



Comune di Verona  
**Arsenale Verona**

## Progetto di Recupero e Valorizzazione

Proposta di Finanza di Progetto (D.Lgs.18 aprile 2016 n.50)

proponente/promotore

 italianacostruzioni

 navarragestioni

ITALIANA COSTRUZIONI S.p.A.  
Il Progettatore speciale  
(Ing. Alessandro Paglia)



valore restauro  
sostenibile

NA.GEST. GENERAL SERVICE S.r.l.  
Il Progettatore speciale  
(Ing. Alessandro Paglia)

## RELAZIONE TECNICA 2 - IMPIANTI

progetto



  
INGEGNERIA

**5+1AA**  
Alfonso Femia  
Gianluca Pluffo  
architectures



RIF.INT.	DESCRIZIONE	DATA
1905t036B	Cartiglio	27.09.2016



## INDICE

<b>1. Approccio LEED al progetto Arsenale .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Aspetti energetici e impianti tecnologici ed elettrici .....</b>	<b>7</b>
2.1. Analisi dello stato di fatto .....	7
2.2. Attestato di certificazione energetica stato di fatto.....	20
<b>3. Interventi proposti nel Progetto .....</b>	<b>23</b>
3.1. Interventi sull'involucro edilizio .....	23
3.2. Interventi sull'impianto.....	42
Recupero di calore sull'aria espulsa .....	44
3.3 Attestato di certificazione energetica stato di progetto e risparmio energetico globale dell'intervento proposto.....	57
3.4 Certificazione secondo sistema LEED .....	57



## 1. Approccio LEED al progetto Arsenale



LEED® - **Leadership in Energy and Environmental Design** - è un sistema di certificazione degli edifici che nasce su base volontaria e che viene applicato in oltre 140 Paesi nel mondo.

Lo standard LEED nasce in America ad opera di U.S.Green Building Council (USGBC), associazione no profit nata nel 1993, che conta ad oggi più di 20.000 membri e che ha come scopo la promozione e lo sviluppo di un approccio globale alla sostenibilità, dando un riconoscimento alle performance virtuose in aree chiave della salute umana ed ambientale.

Gli standard LEED, elaborati da USGBC e presenti anche in Italia grazie al lavoro di GBC Italia che ne ha creato una versione locale, indicano i requisiti per costruire edifici ambientalmente sostenibili, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista del consumo di tutte le risorse ambientali coinvolte nel processo di realizzazione.

LEED è un sistema volontario e basato sul consenso, per la progettazione, costruzione e gestione di edifici sostenibili ed aree territoriali ad alte prestazioni e che si sta sviluppando sempre più a livello internazionale; può essere utilizzato su ogni tipologia di edificio e promuove un sistema di progettazione integrata che riguarda l'intero edificio.

LEED è inoltre un sistema flessibile e articolato che prevede formulazioni differenziate per le nuove costruzioni (Building Design & Construction – Schools – Core & Shell), edifici esistenti (EBOM - Existing Buildings Operation & Maintenance), piccole abitazioni (GBC Italia Home), per aree urbane (ND - Neighborhood) pur mantenendo una impostazione di fondo coerente tra i vari ambiti.

La certificazione costituisce una verifica di parte terza, indipendente, delle performance di un intero edificio (o parte di esso) e/o di aree urbane. La certificazione LEED, riconosciuta a livello internazionale, afferma che un edificio è rispettoso dell'ambiente e che costituisce un luogo salubre in cui vivere e lavorare.

L'ottenimento della certificazione LEED permette di ottenere sia vantaggi economici che ambientali, tra cui:

- Stabilire uno **standard comune di misurazione** dei "green buildings", definiti come edifici a basso impatto ambientale;

- Fornire e promuovere un **sistema integrato di progettazione** che riguarda l'intero edificio;
- Dare riconoscimento a chi realizza prestazioni virtuose nel campo delle costruzioni;
- Stimolare la competizione sul tema della **prestazione ambientale**;
- Stabilire un **valore di mercato** con la creazione di un marchio riconosciuto a livello mondiale;
- **Aiutare** i committenti e **accrescere** in loro la consapevolezza dell'importanza di **costruire green**;
- **Trasformare il mercato** e il settore delle costruzioni.
- La **riduzione dei costi** operativi, accrescendo il valore dell'immobile.
- La **riduzione dei rifiuti** inviati in discarica.
- Il **risparmio** energetico e idrico.
- Lo sviluppo di **edifici più sani** e più sicuri per gli occupanti.
- La creazione di **comunità compatte e accessibili** con un buon accesso ai servizi di vicinato e di transito
- La **tutela delle risorse naturali** e agricole, incoraggiando lo sviluppo urbano in zone già antropizzate.
- La **riduzione delle emissioni** nocive di gas serra.
- La possibilità di usufruire di **agevolazioni fiscali**, sussidi di zonizzazione, e altri incentivi in centinaia di città.
- dimostrazione dell'impegno del proprietario nella tutela dell'ambiente e nella responsabilità sociale.

Lavorando sull'intero processo, dalla progettazione fino alla costruzione vera e propria, LEED richiede un approccio olistico pena il non raggiungimento degli obiettivi preposti. Solo con un ampio sforzo di progettazione integrata e di coordinamento è possibile creare un edificio armonioso in tutte le aree sopra menzionate.

I vantaggi competitivi per coloro che adottano gli standard LEED, siano essi professionisti o imprese, sono identificabili soprattutto nella grande qualità finale del manufatto, nel notevole risparmio di costi di gestione che questi edifici permettono di ottenere se comparati con edifici tradizionali e nella certificazione da parte di un ente terzo.

La certificazione LEED, infatti, fornisce al mercato un approccio condiviso, su cui basare le scelte ed uno standard misurabile per ogni aspetto

trattato. Si tratta di uno standard volontario e che come tale va molto oltre se comparato con la cogenza normativa.

### **Struttura e livelli di LEED**

Il sistema di certificazione degli edifici LEED rappresenta un quadro flessibile che permette ai gruppi di progettazione e di costruzione di valutare la strategia che ottimizza il rapporto fra edificio e l'ambiente circostante.

Il sistema di rating LEED si struttura in 7 sezioni organizzate in prerequisiti e in crediti. I **prerequisiti** di ogni sezione sono obbligatori affinché l'intero edificio possa venire certificato; i **crediti** possono essere scelti in funzione delle caratteristiche del progetto. Dalla somma dei punteggi dei crediti deriva il livello di certificazione ottenuto.



**Sostenibilità del Sito** (1 prerequisito, 8 crediti - max 26 punti): questa sezione affronta gli aspetti ambientali legati al sito entro il quale verrà costruito l'edificio e al rapporto di questo con l'intorno. Gli obiettivi sono limitare l'impatto generato dalle attività di costruzione, controllare il deflusso delle acque meteoriche, stimolare modalità e tecniche costruttive rispettose degli equilibri dell'ecosistema.

Il prerequisito legato alla prevenzione dell'inquinamento da cantiere per il **progetto Arsenale** sarà rispettato mediante un Piano di Gestione Ambientale di cantiere, riferito alla norma UNI EN ISO 14000, che garantisce un corretto e coordinato sviluppo dei lavori e previene l'insorgere di criticità ambientali.

Altri crediti acquisibili dal **progetto Arsenale** in questa area potranno essere ricavati da considerazioni sulla massimizzazione degli spazi aperti, sulla gestione delle acque meteoriche, sulla riduzione dell'effetto isola di calore mediante l'impiego di materiali con bassa riflettanza, sulla riduzione dell'inquinamento luminoso.



**Gestione delle Acque** (1 Prerequisito, 3 Crediti - max 10 punti): questa sezione approccia le tematiche ambientali legate all'uso, alla gestione e allo smaltimento delle acque negli edifici monitorando l'efficienza dei flussi d'acqua e promuovendo la riduzione dei consumi idrici e il riutilizzo delle acque meteoriche.

Su questo gruppo di requisiti il **progetto Arsenale** potrà acquisire i crediti legati al monitoraggio delle performance di consumo dell'acqua, riduzione del consumo di acqua potabile attraverso l'uso di acqua non potabile per gli usi che lo consentono come l'irrigazione. L'irrigazione sarà resa efficiente in funzione della scelta di materiale vegetale adatto al sito.



**Energia ed Atmosfera** (3 Prerequisiti, 6 Crediti - max 35 punti): in questa sezione viene promosso il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, l'impiego di energia proveniente da fonti rinnovabili o alternative e il controllo delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Attraverso le attività di progettazione integrata il Progetto Arsenale potrà attivare il processo di ottimizzazione delle prestazioni energetiche del sistema edificio – impianto con la valutazione dei materiali e metodi utilizzati per il restauro, la valutazione dell'involucro edilizio e della integrazione e funzionalità nella gestione dei sistemi di riscaldamento, ventilazione, condizionamento (HVAC), illuminazione naturale e artificiale. Anche il requisito legato al controllo delle prestazioni energetiche dell'edificio, nella fase di progettazione, *commissioning* e monitoraggio, sarà valutato nel **Progetto Arsenale** unitamente all'utilizzo di energie rinnovabili attraverso sistemi di produzione geotermica. Il prerequisito obbligatorio del commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio sarà oggetto di particolare attenzione, mediante l'elaborazione di un progetto di gestione globale dell'intera area.



**Materiali e Risorse** (1 Prerequisito, 7 Crediti - max 14 punti): in quest'area vengono prese in considerazione le tematiche ambientali correlate alla selezione dei materiali, alla riduzione dell'utilizzo di materiali vergini, allo smaltimento dei rifiuti e alla riduzione dell'impatto ambientale dovuto ai trasporti.

Questa categoria di crediti sarà valutata tenendo conto della selezione di materiali sostenibili coerenti con gli interventi di restauro e ripristino.

Il requisito di riutilizzo di edifici esistenti è la premessa alla base del **Progetto Arsenale** e come tale premiante dal punto di vista del rating della sostenibilità.



**Qualità ambientale Interna** (2 Prerequisiti, 8 Crediti - max 15 punti): questa sezione affronta le preoccupazioni ambientali relate alla qualità dell'ambiente interno, che riguardano la salubrità, la sicurezza e il comfort, il consumo di energia, l'efficacia del cambio d'aria e il controllo della contaminazione dell'aria.

La qualità ambientale interna degli edifici del **Progetto Arsenale** sarà realizzata principalmente attraverso l'impiego di materiali che non rilascino composti chimici nocivi e mediante la massima valorizzazione dell'illuminazione naturale degli ambienti. Da valutare in relazione al concept dell'impianto di climatizzazione l'eventuale integrazione del sistema di ventilazione finalizzato al miglioramento delle caratteristiche dell'aria interna.



**Innovazione nella Progettazione** (2 crediti - max 6 punti): questa sezione ha come obiettivo l'identificazione degli aspetti progettuali che si distinguono per le caratteristiche di innovazione e di applicazione delle pratiche di sostenibilità nella realizzazione di edifici.

Il conseguimento di un miglioramento significativo e misurabile nelle prestazioni dell'edificio in termini di sostenibilità ambientale sarà alla base del **Progetto Arsenale**. La ricerca di prestazioni esemplari nell'intervento sarà alla base delle attività tecniche di progettazione.



**Priorità Regionale** (1 Credito - max 4 punti): tale area ha come obiettivo quello di incentivare i gruppi di progettazione a focalizzare l'attenzione su caratteristiche ambientali del tutto uniche e peculiari della località in cui è situato il progetto.

Questo requisito sarà premessa naturale e conseguente dell'intervento di recupero e conservazione del **Progetto Arsenale**.

#### **La gestione degli immobili del Progetto Arsenale**

Lo spazio dell'Arsenale, con la sua complessa eterogeneità di destinazioni d'uso ma con la sua unitarietà tipologica, potrà efficacemente essere gestito da una struttura di gestione o di *Facility Management*.

Il FM ha per oggetto una serie di attività di manutenzione programmata sul patrimonio immobiliare volte a mantenere un adeguato e predefinito livello di funzionalità.

La struttura di FM ha come oggetto dell'attività tre aree di interesse:

- 1) area dei **servizi all'edificio**, che racchiude tutte le problematiche di tipo tecnico in quanto l'obiettivo da perseguire per il gestore è la funzionalità dell'edificio

- 2) area dei **servizi allo spazio**, che supporta in modo interattivo e dinamico i processi di creazione di valore legati all'organizzazione, stimolando i processi di comunicazione, socializzazione e creazione di conoscenza
- 3) area **servizi alle persone** con attività legate alla gestione, vigilanza e sicurezza, utilità, gestione documentale

La struttura di gestione redigerà un progetto di servizi e di gestione operativa mediante la redazione di procedure operative, definizioni strategiche dei piani di manutenzione che esplicitino gli standard qualitativi del servizio.

#### **Servizi all'edificio**

Sono incluse le attività necessarie al mantenimento degli edifici e degli spazi dell'Arsenale, dal punto di vista tecnico strutturale ed economico. Si tratta sostanzialmente della manutenzione degli impianti (elettrico, di climatizzazione, idrico sanitario, speciali e di sicurezza antincendio, antintrusione, fonia e dati) e della manutenzione delle aree esterne.

#### **Servizi allo spazio**

L'attività è sviluppata per gli spazi pubblici (aree verdi e pavimentate) e si occupa principalmente di igiene ambientale. Il servizio comprende aspetti quali la pulizia, sanificazione, disinfezione, disinfestazione, derattizzazione e smaltimento rifiuti. In generale il servizio risponde ad obiettivi di igiene e tutela della salute, di immagine e valorizzazione del luogo.

#### **Servizi alle persone**

I servizi alle persone avranno per oggetto la gestione della guardiania e sorveglianza (opzionali).

#### **Servizio energia**

I servizi di FM all'edificio possono essere integrati con il servizio energia per l'intero comparto dell'**Arsenale**.

Il servizio energia, nell'osservanza dei requisiti e delle prestazioni esplicitate e definite dal progetto energia dell'Arsenale, ha per oggetto l'erogazione dei beni e servizi necessari alla gestione ottimale ed al miglioramento del processo di trasformazione e di utilizzo dell'energia.

Il servizio energia, integrato con i servizi di gestione degli apparati impiantistici, si prefigge di ridurre i consumi, di migliorare le qualità

energetica dell'immobile e degli impianti e di massimizzare l'impiego di fonti rinnovabili.

## 2. Aspetti energetici e impianti tecnologici ed elettrici

Questo capitolo costituisce la “**diagnosi energetica**” dell’edificio denominato “**Arsenale di Verona**”. Tale documento descrive gli interventi impiantistici ed energetici che si prevedono all’interno del progetto di recupero e riqualificazione.

L’attività di diagnosi energetica è finalizzata alla caratterizzazione energetica dell’edificio preso in esame e alla valutazione di interventi che riducano la spesa energetica dell’edificio stesso.

Le **fasi** della diagnosi energetica si possono di seguito riassumere:

- ▼ **Analisi dello stato di fatto** anche attraverso **rilievo** dell’edificio preso in esame
- ▼ **Modellizzazione** dell’edificio attraverso software di calcolo
- ▼ Realizzazione dell’ **Attestato di Certificazione Energetica** dell’edificio nello stato di fatto
- ▼ Proposta di **interventi finalizzati al risparmio energetico** dell’edificio
- ▼ **Analisi dei risparmi energetici** ottenibili
- ▼ Realizzazione dell’ **Attestato di Certificazione Energetica** dell’edificio nello stato di progetto

La presente diagnosi energetica è stata realizzata utilizzando i metodi di calcolo prescritti nelle Norme **UNI TS 11300-1** e **UNI TS 11300-2**.

### 2.1. Analisi dello stato di fatto

Il complesso edilizio preso in esame è costituito da più corpi con altezze e con numero di piani diversi.



Ortofoto area di intervento

L’edificio è stato modellizzato attraverso il software Mc4. Tale software è dotato di certificazione rilasciata dal CTI di scostamento massimo dei risultati del 5% rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l’applicazione dei pertinenti riferimenti nazionali (così come richiesto dal Decreto 26 giugno 2009).

### Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente

20134 Milano - Italy  
Via Scaldasola, 29  
tel. +39 02 2662951  
fax +39 02 2662550  
cti@cti2000.it  
www.cti2000.it

C.F. P.I.  
11494610157

**CERTIFICATO N. 004**

Rilasciato a:

**MC4 SOFTWARE ITALIA SRL**  
Corso Corsica, 7/53-55  
10134 Torino  
P.I. 07605790018 - prot. N. 1

Il Comitato Termotecnico Italiano  
Energia e Ambiente

ATTESTA

che il software applicativo  
MC4 Suite 2009

È conforme  
alle norme UNI TS 11300:2008 parte 1 e parte 2  
in base al regolamento di applicazione

Ente Federato all'UNI  
per l'unificazione nel  
settore termotecnico

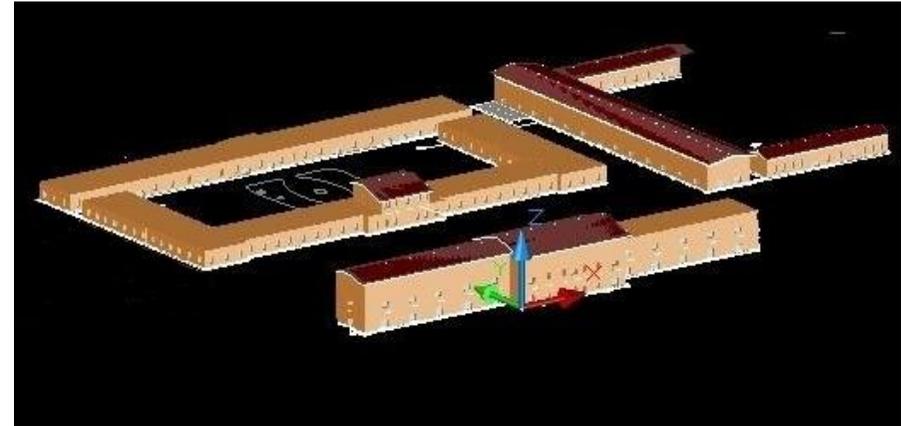
Fondato nel 1933  
Sotto il Patrocinio del  
CNR

Riconosciuto dal MAP  
con D.D. del 4/6/1999  
iscritto nel Registro  
delle Persone  
Giuridiche  
Col. n. 604

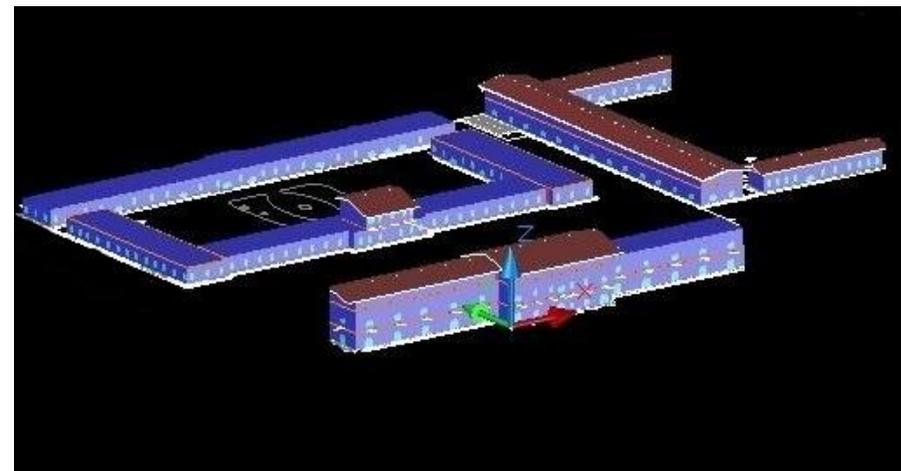
Il Presidente  
Prof. Ing. Cesare Boffa

Milano, 27 ottobre 2009

Le immagini seguenti mostrano la modellizzazione 3D dell'edificio tramite software Mc4.



Le immagini seguenti, inoltre, mostrano la modellizzazione in 3D dell'edificio con evidenziate le frontiere disperdenti.



### 2.1.1. L'involucro edilizio

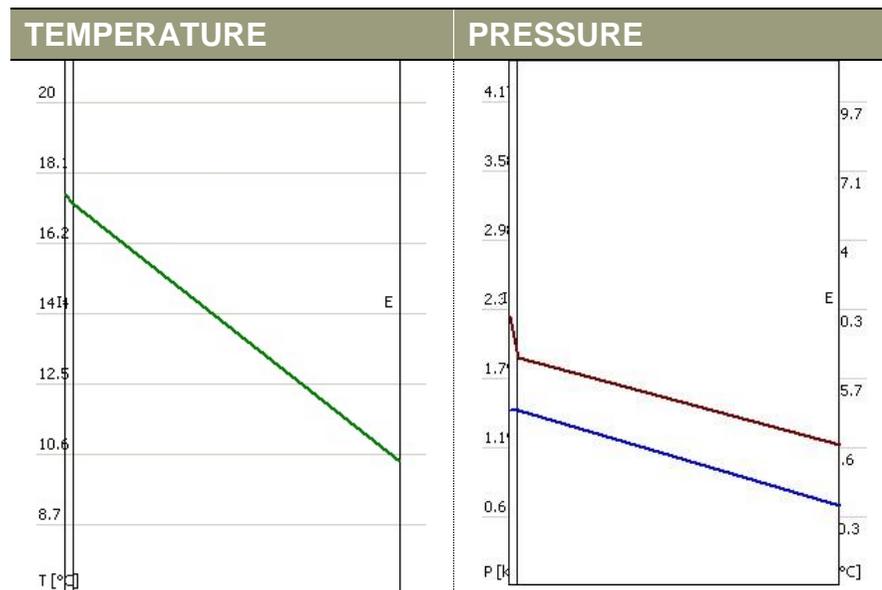
Il presente paragrafo descrive come è stato modellizzato l'involucro edilizio attraverso il software.

Pareti perimetrali esterne

E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

spessore 80 cm, muratura in sasso intonacata, trasmittanza 1.1 W/m²K

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

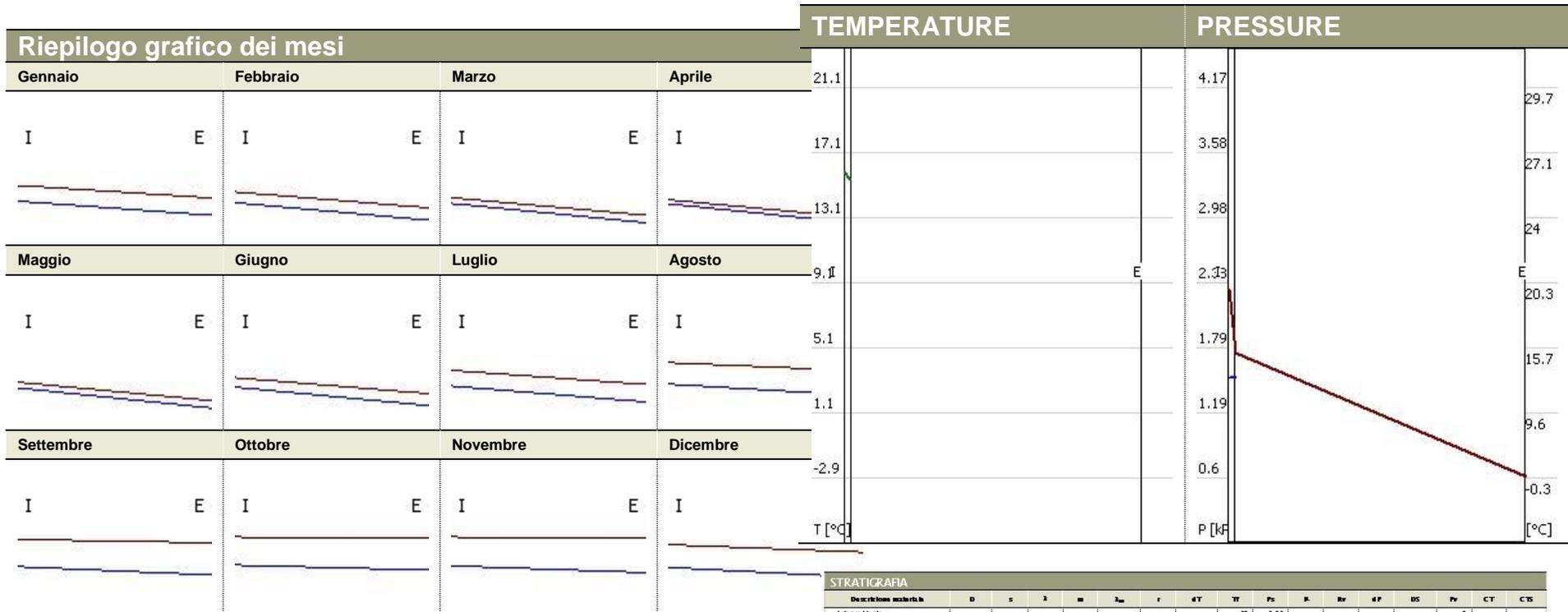


STRATIGRAFIA																	
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	dT	Ti	Pe	Pi	p	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente								20	2,32								0
Strato limina re interno							0,120	2	17	1,92							0
Intonaco di calce e gesso	1400	2	0,7	0	0,7	0,029	0,3	17,3	1,96	10	1,1		0	28,00	1,51	0,04	20,32
Tufo	2500	78	1,1	0	1,1	0,709	6,9	10,4	1,22	10000	41595,6		0,02	1,794,00	0,69	0,04	782,01
Strato limina re esterno							0,040	0,9	-1	0,56							0
<b>TOTALE</b>						<b>0,906</b>								<b>1,822</b>			<b>803,14</b>
Trasmittanza teorica:			[W/(m²·K)]			1,102											
Incremento di sicurezza (Q <sub>Si</sub> ):			[W/(m²·K)]			1,102											
Aumento di umidità:																	
Trasmittanza adottata:			[W/(m²·K)]			1,102											

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE		
La struttura è opaca e del tipo		Non opaca
Trasmittanza a parete in modo corretto U <sub>c</sub>		1,102 [W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza		0,206 [W/(m²·K)]

MURO ESTERNO 80cm			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Intonaco di calce e gesso	10	0.029	2
Tufo	10000	0.709	78
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>1.028</b>	<b>80</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	10	57	20	65	0.69	1.51	16.6	0.6590	0	0
Febbraio	5	57	20	65	0.49	1.51	16.6	0.7730	0	0
Marzo	1	59	20	65	0.38	1.51	16.6	0.8210	0	0
Aprile	-1	57	20	65	0.32	1.51	16.6	0.8380	0	0
Maggio	0	58	20	65	0.35	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	4	54	20	65	0.44	1.51	16.6	0.7870	0	0
Luglio	9	51	20	65	0.58	1.51	16.6	0.6900	0	0
Agosto	14	51	20	65	0.81	1.51	16.6	0.4320	0	0
Settembre	18	50	20	65	1.03	1.51	16.6		0	0
Ottobre	19	56	20	65	1.22	1.51	16.6		0	0
Novembre	19	52	20	65	1.14	1.51	16.6		0	0
Dicembre	15	56	20	65	0.95	1.51	16.6	0.3190	0	0



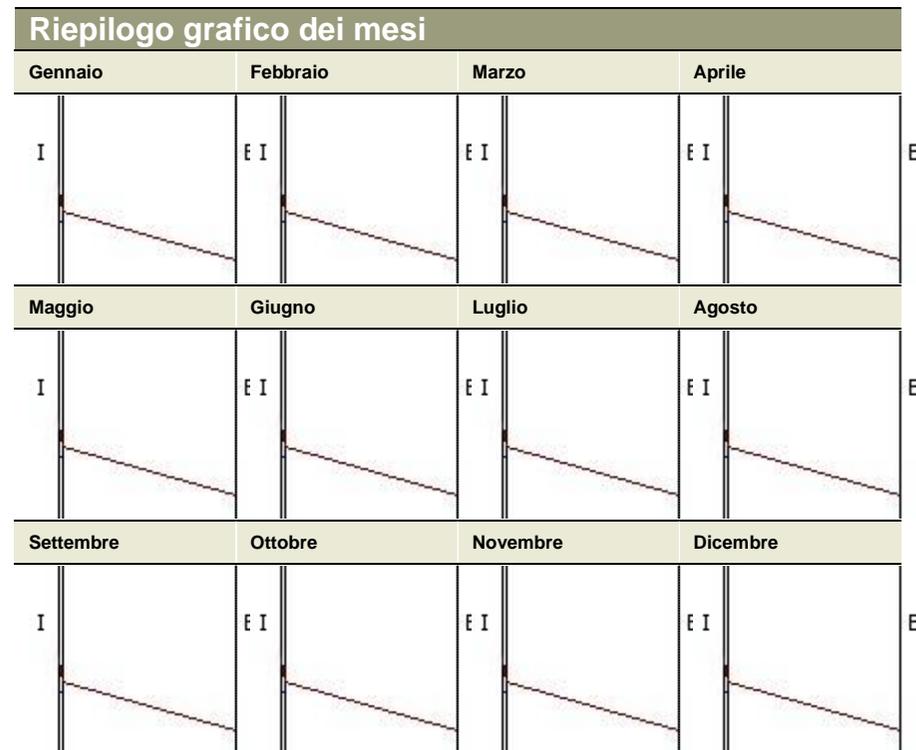
Spessore 100 cm, muratura in sasso intonacata, trasmittanza 0.918 W/m²K

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

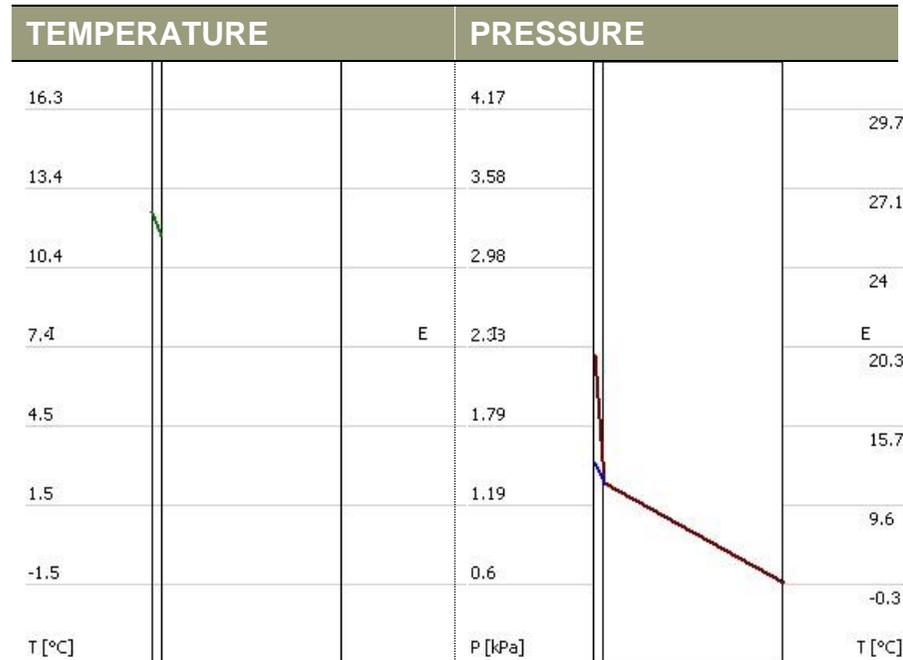
STRATIGRAFIA																	
Descrizione stratigrafia	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	ΔT	Tf	Ps	Pr	Rv	ΔP	DS	Pv	CT	CTS	
Aria ambiente							30	2,82							0		
Strato limitare interno						0,130	2,4	17,6	2						0		
Intonaco di calcina e gesso	1400	2	0,7	0	0,7	0,029	0,5	15,4	1,74	10	1,1	0	28,00	1,51	0,84	30,81	
Tufo	2800	98	1,1	0	1,1	0,891	14,7	0,7	0,6	10000	5228	1,1	1,51	2.254,00	0	0,84	977,99
Strato limitare esterno						0,040	0,7	0	0,6						0		
<b>TOTALE</b>	<b>100</b>					<b>1,030</b>								<b>2282</b>		<b>918,80</b>	
Trasmittanza teorica:		W (m²·K)		0,918													
Insieme alle serrature (OPB):		W (m²·K)		0,918													
Arrotondamento alla:		W (m²·K)		0,918													
Trasmittanza calcolata:		W (m²·K)		0,918													
CONFRONTO CON I VALORI LIMITE																	
La struttura o pacca è del tipo										3° e 4° Cat							
Trasmittanza al punto termico corretto (k)										0,918							
Valore limite della trasmittanza										0,300							

MURO ESTERNO 100cm			
Materiale	Mu	R [(m²·K)/W]	S [cm]
Intonaco di calce e gesso	10	0.029	2
Tufo	10000	0.891	98
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
<b>Fattore di qualità = 0.7930</b>		<b>1.209</b>	<b>100</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0



Spessore 40 cm, muratura in sasso intonacata, trasmittanza 1.83 W/m²K  
 La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.



STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	ΔT	Ti	Pe	Ue	Ue	ΔP	DS	Pv	CT	C'E
Aria ambiente							20	2,82								0
Strato limite interno						0,190	4,8	15,2	1,72							0
Intonaco di calce e gesso	1400	2	0,7	0	0,7	0,029	0,9	11,6	1,96	10	1,1	0	28,00	1,88	0,84	16,53
Tufo	2600	88	1,1	0	1,1	0,845	10,4	1,2	0,6	10000	20264,5	1,51	874,00	0	0,84	889,19
Strato limite esterno						0,040	1,5	0	0,6							0
<b>TOTALE</b>	<b>40</b>					<b>0,564</b>							<b>902</b>			<b>407,8</b>
Trasmittanza in opera:									1,838							
Insieme alla sicurezza (09%):									1,688							
Arredo esterno nido:																
Trasmittanza adobbata:									1,838							

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE			
La struttura o parte di essa			96 rituale
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>			1,838
Valore limite della trasmittanza			3,806

MURO ESTERNO 40cm			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Intonaco di calce e gesso	10	0.029	2
Tufo	10000	0.345	38
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>0.664</b>	<b>40</b>

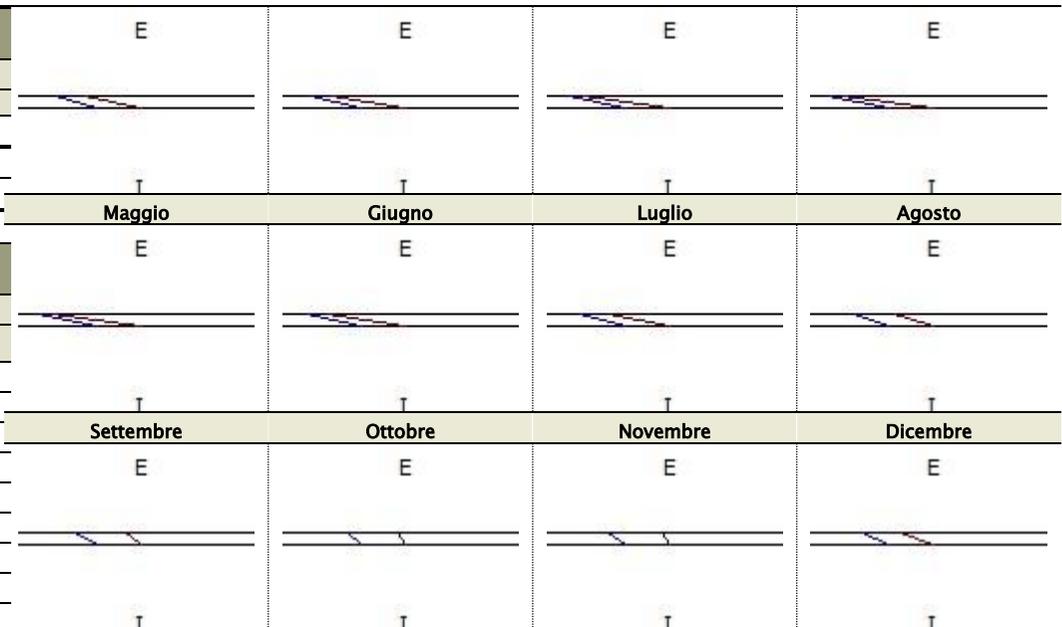
Fattore di qualità = 0.6240

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0



TETTO			
Materiale	Mu	R	S
		[(m <sup>2</sup> · K)/W]	[cm]
Intonaco di calce e gesso	10	0.029	2
<b>Fattore di qualità = 0.2150</b>		<b>Totale: 0.319</b>	<b>Totale: 2</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	10	57	20	65	0.69	1.51	16.6	0.6590	0	0
Febbraio	5	57	20	65	0.49	1.51	16.6	0.7730	0	0
Marzo	1	59	20	65	0.38	1.51	16.6	0.8210	0	0
Aprile	-1	57	20	65	0.32	1.51	16.6	0.8380	0	0
Maggio	0	58	20	65	0.35	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	4	54	20	65	0.44	1.51	16.6	0.7870	0	0
Luglio	9	51	20	65	0.58	1.51	16.6	0.6900	0	0
Agosto	14	51	20	65	0.81	1.51	16.6	0.4320	0	0
Settembre	18	50	20	65	1.03	1.51	16.6		0	0
Ottobre	19	56	20	65	1.22	1.51	16.6		0	0
Novembre	19	52	20	65	1.14	1.51	16.6		0	0
Dicembre	15	56	20	65	0.95	1.51	16.6	0.3190	0	0



### Verifiche normative

- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m<sup>2</sup>
- 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

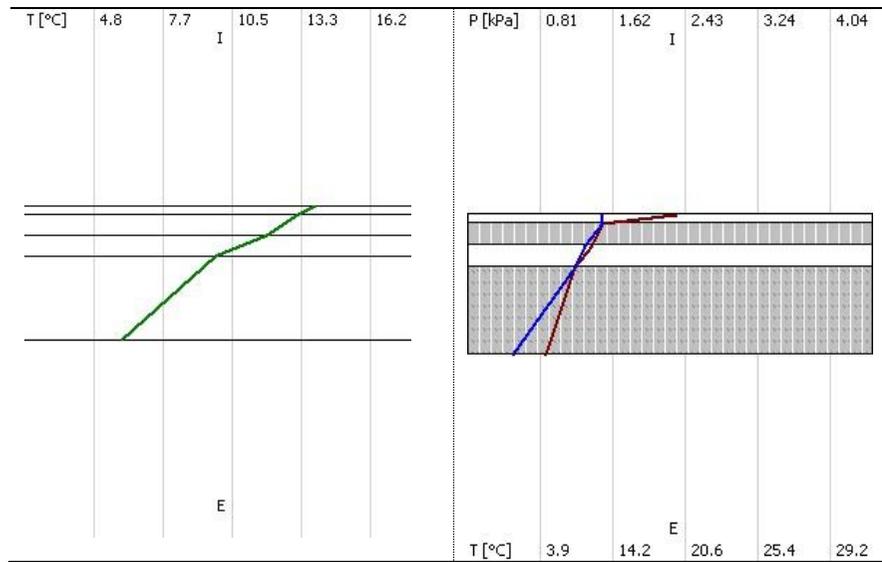
### Solaio a terra o su spazi aperti

E' stata considerata la seguente tipologia di solaio a terra:  
 spessore 32 cm, solaio in laterocemento, trasmittanza 1.873 W/m<sup>2</sup>K  
 La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della copertura esistente.

TEMPERATURE	PRESSURE
-------------	----------

### Riepilogo grafico dei mesi

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
---------	----------	-------	--------

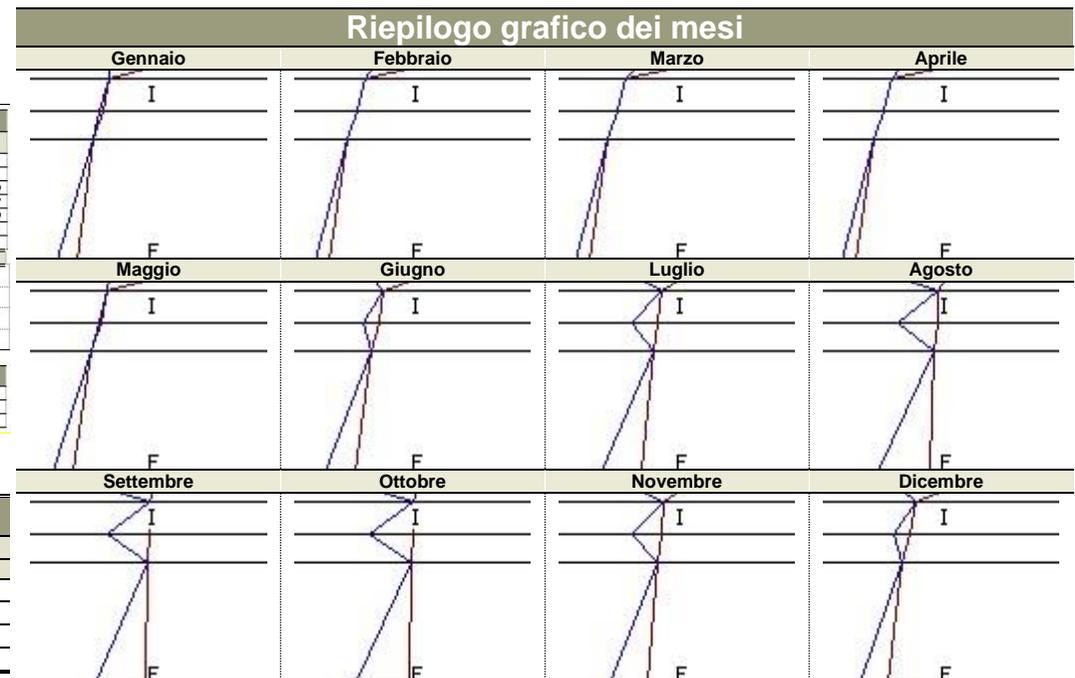


STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	ΔT	T <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	R	R <sub>v</sub>	ΔP	DS	P <sub>v</sub>	CT	C <sub>TE</sub>
Aria ambiente								20	2,92							0
Strato limite in interno						0,170	6,7	19,8	1,52							0
Piastrelle in cotto	1800	2	0,72	0	0,72	0,028	0,7	19,2	1,51	7	0,7	0,01	96,00	1,6	0,84	29,40
Sottofondo in cls magro	2200	5	0,98	0	0,98	0,054	1,8	11,9	1,88	20	16,7	0,2	110,00	1,81	0,88	70,67
Sottofondo non aerato arg. esp.	1100	5	0,58	0	0,58	0,086	2,1	9,8	1,2	11	2,9	0,08	95,00	1,2	0,92	88,89
Calcestruzzo ordinario	2200	20	1,28	0	1,28	0,156	8,8	6	0,87	70	74,7	0,78	440,00	0,49	0,88	206,21
Strato limite in esterno						0,040	1,6	-1	0,56							0
<b>TOTALE</b>	<b>82</b>					<b>0,596</b>							<b>641</b>			<b>888,66</b>
Trasmittanza in corti:																1,878
Incremento del silenziosità (COP):																1,878
Arrotolamento del:																
Trasmittanza ad esteri:																1,878

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE		
La struttura è a tipo		Chiuso esterno / Int. Int.
Trasmittanza ponderale corretta U <sub>c</sub>	<b>1,878</b>	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza	<b>0,297</b>	[W/(m²·K)]

PAV.SU TERRA			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Piastrelle in cotto	7	0.028	2
Sottofondo in cls magro	70	0.054	5
Sottofondi non aerati arg. esp	11	0.086	5
Calcestruzzo ordinario	70	0.156	20
<b>Totale:</b>		<b>0.156</b>	<b>Totale:</b>
<b>Fattore di qualità = 0.5930</b>		<b>0.614</b>	<b>32</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Febbraio	5	57	20	65	0.49	1.51	16.6	0.7730	0.011	0.011
Marzo	1	59	20	65	0.38	1.51	16.6	0.8210	0.796	0.807
Aprile	-1	57	20	65	0.32	1.51	16.6	0.8380	1.075	1.882
Maggio	0	58	20	65	0.35	1.51	16.6	0.8300	0.939	2.821
Giugno	4	54	20	65	0.44	1.51	16.6	0.7870	0.129	2.95
Luglio	9	51	20	65	0.58	1.51	16.6	0.6900	-0.033	2.917
Agosto	14	51	20	65	0.81	1.51	16.6	0.4320	-0.038	2.88
Settembre	18	50	20	65	1.03	1.51	16.6		-0.041	2.839
Ottobre	19	56	20	65	1.22	1.51	16.6		-0.038	2.8
Novembre	19	52	20	65	1.14	1.51	16.6		-0.04	2.76
Dicembre	15	56	20	65	0.95	1.51	16.6	0.3190	-0.035	2.724
Gennaio	10	57	20	65	0.69	1.51	16.6	0.6590	-0.031	2.693



### Componenti trasparenti

Sono stati rilevati i serramenti esistenti nel fabbricato oggetto di studio.

Le caratteristiche dei serramenti esistenti sono le seguenti:

Vetrata singola

Vetro normale

La trasmittanza è stata ricavata dal prospetto C.1 dell'Allegato C della Norma UNI TS 11300-1 ed è pari a  $5,7 \text{ W/mq}^{\circ}\text{K}$ .

Il telaio è stato considerato in legno tenero di spessore 70 mm.

La trasmittanza è stata ricavata dal prospetto C.2 dell'Allegato C della Norma UNI TS 11300-1.

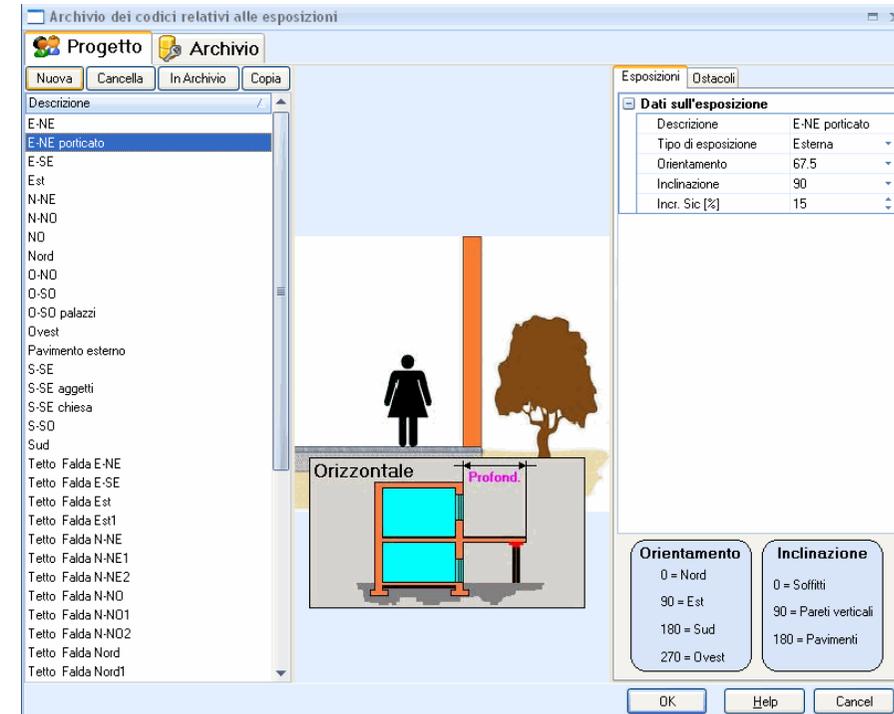
Gli apporti solari sono stati desunti dai prospetti 13, 14 e 15 della Norma UNI TS 11300-1.

Gli apporti solari sono fortemente influenzati dagli oggetti che gravano sulle superfici finestrate dell'edificio, come indicato nel punto 14.4 della Norma UNI TS 11300-1.

Sono stati quindi considerati tutti gli oggetti dovuti agli edifici che reciprocamente si ombreggiano.

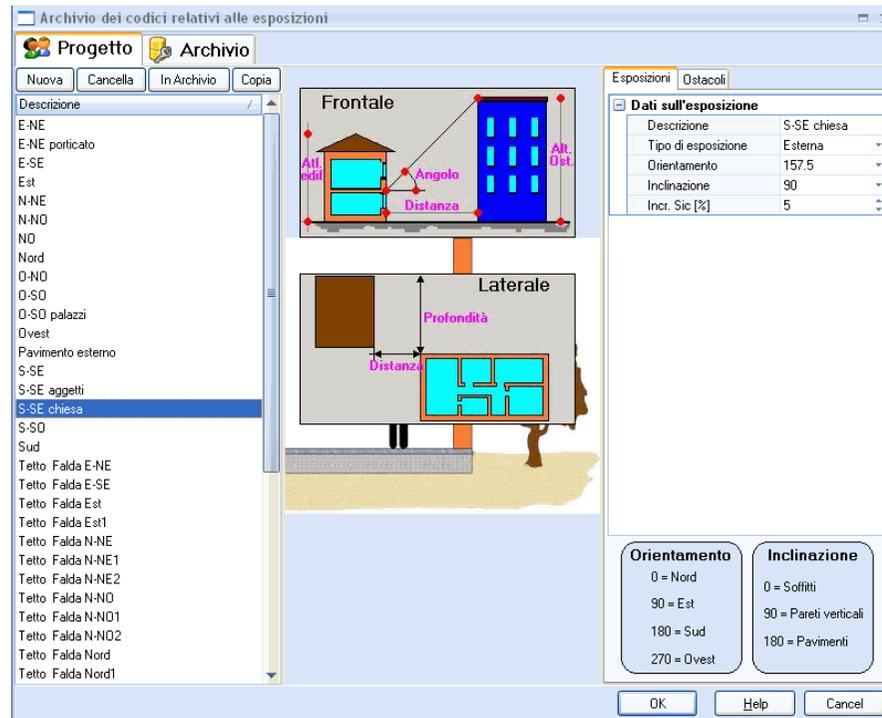
In particolare sono stati considerati i seguenti oggetti:

Aggetti di porticati



Determinazione di ostacolo nelle esposizioni solari

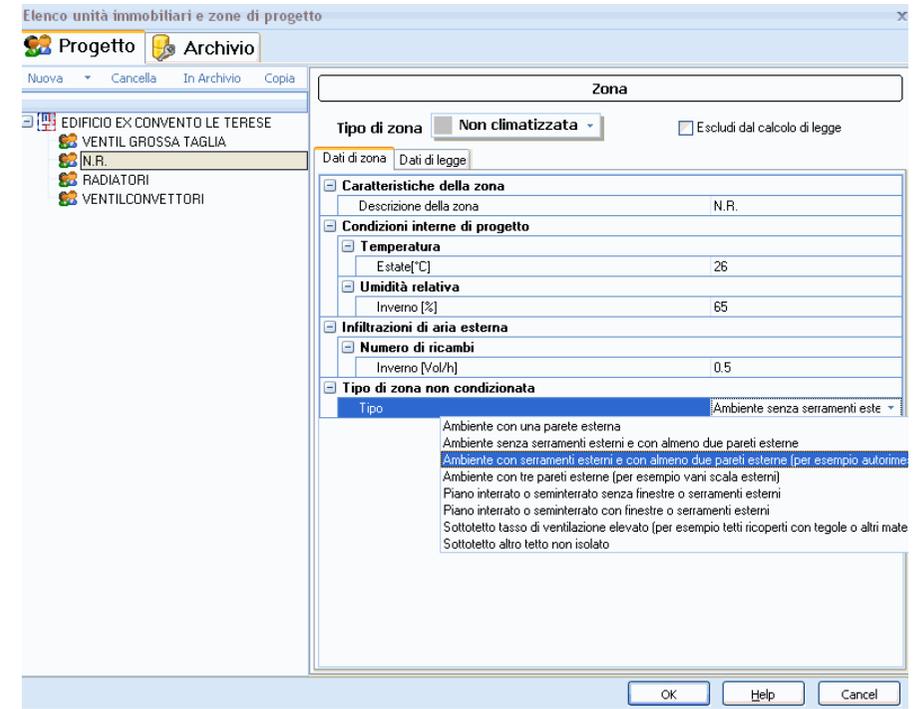
Aggetti di edifici adiacenti che reciprocamente si ombreggiano



Determinazione di ostacolo nelle esposizioni solari

### 2.1.2. Gli scambi termici

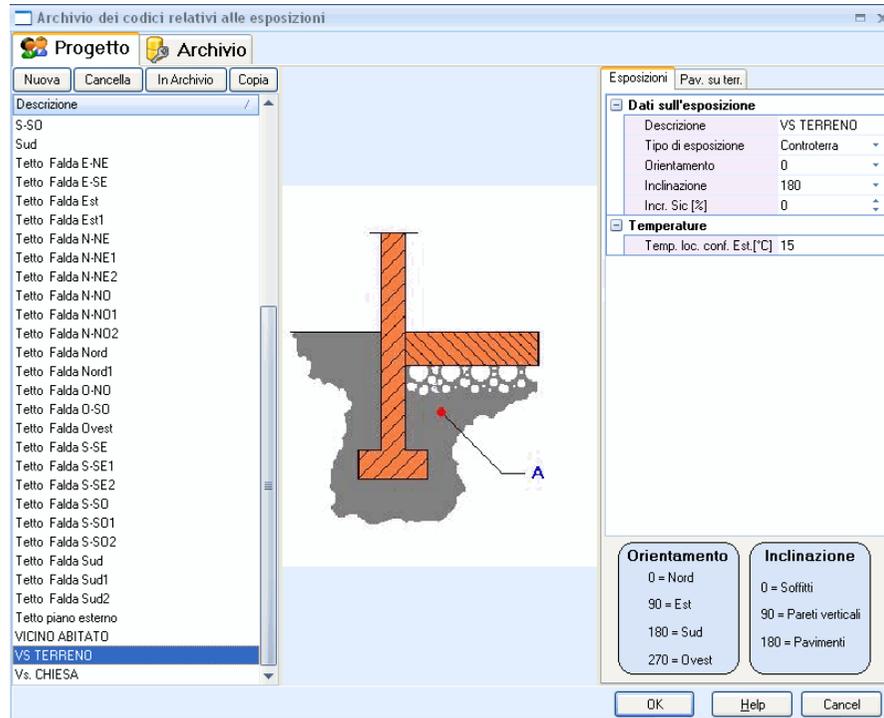
Scambio termico verso ambienti confinanti climatizzati e non climatizzati  
Lo scambio termico verso ambienti confinanti climatizzati è stato calcolato considerando gli ambienti stessi ad una temperatura pari a 20°C, così come previsto nel punto 8.1.1 della Norma UNI TS 11300-1.  
Lo scambio termico verso ambienti confinanti non climatizzati è stato calcolato utilizzando il prospetto 5 della Norma UNI TS 11300-1 e quindi ricavando il fattore di correzione  $b_{tr,x}$ .



Determinazione di zona non condizionata

### Scambio termico verso il terreno

Lo scambio termico verso il terreno è stato calcolato utilizzando il prospetto 6 della Norma UNI TS 11300-1 e quindi ricavando il fattore di correzione  $b_{tr,g}$ .



**Determinazione di scambio termico verso il terreno**

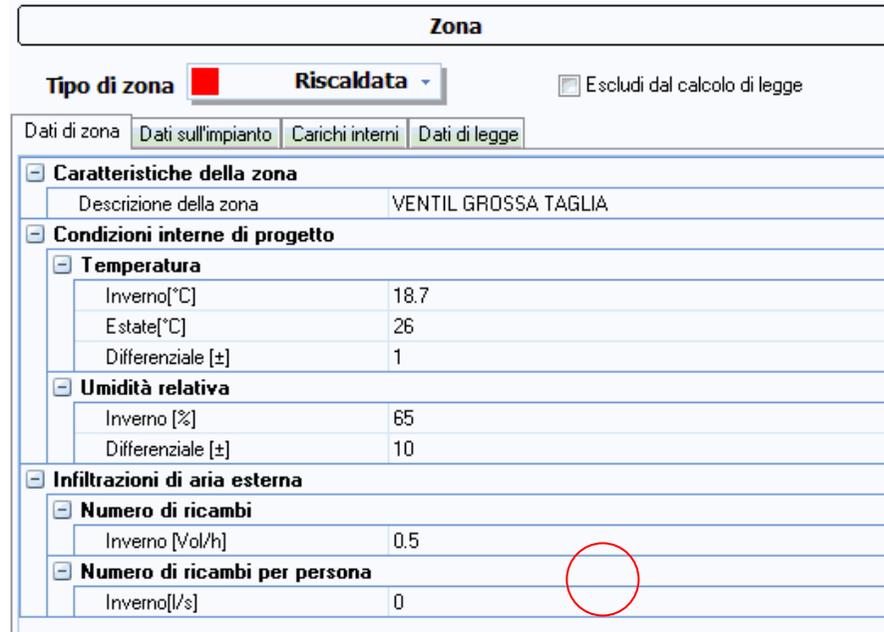
Scambio termico attraverso i ponti termici.

Lo scambio termico attraverso i ponti termici è stato calcolato utilizzando il prospetto 4 della Norma UNI TS 11300-1 e quindi ricavando le maggiorazioni percentuali di riferimento.

### 2.1.3. La ventilazione

Il fabbisogno energetico dovuto alla ventilazione è stato calcolato considerando i seguenti dati di ingresso:

Zona: 0,5 vol/h di ventilazione naturale



**Valore di infiltrazioni naturali nella zona**

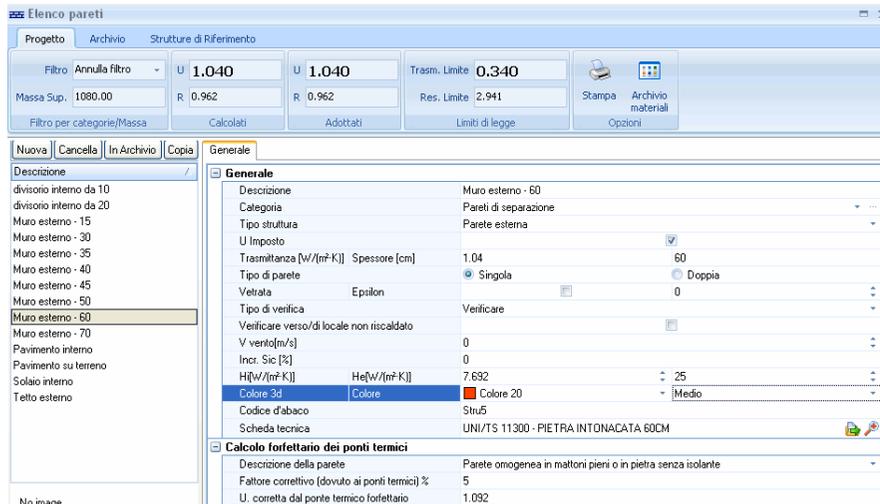
### 2.1.4. Gli apporti termici interni

Gli apporti termici interni sono stati ricavati dal prospetto 8 della Norma UNI TS 11300-1.

### 2.1.5. Gli apporti termici solari

Si veda quanto descritto nel paragrafo 2.2.5 relativo ai componenti finestrati.

Per quanto riguarda, invece, il calcolo degli apporti solari su componenti opache è stato rispettato quanto prescritto dal punto 14.2 della Norma UNI TS 11300-1 in base alla tipologia di colore della facciata esterna.



Valore di apporti solari su componenti opachi

### 2.1.6 Determinazione del fabbisogno di energia primaria

Fabbisogno di energia per la produzione dell'acqua calda sanitaria  
E' stato trascurato, per lo stato di fatto, il fabbisogno di energia per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

Sottosistema di emissione

I rendimenti e le perdite del sottosistema di emissione sono stati calcolati attraverso i prospetti 17 e 18 della Norma UNI TS 11300-2.

Fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di emissione

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di emissione è stato calcolato utilizzando il prospetto 25 della Norma UNI TS 11300-2.

Sottosistema di regolazione

I rendimenti e le perdite del sottosistema di regolazione sono stati calcolati attraverso il prospetto 20 della Norma UNI TS 11300-2.

E' stato considerato il seguente sistema di regolazione:

Solo ambiente con regolatore

Banda proporzionale 1°C

Terminali radiatori e ventilconvettori



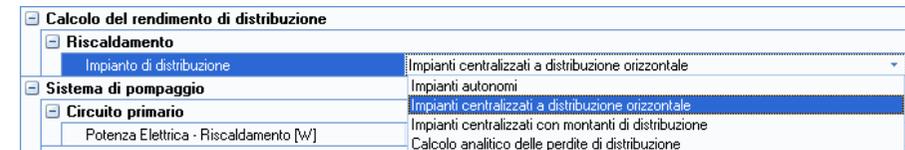
I rendimenti e le perdite del sottosistema di distribuzione sono stati calcolati attraverso i prospetti 21a, 21b, 21c, 21d, 21e e 22 della Norma UNI TS 11300-2.

E' stato considerato il seguente sistema di distribuzione:

Impianto centralizzato con montanti a distribuzione orizzontale

Numero piani fino a 3

Anno di realizzazione impianto tra il 1977 e il 1993



E' stato considerato il fattore di correzione previsto dal prospetto 22 della Norma UNI TS 11300-2 in funzione della temperatura di mandata e di ritorno dell'impianto.

*Fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di distribuzione*

Il fabbisogno di energia elettrica del sottosistema di distribuzione è stato calcolato secondo quanto prescritto dal punto 6.7.3 della Norma UNI TS

11300-2. Il contributo delle pompe a velocità costante piuttosto che dotate di inverter è stato definito attraverso il prospetto 26 della Norma UNI TS 11300-2.

Sistema di pompaggio	
Circuito primario	
Potenza Elettrica - Riscaldamento [W]	400
Pompe di distribuzione	
Funzionamento della pompa	Pompa a velocità variabile
Azionamento della pompa	Pompa a funzionamento continuo

**Sottosistema di generazione**

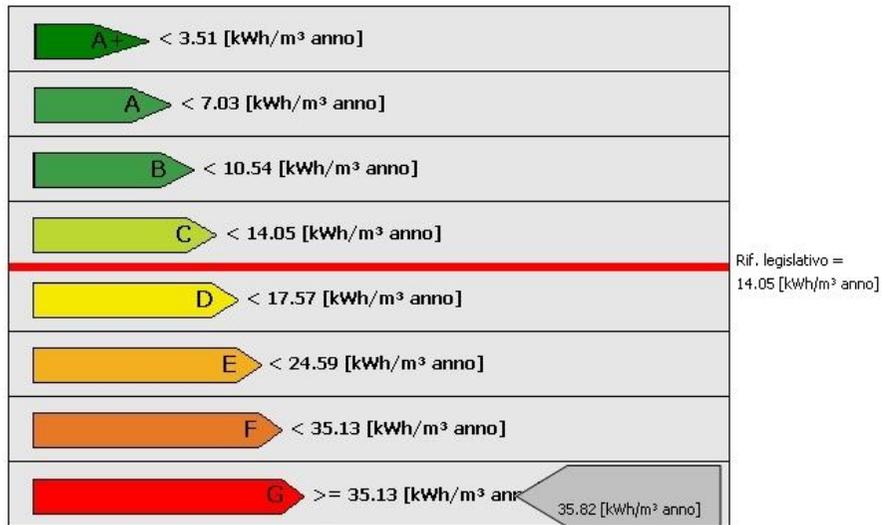
I rendimenti e le perdite del sottosistema di generazione sono stati calcolati attraverso il calcolo analitico (Metodo B2) – appendice B della Norma UNI TS 11300-2. Sono stati inseriti nel software i dati relativi ad un generatore di calore tradizionale non a condensazione.

Dati caldaia	Dati attacchi	Specifiche del generatore
Metodo di calcolo del rendimento di generazione: Calcolo analitico (Metodo B2) - Appendice B UNI/TS 11300		
<b>GENERATORE DI CALORE</b>		
Descrizione modello	CALDAIA RIELLO TAU	
Combustibile	Metano	
Pot. nom. utile del sistema di produz. [kW]	346	
Potenza nominale del focolare [kW]	349	
Tipo	Generatore a condensazione modulante	
Rendimento al 100% di Pn [%]	99.3	
Rendimento al 30% di Pn [%]	107.5	
Fluido vettore	Acqua	
<b>Calcolo analitico</b>		
<b>Generatore a combustione - dati del singolo modulo</b>		
Potenza elettrica assorbita dal bruciatore [W]	700	
Tipo di bruciatore	Bruciatori ad aria soffiata con chiusura dell'aria comburente	
Perd. term. al camino con bruc. spento [%]	0.1	
Perd. term. al camino con bruc. acceso [%]	1.5	
Tipo ed ubicazione del generatore	Generatore installato in centrale termica	
Tipo di isolamento del mantello	Generatore alto rendimento, ben isolato	
Fattore di riduzione delle perdite al mantello	0.7	
Circolazione dell'acqua in caldaia	Circolazione permanente di acqua in caldaia	
Tipo di generatore per peso	Generatore in acciaio	

**2.2. Attestato di certificazione energetica stato di fatto**

L'edificio così come è stato modellizzato attraverso il software risulta in classe energetica G (ai sensi del Decreto 26 giugno 2009); infatti il fabbisogno di energia primaria in funzionamento continuo è pari a 35.825 kWh/m³anno, mentre il fabbisogno limite ai sensi del D.lgs. 311/2006 è pari a 14.05 kWh/m³anno. Il fabbisogno annuo globale di energia primaria per la climatizzazione invernale, in regime continuo, risulta pari a 3.582.500 kWh/anno.







### 3. Interventi proposti nel Progetto

Il presente capitolo descrive gli interventi di riqualificazione energetica che si propongono.

Tali interventi sono divisi in:

- Interventi sull'involucro edilizio
- Interventi sull'impianto

#### 3.1. Interventi sull'involucro edilizio

Gli interventi migliorativi legati all'involucro edilizio sono:  
Realizzazione di **isolamento termico interno** nelle pareti perimetrali.  
Realizzazione di **isolamento termico** della copertura.  
Sostituzione dei **vetri e dei telai di tutti i corpi finestrati** trasparenti  
Realizzazione di **isolamento termico** nel pavimento.

Per ciascuno degli interventi proposti per il calcolo del risparmio di CO2 immessa nell'aria, sono stati seguiti i valori indicati dalla UNI EN 15603 2008 – Prestazioni energetiche degli edifici – consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica.

#### LEGENDA

DEFINIZIONE	SIMBOLO	UNITA' DI MISUR A
FABBISOGNO IDEALE DI ENERGIA TERMICA PER IL RISCALDAMENTO	$Q_h$	[MJ]
ENERGIA DISPERSA DAL SIST. DI PRODUZIONE ACS E RECUPERATA DAL SISTEMA DI RISCALDAMENTO	$Q_{w,lrh}$	[MJ]
RENDIMENTO DI EMISSIONE	$\eta_e$	[%]
RENDIMENTO DI REGOLAZIONE	$\eta_{rg}$	[%]
FABBISOGNO EFFETTIVO DI ENERGIA TERMICA PER IL RISCALDAMENTO	$Q_{hr} = [(Q_h - Q_{w,lrh}) / \eta_e] / \eta_{rg}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA DISPERSA DAL SOTTOSISTEMA DI DISTRIBUZIONE	$Q_{ld}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA RECUPERATA DAGLI AUSILIARI ELETTRICI DEL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE	$Q_{aux,d,lrh}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA IN INGRESSO AL SOTTOSISTEMA DI DISTRIBUZIONE	$Q_{d,in} = Q_{hr} + Q_{ld} - 0,85Q_{aux,d}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA DISPERSA DAL SOTTOSISTEMA DI ACCUMULO	$Q_{l,s}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA RECUPERATA DAL SOTTOSISTEMA DI ACCUMULO	$Q_{lrh,s}$	[MJ]

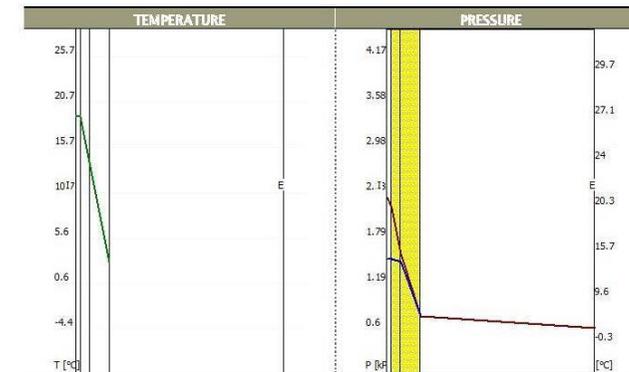
ENERGIA TERMICA DISPERSA DAL CIRCUITO PRIMARIO	$Q_{l,pd}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA RECUPERATA DAL CIRCUITO PRIMARIO	$Q_{lrh,pd}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA EROGATA DAL GENERATORE	$Q_{gn,out} = Q_{din} + Q_{ls} - Q_{lrh,s} + Q_{lpd} - Q_{lrh,pd}$	[MJ]
ENERGIA TERMICA FORNITA DAL SISTEMA DI PRODUZIONE	$Q_{gn,in}$	[MJ]
FABBISOGNO ELETTRICO DEGLI AUSILIARI DEL SISTEMA DI GENERAZIONE DEL CALORE	$Q_{aux,gn}$	[MJ]
FABBISOGNO ELETTRICO DEI TERMINALI DI EROGAZIONE DEL CALORE	$Q_{aux,e}$	[MJ]
FABBISOGNO ELETTRICO DEGLI AUSILIARI DEL SOTTOSISTEMA DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE	$Q_{aux,d}$	[MJ]
RENDIMENTO DI PRODUZIONE MEDIO MENSILE	$\eta_p$	[%]
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA	$Q$	[MJ]

E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 98 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.168 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

STRUTTURA: MURO ESTERNO 100 CM + ISOLAMENTO INTERNO



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA				
Ti	Ta	U.R.(θ)	U.R.(a)	Vento
°C	°C	h/m²K	h/m²K	h/m²K
20	0	65	0	4

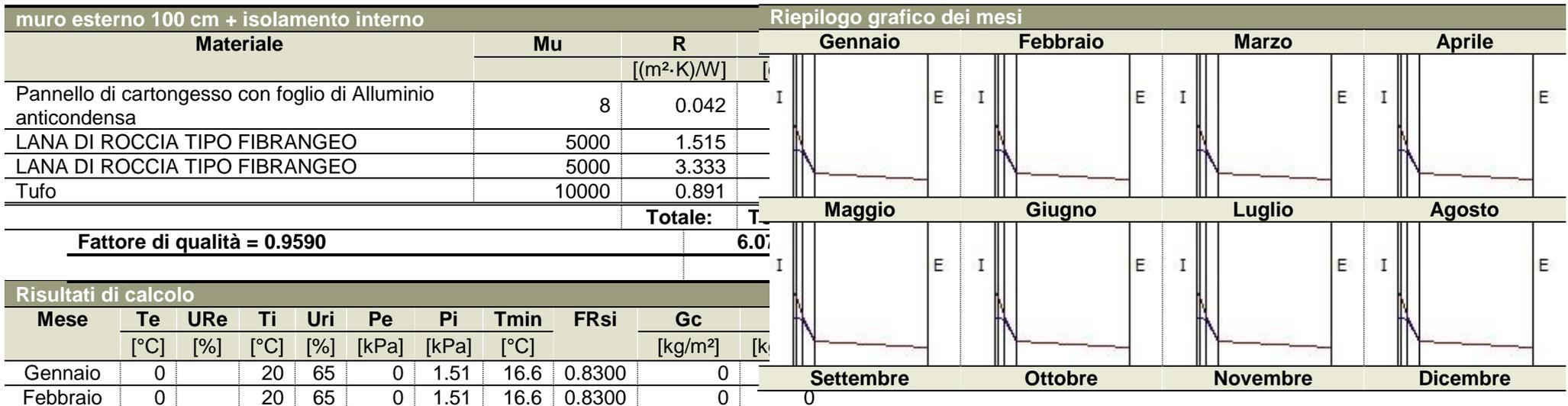
STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>0</sub>	r	dT	TF	Ps	μ	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente								20	2,32					0		
Strato limitare interno						0,130	0,1	19,6	2,27					0		
Pannello di cartongesso con ri	750	2,5	0,6	0	0,6	0,042	0,1	19	2,18	8	1,1	0	18,75	1,51	0,84	15,37
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	5	0,033	0	0,033	1,515	5	14	1,59	5000	1333,2	0,04	3,75	1,47	0,85	2,71
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	11	0,033	0	0,033	3,333	11	3,1	0,76	5000	2933	0,08	8,25	0,76	0,85	4,04
Tufo	2300	98	1,1	0	1,1	0,891	2,9	0,1	0,6	10000	5226,1	1,4	2,25-4,00	0	0,84	952,92
Strato limitare esterno						0,040	0,1	0	0,6					0		
<b>TOTALE:</b>						<b>5,951</b>							<b>2284,75</b>			<b>975,05</b>
Trasmittanza teorica:						[W/(m²·K)]										
Incremento di sicurezza (i <sub>0</sub> ):						[W/(m²·K)]										
Arrotondamento:																
Trasmittanza adottata:						[W/(m²·K)]										

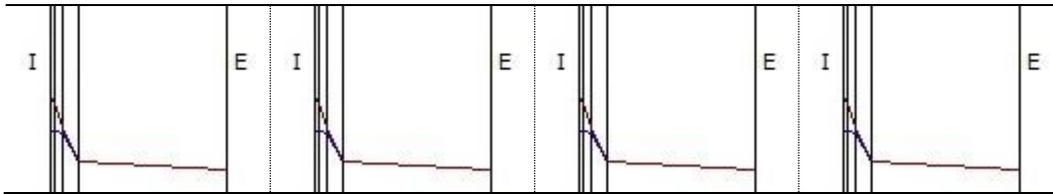
CONFRONTO CON I VALORI LIMITE			
La struttura opaca è del tipo			Verticale
Trasmittanza a parete termico corretto U <sub>c</sub>			[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza			0,306 [W/(m²·K)]

Marzo	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0	20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

### Verifiche normative

- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m<sup>2</sup>
- 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale



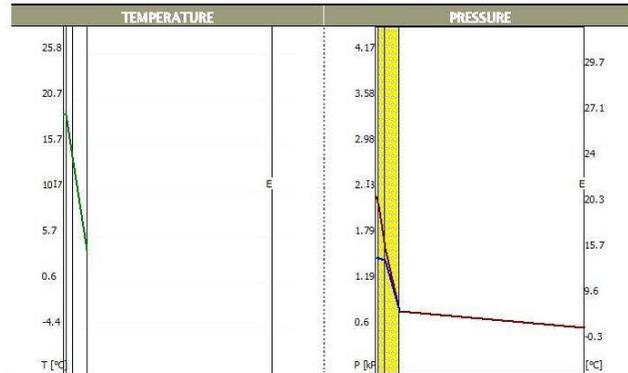


E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 148 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.15 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

**STRUTTURA: MURO ESTERNO 150 CM + ISOLAMENTO INTERNO**



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA												
Tl		Ta		U.R.D			U.R.M			Vento		
Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	
20	0	65	0	4								

STRATIGRAFIA																	
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λm	r	dT	Tf	Pa	μ	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS	
Aria ambiente							20	2,32								0	
Strato limitare interno							0,130	0,4	19,6	2,27						0	
Pannello di cartongesso con ri	750	2,5	0,6	0	0,6	0,042	0,1	19,1	2,2	8	1,1	0	18,25	1,51	0,84	15,80	
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGE	75	5	0,033	0	0,033	1,515	4,6	14,5	1,64	5000	1333,2	0,02	3,75	1,49	0,85	2,75	
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGE	75	11	0,033	0	0,033	3,333	10,2	4,2	0,82	5000	2933	0,05	8,25	0,82	0,85	4,25	
Tufo	2300	148	1,1	0	1,1	1,345	4,1	0,1	0,6	10000	7892,4	9	1,43	3.404,00	0	0,84	1.438,4
Strato limitare esterno							0,040	0,1	0	0,6						0	
<b>TOTALI:</b>							<b>6,405</b>						<b>3434,75</b>			<b>1.480,8</b>	
Trasmittanza teorica:																0,156	
Incremento di sicurezza (0%):																0,156	
Arrotondamento:																	
Trasmittanza adottata:																0,156	

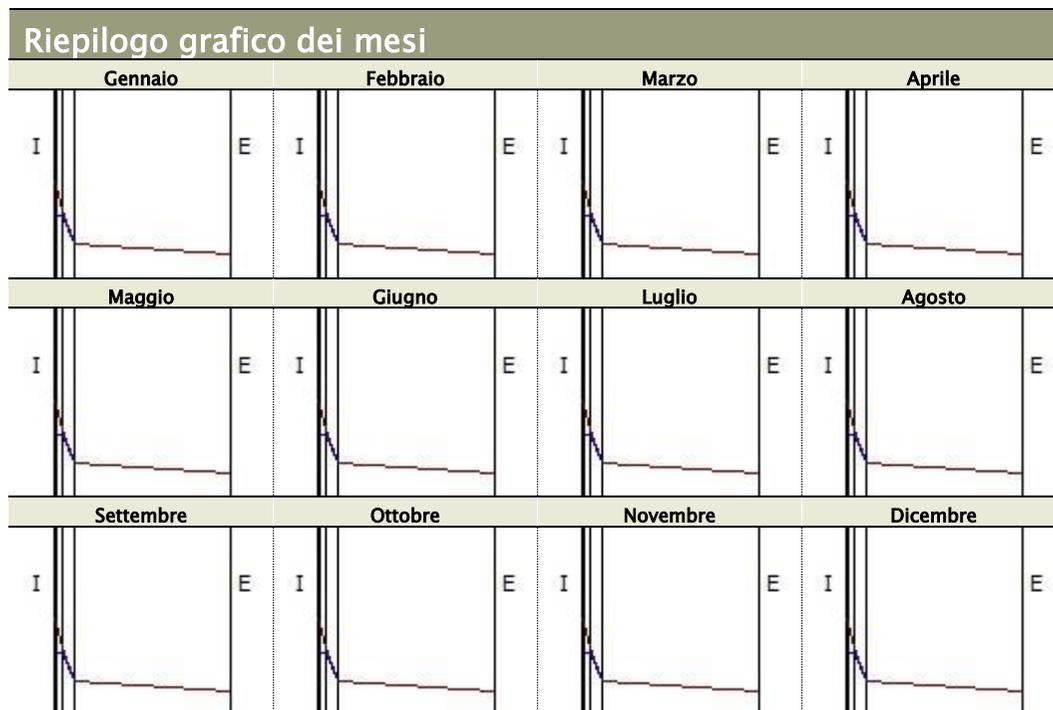
CONFRONTO CON I VALORI LIMITE		
La struttura opaca è del tipo		Verticale
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>	0,156	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza	0,306	[W/(m²·K)]

muro esterno 150 cm + isolamento interno			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Pannello di cartongesso con foglio di Alluminio anticondensa	8	0.042	2.5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGE	5000	1.515	5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGE	5000	3.333	11
Tufo	10000	1.345	148
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>6.526</b>	<b>166.5</b>

Fattore di qualità = 0.9620

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

- Verifiche normative**
- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
  - 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m²
  - 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

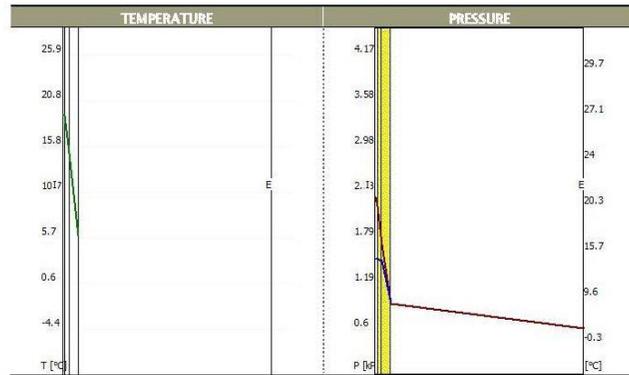


E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 238 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.138 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

**STRUTTURA: MURO ESTERNO 240 CM + ISOLAMENTO INTERNO**



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA					
Ti	Ta	U.R.R.0		U.R.R.0	Vento
hPa	hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
20	0	65	0	4	

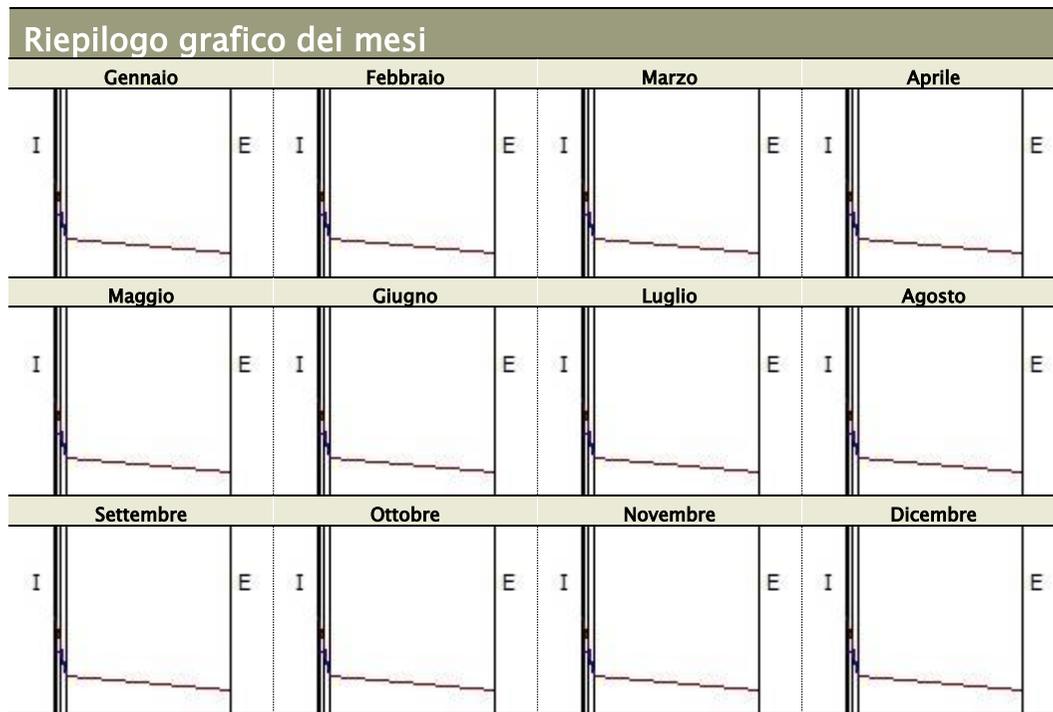
STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	dT	Tf	Ps	μ	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente							20	2,32								
Strato limitare interno					0,130	0,4	19,6	2,27								
Pannello di cartongesso con ri	750	2,5	0,6	0	0,6	0,042	0,1	19,2	2,21	8	1,1	0	18,75	1,31	0,84	15,44
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	5	0,033	0	0,033	1,515	4,1	15,1	1,7	5000	1333,2	0,02	3,75	1,49	0,85	2,80
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	11	0,033	0	0,033	3,333	9,1	6	0,93	5000	2933	0,03	8,25	0,93	0,85	4,56
Tufo	2300	238	1,1	0	1,1	2,164	5,9	0,1	0,6	10000	12691	1,46	5,474,00	0	0,84	2,311,6
Strato limitare esterno						0,040	0,1	0	0,6		9,8					
<b>TOTALI:</b>																
		256,5				7,224							5504,75			2,334,3
Trasmittanza teorica:																0,138
Incremento di sicurezza (0%):																0,138
Arrotondamento:																
Trasmittanza adottata:																0,138

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE	
La struttura opaca è del tipo	Verticale
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>k</sub>	0,138 [W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza	0,306 [W/(m²·K)]

muro esterno 240 cm + isolamento interno			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Pannello di cartongesso con foglio di Alluminio anticondensa	8	0.042	2.5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	1.515	5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	3.333	11
Tufo	10000	2.164	238
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>7.344</b>	<b>256.5</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

- Verifiche normative**
- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
  - 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m²
  - 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

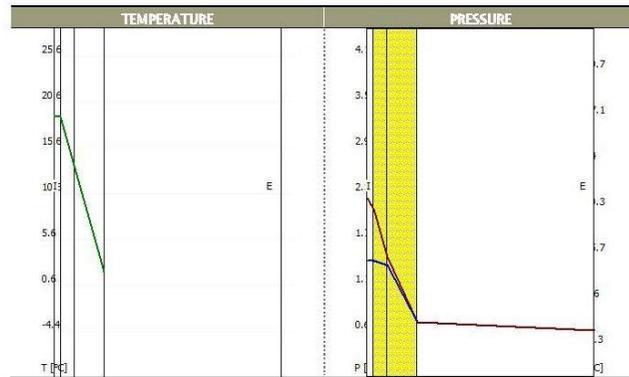


E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 65 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.177 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

**STRUTTURA: MURO ESTERNO 67 CM + ISOLAMENTO INTERNO**



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA					
Ti	Te	U.R.(D)	U.R.(M)	Vento	
Pa	Pa	Pa	Pa	Direz	Direz
20	0	65	0		4

STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	dT	Tf	Ps	μ	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente							20	2,32						0		
Strato limitare interno						0,130	0,5	19,5	2,25					0		
Pannello di cartongesso con n	750	2,5	0,6	0	0,6	0,042	0,1	19	2,18	8	1,1	0	18,75	1,51	0,84	15,35
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	5	0,033	0	0,033	1,515	5,3	13,7	1,56	5000	1333,2	0,05	3,75	1,46	0,85	2,69
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	11	0,033	0	0,033	3,333	11,6	2,2	0,71	5000	2933	0,11	8,25	0,71	0,85	3,89
Tufo	2300	65	1,1	0	1,1	0,591	2	0,1	0,6	10000	3466,3	1,34	1,495,00	0	0,84	632,25
Strato limitare esterno						0,040	0,1	0	0,6					0		
<b>TOTALE</b>						<b>5,651</b>							<b>1525,75</b>			<b>654,18</b>
Trasmittanza teorica:	[W/(m²·K)] 0,177															
Incremento di sicurezza (0[Pa]):	[W/(m²·K)] 0,177															
Arrotondamento:																
Trasmittanza adottata:	[W/(m²·K)] 0,177															

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE		
La struttura opaca è del tipo	Verticale	
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>	0,177	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza	0,306	[W/(m²·K)]

muro esterno 67 cm + isolamento interno			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Pannello di cartongesso con foglio di Alluminio anticondensa	8	0.042	2.5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	1.515	5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	3.333	11
Tufo	10000	0.591	65
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>5.771</b>	<b>83.5</b>

Fattore di qualità = 0.9570

### Risultati di calcolo

Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

### Verifiche normative

- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m²
- 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

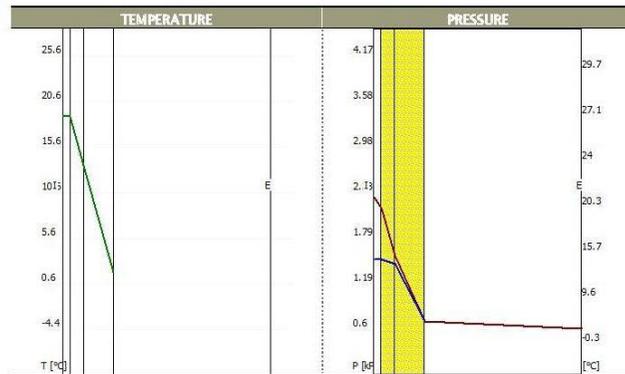
<b>Riepilogo grafico dei mesi</b>			
<b>Gennaio</b>	<b>Febbraio</b>	<b>Marzo</b>	<b>Aprile</b>
I	E	I	E
<b>Maggio</b>	<b>Giugno</b>	<b>Luglio</b>	<b>Agosto</b>
I	E	I	E
<b>Settembre</b>	<b>Ottobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Dicembre</b>
I	E	I	E

E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 58 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.179 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

**STRUTTURA: MURO ESTERNO 60 CM + ISOLAMENTO INTERNO**



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA					
Ti	Te	U.R.Ø		U.R.Ø	Vento
Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
20	0	65	0	4	

STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>eff</sub>	r	dT	Tf	Ps	μ	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente							20	2,32								0
Strato limitare interno					0,100	0,5	19,5	2,25								0
Pannello di cartongesso con n	750	2,5	0,6	0	0,6	0,042	0,1	19	2,18	8	1,1	0	18,25	1,51	0,84	15,35
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	5	0,033	0	0,033	1,515	5,3	13,7	1,56	5000	1333,2	0,06	3,75	1,45	0,85	2,68
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	11	0,033	0	0,033	3,333	11,7	2	0,7	5000	2933	0,13	8,25	0,7	0,85	3,85
Tufo	2300	58	1,1	0	1,1	0,527	1,8	0,1	0,6	10000	30930	1,33	1,334,00	0	0,84	564,21
Strato limitare esterno					0,040	0,1	0	0,6								0
<b>TOTALE</b>	<b>76,5</b>				<b>5,587</b>								<b>1364,75</b>			<b>586,09</b>
Trasmittanza teorica:																0,179
Incremento di sicurezza (0%):																0,179
Arrotondamento:																
Trasmittanza adottata:																0,179

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE		
La struttura opaca è del tipo		Verticale
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>	0,179	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza	0,306	[W/(m²·K)]

muro esterno 60 cm + isolamento interno			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Pannello di cartongesso con foglio di Alluminio anticondensa	8	0.042	2.5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	1.515	5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	3.333	11
Tufo	10000	0.527	58
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>5.707</b>	<b>76.5</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

- Verifiche normative**
- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
  - 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m²
  - 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

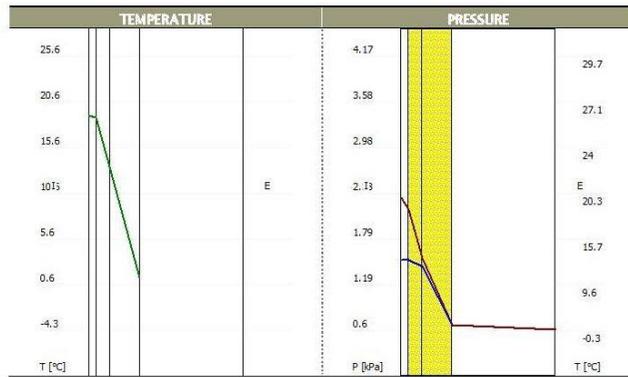


E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 38 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.185 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

**STRUTTURA: MURO ESTERNO 40 CM + ISOLAMENTO INTERNO**



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA					
Ti	Ta	U.R.Ø	U.R.Øi	Vento	
°C	°C	Pa	Pa	Dir	Vel
20	0	65	0		4

STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λm	r	dT	Tf	Pe	μ	Rv	dP	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente							20	2,32								0
Strato limitare interno							0,130	0,5	19,5	2,25						0
Pannello di cartongesso con ri	750	7,5	0,6	0	0,6	0,042	0,2	18,9	2,17	8	1,1	0	18,75	1,51	0,84	15,33
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	5	0,033	0	0,033	1,515	5,5	13,5	1,54	5000	1333,2	0,08	3,75	1,43	0,85	2,67
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	11	0,033	0	0,033	3,333	12,1	1,4	0,67	5000	2933	0,18	8,25	0,67	0,85	3,75
Tufo	2300	38	1,1	0	1,1	0,345	1,3	0,1	0,6	10000	20264	1,25	874,00	0	0,84	369,74
Strato limitare esterno							0,040	0,1	0	0,6						0
<b>TOTALE:</b>	<b>56,5</b>					<b>5,405</b>							<b>904,75</b>			<b>391,49</b>
Trasmittanza teorica:	[W/(m²·K)] 0,185															
Incremento di sicurezza (0[%]):	[W/(m²·K)] 0,185															
Arrotondamento:																
Trasmittanza adottata:	[W/(m²·K)] 0,185															

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE		
La struttura opaca è del tipo		Verticale
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>		0,185 [W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza		0,306 [W/(m²·K)]

muro esterno 40 cm + isolamento interno			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Pannello di cartongesso con foglio di Alluminio anticondensa	8	0.042	2.5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	1.515	5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	3.333	11
Tufo	10000	0.345	38
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>5.526</b>	<b>56.5</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

Verifiche normative	
1) La struttura <b>non è</b> soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.	
2) La quantità di condensato <b>non supera</b> i 0.5 kg/m²	
3) La struttura <b>non è</b> soggetta a fenomeni di condensa superficiale	

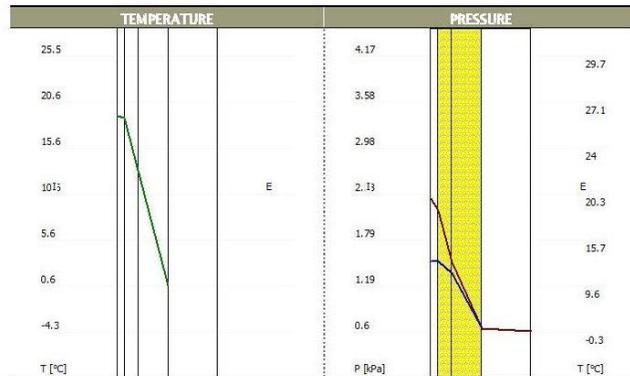


E' stata considerata la seguente tipologia di parete esterna:

- ▼ spessore 18 cm, muratura in sasso e 16 cm di isolamento interno (0,033 W/mK). Cartongesso interno con rivestimento in foglio di Alluminio anticondensa. Trasmittanza 0.191 W/m²K.

La seguente tabella riporta il calcolo analitico della trasmittanza della parete esterna esistente.

**STRUTTURA: MURO ESTERNO 20 CM + ISOLAMENTO INTERNO**



CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA					
Ti	Te	U.R.(E)	U.R.(I)	Vento	
[°C]	[°C]	[W/m²K]	[W/m²K]	[m/s]	[m/s]
20	0	65	0	4	

STRATIGRAFIA																	
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λm	r	dT	Tf	Ps	μ	Rv	dP	D5	Pv	CT	CTS	
Aria ambiente							20	2,32								0	
Strato limitare interno							0,130	0,5	19,5	2,25						0	
Pannello di cartongesso con ri	750	2,5	0,6	0	0,6	0,042	0,2	18,0	2,12	8	1,1	0	18,75	1,51	0,84	15,32	
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	5	0,033	0	0,033	1,515	5,7	13,2	1,51	5000	1333,2	0,15	3,75	1,36	0,85	2,65	
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	75	11	0,033	0	0,033	3,333	12,5	0,8	0,64	5000	2933	0,32	8,25	0,64	0,85	3,64	
Tufo	2300	18	1,1	0	1,1	0,164	0,6	0,1	0,6	10000	9599	1,05	414,00	0	0,84	175,18	
Strato limitare esterno							0,040	0,2	0	0,6						0	
<b>TOTALI:</b>							<b>36,5</b>						<b>5,224</b>			<b>444,75</b>	<b>196,79</b>
Trasmittanza teorica:			[W/(m²·K)]			0,191											
Incremento di sicurezza (0[%]):			[W/(m²·K)]			0,191											
Arrotondamento:																	
Trasmittanza adottata:			[W/(m²·K)]			0,191											

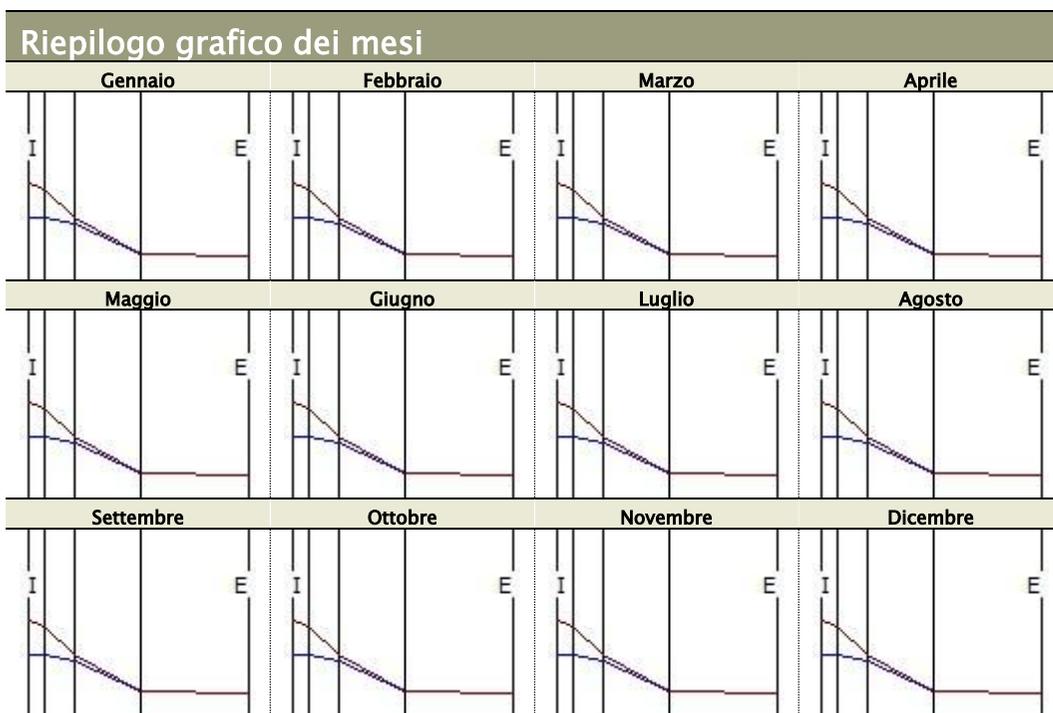
CONFRONTO CON I VALORI LIMITE			
La struttura opaca è del tipo		Verticale	
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>t</sub>		0,191	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza		0,306	[W/(m²·K)]

muro esterno 20 cm + isolamento interno			
Materiale	Mu	R	S

		[(m²·K)/W]	[cm]
Pannello di cartongesso con foglio di Alluminio anticondensa	8	0.042	2.5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	1.515	5
LANA DI ROCCIA TIPO FIBRANGEO	5000	3.333	11
Tufo	10000	0.164	18
	<b>Totale:</b>	<b>5.344</b>	<b>36.5</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	TI	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Febbraio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Marzo	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Aprile	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Maggio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Luglio	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Agosto	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Settembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Ottobre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Novembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0
Dicembre	0		20	65	0	1.51	16.6	0.8300	0	0

- Verifiche normative**
- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
  - 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m²
  - 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale



In prossimità dei ponti termici si prevede il rivestimento degli stessi con il materiale isolante.

### 3.1.1. Realizzazione di isolamento termico della copertura

E' stato inserito nel software il pacchetto della nuova copertura proposta per l'edificio così caratterizzato:

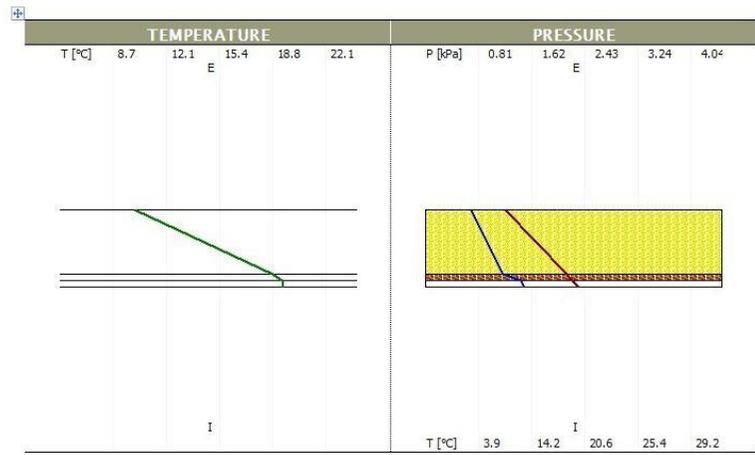
- ▼ Copertura esterna isolata – spessore 22 cm – trasmittanza 0.228W/m²K  
 con isolamento in fibra di legno – spessore 20cm – lambda 0.05 W/mK – densità 30Kg/m³

La trasmittanza della copertura si riduce dal valore di stato di fatto pari da 5.932 W/m²K

al valore di stato di progetto pari a 0.228 W/m²K.

Le tabelle seguenti riportano il calcolo termo-igrometrico della copertura; si può evincere dal calcolo che il pacchetto non presenta fenomeno di condensa superficiale e/o interstiziale.

#### STRUTTURA: TETTO



STRATIGRAFIA																
Descrizione materiale	D	s	λ	m	λ <sub>w</sub>	r	dT	Tf	Ps	μ	Rv	dP	DS	Px	CT	CTS
Aria ambiente								20	2.32							0
Strato limitare interno						0,100	0,5	19,5	2,25							0
Intonaco di calce e gesso	1400	2	0,7	0	0,7	0,029	0,1	19,4	2,24	10	1,1	0,05	28,00	1,46	0,84	22,81
Abete-flusso perpendicolare	450	2	0,068	0	0,068	0,294	0,6	18,8	2,16	60	6,4	0,29	9,00	1,17	2,7	22,79
PANNELLO FIBRA LEGNO 0,05	300	20	0,05	0	0,05	4,000	8,7	10,1	1,22	10	10,7	0,48	60,00	0,69	2,1	65,55
Strato limitare esterno						0,040	0,2	-1	0,56							0
<b>TOTALE</b>						<b>4,463</b>							<b>97</b>			<b>109,15</b>
<b>Trasmittanza teorica:</b>							[W/(m²·K)]	0,222								
<b>Incremento di sicurezza (ODQ):</b>							[W/(m²·K)]	0,222								
<b>Arrotondamento:</b>																
<b>Trasmittanza adottata:</b>							[W/(m²·K)]	0,222								
CONFRONTO CON I VALORI LIMITE																
La struttura opaca è del tipo										:Orizzontale/Inclinata						
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>										[W/(m²·K)]						
Valore limite della trasmittanza										:0,270						

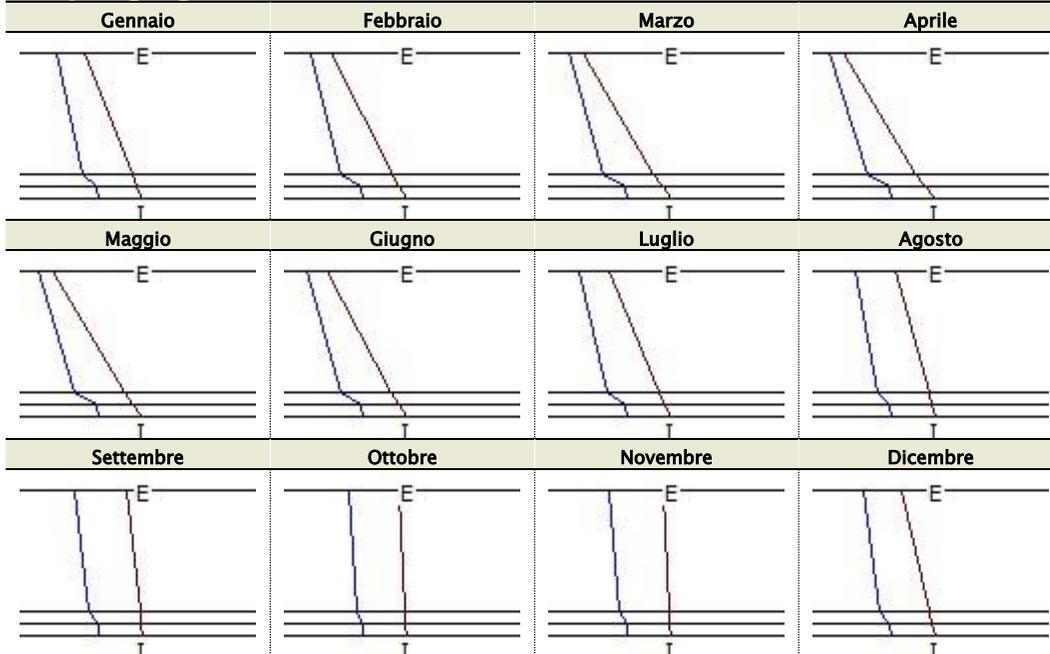
TETTO			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Intonaco di calce e gesso	10	0.029	2
Abete-flusso perpendicolare	60	0.294	2
PANNELLO FIBRA LEGNO 0,05	10	4	20
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
<b>Fattore di qualità = 0.9460</b>		<b>4.613</b>	<b>24</b>

Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	Pi	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	10	57	20	65	0.69	1.51	16.6	0.6590	0	0
Febbraio	5	57	20	65	0.49	1.51	16.6	0.7730	0	0
Marzo	1	59	20	65	0.38	1.51	16.6	0.8210	0	0
Aprile	-1	57	20	65	0.32	1.51	16.6	0.8380	0	0
Maggio	0	58	20	65	0.35	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	4	54	20	65	0.44	1.51	16.6	0.7870	0	0
Luglio	9	51	20	65	0.58	1.51	16.6	0.6900	0	0
Agosto	14	51	20	65	0.81	1.51	16.6	0.4320	0	0
Settembre	18	50	20	65	1.03	1.51	16.6		0	0
Ottobre	19	56	20	65	1.22	1.51	16.6		0	0
Novembre	19	52	20	65	1.14	1.51	16.6		0	0
Dicembre	15	56	20	65	0.95	1.51	16.6	0.3190	0	0

### Verifiche normative

- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m<sup>2</sup>
- 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

### Riepilogo grafico dei mesi





STRATIGRAFIA																
Descrizione stratigrafica	D	s	λ	m	γg	f	αT	TT	Ps	μ	Wv	αF	DS	Pv	CT	CTS
Aria ambiente								20	2,82					0		
Stato limite in interno						0,170	1,6	18,4	2,1					0		
Piastrelle in cotto	1800	2	0,72	0	0,72	0,038	0,1	18,8	2,16	7	0,7	0	96,00	1,81	0,84	28,47
Sottofondo in cls magro	2200	5	0,38	0	0,38	0,054	0,2	18,6	2,18	70	18,7	0,01	110,00	1,5	0,88	80,05
ISOLAMENTO 0,034	30	6	0,034	0	0,034	1,765	7,4	11,2	1,82	5000	1599,8	0,77	1,80	0,78	0,85	0,86
Sottofondi non aerati arg. esp.	1100	5	0,58	0	0,58	0,086	0,4	10,8	1,28	11	2,9	0	55,00	0,78	0,92	27,89
Calcestruzzo ordinario	2200	20	1,28	0	1,28	0,156	0,7	10,2	1,22	70	74,7	0,04	440,00	0,69	0,88	196,88
Stato limite in esterno						0,040	0,4	-1	0,56					0		
<b>TOTALE:</b>	<b>38</b>					<b>2,379</b>							<b>642,8</b>			<b>38,438</b>
Trasmittanza termica:																0,485
Incremento di st. massa (DPM):																0,485
Absorbimento alfa:																
Trasmittanza acustica:																0,485

CONFRONTO CON I VALORI LIMITE			
La struttura è di tipo		Orizzontale in Massa	
Trasmittanza a ponte termico corretto U <sub>c</sub>		0,485	[W/(m²·K)]
Valore limite della trasmittanza		0,257	[W/(m²·K)]

PAV SU TERRA			
Materiale	Mu	R	S
		[(m²·K)/W]	[cm]
Piastrelle in cotto	7	0.028	2
Sottofondo in cls magro	70	0.054	5
ISOLAMENTO 0,034	5000	1.765	6
Sottofondi non aerati arg. esp.	11	0.086	5
Calcestruzzo ordinario	70	0.156	20
		<b>Totale:</b>	<b>Totale:</b>
		<b>2.379</b>	<b>38</b>
<b>Fattore di qualità = 0.8950</b>			

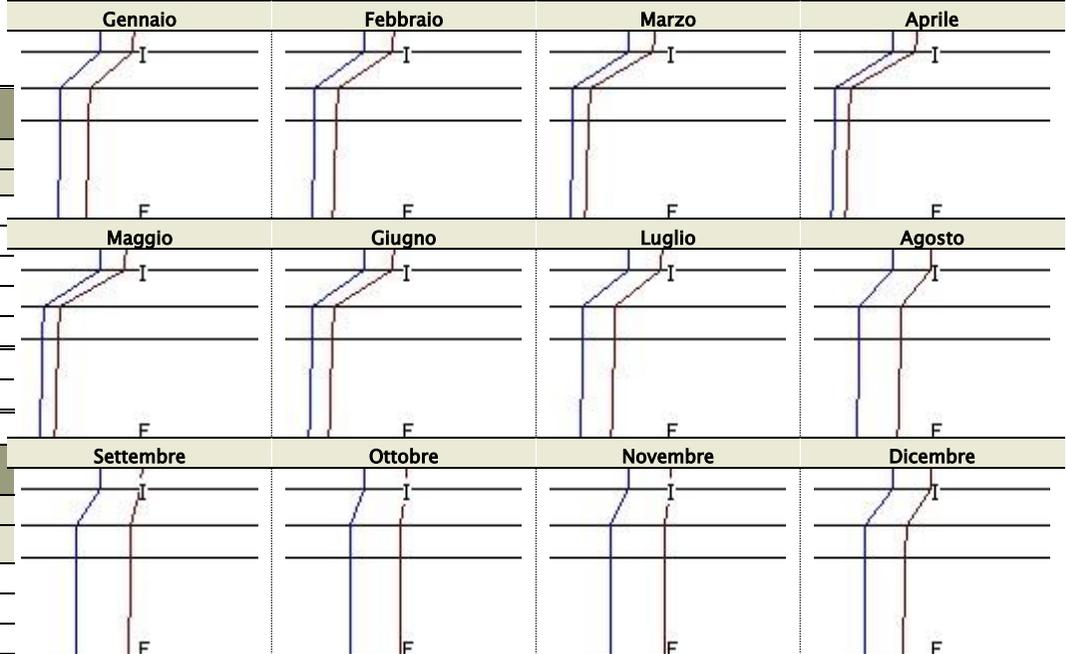
Risultati di calcolo										
Mese	Te	URe	Ti	Uri	Pe	PI	Tmin	FRsi	Gc	Ma
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[kPa]	[kPa]	[°C]		[kg/m²]	[kg/m²]
Gennaio	10	57	20	65	0.69	1.51	16.6	0.6590	0	0
Febbraio	5	57	20	65	0.49	1.51	16.6	0.7730	0	0
Marzo	1	59	20	65	0.38	1.51	16.6	0.8210	0	0
Aprile	-1	57	20	65	0.32	1.51	16.6	0.8380	0	0
Maggio	0	58	20	65	0.35	1.51	16.6	0.8300	0	0
Giugno	4	54	20	65	0.44	1.51	16.6	0.7870	0	0
Luglio	9	51	20	65	0.58	1.51	16.6	0.6900	0	0
Agosto	14	51	20	65	0.81	1.51	16.6	0.4320	0	0
Settembre	18	50	20	65	1.03	1.51	16.6		0	0
Ottobre	19	56	20	65	1.22	1.51	16.6		0	0
Novembre	19	52	20	65	1.14	1.51	16.6		0	0

Dicembre	15	56	20	65	0.95	1.51	16.6	0.3190	0	0
----------	----	----	----	----	------	------	------	--------	---	---

### Verifiche normative

- 1) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- 2) La quantità di condensato **non supera** i 0.5 kg/m²
- 3) La struttura **non è** soggetta a fenomeni di condensa superficiale

### Riepilogo grafico dei mesi



### 3.2. Interventi sull'impianto

Gli interventi migliorativi legati all'impianto sono:

- ▼ Realizzazione di centrale termo-frigorifera centralizzata **con pompa di calore condensata con acqua di falda**.
- ▼ Realizzazione di impianto di **riscaldamento e raffreddamento radiante**.
- ▼ Realizzazione di **accumulo di ghiaccio**.
- ▼ Realizzazione di sistemi di **recupero di calore sull'aria espulsa** ad alta efficienza.
- ▼ Realizzazione di **impianto fotovoltaico**.
- ▼ Realizzazione di **recupero di acque meteoriche** per irrigazione.
- ▼ Realizzazione di impianto di **gestione dell'illuminazione interna**.

#### 5.3.2.1. Pompa di calore condensata con acqua di falda

L'energia termica e l'energia frigorifera a servizio dell'intero complesso edilizio sarà garantita da una coppia di pompe di calore condensate con **acqua di falda**.

Sarà estratta acqua dalla falda attraverso un **pozzo di prelievo** e poi sarà convogliata nella medesima falda attraverso un **pozzo di immissione**.

L'acqua immessa in falda non sarà contaminata né dal punto di vista **termico** (il salto termico massimo tra prelievo e immissione in falda sarà pari a 3°C), né dal punto di vista **fisico o chimico** (sarà installato uno scambiatore di calore che non metta in nessun caso in contatto il contenuto d'acqua degli impianti con la falda).

Come si è accennato saranno installate due pompe di calore per due motivi fondamentali:

- ▼ **Affidabilità:** in caso di avaria di qualche componente di una pompa di calore si mantiene comunque un'elevata percentuale di copertura del carico massimo dell'intero complesso.
- ▼ **Efficienza Energetica:** le due pompe di calore saranno dimensionate per lavorare con il massimo rendimento nelle due fasi di diverso funzionamento, estivo ed invernale.  
Le pompe di calore saranno caratterizzate dai seguenti dati di efficienza energetica:
- ▼ **COP (rendimento invernale)** = 4,4 con acqua di falda 15°C e acqua prodotta impianto 45°C.
- ▼ **EER (rendimento estivo)** = 5,0 con acqua di falda 15°C e acqua

prodotta impianto 7°C.

E' stato inserito nel software il sottosistema di generazione dotato di pompa di calore ad alta efficienza (COP 4.4) con condensazione con acqua, in sostituzione ai generatori di gas metano:

The screenshot shows a software interface for configuring a heating system. The main window is titled 'Progetto' and has tabs for 'Riscaldamento' and 'Acqua calda sanitaria'. The 'Riscaldamento' tab is selected, showing a configuration panel for 'Potenza termica di output [kW]' and 'COP,H'. The configuration includes: 'Fluido termovettore (pozzo caldo)' set to 'Acqua 15', 'Tipo calcolo' set to 'Metodo analitico', 'TOL temperatura limite di funzionamento' set to '-20.00', 'Comportamento alla Temperatura Bivalente (CR > 1)' set to 'funzionamento ALTERNATO', 'Metodo di calcolo del COP ai carichi parziali' set to 'Ipotesi B solo gradino a pieno carico', 'Dati conosciuti di input' set to 'Potenza termica output/COP', 'N° punti Sorg.Fredda' set to '1', 'N° punti Poz.Caldo' set to '1', 'Cc' set to '0.90', and 'CRmin' set to '0.50'. At the bottom, there are two temperature input fields: 'Tc,1' set to '15.00' and 'Te,1' set to '45.00'.

#### 3.2.1. Riscaldamento e raffreddamento radiante

Il controllo della temperatura ambiente sarà garantito da un **impianto radiante**.

L'impianto radiante sarà posato a **pavimento** e, solo in alcune porzioni limitate, a **parete**.

In fase **invernale** il riscaldamento radiante permette di ottimizzare il rendimento di una pompa di calore (e più in generale di un sistema di produzione del calore) in quanto **la temperatura dell'acqua nei circuiti è ridotta (30-35°C)**.

In fase **estiva** il raffrescamento radiante si abbina perfettamente agli impianti di prelievo dell'acqua di falda in quanto permette di sfruttare il **free-cooling diretto**.

Il free-cooling diretto consiste nell'alimentare i circuiti radianti con acqua prelevata a valle dello scambiatore di calore collegato alla falda, senza la necessità di mettere in moto circuiti frigoriferi. Il **raffrescamento sensibile** dell'intero complesso edilizio sarà in sostanza **"gratuito"**, a meno del consumo elettrico limitato della pompa del pozzo.

Le macchine frigorifera saranno in funzione in fase estiva solamente per alimentare le unità di trattamento aria, il cui compito è quello di gestire la deumidificazione degli ambiente e di gestire il ricambio forzato dell'aria (si

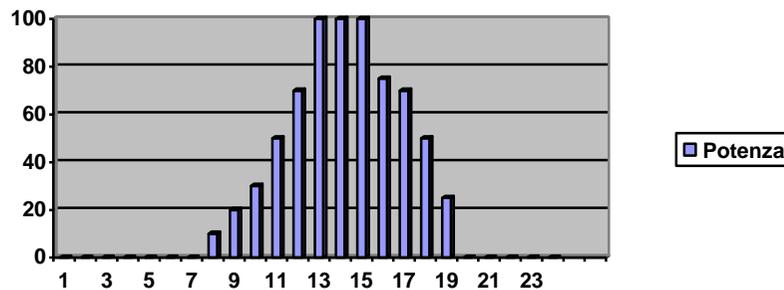
veda anche quanto indicato nel paragrafo relativo al recupero di calore sull'aria espulsa). Tuttavia si può sottolineare che l'impianto descritto potrà coprire il 66% della potenza frigorifera "gratuitamente" con free-cooling diretto e solamente il 33% sarà alimentato dai gruppi frigoriferi elettrici.

### 3.2.2. Accumulo di ghiaccio

Il presente progetto prevede inoltre l'installazione di un **accumulo di ghiaccio**.

Tale accumulo di ghiaccio interrato, avente volume pari 50 mc, consente di accumulare energia frigorifera nei momenti in cui il chiller elettrico può produrre più potenza di quella richiesta dall'impianto.

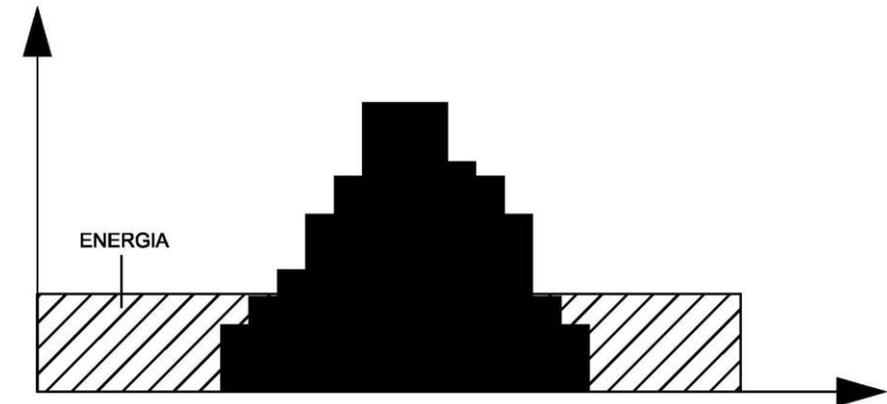
Il grafico seguente riporta l'andamento della potenza frigorifera richiesta dall'impianto in funzione delle ore di funzionamento.



Gli impianti di raffrescamento tradizionali prevedono l'installazione di macchine frigorifere dimensionate sul picco di potenza richiesta dall'impianto; come si evince dal grafico, la macchina lavorerà alla massima potenza nominale solamente per una percentuale di tempo molto ridotta.

L'impianto proposto con accumulo di ghiaccio consente, invece, di ottimizzare la potenza installata degli impianti. L'area sottesa dalla curva di potenza nel tempo (che equivale all'integrale della funzione della potenza nel tempo) è pari all'energia frigorifera assorbita dall'impianto. E' evidente che l'energia frigorifera fornita dalla centrale all'impianto è uguale sia nel caso di impianto tradizionale che nel caso di accumulo di ghiaccio.

Tuttavia nel caso proposto dal progetto l'accumulo di ghiaccio consente di rendere la superficie nel grafico rettangolare.



In tal modo il chiller lavora 24h/24h, sempre alla potenza massima nominale; nei momenti in cui la potenza frigorifera erogata dalla macchina è superiore alla potenza richiesta dall'impianto, viene dirottata la quota in eccedenza per accumulare energia latente nel serbatoio di ghiaccio. Viceversa, quando l'impianto richiede una potenza maggiore di quella erogata dal chiller, l'acqua viene preraffreddata passando dall'accumulo.

I vantaggi dell'accumulo di ghiaccio sono di seguito riassunti:

- ▼ **Minore potenza frigorifera installata:** la centrale frigorifera risulta avere una potenza installata minore rispetto ad un impianto tradizionale; nel caso del presente progetto la potenza frigorifera installata si riduce, passando da 500 kW nel caso di impianto tradizionale a 150 kW con accumulo di ghiaccio. Tale riduzione di potenza frigorifera consente anche una relativa riduzione di potenza elettrica installata.
- ▼ **Minore rumorosità:** la minore potenza frigorifera installata comporta una riduzione della potenza sonora della centrale.
- ▼ **Costo energetico:** si è sottolineato come l'energia frigorifera prodotta dall'impianto nel caso di accumulo di ghiaccio è uguale a quella che sarebbe prodotta da un impianto tradizionale; di conseguenza l'energia elettrica consumata dall'impianto non subisce modifiche. Tuttavia una elevata percentuale dell'energia elettrica, nel caso di accumulo, viene utilizzata durante le ore notturne, quando il livello di occupazione della rete

cittadina è molto ridotto e quindi quando il costo della fascia multi oraria è più basso.

- ▼ **Minore prelievo di acqua dalla falda:** la minore potenza frigorifera installata comporta una riduzione della portata d'acqua prelevata dalla falda. L'accumulo di ghiaccio consente di ridurre la portata d'acqua della falda a 50 l/secondo e quindi la procedura amministrativa di autorizzazione ottiene notevoli semplificazioni.

### Recupero di calore sull'aria espulsa

In tutti i locali del complesso edilizio è previsto un impianto di ricambio d'aria avente portata rispondente a quanto prescritto dalla Norma UNI 10339.

La funzione dell'impianto di ventilazione meccanica è duplice:

- ▼ **Igienico-sanitario:** tale impianto consente, sia in fase invernale che in fase estiva, di garantire le migliori condizioni igienico-sanitarie grazie ai ricambi di aria esterna prescritti dalla Normativa.
- ▼ **Deumificazione:** l'impianto consente, in fase estiva, di controllare l'umidità relativa ambiente attraverso la deumidificazione dell'aria immessa.

La seguente tabella indica, in base alla destinazione d'uso degli ambienti, le prestazioni dell'impianto di ricambio forzato dell'aria ai sensi della Norma UNI 10339:

Destinazione d'uso	Portata d'aria (l/sec*persona)	Affollamento (persone/mq)
Sale mostre, pinacoteche, musei	6,0	0,3
Sale conferenze	5,5	0,3
Commerciale	6,5	0,20
Uffici e assimilabili	11,0	0,12

La spesa energetica legata all'impianto di ventilazione meccanica è in percentuale molto elevata rispetto ai fabbisogni dovuti alla trasmissione del calore.

Per questo motivo risultano di fondamentale importanza gli interventi di recupero del calore sull'aria espulsa. Il presente progetto prevede l'installazione di un recuperatore a flussi incrociati su tutte le unità di trattamento aria avente rendimento pari al 50%.

Il recupero dell'entalpia dell'aria espulsa è uno dei metodi principali per ridurre la spesa energetica di un impianto di ventilazione. Tale tecnologia è resa obbligatoria dal D.P.R. 412/93 (Allegato C), in funzione della portata di aria espulsa, delle ore/anno di funzionamento dell'impianto e dei GradiGiorno della località in cui è installato l'impianto stesso.

Per i sistemi di recupero del calore si deve fare riferimento, per quanto riguarda l'efficienza, a quanto contenuto nella **Norma UNI EN 308** "Scambiatori di calore - Procedimenti di prova per stabilire le prestazioni dei recuperatori di calore aria/aria e aria/gas", la quale definisce i seguenti parametri per definirne l'efficienza energetica:

$$\text{Efficienza termica : } \eta_T = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

$$\text{Efficienza igrometrica : } \eta_X = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}}$$

Tutte le unità di trattamento aria previste nel presente progetto saranno dotate di **serrande di by-pass del recuperatore**; tale serranda sarà dimensionata in modo tale che, nei momenti in cui il recuperatore è by-passato, le perdite di carico di tale sezione risultino estremamente limitate. Infatti il recupero di calore garantito dagli scambiatori sull'aria espulsa non è gratuito: le perdite di carico aggiuntive generate da questa sezione comportano un incremento di energia elettrica assorbita dai ventilatori dell'UTA (sia dal ventilatore di mandata, che da quello di ripresa).

Si può quindi definire COP/EER di un recuperatore di calore come il rapporto tra la potenza recuperata dall'aria espulsa e la potenza elettrica utilizzata dal recuperatore stesso:

$$COP_{rec} = \frac{q_{inv}}{q_{rec}}$$

$$EER_{rec} = \frac{q_{est}}{q_{rec}}$$

Si può dimostrare che per taluni valori di temperatura dell'aria esterna i valori di COP/EER del sistema di recupero sono meno vantaggiosi dei valori di COP/EER delle centrali termo-frigorifere. In questi casi si deve bypassare lo scambiatore di recupero. Parallelamente è necessario dotare i motori dei ventilatori di inverter in modo che il sistema di regolazione possa ridurre la prevalenza dei ventilatori nei momenti in cui lo scambiatore di recupero è disattivato.

La serranda di by-pass consentirà all'impianto di ventilazione meccanica di sfruttare l'utilità del recuperatore a flussi incrociati solo quando esso è effettivamente conveniente.

Inoltre per il recupero di calore della fase estiva si installeranno due diversi sistemi di recupero del calore e in particolare:

- ▼ **Recupero rigenerativo**
- ▼ **Raffreddamento adiabatico indiretto**

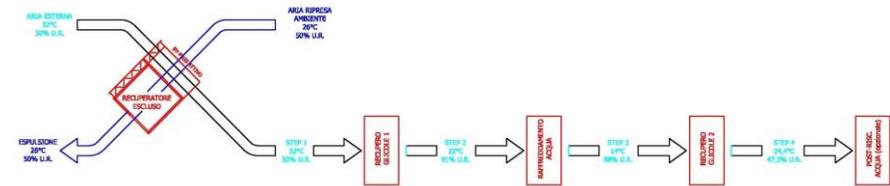
Il **recupero rigenerativo** è una tecnologia che permette di ridurre, in fase estiva, il fabbisogno di energia legato al raffreddamento dell'aria esterna.

Esso consiste nell'installazione, nel flusso di mandata dell'aria, di due batterie ad acqua, una a monte e una a valle della batteria di raffreddamento. Tali batterie di recupero sono collegate da un circuito idronico con pompa e valvola di regolazione. Le due batterie consentono di prelevare calore all'aria esterna e di cederlo all'aria deumidificata.

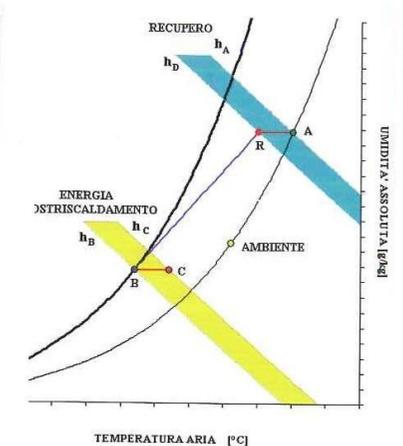
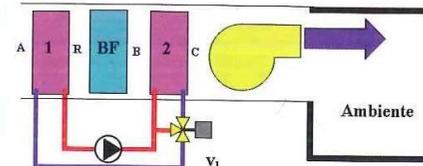
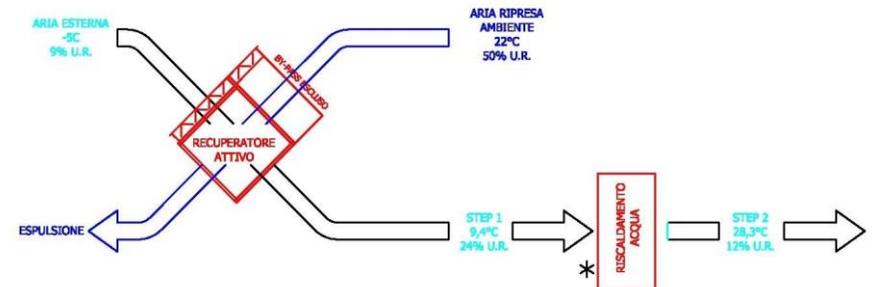
In tal modo si ottiene un pre-raffreddamento elevato dell'aria esterna (molto superiore rispetto ad un comune recuperatore a flussi incrociati) e un post-riscaldamento gratuito dell'aria immessa. Questa tecnologia, quindi, consente di recuperare l'energia persa dal trattamento di post-riscaldamento, necessario per un controllo puntuale dell'umidità relativa ambiente.

Le seguenti figure riportano il trattamento dell'aria nel diagramma psicrometrico nel caso di recupero rigenerativo e uno schema di funzionamento dell'impianto.

**FUNZIONAMENTO ESTIVO**



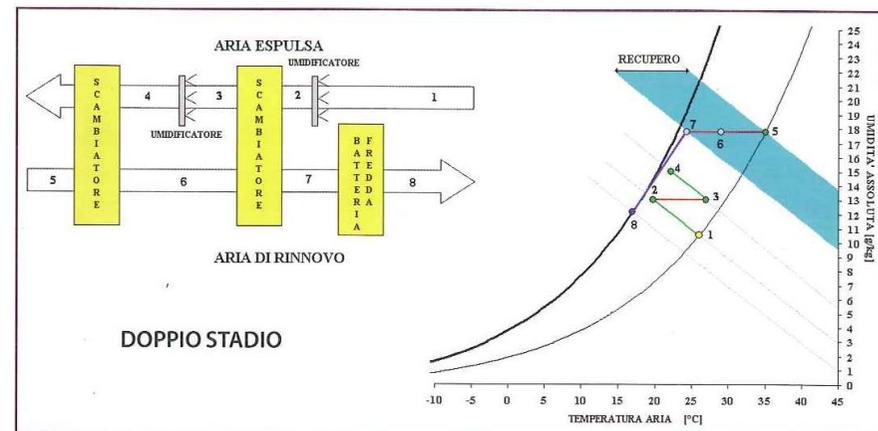
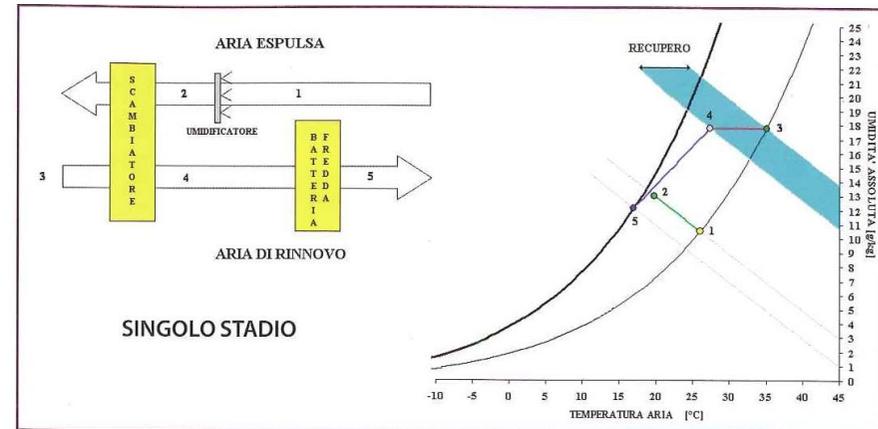
**FUNZIONAMENTO INVERNALE**



Il **raffreddamento adiabatico** indiretto è un'altra tecnologia prevista dal presente progetto, che permette di ridurre, in fase estiva, il fabbisogno di energia legato al raffreddamento dell'aria esterna.

Esso consiste nell'installazione, a monte dello scambiatore a flussi incrociati, un sistema di umidificazione adiabatica dell'aria espulsa. In tal modo si ottiene un pre-raffreddamento dell'aria esterna spesso superiore rispetto ad un comune recuperatore a flussi incrociati che incroci l'aria immessa con l'aria ambiente.

Le seguenti figure riportano il trattamento dell'aria nel diagramma psicrometrico nel caso di recupero rigenerativo e uno schema di funzionamento dell'impianto.



Il presente progetto, inoltre, prevede l'utilizzo di altre tecnologie che consentono una riduzione della spesa energetica legata al ricambio di aria esterna. In particolare:

- ▼ **Free-cooling**
- ▼ **Sistemi a portata variabile**
- ▼ **Serranda di by-pass dei recuperatori**

Tutte le UTA installate saranno caratterizzate dall'inserimento delle serrande necessarie allo sfruttamento del **free-cooling**.

Tale tecnologia consiste nel prelevare l'aria immessa totalmente dall'esterno, quando ciò sia energeticamente conveniente rispetto all'aria di miscela.

Il free-cooling diretto sarà sia totale che parziale; si dice totale se l'aria esterna immessa nelle condizioni medesime, senza trattamento, consente di abbattere completamente le rientrate dell'edificio. Si parla, invece, di free-cooling parziale, se l'aria esterna, pur essendo più conveniente dell'aria di miscela, deve comunque essere trattata dalle batterie dell'UTA per poter abbattere i carichi dell'edificio.

Il free-cooling si ottiene dotando le serrande dell'UTA di motore; il sistema di regolazione è in grado di comandare i motori delle serrande in modo che, quando l'entalpia dell'aria esterna è vantaggiosa rispetto all'entalpia dell'aria ambiente, si chiuda la sezione di miscela e si aprano le serrande di by-pass del recuperatore del calore. In questo caso l'UTA lavora in tutta aria esterna.

Il free-cooling diretto sarà associato a sistemi di umidificazione adiabatica dell'aria in modo da aumentare il campo di lavoro del free-cooling stesso.

Tutti gli impianti di ventilazione previsti dal presente progetto sono studiati a **portata d'aria variabile**.

Ciò è fattibile sia nel caso in cui l'UTA serve un elevato numero di locali sia nel caso in cui l'UTA è dedicata ad un singolo locale.

Nel primo caso l'impianto è più complesso rispetto al secondo caso in quanto in ambiente è necessario installare cassette di regolazione a portata variabile, spesso dotate di batterie di post-riscaldamento. Nel caso, invece, di impianto dedicato ad un singolo locale è sufficiente integrare gli inverter nei ventilatori di mandata e di ripresa e di ampliare la logica del sistema di regolazione.

Un impianto a portata variabile consente di modulare la portata d'aria in funzione dell'effettivo carico a cui è sottoposto l'edificio; in tal modo, soprattutto in edifici che lavorano a tutt'aria esterna, è possibile ridurre sensibilmente il fabbisogno energetico legato al trattamento dell'aria esterna. Tale vantaggio energetico è stato formalizzato dall'Errata Corrige della Norma UNI TS 11300-1 del 22 luglio 2010, in particolare nella correzione legata al punto 12.1.1 della Norma.

Si sottolinea che un impianto a portata variabile consente una riduzione anche delle perdite di distribuzione legate all'energia elettrica assorbita dai ventilatori.

Inoltre tale tecnologia consente di limitare a poche ore all'anno il funzionamento al 100% della portata nominale dell'impianto e quindi si riduce l'usura dei materiali; infine si può sottolineare che la rumorosità dell'impianto è pari al valore nominale solamente in limitate ore all'anno e quindi è verosimile valutare la possibilità di sottodimensionare i silenziatori a setti fonoassorbenti presenti nell'impianto.

#### **Impianto fotovoltaico**

In copertura agli edifici oggetto del presente bando si deve prevedere l'installazione di un impianto fotovoltaico collegato alla fornitura elettrica a servizio delle parti comuni generali dell'area.

Con tale impianto si vuole conseguire una significativa produzione di energia elettrica connessa tramite l'impianto elettrico alla rete pubblica primaria di distribuzione, con possibile utilizzo diretto da parte del produttore stesso o la cessione in rete in caso di surplus produttivo rispetto ai consumi effettivi. In generale, l'applicazione della tecnologia fotovoltaica consente:

- produzione di energia elettrica senza alcuna emissione di sostanze inquinanti;
- il risparmio di combustibile fossile;
- nessun inquinamento acustico;
- soluzioni di progettazione del sistema compatibili con le esigenze di tutela architettonica o ambientale (es. l'impatto visivo);
- il possibile utilizzo per l'installazione dell'impianto di superfici marginali (tetti, solai, terrazzi, ecc.).

Si stima che l'impianto fotovoltaico abbia una potenza emessa di circa 214,5 kWp.

L'impianto fotovoltaico è costituito da più campi solari di raccolta ciascuno dei quali dotato di proprio quadro elettrico per l'interconnessione delle stringhe locali. Da ciascuno di tali quadri elettrici si deriverà una elettrica in corrente continua fino al punto di confluenza presso i locali tecnici comuni per tutta l'area in oggetto. All'interno di tali locali, in ambiente dedicato si dovrà prevedere l'installazione del quadro di parallelo, dell'inverter e del quadro elettrico di lato AC.

Ogni campo fotovoltaico sarà costituito, previo accordo con i tecnici della sovrintendenza ai beni archeologici da coppi fotovoltaici in cotto dotati di modulo fotovoltaico in silicio monocristallino. Tali coppi saranno dislocati sulle falde rivolte a sud, in modo che sia massimo il rendimento ottenibile da tale impianto.





Figura 3 Ipotesi di inverter (Tale immagine è da ritenersi indicativa e non limitativa della tipologia del materiale indicato)

Quadro elettrico lato corrente alternata alla protezione delle linee elettriche uscenti dall'inverter fino al punto di connessione con l'impianto elettrico di edificio.



Figura 4 Quadro di rete (da ritenersi indicativo e non limitativa della tipologia del materiale indicato)

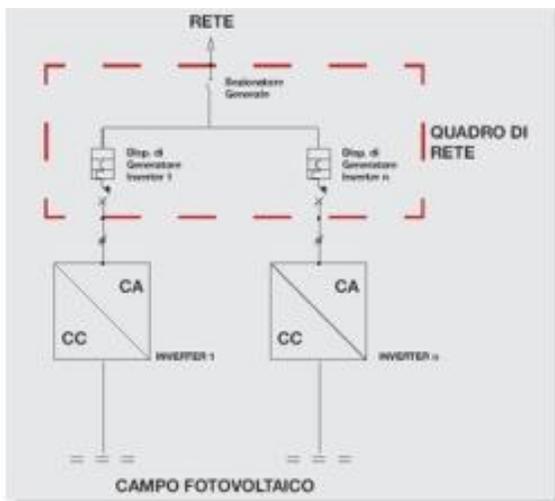


Figura 5 Schema elettrico quadro di rete (schema indicativo e non limitativo della tipologia di materiale indicato)

### Dati generali dell'impianto

Il presente progetto è relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica tramite conversione fotovoltaica, avente una potenza di picco pari a 214,5 kWp.

Installato nel comune di Verona avente i seguenti dati caratteristici:

DATI RELATIVI ALLA LOCALITÀ DI INSTALLAZIONE	
Località:	Verona
Latitudine:	045°26'00"
Longitudine:	010°59'00"
Altitudine:	59 m
Fonte dati climatici:	UNI 10349
Albedo:	20 %

### Descrizione dell'impianto

L'impianto fotovoltaico è costituito da n° 7 generatori fotovoltaici composti circa da n° 49880 moduli fotovoltaici e da n° 1 inverter. La potenza nominale complessiva è di 214,5 kWp per una produzione di 247.808,2 kWh annui distribuiti su una superficie di 4.988 m². Modalità di connessione alla rete attraverso trasformatore BT/MT in Media tensione con tensione di fornitura 10/20kV sistema distributivo TN-S. L'impianto riduce le emissioni inquinanti in atmosfera secondo la seguente tabella annuale:

Equivalenti di produzione termoelettrica	
Anidride solforosa (SO2)	173,30 kg
Ossidi di azoto (NOx)	212,67 kg
Polveri	11,19 kg
Anidride carbonica (CO2)	132,64 t

### Radiazione Solare

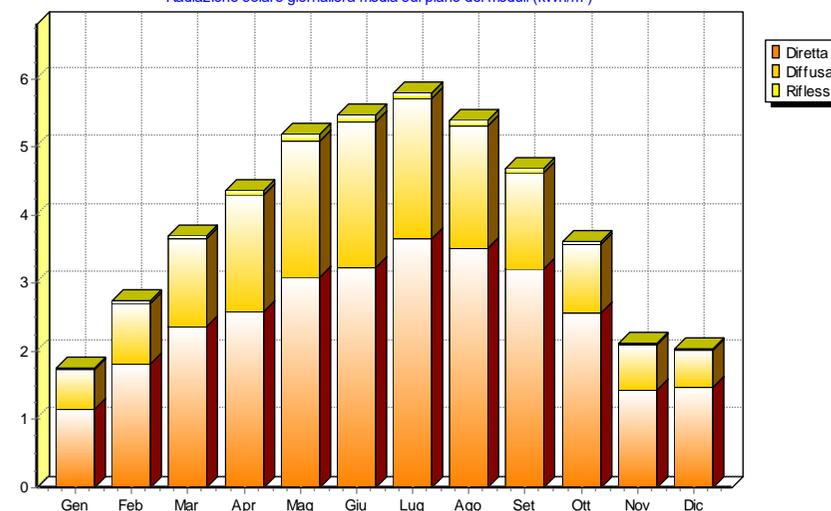
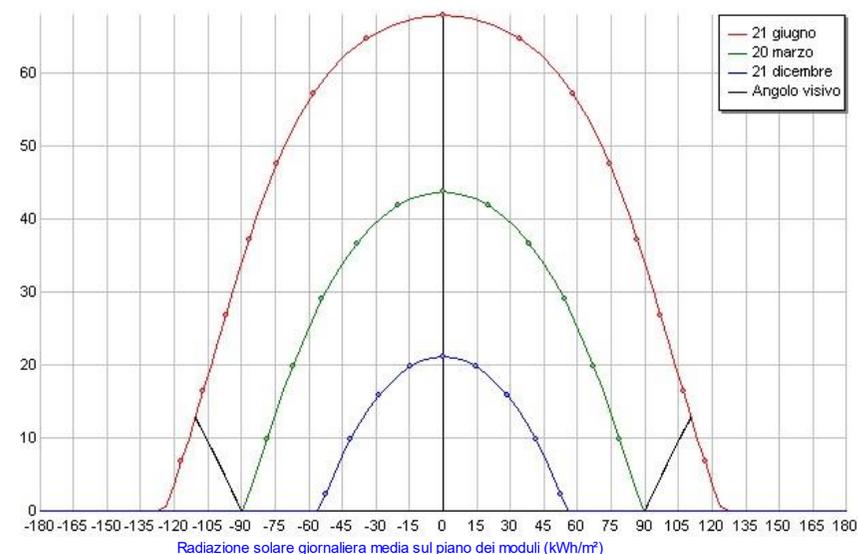
La valutazione della risorsa solare disponibile è stata effettuata in base alla Norma UNI 10349, prendendo come riferimento la località che dispone dei dati storici di radiazione solare nelle immediate vicinanze di Verona. In base a tali dati storici ed alla potenza massima erogabile dall'impianto è possibile ricavare la producibilità media annua dell'impianto fotovoltaico:

Mese	Totale giornaliero [MJ/m²]	Totale mensile [MJ/m²]
Gennaio	4,1	127,1
Febbraio	7,1	198,8
Marzo	11	341
Aprile	14,7	441
Maggio	18,9	585,9
Giugno	20,7	621
Luglio	21,6	669,6

Agosto	18,6	576,6
Settembre	14,3	429
Ottobre	9,4	291,4
Novembre	5	150
Dicembre	4,2	130,2

Mese	Totale giornaliero [kWh]	Totale mensile [kWh]
Gennaio	305,554	9472,188
Febbraio	476,139	13331,887
Marzo	642,86	19928,663
Aprile	757,671	22730,117
Maggio	899,185	27874,731
Giugno	948,672	28460,154
Luglio	1007,095	31219,952
Agosto	934,655	28974,298
Settembre	813,592	24407,753
Ottobre	626,147	19410,554
Novembre	369,27	11078,095
Dicembre	352,251	10919,772

Tale produttività è stata calcolata in base all'esposizione delle falde di copertura degli edifici parte del presente bando ed in base all'angolo formante rispetto all'orizzonte del percorso solare di seguito schematizzato:



**TABELLA DI RADIAZIONE SOLARE**

Mese	Radiazion e Diretta [kWh/m <sup>2</sup> ]	Radiazion e Diffusa [kWh/m <sup>2</sup> ]	Radiazion e Riflessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	Totale giornalier o [kWh/m <sup>2</sup> ]	Totale mensile [kWh/m <sup>2</sup> ]
Gennaio	1,155	0,587	0,018	1,76	54,57
Febbraio	1,818	0,894	0,032	2,743	76,806
Marzo	2,352	1,302	0,049	3,704	114,81
Aprile	2,588	1,711	0,066	4,365	130,95
Maggio	3,078	2,017	0,085	5,18	160,588
Giugno	3,227	2,145	0,093	5,465	163,961
Luglio	3,662	2,043	0,097	5,802	179,86
Agosto	3,514	1,788	0,083	5,385	166,923
Settembr e	3,219	1,405	0,064	4,687	140,614
Ottobre	2,57	0,996	0,042	3,607	111,825
Novembre	1,441	0,664	0,022	2,127	63,822
Dicembre	1,474	0,536	0,019	2,029	62,909

**Dati pannello fotovoltaico:**

<b>DATI COSTRUTTIVI DEI MODULI</b>	
Costruttore:	INDUSTRIE COTTO POSSAGNO
Sigla:	COPPO 4,3W (450mm X 185mm)
Tecnologia costruttiva:	Silicio monocristallino
<b>Caratteristiche elettriche</b>	
Potenza massima:	4,3 W
Rendimento:	13,9 %
Tensione nominale:	4 V
Tensione a vuoto:	5 V
Corrente nominale:	1,1 A
Corrente di corto circuito:	1,1 A
<b>Dimensioni</b>	
Dimensioni:	200 mm x 365 mm
Peso:	3,3 kg

**Dati Inverter:**

Dati costruttivi degli inverter	
Costruttore	POWER ONE
Sigla	PVI-220.0-IT M-M PVI
Inseguitori	4
Ingressi per inseguitore	1
Caratteristiche elettriche	
Potenza nominale	220 kW
Potenza massima	225,6 kW
Potenza massima per inseguitore	56,4 kW
Tensione nominale	850 V
Tensione massima	1000 V
Tensione minima per inseguitore	485 V
Tensione massima per inseguitore	850 V
Tensione nominale di uscita	400 V
Corrente nominale	492 A
Corrente massima	492 A
Corrente massima per inseguitore	123 A
Rendimento	0,95

**3.2.3. Recupero acque meteoriche**

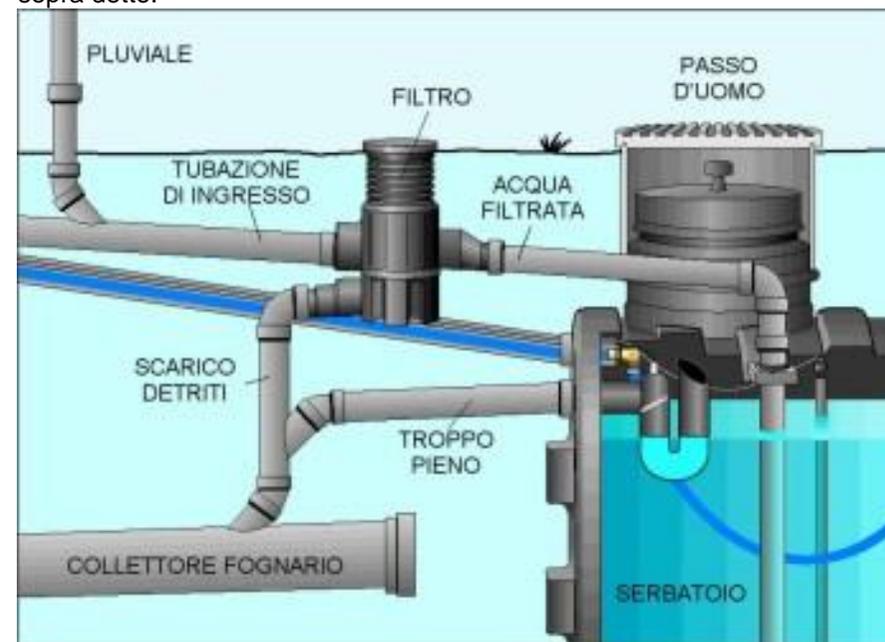
L'impianto di recupero delle acque meteoriche sarà a servizio dell'irrigazione delle zone verdi.

L'impianto è costituito principalmente dai seguenti elementi:

- un serbatoio interrato;

- un sistema filtrante con lo scopo di evitare l'immissione nel serbatoio dei corpi estranei raccolti dall'acqua piovana sul suo percorso;
- una centralina di controllo;
- un sistema di pompaggio;
- tubazioni in polietilene PN16;
- accessori eventuali.

Di seguito è riportato uno schema che illustra il funzionamento di quanto sopra detto.



Principio di funzionamento: l'acqua viene raccolta dallo scarico delle grondaie, direttamente o tramite una pompa immersa nel pozzetto di raccolta, e convogliata verso un filtro che ha la funzione di separare l'acqua dalla sporcizia più grossolana. L'acqua è incanalata all'interno del serbatoio tramite una tubazione la cui parte finale è rivolta verso l'alto, allo scopo di non smuovere gli eventuali sedimenti sul fondo del serbatoio. Il serbatoio (interrato) è realizzato in polietilene e al suo interno è

posizionato un pozzetto autopulente per il filtraggio dotato di una rete in acciaio inox con maglie da 0,7x1,7 mm. L'aspirazione successiva dell'acqua all'interno del serbatoio, avviene a qualche centimetro sotto il livello dell'acqua tramite un tubo flessibile con galleggiante, posto all'interno del serbatoio in modo da pescare l'acqua più pulita (a questa altezza infatti non sono presenti fanghi o sabbia che potrebbero provocare intasamenti). Una centralina elettronica controlla una pompa di mandata e l'intero sistema. La centralina ha inoltre il compito di comandare l'afflusso dell'acqua potabile quando si esaurisce la riserva d'acqua piovana nel serbatoio (sia nei periodi di alta piovosità, che in quelli più secchi). L'installazione della vasca di raccolta acque piovane funge inoltre da **"bacino di raccolta"** nel caso in cui la rete pluviale comunale dovesse andare in crisi durante un violento acquazzone, contribuendo in questo modo a ridurre disagi dovuti per esempio ad eventuali allagamenti localizzati.

L'impianto di recupero delle acque meteoriche ha il vantaggio principale di poter accumulare una risorsa gratuita (l'acqua piovana) da poter sfruttare quando richiesto. Nell'accumulare l'acqua piovana si utilizzeranno particolari filtri per eliminare le impurità ed eventuali corpi solidi (foglie, sabbia, ecc.) in modo tale da preservarne la "freschezza" e la chiarezza stessa (quindi si evita la formazione di odori).

Dimensionamento vasca di raccolta acque piovane:

La quantità di acqua raccolta in un anno solare è data da:

$$Er = Aa \times Hn \times E \times Eta$$

Dove:

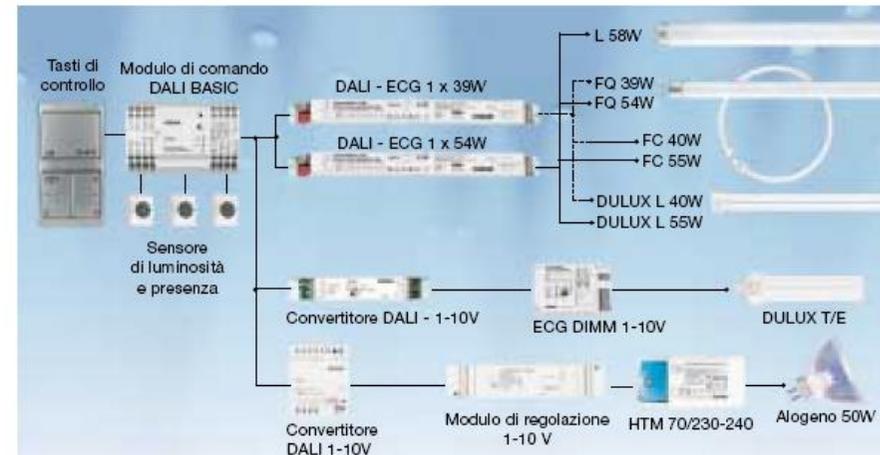
- Aa = superficie di raccolta (mq)
- Hn = media annuale di precipitazioni (mm/mq)
- E = valore di scolo
- Eta = fattore di rendimento idraulico

Nel caso in esame si considerano i seguenti parametri:

- Aa: superficie di raccolta = 13.000 mq
- Hn: media annuale di precipitazioni = 600 mm/mq
- E: valore di scolo = 0,8
- Eta: fattore di rendimento idraulico = 0,8

Quindi:

$$Er = 13.000 \text{ mq} \times 600 \text{ mm/mq} \times 0,8 \times 0,8 = 4.992.000 \text{ mm} = \text{circa } 5.000.000 \text{ litri}$$



Dimensionamento vasca interrata dell'impianto di irrigazione: si considera una scorta idrica di 10 giorni, quindi pari al 2,5% della stagione annuale:

$$V = 5.000.000 \times 0,025 = 125.000 \text{ litri} = 125 \text{ mc}$$

La vasca di raccolta acque meteoriche a servizio dei vasi (carico sciacquoni) sarà interrata in posizione individuabile dagli elaborati grafici allegati.

**3.2.4. Gestione illuminazione**

Illuminazione interna agli edifici

L'illuminazione artificiale dei locali comuni nelle attività direzionali, didattiche, ricreative e museali verrà gestita attraverso l'installazione di un sistema di controllo e di gestione degli apparecchi illuminanti, che ha come obiettivo principale il risparmio energetico e la facilitazione della manutenzione attraverso l'integrazione con l'impianto di supervisione generale della struttura. Tale sistema di controllo dovrà utilizzare un protocollo di trasmissione dei dati che non sia vincolante per la scelta degli apparecchi illuminanti.

Il sistema sarà composto da un hardware, costituito da centrali elettroniche distribuite sui quadri elettrici di zona concentrate attraverso un bus in un

unico punto di controllo in cui attraverso un persona computer si possano individuare mal funzionamenti o avere la possibilità di gestire gli apparecchi illuminanti presenti all'interno della struttura stessa. Il sistema sarà unico per tutto il lotto interessato dal presente progetto, ma ogni zona dotata di propria alimentazione separata (gruppo do misura) sarà dotata di propria centrale di regolazione e comando. L'interconnessione al sistema di supervisione centralizzata dovrà servire solo per la regolazione dell'intensità luminosa delle lampade accese e per la gestione delle manutenzioni.

L'interconnessione tra le centrali ed il punto di controllo avverrà con cavo da rete di cavi dello stesso tipo di quelli utilizzati per il cablaggio strutturato normalmente identificati come cavi UTP. La distribuzione del segnale DALI a valle di queste centrali verrà distribuito con un cavo BUS dedicato.

Dette apparecchiature elettroniche, come già evidenziato, gestiranno in maniera indipendente ogni zona individuata nella struttura e verranno collegate, secondo lo schema sopra riportato, rispettivamente agli organi di comando degli apparecchi illuminanti (pulsanti) ed ai reattori elettronici dimmerabili presenti all'interno di ogni apparecchio illuminante controllato.

Tali reattori elettronici dovranno essere di tipo idoneo per il collegamento a tale sistema. Per gli apparecchi non dotati di reattore elettronico o di tipo non adatto per tale sistema, il modulo elettronico potrà eseguire semplicemente il comando ON/OFF di tali apparecchiature.

La prevista installazione di un sensore in grado di rilevare la posizione e di livello luminoso solare (eliometro) sulla copertura dell'edificio può garantire, attraverso una opportuna programmazione del sistema, la dimmerizzazione automatica delle fonti luminose artificiali all'interno della struttura in base alla luce solare presente in ogni singolo locale, con un importante risparmio energetico.

Tale sistema di supervisione degli apparecchi illuminanti può essere inoltre utilizzato per la creazione di uno scenario notturno in gli apparecchi illuminanti delle zone di passaggio rimangano accesi con la massima dimmerazione per creare un minimo livello luminoso avente la funzione di antintrusione.

Gli obiettivi che si vogliono ottenere con l'installazione di tale impianto di controllo luci sono:

- **Flessibilità di utilizzo.** Non essendo il punto di comando collegato direttamente al punto luce, ma attraverso la centrale elettronica di controllo, sarà possibile in ogni momento modificare il sistema delle

accensioni, variando il tipo ed il numero dei punti luce comandati da un pulsante. Questo permette di non eseguire modifiche all'impianto elettrico anche se la destinazione d'uso del locale viene variata.

- **Piano delle manutenzioni. Il software caricato sul terminale di controllo centralizzato avrà** inserito un sistema di gestione programmata delle manutenzioni. Tale software, oltre ad avvisare il manutentore delle operazioni da eseguire sull'impianto per il mantenimento dell'efficienza luminosa modula l'emissione luminosa degli apparecchi illuminanti in base al loro stato di manutenzione programmato. A tale scopo si ricorda che la Norma UNI EN 12464-1 prevede un coefficiente di riduzione che consideri la riduzione dell'efficienza luminosa degli apparecchi nell'arco del piano manutentivo. Tale coefficiente di riduzione è pari a circa 0,7, cioè appena installato un apparecchio illuminante non controllato emette un flusso luminoso pari al 30% superiore a quanto richiesto dalla normativa, con una illuminazione molto superiore a quanto richiesto e quindi inutile. Con l'installazione di tale sistema di controllo in una prima fase di vita gli apparecchi illuminanti risulteranno molto dimmerati consentendo un buon risparmio energetico.
- **Risparmio energetico.** Oltre al risparmio già descritto nel punto precedente, il sistema da noi proposto con l'installazione di un eliometro sul tetto modula il flusso luminoso emesso da un apparecchio illuminante in base alla luce solare presente in ogni ambiente. Questo abbate ulteriormente i consumi energetici per l'illuminazione degli ambienti, in quanto negli ambienti lavorativi è ormai consuetudine mantenere gli apparecchi illuminanti accesi anche durante le ore diurne in cui il contributo luminoso della luce naturale è maggiore e quindi l'apporto della luce artificiale potrebbe essere minimo.
- **Controllo impianti.** Il sistema di controllo degli apparecchi illuminanti esegue test di funzionamento degli apparecchi in maniera continuativa e quindi segnala in maniera istantanea il mal funzionamento di un apparecchio illuminante in modo che il manutentore possa intervenire in maniera rapida con la sostituzione della lampada o del reattore in base alla segnalazione del sistema.

#### Illuminazione esterna agli edifici

L'illuminazione artificiale delle zone pertinenti esterne agli edifici saranno illuminate con apparecchi illuminanti dotati di sorgente a Led e

con ottica conforme alle richieste della Legge Regionale n° 17 del 7 Agosto 2009 per l'inquinamento luminoso. Ogni apparecchio illuminante sarà dotato di driver con sistema automatico di controllo della temperatura interna e con 4 profili di funzionamento preimpostati e selezionabili tramite micro interruttori. Per ogni profilo sarà possibile regolare in maniera indipendente l'emissione luminosa dell'apparecchio, in particolare un profilo sarà regolato in base ad un orologio astronomico. Tale sistema è personalizzabile mediante software dedicato e trasferibile a mezzo chiave USB.

### **3.2.5. Impianto di TVCC**

TVCC esterna agli edifici

All'esterno degli edifici si prevede l'installazione di un impianto di videoregistrazione composto da telecamere collegate al sistema di videosorveglianza territoriale del comune di Verona. Tutte le immagini dovranno essere remotizzate al comando della polizia municipale. Tali telecamere di tipo digitale dovranno poter controllare i principali incroci e punti di accesso all'area in oggetto, anche attraverso l'installazione di telecamere brandeggiabili da remoto, saranno fissate su palo dedicato o a servizio dell'illuminazione pubblica.

TVCC interna agli edifici

In ogni edificio con destinazione d'uso museale, scolastico, ricreativo, direzionale per la circoscrizione si dovrà prevedere l'installazione di impianti di videoregistrazione per le parti comuni nelle zone di passaggio. In ogni uno di tali impianti si dovrà prevedere un punto di registrazione ed archiviazione digitale delle immagini. Le telecamere saranno adeguatamente protette nel caso di posa in esterno da custodia IP66 con resistenza interna anticondensa, mentre per la posa in interna saranno del tipo Dome. Gli obiettivi montati dovranno essere adatti per il luogo di installazione e con sensibilità tale da richiedere una minima illuminazione notturna delle parti comuni.

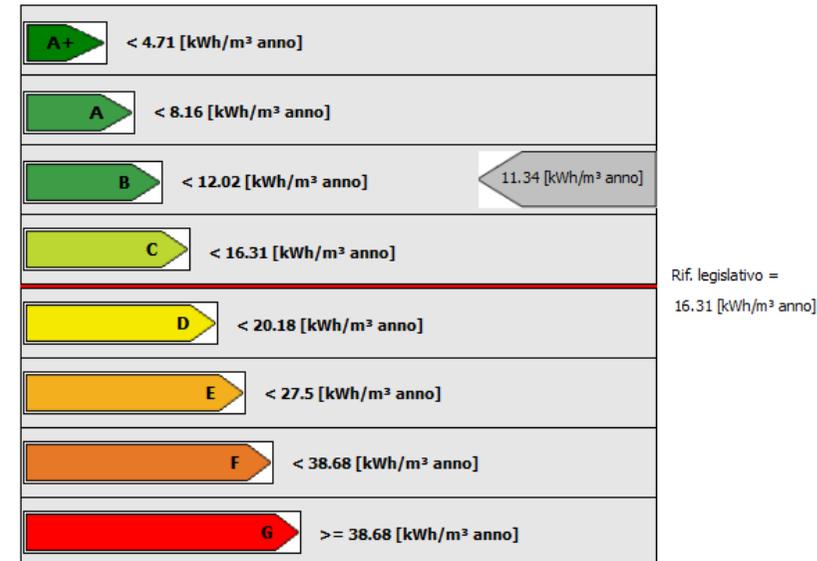
### 3.3 Attestato di certificazione energetica stato di progetto e risparmio energetico globale dell'intervento proposto

Tutti gli interventi inseriti nel presente progetto consentono, con regime a funzionamento continuo, di ridurre il fabbisogno di energia primaria. In questo modo l'edificio risulta in **classe energetica B** secondo il Decreto 26 giugno 2009 con un fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale di **11.34 kWh/anno**.

Tale intervento consente, rispetto ad un intervento di riqualificazione energetica "tradizionale", intendendo per "tradizionale" un intervento che rispetti pedissequamente quanto prescritto dalle Normative Vigenti, un risparmio di 1.470.000 kWh/anno e quindi 294.000 kg di CO<sub>2</sub> all'anno.

Si riporta di seguito l'Attestato di Certificazione Energetica del complesso edilizio a valle di tutti gli interventi previsti nel presente progetto.

## EDIFICIO IN CLASSE B



### 3.4 Certificazione secondo sistema LEED

Il complesso edilizio di progetto sarà oggetto di valutazione energetica anche ai sensi dei principi della eco sostenibilità previsti dalla procedura **Green Building** e **LEED 2009 NC Italia**, il quale orientato anche a ristrutturazioni importanti di edifici esistenti.

In particolare i **prerequisiti** e i **crediti** del sistema di valutazione LEED sono suddivisi nelle seguenti categorie:

- ▼ **Sostenibilità del sito (SS)**
- ▼ **Gestione delle acque (GA)**
- ▼ **Energia ed atmosfera (EA)**
- ▼ **Materiali e risorse (MR)**
- ▼ **Qualità ambientale interna (QI)**
- ▼ **Innovazione nella progettazione (IP)**
- ▼ **Priorità Regionale (PR)**