resistere ad azioni taglianti; se consideriamo l'equazione della curva intrinseca la tensione tangenziale è funzione della coesione caratteristica geotecnica propria delle argilla

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Può essere eseguita una prova sul muretto applicando un carico verticale e forze di taglio orizzontali



Può essere eseguita anche una prova a compressione sul muro di prova applicando esclusivamente carico verticale ; sono queste le due prove fondamentali al fine di definire il valore della resistenza f_{ckt} e τ_{kt} da utilizzare attraverso opportuni coefficienti parziali γ_{ckt} e γ_{kt} nel calcolo di verifica delle pareti in Pisè.

Questa analisi iniziale consente di validare il processo di produzione e che lo stesso può essere posto in opera , inoltre consente di valutare l'aspetto superficiale quale colore, tessitura ,ed evidenziare eventuali problemi che si avranno durante la costruzione. Durante la fase di costruzione bisogna verificare che i parametri stabiliti nel muro di prova siano rispettati :

- La altezza degli strati prima della compattazione e la loro omogeneità

-La qualità della compattazione

-La tenuta all'acqua della terra cruda

Tali verifica vanno eseguite attraverso un esame visuale ed al tatto.

-La tecnica costruttiva dell'Adobe

*La tecnica costruttiva del mattone di terra cruda essiccato al sole è , tra le tecniche costruttive che adoperano la terra cruda come materiale di base quella maggiormente diffusa al mondo essendo una vera e propria casa in muratura. La parola **Adobe** in spagnolo significa mattone crudo , la cui origine deriva dal termine arabo **tub** mattone , il dizionario Castigliano recita “mattone di fango crudo dall’arabo tub” La produzione del mattone avviene con metodi molto semplici con e senza stampi di svariate dimensioni , partendo da terra allo stato liquido o plastico . Gli adobe possono essere distinti in tre categorie :*

-Adobe plasmati a mano , senza stampo in forme coniche cilindriche e cubiche;

-Adobe prodotti a mano utilizzando stampi in legno o metallo;

-Adobe prodotti per estrusione utilizzando le stesse tecniche di produzione del mattone cotto ; le dimensioni del mattone sono contenute tra 20 cm e 60 cm.

*Il mattone in terra cruda è prodotto con impasto di terra acqua e paglia mescolati in proporzioni che dipendono sostanzialmente dalle caratteristiche chimico fisiche della terra utilizzata. La terra va prelevata a profondità di circa 1 m dal piano di campagna in modo da non contenere componenti organici, l’aggiunta della paglia è fondamentale per creare una struttura fibrosa pluiridirezionale che riduce la fessurazione ed il ritiro della terra cruda. Per la produzione di **Adobe** si utilizza terra cruda avente la seguente granulometria:*

-Argilla 12% ÷ 18%

-Limo 10% ÷ 35%

-Ghiaia-sabbia 55% ÷ 75%

La paglia tagliata in steli aventi una lunghezza non superiore a 10 cm si aggiunge in percentuale non superiore al 3%.



Sui mattoni vengono eseguiti dei semplici controlli quali

- Analisi visiva

Si rilevano le superfici di tutti i mattoni ponendo attenzione alla eventuale presenza di fessurazioni delle quali si misura la lunghezza che non deve essere maggiore di 60 mm e la ampiezza della fessura non superiore a 3mm.

-Analisi al tatto

Si effettua uno sfregamento della superficie del mattone con le mani e si esamina la integrità degli spigoli ;la terra asportata sul palmo della mano ci danno delle indicazioni di massima sulla granulometria;

Si eseguono una serie di prove sul mattone quali :

- Prova di abrasione*
- Prova di assorbimento*
- Prova di erosione*
- Prova di resistenza all'urto*
- Prova di penetrazione*
- Prova a flessione per determinare la resistenza a compressione*

Queste prove non le descriviamo ci limitiamo soltanto alla determinazione della resistenza a flessione e quindi alla:

-Prova a flessione per determinare la resistenza a compressione

Esecuzione della prova.

Si posiziona la faccia inferiore dell'adobe da testare sui due appoggi e si procede al caricamento con i blocchi di calcestruzzo e con gli adobe preventivamente pesati, che verranno posizionati sulla piattaforma di carico. L'aumento del carico è progressivo ed ha termine alla rottura dell'adobe. La prova va ripetuta su almeno 5 adobe per ogni serie.



Si misura il carico di rottura P_{fi} ovvero la forza verticale applicata nella mezzeria del mattone che ne determina la rottura per flessione;

H altezza mattone , B larghezza , L lunghezza , l distanza tra i due appoggi;

$$M_{RFI} = P \cdot l / 4 ; \quad \sigma = M / I \cdot y ; \quad y = H / 2 \quad I = B \cdot H^3 / 12$$

Dal valore σ_{fi} si estrapola la resistenza a compressione: $\sigma_{Ci} = K * \sigma_{fi}$ dove $K = 8$ è un coefficiente proposto dall'“Ecole National des Travaux Publics de Lion”

4-Le verifiche della muratura in terra cruda

Per le verifiche a compressione, taglio, pressoflessione della muratura esistono delle normative tecniche neozelandesi dove vengono indicati dei metodi di verifica per muratura in terra cruda costruita con **Adobe**. La muratura in terra cruda resiste bene anche alle azioni sismiche se pur il sistema costruttivo non è contemplato nelle norme tecniche sulle costruzioni NTC 2018 che distingue gli elementi resistenti in muratura:

- Elementi artificiali
- Elementi naturali

Gli elementi naturali sono ricavati da materiale lapideo non friabile o sfaldabile, e resistente al gelo; essi non devono contenere in misura sensibile sostanze solubili, o residui organici e devono essere integri, senza zone alterate o rimovibili.

Gli elementi artificiali: elementi per muratura di laterizio, silicato di calcio, in calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri), calcestruzzo aerato autoclavato, pietra agglomerata, pietra naturale

Il mattone in terra cruda ADOBE è un **elemento artificiale** non previsto dalla NTC 2018. Le norme tecniche neozelandesi definiscono come in ogni normativa tecnica le tensioni di rottura ed in base a dei coefficienti riduttivi che non sono dei coefficienti parziali le tensioni di calcolo eseguendo le normali verifiche a compressione, flessione, pressoflessione e taglio. Nella seguente tabella riportiamo i valori delle tensioni di rottura espressi in MPa ovvero N/mm²:

Resistenze da utilizzare nella progettazione di murature in Terra Cruda N/mm²

Resistenza alla compressione (flessione - compressione)	$f_c = 0,5$
Massimo sforzo di taglio nominale	$f_t = 0,09$
Resistenza a taglio della terra per azioni del vento e sismiche	$f_{cs} = 0,08$
Resistenza a taglio della terra per carico sismico duttile $\mu = 2$	$f_c = 0,0$
Resistenza a taglio della terra armata in acciaio	$f_{cs} = 0,35$
Forza di adesione a trazione/flessione	$f_{ct} = 0,02$
Resistenza alla trazione per flessione	$f_{ct} = 0,1$

Quando un pannello di muratura è realizzato con file di più di dieci mattoni la resistenza a compressione va moltiplicata per un coefficiente K_m moltiplicativo per il singolo mattone dove se la deformazione $\delta > 0,35$ $K_m = 1,3$

La resistenza a compressione f_e e la resistenza a flessione f_{et} vengono determinate attraverso delle prove , dove

$$f_e = f'_{uc} \quad \text{Adobe e terra battuta}$$

$$f_e = 0,5 * f'_{uc} \quad \text{Mattoni in terra pressata}$$

f'_{uc} resistenza a compressione di campione non confinato

La resistenza a compressione del mattone derivata dalla resistenza a flessione

$$f_e = 3,5 * f_{et} \quad f_{et} \text{ resistenza a trazione del mattone}$$

Il modulo di elasticità normale della muratura in terra cruda

$$E_e = 300 * f_e \quad ; \text{ in analogia alla muratura dove } E = 1000 * f_k$$

Il modulo elastico di muratura armata in terra cruda non pressata ma rinforzata con acciaio

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

La resistenza a taglio della terra cruda è data dal più grande dei seguenti valori :

$$f_{es} = 0,07 * f_e$$

$$f_{es} = (70 + 5 * h) / 1000 \quad \text{N/mm}^2$$

h altezza dello strato compattato in metri

La verifica allo stato limite viene eseguita attraverso la seguente formula

$$S \leq \phi * S_n$$

dove ϕ è un fattore riduttivo

$\phi = 0,6$ per compressione assiale

$\phi = 0,8$ per flessione

$\phi = 0,7$ per taglio

$\phi = 0,7$ per connessioni metalliche alla terra cruda

$\phi = 0,6$ per flessione in alcuni casi particolari.

S la sollecitazione di compressione, flessione, taglio, pressoflessione, torsione.

-Verifica a compressione della muratura

$$N^* \leq K * \phi * N_0 ; \quad N_0 = b * t * f_e ;$$

t spessore muro , b lunghezza muro , f_e resistenza a compressione $K = 0,5$; $\phi = 0,6$
i valori di K sono riportati nella seguente tabella per snellezza ed eccentricità

Table 6.1 – Reduction factor (k) for slenderness and eccentricity

Slenderness ratio (S_r)	Reduction factor (k)				
	≤ 0.05 (Note 5)	Eccentricity to thickness ratio (e/t_w)			
		0.10	0.20	0.30	0.33
6	1.00	0.78	0.56	0.38	0.32
8	0.94	0.73	0.54	0.34	0.29
10	0.88	0.67	0.49	0.31	0.25
12	0.82	0.62	0.45	0.27	0.22
14	0.76	0.56	0.40	0.23	0.18
16	0.70	0.51	0.35	0.20	0.15
18	0.64	0.45	0.31	0.16	0.11

ovviamente riferite a verifiche fuori del piano. La snellezza della muratura viene determinata attraverso la formula seguente : $S_R = a_v * H/t$

H altezza della parete

t spessore

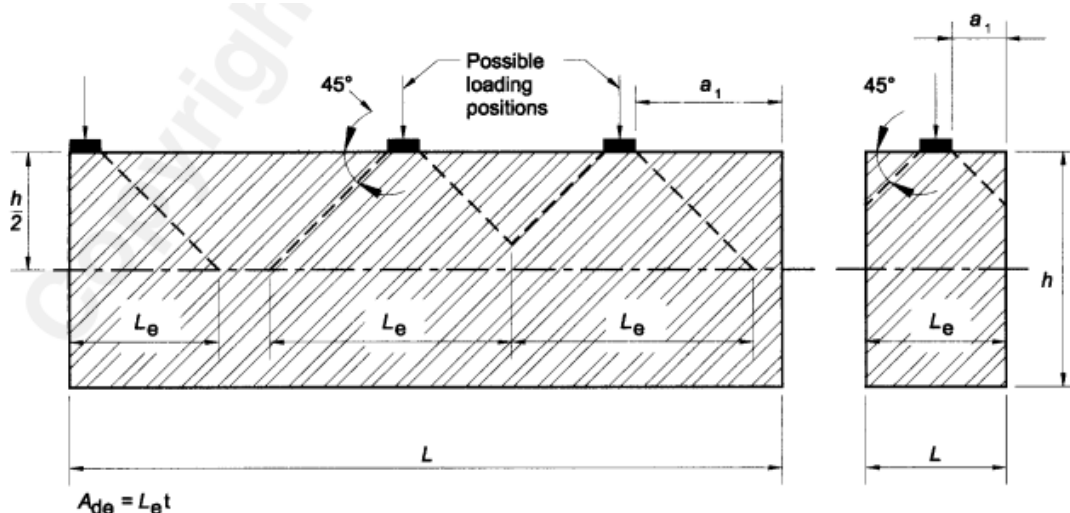
$a_v = 0,75$ per elemento vincolato alla rotazione sia in alto che in basso e supportato lateralmente ;

$a_v = 0,85$ per elemento supportato lateralmente sia in alto che in basso e vincolato alla rotazione;

$a_v = 1$ per elemento supportato lateralmente e libero alla rotazione sia in alto che in basso;

$a_v = 2$ per un elemento supportato lateralmente e vincolato alla rotazione solo nella parte inferiore ;

Il carico verticale che genera compressione è di solito un carico concentrato , la diffusione delle tensioni sulla parte di muratura è a 45°



La verifica a compressione la si esegue mediante la formula:

$$N^* \leq K_B \cdot \phi \cdot N_0 ;$$

$K_B = 1$ per sezioni trasversali a distanza maggiore di $0,25h$ al di sotto del livello del cuscinetto; per muratura piena o riempita di malta :

$$K_B = [0,55 \cdot (1 + 0,5 \cdot a_1/L)] / (A_{ds}/A_{de})^{0,33} \text{ o}$$

$$K_B = 1,5 + a_1/L \text{ per } K_B < 1$$

A_{ds} area al di sotto del carico concentrato : impronta di carico

$A_{de} = t \cdot L_e$ area effettiva a metà altezza con diffusione a 45°

L ed a_1 con le indicazioni riportate in figura;

-Verifica a flessione e pressoflessione della muratura in terra cruda

La verifica della parete muraria per carichi fuori del piano dovuta ad azioni sismiche orizzontali o azioni del vento v consiste nel confronto

$$M_{DH}^* \leq M_{CH} \text{ dove}$$

$$M_{CH} = 0,4 \cdot \phi \cdot f_{et} \cdot Z_U \text{ per muratura in mattoni}$$

$$M_{CH} = \phi \cdot f_{et} \cdot Z_U \text{ per muratura in terra battuta}$$

f_{et} resistenza a trazione della muratura

Nella formula si porta in conto la resistenza a trazione della muratura ipotizzando che allo stato limite ultimo la rottura avvenga per il raggiungimento della max deformazione a trazione. Con una trattazione alle tensioni ammissibili in fase elastica e diagramma delle tensioni lineari il momento ultimo della sezione deriva dalla formula di Navier

$$\sigma_T = 2 \cdot M \cdot t / I ; \quad M = f_{et} \cdot I / (2 \cdot t) ; \quad M = f_{et} \cdot W \quad W = B \cdot t^2 / 6$$

$$M_{CH} = 0,4 \cdot \phi \cdot f_{et} \cdot [B \cdot t^2 / 6] ;$$

t spessore della parete , B lunghezza della sezione.

In una trattazione allo stato limite ultimo con comportamento plastico a trazione e

compressione diagrammi rettangolari

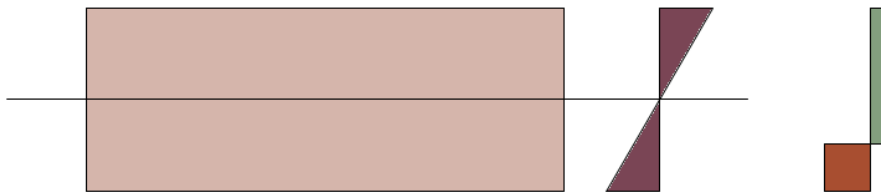
$$f_{et} * X * B = f_e * (t - x) * B; \quad f_{et} * x = f_e * (t - x) \quad ; \quad x * (f_{et} + f_e) = f_e * t ;$$

$x = f_e * t / (f_{et} + f_e)$; nota la posizione dell'asse neutro si può calcolare il momento M

$$M_{PL} = f_{et} * x^2 * B / 2 + f_e * (t - x)^2 * B / 2$$

La verifica consiste :

$$M^*_{DH} \leq 0,4 * \phi * \{f_{et} * x^2 * B / 2 + f_e * (t - x)^2 * B / 2\}$$



La verifica a pressoflessione nel piano è immediata analoga alle murature contemplate nelle NTC trascurando la resistenza a trazione.

$$M^* \leq \phi * M_N$$

$$M_N = P * t / 2 * [1 - P / (B * t * f_e)] \quad M^* \leq \phi * P * t / 2 * [1 - P / (B * t * f_e)]$$

P sforzo normale B e t dimensioni della sezione ; f_e resistenza a compressione in una trazione in fase elastica

$$\sigma = 2/3 * P / (t * u) \quad ; \quad u = B/2 - e \quad e = M/P \quad M_N = f_e * 3u * t / 2 * (B/2 - 2u/3)$$

$$M^* \leq \phi * [f_e * 3u * t / 2 * (B/2 - 2u/3)]$$

Nella verifica fuori del piano si è tenuto conto della resistenza a trazione della muratura di mattoni in terra cruda in conseguenza dello spessore ridotto $t \ll B$ in modo da aumentare il momento di rottura della sezione.

-Verifica a taglio

La verifica a taglio della muratura viene eseguita per attrito ovvero si valuta la forza di taglio che la sezione è in grado di sopportare a partire dalla sollecitazione di compressione :

$$V^* \leq \phi * (f_{es} * A_b + k_V * f_d * A_b)$$

f_{es} resistenza a taglio

A_b area della sezione

$k_V = 0,3$ coefficiente di attrito

f_d tensione di compressione

Per muratura cruda armata con steli in acciaio

$$V^* \leq \phi * V_N \text{ dove vi è anche il contributo della armatura } A_S * f_{YD} * d/s$$

$$V_N = f_{es} * A_b + k_V * f_d * A_b + A_S * f_{YD} * B/s$$

Sezione di lati B e t , s passo delle armature, $d = 0,8 * B$; $A_b = d * t$

con $V_N < 5 * f_e * d * t$

-Verifiche nella muratura in terra cruda :tecnica del Pisè

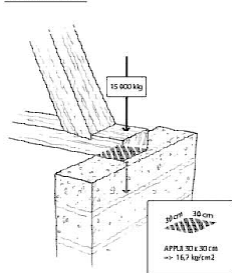
-Verifica a compressione

La parete viene ottenuta tramite compattazione meccanica o manuale in modo che le deformazioni siano ridotte e che la resistenza a compressione assuma valori più elevati: $9 \text{ daN/cm}^2 \div 17 \text{ daN/cm}^2$. Per la verifica utilizziamo le formule valide per l'adobe.

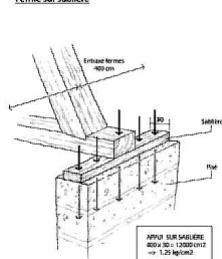
$$N^* \leq K * \phi * N_0 ; \quad N_0 = b * t * f_e ;$$

Per carichi concentrati conviene aumentare la impronta di carico come per le travi dei solai o le coperture

Ferme sur un mur



Ferme sur sablière



utilizzando la formula vista in precedenza

$$N^* \leq K_B \cdot \phi \cdot N_0 ;$$

$K_B = 1$ per sezioni trasversali a distanza maggiore di $0,25h$ al di sotto del livello del cuscinetto; per muratura piena o riempita di malta :

$$K_B = [0,55 \cdot (1 + 0,5 \cdot a_l/L)] / (A_{ds}/A_{de})^{0,33} \text{ o}$$

$$K_B = 1,5 + a_l/L \text{ per } K_B < 1$$

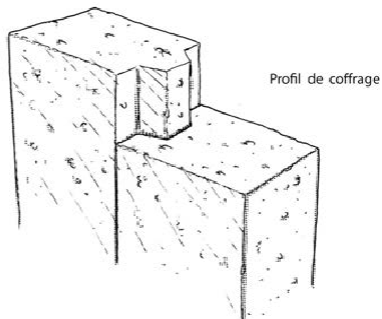
A_{ds} area al di sotto del carico concentrato : impronta di carico

$A_{de} = t \cdot L_e$ area effettiva a metà altezza con diffusione a 45°

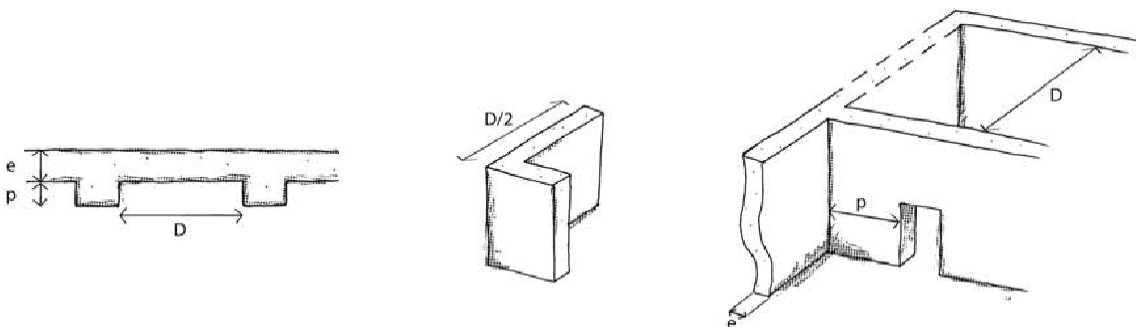
-Giunti di dilatazione

In conseguenza del ritiro nelle tre dimensioni della terra cruda si possono avere degli spostamenti compresi tra $0 \text{ mm} \div 5 \text{ mm}$ per cui vanno predisposti dei giunti di dilatazione che consentono i movimenti verticali

Liaison horizontale permettant les mouvements verticaux



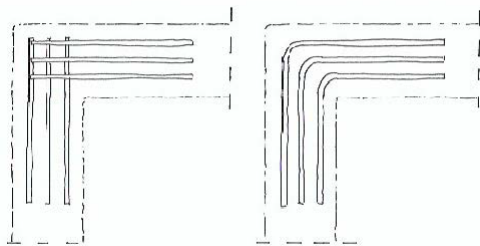
Al fine di aumentare la rigidità della parete ovvero diminuire la snellezza possono essere inseriti dei contrafforti



La snellezza $\lambda = K \cdot e \cdot h / t$, dove i valori di K ed e sono riportati in tabella
dove h altezza della parete ;
 t spessore

Valori di k	$e < p < 2e$	$p > 2e$
$D < 6e$	1,4	2
$6e < D < 10e$	1,2	1,4

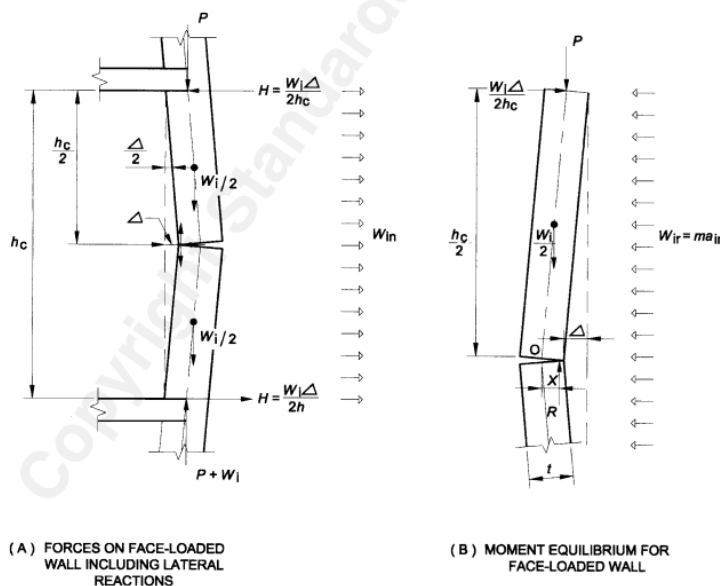
Gli angoli ed incroci con le pareti possono essere rinforzati con delle armature metalliche disposte come in figura;



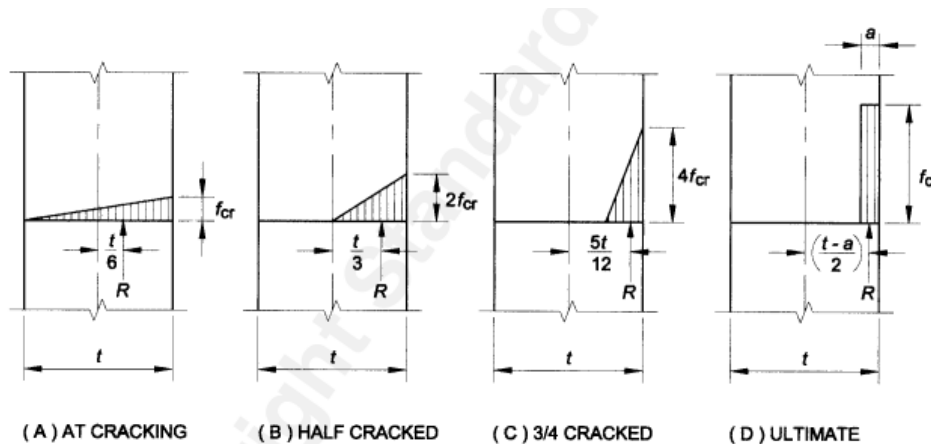
Per la verifica a taglio e a pressoflessione nel piano e fuori del piano utilizziamo le stesse formule viste per l'Adobe avendo cura di modificare i valori delle resistenze maggiori se la muratura in terra cruda la realizziamo con la tecnica del Pisè .

5-La resistenza sismica di muratura in terra cruda non rinforzata

La verifica fuori del piano per una parete in terra cruda sollecitata da azioni orizzontali viene eseguita considerando in essa un effetto arco ed una teoria del II ordine come riportato in figura:



La cerniera plastica si forma in seguito ad una parzializzazione della parete come riportata in figura



La resistenza $R = (1 - C_{pi}) * (P + W/2)$

P sforzo normale

W peso sismico ; Azione sismica orizzontale $A * W$ con $A = 1$

$$W_{CR} = 8 * M_{CR} / h^2$$

$$M_{CR} = R * t / 6 ; \quad t \text{ spessore parete}$$

Si determina la freccia in mezzeria della parete

$$\Delta_{CR} = 5/384 * W_{CR} * h^4 / (E_e * I) ; \text{ il momento di inerzia } I = B * t^3 / 12 ;$$

L'accelerazione critica può essere determinata tramite la formula

$$A_{CR} = 8 * R / (t * h^2 * \gamma) * (t/6 - \Delta_{CR})$$

$$\text{Il momento in mezzeria } M_{CR} = A_{CR} * (W/2 * \Delta_{CR}/2 + W/2 * \Delta_{CR}/2) + P * \Delta_{CR}$$

questo momento va confrontato con il momento fornito dalla cerniera plastica interna

$$M_U = f_e * 3u * t/2 * (B/2 - 2u/3) \quad \text{trattazione elastica lineare}$$

$$M_U = P * t/2 * [1 - P/(B * t * f_e)] \quad \text{trattazione plastica}$$

$$M_{CR} = M_U \quad \text{si può determinare l'accelerazione critica}$$

$$\Delta_{CR} = 5/384 * A_{CR} * W * h^4 / (E_e * I)$$

6- La muratura in terra cruda armata

Il sistema costruttivo utilizza una rete di rinforzo costituita da elementi orizzontali e verticali in legno (montanti e travi ad anello) ed elementi orizzontali in corda (nylon e poliestere). Il sistema di rinforzo in legno fornisce sovrarresistenza alla terra battuta rinforzata: gli elementi in legno hanno una maggiore resistenza a taglio e a flessione.

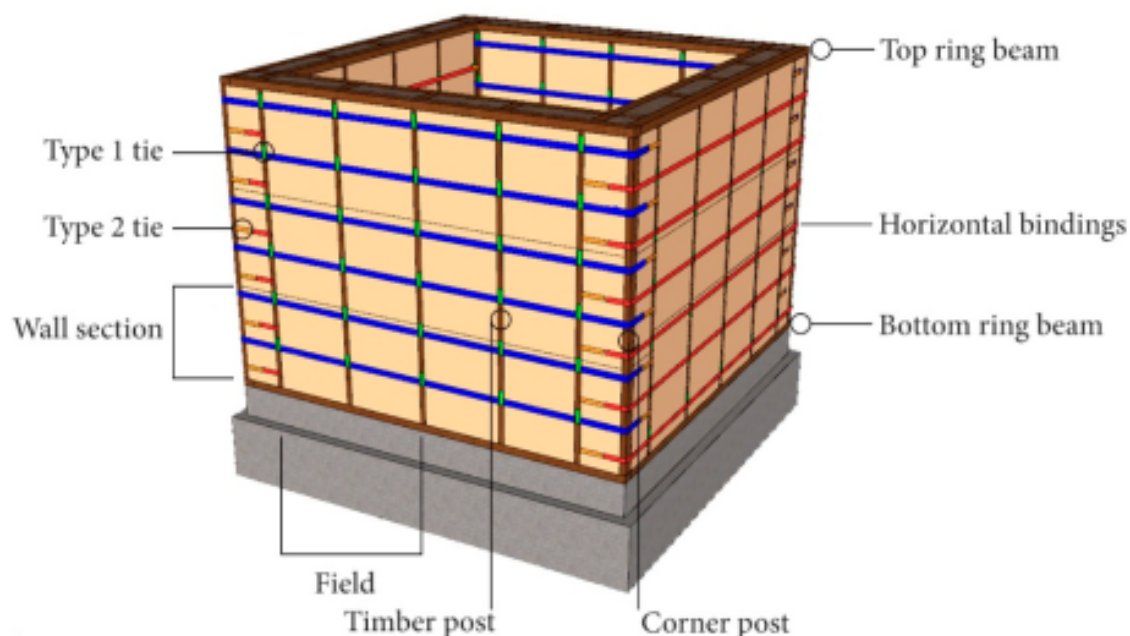


Figure 3. Three-dimensional reconstruction of the reinforcement system.

La porzione di muro costituita da sola terra battuta è in grado di far fronte ai soli carichi verticali lavorando esclusivamente a compressione; la presenza del telaio in legno conferisce alla muratura in terra cruda la capacità di resistere a sollecitazioni di flessione e taglio quindi può essere utilizzata in zona sismica tenendo presente che la densità della terra cruda è circa 2000 kg/mc quindi si ha un peso sismico elevato al quale corrispondono elevate forze di inerzia elevata. Per quanto concerne la rigidità il modulo di Young ha un valore quasi uguale a quello di murature esistenti

$E = 10000 \text{ daN/cm}^2 \div 60000 \text{ daN/cm}^2$ periodi di oscillazione molto ridotti poiché la rigidità delle pareti in conseguenza dell'elevato spessore delle murature ai quali corrispondono valori elevati di A_g . Si rende necessario l'imbrigliamento della muratura in terra cruda con un telaio in legno al fine di migliorare le prestazioni sismiche dell'edificio. Gli elementi ausiliari quali funi di Nylon che avvolgono il pannello di muratura in terra cruda hanno un effetto di confinamento impedendo la dilatazione trasversale ed aumentando la resistenza a compressione della terra cruda.

Questo sistema costruttivo consente una notevole razionalizzazione del processo costruttivo poiché la posa in opera degli elementi di rinforzo avviene prima del getto e la battitura del materiale; si può realizzare 1mq di parete in muratura armata di spessore 40 cm in circa 3 ore ad un costo di 700 euro/mq.

Altra tipologia di muratura in terra cruda armata è quella contemplata dalle norme neozelandesi realizzata previa la introduzione di armatura metallica una tecnica si-

mile alla muratura armata in laterizio o in blocchi di calcestruzzo previa la introduzione di barre verticali ed orizzontali negli Adobe che in fase di produzione devono già presentare dei fori. Le metodologie di progettazione per gli edifici in terra in Nuova Zelanda sono state adattate dagli standard esistenti in muratura e calcestruzzo. L'approccio nelle norme si basa sulla teoria della progettazione del cemento armato e utilizza principi di progettazione allo stato limite sia per la risposta elastica che per quella duttile limitata. Il fattore di duttilità strutturale è stato assunto pari a 2,0 per i muri in terra armata.

-Carichi fuori dal piano

La teoria della resistenza ultima del cemento armato è cautamente utilizzata come base per la progettazione di muri in terra armata. In generale, si ritiene che l'armatura verticale fornisca la forza di trazione affinché i pannelli di terra rinforzata lavorino in flessione contro il carico frontale fuori dal piano. Viene utilizzato un metodo energetico per valutare la resistenza sismica fuori piano allo stato limite ultimo di pareti non armate che si estendono verticalmente. Piuttosto che sulla forza elastica alla prima fessurazione, l'approccio energetico si basa sul meccanismo di collasso quando lo spostamento del muro va oltre la stabilità.

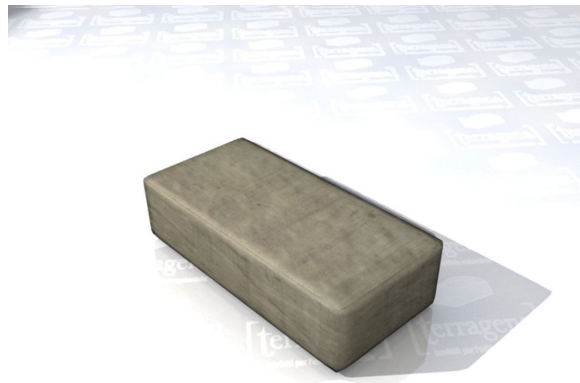
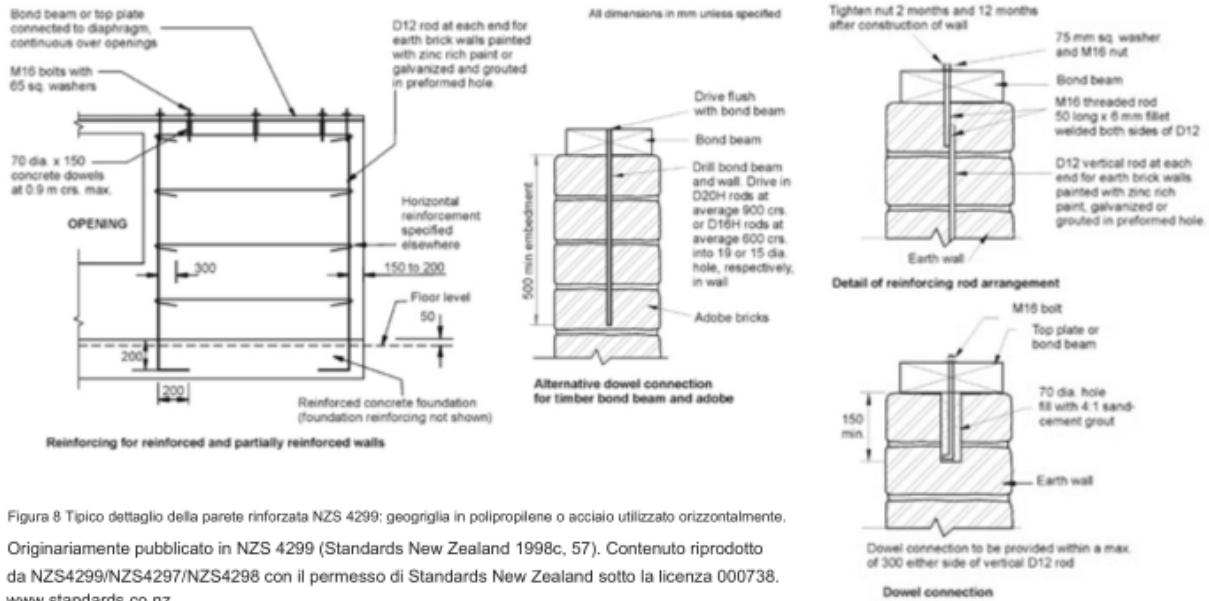
-Carichi nel piano

Le pareti di controvento forniscono resistenza al carico sismico in ogni direzione principale dell'edificio. I muri in terra rinforzata sono rinforzati verticalmente e orizzontalmente per fornire una certa duttilità nel piano e per sviluppare una maggiore resistenza al taglio. L'armatura consente l'uso di carichi di progetto sismici minori quando per la struttura è progettata una modalità di rottura duttile pianificata. La modalità di cedimento progettata è la flessione nel piano dei muri di controvento con cedimento dell'armatura verticale a ciascuna estremità del muro. Il cedimento per taglio di queste pareti è prevenuto tipicamente mediante l'uso di armature orizzontali ben distribuite. Viene utilizzato un metodo energetico per valutare la resistenza sismica fuori piano allo stato limite ultimo di pareti non armate che si estendono verticalmente. Piuttosto che sulla forza elastica alla prima fessurazione, l'approccio energetico si basa sul meccanismo di collasso quando lo spostamento del muro va oltre la stabilità. L'armatura verticale è mantenuta a un minimo ragionevole, per limitare i carichi di taglio nel piano e le forze di fondazione. Le pareti non rinforzate forniscono una capacità di rinforzo notevolmente inferiore senza il rinforzo verticale e orizzontale. Il cedimento per taglio è impedito esclusivamente dalla forza di taglio del terreno.

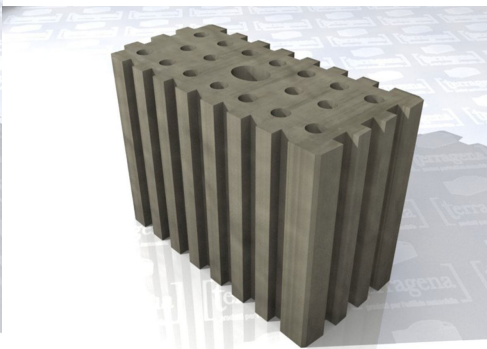
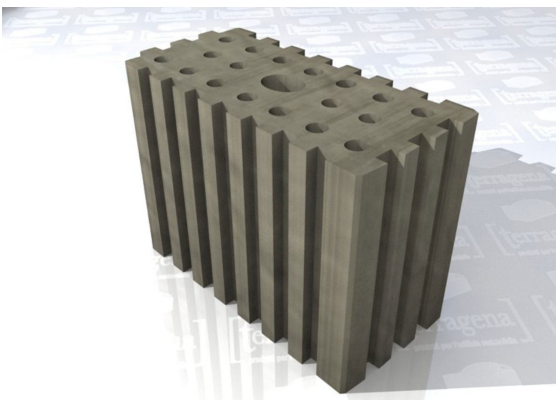
-Calcolo di una struttura in terra cruda armata.

Il calcolo e la verifica di una casa in terra cruda viene eseguito come per la muratura in laterizio armato attraverso una modellazione FEM della parete come elemento plate-shell utilizzando le formule riportate nelle NTC 2018 eseguendo la verifica per azioni sismiche orizzontali.

Armatura metallica



Adobe



Mattone in terra cruda forato .

Sono visibili i fori nei quali vanno alloggiate le armature verticali ; le armature orizzontali vengono disposte nei ricorsi di malta orizzontale . LA tecnica costruttiva è la stesa della muratura armata in laterizio o blocchi di cls alleggerito.

7-La trasmittanza termica

La terra cruda ha una buona capacità di isolamento termico ed acustico, riportiamo delle schede tecniche relative a pareti di muratura in terra cruda armata realizzata con blocchi forati.

Massa	8,8 Kg/cad ca.
Peso della parete	225 kg/m ²
Spessore del muro non intonacato	12 cm
Isolamento acustico (teorico)	46 dB
Conducibilità termica*	0,71 W/m°C
Resistenza alla compressione**	2,84 N/mm ²

La trasmittanza termica della parete è funzione del suo spessore ; la trasmittanza può essere determinata con una formula molto semplice che tiene conto dell'intonaco interno ed esterno ,utilizziamo un software di calcolo. Il valore limite della trasmittanza imposto dalla normativa italiana per componenti opachi è pari a

1.1 – Parametri relativi al fabbricato dell'edificio di riferimento				
U _{2019/2021} (W/m ² K)				
Zona climatica	Opachi verticali verso esterno, ambienti non climatizzati o contro terra	Opachi orizzontali o inclinati di copertura, verso esterno e ambienti non climatizzati	Opachi orizzontali di pavimento verso esterno, ambienti non climatizzati o contro terra	Chiusure tecniche trasparenti, opache e cassonetti, verso esterno e verso ambienti non climatizzati
A e B	0,43	0,35	0,44	3,00
C	0,34	0,33	0,38	2,20
D	0,29	0,26	0,29	1,80
E	0,26	0,22	0,26	1,40
F	0,24	0,20	0,24	1,10

Bisogna realizzare un cappotto termico esterno :

Spessore cappotto 10 cm ; Spessore muratura 40 cm; $U = 0,281 \text{ W/mq}^{\circ}\text{C}$

Spessore cappotto 10 cm ; Spessore muratura 50 cm; $U = 0,281 \text{ W/mq}^{\circ}\text{C}$

Spessore cappotto 12 cm ; Spessore muratura 40 cm; $U = 0,27 \text{ W/mq}^{\circ}\text{C}$

Il cappotto termico esterno si rende necessario per soddisfare le richieste della normativa in materia di trasmittanza termica.

8-Terra cruda e edilizia sostenibile (Elia Baglioni)

L'architettura bioecologica mira a creare edifici in armonico equilibrio con i luoghi nei quali si inseriscono e rispettosi dell'ambiente e della salute degli utenti che li vivono . Per raggiungere tali obiettivi occorre utilizzare materiali e tecniche eco-sostenibili, che prediligano il raggiungimento dell'efficienza energetica attraverso le strategie bioclimatiche, gli apporti passivi che massimizzano gli scambi termici tra edifi-

cio e ambiente e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili. La terra cruda è certamente uno dei materiali che risponde a tali obiettivi di eco-sostenibilità in quanto è reperibile a livello locale in molti contesti ambientali, è naturale e riutilizzabile. Inoltre, se non contaminata da agenti chimici antropici, la terra cruda non inquina e può altresì essere reimmessa nell'ecosistema; non contiene né emette sostanze nocive, sia in ambiente outdoor che indoor. Anche quando lavorata industrialmente, subisce bassi livelli di trasformazione della materia prima pertanto ha un basso consumo energetico di produzione, inoltre, non subendo processi di cottura, non emette agenti clima-alteranti e particolati inquinanti. La terra cruda è a tutti gli effetti un materiale ecologico e a basso impatto ambientale in quanto ha un ciclo di vita virtuoso dall'estrazione, alla lavorazione, all'utilizzo, allo smaltimento, che sul lungo periodo mantiene inalterate le risorse ambientali. L'utilizzo della terra locale è una delle grandi potenzialità di questo sorprendente materiale, al contempo però ciò comporta di volta in volta la necessità di analizzare la materia prima, mettere a punto l'impatto e valutarne le proprietà. Da non sottovalutare inoltre è la posa in opera in quanto, sebbene la terra sia un materiale ancestrale e apparentemente semplice da utilizzare, proprio per la sua variabilità, presuppone delle elevate conoscenze specifiche e specializzate. Ad oggi il mercato offre un numero sempre crescente di prodotti industrializzati in terra cruda, come blocchi pieni e forati, tavole e lastre, malte, premiscelati per la realizzazione della terra battuta, degli intonaci e delle finiture di pareti e pavimenti in varie colorazioni, che ne permettono un facile utilizzo nell'architettura contemporanea.

9-Conclusioni

*Le case in terra cruda fanno parte del patrimonio edilizio italiano e sono tutelate dai beni culturali le troviamo in Sardegna in Piemonte in Calabria nelle Marche ed in Abruzzo attraverso l'utilizzo del **Massone** un mattone in terra cruda e paglia modellato a mano. E' una forma di edilizia sostenibile una tecnica costruttiva che andrebbe incentivata anche se il concetto della casa nuova in terra cruda come per la casa in paglia è molto distante dal modo di pensare ed uso comune. Sono costruzioni originali che caratterizzano un territorio che hanno le stesse performance strutturali di edifici in muratura di laterizio si integrano perfettamente nell'ambiente naturale e contribuiscono al miglioramento del paesaggio naturale requisito fondamentale di ogni intervento edilizio definito come una trasformazione del territorio che per essere accettato e condiviso deve avere come obiettivo il miglioramento del contesto naturale o urbano nel quale viene inserito.*

Bibliografia

Eliana Baglioni- Costruzioni in terra cruda : dall'antichità all'architettura sostenibile.

New Zealand -Engineering Design of Earth Buildings.

France- Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue.

Maddalena Achenza ; Ulrico Sanna - Il manuale tematico della terra cruda.

Giada Giuffrida, Rosa Caponetto, Francesco Nocera, Massimo Cuomo - Prototyping of a Novel Rammed Earth Technology.

New Zealand: Aseismic Performance-Based Standards, Earth Construction.

Direttiva Europea Case-Green

1-Introduzione

2-Finalità ed obiettivi della direttiva

3-Il passaporto di ristrutturazione e lo sportello unico

4-Gli impianti: elettrico, riscaldamento e raffrescamento

5- Mobilità urbana

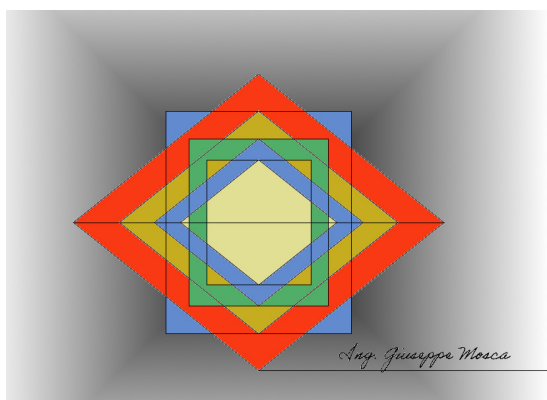
6-L'attestato di prestazione energetica

*7-Interventi **sismo-green** sugli edifici esistenti*

*8-I nuovi edifici **sismo-green***

9- Forme di finanziamento

10- Conclusioni



N.B. Mi scuso a priori di eventuali imprecisioni o errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti

1- Introduzione

La direttiva **Case-Green** , è una normativa emanata dal parlamento Europeo che si pone come obiettivo la autosufficienza energetica della Europa da qualsiasi paese non facente parte della unione Europea. La indipendenza energetica la si ottiene attraverso la ristrutturazione energetica degli edifici in modo che entro il 2050 ogni nuova costruzione ed ogni casa esistente siano ad emissioni zero tramite eliminazione dei derivati da combustibili fossili ricorrendo a fonti di energia rinnovabile quali eolico, fotovoltaico e geotermico. Questa direttiva è in linea con i precedenti provvedimenti emanati dal parlamento europeo in materia di risparmio energetico e ne rappresenta la normale evoluzione, provvedimenti legislativi recepiti in Italia che hanno trovato piena applicazione attraverso l'ecobonus. Ulteriore scopo di questa direttiva è la incentivazione di posti di lavoro in edilizia ovvero il rilancio di un settore produttivo impegnando risorse economiche quali capitali e forme di finanziamento pubblico e privato , poiché in circa 30 anni bisogna ristrutturare energeticamente l'intero patrimonio edilizio europeo. Il governo Italiano ha espresso delle contrarietà al recepimento della direttiva contestando anche il parlamento Europeo più propenso al rilancio del settore edilizio in Italia attraverso le grandi opere, l'alta velocità il Ponte di Messina ; tale opposizione è pienamente condivisibile poiché il territorio italiano è ad alta sismicità il problema energetico diventa meno importante rispetto alla resistenza degli edifici contro le azioni sismiche, un patrimonio edilizio italiano estremamente vulnerabile per cui il recepimento della direttiva europea rappresenta la normale evoluzione dei provvedimenti intrapresi negli ultimi anni quali sismabonus ed ecobonus ,in Italia sarebbe più corretto parlare di case **Sismo-Green** , ovvero in sintonia con quanto stabilito nella direttiva Europea, rendere entro nel 2050 l'intero patrimonio edilizio italiano attraverso interventi di ristrutturazione **sismo-energetica** autosufficiente energeticamente ed invulnerabile nei confronti dei terremoti. In Italia il pericolo di un conflitto bellico con paesi nord africani dai quali dipendiamo energeticamente è di grande attualità visto i flussi migratori che hanno interessato l'Italia negli ultimi 30 anni , per cui la autosufficienza energetica la eliminazione di combustibili fossili quali gas metano diventa estremamente importante assumendo il carattere di difesa nazionale . La guerra non è un conflitto esclusivo tra stati è anche guerra stellare dovuto al movimento dei pianeti alla attività degli extraterrestri che condizionano attraverso le leggi interplanetarie il movimento della crosta terrestre determinando eventi sismici dannosi sia per il patrimonio edilizio che per la popolazione che si vede privata della sua abitazione e costretta a vivere in condizioni di disagio abitativo per lunghi periodi di tempo.

Negli ultimi 10 anni in Italia il rilancio della edilizia è avvenuto tramite il **Superbonus** il **Sismabonus** e l'**Ecobonus** , il recepimento della direttiva **Case-Green** e la sua applicazione rappresenta la normale continuazione di un lavoro di rinnovamento edilizio , che si inserisce in una ottica più ampia di ristrutturazione sismica ed energetica ;il problema per questi interventi sono gli investimenti ovvero dove trovare i soldi necessari per eseguire i lavori edili , per cui la applicazione della direttiva europea dipende fondamentalmente da forme di finanziamento e contribuzioni private e pubbliche .

2-Finalità ed obiettivi della direttiva

Obiettivo della direttiva è quello di incentivare la ristrutturazione di edifici pubblici e privati in tutta Europa al fine di ridurre i consumi energetici le emissioni di CO₂; riducendo al 55% entro il 2030 le emissioni nocive rispetto ai livelli del 1990. In media, gli edifici rappresentano il 40% del consumo energetico e il 36% dell'emissione di gas nocivi. L'obiettivo del testo è di aiutare i paesi membri a far sì che gli immobili siano più comodi, meno dispendiosi, riducendo l'uso di fonti fossili, combattendo la povertà energetica e l'aria inquinata, nelle nostre case come nelle nostre città. Secondo la Commissione Europea, ridurre queste emissioni è un passo fondamentale per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

Le scadenze per questi miglioramenti energetici del patrimonio edilizio

*- entro il 1 gennaio 2030 tutti gli edifici in Europa devono rientrare in **classe energetica E** ;*

*-entro 3 anni ovvero il 2033 si deve avere un ulteriore salto di classe passando alla **prestazione energetica D** ;*

*- entro il 1 gennaio 2050 tutto il patrimonio edilizio europeo deve essere a **zero emissioni** .*

Sono esclusi dalla applicazione di questa direttiva i seguenti edifici :

- *Edifici ricadenti nei centri storici,*
- *Edifici vincolati dai Beni Culturali,*
- *Edifici che potrebbero subire una diminuzione del valore architettonico,*
- *Le seconde case*
- *Le chiese e gli altri edifici di culto*
- *Abitazioni indipendenti con una superficie fino a 50 metri quadrati.*

Gli interventi per eseguire queste ristrutturazioni energetiche al fine di ottenere portare gli edifici in classe E entro il 2030 sono i seguenti :

- *Coibentazione dell'edificio con il cappotto termico,*
- *Installazione di nuove caldaie a condensazione,*
- *Sostituzione degli infissi,*
- *Installazione del fotovoltaico.*

Sono dei lavori edili molto semplici che riguardano essenzialmente il settore impiantistico anche a basso costo per ogni singola unità abitativa ammortizzabili in 10-20 anni , attraverso la riduzione dei costi delle bollette di gas metano e di energia elettrica, lavori per i quali vi sono delle forme di finanziamento o agevolazioni fiscali come previsto dalla legislazione italiana attuale .

Entro il 2050 l'intero patrimonio edilizio europeo deve essere ad emissioni zero ovvero gli impianti di riscaldamento non devono immettere nell'atmosfera gas serra. Sono chiamati gas serra quelli presenti nell'atmosfera in grado di trattenere una parte considerevole della componente nell'infrarosso della radiazione solare quali

- Anidride carbonica CO_2*
- Ossido di carbonio CO danno per la salute*
- Gas metano CH_4*
- Esafluoruro di zolfo ZF_6*
- Idrofluorocarburi HFC*
- Ossido di azoto N_2O*

In edificio , in una abitazione la emissione di gas serra deriva dall'impianto di riscaldamento, dalla produzione di acqua calda sanitaria e dalla cucina , per cui non vanno utilizzati combustibili fossili quali :

- Carbone*
- Petrolio*
- Gas naturale*

Le biomasse rappresentano delle energie rinnovabili e sono tutte derivate dal legno , vengono utilizzate negli impianti di riscaldamento producendo energia termica grazie alla loro combustione che emette sempre anidride carbonica e ossido carbonio nell'atmosfera.

Un edificio ad emissioni zero deve coprire il suo fabbisogno energetico annuo facendo ricorso alla energia elettrica, ovvero l'impianto di riscaldamento , di produzione di acqua calda sanitaria e cucina devono essere alimentati elettricamente. La emissione zero va integrata con la energia zero al fine di non appesantire i costi delle bollette. Gli interventi per eseguire queste ristrutturazioni energetiche al fine di ottenere degli edifici ad emissione zero entro il 2050 sono i seguenti :

- *Coibentazione dell'edificio con il cappotto termico,*
- *Installazione di nuove caldaie elettriche*
- *Sostituzione degli infissi,*
- *Installazione del fotovoltaico.*
- *Installazione del microeolico*

Anche questi lavori che riguardano sempre il settore impiantistico sono economici ovvero di basso importo , che ogni proprietario della sua abitazione può eseguire per i quali già vi sono forme di finanziamento con l'ecobonus. La problematica assume rilevanza ed importanza se si pensa ai metanodotti presenti in Italia alle aziende che si occupano della costruzione e gestione di questi impianti e a tutti gli interessi coinvolti ; ovviamente si auspica una modifica delle politiche industriali ed una riconversione attraverso la realizzazione di grandi parchi fotovoltaici ed eolici per la produzione di energia elettrica modificando la materia prima energia

3-Il passaporto di ristrutturazione e lo sportello unico

Il "passaporto di ristrutturazione" è un documento che fornisce una tabella di marcia su misura per la ristrutturazione profonda di un determinato edificio, in un numero massimo di fasi che lo trasformeranno in un edificio a zero emissioni entro il 2050.

La "ristrutturazione profonda" un processo edilizio che concerne edifici con le prestazioni peggiori, corrispondenti alle classi energetiche E, F o G; tali abitazioni o edifici rappresentano la quasi totalità del patrimonio edilizio italiano.

La "ristrutturazione profonda" si concentra sugli elementi edilizi essenziali al fine di garantire il necessario comfort degli occupanti in estate e inverno o una ristrutturazione che comporti una riduzione di almeno il 60 % della domanda di energia primaria per gli edifici con le prestazioni peggiori per i quali non è tecnicamente ed economicamente fattibile rispettare la norma in materia di edifici a zero emissioni, e che trasforma un edificio o un'unità immobiliare.

Può essere eseguita nel corso degli anni "ristrutturazione profonda per fasi" ristrutturazione profonda effettuata in un numero massimo di fasi, secondo le indicazioni del passaporto di ristrutturazione che possono includere l'uso dei contratti di rendimento energetico. I passaporti di ristrutturazione devono essere sostenuti finanziariamente nell'ambito di piani nazionali di ristrutturazione edilizia al fine di non creare ostacoli per i proprietari che possiedono solo l'abitazione in cui vivono.

Il passaporto di ristrutturazione è conforme ai seguenti requisiti:

*a) è rilasciato, in un **formato digitale** adatto alla stampa, da un esperto qualificato e certificato previa visita in loco;*

b) comprende una tabella di marcia olistica di ristrutturazione che stabilisce il numero massimo di fasi di ristrutturazione che si integrano l'una sull'altra per realizzare una ristrutturazione profonda in linea con l'obiettivo di trasformare l'edificio in un edificio a zero emissioni entro il 2050;

c) indica i benefici attesi in termini di risparmio energetico, risparmi sulle bollette energetiche e riduzioni delle emissioni di gas a effetto serra durante l'intero ciclo di vita, indicando le fasi di ristrutturazione che devono portare ai miglioramenti pertinenti;

d) contiene informazioni su una serie di costi stimati per ciascuna fase di ristrutturazione raccomandata, nonché sui costi stimati di una ristrutturazione profonda in un'unica fase come scenario di riferimento;

e) comprende la distinta dei materiali, le informazioni sulla circolarità dei prodotti da costruzione e i benefici più ampi connessi alla salute, al comfort, alla qualità dell'ambiente interno, alla sicurezza come sicurezza antincendio, elettrica e sismica e il miglioramento della capacità di adattamento dell'edificio ai cambiamenti climatici.

f) contiene informazioni sulle possibilità di sostegno finanziario e tecnico e i recapiti aggiornati dello sportello unico più vicino ;

g)contiene informazioni su eventuali ristrutturazioni importanti dell'edificio e su qualsiasi ammodernamento o sostituzione di un elemento edilizio che faccia parte dell'involucro edilizio e abbia un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro edilizio .

h)Il passaporto di ristrutturazione può contenere informazioni supplementari, tenendo conto della composizione della famiglia e di eventuali ristrutturazioni pianificate, comprese quelle non relative all'energia, conformemente al diritto e alla prassi nazionali.

*La “**ristrutturazione importante** ” ristrutturazione energetica di un edificio*

a) il costo complessivo della ristrutturazione per quanto riguarda l'involucro dell'edificio o i sistemi tecnici per l'edilizia supera il 25 % del valore dell'edificio, escluso il valore del terreno sul quale è situato;

b) la ristrutturazione riguarda più del 25 % della superficie dell'involucro dell'edificio;

*Per il singolo edificio viene definito un potenziale di riscaldamento globale ovvero si valuta il contributo dell'edifici all'aumento della temperatura del pianeta ed al relativo cambiamento climatico. E' un **indicatore GWP** nel corso del ciclo di vita dell'edificio. Si definisce inoltre*

*“**un portafoglio ipotecario**” meccanismi che richiedono ai prestatori di mutui ipotecari, tra cui banche, investitori e qualsiasi altro istituto finanziario pertinente, di aumentare la prestazione energetica mediana del portafoglio di edifici coperti dai loro mutui ipotecari per il 2030 e il 2050, al fine di garantire soluzioni affidabili, basate su prove e accessibili per i loro clienti, in linea con l'ambizione dell'Unione in materia di decarbonizzazione, con i piani nazionali di ristrutturazione degli edifici e con i pertinenti obiettivi energetici nel settore del consumo energetico degli edifici.*

*La ristrutturazione energetica riguarda l'intero patrimonio edilizio per cui in un territorio può coinvolgere interi quartieri o case con caratteristiche di omogeneità per cui si parla di “**distretto integrato**”: distretto selezionato sulla base di un'analisi del parco immobiliare che tenga conto del potenziale specifico dell'area in termini di misure di efficienza energetica attraverso obiettivi chiari e misurabili e che sviluppi modelli di tabelle di marcia di ristrutturazione per tipologie di edifici simili, a seguito di un'adeguata analisi delle condizioni locali, con l'obiettivo di una trasformazione rapida, efficiente in termini di risorse e reciprocamente coordinata degli edifici, nonché di altri aspetti, quali la struttura sociale, le condizioni economiche e ambientali e l'infrastruttura di approvvigionamento energetico degli edifici;*

Riportiamo per intero l'art. 15 bis della direttiva che definisce lo “sportello unico”

1. Gli Stati membri assicurano l'istituzione di strutture di assistenza tecnica, anche attraverso sportelli unici inclusivi per l'efficienza energetica nell'edilizia, rivolti a tutti gli operatori coinvolti nella ristrutturazione degli edifici, compresi i proprietari delle abitazioni, gli operatori amministrativi, finanziari ed economici, tra cui microimprese e PMI. Gli Stati membri provvedono affinché le strutture di assistenza tecnica siano equamente disponibili in tutto il loro territorio, in funzione della distribuzione demografica, istituendo quanto meno uno sportello unico per regione e in ogni caso ogni 45 000 abitanti. La Commissione collabora con la Banca europea per gli investimenti, gli Stati membri e le regioni onde agevolare il funzionamento e la continuità dei finanziamenti per gli sportelli unici per l'efficienza energetica nell'edilizia quanto meno sino al 31 dicembre 2029.

2. Gli Stati membri cooperano con le pertinenti autorità regionali e locali e con i portatori di interessi privati al fine di istituire sportelli unici per l'efficienza energetica nell'edilizia a livello nazionale, regionale e locale. Gli sportelli unici per l'efficienza energetica nell'edilizia sono enti pubblici indipendenti, intersettoriali e interdisciplinari e prestano i loro servizi agli utenti in forma gratuita. Forniscono consulenza personalizzata ai diversi gruppi di destinatari in materia di efficienza energetica nell'edilizia e possono accompagnare i programmi integrati di ristrutturazione del contesto urbano. Gli sportelli unici possono cooperare con attori privati che forniscono e promuovono servizi pertinenti per la ristrutturazione energetica, quali soluzioni di finanziamento e l'esecuzione di ristrutturazioni energetiche e, se del caso, che collegano potenziali progetti, in particolare quelli su piccola scala, con gli operatori del mercato. Per agevolare l'istituzione e i servizi degli sportelli unici per l'efficienza energetica nell'edilizia, gli Stati membri rivedono le loro norme in materia di appalti pubblici per le ristrutturazioni destinate a migliorare l'efficienza energetica.

Gli sportelli unici sostengono i progetti elaborati a livello locale fornendo consulenza e assistenza tecnica, amministrativa e finanziaria, come ad esempio:

a) prestando assistenza legale, una protezione rafforzata per superare la frammentazione degli incentivi nelle abitazioni affittate da privati, informazioni semplificate sul supporto tecnico, assistenza finanziaria personalizzata possibilità di finanziamento disponibili, in particolare regimi di sovvenzioni e sussidi, e soluzioni per famiglie, microimprese e PMI ed enti pubblici;

b) collegando potenziali progetti, in particolare quelli su piccola scala, con operatori del mercato;

c) fornendo consulenza sulle abitudini di consumo energetico al fine di coinvolgere attivamente i consumatori;

d) fornendo informazioni e garantendo accesso a programmi di formazione e istruzione, anche per gli enti locali e i servizi sociali per fornire supporto tecnico, per garantire un maggior numero di professionisti dell'efficienza energetica e per riqualificare e migliorare le competenze dei professionisti al fine di soddisfare le esigenze del mercato;

e) raccogliendo e trasmettendo alla Commissione dati aggregati relativi alla tipologia dei progetti di efficienza energetica facilitati dagli sportelli unici, che la Commissione pubblica in una relazione entro ... [data di recepimento della presente direttiva] e successivamente ogni due anni, al fine di condividere sapere e intensificare la cooperazione transfrontaliera tra gli Stati membri per promuovere esempi di prassi eccellenti provenienti da diverse tipologie di edifici, alloggi e imprese;

f) sostenendo attività di sensibilizzazione, tra cui informazioni sugli incentivi per la regolazione della qualità degli ambienti interni e l'installazione dei dispositivi necessari durante le ristrutturazioni importanti;

g) fornendo e sviluppando un sostegno olistico a tutte le famiglie, con particolare riferimento a quelle vulnerabili e alle persone residenti in alloggi popolari nonché a quelle con problemi di salute legati agli edifici con le prestazioni peggiori, nonché alle imprese e agli installatori accreditati che forniscono servizi di ristrutturazione, adattati alle diverse tipologie di alloggi e all'ambito geografico, e fornendo un sostegno che copra le diverse fasi del progetto di ristrutturazione, in particolare per facilitare l'attuazione delle norme minime di prestazione energetica di cui all'articolo 9;

h) fornendo informazioni sull'accessibilità, la disponibilità di autoconsumo di energia da fonti rinnovabili, comunità di energia da fonti rinnovabili e altre alternative al riscaldamento e al raffrescamento con combustibili fossili negli edifici, nonché informazioni su materiali e soluzioni in materia di efficienza energetica, stoccaggio dell'energia e tecnologie per le energie da fonti rinnovabili per gli edifici;

i) sostenendo la partecipazione dei pertinenti portatori di interessi e cittadini locali alla valutazione dell'impatto delle norme minime di prestazione energetica sull'abbordabilità e sulla qualità degli alloggi.

Gli Stati membri collaborano con le autorità locali e regionali per incoraggiare la cooperazione tra enti pubblici, agenzie per l'energia e iniziative gestite a livello locale, nonché per promuovere, sviluppare e potenziare gli sportelli unici attraverso un processo integrato. La Commissione fornisce agli Stati membri orientamenti per lo sviluppo di tali sportelli unici al fine di creare un approccio armonizzato nell'intera Unione.

4-Gli impianti: elettrico, riscaldamento e raffrescamento

Un edificio a destinazione prevalentemente residenziale o per attività commerciale e terziaria ha emissioni di gas serra che derivano esclusivamente dagli impianti elettrico e riscaldamento, di conseguenza al fine di azzerare le emissioni, la ristrutturazione deve intervenire su di essi. La transizione ecologica dell'edificio prevede l'utilizzo di cucine elettriche ad induzione e la sostituzione della caldaia a gas metano con caldaia elettrica. Ovviamente esistono forme differenti per riscaldare un abitazione ricorrendo alle abitudini degli studenti universitari fuori sede che utilizzano stufe elettriche, ma una ristrutturazione energetica può avvenire in due modi differenti:

-1) Conservare il circuito idraulico dell'impianto di riscaldamento con i corpi scaldanti e sostituire la caldaia a gas metano con una caldaia elettrica di eguale potenza;

-2) Sostituire per intero i corpi scaldanti utilizzando apparecchiature elettriche quali ventil-convettori, termo-convettori in generale corpi scaldanti e raffrescanti elettrici collegati ad una linea elettrica indipendente.

-La prima soluzione va bene per edifici esistenti dove l'impianto di riscaldamento è già presente, e la sostituzione della caldaia può essere eseguita in tempi brevi anche una sola giornata, senza rompere pavimentazioni eseguire dei nuovi tracciati elettrici per un nuovo impianto elettrico di riscaldamento.

-La seconda soluzione si adatta a nuovi edifici con notevole risparmio economico poiché nella fase di costruzione si evita di predisporre il circuito idraulico, si utilizzano corpi scaldanti elettrici per i quali è necessario soltanto eseguire le tracce, ovviamente aumenterà ma di poco la voce di spesa relativa all'impianto elettrico anche per la presenza dei corpi scaldanti che inciderà del 7% ÷ 8% sul costo di costruzione globale dell'intero edificio ma in compenso si elimina la spesa relativa all'impianto di riscaldamento che incide del 6%.

Una casa, un edificio in cui l'energia primaria necessaria al fabbisogno energetico dell'edificio è quella elettrica deve essere necessariamente provvista di un impianto fotovoltaico o microeolico in grado di rendere l'immobile autosufficiente energeticamente soluzione adottata nella costruzione di nuovi edifici che si trovano in aperta campagna. Per edifici esistenti che rappresentano la maggior parte del patrimonio edilizio in un territorio comunale si hanno problemi nella installazione di pannelli fotovoltaici poiché la superficie del tetto molto spesso è insufficiente e le pale eoliche nei centri urbani sono rumorose. Assume rilevanza la politica energetica delle amministrazioni comunali che possono introdurre nei loro piani di costruzione di opere pubbliche la realizzazione di parchi eolici e fotovoltaici ubicate in zone esterne al perimetro urbano, in grado di produrre la energia elettrica sufficiente a coprire il fabbisogno energetico dell'intero comune per cui si parla di comuni NZEB virtuosi

ad energia zero. I vantaggi sono molteplici, i comuni non acquistano energia ma la producono costo zero vi è solo l'aliquota derivante dalla manutenzione degli impianti tramite il contributo dei cittadini attraverso una tassazione si può far fronte alle spese per la manutenzione e per la costruzione del parco energetico per i quali vi sono finanziamenti regionali nazionali ed europei. I cittadini in modo miracoloso vedranno la riduzione complessiva delle loro bollette fino ad illuminare riscaldare e raffrescare le loro abitazioni senza pagare bollette, tramite un modesto contributo da versare al Comune per la manutenzione e gestione di questi impianti, poiché la materia prima energia è gratis ed è fornita direttamente dalla natura quali i movimenti dell'atmosfera il vento, o dal sole attraverso la radiazione solare. Nell'ultimo decennio nel mio comune di residenza la costruzione di una centrale fotovoltaica è stata oggetto di campagna elettorale faceva parte di un programma della lista di sinistra, non se ne è capita la pubblica utilità poiché è difficile modificare l'inconscio collettivo della popolazione abituata alla sua caldaia a gas metano al suo impianto di riscaldamento ai lavori del metanodotto per le vie cittadine agli usi locali delle imprese impiantistiche artigiane, oggi dopo circa 13 anni rientra nei piani delle opere pubbliche comunali. In un discorso più ampio che coinvolga l'intero territorio comunale dove vengono costruiti questi parchi energetici, eseguiti dei banali interventi individuali di ristrutturazione energetica, e se si pone attenzione alla mobilità urbana attraverso biciclette e veicoli elettrici si può parlare di :

- Comune Green

- Comune a Zero Emissioni;*
- Comune ad Energia Zero;*

E' ovvio che tali considerazioni si adattano a comuni aventi un ridotto numero di abitanti < 20000, pensare a grandi metropoli urbane come Roma, Napoli, Milano ect, la realizzazione di parchi energetici in grado di far fronte all'intero fabbisogno energetico della città è qualcosa di utopico di conseguenza l'intervento deve riguardare il singolo edificio o abitazione che si dota di un impianto per la produzione di energia rinnovabile ritornando al concetto di

- Edifici a zero emissioni;*
- Edificio ad energia zero;*

Quando tutti gli edifici e le case della città soddisferanno questi requisiti e la mobilità urbana sarà demandata esclusivamente al veicolo elettrico o alla bicicletta si parlerà di

-Città Green

- Città a Zero Emissioni;*
- Città ad Energia Zero.*

5- Mobilità urbana

Le emissioni inquinanti da gas serra sono dovute principalmente al traffico urbano degli autoveicoli che utilizzano carburante benzina o gasolio derivati da combustibili fossili come il petrolio; esistono altre forme di alimentazione dei veicoli più ecologiche quali GPL, che riducono le emissioni di ossido di carbonio ed anidride carbonica nell'atmosfera. Per gli autoveicoli sottoposti a revisione periodica viene eseguito il controllo dei gas di scarico emessi dalle marmitte al fine di evitare emissioni dannose di gas inquinanti nell'atmosfera tutti questi provvedimenti non sono sufficienti ad evitare l'inquinamento atmosferico ed il surriscaldamento del pianeta. Si deve far ricorso ad altre forme di alimentazione per gli autoveicoli, la soluzione migliore sarebbe muoversi a piedi o in bicicletta, evitando di utilizzare l'automobile a danno della industria automobilistica che ha investito molte risorse nella ricerca e progettazione di veicoli ad idrogeno o elettrici che ben presto sostituiranno i veicoli che circolano nelle strade con notevoli profitti economici rilanciando la industria automobilistica che in Italia rappresenta assieme all'edilizia un settore trainante per l'economia. Un veicolo elettrico sia esso un'auto uno scooter o la semplice bicicletta elettrica non ha emissioni di gas nell'atmosfera, il trasporto pubblico realizzato con treni autobus, metropolitane elettriche o a idrogeno non emette gas serra per cui non si ha surriscaldamento globale del pianeta problematica di grande attualità soprattutto per il cambiamento climatico.



*Ovviamente si pone la problematica dell'approvvigionamento di energia della creazione di stazioni di servizio per ricarica elettrica delle auto e dei punti di ricarica problematica affrontata dalla direttiva europea **case-green**.*



Questa energia elettrica deve essere prodotta e ciò può essere ottenuto attraverso centrali eoliche e fotovoltaiche, si pensi al singolo distributore di energia elettrica

*con l'impianto di energia rinnovabile commisurato al fabbisogno energetico ed al bacinco di utenza della stazione di servizio il cui proprietario non paga la materia prima con notevole fonte di guadagno economico. Ovviamente vanno eliminate le centrali a carbone e a petrolio per la produzione di energia elettrica poiché sarebbe un controsenso trasformare per intero la mobilità urbana attraverso la sostituzione degli attuali veicoli con veicoli elettrici e prendere la energia elettrica da centrali che utilizzano combustibili fossili. La direttiva **Case-Green** , prescrive che negli edifici di nuova costruzione sottoposti a ristrutturazione importante e non residenziali dotati di più di 20 posti auto siano rispettati i criteri di integrazione delle tecnologie di ricarica dei veicoli elettrici. Gli stati membri hanno concordato prescrizioni finalizzate a mettere a disposizione infrastrutture per la mobilità sostenibile tra cui punti di ricarica per automobili e biciclette elettriche all'interno o in prossimità di edifici cablaggio per infrastrutture future e parcheggi per biciclette. Sembra superfluo affermare che la famiglia che ha la sua casa in campagna con impianto fotovoltaico e o eolico per i suoi veicoli elettrici quali auto scooter e bici elettrica ha le sue colonnine di ricarica in modo che non ha neanche necessità di pagare il carburante per muoversi nel traffico urbano recarsi a lavoro ed affrontare dei viaggi.*

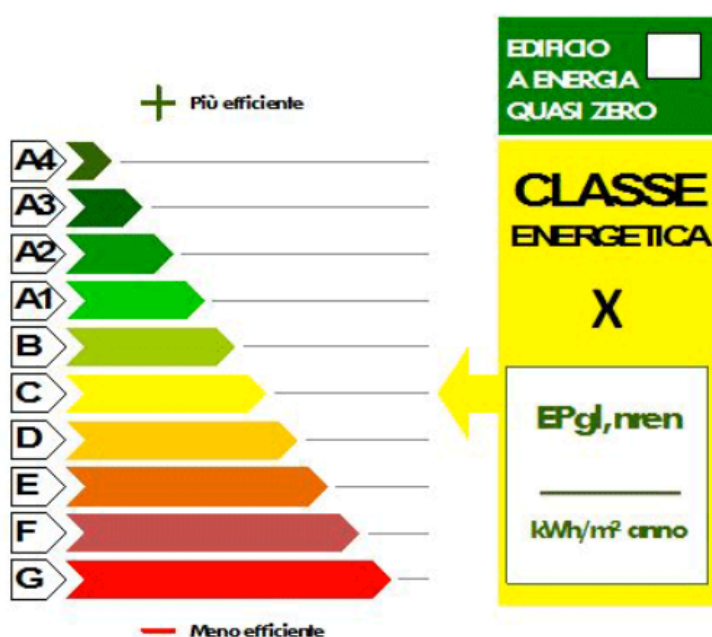


6-L'attestato di prestazione energetica

La prestazione energetica di un edificio , o appartamento singolo viene determinata in base al consumo di energia utilizzata per la illuminazione , il riscaldamento , il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria in un anno . L'energia si misura in KWh per cui in base alle dispersioni attraverso l'involucro edilizio si determina il consumo annuo di energia che viene rapportato alla superficie dell' edificio o appartamento che rappresenta un indicatore Kwh/mq del consumo di energia primaria . La classificazione energetica viene eseguita attraverso il fabbisogno di energia non rinnovabile come riportata in tabella :

	Classe A4	$\leq 0,40 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,40 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe A3	$\leq 0,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe A2	$\leq 0,80 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,80 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe A1	$\leq 1,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe B	$\leq 1,20 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,20 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe C	$\leq 1,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe D	$\leq 2,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$2,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe E	$\leq 2,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$2,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	Classe F	$\leq 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
	Classe G	$> 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$

Scala di classificazione degli edifici sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$.



L'energia viene fornita agli impianti ed essa si disperde attraverso l'involucro edilizio per

- dispersione attraverso gli elementi opachi*
- dispersione attraverso gli elementi trasparenti*
- dispersione attraverso i ponti termici*
- ricambi d'aria*

Vi sono anche apporti energetici dovuti a

- radiazione apporti solari sull'edificio*
- presenza di persone*
- utilizzatori elettrici che tramite effetto joule trasformano l'energia in calore .*

E' evidente che queste grandezze dipendono essenzialmente dalle condizioni climatiche dalla temperatura giornaliera quindi dal salto termico tra ambiente interno ed esterno, in funzione della conduttività degli elementi che costituiscono la superficie perimetrale del nostro involucro edilizio ovvero della capacità di trasferire in inverno calore all'esterno ed in estate calore all'interno .Nel corso di un anno in qualsiasi località la temperatura media giornaliera varia in continuazione non è costante per cui conoscendo l'andamento delle temperature esterne e la temperatura interna di solito $20^{\circ} \div 21^{\circ}$ è possibile quantificare lo scambio termico verso l'esterno.

Il fabbisogno di energia annuo oltre che da condizioni climatiche dipende da :

- Isolamento termico dell'involucro edilizio nei suoi componenti opachi ;*
- Trasmittanza degli infissi;*
- Ventilazione naturale e artificiali : ricambi d'aria;*
- Apporti solari esterni : serre bioclimatiche*
- Riscaldamento passivo*
- Illuminazione naturale*
- Orientamento dell'edificio*
- Protezioni schermature solari*
- Condizioni climatiche interne*
- Raffrescamento*
- Impianto di condizionamento*

Gli edifici vengono classificati in base alla destinazione d'uso dalla quale dipende il comfort termoigroimetrico richiesto

- Abitazioni monofamiliari di diverso tipo;*
- Condomini (di appartamenti);*
- Uffici;*
- Strutture scolastiche;*
- Ospedali;*
- Alberghi e ristoranti;*

- Impianti sportivi;
- Esercizi commerciali per la vendita all'ingrosso o al dettaglio;
- Altri tipi di edifici che consumano energia.

L'edificio NZEB , ovvero ad energia zero è quell'edificio per il quale il fabbisogno annuo di energia a mq è nullo e ciò si può ottenere producendo energia da fonti rinnovabili , quali impianti fotovoltaici , eolici a attraverso la geotermia.

$$(Fabbisogno\ energetico)/anno - (Produzione\ di\ energia)/anno = 0$$

si possono avere edifici nei quali la produzione di energia supera il fabbisogno energetico, per i quali immettendo la corrente elettrica nella rete si ha del reddito energetico se pur minimo.

Nell'edificio ad emissioni zero non vengono immessi gas serra nell'atmosfera facendo ricorso ad energia elettrica anche per l'impianto di riscaldamento senza utilizzare combustibili fossili. Per questi edifici va valutato il cosiddetto GWP ovvero l'emissione annua di anidride carbonica nell'atmosfera

$$GWP = kgCO_2 * giorno/mq ; GWP = kgCO_2 * anno/mq ;$$

vengono definiti due indicatori fondamentali

$$EP = kWh * anno/mq ; \text{Indice di prestazione energetica}$$

$$GWP = kgCO_2 * anno/mq ; \text{Indice di emissione di } CO_2$$

Modello dell'attestato di prestazione energetica

Sulla prima pagina dell'attestato di prestazione energetica figurano almeno gli elementi seguenti:

- classe di prestazione energetica;
- consumo annuo di energia primaria calcolato, espresso in kWh/(mq/anno);
- consumo annuo di energia primaria calcolato, espresso in kWh o MWh;
- consumo energetico finale annuo calcolato, espresso in kWh/(m² anno);
- consumo energetico finale annuo calcolato, espresso in kWh o MWh;
- produzione di energia rinnovabile espressa in kWh o MWh;
- energia rinnovabile in % del consumo energetico;
- emissioni operative di gas a effetto serra (kgCO₂/(mq/ anno));
- classe di emissione di gas a effetto serra (se del caso);

-fabbisogno di energia calcolato conformemente alle norme EN, espresso in

kWh/(a/mq); e consumo energetico finale annuo espresso in kWh o MWh;

-ciclo di vita economico restante previsto dei sistemi e delle apparecchiature di riscaldamento e/o raffrescamento degli ambienti e dell'acqua;

-chiara indicazione che confermi se l'edificio o l'abitazione attuale è o non è in grado di utilizzare energia in modo flessibile.

*Inoltre l'attestato di prestazione energetica **include** gli indicatori seguenti:*

- consumo energetico, carico massimo, dimensioni del generatore o dell'impianto, vettore energetico principale e tipo principale di elemento per ciascuno degli utilizzi: riscaldamento, raffrescamento, acqua calda per uso domestico, ventilazione e illuminazione incorporata;

- energia rinnovabile prodotta in loco, principale vettore energetico e tipo di fonte di energia rinnovabile;

*-indicazione che precisi se per l'edificio è stato effettuato un calcolo del **GWP nel corso del ciclo di vita**;*

*-valore del **GWP** nel corso del ciclo di vita (se disponibile);*

-informazioni sugli assorbimenti di carbonio associati allo stoccaggio temporaneo del carbonio negli edifici o sugli stessi;

-indicazione che precisi se per l'edificio è disponibile un passaporto di ristrutturazione (sì/no);

-valore U medio per gli elementi opachi dell'involucro dell'edificio;

-valore U medio per gli elementi trasparenti dell'involucro dell'edificio;

-tipo dell'elemento trasparente più comune (ad es. finestra con doppi vetri);

-risultati dell'analisi del rischio di surriscaldamento (se disponibili);

*-presenza di sensori fissi che monitorano i livelli di qualità **ambientale** interna;*

*-presenza di comandi fissi che reagiscono ai livelli di qualità **ambientale** interna;*

-numero e tipo di punti di ricarica per veicoli elettrici;

-presenza, tipo e dimensioni dei sistemi di stoccaggio dell'energia;

*-possibilità di adattare l'impianto di riscaldamento **e il sistema di produzione di acqua calda per uso domestico** affinché funzioni con regolazioni di temperatura più efficienti;*

-possibilità di adattare l'impianto di condizionamento d'aria affinché funzioni con regolazioni di temperatura più efficienti;

-consumo energetico misurato;

-indicazione che precisi se il sistema di distribuzione del calore all'interno dell'edificio è progettato per funzionare a basse temperature (sì/no);

-presenza di un collegamento a una rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento, compresa l'evoluzione delle reti energetiche vicine entro i cinque anni successivi;

-fattori di energia primaria locale e relativi fattori di emissione di carbonio della rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento locale connessa;

-emissioni operative di particolato fine e indicatori di prestazione per le principali categorie di qualità ambientale interna una volta applicate le disposizioni pertinenti;

- indicazione che precisi se l'edificio dispone di capacità di flessibilità della domanda (sì/no);
- informazioni di contatto dello sportello unico più vicino per consulenza in materia di ristrutturazione;

L'attestato di prestazione energetica include i seguenti collegamenti con altre iniziative, nella misura in cui si applichino gli elementi riportati di seguito:

- indicazione che precisi se per l'edificio è stata effettuata una valutazione della predisposizione all'intelligenza (sì/no);
- valore della valutazione della predisposizione all'intelligenza (se disponibile), incluso il valore del sostegno alle tecnologie di risparmio energetico;
- indicazione che precisi se per l'edificio è disponibile un registro digitale degli edifici (sì/no).

Le persone con disabilità devono avere pari accesso alle informazioni contenute negli attestati di prestazione energetica.

L'attestato di prestazione energetica comprende una sezione dedicata al finanziamento, che elenca le opzioni di finanziamento disponibili e raggruppa gli indicatori più rilevanti per gli istituti finanziari, i fornitori di mutui ipotecari, le banche di promozione nazionali e altri istituti pertinenti che forniscono accesso ai finanziamenti.

7-Interventi sismo-green sugli edifici esistenti

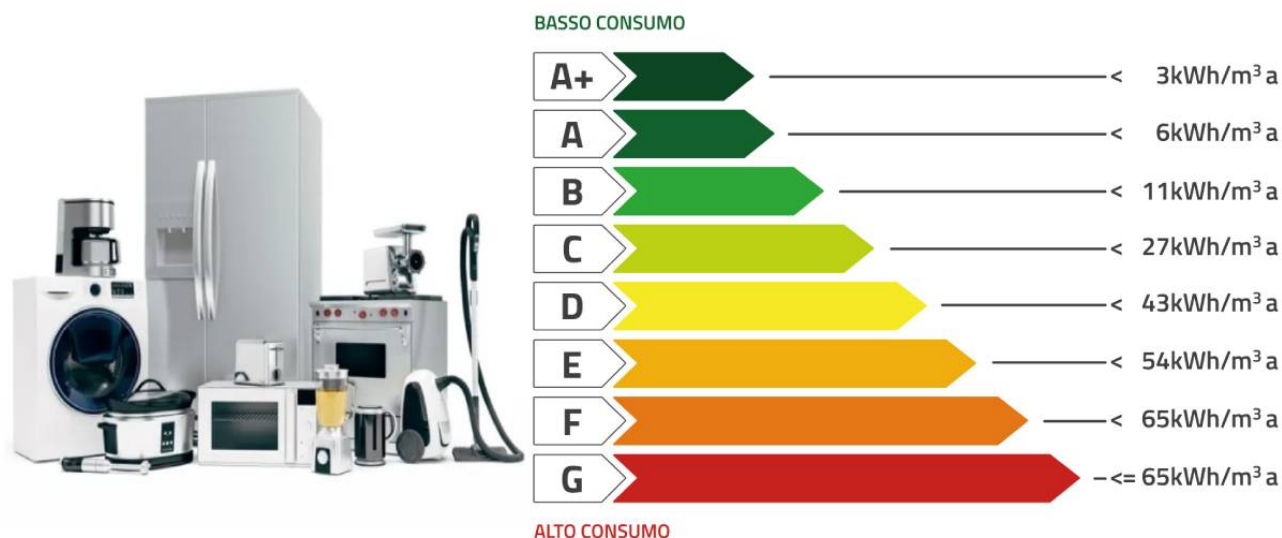
Per gli edifici esistenti bisogna fare una prima distinzione tra

- edificio in muratura
- edifici in cemento armato .

L'intervento green ha come obiettivo la diminuzione del fabbisogno di energia annuo e la diminuzione delle emissioni di gas serra;

Per diminuire il fabbisogno annuo di energia bisogna agire sulle trasmittanze dei vari componenti, sulla ventilazione, sugli apporti solari di conseguenza vengono previsti i seguenti interventi .

- Cappotto termico esterno o interno
- Sostituzione infissi
- Realizzazione di serre bioclimatiche per apporti solari
- Riduzione dei ricambi d'aria
- Ventilazione artificiale con immissione di aria calda
- Lampade termiche che trasformano l'energia luminosa in calore.
- Elettrodomestici e lampade a bassa potenza



La maggiore dispersione attraverso l'involucro edilizio è quella dovuta al ricambio d'aria, se in inverno vogliamo avere la nostra casa calda a temperatura costante non bisogna aprire le finestre, la cui apertura si rende necessaria per eliminare cattivi odori; altro scambio di calore considerevole avviene attraverso gli infissi per cui bisogna utilizzare infissi triplo vetro o doppio infisso in modo che l'aria nella intercapedine tra le due finestre per effetto della radiazione solare si riscaldi ed anche per valori elevati della trasmittanza non si ha dispersione di calore poiché, il salto termico è ridotto.



Una casa avente queste caratteristiche rientra nel modello delle **Passiv-House**, per avere edifici **NZEB** bisogna produrre energia con fonti rinnovabili e quindi dotarsi di impianto microeolico o fotovoltaico.

La riduzione delle emissioni di gas serra si ottiene eliminando il combustibile fossile per l'impianto di riscaldamento, utilizzando energia elettrica prodotta da un impianto di energia rinnovabile.

Questi interventi di tipo **green** sono comuni a tutte le tipologie di edifici aventi qualsiasi struttura sono facili da realizzare ed anche economici.

L'intervento sismo ha come obiettivo il miglioramento o consolidamento strutturale del nostro edificio perseguibile attraverso lavori che ci consentono di aumentare la prestazione sismica del nostro edificio.

Per edifici in muratura gli interventi più comuni sono:

- Consolidamento pareti murarie tramite intonaci armati o con FRP
- Cerchiatura delle aperture
- Consolidamento dei solai tramite soletta collaborante in cls e connettori
- Cordolo se possibile ad ogni piano ed in copertura
- Inserimento di catene metalliche: ammorsamento dei muri.
- Sostituzione del tetto utilizzando un materiale più leggero quale legno.
- Realizzazione di cappotto sismico armato

Per gli edifici in cemento armato

Intervento che consente un semplice salto di classe

- Intonaci armati su tamponature per evitare il ribaltamento
- Cappotto termico antiribaltamento tamponature
- Consolidamento dei nodi trave-pilastro non confinati tramite FRP; o acciaio;

Intervento più complesso che migliora notevolmente la prestazione sismica dell'edificio

- Isolamento sismico alla base
- Inserimento di pareti da taglio (bioedilizia)
- Esoscheletri (bioedilizia)
- Cappotto sismico armato
- Consolidamento dei solai in c.a.

Gli interventi hanno come obiettivo la riduzione delle sollecitazioni nel telaio spaziale, il primo attraverso una riduzione di rigidezza globale con conseguente aumento del periodo fondamentale e diminuzione della accelerazione $S_d(T)$; gli altri interventi determinano un incremento di rigidezza in modo da assorbire per intero la sollecitazione sismica scaricando la restante parte della struttura.

- Consolidamento di travi e pilastri con camicie metalliche , ringrossi in c.a. o FRP.

questo intervento non modifica la rigidezza della nostra struttura ma determina un aumento di resistenza e duttilità dell'elemento strutturale sia esso pilastro o trave .

Se dovessi eseguire un intervento sismo sui un edifici esistente in c.a, senza turbare la struttura esistente e spendere molti soldi mi orienterei qualora la struttura lo permettesse verso l'intervento che consente un semplice salto di classe.

8-I nuovi edifici sismo-green

*L'edificio nuovo **sismo-green** risponde a caratteristiche strutturali ed energetiche di tipo **green** per cui vengono utilizzati materiali ecologici e le tecniche della bioedilizia fondendo la prestazione sismica con quella energetica; esempi di edifici sismo-green sono :*

- Edifici in legno*
- Edifici in legno e paglia*
- Muratura di laterizio armata*
- Muratura armata in Leca-blocco*
- Edifici con blocco cassero in legno cemento o polistirolo*
- Muratura di laterizio non armata*
- Edifici con cassero modulare in polistirolo o plastica Nydion, Celenit, Plastbau*
- Edifici con struttura portante in alluminio .*
- Case in terra cruda*

In questi sistemi costruttivi l'elemento base soddisfa sia esigenze green che sismiche, il blocco cassero, il laterizio , il cassero modulare hanno già l'isolante incorporato. Ovviamente si pone la problematica delle emissioni di carbonio che riguardano essenzialmente i processi produttivi ed il cantiere edile che possono essere azzerate facendo ricorso a veicoli ed attrezzature di cantiere elettriche senza utilizzare carburanti derivati da combustibili fossili.

*La progettazione ovvero la costruzione di un edificio **sismo-green** risponde alle caratteristiche delle **PASSIV-HOUSE o NZEB** ovvero viene messo in cantiere e costruito con queste finalità :*

- Prestazione energetica*
- Prestazione Sismica*
- Zero emissioni*

rientra quindi assieme alla qualità architettonica in un normale processo di progettazione e costruzione ormai diventato modo e maniera di costruire.

Gli impianti tecnici sono tutti alimentati da energia elettrica :

- Impianto elettrico*
- Impianto di riscaldamento e raffrescamento*
- Impianti di ventilazione*
- Impianto di condizionamento*
- Impianto domotico*
- Impianto smart*
- Ascensore*

L'edificio va integrato attraverso la produzione di energia con :

- Impianto microeolico*
- Impianto fotovoltaico*
- Sonde geotermiche*
- Serre bioclimatiche con apporti solari.*

Per quanto concerne la mobilità urbana i proprietari delle abitazioni devono dotarsi di veicoli elettrici , bicicletta e scooter elettriche , con le relative colonnine di ricarica .

9- Forme di finanziamento

*Gli interventi visti nei paragrafi precedenti rientrano nel **Sismabonus**, **Ecobonus** e **Superbonus 110%** , e sono soggetti ad agevolazioni fiscali quali le più comuni .*

- Cessione del credito*
- Sconto in fattura*
- Detrazioni fiscali da usufruire in dieci anni*

*Il nuovo parlamento recentemente ha apportato delle modifiche , si può affermare che in Italia le **case green** trovano già delle forme di finanziamento con un contributo ridotto 30%÷50 % da parte dei proprietari alla spesa complessiva per l'esecuzione dei lavori. La direttiva **case green** prevede che le banche debbano migliorare l'efficienza energetica degli immobili ipotecati, ancorché non ne siano proprietarie e, quindi, non siano in grado di realizzare o imporre gli interventi di riqualificazione energetica; pertanto, prosegue il direttore, qualora non siano apportate correzioni su questo punto, le banche sarebbero necessariamente obbligate a selezionare quali finanziamenti concedere e sarebbero più orientate verso immobili che hanno migliori performance energetiche, riducendo così le possibilità di accesso al credito per l'acquisto/riqualificazione degli immobili di minore qualità. Si arriverebbe così ad un blocco nell'erogazione dei mutui per l'acquisto di immobili che non siano conformi alla nuova direttiva UEA tal riguardo l'ABI ha messo in luce alcuni aspetti fondamentali, quali:*

- non tutti i proprietari di casa avrebbero le disponibilità finanziarie o sarebbero in grado di contrarre mutui (o ulteriori finanziamenti) per interventi di ristrutturazione energetica;*
- le banche potrebbero riscontrare difficoltà nell'erogazione dei finanziamenti ipotecari a soggetti con più basso merito creditizio;*
- la misura rischia di produrre una riduzione del valore di mercato degli edifici, con impatti rilevanti sulla ricchezza delle famiglie italiane che per il 60% è rappresentata da immobili residenziali;*
- la conseguente svalutazione delle garanzie acquisite per la concessione dei mutui*

ipotecari.

*In vista dell'approvazione definitiva, l'Istituto auspica che la direttiva abbia maggiore proporzionalità, gradualità e flessibilità nell'attuazione e presenta **una serie di proposte di modifica** in tal senso:*

- *flessibilità a tutti i Paesi di prevedere una propria roadmap di adeguamento, mantenendo l'obiettivo delle emissioni zero nel 2050;*
- *eccezioni a fronte di obblighi non economicamente sostenibili per i proprietari degli immobili oppure nei casi in cui non comportino una significativa diminuzione dell'emissione complessiva di gas serra;*
- *una modifica da parte delle banche agli obblighi che hanno nei confronti del portafoglio ipotecario (gli immobili a garanzia dei mutui);*
- *l'accesso al database SIAPPE dell'ENEA, al fine di acquisire informazioni, in maniera automatizzata, sul grado di performance energetica degli immobili a garanzia dei finanziamenti, non solo in fase di erogazione (nell'ambito della quale l'APE viene già acquisito) ma anche in relazione a eventuali successivi interventi di riqualificazione energetica (nell'ottica di classificare gli immobili a garanzia del portafoglio finanziamenti con la corretta classe energetica di appartenenza).*

10- Conclusioni

*La direttiva **case green** è già parte integrante della legislazione italiana i provvedimenti indicati sono simili a quelli dell'ecobonus, vengono però introdotti degli obblighi e delle scadenze per quanto concerne il salto di classe energetica degli edifici per cui la maggior parte dei proprietari di alloggi ed edifici si vedono costretti ad interventi di ristrutturazione energetica. Per lo stato italiano non esiste l'obbligo di adeguamento sismico ed energetico degli edifici che è facoltativo, il recepimento ed applicazione di questa nuova normativa obbliga ad eseguire dei lavori nei prossimi dieci anni per buona parte del patrimonio edilizio italiano. Viene introdotto il concetto di decarbonizzazione della nostra abitazione proibendo l'uso per il riscaldamento di combustibili fossili, se si pensa che in Italia la maggior parte delle abitazioni vengono riscaldate a gas metano, e alle aziende coinvolte nella gestione e distribuzione del gas naturale, il recepimento della direttiva diventa problematico anche se la scadenza fissata è del 2050 ovvero entro 30 anni dobbiamo sostituire la nostra caldaia a gas metano con una elettrica, un normale processo di manutenzione che di solito lo si esegue ogni 15-20 anni. Le indicazioni della direttiva fanno già parte della pratica progettuale, il risparmio energetico le fonti rinnovabili di energia la bioedilizia sono parte integrante del settore delle costruzioni in Italia di conseguenza non vi saranno né problemi né ostacoli alla sua applicazione salvo la inerzia dei proprietari privati conseguente a difficoltà economiche ormai problema comune a gran parte*

Le facciate ventilate

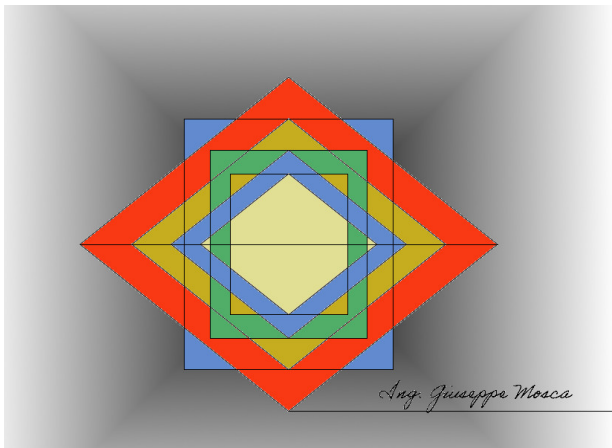
1- Introduzione

2- La facciata ventilata

3- La facciata non ventilata

4- Il design delle facciate ventilate

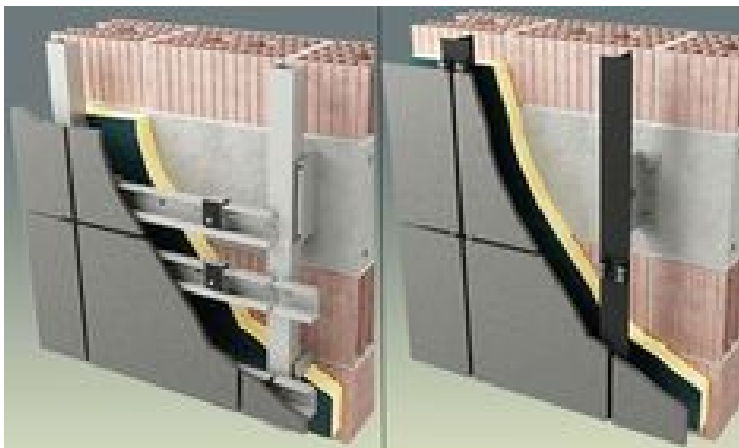
5- Conclusioni



N.B. Mi scuso di eventuali imprecisioni o errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti

1- Introduzione

La architettura ed il design del prospetto di un edificio può essere abbellito e migliorato notevolmente ricorrendo a facciate ventilate che non sono altro che rivestimenti della parete con una intercapedine all'interno della quale circola dell'aria. La facciata ventilata è stata concepita per località con clima molto caldo adatta per la Sicilia la Sardegna o città come Roma Napoli dove le temperature invernali non sono molto basse e la radiazione solare in estate ovvero gli apporti solari riscaldano l'involucro edilizio con incrementi dei consumi di energia per il raffrescamento. Se ci riferiamo ad altri continenti ovvero alle nazioni comprese tra latitudini poco distanti dai tropici le facciate ventilate che raffrescano il nostro edificio rappresentano la ideale alternativa all'isolamento termico utilizzato in Europa in Italia per ridurre le dispersioni termiche attraverso i componenti opachi. In zone di montagna come il mio luogo di residenza utilizzare una facciata ventilata per ridurre gli apporti solari in estate per involucri edilizi dove la inerzia termica è elevata si hanno sensazioni di freddo anche in estate per persone ferme in sedentarietà è controproducente invece la facciata ventilata ha un duplice effetto ovvero in inverno di pannello solare effetto serra riscaldando l'aria ferma nella intercapedine ed in estate di raffrescare il nostro edificio attraverso la circolazione di aria. Le facciate ventilate nel futuro rappresenteranno il sistema per ridurre i consumi di energia necessari per raffrescamento e riscaldamento per componenti opachi migliorando notevolmente la architettura ed il design della facciata. Le aziende produttrici di facciate ventilate fanno riferimento esclusivamente al raffrescamento ovvero alla riduzione degli apporti solari esaltando la ventilazione della parete ovvero la circolazione di aria all'interno della intercapedine senza menzionare la possibilità di poter riscaldare all'esterno la nostra parete in inverno e ridurre le dispersioni termiche per loro è un fenomeno fisico evidente.



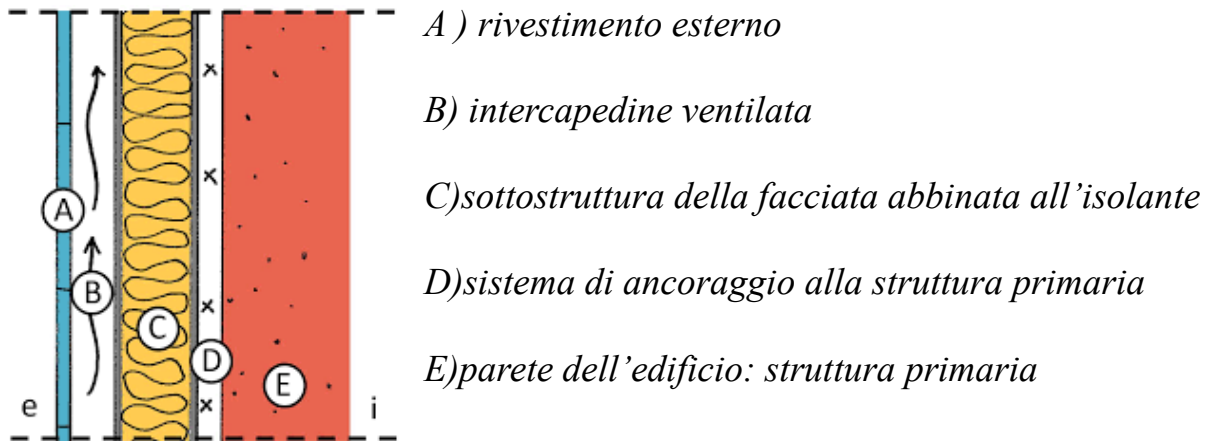
La tecnica costruttiva di una facciata ventilata consente di utilizzare qualsiasi rivestimento e materiale inoltre possiamo assemblare a mosaico i singoli componenti con la possibilità di disegnare e porre in risalto elementi sulla facciata.

2- La facciata ventilata

Una facciata ventilata può essere definita come:

“un tipo di facciata a schermo avanzato in cui la intercapedine tra il rivestimento e la parete è progettata in modo tale che l'aria in essa presente possa fluire secondo un effetto camino al fine di migliorare le prestazioni energetiche complessive”

Lo schema di una facciata ventilata è riportato in figura:



Le facciate ventilate sono classificate come:

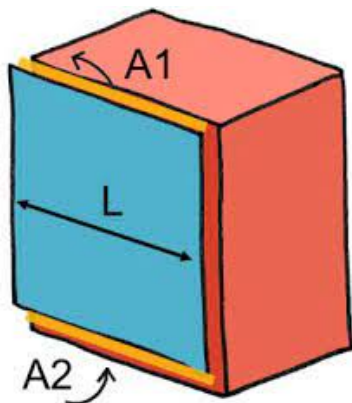
- Non ventilate aria ferma $\leq 500 \text{ mmq/m}$
- Debolmente ventilate $500 \text{ mmq/m} \leq A_v / L \leq 1500 \text{ mmq/m}$
- Fortemente ventilate $1500 \text{ mmq/m} \leq A_v / L$

In funzione del rapporto tra l'area A_v della intercapedine e la sua larghezza L

$A_v = A_1 + A_2 \text{ mmq}$ dove :

A_1 area inferiore intercapedine

A_2 area superiore intercapedine



La resistenza termica di una parete non ventilata viene determinata considerando tutti gli elementi che costituiscono la parete e la trasmittanza dell'aria all'interno ovvero la sua resistenza

A) rivestimento esterno s_1/λ_1

B) intercapedine ventilata R_A

C) sottostruttura della facciata abbinata all'isolante s_2/λ_2

D) sistema di ancoraggio alla struttura primaria s_3/λ_3

E) parete dell'edificio: struttura primaria s_4/λ_4

La resistenza R_A è definita nella seguente tabella:

Resistenza termica R_a (m ² K/W) per intercapedini d'aria non ventilate								
Direzione del flusso:	Spessore intercapedine in mm							
	5	7	10	15	25	50	100	300
Ascendente (soffitto)	0.11	0.13	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Orizzontale (parete)	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18
Discendente (pavimento)	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.23
I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.								
I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici con inclinazione fino a $\pm 30^\circ$ rispetto al piano orizzontale								

La trasmittanza della parete ventilata è definita dalla nota formula :

$$U = 1/R = 1/[R_{SI} + \sum s_i/\lambda_i + R_A + R_{SE}]$$

R_{SI} resistenza laminare superficie interna

R_A resistenza termica intercapedine

R_{SE} resistenza laminare superficie esterna

$\sum s_i/\lambda_i$ somme delle resistenze termiche di strati di materiale non omogeneo

Quando la parete è fortemente ventilata viene escluso sia il supporto esterno che la intercapedine per il calcolo della trasmittanza tenendo conto esclusivamente di una resistenza superficiale esterna

$$U = 1/R = 1/[R_{SI} + \sum s_i/\lambda_i + R_n + R_{SE}]$$

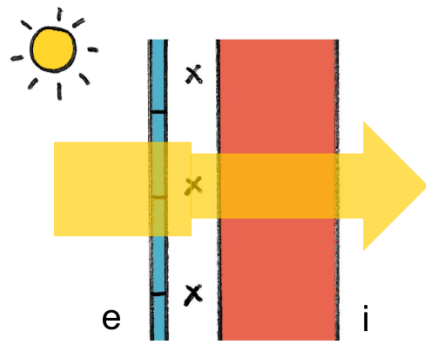
C) sottostruttura della facciata abbinata all'isolante s_1/λ_1

D) sistema di ancoraggio alla struttura primaria s_2/λ_2

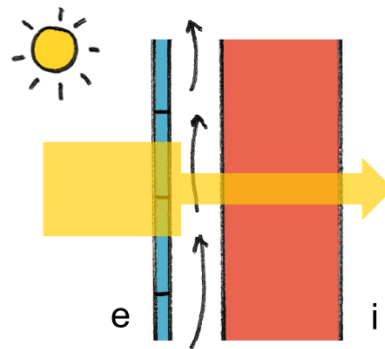
E) parete dell'edificio: struttura primaria s_3/λ_3

E' evidente che per le pareti fortemente ventilate vi è una sostanziale riduzione della resistenza termica della parete ovvero della trasmittanza U . In una parete ventilata gli apporti solari estivi pesano meno riducendo il rischio di surriscaldamento

Intercapedine non ventilata



Intercapedine ventilata



Se vogliamo quantizzare il calore proveniente dagli apporti solari che chiaramente dipendono dalla esposizione alla radiazione solare della facciata ovvero l'energia solare che entra attraverso le strutture opache colpite dal sole

$$Q_{sol,op} = A_{sol,op} * I_{rr} * F_{sh} * t \quad \text{dove}$$

I_{rr} *energia solare disponibile nella località considerata*

F_{sh} *fattore di ombreggiamento strutture opache*

t *durata tempo di esposizione*

$A_{sol,op}$ *area di captazione solare effettiva della facciata opaca*

$$A_{sol,op} = A_c * R_{se} * U_{ceq} * \alpha_{sol,c} \quad \text{dove :}$$

A_c *area esterna della facciata mq*

$R_{se} = 0,04 \text{ W}^{\circ}\text{K/mq}$ *resistenza termica verticale del componente opaco*

$\alpha_{sol,c}$ *fattore di assorbimento medio del componente opaco*

$\alpha_{sol,c} = 0,3$ *per colori chiari* ; $\alpha_{sol,c} = 0,6$ *colori medi* ; $\alpha_{sol,c} = 0,9$ *per colori scuri* ;

U_{ceq} *trasmittanza termica della facciata*

Se moltiplichiamo l'area di captazione per la irradianza solare media mensile ed il fattore di ombreggiatura possiamo determinare la potenza W degli apporti solari che attraversano la facciata opaca .

La trasmittanza termica di una facciata ventilata con intercapedine di aria aperta può essere determinata UNI /TS 11300-1 attraverso la formula:

$$U_{c,fq} = (f_c * U_{co}) * [(1-f_v) * U_{cv}]$$

f_c è un coefficiente di ventilazione ricavato in funzione del rapporto tra l'area dell'intercapedine e del componente A_{al}/A_c

-0,8 con $A_{al}/A_c < 0,005$ (poco ventilata)

-0,5 con $0,005 < A_{al}/A_c < 0,1$ (mediamente ventilata)

-0,2 con $A_{al}/A_c > 0,1$ (fortemente ventilata)

U_{co} trasmittanza della facciata considerata con intercapedine non ventilata

U_{cv} trasmittanza termica della facciata con intercapedine ventilata data dalla formula

$$U_{cv} = U_{ce} * U_{ci} / ((U_{ce} + U_{ci} + h')) \text{ dove ,}$$

U_{ce} trasmittanza termica tra l'ambiente esterno e l'intercapedine d'aria

U_{ci} trasmittanza termica tra l'ambiente interno e l'intercapedine d'aria

H' valore costante pari a $15 W^{\circ}K/mq$

Tutte le trasmittanze sono misurate in $W^{\circ}K/mq$

Esaminiamo 2 facciate ventilate la prima con intercapedine chiusa e la seconda con intercapedine aperta con 2 tipologie di isolamento e 3 tipologie di ventilazione. Riportiamo una tabella con la trasmittanza:

	Struttura isolata		Struttura non isolata	
	$U_{c,eq}$ [W/m ² K]	Riduz. degli apporti sol.	$U_{c,eq}$ [W/m ² K]	Riduz. degli apporti sol.
Facciata non ventilata	0,222	-	0,662	-
Facciata ventilata con fattore f_v pari a:				
0,8 (poco ventilata)	0,186	16%	0,560	15%
0,5 (mediamente ventilata)	0,133	40%	0,406	39%
0,2 (ben ventilata)	0,080	64%	0,252	62%

La riduzione della trasmittanza termica è importante sia per la riduzione delle dispersioni termiche in inverno che per gli apporti solari in estate riducendo il calore trasmesso all'interno dalla radiazione solare fondamentale per ridurre i consumi di energia per il raffrescamento in estate.

3- La facciata non ventilata

La facciata non ventilata è una facciata dove non circola aria ovvero essa è ferma e tale moto può essere evitato provvedendo alla chiusura della intercapedine sia superiormente che inferiormente ; come già visto la trasmittanza termica viene determinata con la formula seguente considerando i contributi i termini di conduttività e spessore di ciascuno componente

$$U = 1/R = 1/[R_{SI} + \sum s_i/\lambda_i + R_A + R_{SE}]$$

R_{SI} resistenza laminare superficie interna

R_A resistenza termica intercapedine

R_{SE} resistenza laminare superficie esterna

$\sum s_i/\lambda_i$ somme delle resistenze termiche di strati di materiale non omogeneo

-rivestimento esterno s_1/λ_1

-intercapedine con aria R_A

-sottostruttura della facciata abbinata all'isolante s_2/λ_2

-sistema di ancoraggio alla struttura primaria s_3/λ_3

-parete dell'edificio: struttura primaria s_4/λ_4

In inverno quando le temperature sono proibitive ovvero rigide ed anche in estate per problemi di inerzia termica delle pareti in zone di montagna dove non è necessario il raffrescamento ed il riscaldamento della parete con gli apporti solari si traduce in comfort abitativo poiché stando fermi in casa si hanno sensazioni di freddo poco piacevoli l'aria nella intercapedine se opportunamente colpita dai raggi del sole si riscalda creando un effetto serra che in inverno riduce le dispersioni termiche mentre in estate aumenta la temperatura interna della nostra abitazione.

Si può valutare questo effetto serra in analogia alle serre bioclimatiche ovvero l'incremento di temperatura dell'aria nell' intercapedine con conseguente riscaldamento della parete. La capacità termica

$$C = Q/\Delta T ; \text{dove la capacità termica } C = M \cdot c$$

M massa dell'aria ferma nella intercapedine

c calore specifico dell'aria $1005 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{K)}$

La massa $M = \rho \cdot V$, V volume della intercapedine $\rho = 1,225 \text{ kg/mc}$ densità aria

La variazione di temperatura ovvero il suo incremento $\Delta T = Q / (c \cdot V \cdot \rho)$

$$\text{Il calore } Q = Q_{sol,op} = A_{sol,op} \cdot I_{rr} \cdot F_{sh} \cdot t$$

I_{rr} energia solare disponibile nella località considerata

F_{sh} fattore di ombreggiamento strutture opache

t durata tempo di esposizione

$A_{sol,op}$ area di captazione solare effettiva della facciata opaca

$A_{sol,op} = A_c * R_{se} * U_{ceq} * \alpha_{sol,c}$ dove :

A_c area esterna della facciata mq

$R_{se} = 0,04 \text{ W}^{\circ}\text{K/mq}$ resistenza termica verticale del componente opaco

$\alpha_{sol,c}$ fattore di assorbimento medio del componente opaco

$\alpha_{sol,c} = 0,3$ per colori chiari ; $\alpha_{sol,c} = 0,6$ colori medi ; $\alpha_{sol,c} = 0,9$ per colori scuri ;

U_{ceq} trasmittanza termica della facciata

La facciata con intercapedine può quindi avere un duplice effetto ovvero del raffrescamento e riscaldamento ;

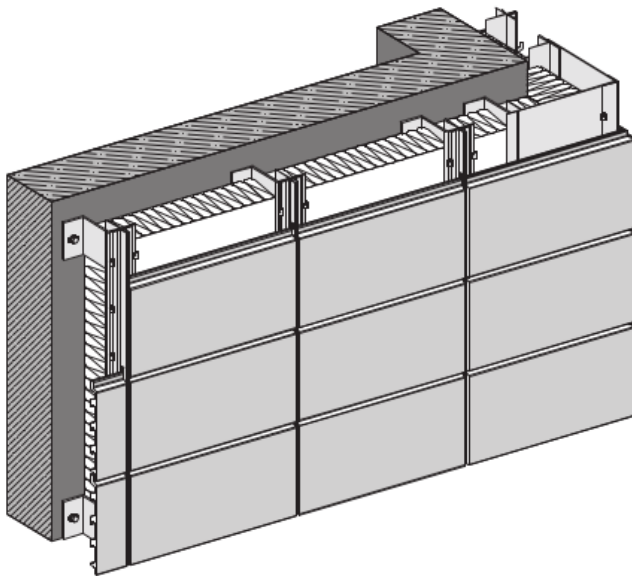
Raffrescamento , facciamo circolare l'aria all'interno della intercapedine in modo che la parete sia ben ventilata e si riduce l'incremento di temperatura dovuta agli apporti solari in estate;

Riscaldamento , riduciamo la ventilazione ovvero l'aria è ferma per effetto degli apporti solari si genera un effetto serra che riscalda la parete e come ben sappiamo la dispersione termica dipende dal salto termico tra l'interno e l'esterno;

Si passa dal raffrescamento estivo al riscaldamento invernale chiudendo inferiormente e superiormente le intercapedine, la struttura della facciata ventilata è sempre la stessa basta bloccare la circolazione dell'aria.

4- Il design delle facciate ventilate

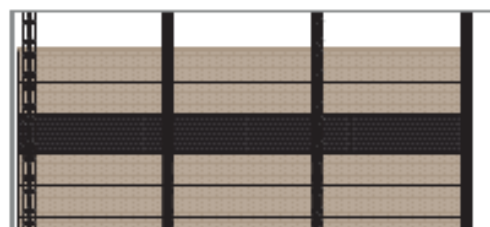
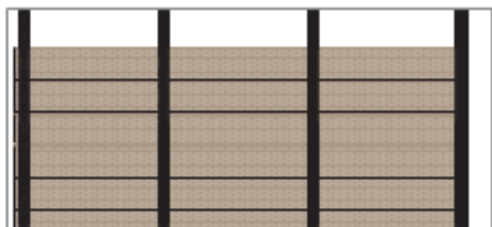
Prima di parlare di estetica e design della facciata ventilata vediamo innanzitutto come vanno realizzate in adiacenza alla parete esistente il sistema costruttivo e la posa in opera; sulla parete viene realizzata una sottostruttura metallica solitamente in alluminio agganciata e fissata alla parete che definisce lo spessore della intercapedine e ad essa viene agganciato il rivestimento :



- Strato di isolante
- Intercapedine
- Rivestimento

La struttura metallica se adeguatamente dimensionata e calcolata può fungere da irrigidimento della parete ovvero può essere utilizzata per adeguamenti sismici, ovviamente ogni azienda ha il suo sistema costruttivo per la realizzazione di facciate ventilate.

Esempi di posa



Per quanto concerne i materiali di rivestimento si possono utilizzare materiali ceramici quali gres , fibrocemento, vetro, legno, pietra, laterizio, cotto, marmo , polycarbonato lamiera forata composito ect in modo che il design delle facciate sia eccellente e valorizzi in maniera adeguata l'architettura del nostro edificio. Riportiamo alcuni

immagini di edifici con facciate ventilate .



5- Conclusioni

Le facciate ventilate rappresentano una eccellente soluzione architettonica ed estetica che accoppiata al valore più basso della trasmittanza e alla riduzione degli effetti della radiazione solare sulle pareti valorizza notevolmente i nostri edifici. Alla facciata ventilata in particolare alla intercapedine deve esser affidata la funzione di riscaldare la parete del nostro edificio ovvero di realizzare un involucro a temperatura più alta dove alloggiare le tubazioni dell'impianto di riscaldamento e insufflare aria calda in modo che non vi siano dispersioni termiche all'esterno nel periodo invernale mentre in estate raffrescare l'edificio anche con aria a temperatura più bassa prescindendo dagli apporti solari.

La condensa e la muffa

1- Introduzione

2- La verifica termoigrometrica delle pareti

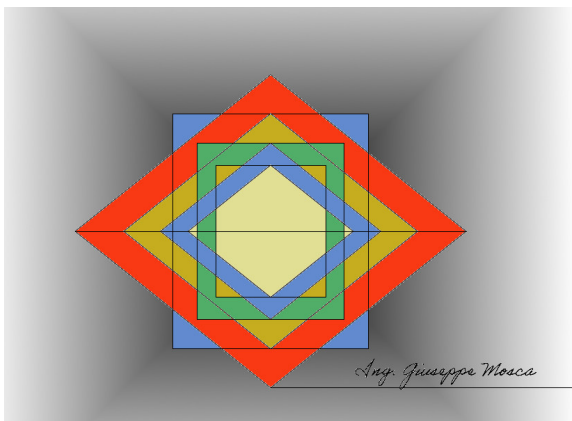
3- Riduzione delle umidità relativa : il deumidificatore

4- La ventilazione

5- Aumento della temperatura della parete

6- Le pitture ed i trattamenti antimuffa

7- Conclusioni



Ing. Giuseppe Mosca



N.B. Mi scuso a priori di eventuali imprecisioni o errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti

1- Introduzione

La condensa e la muffa negli edifici rappresentano delle situazioni di degrado abitativo che dipendono dal reddito dei proprietari degli appartamenti che non avendo la quantità di denaro sufficiente o per incuria non hanno eseguito i normali lavori di manutenzione ordinaria e non è stata garantita all'interno una temperatura adeguata durante tutta la giornata nel periodo invernale ; ogni abitazione necessita almeno ogni 4 anni della tinteggiatura delle pareti della applicazione di trattamenti antimuffa oppure della apposizione della carta da parati. Insieme a questi interventi è necessaria quando possibile la realizzazione di un cappotto termico interno o esterno per contenere i consumi di energia al fine di evitare la formazione di condensa. In questi appunti ci occuperemo esclusivamente di umidità da condensazione ovvero del cosiddetto effetto parete fredda dove il vapore d'acqua prodotto nella abitazione e proveniente dall'esterno si va a condensare sulla parete a temperatura più bassa generando il classico colore nero e la muffa. E' evidente che la formazione di condensa dipende dalla temperatura dell'ambiente e quindi delle pareti nonché dalla umidità relativa quindi i provvedimenti che illustreremo hanno come obiettivo l'aumento della temperatura della parete e la riduzione della umidità relativa. Gli ambienti della casa dove si produce vapore d'acqua sono la cucina dove vengono cotti i cibi ed il bagno dove si utilizza acqua calda per cui è opportuno che le cucine siano nuove con cappa perfettamente funzionante e che siano aerati e ventilati in modo da allontanare il vapore. Ovviamente il comfort termoigrometrico di una abitazione dipende dall'impianto di riscaldamento dalla ventilazione naturale e quindi dai ricambi d'aria e da tutti quegli interventi da eseguire sugli edifici al fine di contenere i consumi di energia. Quando si aprono le finestre la ventilazione naturale soprattutto in inverno periodi nel quale si forma condensa si abbassa la temperatura degli ambienti con conseguente consumo di energia ed in tempi moderni dove il costo di 1 mc di metano è circa 1,10 euro arieggiare il nostro appartamento diventa sconveniente poiché lieviterebbero le bollette di metano. In questi appunti affronteremo la verifica termoigrometrica di una parete ed i meccanismi fisici che generano condensa inoltre verranno date delle indicazioni su come risolvere il problema dell'annerimento della parete problemi di degrado abitativo dove tutti più o meno ci siamo cimentati prospettando la nostra soluzione attraverso discussioni in famiglia acquisto di pitture antimuffa improvvisandoci anche imbianchini. Le soluzioni proposte si basano sulla riduzione della umidità relativa attraverso la ventilazione naturale o meccanica e la deumidificazione dell'ambiente nonché l'aumento della temperatura della parete attraverso l'isolamento termico interno o esterno e la termoregolazione degli impianti di riscaldamento. Si può affermare che il degrado abitativo è una patologia edilizia strettamente connessa con la condizione economica degli occupanti le abitazioni che saranno tanto più confortevoli e salubri quanto maggiore è il reddito familiare, poiché si possono prendere i giusti provvedimenti ed eseguire i lavori necessari per eliminare la patologia edilizia ed il degrado.

2- La verifica termoigrometrica delle pareti

Per dare una definizione di condensa, questa si definisce come quel fenomeno fisico che si verifica quando il vapore acqueo e una superficie fredda entrano in contatto. L'aria è composta da una miscela di elementi chimici e di vapore acqueo (si parla infatti di aria umida), generata a seguito dell'evaporazione dell'acqua presente in ambiente. L'aria è in grado di assorbire vapore acqueo fino a diventare satura (aumentando anche il suo volume e il suo peso specifico). Maggiore è la temperatura maggiore è la capacità dell'aria di assorbire vapore (si evidenzia infatti che 1 m³ di aria in condizioni di saturazione al livello del mare, contiene circa 4 g di acqua a 0°C, 18 g a 20°C, 55 g a 40°C fino a raggiungere quasi 95 g a 50°C). Quando si raffredda, il volume dell'aria si riduce e di conseguenza il vapore viene espulso: se il raffreddamento avviene in modo molto rapido (ad esempio tramite il contatto con una superficie fredda), il vapore espulso condensa e si trasforma in gocce d'acqua, o rugiada. La temperatura a cui avviene la formazione di queste gocce è denominata temperatura di rugiada, la quale dipende sia dalla temperatura dell'aria interna ϑ_{ai} [°C] che dalla sua umidità relativa ϕ_{ai} [%].

Per evitare il fenomeno della condensazione superficiale è sufficiente mantenere la temperatura interna della parete maggiore della temperatura di rugiada dell'aria dell'ambiente :

$$T_{pi} > T_R$$

tale condizione è equivalente ad imporre che la pressione di vapore dell'aria a contatto con la parete non superi la pressione di saturazione

$$P_{vi} < P_{VS}$$

al fine di evitare la formazione di muffe la norme UNI impongono una limitazione più severa

$$P_{vi} < 0,8 * P_{VS}$$

da cui si può ricavare la pressione di saturazione del vapore in funzione della pressione interna

$$P_{VS} = P_{vi} / 0,8$$

la temperatura superficiale interna minima ammissibile

$$T_{Si} = [237,3 * \lg(P_{VS} / 610,5)] / [17,269 - \lg(P_{VS} / 610,5)] \quad \text{per} \quad P_{VS} \geq 610,5 \text{ N/mq}$$

$$T_{Si} = [265,6 * \lg(P_{VS} / 610,5)] / [21,875 - \lg(P_{VS} / 610,5)] \quad \text{per} \quad P_{VS} < 610,5 \text{ Pa}$$

Per procedere al calcolo della temperatura superficiale è opportuno eseguire un bilancio termico della parete $Q = A \cdot U \cdot \Delta T$

$$\Delta T = T_E - T_I$$

T_E temperatura esterna

T_I temperatura interna

A area della parete

$$U = 1 / [R_{si} + \sum S_i / \lambda_i + R_{se} + R_a + R_n]$$

R_{si} resistenza laminare interna

R_{se} resistenza laminare esterna

S_i spessore strato omogeneo

λ_i conduttività materiale

R_a resistenza intercapedine con aria

Resistenza superficiale m ² K/W	Direzione del flusso termico		
	ascendente	orizzontale	discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

La resistenza totale $R = [R_{si} + \sum S_i / \lambda_i + R_{se} + R_a + R_n]$

Il flusso di calore unitario sulla parete $Q/A = 1/R_{si} \cdot (T_i - T_{si})$

T_{si} temperatura superficiale della parete interna

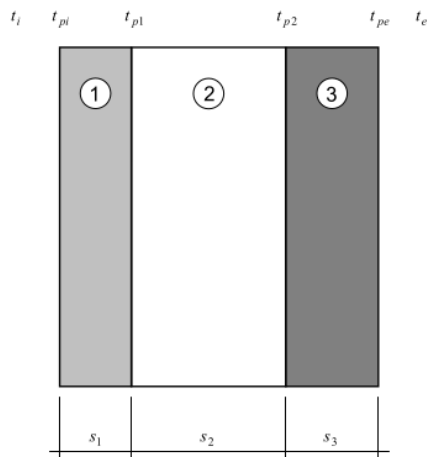
$Q/A = U \cdot (T_i - T_E) = (T_i - T_{si})/R_{si}$ da cui

$$T_{si} = T_i - U \cdot (T_i - T_E) \cdot R_{si}$$

La temperatura superficiale deve essere maggiore della temperatura superficiale minima .

Si può determinare attraverso il flusso di calore la distribuzione delle temperature all'interno della nostra parete ; consideriamo una parete composta da 3 strati come

riportato in figura



Conoscendo la temperatura esterna possiamo ricavare la temperatura in ogni singolo strato

$$Q = A * U * \Delta T$$

$$T_{Si} = T_i - U * (T_i - T_e) * R_{si}$$

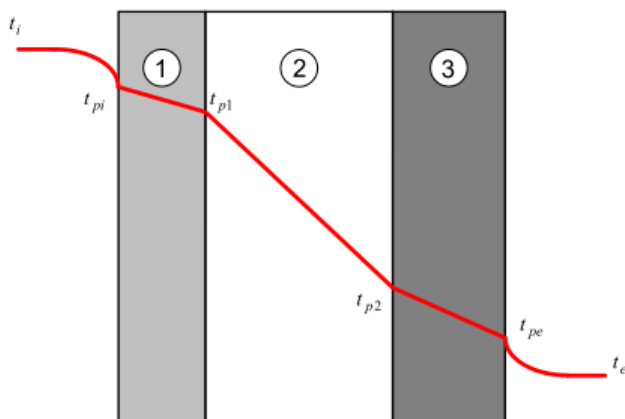
$$T_{P1} = T_i - U * (T_i - T_e) * (R_{si} + s_1 / \lambda_1)$$

$$T_{P2} = T_i - U * (T_i - T_e) * (R_{si} + s_1 / \lambda_1 + s_2 / \lambda_2)$$

$$T_{P3} = T_i - U * (T_i - T_e) * (R_{si} + s_1 / \lambda_1 + s_2 / \lambda_2 + s_3 / \lambda_3)$$

$$T_{Se} = T_i - U * (T_i - T_e) * (R_{si} + s_1 / \lambda_1 + s_2 / \lambda_2 + s_3 / \lambda_3 + R_{se})$$

e quindi il diagramma delle temperature all'interno della parete che si presenta come una spezzata poiché segue una legge lineare

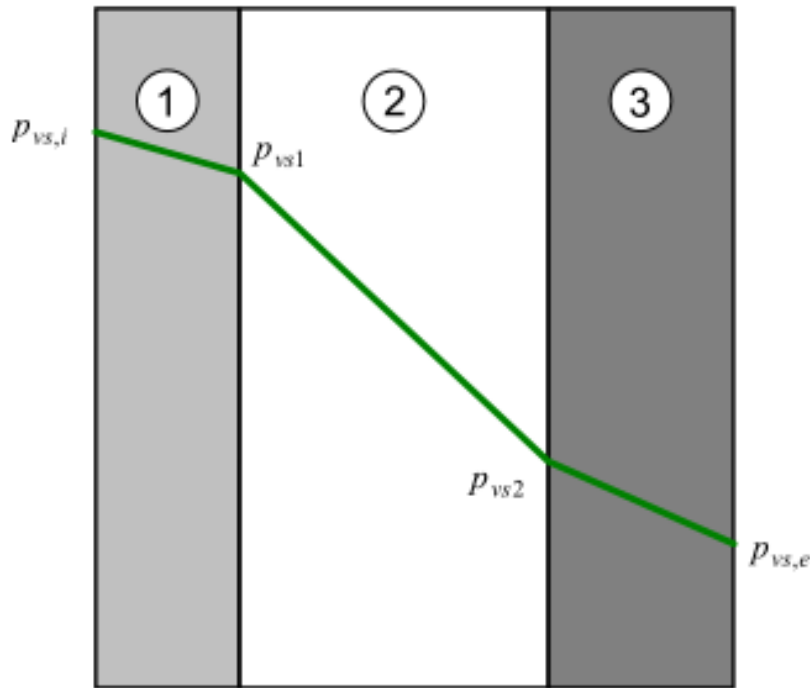


Note le temperature si ricavano i corrispondenti valori delle pressioni di saturazione

$$P_{VS} = 610,5 * \exp [(17,269 * T) / (237,3 + T)] \quad \text{per } T \geq 0^\circ \text{ C}$$

$$P_{VS} = 610,5 * \exp [(21,875 * T) / (265,5 + T)] \quad \text{per } T < 0^\circ \text{ C}$$

é possibile diagrammare le pressioni di saturazione



Per potere studiare i fenomeni di condensazione è necessario determinare l'andamento della pressione di vapore all'interno della parete in ciascuno strato e ciò può ottenersi imponendo la costanza del flusso areico nei vari strati, in generale per l'interfaccia k-ma del singolo strato

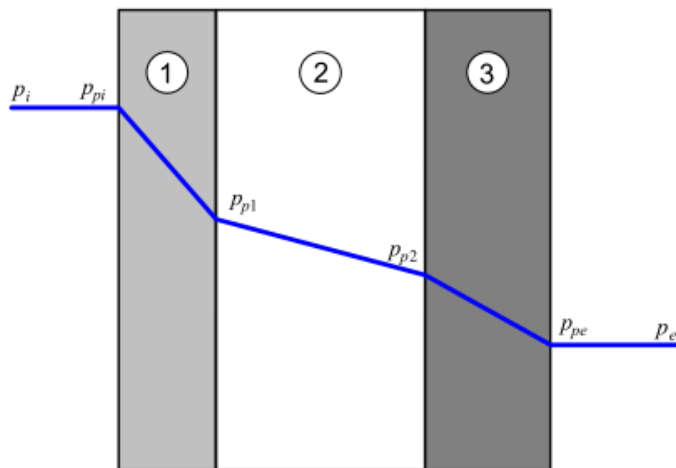
$$P_K = P_I + M * \sum s / \delta * (P_I - P_E) \quad \text{sommatoria da 1 K}$$

M rappresenta la permeanza della parete, introducendo la resistenza

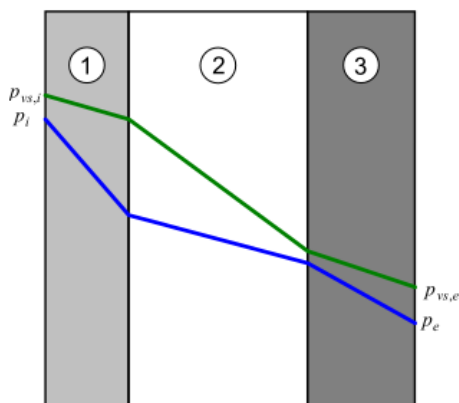
$$P_K = P_I + \sum R_{vj} / R * (P_I - P_E)$$

Le pressioni del vapore dell'ambiente interno ed esterno si determinano attraverso la umidità relativa

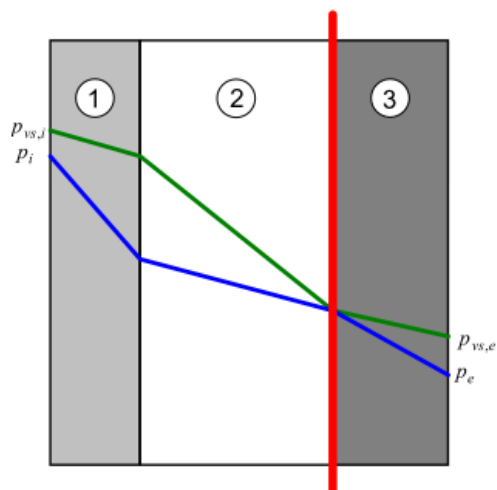
$$P_I = P_{VSI} * \varphi_i \quad ; \quad P_E = P_{VSE} * \varphi_E \quad ;$$



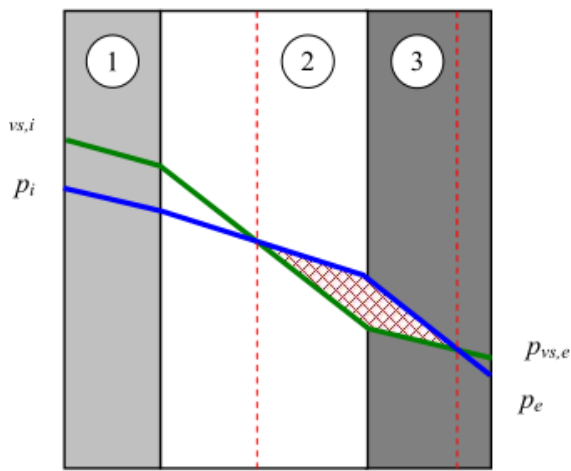
*Il vapore migra dall'ambiente a pressione parziale maggiore (normalmente quello più caldo) all'ambiente a pressione parziale minore (quello più freddo) .
Se la curva della pressione parziale di vapore interseca la curva delle pressioni di saturazione nella zona di intersezione si forma condensa con i conseguenti inconvenienti.*



Assenza di condensazione



Formazione di condensa in un punto



Condensazione all'interno della parete

3- Riduzione delle umidità relativa : il deumidificatore

Un modo semplice per ridurre il fenomeno della condensa è quello di eliminare il vapore d'acqua all'interno della nostra stanza deumidificando l'ambiente in modo che il vapore non si possa condensare poiché diminuisce la umidità relativa. A tal uopo si può utilizzare un dispositivo molto semplice a basso costo e ridotto consumo di energia quale un deumidificatore



Il deumidificatore preleva aria dall'ambiente la raffredda tramite un liquido refrigerante condensando il vapore che viene raccolto sotto forma di acqua in un recipiente; l'aria viene riscaldata di qualche grado e reimessa nell'ambiente. La potenza del deumidificatore è circa 200 W nell'arco di una giornata per 10 ore di accensione consuma 20000 W tenendo presente il costo di 1Kwh 5 cc , il consumo è di circa 10 cc al giorno. Attraverso questo sistema nel periodo invernale si impedisce la formazione di condensa però è opportuno scaldare l'ambiente con l'impianto di riscaldamento o uno scaldino elettrico a bassa potenza.

4- La ventilazione

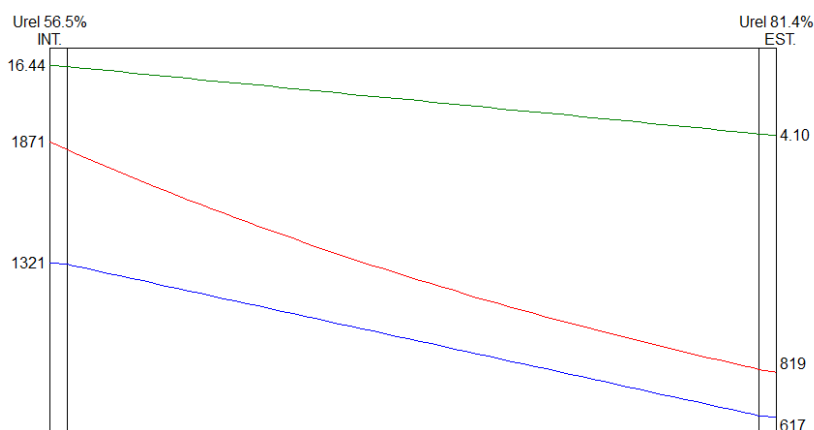
Un altro modo per evitare la formazione di condensa è quello di allontanare il vapore d'acqua tramite il ricambio d'aria ovvero la ventilazione naturale; in inverno l'apertura delle finestre abbassa notevolmente la temperatura della nostra abitazione per cui aumenterebbero i consumi di energia per riscaldamento. Realizzare un impianto di ventilazione meccanica per il nostro edificio è fuori luogo si possono utilizzare degli aereatori indipendenti ciascuno per ogni stanza in grado di cambiare l'aria senza aprire le finestre in inverno ma è evidente che l'aeratore preleva aria calda ed immette aria fredda con conseguente dispendio di energia. La migliore soluzione sono i termoventilatori dei dispositivi in grado di arieggiare la nostra stanza allontanando il vapore d'acqua immettendo aria calda ; ovviamente devono essere degli elettrodomestici a basso consumo con potenza ridotta max 600 W.



La circolazione dell'aria calda all'interno della stanza oltre che aumentare la temperatura della parete allontana il vapore d'acqua ed impedisce la formazione della condensa . I termoventilatori sono a basso consumo di energia e a basso costo.

5- Aumento della temperatura della parete

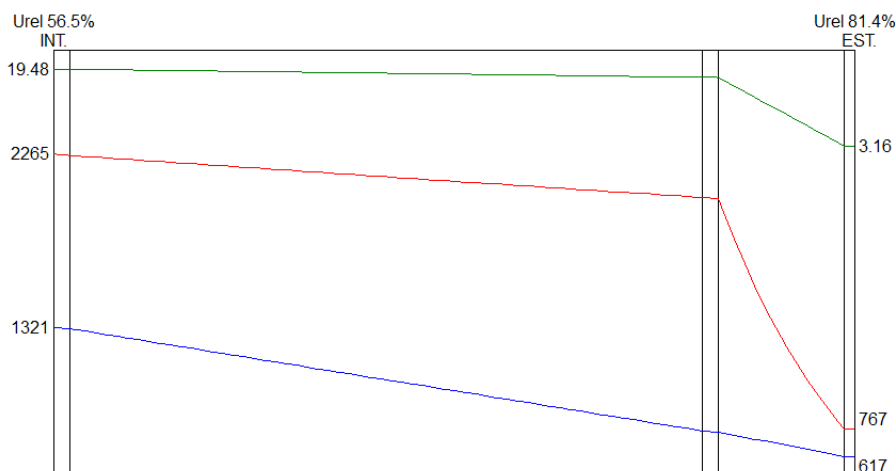
Se nella nostra abitazione vi è una parete di muratura dove si forma condensa e muffa la migliore soluzione è l'isolamento termico della parete che può essere eseguita attraverso un cappotto termico esterno quando possibile o interno. La parete è in muratura di pietrame dello spessore di circa 60 cm con intonaco cementizio interno ed esterno. Riportiamo la verifica termoigrometrica eseguita attraverso un software free . La trasmittanza della parete $U = 1,610 \text{ W/mq}^{\circ}\text{C}$



LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA

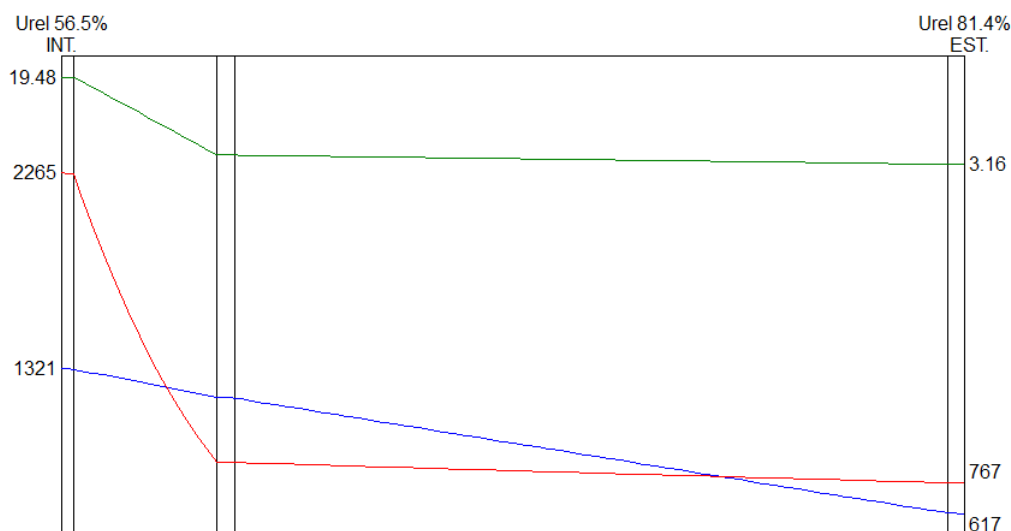
La parete non forma condensa ; sicuramente va eseguito un isolamento termico per portare la trasmittanza al valore imposto dalla normativa italiana
 $U = 0,26 \text{ W/mq}^{\circ}\text{C}$

Cappotto termico esterno con isolante EPS da 12 cm $U = 0,234 \text{ W/mq}^{\circ}\text{C}$



LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA

Cappotto termico interno con isolante EPS da 12 cm $U = 0,234 \text{ W/mq}^{\circ\text{C}}$



LA STRUTTURA FORMA CONDENSA

Il cappotto termico interno è sconsigliato poiché forma condensa nella parete.

6- Le pitture ed i trattamenti antimuffa

Quando nella nostra abitazione non è possibile realizzare un cappotto termico esterno, si procede utilizzando materiali speciali quali pitture antimuffa ed anticondensa che hanno la funzione di evitare che si formi la condensa e quindi la muffa sulla nostra parete. Questi materiali sono delle termopitture con bassa conduttività ovvero sono in grado attraverso i loro componenti di modificare la temperatura della parete e quindi evitano la formazione di condensa. Se misuriamo la temperatura di una parete annerita dalla condensa al solo tocco della mano si avverte una sensazione di freddo per cui una parete trattata con una termopittura ha una temperatura superficiale più elevata. Diventa quindi importante la manutenzione ordinaria della nostra abitazione da fare periodicamente in estate ogni 4 anni previa tinteggiatura e trattamenti antimuffa che hanno come obiettivo la modifica della temperatura superficiale delle nostre pareti.

7- Conclusioni

Come accennato nella introduzione la muffa e la condensa rappresentano delle patologie edilizie alle quali si può porre rimedio esclusivamente attraverso la tinteggiatura della nostra abitazione e tramite un cappotto termico esterno. Rappresentano delle situazioni di degrado abitativo dovuto ad una condizione di povertà dei proprietari dell'abitazione che hanno trascurato il loro appartamento non eseguendo i normali lavori di termotinteggiatura. Come visto la migliore soluzione per evitare la formazione di condensa è la eliminazione del vapor d'acqua attraverso la deumidificazione dell'ambiente, lo svantaggio di un siffatto sistema è l'abbassamento della temperatura dell'ambiente e quindi della temperatura superficiale interna della parete. La deumidificazione come la ventilazione meccanica controllata vanno accoppiate ad un adeguato impianto di riscaldamento che garantisce il comfort termoigrometrico. Si dovrebbe progettare un deumidificatore che estrae acqua dall'aria e nello stesso tempo immette aria calda nell'ambiente in modo che abbia la duplice funzione :

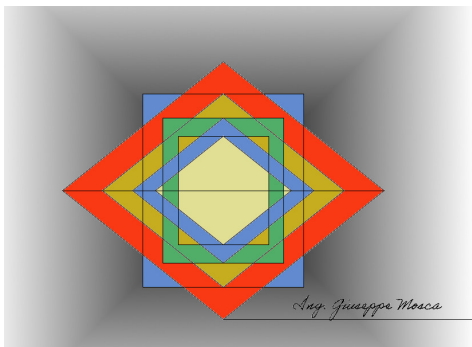
- riscaldamento*
- deumidificazione.*

a basso consumo di energia 600 W.

La problematica delle pareti fredde nelle abitazioni non è solo degrado abitativo ma rappresenta un pericolo per la salute poiché dove vi sono queste patologie edilizie vi sono anche patologie mediche quali stati febbrili influenze raffreddori e sensazioni di freddo. Negli anni 30 del 21 secolo in Italia in tempi di super bonus parlare ancora di condensa e di muffa nelle abitazioni è fuori luogo un problema che non dovrebbe neanche porsi poiché ogni cittadino dovrebbe avere i mezzi economici necessari per eseguire la manutenzione ordinaria del suo appartamento

Il pannello BCORE

- 1- Introduzione*
- 2- Verifica a pressoflessione*
- 3- Verifica di instabilità per compressione nel piano ortogonale*
- 4- Verifica a taglio*
- 5- Verifica a pressoflessione e taglio*
- 6- Rigidezza flessionale e tagliante : pannello equivalente*
- 7- Pannelli di solaio : deformabilità*
- 8- Influenza sulla resistenza e rigidezza dei CORE*
- 9- Modellazione FEM*
- 10-Collegamenti tra i pannelli ed inserimento di profili metallici*

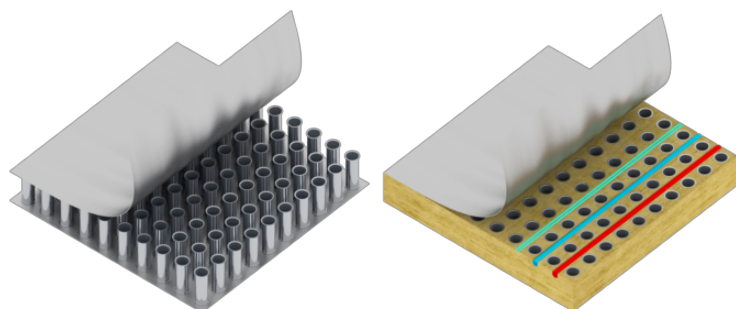


Ing. Giuseppe Mosca



N.B. Ci scusiamo per le eventuali imprecisioni e gli errori che se segnalati contribuiscono al miglioramento degli appunti

1- Introduzione



Il pannello BCORE rappresenta un materiale innovativo ottenuto mediante il collegamento di due lamiere metalliche aventi un esiguo spessore di qualche mm con tubi metallici posti ad interasse regolare in modo da conferire rigidità al pannello evitando l'instabilizzazione delle lamine riempito con materiale isolante. Il pannello modulare di larghezza 2 metri e lunghezza sino a 12 metri mentre i pannelli verticali hanno un'altezza di circa 3 m. Con questo materiale vengono realizzate strutture precarie post emergenza quali container ma viste le sue caratteristiche meccaniche ha un uso anche per abitazioni stabili dalla singola villetta di campagna alla torre o all'edificio in linea rispettando i canoni della progettazione modulare. L'isolamento termico interno da al pannello una adeguata trasmittanza termica in linea con la norma italiana per pareti opache e non è necessario utilizzare ulteriori sistemi di isolamento. Le dimensioni tipiche delle lamiere sono 1mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm, 4,5 mm, 6 mm il funzionamento statico che vedremo nei paragrafi seguenti può essere assimilato a quella di una trave a doppio T; anche il peso del pannello è ridotto come si può vedere dalla seguente tabella:

Principali parametri del CTS Slab :

		Light Floor Slab		Floor Slab		
Slab code		A1.5	A1.5	A2.5	A4	A6
Panel	Thickness	1	1.5	2.5	4	6
	m ² /kg	15.8	23.7	39.5	63.2	94.8
Core tube	Dimension	Φ51x0.3	Φ51x0.3	Φ51x0.5	Φ51x0.5	Φ51x0.5
	Space	100x100	100x100	100x100	100x100	100x100
	Qty/m ²	99.6	100	100	100	100
	m ² /kg	5.94	5.96	9.94	9.94	9.94
CTS Slab Thickness		149	150	152	155	159

Nota: Unità di formato: mm Peso: kg Materiale: SUS304

il pannello con lamiere dello spessore di 1mm ha un peso di circa 16 kg/mq

2- Verifica a pressoflessione

La verifica a pressoflessione di un pannello verticale può essere eseguita considerando il solo contributo delle lamiere ipotizzando che siano solidali e non si abbiano problemi di instabilità del singolo lamierino. Utilizzando il metodo alle tensioni ammissibili con comportamento dell'acciaio elastico lineare

$$\sigma_1 = P/A + M/W; \quad \sigma_2 = P/A - M/W;$$

$$A = 2 \cdot 200 \cdot t; \quad W = 2 \cdot t \cdot 200^2 / 6$$

il pannello ha dimensioni 200x300 cm, t è lo spessore le lamine sono due

la verifica consiste nel confronto $\sigma_1 \leq f_{yd}/\gamma$

P sforzo normale

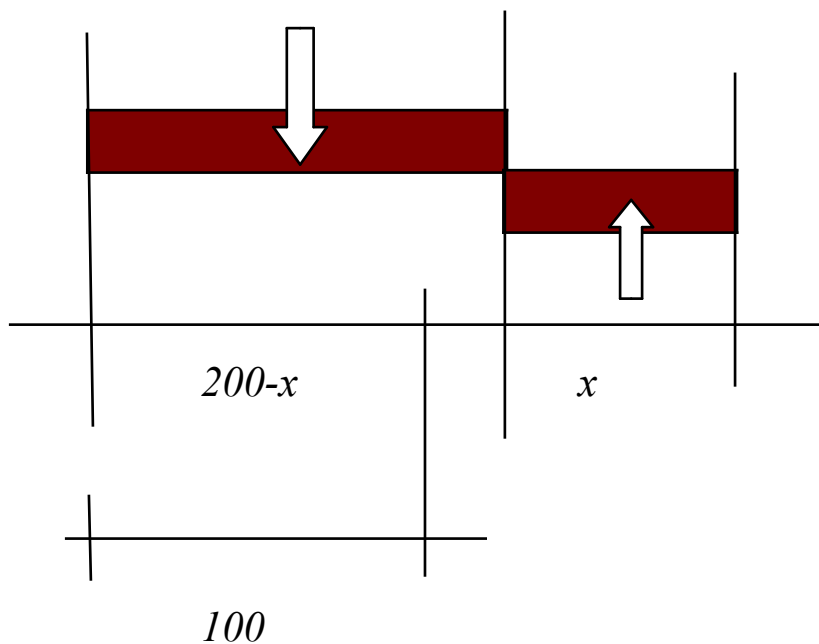
M momento flettente

Se utilizziamo il metodo di verifica allo stato limite Plastico con diagramma delle tensioni rettangolare dalle due equazioni di equilibrio

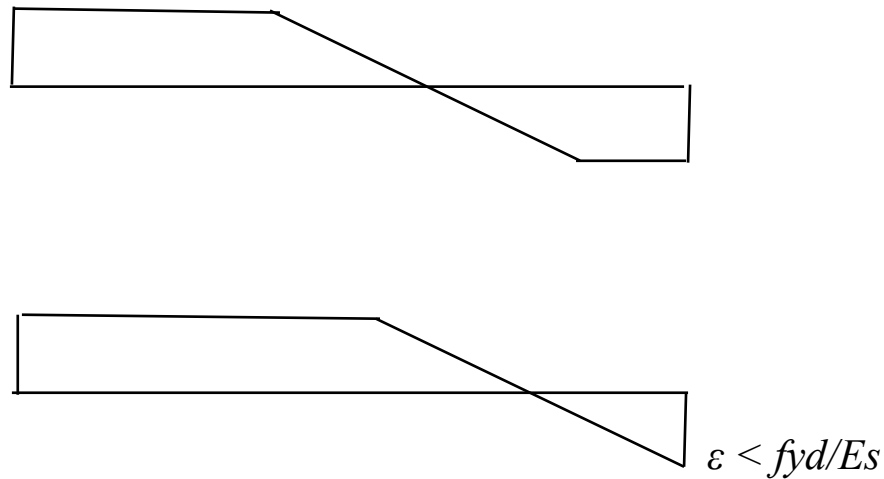
$$P = f_{yd} \cdot t \cdot x - f_{yd} \cdot t \cdot (200 - x)$$

$$x = (P + f_{yd} \cdot t \cdot 200) / (f_{yd} \cdot t)$$

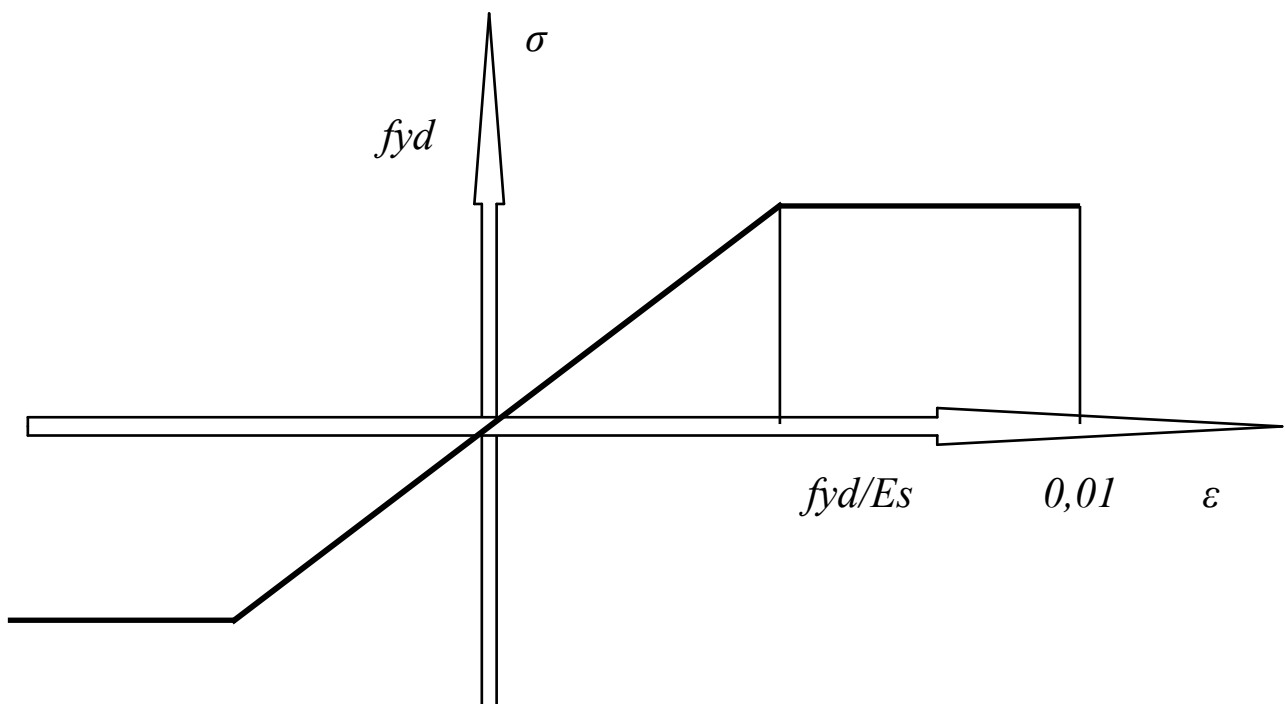
$$M_{rd} = f_{yd} \cdot t \cdot (200 - x) \cdot [(200 - x)/2 - (100 - x)] + f_{yd} \cdot t \cdot x \cdot [100 - (100 - x)/2]$$



Se consideriamo l'effettivo comportamento dell'acciaio bilineare e simmetrico a trazione e compressione, il diagramma delle tensioni è indicato in figura



dal principio di conservazione delle sezioni piane il diagramma delle deformazioni è lineare si ipotizza che in corrispondenza del lembo compresso si attinga la max deformazione nell'acciaio pari a 0,01



dall'equilibrio alla traslazione secondo l'asse ortogonale alla sezione del pannello

$$0,01/(200-x) = (f_{yd}/E_s)/d ; \quad d_1 = (200-x) * (f_{yd}/E_s)/0,01;$$

$$\varepsilon_s = X/(200-x) * 0,01 > f_{yd}/E_s \quad d_2 = x * (f_{yd}/E_s) / \varepsilon_s ;$$

$$P = f_{yd} * (200-x) * 2t - f_{yd} * d_1 * 2t/2 - f_{yd} * 2t * x + f_{yd} * 2t * d_2/2$$

nota la X è possibile ricavare il momento ultimo della sezione

$$M_{rd} = f_{yd} * (200-x)^2 * t - f_{yd} * 2/3 * d_1^2 * t + f_{yd} * t * x^2 - f_{yd} * t * 2/3 * d_2^2$$

la verifica del pannello consiste nel confronto tra M_{sd} ed M_{rd} .

3-Verifica di instabilità per compressione nel piano ortogonale

Il pannello lo consideriamo incernierato agli estremi con un comportamento monodimensionale e non bidimensionale : la verifica è relativa alla sua globalità quindi con una inerzia

$$I = 2 * t * 200 * 7,5^2 = 22500 * t \quad \text{con } t \text{ espresso in cm}$$

la norma italiana sulle costruzioni in acciaio

$$N_{cr} = \pi^2 * E_s * I / (L_o)^2$$

E_s modulo elastico acciaio

I momento di inerzia

L_o lunghezza libera di inflessione 300 cm per pannello incernierato agli estremi

$$\lambda = [A * f_{yk} / N_{cr}]^{1/2}$$

$$\chi = 1 / [\Phi + (\Phi - \lambda^2)^{1/2}] ; \quad \Phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad \alpha \text{ fattore di imperfezione}$$

La verifica di instabilità consiste nel confronto tra

$$P_{sd} > P_{rd} = \chi * (2 * t * 2000) * f_{yd} / \gamma_{M1}$$

$$\text{Acciaio S235 } f_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

t espresso in mm

4- Verifica a taglio

La verifica a taglio è molto semplice infatti si considera una distribuzione delle tensioni tangenziali parabolica

$$\tau = V/I * S_x/b \text{ per sezioni rettangolari} \quad \tau = 1,5 * V / (2 * t * 200)$$

la verifica consiste nel confronto tra la tensione tangenziale sull'asse neutro e quella ammissibile nella ipotesi di comportamento elastico lineare .

*Nella ipotesi di comportamento elasto-plastico la max tensione tangenziale è fornita dalla formula $\tau = 1,5 * V / (2 * t * b)$*

$$b = d_1 + d_2 \quad \text{visti nel paragrafo precedente}$$

$$d_1 = (200 - x) * (f_{yd} / E_s) / 0,01;$$

$$d_2 = x * (f_{yd} / E_s) / \varepsilon_s ;$$

5- Verifica a pressoflessione e taglio

Si utilizza il criterio di resistenza fornito dalla normativa

$$\sigma^2 + 3 * \tau^2 \leq (f_{yd} / \gamma)^2 \quad *)$$

*la verifica è immediata in un calcolo alle tensioni ammissibili
in un calcolo allo Stato Limite Ultimo la *) può assumere la forma*

$$[\sigma / (f_{yd} / \gamma)]^2 + [\sqrt{3} * \tau / (f_{yd} / \gamma)]^2 \leq 1$$

in una verifica a flessione e taglio

$$(M_{sd} / M_{rd})^2 + (3 * V_{rd} / V_{sd})^2 \leq 1$$

in una verifica a pressoflessione e taglio

$$(P_{sd} / P_{rd})^2 + (M_{sd} / M_{rd})^2 + (3 * V_{rd} / V_{sd})^2 \leq 1$$

6- Rigidezza flessionale e tagliante : pannello equivalente

La rigidezza di un pannello considerato come una mensola incastrato alla base

$$\delta = F \cdot L^3 / (3EI) + 6/5 \cdot F \cdot L / (GA)$$

$$K = F/\delta = 1/[L^3/(3EI) + 6/5 \cdot L/(GA)]$$

$$L = 300 \text{ cm}$$

$$E_s = 2100000 ; G = E/[2 \cdot (1 + 1/m)]$$

$$A = t \cdot 400$$

$$I = 2 \cdot t \cdot 200^3 / 12$$

per la modellazione FEM consideriamo un pannello equivalente avente una uguale rigidezza di spessore 15 cm e parametri meccanici equivalenti

$$E_{eq} \cdot I_{eq} = E_s \cdot I ; \quad E_{eq} = E_s \cdot I / I_{eq} \quad I_{eq} = 15 \cdot 200^3 / 12 ;$$

$$G_{eq} \cdot A_{eq} = G_s \cdot A ; \quad G_{eq} = G_s \cdot A / A_{eq}$$

per un pannello avente uno spessore $t = 2 \text{ mm}$ ed un coefficiente di Poisson 0,3

$$E_{eq} = 56000 \text{ daN/cm}^2$$

$$G_{xs} = 807692 \quad G_{eq} = 21538 \text{ daN/cm}^2$$

$$n = E_s / E_{eq} = 37,5 \approx 38$$

Il pannello equivalente è un pannello ortotropo poichè va considerata anche la rigidezza nel piano ortogonale

$$E_{eq} \cdot I_{eq} = E_s \cdot I ; \quad E_{eq} = E_s \cdot I / I_{eq} \quad I_{eq} = 15 \cdot 200^3 / 12 ;$$

$$G_{eq} \cdot A_{eq} = G_s \cdot A ; \quad G_{eq} = G_s \cdot A / A_{eq}$$

$$I = 200 \cdot t \cdot 7,5^2 = 2812 \text{ cm}^4 \quad I_{eq} = 200 \cdot 15^3 / 12 = 56250$$

$$E_{y_{eq}} = 105000 \text{ daN/cm}^2$$

$$G_s = 807692 \quad G_{y_{eq}} = 21538 \text{ daN/cm}^2 \quad \nu = 0,6$$

la densità equivalente o peso specifico

il peso di un pannello lamina spessore 2,5 mm 237 kg

$$\rho = 263 \text{ kg/m}^3 \quad 39,5 \text{ kg/m}^2$$

$$n = 10 \quad E_s / E_{y_{eq}} \approx 10$$

$$E_x = 56000 \text{ daN/cm}^2 ; E_y = 105000 \text{ daN/cm}^2 ;$$

$$G_{xz} = 21538 \text{ daN/cm}^2 ; G_{yz} = 21538 \text{ daN/cm}^2 ; G_{xy} = 21538 \text{ daN/cm}^2$$

7-Pannelli di solaio : deformabilità

Se il pannello lo consideriamo disposto orizzontalmente, per un solaio le verifiche da eseguire sono a flessione a taglio ed una verifica di deformabilità; tenendo presente la progettazione modulare le luci tipiche di solai BCORE sono dell'ordine di 4- 6 metri . Le verifiche da eseguire considerandio il contributo della lamiera plasticizzata

$$M_{rd} > M_{sd} \quad \text{con} \quad M_{rd} = t \cdot 200 \cdot f_{yd} / \gamma \cdot 15$$
$$T_{rd} > T_{sd} \quad \text{con} \quad T_{rd} = 2 \cdot t \cdot 200 \cdot 1/\sqrt{3} \cdot f_{yd} / \gamma$$

la verifica di deformabilità

$$f = 5/384 \cdot Q \cdot L^4 / (E_s \cdot I) < L/250$$

$$I = 2 \cdot t \cdot 200 \cdot 7,5^2 = 22500 \cdot t$$

analisi dei carichi copertura piana con tetto giardino

peso proprio	40 daN/mq
impermeabilizzazione	40 daN/mq
Terreno 15 cm	$1800 \cdot 0,15 = 270$ daN/mq
Carico da neve	158 daN/mq

$$1,5 \cdot Q = 760 \text{ daN/mq}$$

pannello luce 4 m t = 1 mm

$$M_{sd} = 1520 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

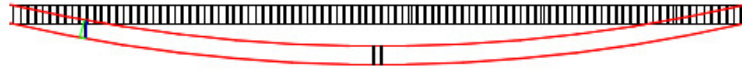
$$T_{sd} = 1520 \text{ daN}$$

$$M_{rd} = 6408 \text{ daN} \cdot \text{m} \quad \text{il pannello è largo 2 m} \quad M_{sd} = 3040 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

$$T_{rd} = 49337 \text{ daN} > 1520 \text{ daN}$$

$$f = 5/384 \cdot 5 \cdot 400^4 / (2100000 \cdot 2250) = 0,35 \text{ cm} < 400/300 = 1,33 \text{ cm}$$

8- Influenza sulla resistenza e rigidezza dei CORE



In conseguenza della deformata del pannello i tubicini verticali subiscono un allungamento funzione della curvatura che può essere valutato con una teoria al secondo ordine che impedisce lo scorrimento relativo tra le lamine e le solidarizza in modo che l'inerzia del pannello sia quello con centrifugazione delle masse a 7,5 cm . Se consideriamo una trave appoggiata appoggiata caricata uniformemente la funzione rotazione

$\varphi(z) = \int M(z)/EI dz$, l'allungamento che subisce il core

$\Delta H = H*[1 - \cos \varphi(z)]$ utilizzando gli sviluppi in serie di Mac Laurin

arrestandoci ai termini del secondo ordine

$$\Delta H = H * \varphi(z)^2 / 2$$

i tubicini più sollecitati sono quelli di estremità mentre in mezzeria il tubo non subisce alcun allungamento ; Si possono valutare gli sforzi normali in ciascun tubo e quindi dimensionarne lo spessore partendo dalla funzione momento flettente

$$M(z) = Q * L / 2 * z - Q * z^2 / 2$$

$$\varphi(z) = [Q * L / 4 * z^2 - Q * z^3 / 6] / EI + C$$

$$Z = L / 2 \quad \varphi(z) = 0 \quad C = Q * L^3 / (24EI)$$

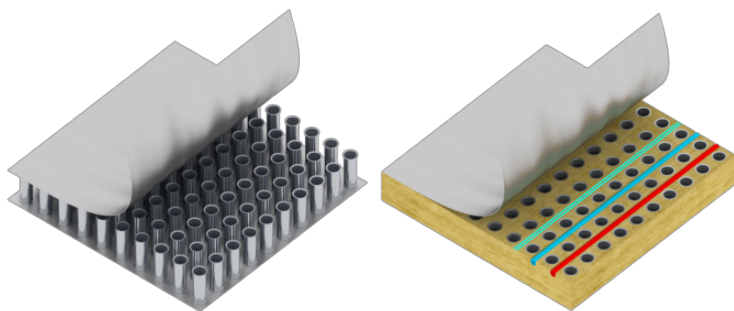
$$\varphi(z) = [Q * L / 4 * z^2 - Q * z^3 / 6] / EI + Q * L^3 / (24EI)$$

$$N = EA * \Delta H / H = EA * \varphi(z)^2 / 2$$

è noto in ogni tubicino il valore dello sforzo normale di trazione ; il core più sollecitato è in corrispondenza degli appoggi

$$N = EA / 2 * [Q * L^3 / (24EI)]^2$$

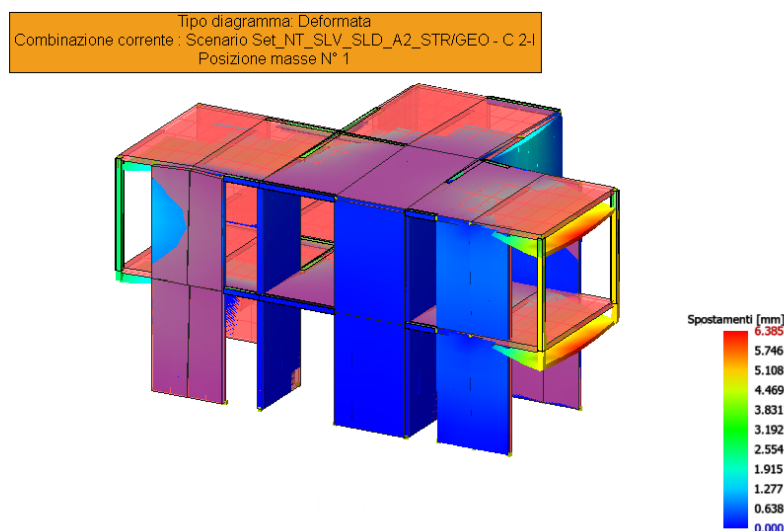
Nel calcolo della inerzia tenendo presente la forma del pannello si può introdurre anche quella dei tubicini $I = 2*n*b*h^3/12$



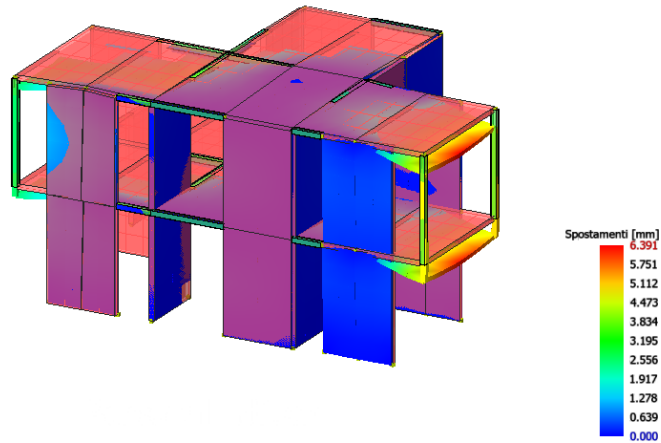
il pannello avrebbe un comportamento a inerzia variabile ; per semplicità consideriamo una inerzia ridotta quale le due sole lamine di acciaio inferiore e superiore solidarizzate dai tubicini.

9- Modellazione FEM

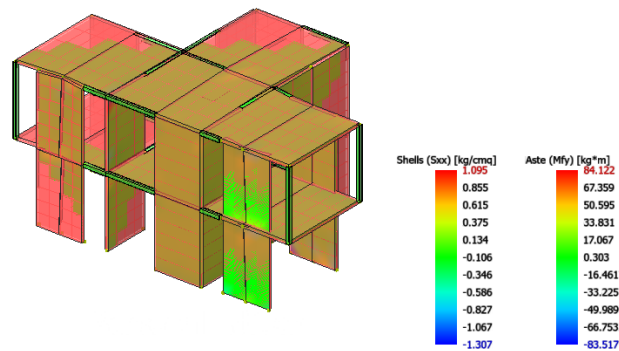
Per la modellazione si utilizza il software **FEM IPERSPACE MAX PERSONAL EDITION** e si considera un container nel comune di Castel di Sangro sollecitato da azioni sismiche verticali ed orizzontali e da azioni del vento fondato su un basamento di calcestruzzo armato destinato ad abitazione residenziale. La modellazione dei pannelli è con elementi PLATE-SHELL di dimensioni 200x 300 cm discretizzati 4 x6 con pannellini quadrati ;Sono state valutate le deformazioni e le relative sollecitazioni in ciascuno elementino rettangolare come riportato nelle figure seguenti. Le travi di collegamento o architravi sono in acciaio con profili quadri cavi 150x150 mm e sono incernierate agli estremi in modo da non trasmettere alcuna sollecitazione flettente ai pannelli.



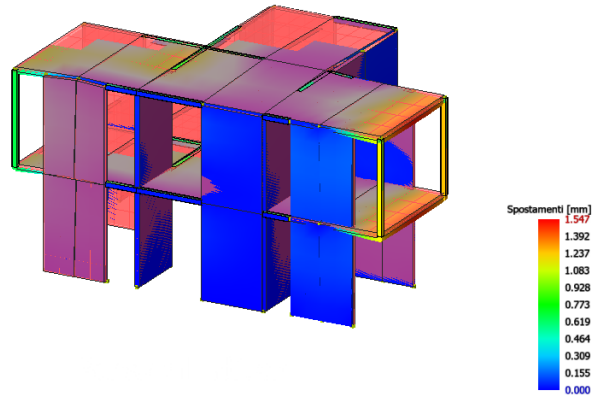
Tipo diagramma: Deformata
 Combinazione corrente : Scenario Set_NT_SLV_SLD_A2_STR/GEO - C 6-I
 Posizione masse N° 1



Tipo diagramma: Sollecitazioni
 Combinazione corrente : Scenario Set_NT_SLV_SLD_A2_STR/GEO - C 1-I
 Posizione masse N° 1
 Sollecitazione aste: Momento fl.Y - pilastri/pali: Momento fl.Y
 Sollecitazione Muri: Sxx



Tipo diagramma: Deformata
 Combinazione corrente : Scenario Set_NT_SLV_SLD_A2_STR/GEO - C 1-I
 Posizione masse N° 1



Il materiale è stato modellato come materiale ortotropo con i seguenti valori delle caratteristiche meccaniche

$E_x = 56000 \text{ daN/cm}^2$; $E_y = 105000 \text{ daN/cm}^2$

$G_{xy} = G_{xz} = G_{yz} = 21538 \text{ daN/cm}^2$ $\nu_{xy} = 0,3$

peso specifico 270 kg/m^3

*In figura il valore max per la sollecitazione S_{xx} è pari a 1 kg/cm^2 ; per uno sforzo di 1500 kg che ripartito nelle due lamine $1500 / (2 * 0,25 * 100) = 30 \text{ kg/cm}^2$*

tensione in ciascuna lamina

10-Collegamenti tra i pannelli ed inserimento di profili metallici

La tecnologia BCORE prevede che i pannelli siano collegati tra di loro attraverso dei punti di saldatura , in modo che possano essere facilmente assemblati e smontati molto rapidamente in funzione della qualità e quantità delle saldature. La progettazione modulare per la presenza di porte e finestre poichè nel pannello le tecniche di costruzione non consentono la realizzazione di aperture impone la realizzazione di architravi in acciaio che hanno la esclusiva funzione di portare i solai. Queste architravi possono essere realizzate con profili quadri in acciaio cavi delle dimensioni

*150x150x3 mm $J = 653,57\text{cm}^4$; peso 14 kg/ml ; area $17,64\text{cm}^2$ $W = 84,74\text{ cm}^3$
per un acciaio S235 $f_{yd} = 2350 / 1,10 = 2136\text{ kg/cm}^2$*

$M_{rd} = 1810\text{ daN}\cdot\text{m}$

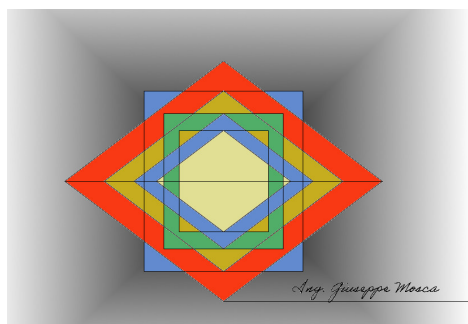
Deve essere eseguita su queste architravi una verifica di deformabilità

$$f = 5/384 * Q * L^4 / (EI) < L/300$$

Verifica dei pannelli in EPS armato

- *Materiali*
- *Verifica alle tensioni ammissibili*
- *Verifica del pannello SLU*
- *Verifica norme ACI*
- *Deformabilità e rigidezza dei pannelli*
- *Azione dinamica del vento sul pannello*
- *Pannelli di solaio orizzontali*
- *Conclusioni*

Ing. Giuseppe Mosca



Materiali

I pannelli in EPS armato sono dei pannelli in polistirene espanso nei quali è inserita una doppia rete metallica a passo ravvicinato di circa 5 cm con diametro del tondino di 3 mm ; il polistirene ha un comportamento elastoplastico incrudente si presenta come un materiale omogeneo ed isotropo il diagramma tensione deformazione è bilatero ad elasticità lineare fino al valore della deformazione pari al 2,5%.

I parametri meccanici sono i seguenti:

Polistirene espanso

Resistenza a compressione 4 daN/cm²

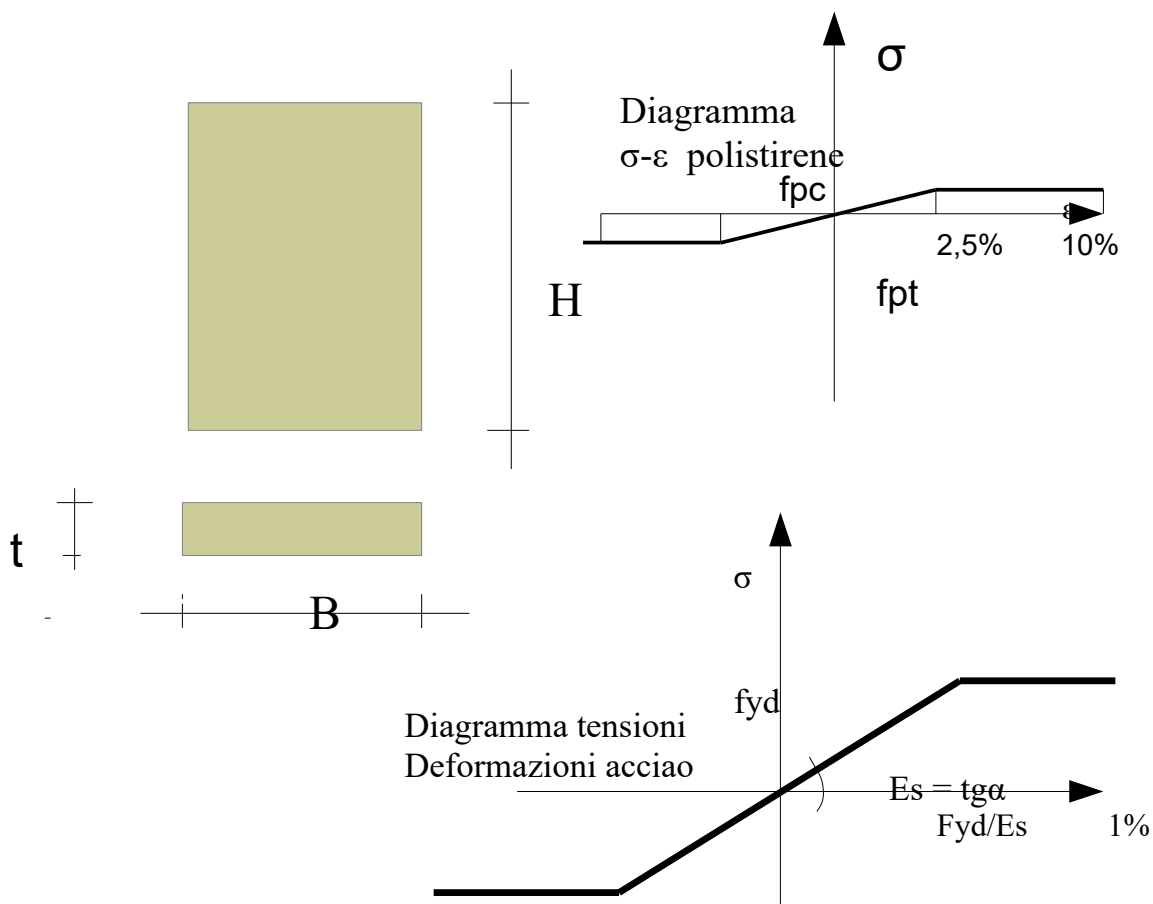
Resistenza a trazione 6,28 daN/cm²

Resistenza a taglio 3,09 daN/cm²

Modulo elastico normale 18 Mpa = 180 daN/cm²

Modulo elastico tangenziale 1460 daN/cm²

Allungamento a rottura 10%



Acciaio

$f_{yd} = 3910 \text{ daN/cm}^2$

$E_s = 2.100.000 \text{ daN/cm}^2$

Allungamento a rottura 1%

Verifica alle tensioni ammissibili

Il pannello è simmetrico ed è armato simmetricamente si ipotizza che vi sia perfetta aderenza tra rete di acciaio e polistirene e sia valido il principio di conservazione delle sezioni piane. Le norme ACI nel valutare la resistenza dei pannelli prescindono dal polistirene considerando solo il contributo della armatura metallica. Nel calcolo proposto si omogeneizza il materiale con coefficiente di omogeneizzazione

$$n = E_s/E_p = 10000$$

L'area omogenea del pannello

$$A = t*b + n* \Sigma A_{si} \quad \text{dove ,}$$

t spessore del pannello

b lunghezza del pannello

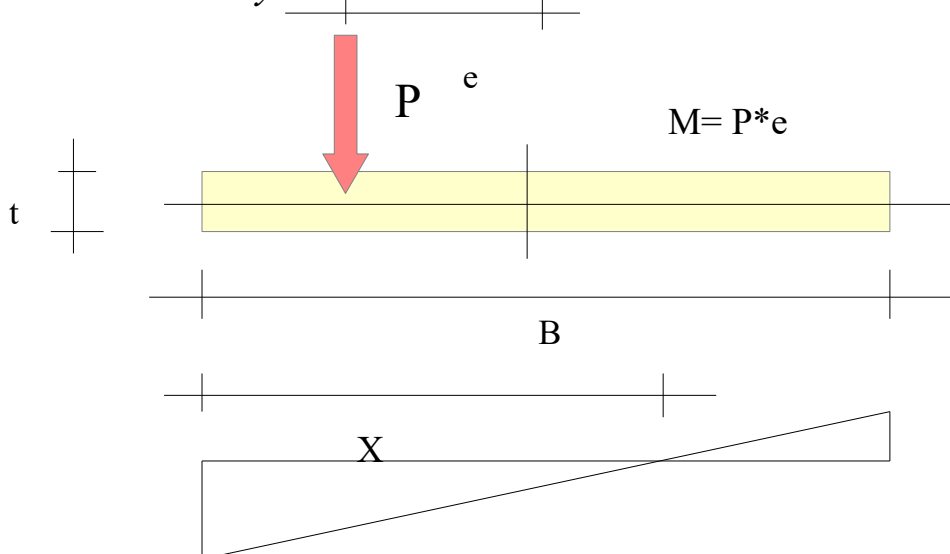
A_{si} area tondino rete metallica

Il momento di inerzia rispetto al baricentro della sezione

$$I = t*b^3/12 + + n* \Sigma a_{si}*d_i^2$$

é chiaro che la crisi si raggiunge per max deformazione tensione nell'acciaio

$$\sigma = P/A + M/I*y$$



$$M_{rd} = 2 * I / b * (f_{yd} / n - P / A)$$

La forza orizzontale che sopporta il pannello per flessione

$$M_{rd} = V_{rd} * H / 2$$

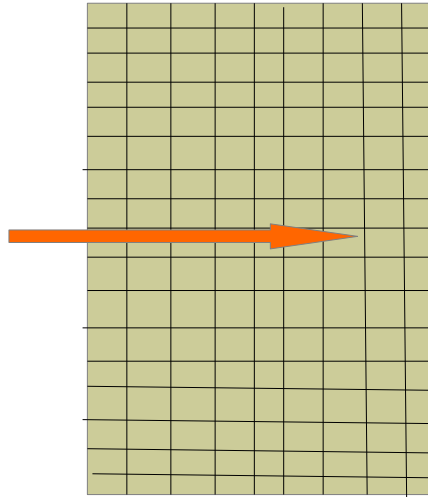
$$V_{rd} = 4 * I / (b * H) * (f_{yd} / n - P / A)$$

La verifica a taglio considerando il contributo della doppia rete metallica

$$V_{rd} = V_{rd1} + V_{rd2}$$

$$V_{rd1} = \tau_p * A / 1,5 : \quad V_{rd2} = f_{yd} / \sqrt{3} * \sum A_{si}$$

si considerano solo le armature verticali .

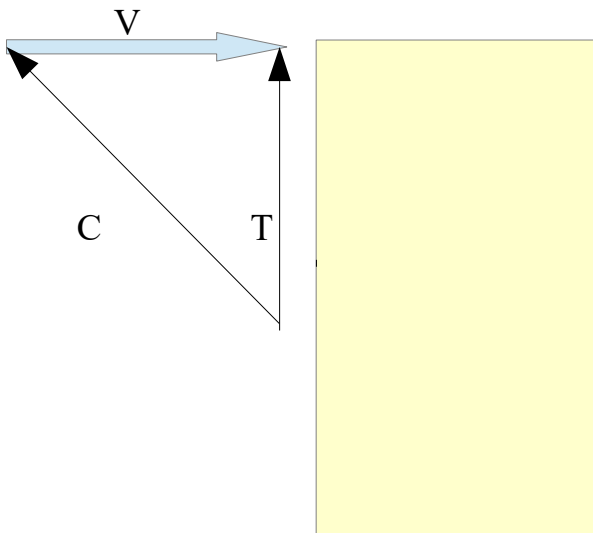
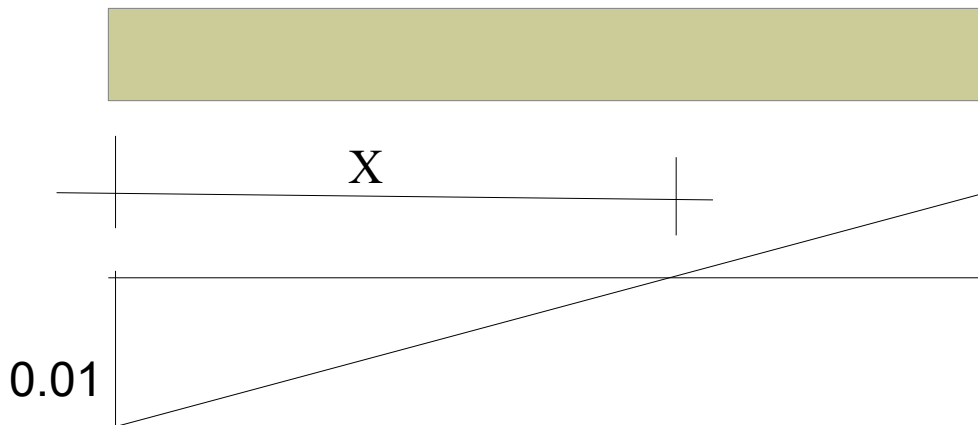


Verifica allo stato limite ultimo

Il polistirene espanso ha una elevata duttilità ovvero un allungamento a rottura molto grande pari al 10% . è chiaro quindi che la rottura del pannello si attinge per superamento della deformazione nell'acciaio pari al 1 %.

La rete metallica la consideriamo distribuita sui due lati del pannello , la posizione dell'asse neutro $as = m * As / b$

m numero tondini



$$P = \varepsilon_{pc} * E_p * t * X / 2 - \varepsilon_{pt} * E_p * t * (B - X) / 2 +$$

$$f_{yd} * 2 * a_s * d_1 + f_{yd} * a_s * (X - d_1) - f_{yd} * 2 * a_s * d_2 + f_{yd} * a_s * (B - X - d_2)$$

la rottura si attinge per compressione nell'acciaio il pannello è pressoinflesso , la deformazione al lembo compreso è pario a 0,01

$$\varepsilon_{pt} = 0,01 * (B - X) / X$$

l'equazione è di secondo grado nell'incognita X e può essere agevolmente determinata.

Il momento resistente viene calcolato rispetto al baricentro geometrico della sezione che coincide con quello della sezione omogeneizzata .

$$M_{rd} = \epsilon_{pc} * E_p * t * X * (B/4 * X/3) + \epsilon_{pt} * E_p * t * (B-X) * (X/2 - B/4 +$$

$$f_{yd} * 2 * a_s * d_1 * (B/2 - d_1/2) + f_{yd} * a_s * (X - d_1) * 2/3 * (B/2 - X - d_1)$$

$$f_{yd} * 2 * a_s * d_2 * (B/2 - d_2/2) + f_{yd} * a_s * (B - X - d_2) * (X - B/2 + d_2)$$

La verifica a taglio viene eseguita individuando nel pannello un meccanismo resistente costituito da un puntone diagonale è armatura tesa

$$C = V * \cos \alpha ; T = V * \tan \alpha \quad \text{con } \tan \alpha = H / B$$

$$C = 0,40 * t * d * f_{pc} \quad d^2 = B^2 + H^2$$

$$V_{rd} = 0,40 * t * d * f_{pc} / \cos \alpha \quad f_{pc} \text{ resistenza a compressione polistirene}$$

$$V_{rd} = A_{sv} * f_{yd} / \tan \alpha$$

VERIFICA NORME ACI

Verifica a pressoflessione

Il calcolo viene eseguito utilizzando la formula della pressoflessione con il modulo di resistenza plastico $W_{pl} = B^2/4$

$$\sigma = P/(A_s) + M/I * y \quad \text{con} \quad M = (f_{yd} - P/A_s) * I/y$$

$$M = 2 * [1 - P/(f_{yd} * A_s)] * A_s * B^2 / (4B) =$$

$$= 0,5 * A_s * B * [1 - P/(f_{yd} * A_s)]$$

per tener conto dello snervamento dell'acciaio ovvero della parte inclinata del diagramma delle tensioni si moltiplica per il termine $(1 - c/B)$

$$M_{rd} = 0,5 * A_s * B * [1 - P/(f_{yd} * A_s)] * (1 - c/B)$$

Verifica a taglio

Il taglio assorbito del polistirene

$$V_{rd1} = 0,53 * f_c * (0,8 * t * b)$$

la sollecitazione assorbita dalla barre di acciaio

$$V_{rd2} = A_{sv} * f_{yd} * 0,8 * b/p$$

p passo tra le barre verticali

$$V_{rd} = V_{rd1} + V_{rd2}$$

Deformabilità dei pannelli

Per il pannello si può individuare un modulo elastico equivalente restando valido il principio di conservazione del sezioni piane ipotizzando che EPS ed armatura abbiano la medesima curvatura

$$M/EI = M_s/E_s I_s = M_p/(EI)_p$$

$$M = M_s + M_p \quad ;$$

$$M_s = M * (E_s I_s) / (EI) \quad ; \quad M_p = M * (E_p * I_p) / (EI)$$

$$M = M * (E_s I_s) / (EI) + M * (E_p * I_p) / (EI)$$

$$E_{eq} = [(E_s * I_s) + (E_p * I_p)] / I$$

nei calcoli statici per tener conto del contributo dell'armatura alla rigidezza si considera un modulo elastico equivalente.

Lo spostamento alla sommità di un pannello

$$\Delta = V_{rd} * H^3 / (3 * E_{eq} * I) \quad (a)$$

$$V_{rd} = M_{rd} / H \quad \text{con} \quad M_{rd} = 2 * f_{yd} * I / (n * B)$$

$$I = t * B^3 / 12 + a_s * B^2 / 6$$

$a_s = A_s / B$ area distribuita

il momento di inerzia da considerare nella formula a) $I = t * B^3 / 12$

per un pannello 120x16x280 armato con ferri del diametro 3 mm $A_s = 7 \text{ mm}^2$ disposti ogni 5 cm

$$I = 2304000 + 8064 = 2312064 \text{ cm}^4$$

$$E_{eq} = 7500 \text{ daN/cm}^2$$

$$M_{rd} = 5405 \text{ daN} * \text{m} \quad V_{rd} = 1930 \text{ daN}$$

$$\Delta = V_{rd} * H^3 / (3 * E_{eq} * I) = 0,81 \text{ cm} < 0,005 * H = 1,4 \text{ cm}$$

per pannello sollecitato con una forza di circa 1930 daN

Azione dinamica del vento sul pannello

Consideriamo un pannello di massa M non vincolato alla base e sollecitato da un azione statica costante del vento; l'equazione del moto

$F - m \cdot Y'' = 0$ l'accelerazione $Y'' = F/M$ il moto per forza costante è uniformemente accelerato

$$Y(t) = F/M \cdot t^2/2 ,$$

si evince che quanto più bassa è la massa del pannello maggiore sarà la sua accelerazione e spostamento. Se il pannello è vincolato alla base con un incastro interviene la sua rigidità

$M \cdot Y'' + K \cdot Y = F$ avendo indicato con Y lo spostamento in testa al pannello

$$Y'' + K/M \cdot Y = F/M$$

La soluzione della equazione $Y = F/K \cdot [1 - \cos \omega t]$,

il moto è armonico con accelerazione max pari a $F/M \cdot \cos(\omega t)$, le forze sul pannello sono sinusoidali e variabili istante per istante , la normativa considera un valore statico medio pari ad F ,

$F_0 = F \cdot (1 - \cos \omega t)$, tenendo presente che in media un pannello sopporta una forza orizzontale di 1500 daN e che in abitazioni di 100 mq vi sono circa 60 pannelli è chiaro che sia in termini di spostamenti che di rigidità le azioni del vento sono agevolmente contrastate. La resistenza alle azioni del vento per questa tipologia di edifici dipende dall'ancoraggio in fondazione dalla sua duttilità e resistenza.

Verifica di un pannello di solaio

Consideriamo un solaio di luce 4,20 m realizzato con un pannello di larghezza 120 cm armato con doppia rete metallica acciaio in barre diametro 3 mm ogni 5 cm ;

analisi dei carichi :

- peso proprio del pannello 15 daN/mq
- massetto 50 daN/mq
- pavimento 30 daN /mq
- incidenza tramezzi 40 daN/mq

sovraccarico 240 daN/mq

Carico 375 daN/mq

coefficiente parziale 1,50 carico 560 daN/ml

$$M = 1234 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

$$V = 1260 \text{ daN}$$

calcolo del momento resistente del pannello



area di ferro un tondino da 3 mm ogni 5 cm $A_s = 170 \text{ mm}^2$

la rottura avviene per attingimento della max deformazione nell'acciaio teso e compresso

$$C = T = 170 \cdot 391 + 100 \cdot 1200 \cdot 0,01 \cdot 18/2 = 66503 \text{ N} = 6650 \text{ daN}$$

$$M = 170 \cdot 391 \cdot 180 + 100 \cdot 1200 \cdot 0,01 \cdot 18 \cdot 100/3 = 12684600 \text{ N}\cdot\text{mm} =$$

$$= 1268 \text{ daN}\cdot\text{m} > 1234 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

Verifica a taglio

la tensione tangenziale del solo polistirene espanso

$$\tau = 1,5 * 1260 / (20 * 120) = 0,78 \text{ daN/cm}^2$$

la resistenza a taglio del polistirene $309000 \text{ Pa} = 3 \text{ daN/cm}^2$

ampiamente verificata

Verifica di deformabilità

momento di inerzia

$$I = 120 * 20^3 / 12 + 2 * 1,70 * E_s / E_p * 9^2 = 3293000 \text{ cm}^4$$

controfreccia u_o

$$\text{freccia carico permanente } u_1 \quad Q = 1,35 \text{ daN/cm} \quad f = 0,92 \text{ cm}$$

$$\text{freccia carico accidentale } u_2 \quad Q = 2,40 \text{ daN/cm} \quad f = 1,63 \text{ cm}$$

$$f = 5/384 * Q * 420^4 / (180 * 3293000)$$

$$\text{la freccia dovuta ai soli carichi permanenti } f < L/200 = 2,10 \text{ cm}$$

$$\text{la freccia istantanea dovuta ai carichi variabili } f \leq L/250 = 1,68 \text{ cm}$$

la freccia totale con una controfreccia per il pannello di 1,5 cm

$$f = 0,92 + 1,63 - 1,50 = 1,05 \text{ cm}$$

$$f = 1,05 < 420/300 = 1,40 \text{ cm}$$

Verifica allo stato limite di oscillazione

Determinazione del periodo fondamentale di oscillazione per trave app. app con massa distribuita .

$$M = 375 \text{ kg/m}$$

$$\omega = (2*\pi/L) * [EI/m]^{1/2} = (2*3,14/420) * [180*3293000*/375]^{1/2} =$$
$$= 18,80 \quad f = 18,80/(2*\pi) = 3\text{Hz} < 6 \text{ Hz}$$

è opportuno utilizzare un pannello con modulo elastico 280 daN/cm² armato con fili di ferro di 4 mm ed $I = 3725000$

$$\omega = 24,94 \quad f = 24,94/(2*\pi) = 4\text{Hz} < 6 \text{ Hz}$$

la frequenza deve essere maggiore di 6 HZ

utilizzando una rete metallica con tondino di 6 mm

$$I = 8317700 \quad \omega = 37,28 \quad f = 37,28/(2*\pi) \approx 6 \text{ Hz}$$

Le vibrazioni e oscillazioni riguardano edifici multipiano utilizzare i solai di interpiano senza problematiche di oscillazione dei solai che renderebbero le strutture inutilizzabili ; per costruzioni ad un piano il problema della vibrazione non si pone assolutamente.

Per limitare le vibrazioni è opportuno utilizzare dei pannelli con modulo elastico più elevato dei pannelli più rigidi.

La realizzazione di un massetto per l'alloggiamento degli impianti a pavimento consente di avere dei pannelli di solai più rigidi e di conseguenza con frequenze più alte senza cambiare il diametro dei tondini metallici.

Conclusioni

Il polistirene espanso sinterizzato è un buon materiale la sua peculiarità è la ridotta massa dei pannelli che minimizza le azioni sismiche essendo delle forze di inerzia ; integrato con l'armatura metallica ha delle buone prestazioni in termini di resistenza e deformabilità ma dovrebbe avere valori del modulo elastico normale e tangenziale e della resistenza meccanica leggermente più elevati in modo che le strutture abbiano una maggiore rigidezza soprattutto per i pannelli di solaio. Per questa tipologia di edifici non sollecitati sismicamente non è richiesta duttilità , le azioni dinamiche sono quelle del vento che per modeste altezze si traducono in azioni statiche , inoltre la fragilità dipende dalle unioni dalle tecniche di realizzazione dei giunti.

Le case passive e gli edifici NZEB

1- Introduzione

2- La trasmittanza termica dei componenti opachi

3- La trasmittanza termica dei componenti trasparenti

4- I ponti termici

5- Le serre bioclimatiche , gli apporti solari e i ricambi d'aria

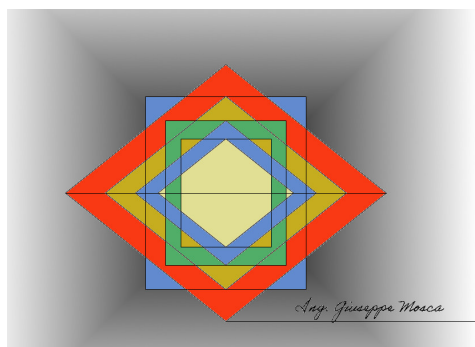
6- Gli ombreggiamenti

7- Le fonti di energia rinnovabile

8- La normativa italiana

9- Il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio

10- Conclusioni



Ing. Giuseppe Mosca



N.B. Mi scuso a priori delle eventuali imprecisioni o errori , anzi gradirei che mi vengano segnalate e che possano essere apportate delle correzioni.

1- Introduzione

*Nella progettazione di un edificio per civile abitazione assume sempre maggiore importanza la progettazione termotecnica ovvero il calcolo delle dispersioni termiche e del fabbisogno energetico la cui classe energetica determina il prezzo della compravendita. La progettazione strutturale è fondamentale, garantire la sicurezza statica di un abitazione anche durante degli eventi calamitosi come i terremoti, dove il disagio abitativo quale il vivere in una tenda o in un abitazione di emergenza segnano la vita delle persone. La progettazione architettonica è altresì importante ovvero l'aspetto estetico l'integrazione dell'edificio nell'ambiente urbano e naturale **“la bellezza di una casa ”** che ad essa freudianamente viene associato il simbolo del genitale femminile di utero materno , al disegno dell'edificio è stata data sempre la maggiore importanza anche dal punto di vista economico relegando in secondo piano la progettazione strutturale e quella termotecnica. Il confort abitativo avere delle abitazioni ben riscaldate ed illuminate con acqua calda sanitaria senza incidere sui costi , è fondamentale ed è importante anche per la determinazione del valore dell'edificio. E' necessario operare una distinzione tra case passive **“PASSIV HOUSE”** ed edifici ad energia zero **“EDIFICI NZEB”** infatti nelle case passive si tendono a minimizzare le dispersioni termiche e a riscaldare la casa mediante gli apporti solari e con serre bioclimatiche , mentre negli edifici ad energia zero si utilizzano fonti rinnovabili di energia quali impianti fotovoltaici micropale eoliche con le quali si fa fronte al fabbisogno energetico dell'edificio . La casa passiva e l'edificio NZEB hanno una loro caratteristica intrinseca che è quella della connotazione ambientale ovvero un edificio che va oltre la regolamentazione sul risparmio energetico non danneggia l'ambiente; basti pensare all'impianto fotovoltaico , infatti se consideriamo un ambiente naturale lo troviamo tanto più degradato quanto maggiore è l'assenza de sole ovvero la bellezza della natura di un paesaggio è strettamente connessa alla illuminazione naturale e quindi alla luce del sole. Oggi è pensiero comune affermare che l'edilizia genera del danno ambientale ovvero qualsiasi trasformazione dell'ambiente naturale danneggia il territorio; questa ideologia va sfatata poiché lo scopo principale delle nuove costruzioni è quello di migliorare l'ambiente urbano creare dei nuovi legami socioculturali tra le popolazioni e migliorare sia la qualità urbana che la qualità della vita. Alla stessa stregua si può parlare di qualità ambientale ovvero una trasformazione edilizia deve migliorare l'ambiente che molto spesso è in degrado naturale; gli stessi piani urbanistici nel definire le zone edificabili devono individuare quelle porzioni di territorio in degrado naturale e lì consentire l'edificazione in modo che la trasformazione edilizia abbia come obiettivo il miglioramento dell'ambiente naturale. Anzi è d'obbligo per i piani regolatori nell'ambito del territorio comunale individuare delle zone naturali da destinare a rimboschimento con la coltivazione di nuove piante e delle oasi naturali ovvero delle zone del territorio di pregio ambientale dove le trasformazioni edilizie devono avvenire in sintonia con la natura utilizzando dei materiali appropriati quali legno laterizio ect ed avere come obiettivo il miglioramento naturale , basti pensare a delle stalle o degli ovili ad energia zero. Lo scopo di questi appunti è personale ovvero avere dei riferimenti chiari per la progettazione di edifici ad energia zero o case passive.*

2- La trasmittanza termica dei componenti opachi

L'Italia è suddivisa in zone climatiche ed il ministero dell'ambiente ogni tre anni emana un decreto dove definisce i valori limite della trasmittanza termica che devono avere i componenti opachi pareti, pavimenti coperture ed i componenti trasparenti quali gli infissi. Il mio comune di residenza Castel di Sangro è situato in zona climatica E

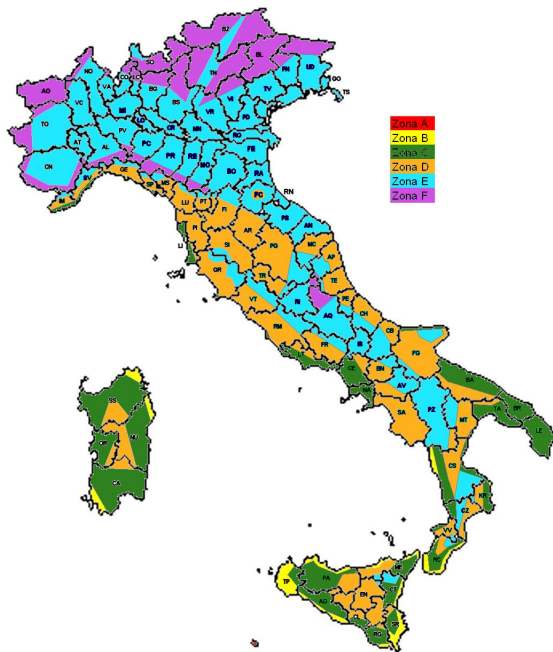


TABELLA 1 (Appendice A) Trasmittanza termica U di riferimento delle **strutture opache verticali**, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra

Zona climatica	U _{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 2 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di **copertura**, verso l'esterno e ambienti non riscaldati

Zona climatica	U _{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

TABELLA 3 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di **pavimento**, verso l'esterno, ambienti non riscaldati o controterra

Zona climatica	U _{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

TABELLA 4 (Appendice A) Trasmittanza termica U **chiusure tecniche trasparenti** e opache e cassonetti, con gli infissi, verso l'esterno e ambienti non risc.

Zona climatica	U _{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

TABELLA 5 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di **separazione tra edifici o unità** immobiliari confinanti

Zona climatica	U _{ref} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,8	0,8

TABELLA 6 (Appendice A) **Fattore di trasmissione solare** totale g_{gl+sh} per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud

Zona climatica	g _{gl+sh} [-]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
Tutte	0,35	0,35

Per un componente opaco verticale quale una parete il valore limite della trasmittanza è $U = 0,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Ottenere questo valore della trasmittanza con i materiali soliti per l'edilizia quali legno, laterizio, calcestruzzo non è semplice poiché bisogna utilizzare degli spessori di isolante termico eccessivo pari a circa 10 cm, ed inoltre le maggiori dispersioni attraverso l'involucro edilizio si verificano negli infissi nei componenti finestrati che hanno un valore più grande della trasmittanza ma dove il calore si disperde in virtù dei ricambi d'aria. Esaminiamo una usuale tamponatura esterna costituita dai seguenti materiali

Parete 1

Intonaco esterno 1,5 cm

Fodera esterna 12 cm

Intercapedine con isolante 10 cm

Fodera interna 8 cm

Intonaco interna 1,5 cm

Spessore totale 33 cm

Parete 2 con cappotto termico esterno per i ponti termici

Rivestimento esterno 1,5 cm

Isolante termico 4 cm

Fodera esterna 12 cm

Intercapedine con isolante 10 cm

Fodera interna 8 cm

Intonaco interna 1,5 cm

La formula per il calcolo della trasmittanza termica è la seguente

$$U = 1 / [R_{si} + \sum S_i / \lambda_i + R_{se} + R_a + R_n]$$

R_{si} resistenza laminare interna

R_{se} resistenza laminare esterna

S_i spessore strato omogeneo

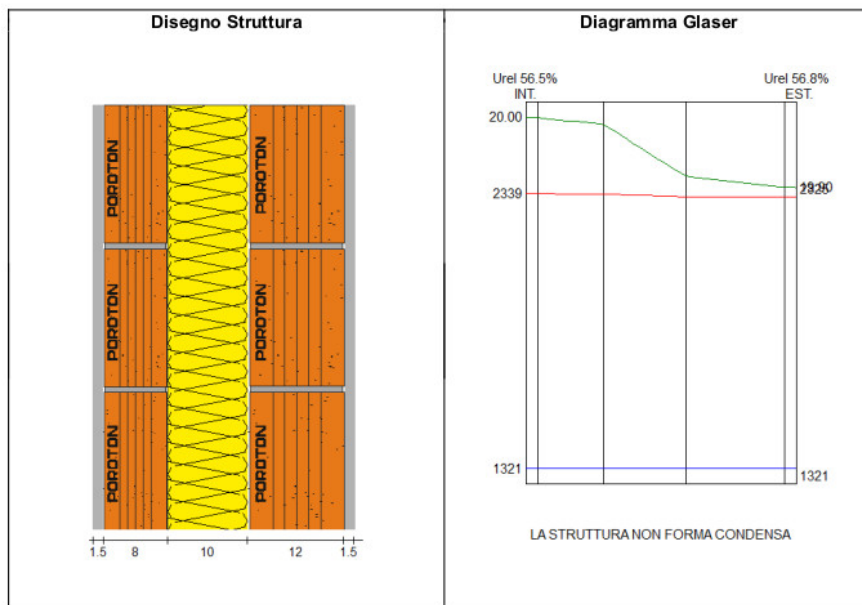
λ_i conduttività materiale

R_a resistenza intercapedine con aria

Resistenza superficiale $\text{m}^2\text{K/W}$	Direzione del flusso termico		
	ascendente	orizzontale	discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Parete 1

Struttura: Doppia parete in tramezze POROTON® e isolante in interc.



Resist. Superf. Interna [Rsi] (m²K/W): 0.13 - Resist. Superf. Esterna [Rse] (m²K/W): 0.13

Tipo materiale (descrizione)	Cond. (W/mK)	C. Spec. (J/kgK)	Massa Vol. (kg/m³)	δ·10 ⁻¹² (kg/msPa)	Spess. (cm)
Intonaco di calce e gesso	0.700	1000	1400.0	19.30000	1.50
Tramezza POROTON® spessore 8 cm	0.200	1000	800.0	19.30000	8.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	10.00
Tramezza POROTON® spessore 12 cm	0.200	1000	800.0	19.30000	12.00
Intonaco di calce e gesso	0.700	1000	1400.0	19.30000	1.50
Spessore Totale Struttura (cm)					33.00

VALORI IN REGIME STAZIONARIO		
Massa totale [Mtot]	209.0	kg/m²
Massa superficiale [Ms]	188.0	kg/m²
Resistenza termica totale [Rtot]	4.160	m²K/W
Conduttanza [C]	0.256	W/m²K
Trasmittanza [U]	0.240	W/m²K
Capacità termica areica [Cta]	209.210	kJ/m²K

VALORI IN REGIME VARIABILE (periodo 24 ore)		
Fattore di attenuazione [fa]	0.201	adim.
Sfasamento [S]	12.93	ore
Trasmittanza termica periodica [Yie]	0.048	W/m²K

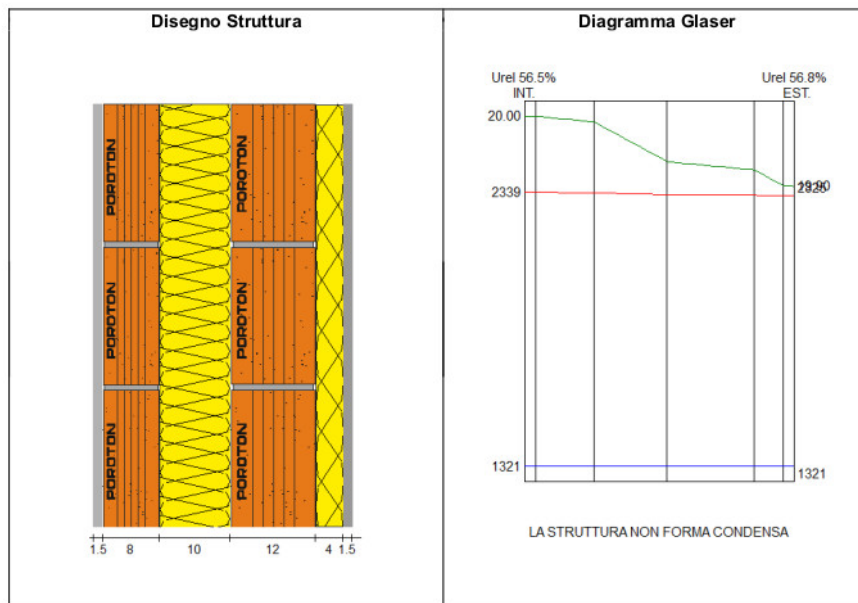
VERIFICA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE				
Condizioni diagramma (Loc.: L'Aquila)	Te(°C): 19.90	Pve(Pa): 1321	Ti(°C): 20.00	Pvi(Pa): 1321
Condensa totale accumulata nell'anno	0	g/m²		
Condensa totale evaporata nell'anno	0	g/m²		
Esito verifica:	LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA			

VERIFICA RISCHIO MUFFA				
Località: L'Aquila	Mese critico	fRsi,lim	fRsi struttura	T muffa (°C)
	—	0.000	0.969	0.0
Esito verifica:	NESSUN RISCHIO MUFFA			

$$U = 0,240 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$$

Parete 2 con cappotto termico esterno 4 cm

Struttura: Doppia parete in tramezze POROTON® e isolante in interc.



Resist. Superf. Interna [Rsi] (m²K/W): 0.13 - Resist. Superf. Esterna [Rse] (m²K/W): 0.13

Tipo materiale (descrizione)	Cond. (W/mK)	C. Spec. (J/kgK)	Massa Vol. (kg/m³)	δ·10 ⁻¹² (kg/msPa)	Spess. (cm)
Intonaco di calce e gesso	0.700	1000	1400.0	19.30000	1.50
Tramezza POROTON® spessore 8 cm	0.200	1000	800.0	19.30000	8.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	10.00
Tramezza POROTON® spessore 12 cm	0.200	1000	800.0	19.30000	12.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	4.00
Intonaco di calce e gesso	0.700	1000	1400.0	19.30000	1.50
Spessore Totale Struttura (cm)					37.00

VALORI IN REGIME STAZIONARIO			
Massa totale [Mtot]	211.8	kg/m²	
Massa superficiale [Ms]	190.8	kg/m²	
Resistenza termica totale [Rtot]	5.303	m²K/W	
Conduttanza [C]	0.198	W/m²K	
Trasmittanza [U]	0.189	W/m²K	
Capacità termica areica [Cta]	212.094	kJ/m²K	

VALORI IN REGIME VARIABILE (periodo 24 ore)			
Fattore di attenuazione [fa]	0.068	adim.	
Sfasamento [S]	14.87	ore	
Trasmittanza termica periodica [Yie]	0.013	W/m²K	

VERIFICA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE				
Condizioni diagramma (Loc.: L'Aquila)	Te(°C): 19.90	Pve(Pa): 1321	Ti(°C): 20.00	Pvi(Pa): 1321
Condensa totale accumulata nell'anno	0	g/m²		
Condensa totale evaporata nell'anno	0	g/m²		
Esito verifica:	LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA			

VERIFICA RISCHIO MUFFA				
Località: L'Aquila	Mese critico	fRsi,lim	fRsi struttura	T muffa (°C)
	—	0.000	0.975	0.0
Esito verifica:	NESSUN RISCHIO MUFFA			

$$U = 0,189 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$$

Consideriamo altre due tipologie di pareti in muratura armata e in legno con cappotto termico esterno

Parete in muratura

Intonaco interno 1,5 cm

Parte di laterizio 30 cm

Isolante termico esterno 8 cm

Rivestimento esterno 1,5 cm

Spessore totale 41 cm

Parete in legno 1

Rivestimento interno 1 cm

Isolante termico interno 3 cm

Pannello X-LAM; 15 cm

Isolante 6 cm

Rivestimento in legno 1 cm

Spessore complessivo 26 cm

Si realizza un cappotto termico interno per consentire il passaggio delle canalizzazioni per gli impianti termici ed elettrici che altrimenti dovrebbero essere in vista sul pannello X-LAM. Consideriamo delle strutture opache orizzontali quali un solaio di pavimento su piano cantinato realizzato in cemento armato, ed un solaio intermedio confinante con una zona non riscaldata quale il sottotetto della nostra abitazione

Solaio di pavimento

Intonaco 1 cm

Solaio in cls Travetti e laterizi 18 cm

Isolante termico 6 cm

Sottofondo cls alleggerito 5

Membrana anticalpestio 0,50 cm

Isolante termico 4 cm

Massetto 4 cm

Pavimento 1,5 cm

Spessore 46 cm

Solaio intermedio misto legno-cls

Travi di legno 15 cm (non le consideriamo per il calcolo della trasmittanza)

Tavolato in legno 3 cm

Soletta cls 5 cm

Isolante termico 9 cm

Massetto argilla espansa 5 cm

Isolante termico 5

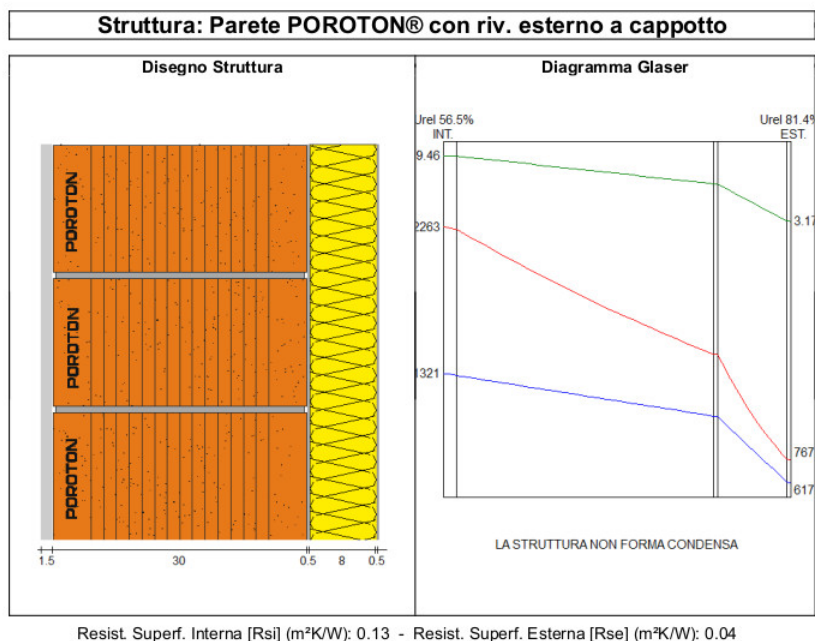
massetto per impianto 5 cm

pavimento 1 cm

Spessore 48 cm

Di seguito si riportano il calcolo della trasmittanza con la verifica termoigrometrica delle pareti e si vede che sono conformi ai valori definiti nelle tabelle.

Parete in muratura armata



Tipo materiale (descrizione)	Cond. (W/mK)	C. Spec. (J/kgK)	Massa Vol. (kg/m³)	$\delta \cdot 10^{-12}$ (kg/msPa)	Spess. (cm)
Intonaco interno	0.530	1000	1500.0	18.00000	1.50
Muratura POROTON® serie P800	0.180	1000	920.0	19.30000	30.00
Rasatura	0.530	1000	1500.0	18.00000	0.50
Rivestimento a cappotto (EPS 80)	0.036	1450	15.0	3.20000	8.00
Intonaco esterno e finitura	0.530	1000	1500.0	10.00000	0.50
Spessore Totale Struttura (cm)					40.50

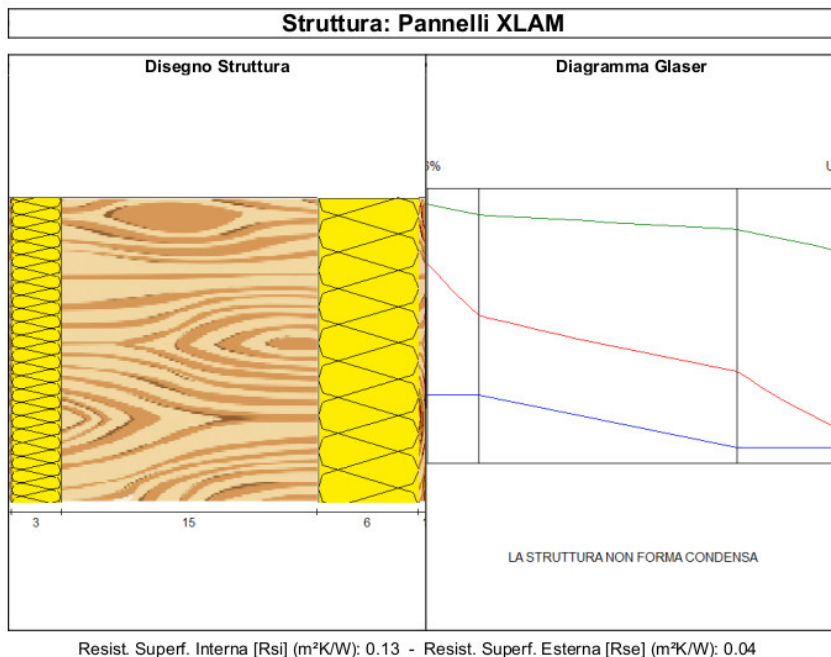
VALORI IN REGIME STAZIONARIO		
Massa totale [Mtot]	314.7	kg/m²
Massa superficiale [Ms]	292.2	kg/m²
Resistenza termica totale [Rtot]	4.106	m²K/W
Conduttanza [C]	0.254	W/m²K
Trasmittanza [U]	0.244	W/m²K
Capacità termica areica [Cta]	315.240	kJ/m²K

VALORI IN REGIME VARIABILE (periodo 24 ore)		
Fattore di attenuazione [fa]	0.033	adim.
Sfasamento [S]	17.65	ore
Trasmittanza termica periodica [Yie]	0.008	W/m²K

VERIFICA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE				
Condizioni diagramma (Loc.: L'Aquila)	Te(°C): 3.00	Pve(Pa): 617	Ti(°C): 20.00	Pvi(Pa): 1321
Condensa totale accumulata nell'anno	0	g/m²		
Condensa totale evaporata nell'anno	0	g/m²		
Esito verifica:	LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA			

VERIFICA RISCHIO MUFFA				
Località: L'Aquila	Mese critico Dicembre	fRsi,lim 0.686	fRsi struttura 0.968	T muffa (°C) 14.6
Esito verifica:	NESSUN RISCHIO MUFFA			

Trasmittanza termica $U = 0,244 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K} < 0,26 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$
Parete in legno XLAM



Tipo materiale (descrizione)	Cond. (W/mK)	C. Spec. (J/kgK)	Massa Vol. (kg/m³)	δ·10 ⁻¹² (kg/msPa)	Spess. (cm)
Legno (Pino)	0.130	1600	500.0	3.90000	1.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	3.00
Pannelli XLAM	0.130	1600	500.0	1.00000	15.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	6.00
Legno (Pino)	0.130	1600	500.0	3.90000	1.00
Spessore Totale Struttura (cm)					26.00

VALORI IN REGIME STAZIONARIO		
Massa totale [Mtot]	91.3	kg/m²
Massa superficiale [Ms]	91.3	kg/m²
Resistenza termica totale [Rtot]	4.049	m²K/W
Conduttanza [C]	0.258	W/m²K
Trasmittanza [U]	0.247	W/m²K
Capacità termica areica [Cta]	142.489	kJ/m²K

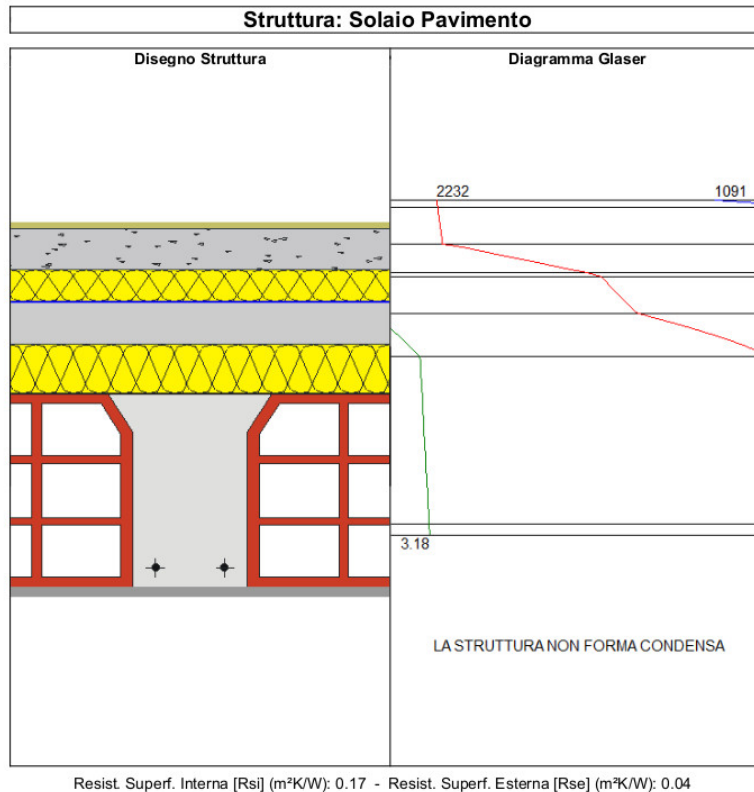
VALORI IN REGIME VARIABILE (periodo 24 ore)		
Fattore di attenuazione [fa]	0.105	adim.
Sfasamento [S]	11.51	ore
Trasmittanza termica periodica [Yie]	0.026	W/m²K

VERIFICA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE				
Condizioni diagramma (Loc.: L'Aquila)	Te(°C): 3.00	Pve(Pa): 617	Ti(°C): 20.00	Pvi(Pa): 1091
Condensa totale accumulata nell'anno	0	g/m²		
Condensa totale evaporata nell'anno	0	g/m²		
Esito verifica:	LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA			

VERIFICA RISCHIO MUFFA				
Località: L'Aquila	Mese critico Novembre	fRsi,lim 0.516	fRsi struttura 0.968	T muffa (°C) 14.1
Esito verifica:	NESSUN RISCHIO MUFFA			

Trasmittanza termica $U = 0,247 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K} < 0,26 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$

Solaio di pavimento



Tipo materiale (descrizione)	Cond. (W/mK)	C. Spec. (J/kgK)	Massa Vol. (kg/m³)	δ·10 ⁻¹² (kg/msPa)	Spess. (cm)
Piastrelle in ceramica/porcellana	1.300	840	2300.0	0.00001	1.00
Massetto CLS (Impianto radiante)	1.650	1000	2200.0	2.75000	5.00
Isolante per impianto radiante	0.036	1450	20.0	3.20000	4.00
Membrana anticalpestio	0.040	1000	40.0	0.09650	0.50
Sottofondo in CLS Alleggerito	0.150	1000	600.0	9.65000	5.00
XPS a celle chiuse spess. <= 120 mm	0.036	1450	30.0	1.30000	6.00
Solaio Latero-cemento (18+5)	0.710	1000	1100.0	19.30000	23.00
Intonaco	0.820	1000	1800.0	19.30000	1.50
Spessore Totale Struttura (cm)					46.00

VALORI IN REGIME STAZIONARIO			
Massa totale [Mtot]	445.8	kg/m²	
Massa superficiale [Ms]	418.8	kg/m²	
Resistenza termica totale [Rtot]	3.826	m²K/W	
Conduttanza [C]	0.277	W/m²K	
Trasmittanza [U]	0.261	W/m²K	
Capacità termica areica [Cta]	443.290	kJ/m²K	

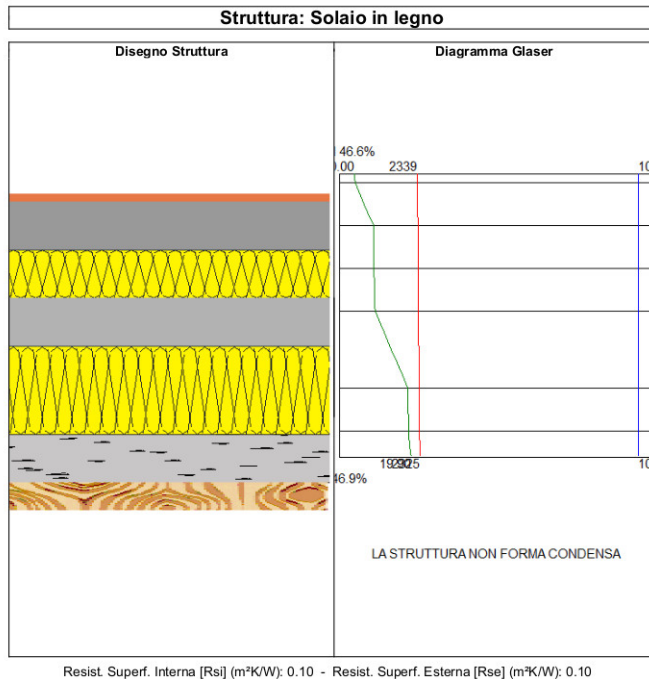
VALORI IN REGIME VARIABILE (periodo 24 ore)		
Fattore di attenuazione [fa]	0.070	adim.
Sfasamento [S]	16.46	ore
Trasmittanza termica periodica [Yie]	0.018	W/m²K

VERIFICA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE				
Condizioni diagramma (Loc.: L'Aquila)	Te(°C): 3.00	Pve(Pa): 617	Ti(°C): 20.00	Pvi(Pa): 1091
Condensa totale accumulata nell'anno	0	g/m²		
Condensa totale evaporata nell'anno	0	g/m²		
Esito verifica:	LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA			

VERIFICA RISCHIO MUFFA				
Località: L'Aquila	Mese critico Novembre	fRsi,lim 0.516	fRsi struttura 0.956	T muffa (°C) 14.1
Esito verifica:	NESSUN RISCHIO MUFFA			

Trasmittanza termica $U = 0,261 \text{ W /mq}^{\circ}\text{K} \approx 0,26 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$

Solaio in legno intermedio verso ambienti non riscaldati



Tipo materiale (descrizione)	Cond. (W/mK)	C. Spec. (J/kgK)	Massa Vol. (kg/m³)	$\delta \cdot 10^{-12}$ (kg/msPa)	Spess. (cm)
Pavimento in gomma	0.170	1400	1200.0	0.01930	1.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	5.00
Massetto in malta di cemento per impianto a pavimento	1.400	1000	2000.0	9.65000	5.00
CLS di argilla espansa	0.540	1000	1400.0	24.00000	5.00
Pannello in lana di roccia, densità 70 kg/m³	0.035	1030	70.0	193.00000	9.00
Calcestruzzo armato (1% acciaio)	2.300	1000	2300.0	1.50000	5.00
Legno (Pino)	0.130	1600	500.0	3.90000	3.00
Spessore Totale Struttura (cm)					33.00

VALORI IN REGIME STAZIONARIO			
Massa totale [Mtot]	321.8	kg/m²	
Massa superficiale [Ms]	321.8	kg/m²	
Resistenza termica totale [Rtot]	4.640	m²K/W	
Conduttanza [C]	0.225	W/m²K	
Trasmittanza [U]	0.216	W/m²K	
Capacità termica areica [Cta]	335.894	kJ/m²K	

VALORI IN REGIME VARIABILE (periodo 24 ore)			
Fattore di attenuazione [fa]	0.025	adim.	
Sfasamento [S]	13.49	ore	
Trasmittanza termica periodica [Yie]	0.005	W/m²K	

VERIFICA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE				
Condizioni diagramma (Loc.: L'Aquila)	Te(°C): 19.90	Pve(Pa): 1091	Ti(°C): 20.00	Pvi(Pa): 1091
Condensa totale accumulata nell'anno	0	g/m²		
Condensa totale evaporata nell'anno	0	g/m²		
Esito verifica:	LA STRUTTURA NON FORMA CONDENSA			

VERIFICA RISCHIO MUFFA				
Località: L'Aquila	Mese critico	fRsi,lim	fRsi struttura	T muffa (°C)
	—	0.000	0.978	0.0
Esito verifica:	NESSUN RISCHIO MUFFA			

Trasmittanza termica $U = 0,216 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K} \approx 0,22 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$

3- La trasmittanza termica dei componenti trasparenti

I componenti trasparenti sono gli infissi per i quali la normativa tollera dei valori più elevati della trasmittanza termica in zona E pari a $U = 1,40 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$; per un soggiorno di 16 mq una stanza di lati 4mx4m con una sola parete esterna le cui superfici disperdenti sono la parte opaca 10 mq e la parte trasparente 2 mq per un salto termico di 20° le dispersioni termiche nel corso di una giornata 24 ore ammontano

$$Q = 0,26 * 10 * 20 = 52 \text{ W}$$

$$Q = 52 * 24 = 1,25 \text{ Kwh}$$

$$Q = 1,4 * 2 * 20 = 56 \text{ W}$$

$$Q = 56 * 24 = 1,34 \text{ kwh}$$

Temperatura interna 20°C

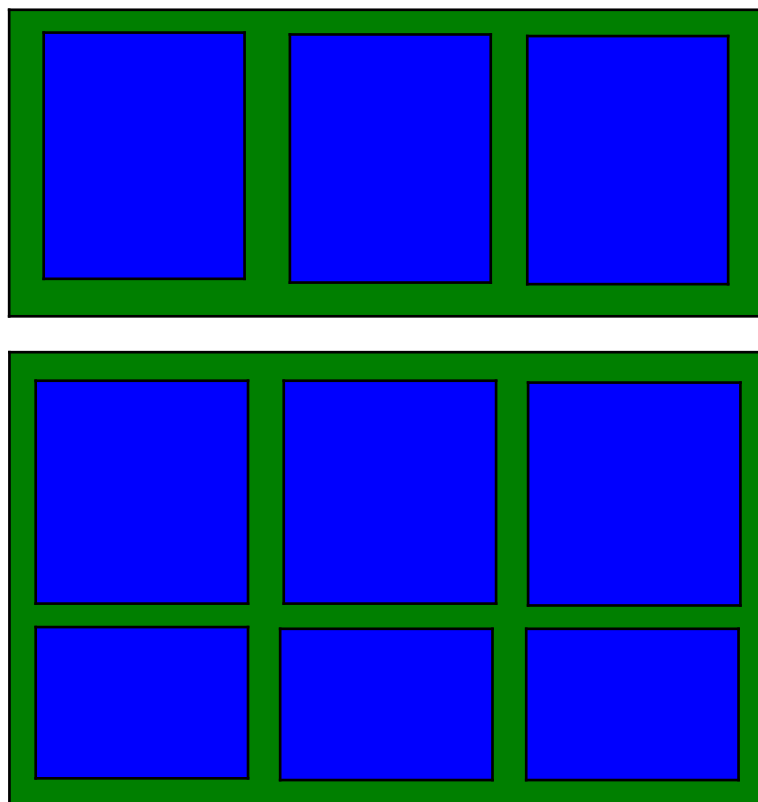
Temperatura esterna 0°C

La superficie finestrata al fine di garantire adeguate condizioni di illuminazione naturale nell'ambiente deve essere pari ad almeno 1/8 della superficie della stanza; si intuisce che le maggiori dispersioni si verificano quando si hanno delle ampie finestre per cui è necessario scendere ad un compromesso tra architettura aspetto estetico della casa sia interno che esterno e dispersioni termiche. Si può ovviare a tali problematiche soprattutto nei soggiorni pranzo con delle serre bioclimatiche esposte al sole dove l'apporto solare incrementa la temperatura interna.

Tramite un software eseguiamo il calcolo della trasmittanza termica degli infissi riportati in figura aventi rispettivamente dimensioni

180x140 cm

*180*210 cm*



*Per il primo infisso avente la seguente superficie $1,80 \cdot 1,40 = 2,52 \text{ mq}$
superficie del telaio pari al 20%*

L'infisso è realizzato in triplo vetro con argon $4+12+4+12+4$

Avvolgibili in plastica senza schiuma

Il telaio è in pvc con taglio termico i valori della trasmittanza sono i seguenti

Area del serramento	2,52 m ²
Area del telaio	0,50 m ²
Valore U del telaio	2,0 W / m ² K
Area del componente trasparente	2,02 m ²
Perimetro del componente trasparente	6,40 m
Valore U del componente trasparente	0,5 W / m ² K
Valore ψ del giunto componente trasparente/telaio	0,06 W / m K
Valore U serramento, U_W	1,0 W / m ² K
Permeabilità chiusura	Molto alta
Resistenza addizionale chiusura	0,08 W / m ² K
Valore U serramento con chiusura, U_{WS}	0,9 W / m ² K
Frazione della differenza cumulata di temperatura, f_{shut}	0,60
Valore U corretto, $U_{W, corr}$ secondo UNI/TS 11300-1:2008	0,91 W / m ² K

*Per il secondo infisso avente superficie $1,80 \cdot 2,10 = 3,78 \text{ mq}$
superficie del telaio pari al 20%*

L'infisso è realizzato in triplo vetro con argon $4+12+4+12+4$

Avvolgibili in plastica senza schiuma

Il telaio è in pvc con taglio termico i valori della trasmittanza sono i seguenti

Nome del serramento	Balco
Area del serramento	3,78 m ²
Area del telaio	0,76 m ²
Valore U del telaio	2,0 W / m ² K
Area del componente trasparente	3,02 m ²
Perimetro del componente trasparente	7,80 m
Valore U del componente trasparente	0,8 W / m ² K
Valore ψ del giunto componente trasparente/telaio	0,08 W / m K
Valore U serramento, U_W	1,2 W / m ² K
Permeabilità chiusura	Molto alta
Resistenza addizionale chiusura	0,08 W / m ² K
Valore U serramento con chiusura, U_{WS}	1,1 W / m ² K
Frazione della differenza cumulata di temperatura, f_{shut}	0,60
Valore U corretto, $U_{W, corr}$ secondo UNI/TS 11300-1:2008	1,14 W / m ² K

Per entrambe le tipologie di infisso il valore della trasmittanza $U < 1,4 \text{ W/mq}^{\circ K}$

4- I ponti termici

Con il termine ponte termico si definiscono i punti singolari dell'involucro edilizio, attraverso i quali si ha una dispersione di calore localizzata superiore a quella delle superfici adiacenti.

Genericamente i ponti termici sono dovuti a:

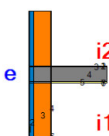
- variazioni della continuità del materiale costituente l'involucro edilizio;
- modifiche della geometria;
- elementi passanti di fissaggio;
- presenza di elementi strutturali o di raccordo.

In corrispondenza di questi punti singolari si rileva un incremento del flusso termico, associato a una distorsione delle linee di flusso e ad una modifica localizzata delle distribuzioni di temperatura. Tale modifica, caratterizzata da una riduzione della temperatura superficiale interna, e associata al rischio di formazione di condensazione superficiale che, protratta nel tempo, porta al degrado dei materiali di finitura e alla formazione di muffe e crescite biologiche.

Il calcolo dei ponti termici lo si esegue alle differenze finite ovvero si individua un ponte termico del nostro edificio si imposta un reticolo e tramite equazioni del tipo $Q = K \cdot S \cdot \Delta T$ conoscendo le condizioni al contorno quale temperatura interna ed esterna si determina la distribuzione complessiva delle temperature all'interno e quindi lo scambio termico complessivo dal quale si risale al coefficiente lineico. Si riportano di seguito il calcolo di alcuni ponti termici eseguito mediante il software AXTRO.

SOPREMA
S.p.A.

Ponte: Nuovo ponte



Descrizione ponte

Parete inferiore

Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,015
2 Isolante termico cappotto esterno	0,038	3	0,080
3 Muratura armata poroton	0,250	9	0,300
4 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,015

Parete superiore

Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,015
2 Isolante termico cappotto esterno	0,038	3	0,080
3 Muratura armata poroton	0,250	9	0,300
4 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,015

Solaio

Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1 Piastrelle pavimento	1,000	40	0,010
2 Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,270
3 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,015

Nodo

Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1,1 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,2 Isolante termico cappotto esterno	0,038	3	0,000
1,3 Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,000
1,4 Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,000
2,1 Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,000
2,2 Isolante termico cappotto esterno	0,038	3	0,000
2,3 Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,000

Calcoli eseguiti con il software AXTRO 4.2

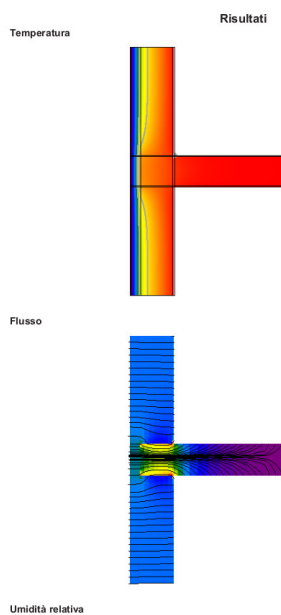
2

SOPREMA
S.p.A.

2,4	Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,000
3,1	Intonaco esterni di malta di cemento	1,400	34	0,000
3,2	Isolante termico cappotto esterno	0,038	3	0,000
3,3	Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,000
3,4	Calcestruzzo cordolo si solaio	1,400	34	0,000

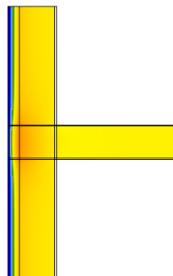
Condizioni al contorno

Temperatura esterna	2,1°C
Umidità relativa esterna	83%
Temperatura interna	20,0°C
Umidità relativa interna	57%



Calcoli eseguiti con il software AXTRO 4.2

4



Verifica del rischio di condensazione superficiale e di formazione di muffe

Temperatura superficiale minima di progetto	19,0°C	
Temperatura superficiale minima per non avere condensa	11,1°C	Verificato
Temperatura superficiale minima per non avere formazione di muffe	14,5°C	Verificato

Calcolo delle trasmittanze lineiche

Flusso totale	12,607 W
Coefficiente di accoppiamento	0,704 W/K
Trasmittanza lineica interna	0,132 W/m K
Trasmittanza lineica esterna	0,047 W/m K

Calcoli eseguiti con il software AXTRO 4.2

5

Questo ponte termico è relativo ad un solaio di interpiano di un edificio in muratura armata con cordolo ed interessa la fascia piena del solaio ; dal calcolo il trasmittanza termica lineica è pari a 0,132 W/m°K .

Di seguito si riporta un ponte termico relativo ad un pilastro d'angolo di un edificio in cemento armato con cappotto termico esterno



Progetto: Ponte termico tamponatura c.a. pilastro d'angolo

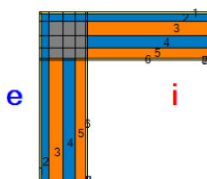
Committente: Giuseppe Mosca
 Indirizzo: Via XX Settembre 106
 Telefono: 3476784631
 E-mail: prof.ing.giuseppe.mosca@gmail.com
 Calcolo eseguito da: Ing. Giuseppe Mosca
 Commento:

Località: L'Aquila (AQ)

	Descrizione	Coefficiente lineico interno [W/m K]	Coefficiente lineico esterno [W/m K]	Rischio condensa	Rischio muffa
1	Nuovo ponte	0,200	0,050	✓	✓



Ponte: Nuovo ponte



Descrizione ponte

Parete inferiore

	Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,015
2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,060
3	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,120
4	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,100
5	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,080
6	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,015

Parete superiore

	Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,015
2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,060
3	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,120
4	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,100
5	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,080
6	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,015

Nodo

	Materiale	Conducibilità [W/m K]	Fattore di resistenza al vapore	Spessore [m]
1,1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,2	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,3	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,4	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,5	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,6	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
1,7	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
2,1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
2,2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
2,3	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
2,4	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000

2.6	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
2.6	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
2.7	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,040
3.1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
3.2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
3.3	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
3.4	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
3.5	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
3.6	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
3.7	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,120
4.1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
4.2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
4.3	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
4.4	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
4.5	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
4.6	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
4.7	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,100
5.1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
5.2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
5.3	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
5.4	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
5.5	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
5.6	Calcestruzzo pilastro	1,160	34	0,000
5.7	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,080
6.1	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
6.2	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
6.3	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,000
6.4	Pannello lana di roccia	0,038	3	0,000
6.5	Fodera interna ed esterna	0,250	9	0,000
6.6	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,000
6.7	Intonaco di malta di cemento	1,400	34	0,015

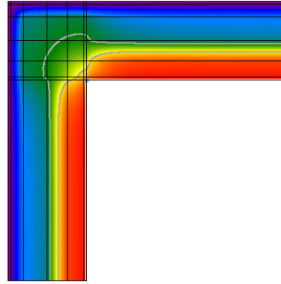
Condizioni al contorno
Temperatura esterna 2,6°C
Umidità relativa esterna 83%
Temperatura interna 20,0°C
Umidità relativa interna 57%

Calcoli eseguiti con il software AXTRO 4.2

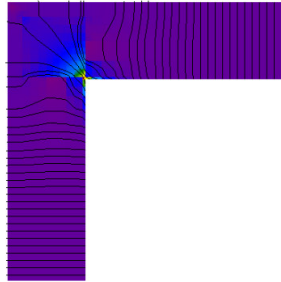
3

Risultati

Temperatura



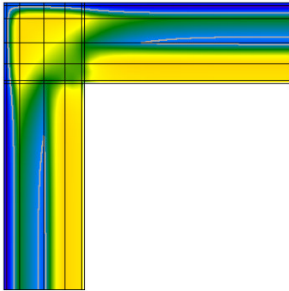
Flusso



Umidità relativa

Calcoli eseguiti con il software AXTRO 4.2

4



Verifica del rischio di condensazione superficiale e di formazione di muffe

Temperatura superficiale minima di progetto	16,7°C	
Temperatura superficiale minima per non avere condensa	11,2°C	Verificato
Temperatura superficiale minima per non avere formazione di muffe	14,6°C	Verificato

Calcolo delle trasmittanze lineiche

Flusso totale	10,154 W
Coefficiente di accoppiamento	0,584 W/K
Trasmittanza lineica interna	0,200 W/m K
Trasmittanza lineica esterna	0,050 W/m K

Calcoli eseguiti con il software AXTRO 4.2

5

5- Le serre bioclimatiche , gli apporti solari e i ricambi d'aria

Le maggiori dispersioni attraverso l'involucro edilizio avvengono con i ricambi d'aria , in effetti per un impianto di riscaldamento la cui accensione è regolata con termostato basta avere la finestra di una stanza aperta per qualche minuto che immediatamente l'impianto di riscaldamento si accende. Il calore disperso attraverso i ricambi d'aria viene quantificato attraverso la seguente formula:

$$Q = n * V * \rho * c * \Delta T / 3600 = 964 \text{ W}$$

n numero di ricambi d'aria in un ora pari a 0,5

V volume dell'abitazione appartamento 94 mq altezza 3 m $V = 282 \text{ mc}$

ρ densità aria 1,225 kg/mc

c calore specifico aria 1005 J/(kg*°K)

ΔT salto termico tra interno ed esterno = 20°

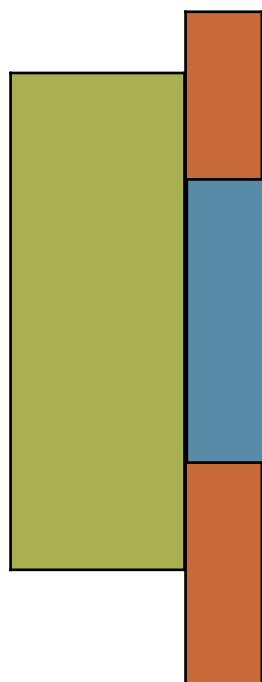
la dispersione in un ora è circa 1 KWh per cui se nell'arco di una giornata vi sono 10 ricambi d'aria si disperdono 10 kwh.

La dispersione è funzione del salto termico ovvero della differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno , per cui nel periodo estivo quando la temperatura esterna è maggiore di quella interna aprendo la finestra la nostra abitazione si riscalda. Per ridurre le dispersioni per ventilazione naturale ed attraverso i componenti finestrati si possono utilizzare dei bow window delle verande esposte al sole non ombreggiate nelle quali la temperatura è maggiore di quella esterna.

Temperatura interna T_i

Temperatura serra T_s

Temperatura esterna T_e



Per un balcone con veranda avente dimensioni 130x260 cm volume di aria pari a $V = 10,14 \text{ mc}$ possiamo valutare l'incremento di temperatura che si ha nella serra bioclimatica in tutti mesi dell'anno in conseguenza della esposizione alla radiazione solare nel mio comune di residenza Castel di Sangro

$$T_i = 20^\circ \quad T_e = 10^\circ$$

Mese	Rggmm su sup.norm.	Errore
Gennaio	3579.2 Wh/m2	
Febbraio	4308.0 Wh/m2	
Marzo	5216.7 Wh/m2	
Aprile	6393.8 Wh/m2	
Maggio	7358.3 Wh/m2	
Giugno	8121.6 Wh/m2	
Luglio	7991.7 Wh/m2	
Agosto	7001.8 Wh/m2	
Settembre	5760.4 Wh/m2	
Ottobre	4640.9 Wh/m2	
Novembre	3420.3 Wh/m2	
Dicembre	2974.9 Wh/m2	

Radiazione globale annua sulla superficie normale: 2034244 Wh/m2
(anno convenzionale di 365.25 giorni)

La capacità termica $C = Q/\Delta T$; $C = m \cdot c$

c calore specifico $1005 \text{ J/(kg}^\circ\text{K)}$

$$m = 1,225 \cdot V \quad C = 1,225 \cdot 10,14 \cdot 1005 = 12483$$

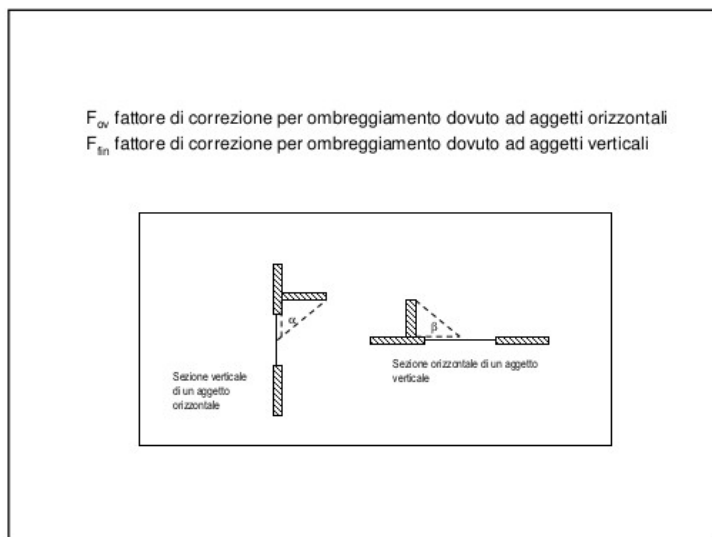
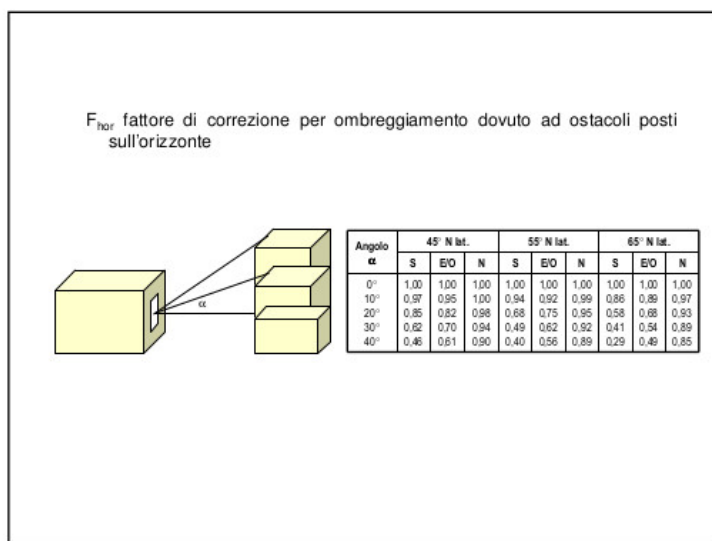
$$\Delta T = Q/C = 3579 \cdot 10 / 12483 = 2,8^\circ\text{C}$$

ovvero nel mese di gennaio considerando una superficie vetrata esposta al sole di circa 10 mq la temperatura all'interno della serra in un ora aumenta di circa $2,5^\circ$ cioè la temperatura della serra $T_s = 12,8^\circ\text{C}$. Il valore della temperatura dipende dalla esposizione ai raggi del sole e dalla temperatura esterna.

Nel mese di luglio per un a temperatura esterna di 25°C la temperatura della serra è pari a 31°C . Si intuisce quindi come i bow-windows vadano adeguatamente ventilati devono essere provvisti di aperture che nel periodo estivo raffrescano la nostra abitazione altrimenti si hanno ulteriori dispendi di energia per la ventilazione ovvero climatizzazione di ambienti surriscaldati.

6- Gli ombreggiamenti

In virtù degli aggetti orizzontali e della non regolarità in pianta del nostro edificio si generano delle zone d'ombra che riducono gli effetti della radiazione solare e quindi degli apporti solari. Si riportano di seguito i valori dei fattori di ombreggiamento in funzione dell'orientamento e della tipologia di aggetto.



F_{ov} fattore di correzione per ombreggiamento dovuto ad aggetti orizzontali
 F_{fin} fattore di correzione per ombreggiamento dovuto ad aggetti verticali

Angolo dell'aggett o orizzontale α	45° N lat.			55° N lat.			65° N lat.		
	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
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,79	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,5	0,58	0,66	0,60	0,61	0,65	0,68	0,65	0,66

Angolo dell'aggett o verticale β	45° N lat.			55° N lat.			65° N lat.		
	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
30°	0,94	0,92	1,00	0,94	0,91	0,99	0,94	0,90	0,98
45°	0,84	0,84	1,00	0,86	0,83	0,99	0,85	0,82	0,98
60°	0,72	0,75	1,00	0,74	0,75	0,99	0,73	0,73	0,98

Nella UNI-TS 11300 è previsto il calcolo dei fattori di ombreggiatura mese per mese.

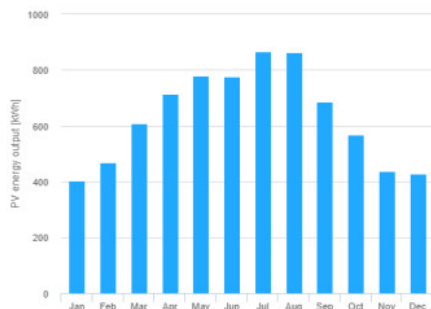
7-Le fonti di energia rinnovabile

Le fonti di energia rinnovabile sono il fotovoltaico, l'eolico e la geotermia; in termini di costi e di quantità di lavoro da svolgere pensare di trivellare il nostro terreno andare in profondità per ricavare delle energia geotermica è un pò assurdo forse è molto più semplice installare un impianto fotovoltaico sul tetto della nostra casa o una minipala eolica per produrre della energia. Possiamo produrre una quantità tale di energia in modo da far fronte ai consumi necessari per il riscaldamento e ai consumi di energia elettrica in modo da ottenere edifici ad energia zero o addirittura che producono energia, non solo non paghiamo le bollette ma abbiamo un reddito energetico : forse queste saranno le case del futuro.

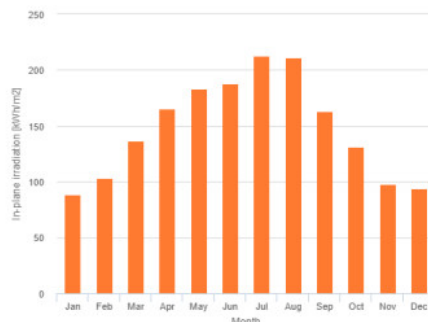
Impianto fotovoltaico- Eolico domestico

realizziamo una pensilina nella nostri giardino da adibire a parcheggio auto per due posti macchina quindi della superficie di circa 30 mq; su di essa installiamo dei pannelli fotovoltaici di 1,5 mq aventi la potenza di 270 W per cui il nostro impianto composto da 20 pennelli ha una potenza di picco di 5,4 KWp ed è in gradi di produrre in un anno nel comune di Castel di Sangro circa 7300 Kwh

Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	Em	Hm	SDm
January	404	88.3	65.5
February	468	103	83.9
March	610	137	92.8
April	713	165	52.9
May	778	183	59.6
June	777	188	43.5
July	865	213	55.7
August	862	211	49.1
September	686	163	47.3
October	568	131	66.6
November	437	97.5	62.9
December	428	93.7	91.9

Em: Average monthly electricity production from the given system [kWh].

Hm: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SDm: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

è riportata la produzione di energia per ogni mese dell'anno nel comune di Castel di Sangro ; sempre per il comune di Castel di Sangro i valori della velocità del vento che è circa 5 m/sec - 6 m/sec



Le schede tecniche del pannello fotovoltaico , con le sue dimensioni 100cmx150 cm



X-LINE Policristalline 60 celle



Modello	EXP 250/156-60	EXP 260/156-60	EXP 270/156-60
Potenza nominale P _{mp}	250Wp	260Wp	270Wp
Tensione nominale U _{mp}	30,70V	30,92V	31,12V
Corrente nominale I _{mp}	8,18A	8,43A	8,71A
Corrente di cortocircuito I _{sc}	8,41A	9,01A	9,25A
Tensione a vuoto U _{oc}	37,80V	38,00V	38,21V
Tasso di rendimento del modulo	15,59%	15,98%	16,60%

Caratteristiche elettriche [in condizioni standard di collaudo (STC) irraggiamento 1000 W/m² spettro AM 1,5 con temperatura della cella 25°C]

Struttura

Lato anteriore	Vetro bianco temperato antiriflesso da 3,2mm
Celle	60 celle policristalline di elevata efficienza 156x156 mm di 6" -4BB
Lato Posteriore	Pellicola multipla
Telaio	Telaio in alluminio argento anodizzato da 40 mm

Caratteristiche meccaniche

LxPxA	1650x992x40mm
Peso	19,5 kg con telaio

Collegamento

Scatola di collegamento	Classe di protezione IP 67 (3 diodi bypass)
Linea/Cavo	110 cm / 4 mm ²
Sistema di connessione	Connettore IP67

Valore limite

Tensione di Sistema	1000VDC
NOCT*	45°C +/- 2K
Carico massimo	5400 N/m ² testato a 8000 Pa
Alimentazione inversa IR	16,0 A

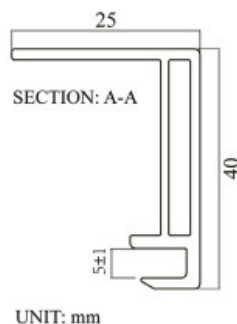
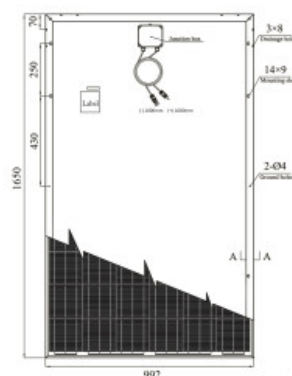
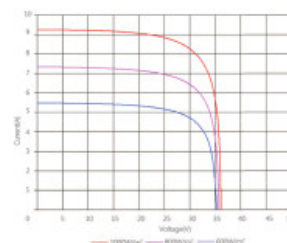
*NOCT, intensità di radiazione 800W/m², AM 1,5, velocità del vento 1m/s, Temperatura 20°C

Coefficiente di temperatura

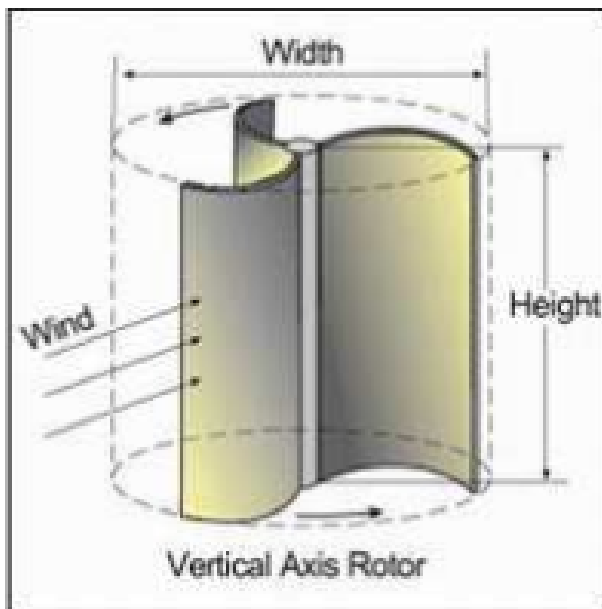
Tensione U _{oc}	-0,30%/K
Corrente I _{sc}	+0,04%/K
Potenza P _{mp}	-0,42%/K

EXE Srl

Via Negrelli 15
39100 Bolzano (BZ)
T +39 0471 054672
F +39 0471 089962
info@exesolar.com
www.exesolar.com

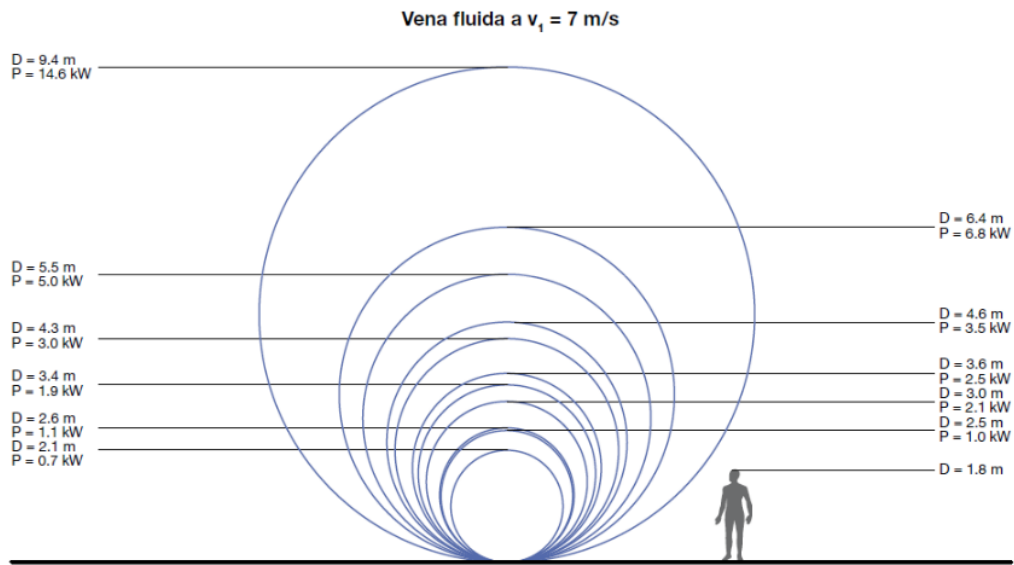


Quando pensiamo a un generatore eolico ci vengono subito in mente oggetti giganteschi, alti e con delle grosse eliche rotanti. Questo perché ci hanno abituati a vedere, per lo più in foto e in TV!, solo grossi impianti di megawatt di potenza. L'energia del vento è imbrigliabile con piccoli ed efficienti rotori che, grazie a moderne tipologie di motori, ad accurati profili e ad un'elettronica ben progettata, possono dare ottime soddisfazioni a fronte di prezzi d'acquisto abbastanza accessibili. Diventa così possibile utilizzare un aerogeneratore per integrare l'alimentazione della propria abitazione o dell'azienda, utilizzando energia pulita e rinnovabile. Esistono due tipologie di generatore ad asse verticale e ad asse orizzontale la cui velocità di avviamento del vento è intorno per entrambi a 3 m/sec; un impianto eolico per essere produttivo deve essere situato in un sito il cui valore medio della velocità del vento è maggiore 5 m/sec il cui funzionamento è intermittente circa 1500 ore l'anno. La produzione di energia in un anno è funzione della potenza delle turbina che dipende dal diametro delle pale e della velocità del vento, molto spesso il problema è legato al rumore generato dalla rotazione delle pale eolico, ma le possiamo ritenere abbastanza silenziose. L'altezza di una micropala eolica è circa 9 m quindi per un edificio a due piani di altezza 7 metri può essere agevolmente posizionata sul tetto ad un'altezza complessiva di 10 metri.



La produzione di energia nel comune di Castel di Sangro a 800 metri di altezza sul livello del mare velocità media del vento di circa 5,5 m/sec, con una pala eolica ad asse verticale avente un diametro delle pale di 2,5 metri potenza 2,1KW

Tipiche correlazioni potenza nominale-diametro (microturbine)



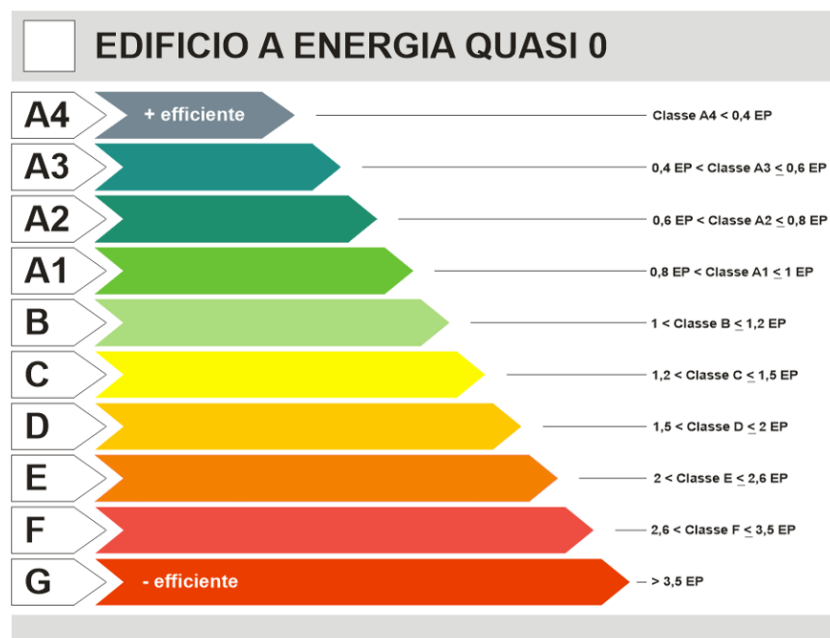
La produzione annua di energia è compresa tra 1000 e 1800 kwh annui per ogni KW di potenza per cui con un impianto di 5Kw si ottengono valori compresi tra 5000 KWh e 9000 KWh in un anno



Il costo di un impianto eolico o fotovoltaico della potenza di 5 kw è molto contenuto soprattutto per una casa di nuova costruzione dove la classe di appartenenza ne fa aumentare notevolmente il valore .

8- La normativa italiana

LINEE GUIDA NAZIONALI PER L'ATTESTAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI 2019



La classificazione energetica degli edifici prevede 7 classi dove il fabbisogno energetico globale annuo è espresso in percentuale; la classe A è relativa agli edifici passivi, per la classe energetica A4 si ha un fabbisogno energetico annuo di 40Kwh/mq ovvero una abitazione di 100 mq necessita di circa 4000 Kwh annui di energia non rinnovabile per riscaldamento, illuminazione e per gli elettrodomestici, visto il costo di Kwh 5 centesimi in un anno si avrebbe una spesa di circa 200 euro. Chiaramente il consumo di energia è legato alle ore di accensione dell'impianto di riscaldamento nel periodo invernale e dal numero degli elettrodomestici presenti, ma è importante il confort abitativo ovvero avere una abitazione a temperatura costante di 20° senza eccedere nei consumi di energia. In zone di montagna come Castel di Sangro per una abitazione si spendono circa 600 euro di energia elettrica e 1400 euro di gas metano ovvero una spesa dieci volte maggiore.

Le linee guide definiscono un fabbisogno energetico globale di energia primaria non rinnovabile

EP_{glr} somma di quattro aliquote

EP_{glrisc} fabbisogno di energia non rinnovabile per il riscaldamento in inverno e raffrescamento in estate

EP_{glvent} fabbisogno di energia non rinnovabile per la ventilazione meccanica

EP_{glacs} fabbisogno di energia non rinnovabile per l'acqua calda sanitaria

EP_{glill} fabbisogno di energia non rinnovabile per l'illuminazione

EP_{glgt} fabbisogno di energia non rinnovabile per il trasporto di persone o cose

Questo fabbisogno è globale ovvero relativo ad un intero anno e per le abitazioni residenziali è dato da :

$$EP_{glnrin} = EP_{glrisc} + EP_{glraffr} + EP_{glacs} + EP_{glill}$$

il fabbisogno EP_{glill} per la illuminazione si compone anche dei consumi energetici degli elettrodomestici.

Ovviamente si tiene conto degli apporti gratuiti derivanti dall'effetto Joule per le lampade ed alcuni elettrodomestici.

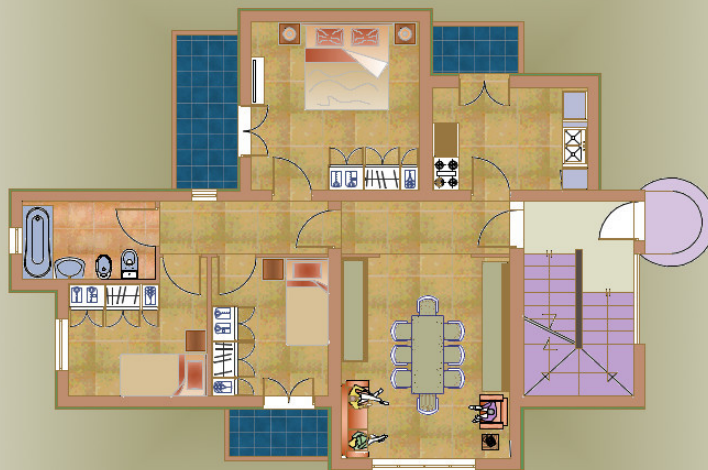
Il fabbisogno energetico globale annuo di energia depurato della porzione di energia rinnovabile derivante dal fotovoltaico o eolico , fornisce il parametro

EP_{glnrin} che diviso per la superficie dell'abitazione definisce la classe energetica dell'edificio.

9- Il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio

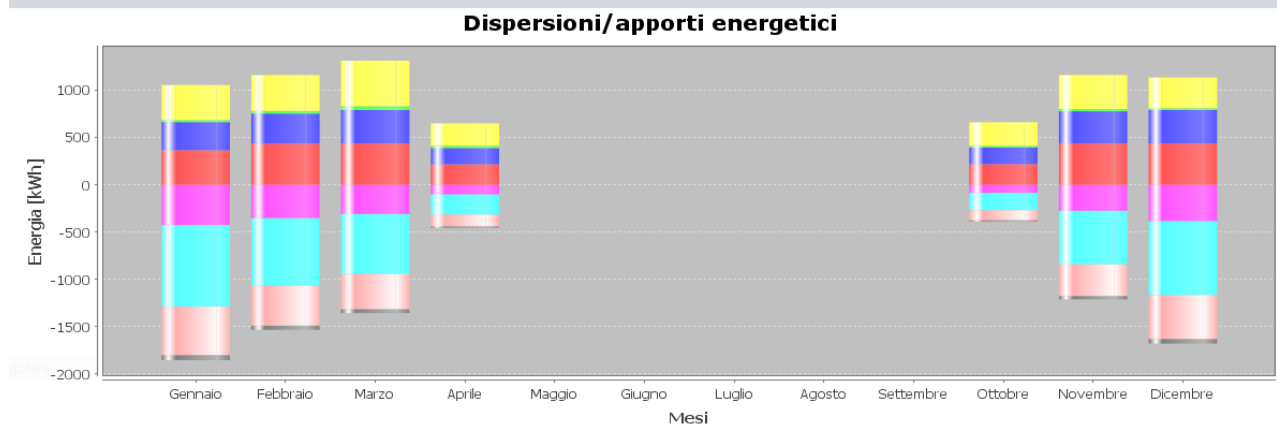
*Attraverso il software **SEAS** eseguiamo il calcolo dei fabbisogni di energia per una abitazione di 94 mq da costruire nel comune di Castel di Sangro*

*Superficie lorda 94 mq
Vano scala Volume Tecnico*



la cui struttura è in muratura armata laterizio spessore 30 cm cappotto termico esterno , rivestimento ed intonaco interno; infissi triplo vetro due serre bioclimatiche impianto fotovoltaico 30 mq. Il fabbisogno energetico per riscaldamento nel periodo inverno è pari a circa 4500 Kwh così come indicato in figura

Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	368,09	295,78	22,81	368,86	-425,87	-861,53	-512,88	-53,68	0	-1.170,22
Febbraio	436,98	318,53	27,21	380,05	-351,39	-713,72	-423,22	-44,29	0	-860,04
Marzo	438,88	352,66	41,22	481,94	-308,47	-634,07	-373,41	-38,88	0	-675,9
Aprile	219,12	170,64	23,95	237,16	-101,36	-213,96	-124,48	-12,78	0	-121,41
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	219,44	176,33	18,74	248	-85,17	-183,15	-106,93	-10,74	0	-48,89
Novembre	438,25	341,28	23,09	359,71	-274,01	-566,12	-335,76	-34,54	0	-607,11
Dicembre	438,88	352,66	19,75	325,64	-384,44	-781,27	-465,41	-48,46	0	-990,04
Totale	2.559,65	2.007,86	176,77	2.401,35	-1.930,72	-3.953,82	-2.342,09	-243,36	0	-4.473,61



Il fabbisogno di energia elettrica

Mese	Illuminazione	Altri carichi elettrici	Energia da fotovoltaico
Gennaio	17,33	370,13	404
Febbraio	18,67	441,31	468
Marzo	20,67	441,31	610
Aprile	20	441,31	713
Maggio	20,67	441,31	778
Giugno	20	441,31	777
Luglio	20,67	441,31	856
Agosto	10,67	227,77	868
Settembre	20	441,31	686
Ottobre	20,67	441,31	568
Novembre	20	441,31	437
Dicembre	20,67	441,31	438
Totale	230	5.011,04	7.603

Si possono utilizzare elettrodomestici con certificazione energetica a basso consumo energetico e diminuire notevolmente i consumi di energia elettrica . Siamo in una zona di montagna nel periodo estivo anche per effetto dell'isolamento termico le abitazioni sono abbastanza fresche e non si necessita della climatizzazione per il raffrescamento.

Tenendo presente le dispersione termiche attraverso le tubazioni i rendimenti della caldaia l'energia fornita alla caldaia per riscaldamento ed acqua calda sanitaria

Rendimento di distribuzione

Mese	%
Gennaio	94,6
Febbraio	93,58
Marzo	91,35
Aprile	80,42
Maggio	0
Giugno	0
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	0
Ottobre	61,97
Novembre	90,78
Dicembre	93,79

Energie in ingresso al sottosistema di distribuzione

Mese	Fabbisogno energia in ingresso al sottosistema [kWh]
Gennaio	1.430,3
Febbraio	1.062,6
Marzo	846,41
Aprile	172,69
Maggio	0
Giugno	0
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	0
Ottobre	90,26
Novembre	764,99
Dicembre	1.220,52
Totale	5.587,76

Rendimento di distribuzione

Mese	%
Gennaio	82,64
Febbraio	82,64
Marzo	82,64
Aprile	82,64
Maggio	82,64
Giugno	82,64
Luglio	82,64
Agosto	82,64
Settembre	82,64
Ottobre	82,64
Novembre	82,64
Dicembre	82,64

Energie in ingresso al sottosistema di distribuzione

Mese	Fabbisogno energia in ingresso al sottosistema [kWh]
Gennaio	225,93
Febbraio	204,07
Marzo	225,93
Aprile	218,64
Maggio	225,93
Giugno	218,64
Luglio	225,93
Agosto	225,93
Settembre	218,64
Ottobre	225,93
Novembre	218,64
Dicembre	225,93
Totale	2.660,16

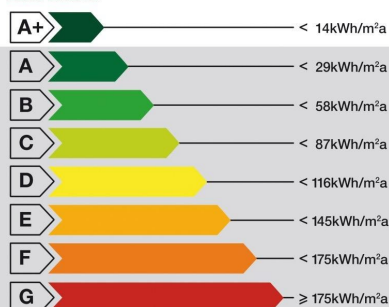
$$E_{pnlrnr} = 5587 + 2660 + 230 + 5015 - 7603 = 5889 \text{ kwh}$$

siamo quindi in classe energetica A3 $5889/94 = 62 \text{ kwh/mq}$

riducendo i consumi di energia per gli elettrodomestici, poichè si possono utilizzare tutte apparecchiature certificate e basso consumo

Classe energetica

Basso consumo



Alto consumo

Le lampade sono tutte a basso consumo led 20 W

Utilizzando elettrodomestici **classe A**

Lavastoviglie
forno elettrico

2 fono

ferro da stiro

2 frigorifero

3 televisori

3 pc

2 stampanti

stereo

radio

2 Termoventilatori (per riscaldamento e raffrescamento)

il fabbisogno di energia elettrica è pari a **500 KWh per anno**

$$E_{pnl,nr} = 5587 + 2660 + 230 + 500 - 7603 = 1374 \text{ kwh}$$

$$\text{Classe energetica } 1374/94 = 14,61 \text{ Kwh/mq} < 40 \text{ Kwh/mq}$$

Siamo in classe A4 casa passiva NZEB .

10- Conclusioni

Le motivazioni che spingono una impresa edile a costruire case passive e potenziali acquirenti a comprare delle abitazioni ad energia zero o delle case passive risiedono nel risparmio conseguente al non pagamento delle bollette di energia elettrica e gas. Per una famiglia di 4 persone risparmiare 2000 euro all'anno per l'energia consente di integrare le rate di mutuo della casa , per cui aumenta la richiesta di case **NZEB o case passive**. Il costruttore ha maggiori possibilità di vendere le proprie abitazioni aumentando il valore di mercato dell'immobile poiché in fase di costruzione le spese per il risparmio energetico detraibili dall'irpef attraverso l'ecobonus e con gli incentivi sulle fonti rinnovabili non incidono sul costo globale della costruzione.

Bibliografia

LINEE GUIDA NAZIONALI PER L'ATTESTAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI 2019
Software **AXTRO** ponti termici , **WIN par** trasmittanze pareti **WIN Shelter** infissi **SEAS** Audit energetico

Le fonti di energia rinnovabile

1- Introduzione

2- Le pale eoliche

3- Il progetto di un impianto eolico domestico

4- I pannelli fotovoltaici

5- Il progetto di un impianto fotovoltaico per civile abitazione

6- L'energia geotermica

7- Il progetto di un impianto geotermico per edilizia residenziale

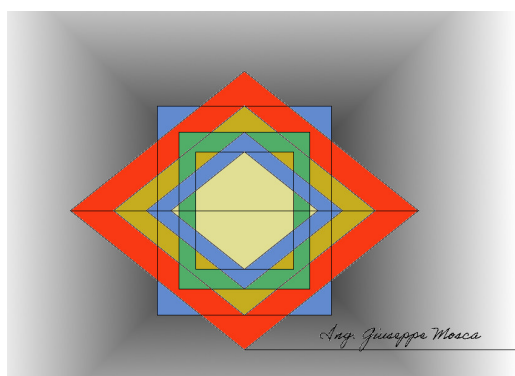
8- Le biomasse

9- Impianti di riscaldamento a biomasse

10- I costi delle fonti rinnovabili di energia e gli incentivi

11 Conclusioni

N.B. Mi scuso a priori delle eventuali imprecisioni o errori , anzi gradirei che mi vengano segnalate e che possano essere apportate delle correzioni.



1- Introduzione

Le fonti di energia rinnovabile ormai fanno parte integrante della progettazione edilizia poiché gli stessi regolamenti comunali prescrivono per le nuove costruzioni che una parte del fabbisogno energetico dal 2018 almeno il 50% sia coperto con fonti rinnovabili di energia. Il modo più semplice per produrre della energia nel nostro edificio è quello di installare un impianto fotovoltaico sulla copertura oppure delle pale eoliche senza eccedere nei costi e coprire almeno la parte di energie destinata al consumo elettrico. Si potrebbero combinare le biomasse per il riscaldamento ed il fotovoltaico o eolico per l'energia elettrica, ma si intuisce che per edifici con un elevato numero di alloggi, ad esempio per edifici a 4 piani con 4 alloggi per piano la potenza di un'impianto fotovoltaico o eolico deve essere almeno 80KWp la superficie della nostra copertura potrebbe non bastare per la installazione del fotovoltaico o delle pale eoliche per le quali si presentano problemi di integrazione architettonica che possono pregiudicare l'estetica del nostro edificio. Forse sarebbe opportuno dotare i comuni con popolazione inferiore a 10000 abitanti di centrali eoliche o fotovoltaiche posizionate in zone del territorio comunale destinate dai piani urbanistici alla produzione di energia anziché obbligare il singolo costruttore o progettista ad installare un impianto fotovoltaico sul tetto della nostra abitazione. Nei comuni di solito vengono ostacolate in queste scelte poiché si parla per gli impianti eolici di foreste di acciaio che arrecano un elevato danno e impatto ambientale; le stesse centrali fotovoltaiche occupano superfici elevate di territorio comunale per cui accanto alla produzione di energia da fonti rinnovabili che annulla le emissioni di ossido di carbonio ed anidride carbonica (basti pensare ad una centrale elettrica a gasolio che occupa una porzione ristretta del territorio comunale) si palesa il danno derivante dall'eccessivo consumo di territorio. Per evitare queste forme di danno ambientale si demanda all'abilità del progettista la possibilità di utilizzare fonti rinnovabili di energia migliorando l'architettura della nostra costruzione. Si evince quindi che per un nuovo edificio anche se con struttura in cemento armato qualora utilizziamo fonti di energia alternative non si parla più di danno ambientale, ovvero la nostra trasformazione edilizia raggiunge l'obiettivo del miglioramento dell'ambiente naturale e quindi allontaniamo le ire degli ambientalisti contrari a qualsiasi trasformazione del territorio. Le fonti di energia rinnovabile ormai fanno parte della cultura edilizia italiana ogni persona che ha intenzione di costruirsi una casa anche il singolo privato chiede al progettista la realizzazione di un impianto fotovoltaico poiché non incide sul costo globale della costruzione. Questi appunti sono degli estratti da pubblicazioni reperibili in rete ed hanno come obiettivo il miglioramento della mia preparazione culturale in modo che in fase di progettazione si abbiano delle nozioni per la progettazione corretta dell'impianto- di produzione di energia rinnovabile.

2- Le pale eoliche

Il vento è il risultato dei moti convettivi e dell'espansione dell'aria conseguenti al riscaldamento disomogeneo delle masse d'aria presenti nell'atmosfera indotte dall'irraggiamento solare. Le pale eoliche possono essere di due tipi:

- asse verticale
- asse orizzontale

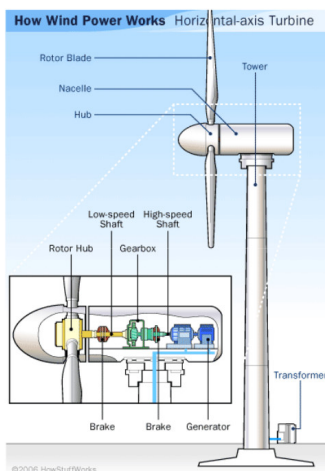
ulteriori classificazioni derivano dal numero delle pale e dalla potenza della turbina per cui si parla di

piccola taglia < 100 kw $D < 20$ m

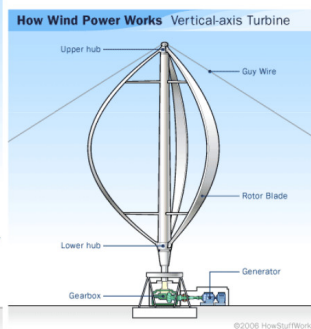
taglia media 100÷1000 kw $20 < D < 50$

taglia grande > 1000 kw $D > 50$ m

a noi interessa l'eolico domestico, quindi micropale eoliche che non danno problemi di inquinamento acustico con diametri delle pale ridotti dell'ordine di qualche metro che possono essere agevolmente installate sulla copertura della nostra abitazione.



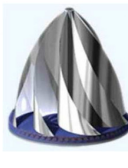
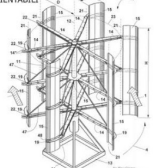
Turbine eoliche



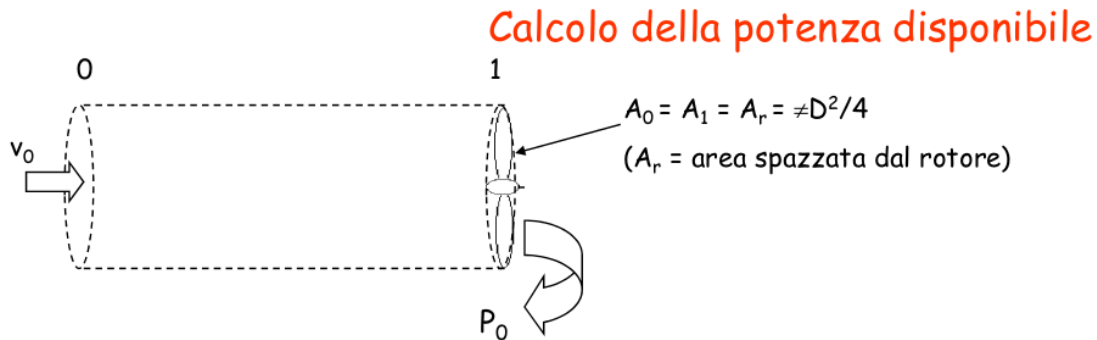
Turbine eoliche verticali



Turbina eolica ad asse verticale con elementi di presa sul vento AUTO-ORIENTABILI



L'energia associata ad una corrente d'aria che attraversa un volume cilindrico definito dal diametro delle pale è definita dalla energia cinetica



$\frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$; Per passare dalla energia alla potenza conviene fare riferimento alla portata massica $\dot{Q} = A \cdot V \cdot \rho$ si ottiene l'energia nell'unità di tempo

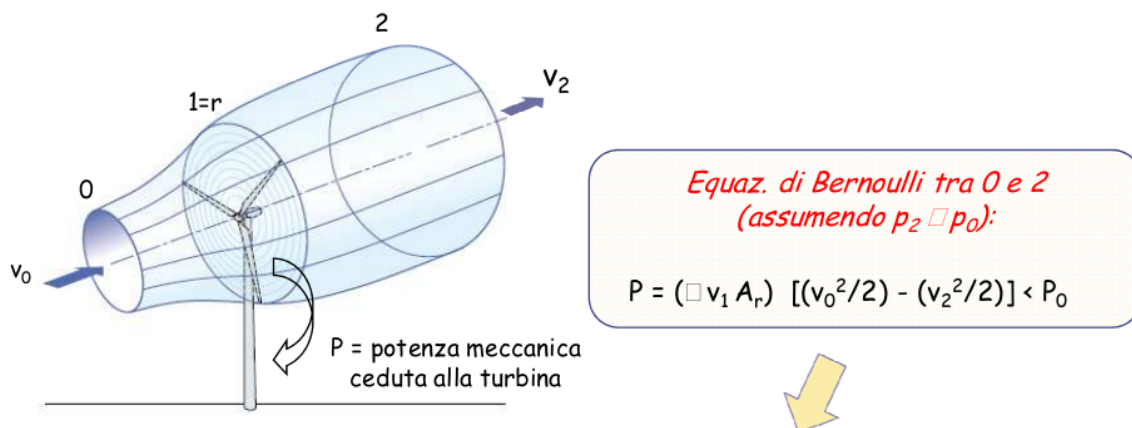
A area della sezione cilindrica

ρ densità dell'aria

V velocità de vento

per cui la potenza $P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot V^3$

Questa energia dovrebbe essere convertita tramite le pale in energia meccanica e poi tramite la turbina in energia elettrica; chiaramente è impossibile che tutta l'energia meccanica venga convertita in energia elettrica.



- la velocità dell'aria dopo aver attraversato le pale non può essere nulla
- l'interferenza tra pale e vento determina un allargamento del tubo di flusso
- il fluido rallenta rallenta mano mano che ci si avvicina al rotore

Il teorema di Bernoulli

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{cost}$$

Definiamo un fattore di interferenza relativo alla sezione 1 in corrispondenza del rotore ed un fattore b nella sezione dove la potenza iniziale P_o eguaglia la potenza finale P_2

$$La\ velocità\ V_1 = V_o*(1-a) ; \quad V_2 = V_o*(1-b)$$

$$P = 1/2 * A * \rho * V^3$$

Dalla differenza tra la potenze in entrata e quella in uscita otteniamo la potenza che viene trasferita alla turbina

$$P_o - P_2 = P_1$$

$$1/2 * A * \rho * V_o^3 - 1/2 * A * \rho * V_2^3 = P_o * \eta$$

il fattore di interferenza può essere definito come $a = (V_o - V_1)/V_o$ dove

$$V_1 = (1-a) * V_o$$

$$La\ velocità\ V_2 = (1-b) * V_o$$

$$P_1 = 1/2 * A * \rho * V_o^3 * [1 - (1-b)^3]$$

$$[1 - (1-b)^3] = (1 - 1 + b) * (1 + (1-b) + (1-b)^2) = b * (2 - b + 1 + b^2 - 2 * b) =$$

$$b * (3 - 3 * b + b^2) = 3 * b - 3 * b^2 + b^3$$

$$per\ b = 2a\ risulta\ 6a - 12a^2 + 8a^3 = 2a * (4a^2 - 6a + 3)$$

$$\eta = 2a * (4a^2 - 6a + 3)$$

Applicando il teorema di Bernouilli tra le sezioni del tubo di flusso si può dimostrare che $b = 2a$

il parametro η viene definito rendimento rotorico

Vediamo ora quanta energia elettrica siamo in grado di produrre con la nostra pala eolica ; abbiamo visto che la potenza P è funzione del diametro del rotore della velocità del vento

$$P = 1/2 * \pi * D^4/4 * \rho * V^3 * C_p$$

non siamo in grado di trasformare tutta questa potenza in energia elettrica in virtù del rendimento rotorico e dei rendimenti della turbina praticamente funzione del coefficiente $C_p = 0,43$ massimo valore della efficienza rotorica

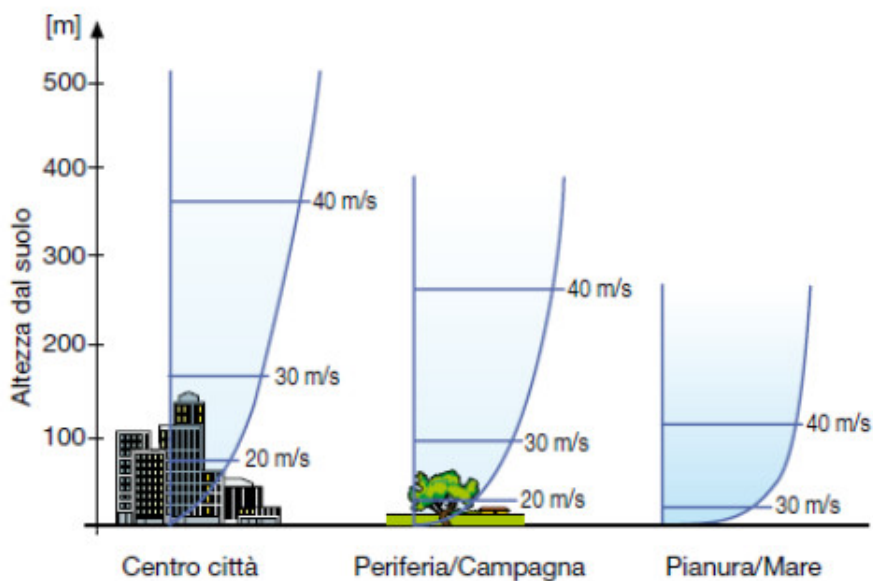
E' chiaro che per le pale eoliche vi sono delle schede tecniche fornite dalle case costruttrici che in funzione delle caratteristiche della pala eolica ci forniscono l'efficienza del generatore.

La velocità del vento varia anche in funzione dell'altezza secondo la legge

$$V_1 = V_0 * (Z/Z_0)^\alpha$$

Z₀ quota di riferimento ad esempio 10 m

V₀ velocità di riferimento



Coefficiente α	Descrizione
0.09	Mare calmo
0.12	Aree agricole aperte con presenza limitata di ostacoli bassi
0.16	Aree agricole aperte con presenza limitata di ostacoli di media altezza (6-8)m
0.20	Aree agricole con presenza di numerosi ostacoli di media altezza (6-8)m
0.30	Zone urbane, boschi

Le pale eoliche hanno un funzionamento intermittente funzione del vento per cui possiamo ritenere che in anno una pala eolica sia a regime per circa 1500 ore.

3- Il progetto di un impianto eolico domestico

Un mini impianto eolico si compone di :

- Torre con la micropala eolica
- Convertitore che trasforma l'energia meccanica in elettrica
- Dispositivi di sicurezza ed allaccio
- Contatore fiscale

Si possono avere due configurazioni

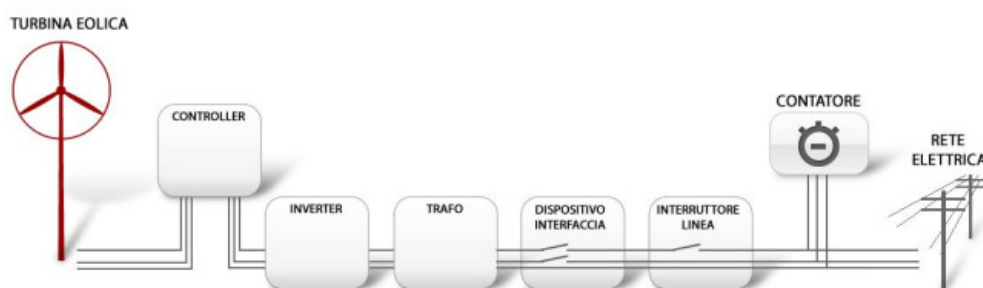
- **Generatore connesso alla rete elettrica**
- **Generatore isolato**

In un generatore connesso alla rete l'impianto domestico produce energia che in parte viene prelevata necessaria per i consumi dell'edificio ed in parte viene immessa in rete; naturalmente queste quantità di energia vengono contabilizzate tramite un contatore.

Il BOS è costituito da :

- Controller della turbina**
- Convertitore statico (INVERTER)**
- Trasformatore di isolamento**
- Dispositivi di sicurezza**
- Contatore fiscale**

così come rappresentato in figura

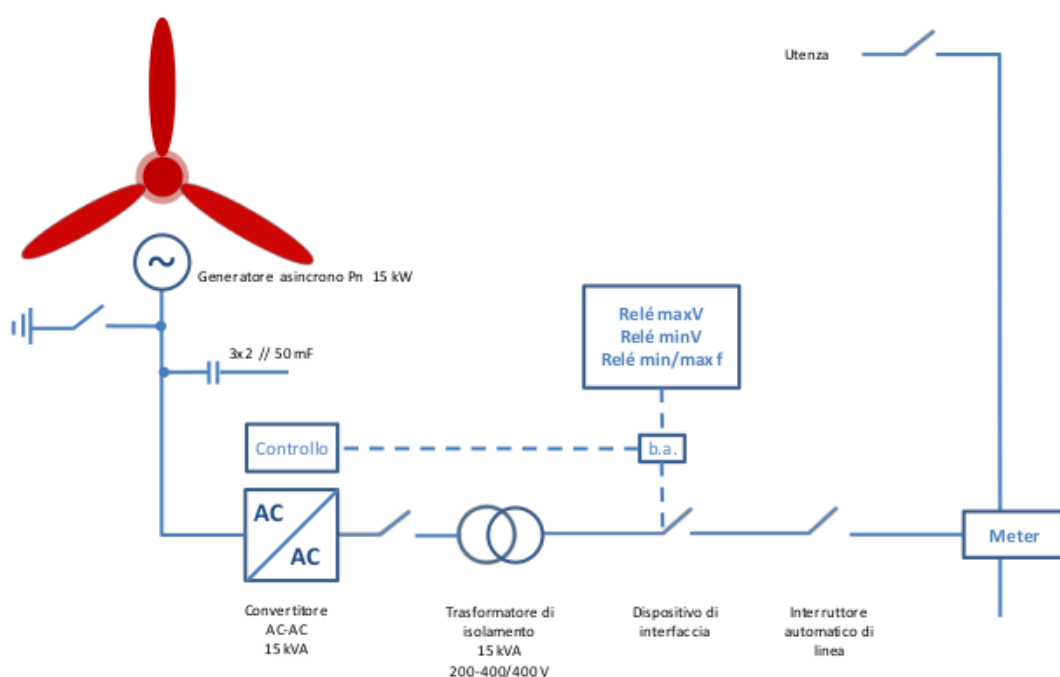


Schema a blocchi di impianto connesso alla rete

Il controller ha la funzione di regolare il funzionamento della turbina quando la velocità del vento supera i valori di 12m/sec tramite un interruttore ed un resistore.

Il convertitore statico è un dispositivo che riceve corrente elettrica dal generatore e la converte in valori regolari definiti dalla normativa ; ha quindi la funzione di regolarizzare il flusso di corrente . Esistono differenti tipologie di generatori quali il **generatore asincrono** ed il **generatore a magneti permanenti** ; il primo genera frequenze di corrente indipendentemente dalla velocità del vento mentre il secondo genera frequenza di corrente in funzione della velocità di rotazione delle pale eoliche.

Il dispositivo di interfaccia separa l'impianto di produzione dalla rete pubblica
 Riportiamo di seguito uno schema unifilare di un impianto connesso alla rete .



Schema unifilare di un impianto mini-eolico connesso alla rete

Per quanto concerne *l* e sezioni dei cavi dipendono dalla potenza del generatore possiamo riportare una tabella dove viene fornito il diametro del cavo in funzione della potenza

Potenza [kW]	Corrente [A]	Sezione dei cavi [mm ²]					
		l = 10m	l = 20m	l = 50m	l = 100m	l = 150m	l = 200m
1	1,52	0,03	0,07	0,17	0,34	0,52	0,69
5	7,60	0,17	0,34	0,86	1,72	2,58	3,45
10	15,19	0,34	0,69	1,72	3,45	5,17	6,89
15	22,79	0,52	1,03	2,58	5,17	7,75	10,34
20	30,39	0,69	1,38	3,45	6,89	10,34	13,79

4- I pannelli fotovoltaici

*Il **silicio** è l'elemento chimico che ha simbolo **Si** e numero atomico 14. È un metalloide tetravalente di colore grigio, meno reattivo del carbonio. Il silicio è molto abbondante, è il secondo elemento per abbondanza nella crosta terrestre dopo l'ossigeno. La conversione della radiazione solare in energia elettrica nei pannelli solari fotovoltaici avviene mediante l'effetto indotto dal flusso luminoso che investe il materiale semiconduttore (silicio). Ciò avviene non quando il silicio è puro, ma quando è drogato, ossia artificialmente posto nelle due possibili particolari condizioni in cui:*

- il materiale semiconduttore (silicio) incorpora un atomo di tipo P (boro)*
- il materiale semiconduttore (silicio) incorpora un atomo di tipo N (fosforo)*

*Le operazioni di inserimento di atomi differenti dal silicio sono dette operazioni di **drogaggio** del semiconduttore. Per spostarsi gli elettroni (e di conseguenza le lacune) necessitano dell'intervento di una energia proveniente dall'esterno. In assenza di flusso di energia dall'esterno gli atomi nel reticolo hanno tutti uno stato energetico nella banda di valenza. Nel momento in cui agisce sugli elettroni una forza esterna con sufficiente energia, questi modificano il proprio stato dallo stato di valenza allo stato di conduzione. La forza di energia proveniente dall'esterno è la **luce solare** (radiazione solare). La luce solare è composta di particelle di energia dette **fotoni**. Quando i fotoni colpiscono il materiale semiconduttore della cella fotovoltaica, una parte di energia viene riflessa, una parte si trasforma in calore e un'ultima parte provoca uno spostamento degli elettroni degli atomi nel materiale semiconduttore. L'energia del flusso di fotoni libera un certo numero di elettroni/lacune. Gli elettroni spostati nella struttura atomica del semiconduttore iniziano a scorrere, producendo una corrente elettrica nel corpo del semiconduttore. Questo è il principio fisico in base al quale una cella solare produce energia elettrica nel momento in cui è irraggiata dalla luce solare. La corrente elettrica (e quindi la potenza) risulta proporzionale sia alla superficie della cella sia alla intensità della radiazione solare; una cella quadrata di lato 10 cm, esposta a raggi solari che la colpiscono perpendicolarmente, in condizioni di piena luce, è in grado di erogare una potenza elettrica di circa 1,3 W con una tensione di 0,5 V. Le varie celle vengono collegate in serie o in parallelo in modo da fornire un modulo fotovoltaico i cui moduli a loro volta vengono assemblati in un pannello fotovoltaico. I pannelli fotovoltaici hanno delle dimensioni standard 100x150 sono in silicio cristallino ed hanno una potenza di picco di circa 260 Wp. Importante è il dimensionamento del nostro impianto per il quale dobbiamo conoscere i valori della radiazione solare nella zona in cui intendiamo installare il nostro impianto. Ad esempio per una potenza di picco di 4Kwp corrispondente a 15 moduli e quindi una superficie di circa 23 q si ha una produzione annua di energia stimata nel Comune di Castel di Sangro pari a 5300 Kwh in un anno corrispondenti al fabbisogno di energia elettrica ed acqua calda sanitaria per un'abitazione avente la superficie di 100 mq. Le scheda tecnica del pannello fotovoltaico fornisce tre differenti valori della potenza per uno stesso pannello*

250Wp ; 260Wp; 270 Wp



X-LINE Policristalline 60 celle



Modello	EXP 250/156-60	EXP 260/156-60	EXP 270/156-60
Potenza nominale P _{mp}	250Wp	260Wp	270Wp
Tensione nominale U _{mp}	30,70V	30,92V	31,12V
Corrente nominale I _{mp}	8,18A	8,43A	8,71A
Corrente di cortocircuito I _{sc}	8,41A	9,01A	9,25A
Tensione a vuoto U _{oc}	37,80V	38,00V	38,21V
Tasso di rendimento del modulo	15,59%	15,98%	16,60%

Caratteristiche elettriche [in condizioni standard di collaudo (STC) irradianza 1000 W/m² spettro AM 1,5 con temperatura della cella 25°C]

Struttura

Lato anteriore	Vetro bianco temperato antiriflesso da 3,2mm
Celle	60 celle policristalline di elevata efficienza 156x156 mm di 6" -4BB
Lato Posteriore	Pellicola multipla
Telaio	Telaio in alluminio argento anodizzato da 40 mm

Caratteristiche meccaniche

LxPxA	1650x992x40mm
Peso	19,5 kg con telaio

Collegamento

Scatola di collegamento	Classe di protezione IP 67 (3 diodi bypass)
Linea/Cavo	110 cm / 4 mm ²
Sistema di connessione	Connettore IP67

Valore limite

Tensione di Sistema	1000VDC
NOCT*	45°C +/- 2K
Carico massimo	5400 N/m ² testato a 8000 Pa
Alimentazione inversa IR	16,0 A

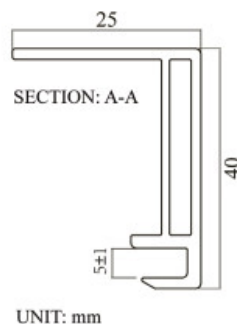
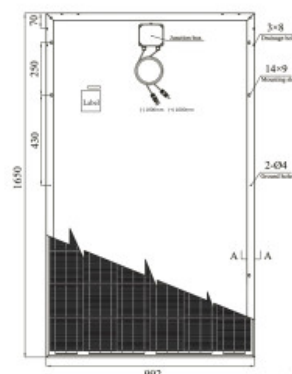
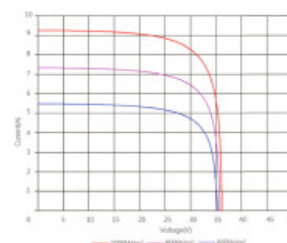
*NOCT, intensità di radiazione 800W/m², AM 1,5, velocità del vento 1m/s, Temperatura 20°C

Coefficiente di temperatura

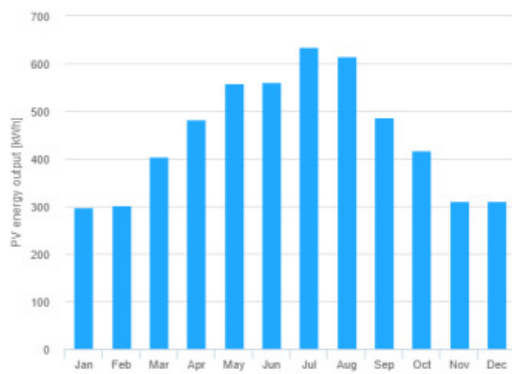
Tensione U _{oc}	-0,30%/K
Corrente I _{sc}	+0,04%/K
Potenza P _{mp}	-0,42%/K

EXE Srl

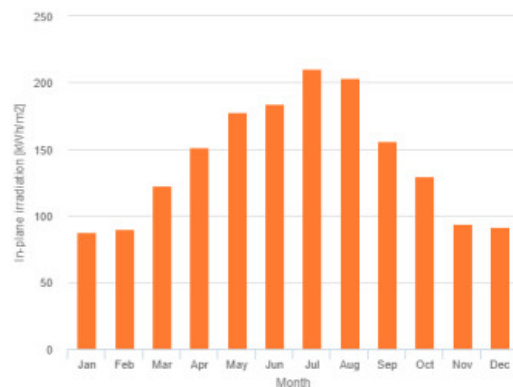
Via Negrelli 15
39100 Bolzano (BZ)
T +39 0471 054672
F +39 0471 089962
info@exesolar.com
www.exesolar.com



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	297.8	87.9	45.7
February	303.1	90.0	63.0
March	403.5	122.3	72.2
April	483.6	151.5	39.4
May	558.1	177.8	52.9
June	561.6	183.9	31.8
July	633.9	210.8	35.9
August	615.7	203.7	44.3
September	486.2	155.8	37.6
October	417.6	129.8	51.8
November	310.2	93.6	62.8
December	310.7	91.9	80.5

E_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].
H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.
However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
This information is of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity. It is not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date. It sometimes links to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility. It is not professional or legal advice. If you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional.
Some data or information on this site may have been copied or structured in this or other forms that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Joint
Research
Centre

PVGIS ©European Union, 2001-2019.
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2019/12/05

Posizionamento dei pannelli

Esistono due tipologie di installazione per gli impianti fotovoltaici

- Sistema fisso
- Sistema ad inseguimento

Il sistema fisso è quello più diffuso prevede che la superficie captante resti in posizione fissa rispetto al manufatto a cui è vincolato come accade per pannelli vincolati sui tetti.

Il sistema ad inseguimento prevede un movimento del pannello in modo che catturi meglio la radiazione solare e può essere realizzato in tre configurazioni

- Ad asse orizzontale azimut fissi e tilt variabile secondo le stagioni ;
 - Ad asse verticale tilt fisso ed azimut variabile nel corso della giornata;
 - A due assi con rotazioni rispetto ad un asse orizzontale e ad un asse verticale in modo che si abbia la massima resa per la captazione della radiazione solare;
- Gli inseguitori a due assi permettono al pannello fotovoltaico di raggiungere la massima potenza già due ore dopo l'alba, e mantenerla pressoché costante fino a due ore prima del tramonto.



Inseguitori biassiali

Le riduzioni della captazione della radiazione solare sono dovute ad **ombreggiamenti** che possono essere di tre tipologie :

- ♦ ombreggiamenti clinometrici
- ♦ ombreggiamenti locali
- ♦ auto-ombreggianti

Gli **ombreggiamenti clinometrici** sono dovuti ad ostacoli fissi posti all'orizzonte rispetto al baricentro dell'impianto e sono strettamente legati all'area in cui si trova il sito di installazione .

Gli **ombreggiamenti locali** sono causati da alberi, comignoli, pali, strutture adiacenti e da tutto quanto può proiettare ombre sull'impianto.

Gli **auto-ombreggianti** si dividono in due categorie : quelli prodotti da inclinazione ed azimut del modulo fotovoltaico e quelli prodotti da altri pannelli dello stesso campo.

Inclinazione ed interdistanza tra i moduli.

L'angolo di inclinazione dei moduli è uno dei dati essenziali per la buona progettazione di un impianto fotovoltaico; l'angolo di Tilt per tetti piani e pensiline è completamente libero mentre è fisso definito dall'angolo della falda quando installiamo i moduli sul tetto della nostra abitazione.

Il calcolo dell'angolo di Tilt β viene seguito mediante la formula :

$$d/h = \sin\beta * \tan(23^\circ,5 + \text{latitudine}) + \cos\beta$$

d interasse tra file di pannelli successive

h sviluppo inclinato dei pannelli

β angolo di Tilt

Per in sistemi ad inseguimento l'angolo di Tilt non è fisso ma varia in funzione delle stagioni.

Angolo di Azimut

L'angolo di Azimut coincide con l'orientamento della falda, mentre è libero per coperture piane e pensiline; il migliore orientamento dei pannelli fotovoltaici è a **SUD** si tollerano deviazioni fino a 10° .

5- Il progetto di un impianto fotovoltaico per civile abitazione

Si esegue il calcolo con il software Photosimpianti di un impianto fotovoltaico della potenza di 4,8Kwp i cui dati sono riportati di seguito

Modello Pannello Fotovoltaico:

Sample Photos Mod 240w

Potenza Modulo in STC [Wp]:

240

Lunghezza H [mm]:

1642

Larghezza L [mm]:

994

Rendimento [%]:

14,7

VOC [V]:

36,9

VMp [V]:

30

Imp [A]:

7,98

Isc [A]:

8,35

Vmax Sistema [V]:

1000

Efficienza

14,7%

0,78

Coeff. Beta V-t:

-125,46

Voc

Coeff. Beta V-t:

Vmp

Coeff. Alfa I-t:

5,01

Isc

Coeff. Alfa I-t:

Imp

Coeff. Gamma P-t:

-0,47

Pmax

β

α

γ

Voc-T

Isc-T

Pmax-T

Inclinazione modulo [Tilt in Grad]:

30

Fattore di Albedo:

Eriba verde

Temp. Cell Max [C]:

70

Temp. Cell Min [C]:

-10

Esposizione [Azimut]:

SUD Azimut 0°

Modello Inverter:

Sample Inverter Photo 6kW

Pn DC [kW]:

6,2

Pmax DC [kW]:

7,5

Vmax Inverter [V]:

600

VmptMax [V]:

580

Imax Ingresso DC [A]:

36

Stato Fase:

1

Pn AC [kW]:

6

Pmax AC [kW]:

6

VmptMin [V]:

90

Numero Ingressi:

4

N° MPPT Tracker:

2

Rendimento Inverter:

0,965

Numero Mod. Stringa:

10

Numero Stringhe:

2

N° Generatori FV Totali:

1

Potenza desiderata Complessiva [kWp]:

4,8

N° Moduli:

?

N° Stringhe:

?

kWp Generatore FV:

4,8

Impianto realizzato nel comune di Castel di Sangro con pannelli aventi dimensioni 100x165 potenza 240 wp ; si utilizzano 20 moduli in due stringhe disposte in parallelo con una potenza complessiva di 4,8 Kwp. I dati della radiazione solare

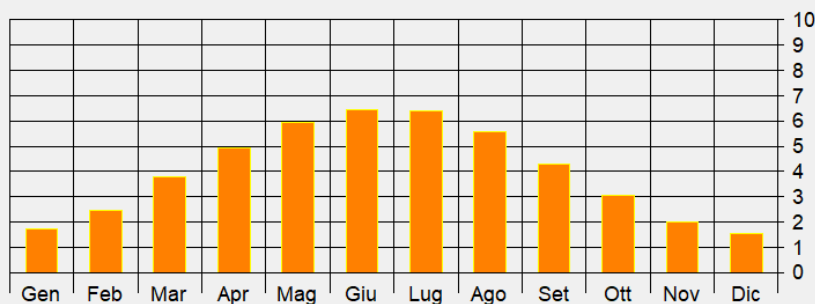
Dati Radiazione Globale med. Enea in kWh/m²:

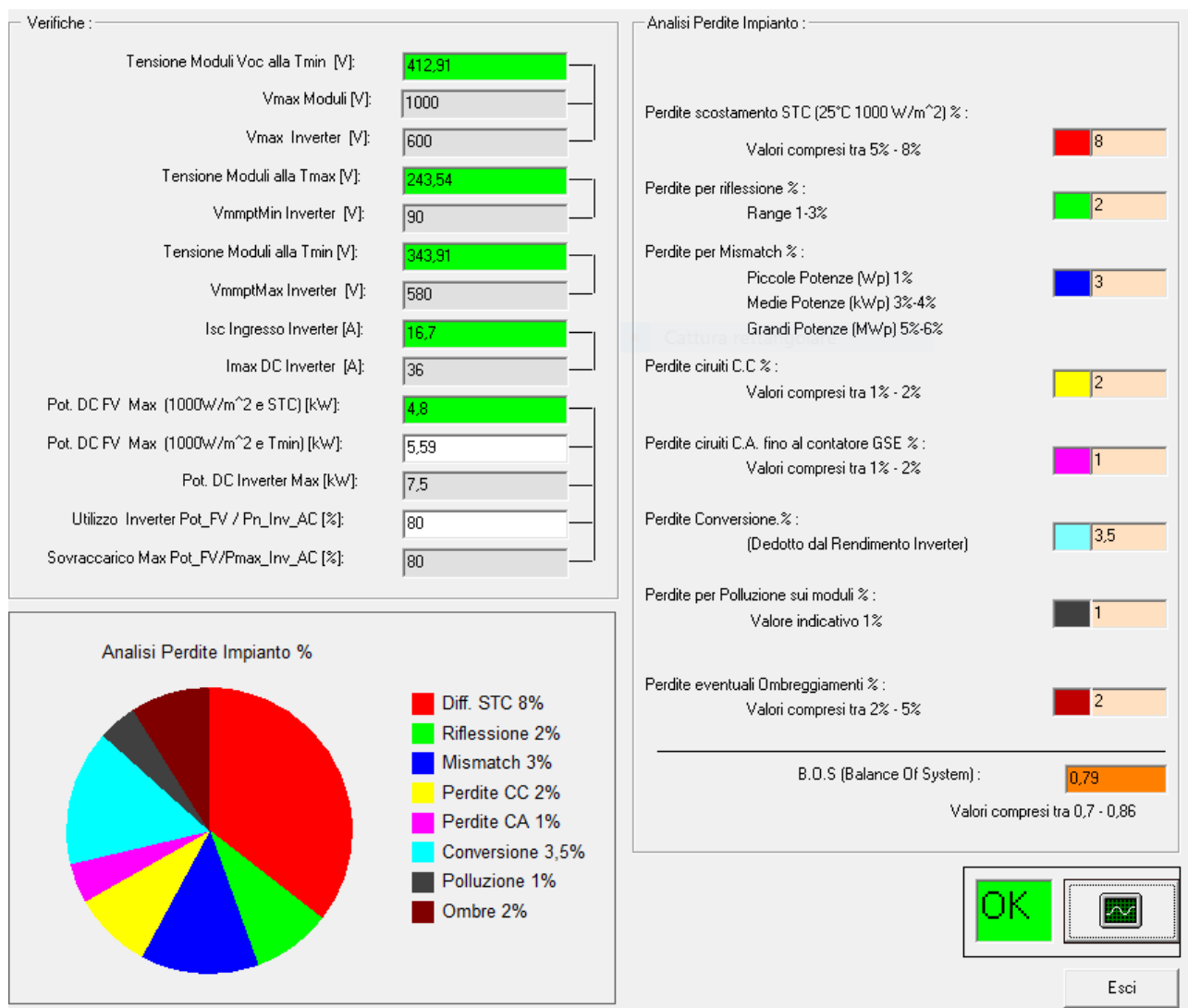
Gennaio:	Febbraio:	Marzo:	Aprile:	Maggio:	Giugno:	Luglio:	Agosto:	Settembre:	Ottobre:	Novembre:	Dicembre:
1,75	2,47	3,78	4,92	5,94	6,47	6,39	5,58	4,31	3,08	2	1,56

Media Annuale kW/m² anno

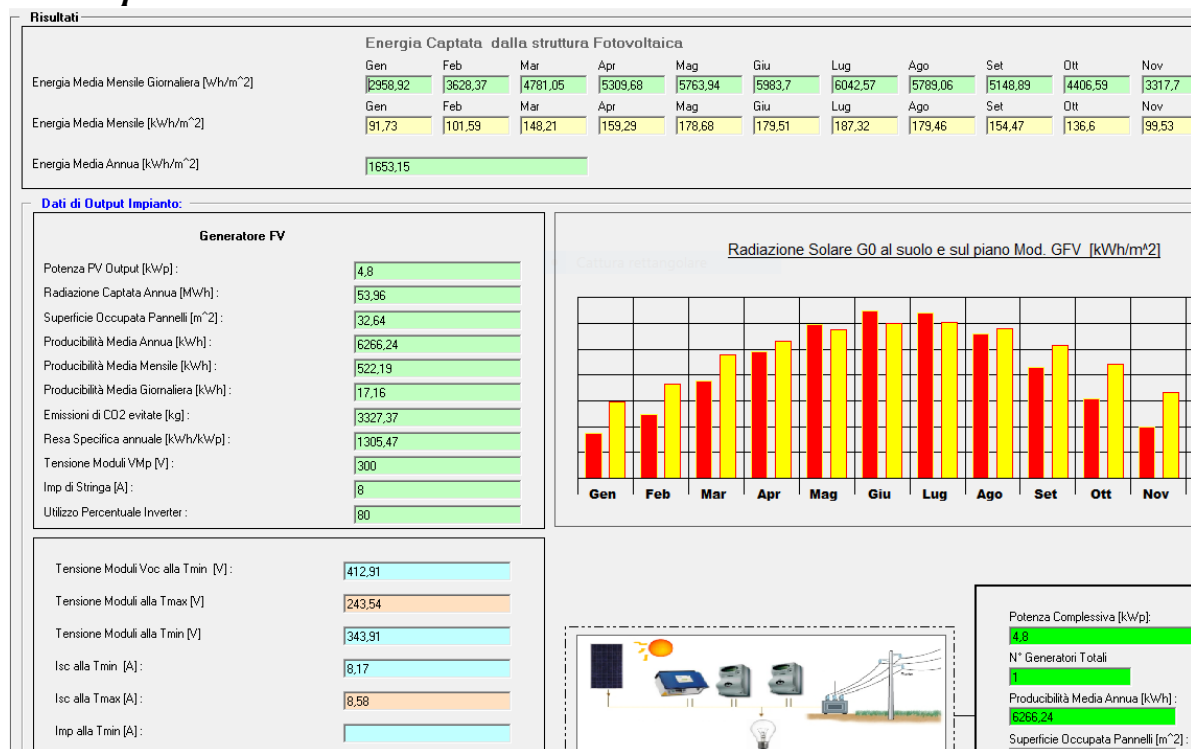
1480,56

Radiazione Media Giornaliera Mensile kWh/m²

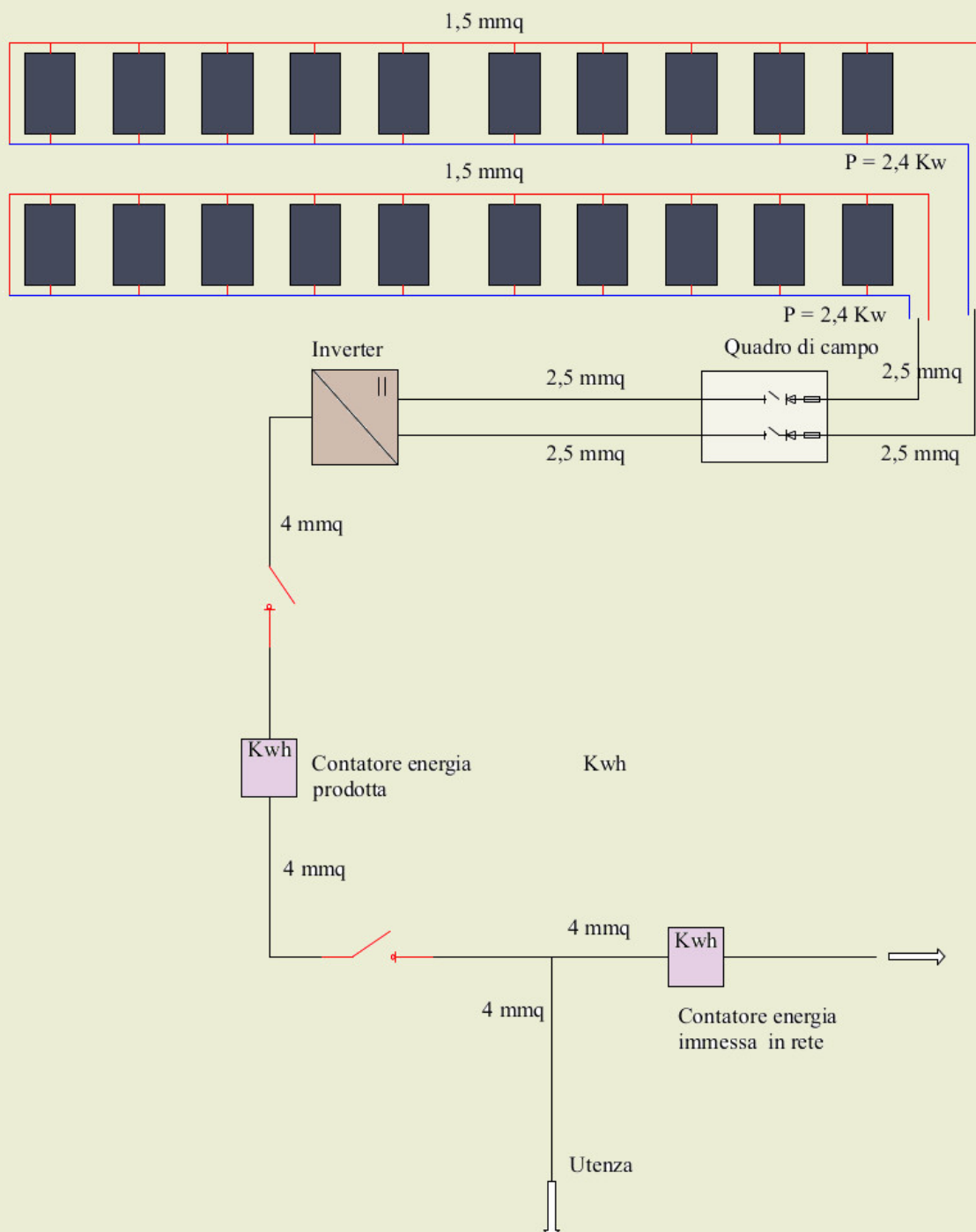




La produbbilità media annua è di circa 6300 Kwh



Di seguito riportiamo lo schema unifilare dell'impianto con le sezioni dei Cavi; L'impianto si compone di 2 stringhe ciascuna di 10 pannelli fotovoltaici che come le stringhe vanno collegati in parallelo poiché il malfunzionamento di un pannello non può compromettere il funzionamento della intera stringa .



Schema di impianto Fotovoltaico

6- L'energia geotermica

L'energia geotermica proviene direttamente dal sottosuolo sfruttando le alte temperature che vi sono all'interno della terra, basti pensare che il 99% della sua massa si trova ad una temperatura superiore ai 1000°C con valori compresi tra 6000°C÷6500°C nel nucleo centrale. Questo calore ha due origini una interna e l'altra esterna:

- L'**origine esterna** è dovuta agli eventi atmosferici quali sole e pioggia che interessano profondità fino a 15 m;

-L'**origine interna** è dovuta al calore prodotto dal decadimento di sostane radioattive presenti nel sottosuolo ;

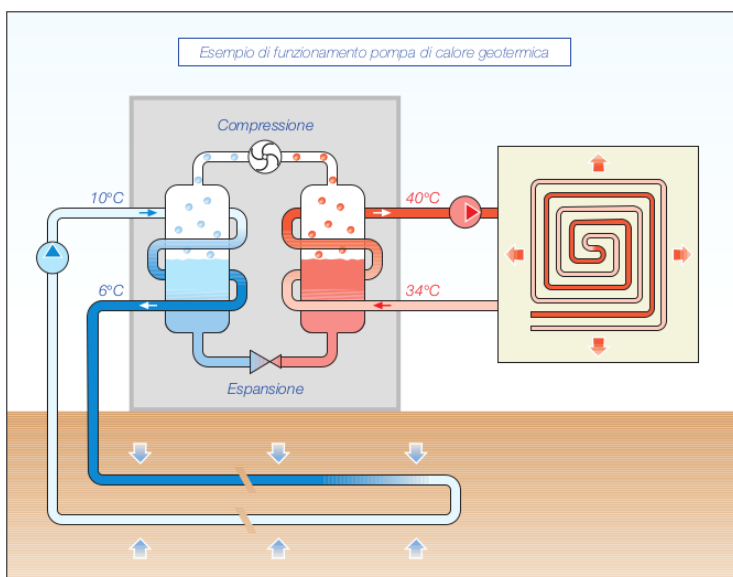
Con il termine geotermico si fa riferimento a tutto il calore immagazzinato nella terra , e con il termine geotermia si indica la disciplina e le tecniche che consentono lo sfruttamento di tale forma di calore. Quello che si ripropone con gli impianti geotermici è di sfruttare questo calore per il riscaldamento degli edifici ovvero captare il calore dal sottosuolo e tramite pompe di calore riscaldare produrre acqua calda sanitaria e raffreddare il nostro edificio.

Le **PDC pompe di calore** sono delle macchine in grado di derivare calore da una sorgente a temperatura più bassa. Sono essenzialmente composte da un circuito di tipo chiuso entro il quale viene continuamente compresso e fatto espandere un apposito fluido. Ad ogni compressione e ad ogni espansione (cioè ad ogni ciclo di lavoro) il fluido ruba un pò di calore alla sorgente fredda e lo cede a quella calda. Invertendo il ciclo di lavoro queste macchine, possono essere utilizzate sia per riscaldare che per raffreddare. Le prestazioni delle PDC sono generalmente individuate mediante due coefficienti forniti dai Produttori:

- il coefficiente ϵ relativo al solo funzionamento del compressore

-il coefficiente COP relativo al funzionamento del compressore e dei mezzi ausiliari .

Ad esempio, se il valore di COP è uguale a 4, vuol dire che con 1 kW di energia elettrica, spesa al compressore, è possibile spostare (dalla sorgente fredda a quella calda) 4 kW di calore.



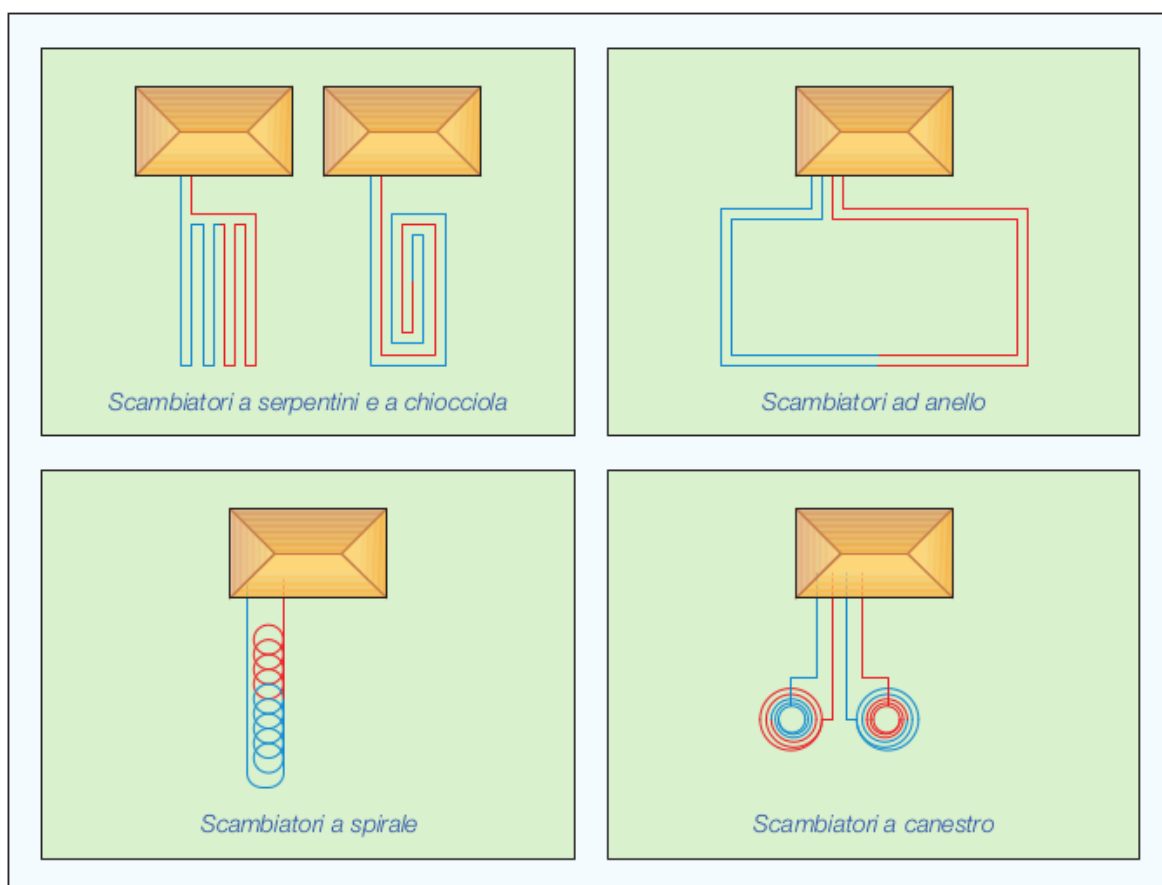
*Gli **scambiatori di calore** sono delle tubazioni che attraversano il sottosuolo a bassa o ad alta profondità capaci di scambiare **energia termica** con il terreno ;*

Scambiatori a bassa profondità

Sono scambiatori realizzati con tubi di materiale plastico disposti a bassa profondità 0,80m÷4 m; rispetto agli scambiatori ad alta profondità hanno un costo minore ed un basso impatto ambientale e sono a prevalente sviluppo orizzontale ed alla stesa quota di locali interrati quali garage cantine taverne. Richiedono delle superfici adiacenti il nostro edificio molto estese e possono essere di tipologia differente :

- **scambiatori ad anelli**
- **scambiatori a spirale**
- **scambiatori a serpentini o chiocciola**
- **scambiatori a canestri**

La scelta della tipologia di scambiatore dipende dal terreno , dalle sue zone d'ombra dal tipo do vegetazione da piantumare e conservare.



Il calore derivato da questi scambiatori è quello apportato dal sole e dalla pioggia per cui vanno posizionate in zone di terreno scoperte non al di sotto di garage pensiline prefabbricati serre. Vanno rispettate le seguenti distanze minime:

- 1,5 m dalle reti interrate degli impianti di tipo non idraulico: reti elettriche, del telefono e del gas;
- 2,0 m dalle reti interrate degli impianti di tipo idraulico: reti dell'acqua sanitaria, delle acque piovane e di scarico;
- 3,0 m da fondazioni, recinzioni, pozzi d'acqua, fosse settiche, pozzi di smaltimento e simili.

Con gli scambiatori di calore a bassa profondità ci si espone a due pericoli quali il collasso dell'impianto e la messa in crisi della vegetazione. La temperatura del terreno è troppo bassa quindi può entrare in crisi la pompa di calore durante l'estrazione del calore dal fluido che circola nello scambiatore; d'altra parte sottraendo calore al terreno la vegetazione che cresce sopra lo scambiatore può andare in crisi.

- Scambiatori a serpentini o chiocciola

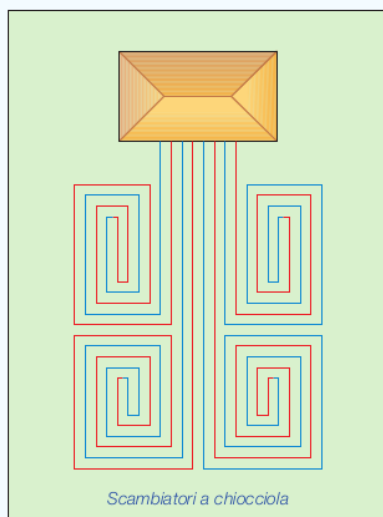
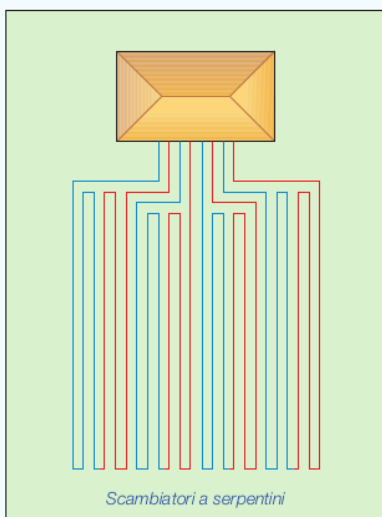
Sono realizzati con tubi in polietilene del diametro compreso tra 16mm e 26 mm, la profondità del piano di posa varia tra 80 e 120 cm con interasse tra i tubi per non causare un eccessivo raffreddamento del terreno non superiore a 40 cm. Il dimensionamento di questi collettori lo si effettua in base alla resa termica del terreno che dipende dal grado di umidità dal tipo di terreno e dalla sua densità.

SCAMBIATORI A SERPENTINI E CHIOCCIOLA

Rendimenti specifici approssimativi
superficie terreno

Tipo sottosuolo	(W/m ²)
terreno sabbioso secco	10 – 15
terreno sabbioso umido	15 – 20
terreno argilloso secco	20 – 25
terreno argilloso umido	25 – 30
terreno saturo d'acqua	30 – 40

- interasse tubi = 40 cm
- ore operative annuali = 1800
- COP = 4
- superficie del terreno libera
- superficie del terreno non impermeabilizzata



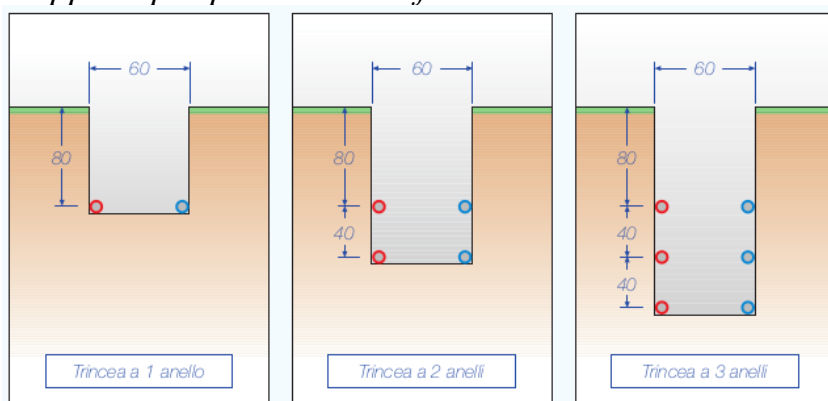
Superficie richiesta per scambiatori a serpentini o a chiocciola

Potenza pompa di calore [W]	Superficie richiesta [m ²] (terreno sabbioso umido 20 W/m ²)		Superficie richiesta [m ²] (terreno argilloso umido 30 W/m ²)		Potenza scambiata con il terreno [W]		Potenza elettrica assorbita dalla PDC [W]	
	COP = 3,0	COP = 4,0	COP = 3,0	COP = 4,0	COP = 3,0	COP = 4,0	COP = 3,0	COP = 4,0
5000	167	188	111	125	3333	3750	1667	1250
5500	183	206	122	138	3667	4125	1833	1375
6000	200	225	133	150	4000	4500	2000	1500
6500	217	244	144	163	4333	4875	2167	1625
7000	233	263	156	175	4667	5250	2333	1750
7500	250	281	167	188	5000	5625	2500	1875
8000	267	300	178	200	5333	6000	2667	2000
8500	283	319	189	213	5667	6375	2833	2125
9000	300	338	200	225	6000	6750	3000	2250
9500	317	356	211	238	6333	7125	3167	2375
10000	333	375	222	250	6667	7500	3333	2500
11000	367	413	244	275	7333	8250	3667	2750
12000	400	450	267	300	8000	9000	4000	3000
13000	433	488	289	325	8667	9750	4333	3250
14000	467	525	311	350	9333	10500	4667	3500
15000	500	563	333	375	10000	11250	5000	3750
16000	533	600	356	400	10667	12000	5333	4000

La resa termica di un terreno a grana fine è più elevata di quella di un terreno dello stesso tipo a grana grossa in virtù della maggiore porosità e quindi del maggiore contenuto di aria negli interstizi. Il parametro più importante è il livello di umidità che dipende da numerosi fattori quali profondità della falda acquifera, capacità di evaporazione dalla piovosità del sito, poiché la conducibilità dell'acqua è circa 20 volte maggiore di quella dell'aria.

-Scambiatore ad anelli

Sono realizzati con tubi di materiale plastico del diametro compreso tra 16÷ 26 mm, la cui profondità di posa oscilla tra 0,8 ÷ 2 mm; gli anelli possono svilupparsi su più piani in scavi in trincea e sono meno costosi di quelli a serpentina che prevedono un ampio scavo di sbancamento. Gli anelli possono essere del tipo chiuso o aperto e si possono avere delle trincee anche con 2-3 livelli sovrapposti: le trincee vanno distanziate di almeno 150cm. La resa termica del terreno può essere ridotta negli anelli sovrapposti per possibili interferenza tra i vari circuiti.



SCAMBIATORI 1 ANELLO

Rendimenti specifici
approssimativi dei tubi

Tipo sottosuolo	(W/m)
terreno sabbioso secco	4 – 6
terreno sabbioso umido	6 – 8
terreno argilloso secco	8 – 10
terreno argilloso umido	10 – 12
terreno saturo d'acqua	12 – 16

SCAMBIATORI 2 ANELLI

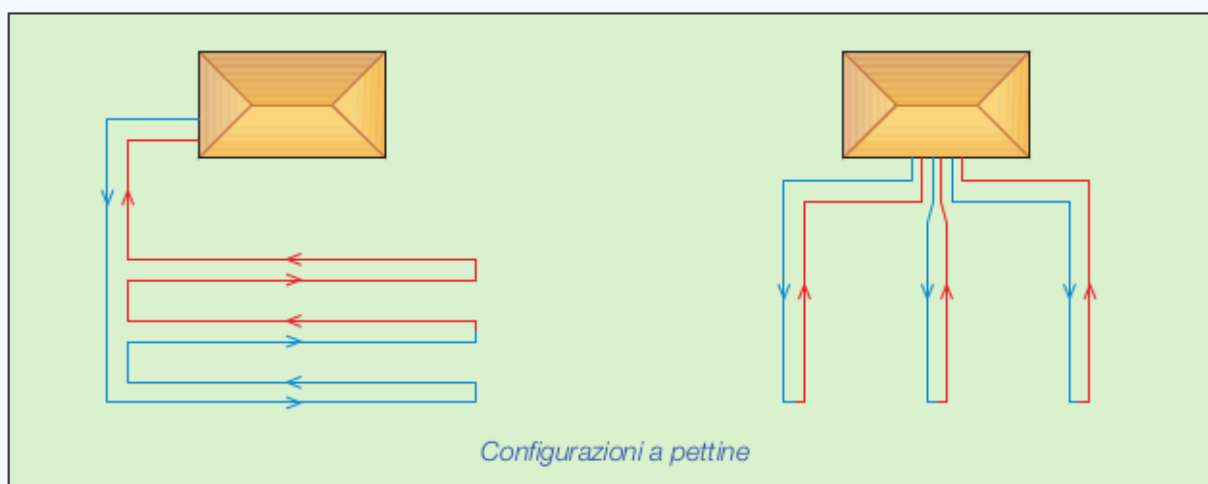
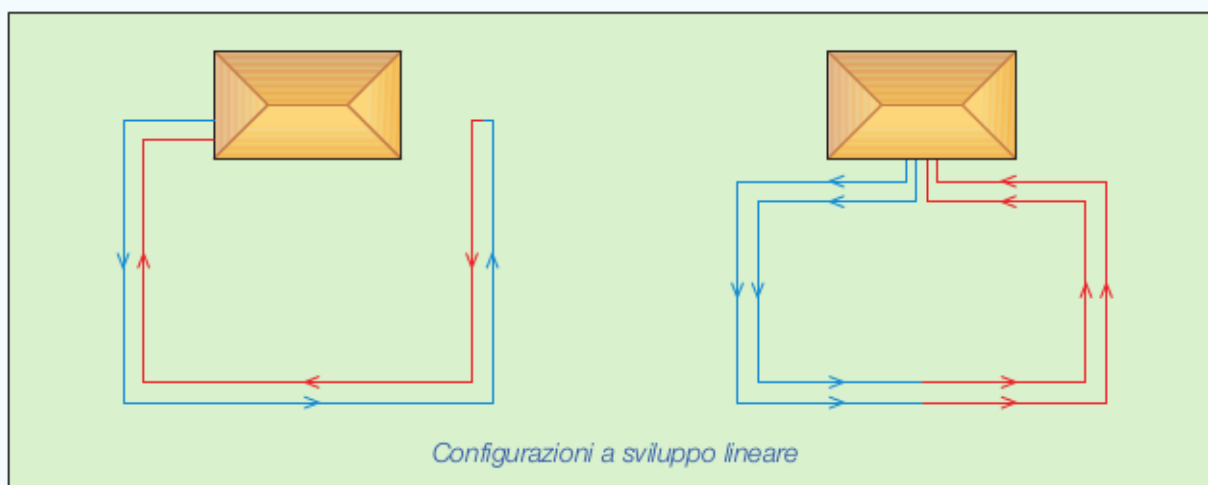
Rendimenti specifici
approssimativi dei tubi

Tipo sottosuolo	(W/m)
terreno sabbioso secco	3,6 – 5,4
terreno sabbioso umido	5,4 – 7,2
terreno argilloso secco	7,2 – 9,0
terreno argilloso umido	9,0 – 10,8
terreno saturo d'acqua	10,8 – 14,4

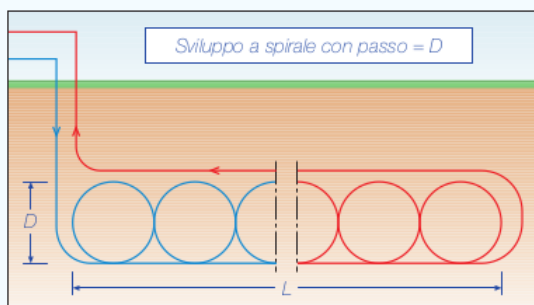
SCAMBIATORI 3 ANELLI

Rendimenti specifici
approssimativi dei tubi

Tipo sottosuolo	(W/m)
terreno sabbioso secco	3,2 – 4,8
terreno sabbioso umido	4,8 – 6,4
terreno argilloso secco	6,4 – 8,0
terreno argilloso umido	8,0 – 9,6
terreno saturo d'acqua	9,6 – 12,8

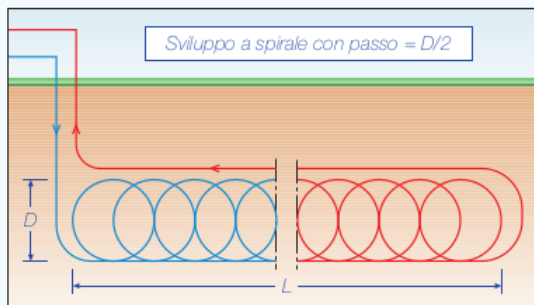
**- Scambiatori a spirale**

Sono realizzati con tubi di materiale plastico i cui diametri variano da 16mm a 22mm con profondità di posa compresa tra 1m÷ 2,5m; le spirali sono formate con cerchi di diametro D tra loro sovrapposti. Gli scambiatori possono essere posti in opera sia in scavi a trincea con profondità 1÷2,5 m , che in scavi di sbancamento con profondità 1÷1,5 m ; le spirali per evitare eccessive captazioni di energia termica e quindi per non raffreddare il terreno vanno disposte ad interasse $>2,5$ m



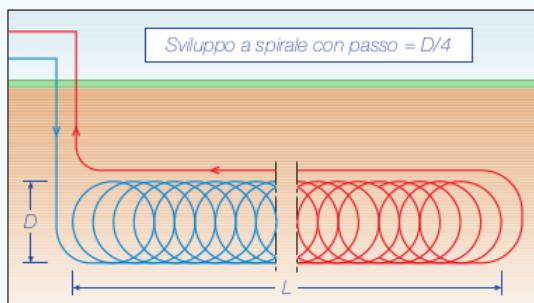
SPIRALE CON PASSO = D
 Rendimenti specifici approssimativi
 superficie terreno

Tipo sottosuolo	(W/m^2)
terreno sabbioso secco	7–10
terreno sabbioso umido	10–13
terreno argilloso secco	13–16
terreno argilloso umido	16–20
terreno saturo d'acqua	20–26



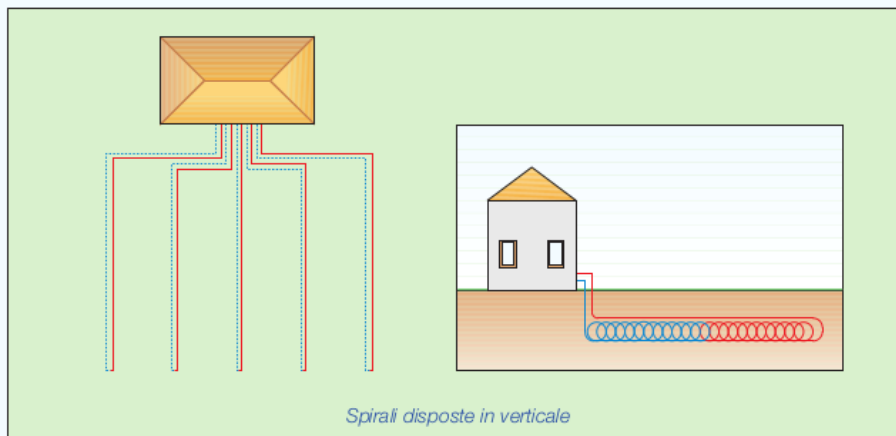
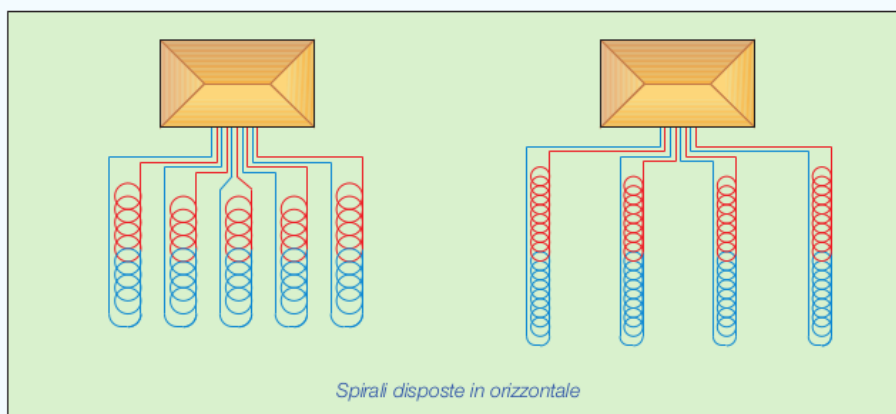
SPIRALE CON PASSO = $D/2$
 Rendimenti specifici approssimativi
 superficie terreno

Tipo sottosuolo	(W/m^2)
terreno sabbioso secco	9–13
terreno sabbioso umido	13–17
terreno argilloso secco	17–21
terreno argilloso umido	21–26
terreno saturo d'acqua	26–34



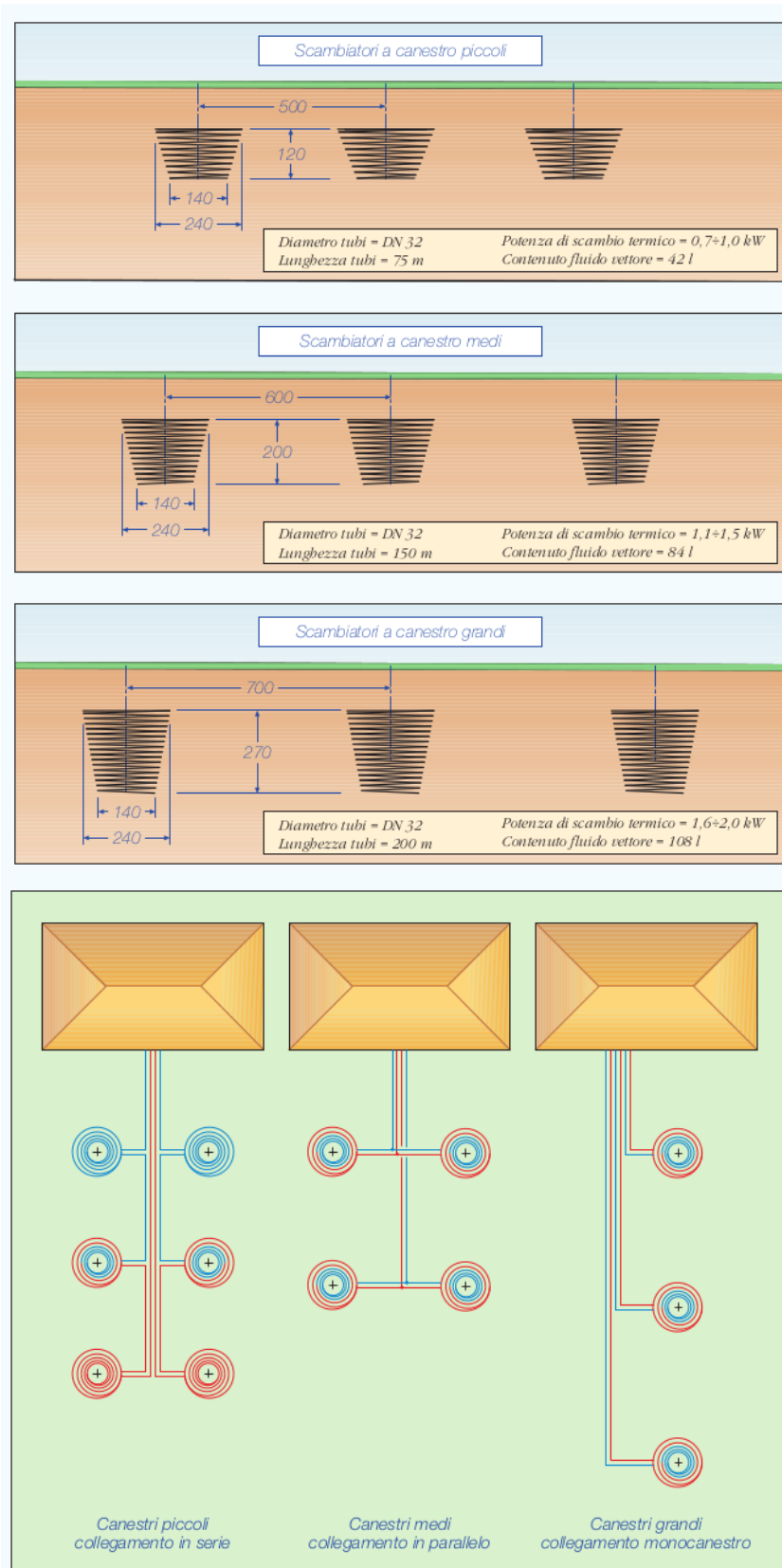
SPIRALE CON PASSO = $D/4$
 Rendimenti specifici approssimativi
 superficie terreno

Tipo sottosuolo	(W/m^2)
terreno sabbioso secco	10–15
terreno sabbioso umido	15–20
terreno argilloso secco	20–25
terreno argilloso umido	25–30
terreno saturo d'acqua	30–40



Scambiatori a canestri

Sono realizzati con tubi di polietilene fissati ad armature in ferro o in plastica, la cui sommità è in genere posta ad una profondità di circa 150 cm; i canestri hanno forma cilindrica o conica e possono essere preassemblati o realizzati direttamente in cantiere.



-Scambiatori a media profondità

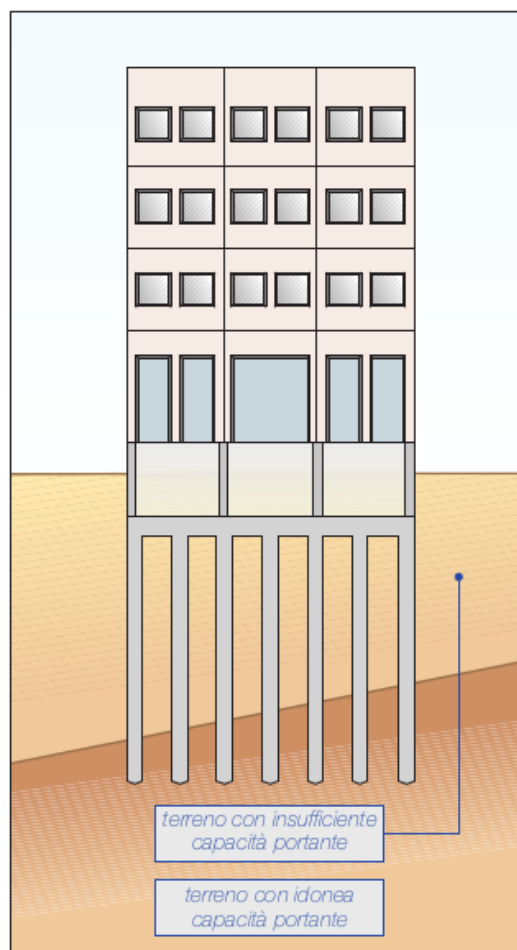
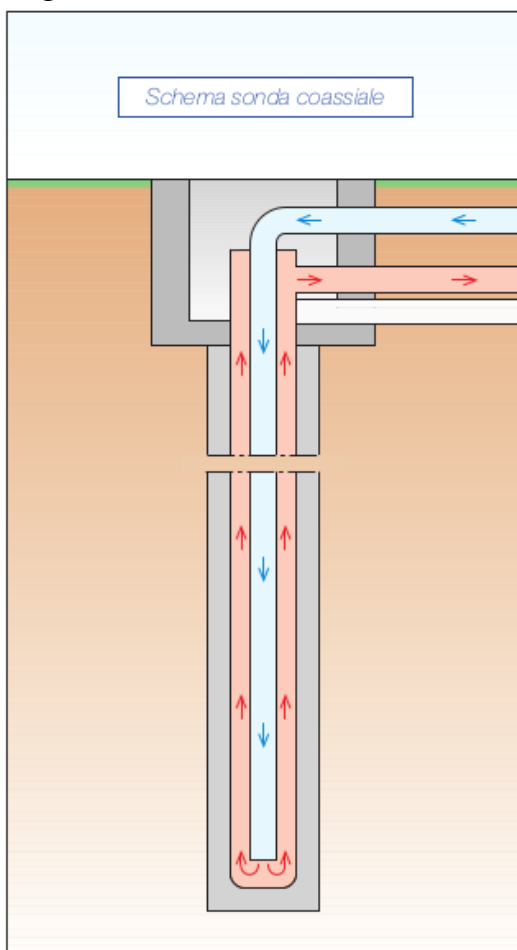
Possono essere realizzati con tubi metallici o in polietilene disposti in direzione verticale fino ad una profondità di 25m÷30 m; possono rappresentare una valida alternativa ad altre tipologie di scambiatori soprattutto quando la superficie non basta a derivare dal terreno il calore richiesto. I tubi possono essere annegati nei pali di fondazione o sono delle sonde verticali o di tipo coassiale.

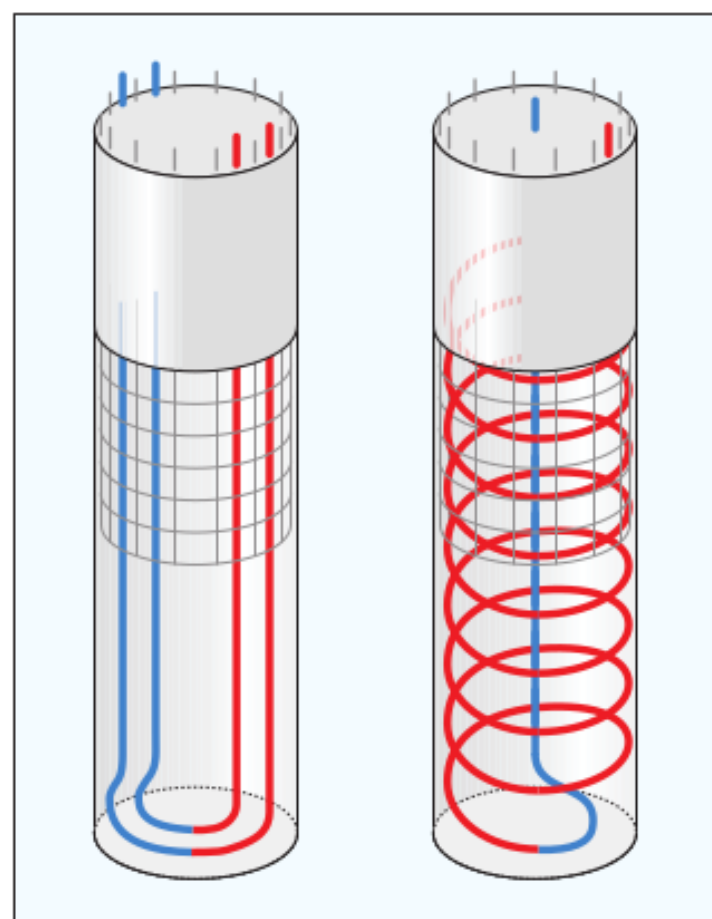
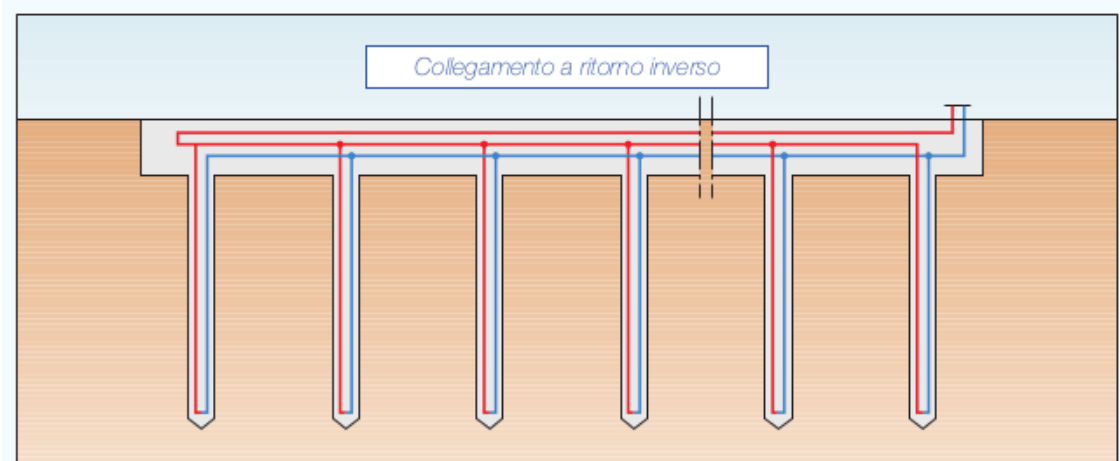
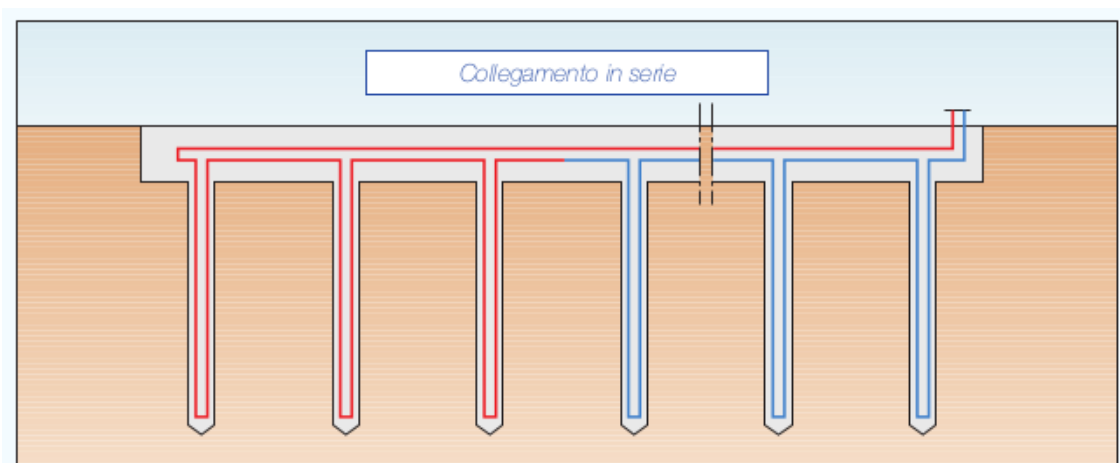
- Sonde verticali coassiali

Sono realizzate con due tubi coassiali, il tubo interno serve a convogliare il fluido di ritorno dalle pompe di calore, il tubo esterno scambia calore con il terreno. Per aumentare lo scambio termico e proteggere le falde acquifere, le sonde coassiali sono poste in opera con “camicie” di cemento e bentonite. I tubi esterni in acciaio inox servono ad evitare corrosioni dovute a correnti vaganti e a far sì che le sonde possano opporre una buona resistenza meccanica alle sollecitazioni esercitate dal terreno.

-Pali di fondazione

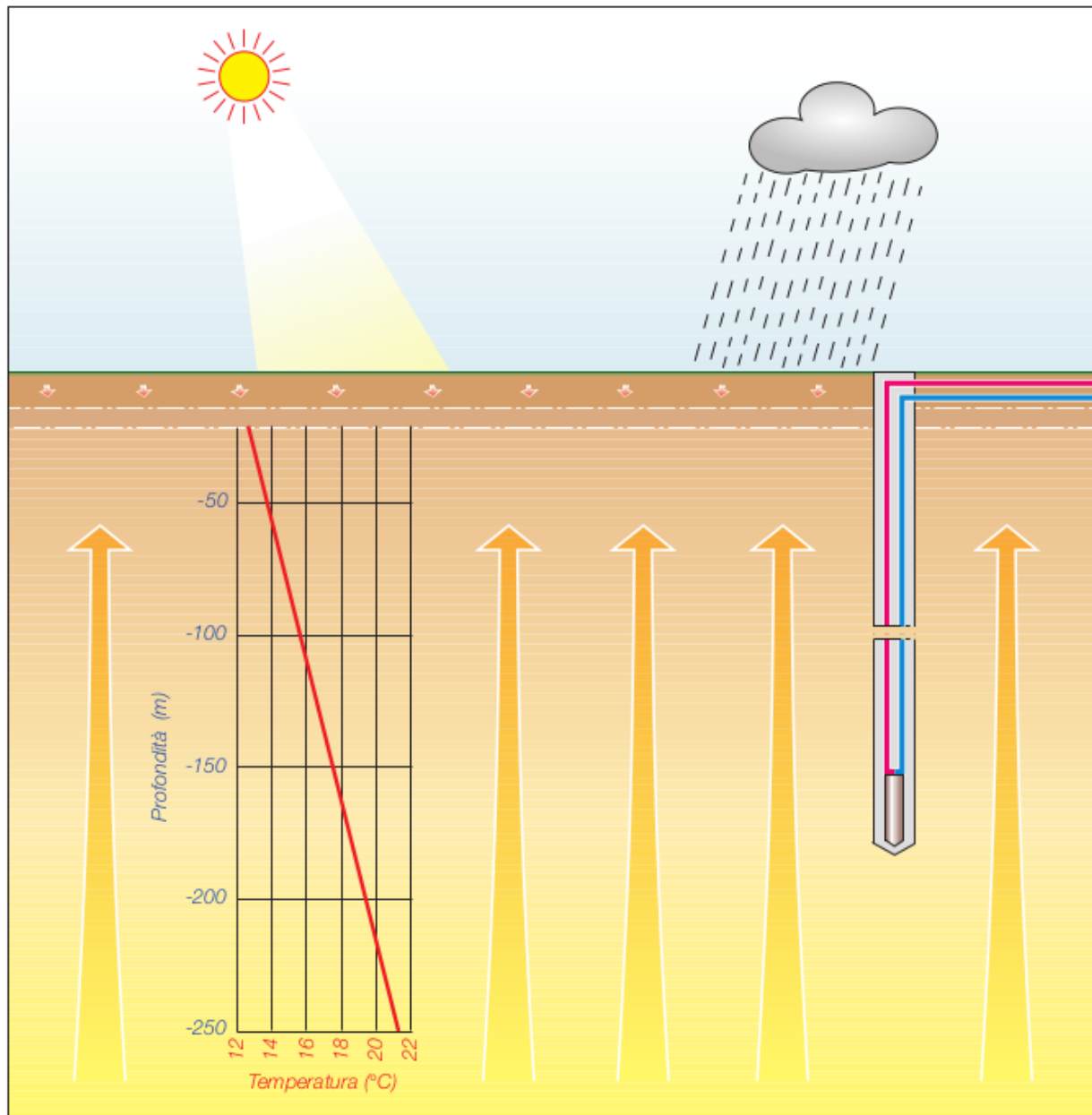
Nei pali di fondazione sono inseriti tubi ad U o a spirale; i tubi sono collegati alle pompe di calore con circuiti in serie o di tipo compensato a ritorno inverso. Le rese termiche sono analoghe a quelle degli scambiatori ad alta profondità; Il vantaggio di questo sistema risiede nella posizione dei tubi sotto il nostro edificio senza impegnare spazi adiacenti di terreno.





-Scambiatori ad alta profondità

Questi scambiatori sono realizzati con tubi disposti in verticale fino ad una profondità di 100 m ÷ 120 m ma possono scendere fino ai 200 m; con la profondità aumenta la resa termica delle sonde poiché la temperatura del terreno aumenta di 3° ogni 100 m di profondità. Questi scambiatori sono posti in opera con fori il cui diametro varia da 100 mm a 150 mm.



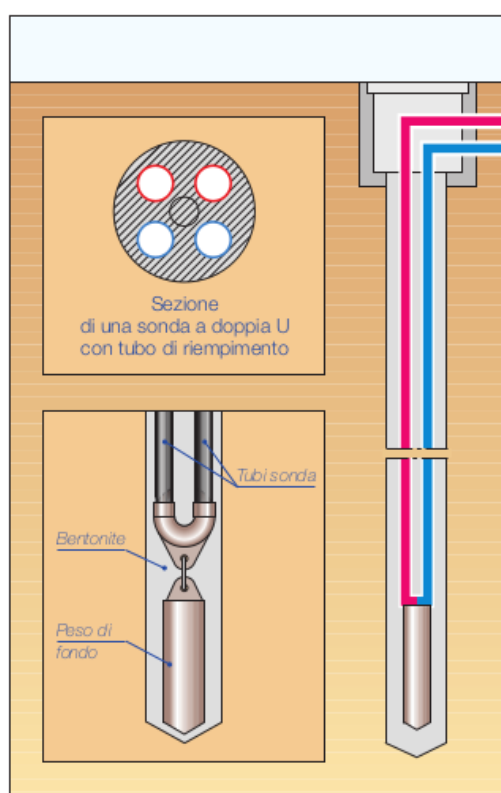
Nei fori, sono inseriti **uno o due circuiti ad U**, realizzati con tubi in **PE-Xa**, **specifici per queste applicazioni particolarmente impegnative**, dato che le profondità in gioco comportano pressioni, sia interne che di schiacciamento, molto elevate. Per rendere più facile l'inserimento dei tubi nei fori si usano zavorre, di circa 15-20 Kg, costituite da pesi a perdere. Inoltre, per mantenere le giuste distanze fra i tubi si ricorre all'uso, ogni 7-8 m di appositi distanziatori

Il vuoto tra le pareti dei fori e i tubi è riempito con una sospensione a base di cemento e sostanze inerti. La sospensione è iniettata dal basso verso l'alto con l'aiuto di un tubo supplementare inserito nel foro della sonda.

Rese termiche specifiche per sonde geotermiche

Tipo sottosuolo	Conducibilità termica (W/mK)	Potenza estraibile (W/m)	
		1800 ore	2400 ore
Valori guida generali:			
Sottosuolo povero (sedimento secco)	<1,5	25	20
Rocce e terreni sciolti saturi d'acqua	1,5-3,0	60	50
Rocce ad alta conduttività termica	> 3,0	84	70
Tipologia roccia/terreno:			
Ghiaia, sabbia, asciutta	0,4	< 25	< 20
Ghiaia, sabbia, saturi d'acqua	1,8-2,4	65-80	55-65
Argilla, terriccio, umido	1,7	35-50	30-40
Calcere (massiccio)	2,8	55-70	45-60
Arenaria	2,3	65-80	55-65
Magmatite silicea (ad esempio, granito)	3,4	65-85	55-70
Magmatite basica (ad esempio, basalto)	1,7	40-65	35-55
Gneiss	2,9	70-85	60-70

- estrazione del solo calore
- la lunghezza della singola sonda deve essere compresa tra 40 e 100 m
- la distanza più piccola tra due sonde geotermiche deve essere:
 - almeno 5 m per le lunghezze foro scambiatore di calore da 40 a 50 m
 - almeno 6 m per le lunghezze foro scambiatore di calore > 50 m a 100 m
- sonde geotermiche con tubi a doppio U con DN 20, 25 o DN 32 o sonde coassiali con un diametro minimo di 60 mm
- non applicabile per un'alta concentrazione di sonde su una zona limitata



Le sonde vanno poste ad una distanza dall'edificio di circa 4-5 metri e per non creare della interferenza tra le sonde verticali vanno disposte ad interasse superiore ad 8 m.

7- Il progetto di un impianto geotermico per edilizia residenziale

Si esegue il progetto di un impianto geotermico per un edificio a due piani sito nel comune di Castel di Sangro con un appartamento per piano della superficie di circa 95 mq del quale si conoscono i fabbisogni di energia per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria ; non si ha bisogno di energia per il raffrescamento poiché in zone di montagna le abitazioni sono già di per se abbastanza fresche. La stratigrafia del terreno la ricaviamo da un carta geologica tramite una sezione verticale relativa al sito o luogo dove verrà costruito il nostro edificio. Si ipotizza che il nostro terreno sia costituito da

*Terreno di riporto argilla 2 m
Marne argillose 20 m
Calcari 30 m*

Eseguiamo il progetto per due tipologie di impianti

- sonde verticali media profondità*
- sonde orizzontali*

tramite un software per impianti geotermici di edilclima Versione trial . Riportiamo la relazione di calcolo per la sola prima di tipologia di impianto

DATI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ

Caratteristiche geografiche

Località **Castel di Sangro**
 Provincia **L'Aquila**
 Altitudine s.l.m. **793** m
 Latitudine nord **41° 47'** Longitudine est **14° 6'**
 Gradi giorno **2676**
 Zona climatica **E**

Località di riferimento

per la temperatura **L'Aquila**
 per l'irradiazione I località: **L'Aquila**
 II località: **Isernia**
 per il vento **L'Aquila**

Caratteristiche del vento

Regione di vento: **B**
 Direzione prevalente **Sud-Est**
 Distanza dal mare **> 40** km
 Velocità media del vento **1,7** m/s
 Velocità massima del vento **3,4** m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto **-5,5** °C
 Stagione di riscaldamento convenzionale dal **15 ottobre** al **15 aprile**

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto **29,0** °C
 Temperatura esterna bulbo umido **20,7** °C
 Umidità relativa **47,8** %
 Escursione termica giornaliera **10** °C

Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	1,5	3,1	6,6	10,9	14,5	18,6	21,5	21,3	18,1	12,6	7,7	3,3

CARATTERISTICHE TERMICHE E FISICHE DEL SOTTOSUOLO

secondo VDI 4640 2000 - prUNI

Stratigrafia:

Spessore totale	33,0	m
Diffusività media	10,83	$10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Conducibilità termica media	2,464	W/mK
Massa volumica media	2506	kg/m ³
Capacità termica media	2,43	MJ/m ³ K



N.	Descrizione strato	s [m]	λ [W/mK]	M.V. [kg/m ³]	C.T. [MJ/m ³ K]
1	Argilla/limo saturo	3,0	1,4	1399	2,9
2	Marna	10,0	2,1	2550	2,3
3	Calcare	20,0	2,8	2650	2,3

Legenda simboli

s	Spessore dello strato
λ	Conducibilità termica dello strato
M.V.	Massa volumica dello strato
C.T.	Capacità termica dello strato

DATI DI INPUT

Fabbisogni termici/frigoriferi di progetto

Mese	FABBISOGNI TERMICI		FABBISOGNI ACS	ENERGIA TERMICA	FABBISOGNI FRIGORIFERI		ENERGIA FRIGORIFERA
	$Q'_{h, hp \text{ out}}$ [kWh]	$Q'_{p, \text{ vari I}}$ [kWh]	$Q'_{p, \text{ ACS}}$ [kWh]	$Q_{h, hp \text{ out}}$ [kWh]	$Q'_{c, hp \text{ out}}$ [kWh]	$Q'_{p, \text{ vari E}}$ [kWh]	$Q_{c, hp \text{ out}}$ [kWh]
Gennaio	2800	-	500	3300	-	-	-
Febbraio	2100	-	500	2600	-	-	-
Marzo	1700	-	500	2200	-	-	-
Aprile	350	-	500	850	-	-	-
Maggio	0	-	500	500	-	-	-
Giugno	0	-	500	500	-	-	-
Luglio	0	-	500	500	-	-	-
Agosto	0	-	500	500	-	-	-
Settembre	0	-	500	500	-	-	-
Ottobre	200	-	500	700	-	-	-
Novembre	1500	-	500	2000	-	-	-
Dicembre	2500	-	500	3000	-	-	-
TOTALI	11150	-	6000	17150	-	-	-

Legenda simboli

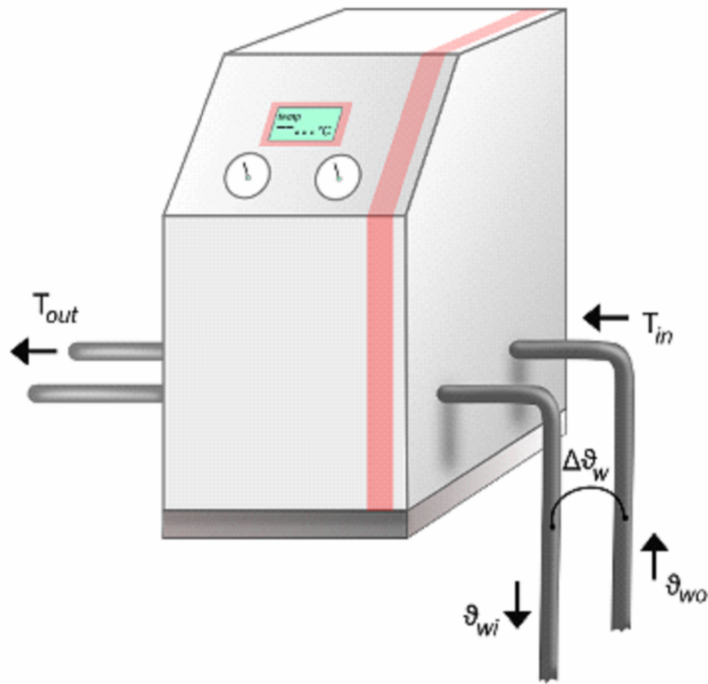
$Q'_{h, hp \text{ out}}$	Fabbisogno di energia termica mensile fornita dalla pompa di calore
$Q'_{p, \text{ vari I}}$	Energia termica fornita dal sottosistema di generazione per usi di processo
$Q'_{p, \text{ ACS}}$	Fabbisogno di energia mensile per la produzione di acqua calda sanitaria
$Q_{h, hp \text{ out}}$	Fabbisogno di energia termica totale fornita dalla pompa di calore
$Q'_{c, hp \text{ out}}$	Fabbisogno di energia frigorifera mensile fornita dalla pompa di calore
$Q'_{p, \text{ vari E}}$	Energia frigorifera fornita dal sottosistema di generazione per usi di processo
$Q_{c, hp \text{ out}}$	Fabbisogno di energia frigorifera totale fornita dalla pompa di calore

Dettagli pompa di calore

Marca/Serie/Modello

Caratteristiche in riscaldamento:

Potenza nominale	$Q'_{h, hp \text{ outD}}$	12,00	kW
COP nominale		5,03	
Temperatura mandata PdC nominale	T_{out}	35,0	°C
Temperatura ingresso PdC nominale	T_{in}	2,0	°C
Temperatura mandata PdC di progetto	T_{out}	35,0	°C
Differenza Temperatura scambiatore	$\Delta\theta_{gw}$	11,0	°C
Salto termico del fluido	$\Delta\theta_w$	3,0	°C



Fabbisogni elettrici:

Potenza media degli ausiliari	1000	W
Potenza elettrica pompe circolazione	1580	W

Caratteristiche fluido:

Tipologia	Soluzione acqua-glicole etilenico	
Concentrazione	10	%
Calore specifico	4,03	kJ/kgK
Temperatura di congelamento	-3,00	°C
Massa volumica	1010,99	kg/m ³
Conducibilità termica	0,57	W/mK

Parametri di funzionamento

Flusso termico annuale	Q_a	1553	W
------------------------	-------	-------------	---

Riscaldamento

Ore di funzionamento a pieno carico	T_h	1429	n° ore
Prestazione pompa di calore	COP_{reale}	4,83	
Temperatura uscente dallo scambiatore	θ_{wo}	0,6	°C
Temperatura entrante nello scambiatore	θ_{wi}	-2,4	°C
Fattore di carico parziale	PLF_m	0,38	

Dettagli impianto

Caratteristiche scambiatore di calore a terreno:

Tipologia **Scambiatori verticali a doppia U**
Disposizione scambiatore **Centrale**
Interasse tubazione **0,000** m
Coefficiente Scambio termico **170,000** W/m²K

Denominazione	Materiale	Cond. [W/mK]	Φ int. [mm]	Φ est. [mm]
<i>UNI 7990:2004 - Tubi di PE - bd - PN10</i>	<i>PE</i>	<i>0,40</i>	<i>23</i>	<i>32</i>

Caratteristiche tubazione di perforazione:

Rimozione tubazione al termine della perforazione ☒ Sì ☐ No

Denominazione	Materiale	Cond. [W/mK]	Φ int. [mm]	Φ est. [mm]
<i>Tubazione in acciaio per perforazioni teleguidate</i>	<i>Acciaio</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Caratteristiche materiale di riempimento:

Tipologia **Bentonite (30%)**
Conduttività termica **0,740** W/m²K

Configurazione a terreno:

Numero di perforazioni **2**
Disposizione delle perforazioni
Distanza tra gli scambiatori **0,0** m

Legenda simboli

Cond. Conduttività termica del materiale
Φ int. Diametro interno della tubazione
Φ est. Diametro esterno della tubazione

PRINCIPALI RISULTATI DI CALCOLO

Secondo prUNI

Dimensionamento scambiatori:

Lunghezza totale **40** m
 n° scambiatori **2**
 Lunghezza scambiatore singolo **19,9** m
 $\lambda_{\text{corretto}}$ del terreno **2,2** W/mK

Riscaldamento

Portata totale degli scambiatori **46,70** l/min
 Perdita di carico dello scambiatore **0,06** bar
 COP/EER di calcolo **4,83**
 Δt di calcolo **-0,9** °C
 Velocità fluido negli scambiatori **0,46** m/s
 Numero di Reynolds **10797**
 Regime fluido **Turbolento**

Mese	STAGIONE DI RISCALDAMENTO		
	T_h [n° ore]	$PLF_{m, hD}$ [kWh]	E_h [kWh]
Gennaio	275	0,38	1392,6
Febbraio	217	0,30	1097,2
Marzo	183	0,25	928,4
Aprile	71	0,10	358,7
Maggio	42	0,06	211,0
Giugno	42	0,06	211,0
Luglio	42	0,06	211,0
Agosto	42	0,06	211,0
Settembre	42	0,06	211,0
Ottobre	58	0,08	295,4
Novembre	167	0,23	844,0
Dicembre	250	0,34	1266,0
COMPLESSI-VI	1429	0,38	7237,1

Legenda simboli

$\lambda_{\text{corretta}}$ Conduttività termica del terreno equivalente ad una profondità pari alla lunghezza degli scambiatori
 Δt Differenziale di temperatura tra ingresso e uscita fluido dalla scambiatore
 T_h Numero di ore equivalenti di funzionamento a pieno carico dell'impianto di riscaldamento
 $PLF_{m, hD}$ Fattore di carico parziale dell'impianto di riscaldamento
 E_h Consumo elettrico dell'impianto di riscaldamento (pompa di calore, pompa di circolazione e ausiliari)

8- Le biomasse

Le biomasse sono costituite da materia vegetale che viene usata come combustibile per la produzione di energia. Le biomasse principali sono: legna, residui agricoli e forestali, scarti dell'industria alimentare, barbabietole e altre specie vegetali (coltivate per ricavarne combustibili come l'etanolo). Tali fonti di energia sono rinnovabili poiché il loro consumo è inferiore al tasso di ricrescita ; la deforestazione gli incendi possono essere di una tale grandezza che tale fonte di energia è da ritenersi non rinnovabile.

Gli impianti per la produzione di energia termica possono avere differenti tipologie di alimentazione :

-Biomasse legnose

-Biomasse ligno-cellulosiche

-Biogas

-Olio vegetale

- Biomasse legnose

*La combustione del legno avviene essenzialmente in 3 stadi in funzione della temperatura del processo, quali **Essiccazione, Degradazione, Combustione**.*

*Il contenuto di acqua è importante per la combustione del legno infatti ciò che si mette ad ardere è la legna secca e non la legna fresca poiché l'umidità in essa presente rallenta la combustione .L'acqua inizia ad evaporare per valori della temperatura inferiori ai 100° C, per cui l'umidità ovvero il contenuto idrico del legno è uno dei parametri più significati per la combustione e quindi il suo potere calorifico ovvero la capacità di generare energia termica e quindi aumentare la temperatura. A temperature intorno ai 200° C inizia la fase di degradazione che porta alla evaporazione della componente volatile del legno ; la combustione Consiste nella completa ossidazione dei gas, una fase che inizia tra i 500 e i 600°C e si protrae fino ai 1000°C circa. Nel range 800-900°C il carbone solido e combusto e con lui anche il catrame.La qualità della combustione e legata a tre fattori fondamentali: **Tempo, Temperatura e Turbolenza**.La mancanza di adeguate condizioni causa la combustione incompleta del legno e quindi aumentano le emissioni nocive. La combustione incompleta e causata principalmente dalle seguenti condizioni negative:*

- inadeguata mescolanza tra aria e combustibile nella camera di combustione;*
- una carenza complessiva di ossigeno disponibile;*
- temperatura di combustione troppo bassa;*
- tempi di permanenza troppo corti.*

Il problema fondamentale sono quindi le emissioni nocive ovvero le percentuali di ossido di carbonio di azoto e di anidride carbonica immesse nell'atmosfera soprattutto oggi che si parla di cambiamenti climatici. Si tollera la combustione delle specie legnoso ed il conseguente inquinamento dell'atmosfera poiché con l'uso delle biomas-

se diminuiscono a livello globale le emissioni di gas serra , poiché la combustione del legno è più inquinante della combustione del gas metano .

Fonte inquinante	Consumi	Unità di misura	COV	NOx	PM ₁₀
			kg/anno	kg/anno	kg/anno
automobile media	15000	km/anno	5,4	7,9	0,7
mezzo pesante medio	35000	km/anno	48,7	235,5	11,9
camino aperto	4,0	t/anno	117,0	4,2	20,9
stufa tradizionale	4,0	t/anno	46,0	4,2	10,5
camino chiuso	4,0	t/anno	46,0	4,2	10,5
stufa innovativa	3,5	t/anno	20,1	0,8	1,9
stufa a pellets	3,5	t/anno	4,0	3,7	2,6
emissioni medie per famiglia	2488	m ³ /anno	0,2	1,4	0,0

-Biomasse ligno-cellulosiche

Questi impianti, oltre a produrre calore, realizzano la trasformazione dell'energia termica in elettrica: sono quindi caratterizzati dalla presenza di un bruciatore ove la biomassa produce calore ed un vettore energetico utilizzato per far funzionare un motore termico, che aziona a sua volta un alternatore.

La trasformazione energetica avviene solitamente in due tempi: il calore primario generato dall'impianto termico viene trasportato da un vettore energetico nel motore esotermico (così detto perché i due processi, termico e meccanico, sono fisicamente separati), direttamente collegato al generatore di corrente elettrica.

Nel solo caso della gassificazione non tutta l'energia termica viene prodotta nella prima fase del processo, ma soltanto quella necessaria per trasformare la biomassa solida in composti volatili (gas di sintesi, noti anche come "syngas").

Questi sono una miscela eterogenea di composti di diversa qualità energetica (monossido di carbonio, metano, idrogeno ecc.) che viene sottoposto ad una successiva combustione all'interno di un motore endotermico, destinato ad azionare il generatore elettrico .Caratteristica comune a questi processi sono le tipologie delle biomasse utilizzate, che devono essere sottoposte a combustione e quindi avere precise proprietà tecnologiche: quando sono destinate ad azionare motori esotermici la combustione è completa, mentre viene definita incompleta (pirolisi) quando si vuole produrre gas di sintesi.

-Biogas

Il biogas lo si produce nelle aziende zootecniche e deriva dalla digestione anaerobica del letame in apposito impianto denominato digestore. La digestione anerobica è un processo biologico, attraverso il quale la sostanza organica presente nelle biomasse, in condizioni di assenza di ossigeno (anaerobiosi), viene trasformata in metano (CH₄) ed anidride carbonica (CO₂), i principali costituenti del biogas. Il processo di digestione avviene in fasi distinte (figura 5.39), ma interdipendenti tra di loro, ad ognuna delle quali sono associati diversi gruppi di microrganismi. Nelle prime fasi attraverso i processi di idrolisi, acidogenesi e acetogenesi, la sostanza organica complessa (carboidrati, proteine, grassi, ecc.) viene trasformata in molecole semplici, quali acido acetico, anidride carbonica ed idrogeno, ad opera rispettivamente di batteri idrolitici, fermentanti e acetogenici. Nell'ultima fase – la metanogenesi – tali composti sono trasformati in CH₄ e CO₂, da parte dei microrganismi metanigeni. La conversione a biogas della sostanza organica può variare entro un ampio intervallo, compreso tra il 40% e il 95%, in funzione delle biomasse utilizzate, delle condizioni di processo e del tempo disponibile per la degradazione.

Tab. 5.12. Caratteristiche del biogas

Metano	50-75%
Anidride carbonica (CO ₂)	25-45%
Idrogeno (H ₂)	1-10%
Azoto (N ₂)	0,5-3,0%
Monossido di carbonio (CO)	0,1%
Idrogeno solforato (H ₂ S)	0,02-0,2%
Acqua (H ₂ O)	Saturazione
Potere Calorifico Inferiore (P.C.I.)	18,8-21,6 MJ/Nm ³

Le matrici impiegate per la produzione di biogas (substrati) sono biomasse ricche in sostanza organica. Tradizionalmente i principali substrati utilizzati sono stati i fanghi di depurazione ed in una fase successiva gli effluenti zootecnici. Oggi l'impiego anche di altre biomasse (anche in co-digestione) con una maggiore densità energetica, quali colture dedicate, residui colturali e scarti agro-alimentari, consente di aumentare la produzione energetica e l'efficienza complessiva degli impianti.

Le principali matrici di provenienza agricola e agro-industriale sono:

Effluenti zootecnici

La produzione di biogas da effluenti zootecnici di allevamento dipende non solo dalla specie allevata, ma anche da altri fattori quali lo stadio di accrescimento e la modalità di stabulazione. Sono principalmente impiegati gli effluenti di bovini (liquame/letame) e i liquami suini. Meno diffuso è l'utilizzo della pollina che presenta alcune criticità (elevata concentrazione di azoto, presenza di "marmorino", ecc.).

Residui colturali

Si tratta di residui provenienti dai raccolti agricoli quali foraggi, frutta e vegetali di scarsa qualità, percolati e da silos e paglia che possono essere addizionati come co-substrati alle deiezioni animali.

Colture dedicate

In questo caso si considerano colture dedicate quelle piante specificatamente coltivate per l'avvio alla digestione anaerobica per la produzione di biogas. Nel Centro-Nord si prestano alla produzione di biogas le colture da insilato quali mais ceroso, sorgo, triticale, segale, loiessa. Nel Centro-Sud, dove la disponibilità di acqua è più limitata, si può far ricorso a cereali autunno vernini (grano, orzo, triticale), oppure a colture a ciclo primaverile-estivo, con basse esigenze idriche (sorgo, girasole). La convenienza nel loro utilizzo deve essere valutata in funzione del costo di approvvigionamento, della possibilità di stoccaggio e della disponibilità di superfici per la distribuzione del digestato.

Scarti/sottoprodotti

L'industria agro-alimentare lavora ingenti quantità di prodotti agricoli e produce reflui che spesso sono avviabili alla digestione anaerobica. Alcuni esempi sono il siero di latte dell'industria casearia, i reflui liquidi dell'industria di lavorazione della frutta, gli scarti organici di macellazione dell'industria della carne. Queste matrici possono essere addizionate come cosubstrati nella digestione di liquami zootecnici.

In merito all'impiego di sottoprodotti agro-industriali in ogni caso è fondamentale una valutazione attenta sia degli aspetti tecnici (modalità di conservazione, di alimentazione, i dosaggi, ecc.), sia degli aspetti formali che ne derivano (l'inquadramento normativo ed autorizzativo, la classificazione e l'impiego del digestato, ecc.).

La resa energetica dei vari substrati è strettamente legata alla quantità e alla qualità della sostanza organica in essi contenuta; sono questi infatti a condizionare la resa specifica di conversione in biogas e la percentuale in metano.

-Olio vegetale

Il comparto agricolo svolge ad oggi un ruolo fondamentale nella produzione di combustibili da biomassa in quanto è in grado di offrire un'ampia gamma di materiali che possono essere impiegati a fini energetici. Tra i prodotti che stanno attirando l'interesse del settore agricolo dal punto di vista energetico ci sono quelli derivanti dalle colture per la produzione di oli vegetali, che rappresentano una delle potenziali materie prime da cui ricavare il combustibile da impiegare per la produzione di energia elettrica e/o termica e per i trasporti. L'olio vegetale puro è stato riconosciuto in Italia come carburante con il Decreto Legislativo 30 maggio 2005 n. 128 che recepisce la Direttiva Europea 2003/30/CE, in cui viene definito "olio prodotto da piante oleaginose mediante pressione, estrazione o processi analoghi, greggio o raffi nato ma chimicamente non modificato, qualora compatibile con il tipo di motore usato e con i corrispondenti requisiti in materia di emissioni". Tra le fonti energetiche sulle quali fare affidamento per il raggiungimento degli obiettivi imposti dall'Europa entro il 2020 (introduzione obbligatoria del 10% di biocombustibili in contenuto energetico) e quindi annoverato anche l'impiego di olio vegetale puro (Direttiva 2009/28/CE). La produzione di olio vegetale tal quale avviene attraverso la spremitura di semi di piante oleaginose quali colza, girasole e soia (in ambito europeo) cui seguono diverse operazioni mirate alla rimozione delle sostanze inquinanti (acqua, impurità, fosforo, ecc). L'ottenimento dell'olio può avvenire secondo due principali modalità: in impianti industriali, con estrazione meccanica seguita da estrazione chi-

mica tramite solvente, o in impianti di piccola scala (decentralizzati) con la sola estrazione meccanica. L'impiego di olio vegetale come combustibile nei motori può avvenire in due modi: da un lato è possibile trasformare l'olio vegetale mediante trans-esterificazione in combustibile biodiesel (utilizzabile in purezza o in miscela con altri combustibili fossili senza l'adozione di modifiche ai motori impiegati); per contro è possibile utilizzarlo tal quale in impianti di cogenerazione (per la produzione di energia elettrica e termica) o in motori Diesel opportunamente adattati all'impiego di olio vegetale puro con l'installazione di un kit di modifica.

A fronte della possibilità di ottenere e reimpiegare l'olio vegetale tal quale come biocombustibile in azienda, ad oggi la filiera agricola può assumere un ruolo particolarmente interessante. In questo modo è possibile ottenere una produzione decentralizzata su piccola scala di biocarburante per l'impiego nei cogeneratori o nei motori agricoli da autotrazione, a seguito di investimenti relativamente contenuti.

La filiera agricola permette di adottare un modello consortile, dove il servizio di spremitura è funzionale da una parte all'ottenimento di un biocombustibile immediatamente utilizzabile come fonte energetica, dall'altra alla produzione di un pannello proteico risultante dalla spremitura a freddo del seme, che può essere impiegato nell'alimentazione zootecnica o, a sua volta, ai fini energetici. Il pannello proteico costituisce i 2/3 del risultato della spremitura e costituisce un'interessante fonte integrativa del reddito aziendale. Quella dell'olio vegetale puro è quindi una filiera energetica corta, che sfrutta tecnologie consolidate, con produzioni, energetiche e non, diversificate ed è inoltre caratterizzata da elevati livelli di efficienza energetica complessivi; si tratta di una filiera prontamente attuabile da parte di quella imprenditoria agricola che voglia differenziare le proprie produzioni. Sostanzialmente la filiera può essere suddivisa in fasi distinte:

- la coltivazione della coltura oleaginosa (colza, girasole, soia, ecc.) ed il condizionamento del seme oleoso ottenuto;*
- la spremitura meccanica dei semi e la filtrazione dell'olio vegetale grezzo; in questa fase si ottiene un importante sottoprodotto, il pannello proteico;*
- l'utilizzo energetico dell'olio vegetale e la destinazione zootecnica, energetica o altro del pannello proteico.*

9- Impianti di riscaldamento a biomasse

Ciò che a noi interessa è un impianto di riscaldamento autonomo a biomasse con una termostufa o termocamino in grado di fornire il calore necessario per far fronte al fabbisogno di energia per il riscaldamento nel periodo invernale. Per la produzione di acqua calda sanitaria necessaria anche nel periodo estivo si utilizzerà uno scaldacqua elettrico quindi è opportuno integrare l'impianto a biomasse con un impianto fotovoltaico. Pensare di produrre energia elettrica dalle biomasse per un impianto domestico autonomo è forse un pò azzardato. Per la combustione delle specie legnose esistono due tipologie di caldaie , termocamini, termostufe

-Caldaie a pellet

-Caldaie a cippato

le quali possono avere un design gradevole e si integrano perfettamente nel soggiorno delle nostre abitazioni soprattutto se sono zone di montagna. Riportiamo le schede tecniche di una termostufa ed uno schema dell'impianto di riscaldamento.

STUFA A PELLET AD ALTA EFFICIENZA MOD. 12 CANALIZZATA

Telecomando



H20-P-006/2017
certificazioneariapulita.it

DUCTED



Colori



Bianco



Nero



Bordeaux

280
m³

DATI TECNICI

Mod. 12C

Potenza globale (max - min)	kW	12,01 - 3,04
Potenza nominale (max - min)	kW	11,14 - 2,92
Consumo orario di pellet (max - min)	kg - h	2,45 - 0,62
Efficienza (max - min)	%	95,93 - 92,74
Condotto scarico fumi	ø mm	80
Capacità serbatoio pellet	lt - kg	29 - 19
Autonomia (max - min)	h	30 - 8
Potenza elettrica di esercizio	W	100 - 300
Dimensioni (L x P x H)	mm	1100 x 249 x 1000
Peso	kg	120

Tutti i dati e le immagini sono indicativi e provvisori e soggetti a modifiche senza preavviso.

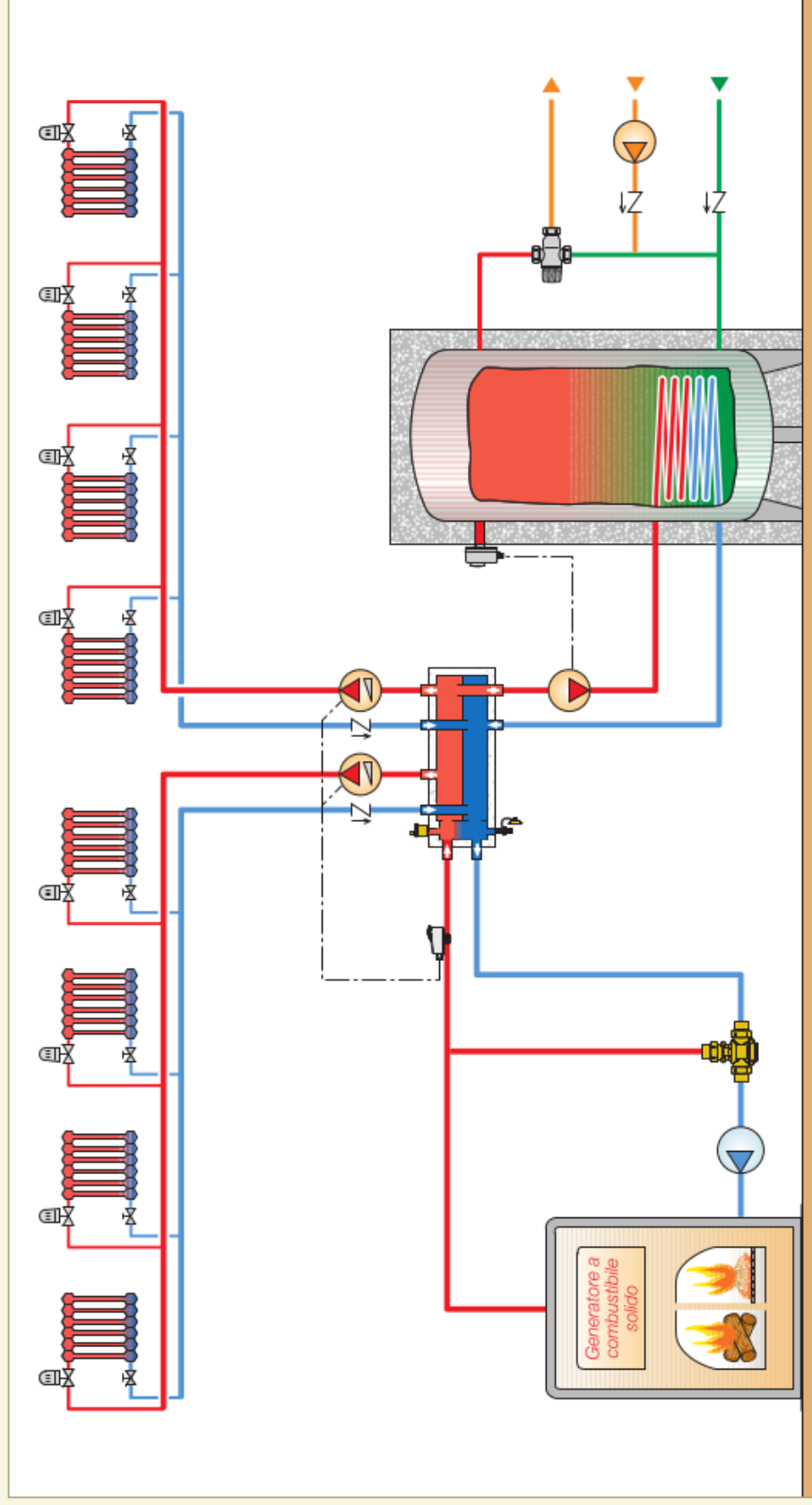
Schema funzionale impianto con caldaia a legna e a radiatori

L'impianto è essenzialmente costituito da:

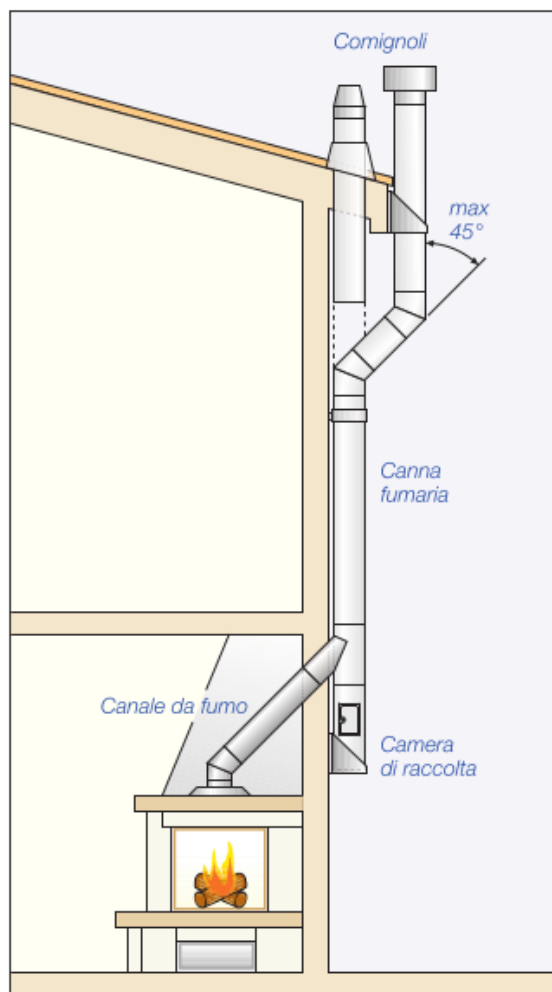
- una caldaia a legna,
- un seppoll,
- tre circuiti derivati,
- un bollitore per la produzione di ACS.

Dal seppoll – vale a dire dall'insieme costituito da un separatore idraulico e collettori – sono derivati tre circuiti: due servono per il riscaldamento e uno per la produzione di ACS. Il circuito della caldaia è inoltre dotato di una valvola anticondensa.

Per poter smaltire il calore in modo continuo, i radiatori sono dotati di valvole termostatiche e alimentati con circolatori a velocità variabile. Se la temperatura dell'acqua in caldaia è troppo bassa, un termostato blocca le pompe che servono i radiatori.



Per questa tipologia di impianti si hanno dei problemi per quanto concerne l'espulsione dei fumi , bisogna fare attenzione all'accensione durante la notte , devono essere posizionati in corrispondenza di balconi , verande , e chiaramente vi è un pericolo di incendio per cui nelle abitazioni la cucina non può essere a gas ma deve essere necessariamente elettrica ; se la cucina è a gas con le normali bombole esse vanno posizionate all'esterno del nostro edificio e non deve esservi comunicazione con l'ambiente soggiorno nel quale è installata la termostufa .



Per i generatori di calore alimentati a legna o da altri biocombustibili solidi, i condotti per evacuare i fumi vanno realizzati in base alle norme vigenti e, in particolare, secondo quanto richiesto dalle: **UNI 9615** Generatori di calore alimentati a legna o da altri biocombustibili solidi. Requisiti di installazione. **UNI 10683** Calcolo delle dimensioni interne dei camini. Definizioni e procedimenti di calcolo fondamentali.

Questi condotti sono essenzialmente composti: dalla **canna fumaria**, che convoglia i fumi verso l'esterno; dal **comignolo**, che serve ad evacuare i fumi in atmosfera e dal **canale da fumo**, che collega il generatore di calore alla canna fumaria.

10- I costi delle fonti rinnovabili di energia e gli incentivi

L'Agenzia internazionale per le energie rinnovabili ([IRENA](#)) ha appena presentato un nuovo [rapporto dal titolo "Renewable Power Generation Costs in 2017"](#) dal quale emerge che, a livello globale, le fonti rinnovabili saranno sempre più competitive nel soddisfare le nuove esigenze di generazione di energia.

Il rapporto descrive i trend di costo per ciascuna delle principali tecnologie esistenti basandosi sullo studio dei costi e dei prezzi di progetti rilevati in tutto il mondo, mettendoli a confronto con il range di costi per la produzione di energia da fonti fossili.

Tale range, per i paesi del G20, nel 2017, è stato stimato tra 0,05 e 0,17 dollari/kWh.

In generale, lo studio rileva che:

- i costi della generazione di energia rinnovabile continuano a diminuire e sono già molto competitivi per soddisfare le esigenze di nuove capacità;
- i meccanismi competitivi, come le aste, anche se non ancora pienamente diffusi, stanno contribuendo a ridurre i costi nei nuovi mercati.

La competizione globale aiuta a diffondere le migliori pratiche progettuali esistenti, riducendone i rischi e rendendo le rinnovabili sempre più competitive. I tre principali drivers della riduzione dei costi sono naturalmente ricercabili nell'innovazione tecnologica, nelle nuove procedure di gara e "competitive procurements" e nei nuovi gruppi di sviluppo di progetti su scala globale.

Nello specifico delle diverse fonti rinnovabili sono variati (dal 2010 al 2017) i costi medi globali di produzione elettrica dalle diverse tecnologie a fonti rinnovabili:

- il costo medio del geotermico è passato dai 0,05 ai 0,07 dollari/kWh;
- il costo medio dell'idroelettrico è passato dai 0,04 ai 0,05 dollari/kWh;
- il costo medio del solare a concentrazione è passato dai 0,33 ai 0,22 dollari/kWh;
- il costo medio dell'eolico offshore è passato dai 0,17 ai 0,14 dollari/kWh;
- il costo medio dell'eolico onshore è passato dai 0,08 ai 0,06 dollari/kWh.

Con l'aumentare del numero delle installazioni, calano i costi dell'energia da rinnovabili. Nei paesi sviluppati, l'energia solare è diventata più economica della nuova energia nucleare, mentre il costo del solare fotovoltaico (PV) è globalmente diminuito del 69% tra il 2010 e il 2016, arrivando nella fascia di costo dei combustibili fossili. L'energia eolica onshore, i cui costi sono diminuiti del 18% nello stesso periodo, fornisce elettricità molto competitiva, con progetti commissionati abitualmente al giorno d'oggi a 0,04 dollari/kWh. Con ogni raddoppio della capacità installata cumulativa per l'energia eolica onshore, i costi di investimento diminuiscono del 9% mentre l'elettricità risultante diventa il 15% più economica. I costi dei moduli fotovoltaici solari sono diminuiti di circa quattro quinti, rendendo i sistemi solari fotovoltaici residenziali fino a due terzi in meno rispetto al 2010.

Il rapporto [IRENA](#) si basa su un database di progetti di generazione di energia di circa 1300 GW.

Edilizia sostenibile



Ing. Giuseppe Mosca

Premessa

La cultura ambientalista ormai fa parte integrante della edilizia non solo della legislazione ma anche della pratica costruttiva, tutti parlano di cambiamento climatico emissioni di carbonio, fonti di energia rinnovabile che sono diventate dei veri e propri affari economici visti gli incentivi dello stato italiano e della Europa,. Oggi quando si costruisce una casa l'obiettivo è quello di renderla autosufficiente energeticamente ovvero non si devono pagare bollette ogni due mesi per il riscaldamento e la corrente elettrica, e con impianto di raccolta delle acque piovane si può minimizzare anche la bolletta dell'acqua. Accanto alla sostenibilità energetica vi è la sostenibilità dei materiali utilizzati del sistema costruttivo e della sua resistenza alle azioni sismiche utilizzando blocchi cassero in legno cemento, polistirolo, casseri modulari in plastica o polistirolo. Tali trasformazioni edilizie associate ad una buona architettura e finitura delle facciate apportano un miglioramento sia al paesaggio naturale che urbano migliorando la qualità urbana e la condizione di vita prevenendo il degrado sociale urbano la marginalità e la devianza microriminale. Anche queste pagine saranno oggetto di approfondimento e miglioramento utilizzando altri sistemi costruttivi, ovviamente per la edilizia in legno la sostenibilità ambientale è sottintesa. Visti i recenti eventi sismici e i danni arrecati ai nodi trave pilastri e tamponature ormai è di obbligo costruire un nuovo edificio o casa con la tecnica costruttiva del blocco cassero della muratura armata in terra cruda, laterizio, cls leggero e in legno.

Castel di Sangro

Ing. Giuseppe Masca

Indice

1- Gli edifici con blocco cassero

2- Le case in terra cruda

3-Le case di paglia

*4- La direttiva “**Case Green**”*

5- Le facciate ventilate

6- La condensa e la muffa

7- Il pannello Bcore

8- Edifici in EPS armato

9- Le case passive e gli edifici NZEB

10-Le fonti di energia rinnovabile

11-Conclusioni

Oggi per le nuove costruzioni siamo obbligati ad utilizzare delle fonti di energia rinnovabili non soltanto dalle leggi e dai regolamenti ma per questioni di convenienza economica; personalmente dovendo progettare un nuovo edificio unifamiliare o plurifamiliare mi affiderei per intero a fonti di energia rinnovabile quali fotovoltaico ed eolico riducendo eliminando emissioni carbonio quindi edifici passivi ad energia zero. In fase di costruzione l'incidenza del costo della fonte rinnovabile di energia è ridotta rispetto al costo globale della costruzione, basti pensare che il costo di costruzione a mq di una nuova abitazione di 100 mq è intorno ai 1200 euro ovvero occorrono 120.000 euro; la fonte di energia rinnovabile incide sul costo di costruzione per un'aliquota dell'8% che con le detrazioni fiscali si riduce del 50%.

Tra le fonti di energia rinnovabile ci si chiede quale utilizzare; per edifici unifamiliari o bifamiliari per questioni di integrazione architettonica e di spazio è conveniente il fotovoltaico e l'eolico; per edifici di notevoli dimensioni 5 piani con 4 appartamenti per piano conviene far ricorso alla energia geotermica con sonde a media profondità installate nelle palificazioni di fondazione. Per la installazione di un fotovoltaico sulla copertura non si avrebbe la superficie necessaria poiché avremo a disposizione 400 mq in grado di produrre 70000 kwh, pari a 3500 Kwh per appartamento. Sarebbe conveniente utilizzare delle pale eoliche integrate architettonicamente senza alterare la architettura del nostro edificio sfruttando anche la maggiore velocità del vento dovuta all'altezza quindi integrare eolico con geotermico.

E' uso comune tradizione consolidata da molti anni far ricorso alle biomasse nei comuni di montagna per il riscaldamento invernale anche se la biomassa incentiva le emissioni di ossido di carbonio ed anidride carbonica.

Le soluzioni migliori per un edificio ad energia zero con fonti rinnovabili di energia sono :

- riscaldamento geotermia**
- consumi elettrici ACS fotovoltaico**

- riscaldamento geotermia**
- consumi elettrici ACS eolico**

- Fotovoltaico consumi elettrici ACS**
- biomasse riscaldamento**

- eolico ACS consumi elettrici**
- biomasse Riscaldamento**

o semplicemente eolico e fotovoltaico per riscaldamento consumi elettrici e ACS.

Il metano che oggi riscalda la maggioranza delle abitazioni in Italia non è considerato fonte di energia rinnovabile ma con un efficace sistema di isolamento termico è al pari delle biomasse una buona fonte di energia con limitate emissioni di carbonio.