Istituto Giordano S.p.A.
Via Rossini, 2 - 47814 Bellaria-Igea Marina (RN) - Italia
Tel. +39 0541 343030 - Fax +39 0541 345540
istitutogiordano@giordano.it - www.giordano.it
PEC: ist-giordano@legalmail.it
Cod. Fisc./Part. IVA: 00 549 540 409 - Cap. Soc. € 1.500.000 i.v.
R.E.A. c/o C.C.I.A.A. (RN) 156766
Registro Imprese di Rimini n. 00 549 540 409

RELAZIONE DI CALCOLO N. 310663

Luogo e data di emissione: Bellaria-Igea Marina - Italia, 14/11/2013

Committente: COMED S.r.l. - Via Petraro, 73/a - 80053 CASTELLAMMARE DI STABIA (NA) - Italia

Data della richiesta del calcolo: 28/10/2013

Numero e data della commessa: 61212, 30/10/2013

Data del ricevimento del campione: 05/11/2013

Data dell'esecuzione del calcolo: dal 06/11/2013 al 11/11/2013

Oggetto del calcolo: determinazione delle proprietà termiche di elementi per muratura e di murature secondo la norma UNI EN 1745:2012 utilizzando il metodo di calcolo agli elementi finiti e determinazione delle caratteristiche termiche dinamiche di murature secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008

Luogo del calcolo: Istituto Giordano S.p.A. - Blocco 2 - Via Rossini, 2 - 47814 Bellaria-Igea Marina (RN) - Italia

Provenienza del campione: campionato e fornito dal Committente

Identificazione del campione in accettazione: n. 2013/2204

<u>Denominazione del campione*.</u>

Il campione in esame, fornito dal Committente, è denominato "THERMOBLOCCO DA MM 330 x H.250 x 330 (EPS caricato con grafite, spessore 330 mm)".

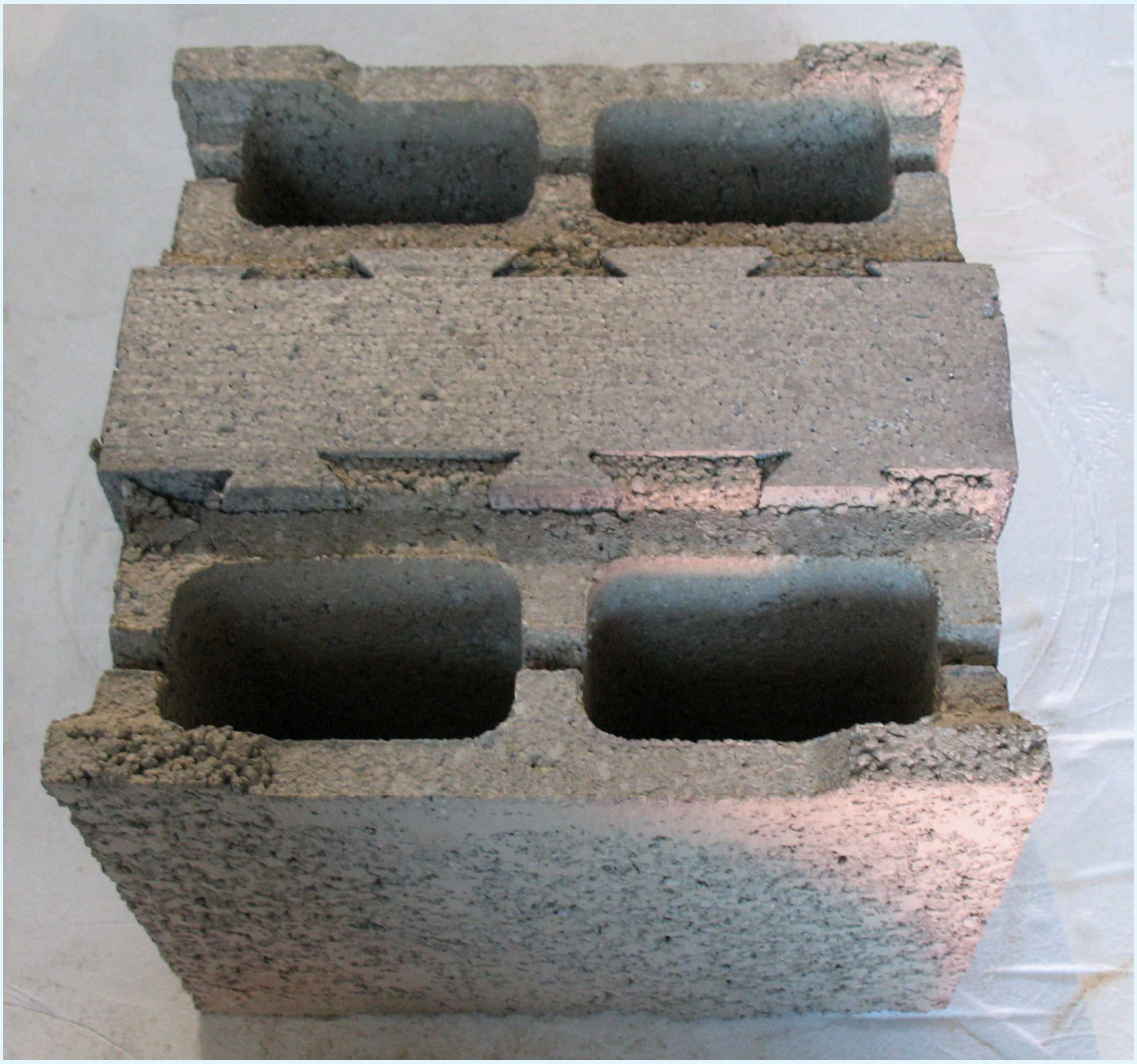
(*) secondo le dichiarazioni del Committente.

CLAUSOLE: il presente documento si riferisce solamente al campione o materiale sottoposto a prova e non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta dell'Istituto Giordano.

ISTITUTO GIORDANO

Descrizione del campione*.

Il campione in esame è costituito da un elemento per muratura in calcestruzzo con lapillo vulcanico, dimensioni nominali 326 × 330 × 250 mm, con inserto grecato in EPS caricato con grafite (spessore massimo 110 mm). Nota: le dimensioni nominali sono indicate nell'ordine lunghezza × larghezza × altezza, come prescritto dalla norma UNI EN 771-3§5.2.1 Dimensions", conseguentemente la seconda dimensione riportata è lo spessore della muratura priva di intonaco.

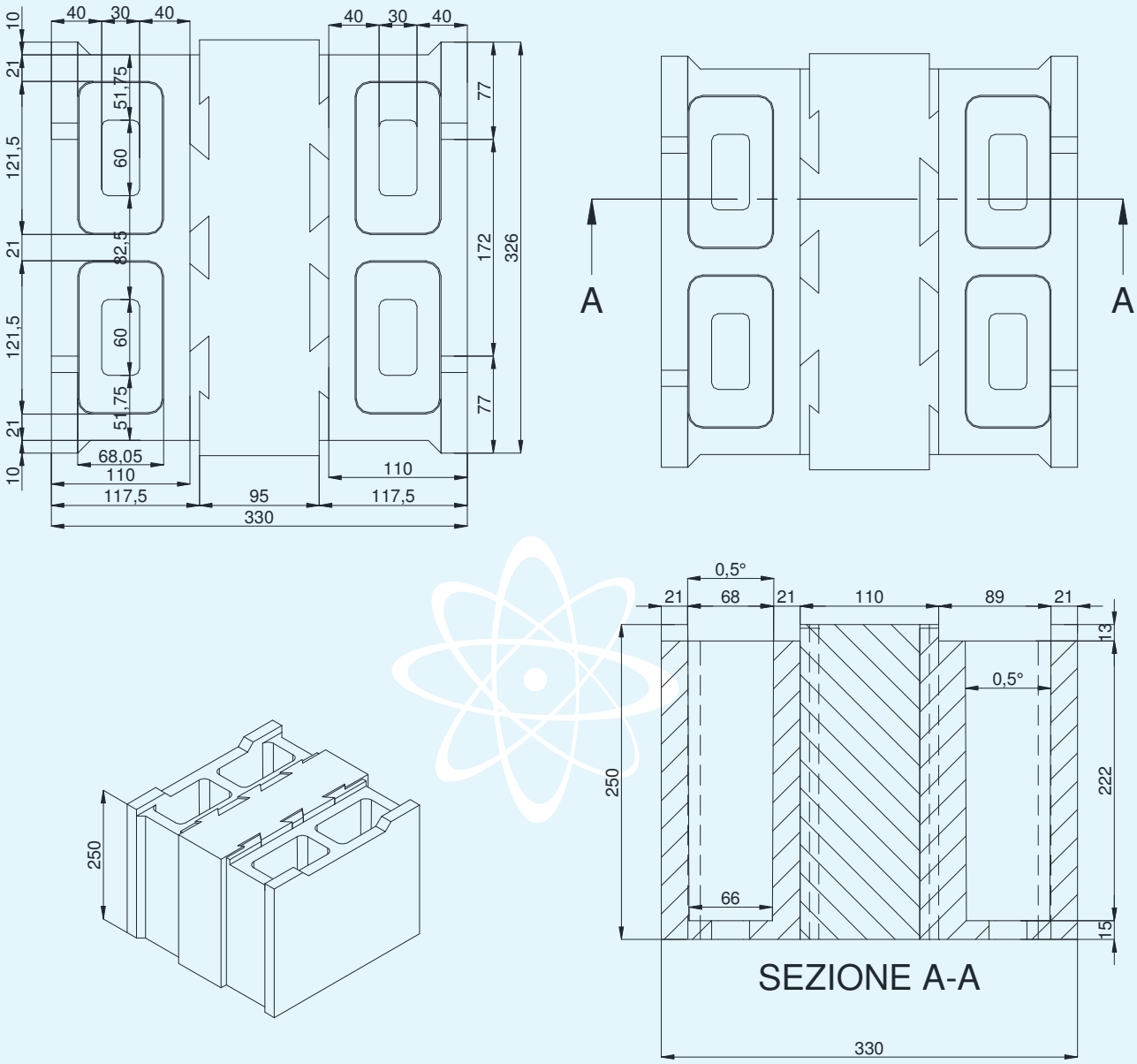


Fotografia dell'elemento per muratura.

(*) secondo le dichiarazioni del Committente.

ISTITUTO GIORDANO

DISEGNO SCHEMATICO DELL'ELEMENTO PER MURATURA



<u>Dati dichiarati dal Committente.</u>

Elemento per muratura	**Massa volumica a secco netta (del materiale)"$\rho_{n,dry}$"**	1400 kg/m³
Pannello in EPS caricato con grafite	**Conduttività termica dichiarata "λ_D" (come da documentazione fornita dal Committente)**	0,031 W/(m·K)
	Massa volumica	18 kg/m³

ISTITUTO GIORDANO

Dati rilevati sul campione.

Lunghezza "l"	326 mm
Larghezza "w" (corrispondente allo spessore della muratura priva di intonaco)	330 mm
Altezza "h_{unit}" (con distanziatori superiori)	250 mm
Massa dell'elemento essiccato	12,742 kg
Massa volumica a secco netta (del materiale)"$\rho_{n,dry}$"*	1266 kg/m³
Massa volumica a secco lorda dell'elemento per muratura "$\rho_{g,dry}$"	474 kg/m³

(*) La massa volumica a secco netta è stata determinata come rapporto tra la massa dell'elemento per muratura essiccato ed il suo volume netto determinato secondo il procedimento descritto al paragrafo 7 della norma UNI EN 772-13:2002 del 01/10/2002 "Metodi di prova per elementi di muratura. Determinazione della massa volumica a secco assoluta e della massa volumica a secco apparente degli elementi per muratura (ad eccezione della pietra naturale)".

Riferimenti normativi.

L'analisi è stata eseguita secondo le prescrizioni delle seguenti norme:

- UNI EN 771-3:2011 del 16/06/2011"Specifica per elementi per muratura. Parte 3: Elementi di calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri)per muratura";
- UNI EN 1745:2012 del 14/06/2012 "Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici", paragrafi 5 "Procedures to determine equivalent $\lambda_{10,dry,unit}$ values for masonry units with formed voids and composite masonry units", 5.2 "Calculation method" e 7.2.2 "$R_{design,mas}$ or $\lambda_{design,mas}$ values using a numerical calculation method based on the design thermal conductivity of the material used";
- UNI EN ISO 13786:2008 del 22/05/2008 "Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo";
- UNI EN ISO 6946:2008 del 17/07/2008 "Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo";
- UNI EN ISO 10456:2008 del 22/05/2008"Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrotermiche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto".

ISTITUTO GIORDANO

Procedure di calcolo.

Determinazione delle proprietà termiche (stazionarie) di elementi per muratura e di murature.

Il calcolo è stato condotto sulla base del disegno fornito dal Committente.

Il calcolo delle proprietà termiche (stazionarie) è stato eseguito sia sull'elemento in esame considerato singolarmente, sia sulla muratura costituita con tali elementi.

L'analisi termica ha lo scopo di determinare le "proprietà termiche dichiarate" specifiche dell'elemento e della muratura, valutate in condizioni di riferimento. L'analisi riguardante il singolo elemento è effettuata nelle condizioni a secco dell'elemento senza giunti di malta né intonaco, mentre quella della muratura viene effettuata considerando anche i giunti di malta, l'intonaco e l'effetto di un contenuto di umidità in equilibrio con un ambiente in condizioni standard.

Le analisi sono state effettuate secondo i paragrafi 5.3.2.3 "Model P 4. Determination of $\lambda_{10,dry,unit}$ values using tabulated value from Annex A" e 7.2.2 "$R_{design,mas}$ or $\lambda_{design,mas}$ values using a numerical calculation method based on the design thermal conductivity of the material used" applicando il metodo agli elementi finite a sezioni piane bidimensionali dell'elemento per muratura e della muratura, utilizzando un programma di calcolo che soddisfa i requisiti dell'Appendice D "Requirements for appropriate calculation procedures" della norma UNI EN 1745..

Le cavità presenti sono state valutate calcolando il relativo valore di conduttività termica equivalente, secondo i criteri esposti nell'Annex B "Thermal resistance of airspaces" della norma UNI EN ISO 6946.

Condizioni utilizzate per l'analisi termica (in regime stazionario)dell'elemento per muratura.

Le caratteristiche termiche (stazionarie) dell'elemento per muratura (resistenza termica e conduttività termica equivalente) sono state valutate nelle condizioni riportate nella Table 1 "Declared value conditions" della norma UNI EN ISO 10456, per l'insieme di condizioni "Ia":

- temperatura di riferimento: 10 °C;
- umidità: "u_{dry}" (materiale essiccato).

La conduttività termica del materiale costituente l'elemento per muratura è stata determinata in accordo al paragrafo 5.3.2.3 della norma UNI EN 1745, interpolando i dati forniti dalla tabella A.9 "Concrete units with other lightweight aggregates", in base alla massa volumica a secco netta fornita dal Committente.

L'analisi termica agli elementi finiti è stata eseguita su una sezione bidimensionale parallela al flusso termico e perpendicolare all'asse della foratura degli elementi.

ISTITUTO GIORDANO

Condizioni utilizzate per l'analisi termica (in regime stazionario) della muratura.

La muratura ipotizzata nei calcoli è costituita dagli elementi in esame con giacitura dei fori ad asse verticale e da giunti di malta interrotti in prossimità del pannello in EPS caricato con grafite, di cui quelli orizzontali di spessore 13 mm (imposto da n. 4 distanziatori superiori degli elementi) e quelli verticali all'interno delle tasche perimetrali.

Le proprietà termiche (stazionarie) della muratura sono state determinate nelle condizioni riportate nella Table 1"Declared value conditions" della norma UNI EN ISO 10456, per l'insieme di condizioni "Ib":

– temperatura di riferimento: 10 °C;
– umidità: "$u_{23,50}$" (contenuto all'equilibrio con aria a 23 °C ed umidità relativa del 50 %).

Il valore della conduttività termica del materiale costituente gli elementi in esame è stato determinato applicando le formule per il calcolo della conduttività termica di progetto riportate al paragrafo 6 "Moisture conversion" della norma UNI EN 1745,utilizzando il valore di conduttività termica precedentemente impiegato per il calcolo delle caratteristiche termiche dell'elemento con il contenuto di umidità riportato nella Table 4 "Moisture properties and specific heat capacity of thermal insulation materials and masonry materials" della norma UNI EN ISO 10456.

La conduttività termica dei giunti di malta e degli intonaci è stata determinata interpolando i dati forniti dalla tabella A.12"Mortar (masonry mortar and rendering mortar)" per il frattile P = 50 % ed applicando le formule per il calcolo della conduttività termica di progetto riportate al paragrafo 6 della norma UNI EN 1745 con il contenuto di umidità riportato nella Table 4 della norma UNI EN ISO 10456.

L'analisi termica agli elementi finiti è stata eseguita su una sezione della muratura, parallela al flusso termico e perpendicolare all'asse della foratura degli elementi.

Per tenere conto dei giunti di malta orizzontali è stata eseguita un'analisi termica agli elementi finiti su una sezione parallela alla direzione prevalente del flusso termico e perpendicolare alla sezione precedentemente considerata.

Per tenere conto della penetrazione della malta all'interno dei fori lo spessore dei giunti di malta perpendicolari all'asse dei fori è stato maggiorato di 5 mm.

Il valore di trasmittanza termica della muratura è stato valutato in accordo al paragrafo 8 "Determination of the thermal transmittance of masonry" considerando la muratura rivestita da un intonaco di spessore 20 mm applicato su entrambe le superfici della muratura.

ISTITUTO GIORDANO

Determinazione delle caratteristiche termiche dinamiche di murature.

Il calcolo è stato condotto sulla base del disegno dell'elemento fornito dal Committente.

La muratura ipotizzata e le condizioni utilizzate nei calcoli sono le stesse utilizzate per l'analisi termica in regime stazionario della muratura.

L'analisi è stata svolta considerando la muratura costituita da strati omogenei paralleli alle superfici della muratura e perpendicolari al flusso termico.

Lo strato non omogeneo costituito dal calcestruzzo, dalla foratura e dalle malte (orizzontali e verticali) è stato descritto con un materiale omogeneo equivalente (denominato "calcestruzzo equivalente"), i cui valori di massa volumica equivalente e capacità termica specifica equivalente sono stati determinati come media pesata (del calcestruzzo, della foratura e delle malte) ed il valore di conduttività termica equivalente è stata determinato in modo da ottenere il medesimo valore di trasmittanza termica in regime stazionario;

Come capacità termica specifica del materiale costituente l'elemento per muratura, gli intonaci e le malte è stato utilizzato il valore di 1000 J/(kg·K), ottenuti dalle tabelle A.6 ed A.12 della norma UNI EN 1745. Per il pannello in EPS caricato con grafite è stato utilizzato il valore di 1450 J/(kg·K), ottenuto dalla Table 4 della norma UNI EN ISO 10456.

Tutte le caratteristiche termiche dinamiche sono state considerate per variazioni termiche aventi un periodo di 24 h.

Il dettaglio di tutte le caratteristiche termoigrometriche impiegate nei calcoli è riportato nel paragrafo seguente.

ISTITUTO GIORDANO

Dati di calcolo.

Dati per il calcolo delle proprietà termiche degli elementi per muratura.

Elemento per muratura	**Foratura**	verticale
	Materiale	calcestruzzo con lapillo vulcanico
	Massa volumica a secco netta (del materiale) (valore misurato sull'elemento fornito dal Committente)	1266 kg/m³
	Massa volumica a secco netta (del materiale) (dato fornito dal Committente)	1400 kg/m³
	Massa volumica a secco netta (del materiale) utilizzata per i calcoli "$\rho_{n,dry}$"	1400 kg/m³
	Conduttività termica del materiale essiccato "$\lambda_{10,dry,mat}$" (UNI EN 1745 - Table A.9 "Concrete units with other light-weight aggregates")	0,660 W/(m·K)
Pannello in EPS caricato con grafite	**Conduttività termica dichiarata "λ_D"** (come da documentazione fornita dal Committente)	0,031 W/(m·K)
Temperatura ambiente interno "T_i"		20 °C
Temperatura ambiente esterno "T_e"		0 °C
Resistenza termica superficiale interna "R_{si}" (UNI EN ISO 6946 § 5.2)		0,13 m²·K/W
Resistenza termica superficiale esterna "R_{se}" (UNI EN ISO 6946 § 5.2)		0,04 m²·K/W

ISTITUTO GIORDANO

Dati per il calcolo delle proprietà termiche della muratura.

ELEMENTO PER MURATURA	
Giacitura della foratura	verticale
Materiale	calcestruzzo con lapillo vulcanico
Massa volumica a secco netta (del materiale) (valore misurato sull'elemento fornito dal Committente)	1266 kg/m³
Massa volumica a secco netta (del materiale) (dato fornito dal Committente)	1400 kg/m³
Massa volumica a secco netta (del materiale) utilizzata per i calcoli "$\rho_{n,dry}$"	1400 kg/m³
Conduttività termica del materiale essiccato "$\lambda_{10,dry,mat}$" (UNI EN 1745 - Table A.9 "Concrete units with other lightweight aggregates")	0,660 W/(m·K)
Coefficiente di correzione dell'umidità "f_Ψ" (UNI EN 1745 - Table A.9)	4
Contenuto di umidità in peso e in volume del materiale dell'elemento "Ψ"(UNI EN ISO 10456 - Table 4 "Concrete units with other lightweight aggregates", nelle condizioni T = 23 °C, UR = 50 %)	0,021 kg/kg 0,030 m³/m³
Fattore di correzione "F_m" della conduttività termica del materiale dell'elemento	1,127
Conduttività termica del materiale dell'elemento "$\lambda_{design,mat}$" nelle condizioni "Ib"	0,744 W/(m·K)
Capacità termica specifica "c_p" (UNI EN 1745 - Table A.9)	1000 J/(kg K)

PANNELLO IN EPS caricato con grafite	
Massa volumica (dato fornito dal Committente)	18 kg/m³
Conduttività termica dichiarata "λ_D" (come da documentazione fornita dal Committente)	0,031 W/(m·K)
Capacità termica specifica "c_p" (UNI EN ISO 10456 - Table 4 "Expanded polystyrene")	1450 J/(kg K)

ISTITUTO GIORDANO

GIUNTI DI MALTA	
Descrizione	Verticali: all'interno delle tasche perimetrali ed interrotti in corrispondenza del pannello in EPS. Orizzontali: interrotti in corrispondenza del pannello in EPS.
Massa volumica	1700 kg/m³
Conduttività termica del materiale essiccato "$\lambda_{10,dry,mat}$" (UNI EN 1745 - Table A.12 "Mortar (masonry mortar and rendering mortar))	0,715 W/(m·K)
Coefficiente di correzione dell'umidità "f_Ψ" (UNI EN 1745 - Table A.12)	4
Contenuto di umidità in peso e in volume del materiale dell'elemento "Ψ" (UNI EN ISO 10456 - Table 4 "Mortar (masonry mortar and rendering mortar)",nelle condizioni T = 23 °C, UR = 50 %)	0,04 m³/m³
Fattore di correzione "F_m" della conduttività termica del materiale dell'elemento	1,174
Conduttività termica del materiale dell'elemento "$\lambda_{design,mor}$" nelle condizioni "Ib"	0,839 W/(m·K)
Capacità termica specifica "c_p" (UNI EN 1745 - Table A.12)	1000 J/(kg K)
Spessore giunti verticali "h_{mor}"	20 mm
Spessore giunti orizzontali "h_{mor}"	13 + 5* mm

(*) Maggiorazione che tiene conto della penetrazione della malta nei setti.

ISTITUTO GIORDANO

INTONACI		
Coefficiente di correzione dell'umidità "f_Ψ" (UNI EN 1745 - Table A.12 "Mortar (masonry mortar and rendering mortar))		4
Contenuto di umidità in peso e in volume del materiale dell'elemento "Ψ" (UNI EN ISO 10456 - Table 4 "Mortar (masonry mortar and rendering mortar)", nelle condizioni T = 23 °C, UR = 50 %)		0,04 m³/m³
Fattore di correzione "F_m" della conduttività termica del materiale dell'elemento		1,174
Intonaco interno	**Massa volumica**	1400 kg/m³
	Conduttività termica del materiale essiccato "$\lambda_{10,dry,mat}$" (UNI EN 1745 - Table A.12)	0,450 W/(m·K)
	Conduttività termica del materiale "$\lambda_{design,mor}$" nelle condizioni "Ib"	0,528 W/(m·K)
	Capacità termica specifica "c_p" (UNI EN 1745 - Table A.12)	1000 J/(kg K)
	Spessore	20 mm
Intonaco esterno	**Massa volumica**	1700 kg/m³
	Conduttività termica del materiale essiccato "$\lambda_{10,dry,mat}$" (UNI EN 1745 - Table A.12)	0,715 W/(m·K)
	Conduttività termica del materiale "$\lambda_{design,mor}$" nelle condizioni "Ib"	0,839 W/(m·K)
	Capacità termica specifica "c_p" (UNI EN 1745 - Table A.12)	1000 J/(kg K)
	Spessore	20 mm

Temperatura ambiente interno "T_i"	20 °C
Temperatura ambiente esterno "T_e"	0 °C
Resistenza termica superficiale interna "R_{si}" (UNI EN ISO 6946 § 5.2 "Resistenza termica superficiale. Direzione del flusso termico orizzontale")	0,13 m²·K/W
Resistenza termica superficiale esterna "R_{se}" (UNI EN ISO 6946 § 5.2 "Resistenza termica superficiale. Direzione del flusso termico orizzontale")	0,04 m²·K/W

ISTITUTO GIORDANO

Schematizzazione della muratura per il calcolo delle caratteristiche termiche dinamiche.

La muratura è stata descritta dalla seguente stratificazione:

Stratificazione della muratura				
Materiale	**Spessore** **"d"** [mm]	**Conduttività termica** **"λ"** [W/(m·K)]	**Massa volumica** **"ρ"** [kg/m³]	**Capacità termica specifica** **"c_p"** [J/(kg·K)]
Intonaco interno	20	0,528	1400	1000
Calcestruzzo equivalente interno	117,5	1,16	855	1000
Pannello EPS caricato con grafite	95	0,031	18	1450
Calcestruzzo equivalente esterno	117,5	1,16	855	1000
Intonaco esterno	20	0,839	1700	1000

Massa superficiale della muratura priva di intonaco	203 kg/m²
Massa superficiale della muratura con intonaco	267 kg/m²

ISTITUTO GIORDANO

Risultati dell'analisi.

Le proprietà termiche (stazionarie), valutate utilizzando i dati di conduttività termica del materiale costituente l'elemento per muratura della norma UNI EN 1745 - Table A.9 "Concrete units with other lightweight aggregates", sono le seguenti:

Proprietà termiche (stazionarie) degli elementi per muratura.

Spessore dell'elemento per muratura "w"	330 mm
Massa dell'elemento essiccato	12,742 kg
Massa volumica a secco netta (del materiale) (valore misurato sull'elemento fornito dal Committente)	1266 kg/m³
Massa volumica a secco netta (del materiale) (dato fornito dal Committente)	1400 kg/m³
Massa volumica a secco netta (del materiale) utilizzata per i calcoli "$\rho_{10,dry,mat}$"	1400 kg/m³
Conduttività termica equivalente a secco dell'elemento per muratura "$\lambda_{10,dry,unit}$" (Condizioni "Ia" *)	**0,101 W/(m·K)**

(*) Condizioni "Ia" - UNI EN ISO 10456 - Table 1:
- temperatura di riferimento: 10 °C;
- basso contenuto di umidità ottenuto mediante essiccamento del materiale.

Proprietà termiche (stazionarie) della muratura.

La muratura definita nei precedenti paragrafi presenta le seguenti caratteristiche:

Spessore della muratura priva di intonaco "w"	330 mm
Massa volumica a secco netta (del materiale) (valore misurato sull'elemento fornito dal Committente)	1266 kg/m³
Massa volumica a secco netta (del materiale) (dato fornito dal Committente)	1400 kg/m³
Massa volumica a secco netta (del materiale) utilizzata per i calcoli "$\rho_{10,dry,mat}$"	1400 kg/m³
Resistenza termica della muratura priva di intonaco "$R_{design,mas}$" (Condizioni "Ib" **)	**3,27 m²·K/W**
Trasmittanza termica in regime stazionario "U" della muratura con intonaco(Condizioni "Ib" **)	**0,286 W/(m²·K)**

(**) Condizioni "Ib" - UNI EN ISO 10456 - Table 1:
- temperatura di riferimento: 10 °C;
- contenuto di umidità all'equilibrio con aria a 23 °C ed umidità relativa del 50 %.

ISTITUTO GIORDANO

Proprietà termiche dinamiche della muratura.

La muratura definita nei precedenti paragrafi presenta le seguenti caratteristiche:

Matrice di trasferimento		
Elemento della matrice	**Modulo**	**Argomento**
Z_{11}	39,7	2,67 rad
Z_{12}	8,54 m²·K/W	-1,02 rad
Z_{21}	303 W/m²·K	0,45 rad
Z_{22}	65,2	3,05 rad

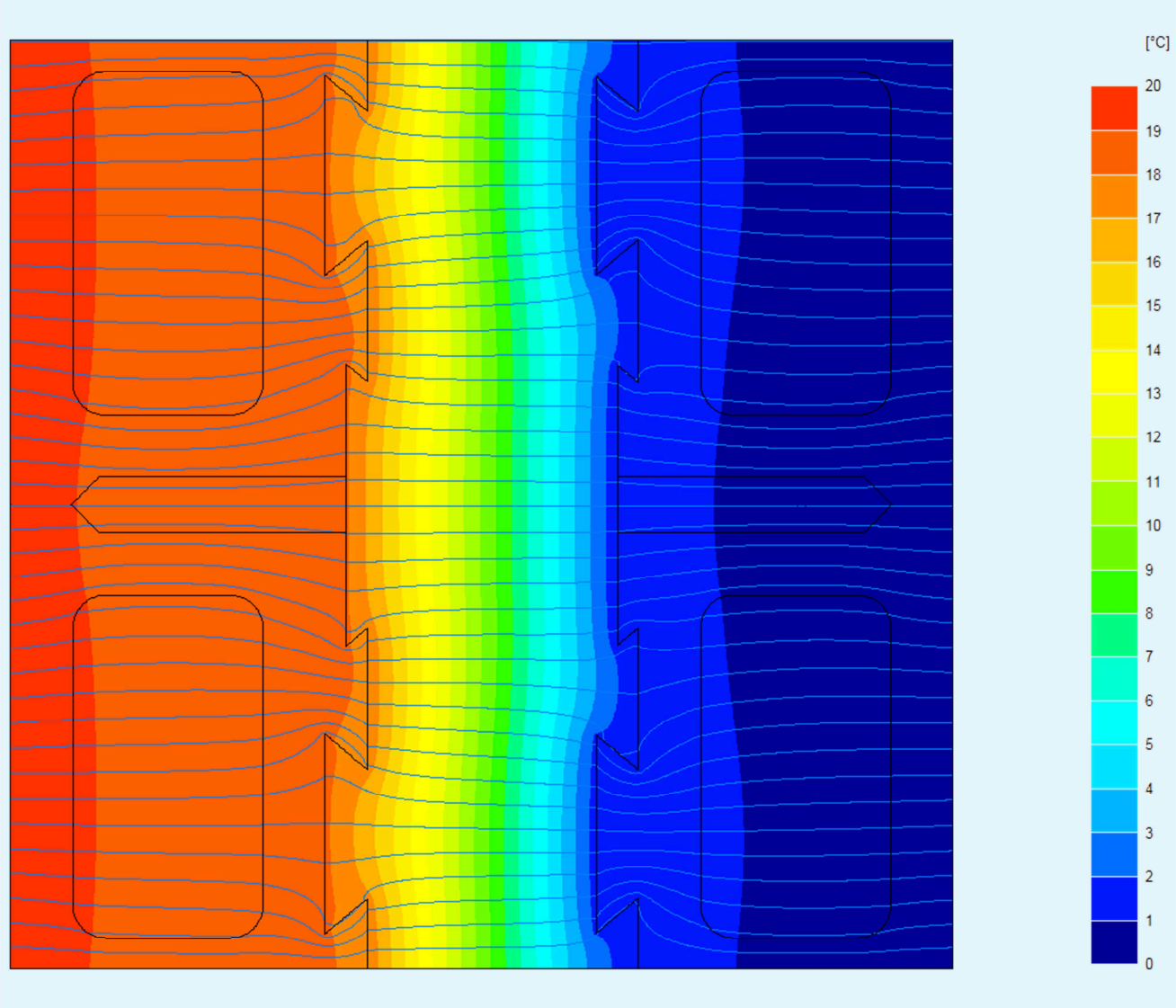
Caratteristiche termiche dinamiche della muratura		
	Modulo	**Sfasamento**
Ammettenza termica interna "Y_{11}"	4,65 W/(m²·K)	2,08 h
Ammettenza termica esterna "Y_{22}"	7,63 W/(m²·K)	3,53 h
Capacità termica areica periodica interna "k_1"	65,4 kJ/(m²·K)	-
Capacità termica areica periodica esterna "k_2"	107 kJ/(m²·K)	-
Trasmittanza termica in regime stazionario "U_0"	**0,286 W/(m²·K)**	**-**
Trasmittanza termica periodica "Y_{12}"	**0,117 W/(m²·K)**	**-8,11 h**
Fattore di attenuazione "f"	**0,410**	-

Le caratteristiche sopra riportate sono state valutate per un periodo "T" di 24 h.

Note:
- le proprietà termiche dell'elemento valutate in condizioni di materiale essiccato possono essere impiegate per la dichiarazione delle proprietà termiche intrinseche dell'elemento, ma non possono essere utilizzate, tal quali, per determinare le dispersioni termiche della muratura realizzata con tali elementi, poiché non tengono conto dei giunti di malta e del contenuto di umidità presente nella struttura;
- le proprietà termiche della muratura "$R_{design,mas}$" ed "U" possono essere impiegate per valutare le dispersioni termiche della muratura purché le condizioni ipotizzate nel calcolo corrispondano alle condizioni di esercizio. Nel caso di impieghi che comportano contenuti di umidità diversi da quelli ipotizzati per il presente calcolo le proprietà termiche devono essere corrette come prescritto dalla norma UNI EN 1745, facendo riferimento al contenuto di umidità;
- le proprietà termiche degli elementi o della muratura possono essere confrontate con quelle di altri prodotti solo nel caso che siano state determinate con lo stesso procedimento, nelle stesse condizioni e per gli stessi frattile e livello di confidenza.

ISTITUTO GIORDANO

ISOTERME E LINEE DI FLUSSO DELLA SEZIONE DI MURATURA ANALIZZATA



Il Responsabile Tecnico
(Dott. Ing. Paolo Ricci)

Il Responsabile del Laboratorio
di Fisica Tecnica
(Dott. Ing. Vincenzo Iommi)

L'Amministratore Delegato
(Dott. Ing. Vincenzo Iommi)

Firmato digitalmente
da Vincenzo Iommi