



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Edile – Architettura

Corso di laurea specialistica in Ingegneria Edile

COMPORAMENTO AL FUOCO DELLE FACCIAE CONTINUE

Modellazione numerica di un test di laboratorio e valutazione del
supporto fornito in fase progettuale dagli strumenti informatici

Relatore: Prof. Paolo RIGONE

Correlatore: Ing. Olindo DELUCA

Tesi di laurea di:

Paolo BIANCHI Matr. 724843

Anno Accademico 2009 – 2010

ABSTRACT	4
INTRODUZIONE	6
I. CURTAIN WALL	7
I - 1. STORIA.....	7
I - 2. Facciate continue moderne.....	12
I - 2.1 Elementi.....	12
I - 2.2 Tipologie	15
I - 2.3 Prestazioni.....	19
II. INCENDIO.....	20
II - 1. Fenomeno.....	20
II - 2. Progettazione antincendio.....	21
II - 2.1 Misure di protezione	21
II - 2.2 Approccio prescrittivo	22
II - 2.3 Approccio prestazionale e Fire Engineering.....	22
II - 3. Criticità delle facciate continue.....	24
II - 3.1 Dati storici.....	24
II - 3.2 Criteri progettuali	25
II - 3.3 Esempi di soluzioni costruttive	26
III. NORMATIVA ANTINCENDIO.....	29
III - 1. Richiesta di prestazione.....	29
III - 1.1 Belgio	30
III - 1.2 Spagna	31
III - 1.3 Stati Uniti.....	32
III - 2. Classificazione	35
III - 2.1 Europa.....	36
III - 2.2 Belgio	40
III - 2.3 Spagna	40
III - 2.4 Stati Uniti.....	41
III - 3. Prove di laboratorio.....	42
III - 3.1 Europa.....	47
III - 3.2 Stati Uniti.....	47
III - 4. Normativa specifica per le facciate	50

III - 4.1	Europa.....	57
III - 4.2	Belgio	57
III - 4.3	Spagna	59
III - 4.4	Stati Uniti	60
III - 5.	Considerazioni sul confronto normativo	61
III - 6.	Tabelle riassuntive	62
IV.	CASO DI STUDIO: EDIFICIO DELL'AREA "PORTA NUOVA"	63
IV - 1.	Descrizione.....	63
IV - 2.	Prove di laboratorio.....	67
IV - 2.1	Facciata.....	67
IV - 2.2	Prima prova	68
IV - 2.3	Seconda prova	76
IV - 2.4	Terza prova	80
V.	MODELLO NUMERICO	87
V - 1.	Programma di calcolo	87
V - 2.	Realizzazione del modello	90
V - 2.1	Materiali.....	90
V - 2.2	Semplificazione del modello	102
V - 2.3	Forzanti e condizioni al contorno.....	106
V - 2.4	Mesh.....	109
V - 2.5	Solutore	113
V - 2.6	Risultati.....	115
VI.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	127
VII.	Bibliografia.....	131
VIII.	INDICE DELLE FIGURE	132
IX.	ALLEGATO A – RAPPORTO DI PROVA 1° TEST.....	136
X.	ALLEGATO B – RAPPORTO DI PROVA 3° TEST	136

ABSTRACT

Le facciate continue, come ogni altro componente edilizio, devono sottostare a precise richieste di comportamento al fuoco.

Il metodo solitamente utilizzato per stabilirne le prestazioni è quello rappresentato dalle prove di laboratorio, in cui un provino a grandezza naturale viene inserito in un forno e sottoposto a sollecitazione termica.

Questo studio prende avvio da un caso pratico, dove ad essere sottoposta a test è stata una porzione di facciata studiata e realizzata da Permasteelisa Group, per un edificio di nuova costruzione della zona di Milano Porta Nuova.

L'esito finale è stato positivo, e l'azienda è interessata a riprodurlo attraverso uno strumento di modellazione informatica agli elementi finiti. Lo scopo è capire quanto i risultati ottenuti per via analitica rispecchino il caso reale e, viceversa, se i risultati ottenuti per via sperimentale possano essere estesi ad altre configurazioni diverse da quella effettivamente testata.

Infine un approccio al problema degli incendi di tipo ingegneristico vuole dimostrare che per alcuni aspetti le normative di settore, anche se emanate di recente, possono contenere elementi di eccessiva severità, oppure esprimere un limitato approccio alla problematica.

ABSTRACT

As every building component, curtain walls have to be subject to specific requests for fire behaviour.

Laboratory tests are generally used to state its performances. In these tests, a life-size specimen is put in a furnace and submitted to fire exposure.

This study starts with a practical case where a part of the analysed facade, realized by Permasteelisa Group for a new building in Milano Porta Nuova, was tested.

The final outcome was positive and the company is interested in reproducing it through a software based on finite element method. On the one hand the aim is to understand how the results obtained through analytic way reflect the real case and, on the other hand, if the results obtained by other experimental tests can be extended to different structures.

Finally, an engineering approach to the problem of fires wants to show that, in some points, the field regulations, even if recently issued, can contain elements of excessive strictness or express a limited approach to the problem.

INTRODUZIONE

Il presente elaborato è stato realizzato in collaborazione con Permasteelisa Group, che ha fornito il supporto scientifico e il materiale di base per lo svolgimento del progetto.

Lo scopo è riprodurre per via analitica un test di laboratorio per la valutazione del comportamento al fuoco delle facciate continue; in particolare è stata utilizzata la modellazione agli elementi finiti, attraverso l'uso del programma di calcolo Straus7. Questo tipo di codici di calcolo non sono solitamente impiegati nel campo dell'ingegneria antincendio perché, mentre a temperature vicine a quelle ambientali modellano in modo preciso la trasmissione di calore, in presenza di forti escursioni termiche l'affidabilità diminuisce, a causa di limitazioni intrinseche al software stesso.

Riteniamo tuttavia possibile ottenere buoni risultati, implementando alcune approssimazioni derivate dalla letteratura scientifica e dalle norme, che vanno a ricoprire alcune carenze del programma, senza produrre errori di grande entità. In tal modo vogliamo dimostrare che in fase progettuale è possibile fare affidamento a determinati strumenti informatici, più flessibili, e solo in una fase successiva approdare alle prove di laboratorio. La questione normativa riveste una certa importanza in questo ambito perché condiziona la fase progettuale con precise richieste di requisiti prestazionali e prove di classificazione del comportamento al fuoco.

I capitoli seguenti introducono l'argomento delle facciate continue e del fenomeno fisico dell'incendio e si soffermano sull'interazione tra i due. Citiamo poi i riferimenti normativi necessari alla progettazione di un edificio dotato di curtain walls sul territorio italiano e li confrontiamo con documenti equivalenti di altri Paesi europei (Belgio e Spagna) e degli Stati Uniti d'America. Infine la parte sperimentale dell'elaborato comprende la descrizione dei test di laboratorio su una porzione di facciata continua e la modellazione di uno di essi attraverso il programma agli elementi finiti; al termine delle due fasi si mettono i risultati a confronto e si traggono le conclusioni sulla validità del procedimento.

I. CURTAIN WALL

La facciata continua, o “Curtain Wall”, viene definita secondo normativa come *una chiusura esterna verticale costituita da una ossatura realizzata principalmente in metallo, PVC o legno. Normalmente essa è costituita da un reticolo di elementi portanti verticali ed orizzontali tra di loro connessi ed ancorati alla struttura dell’edificio, al fine di sostenere un rivestimento di facciata continuo e leggero che ha il compito di garantire tutte le funzione tipiche di una parete perimetrale esterna comprese la resistenza agli agenti atmosferici, la sicurezza nell’uso, la sicurezza ed il controllo ambientale, ma che comunque non contribuisce alle caratteristiche portanti della struttura dell’edificio*¹.

I - 1. STORIA

Le sue origini sono fatte risalire al tardi XIX secolo quando, inizialmente negli Stati Uniti, le murature portanti esterne degli edifici di nuova costruzione vennero sostituite con telai di acciaio e cemento armato. Questa rivoluzione costruttiva portò a notevoli modificazioni in campo architettonico, tra le quali ricordiamo l’avvento dei grattacieli (perché risultava in tal modo più facile costruire in elevazione senza dover ricorrere a sezioni eccessive della struttura, grazie all’uso di diversi materiali) e naturalmente la facciata continua non portante.

Spogliati della funzione strutturale i tamponamenti esterni mantengono solamente il compito di separare l’ambiente esterno da quello interno e vengono reinterpretati dai progettisti in funzione della qualità e del confort che intendono ottenere. In particolare, grazie anche al continuo progresso nella produzione delle lastre, il vetro diventa l’elemento preponderante della facciata. La definizione di “curtain wall” come lo intendiamo ai giorni nostri non è stata immediata, ma ha subito graduali modificazioni nel corso del tempo²:

¹ UNI EN 13830 – cap.3

² S. Murray, *Contemporary Curtain Wall Architecture*, New York, Princeton Architectural Press, 2009

- Fine 1800: è il periodo della prima sperimentazione, in cui si sviluppano i grandi agglomerati urbani, gli edifici crescono in altezza e si differenziano per destinazione d'uso. La facciata viene risolta con grandi superfici vetrate e pannelli opachi che coprono e sottolineano all'esterno il sistema strutturale; dall'esterno la differenza con gli edifici in muratura non è facilmente percepibile. Le strutture a telaio in acciaio cominciano ad apparire anche sulla facciata, garantendo praticità e rapidità di messa in opera.

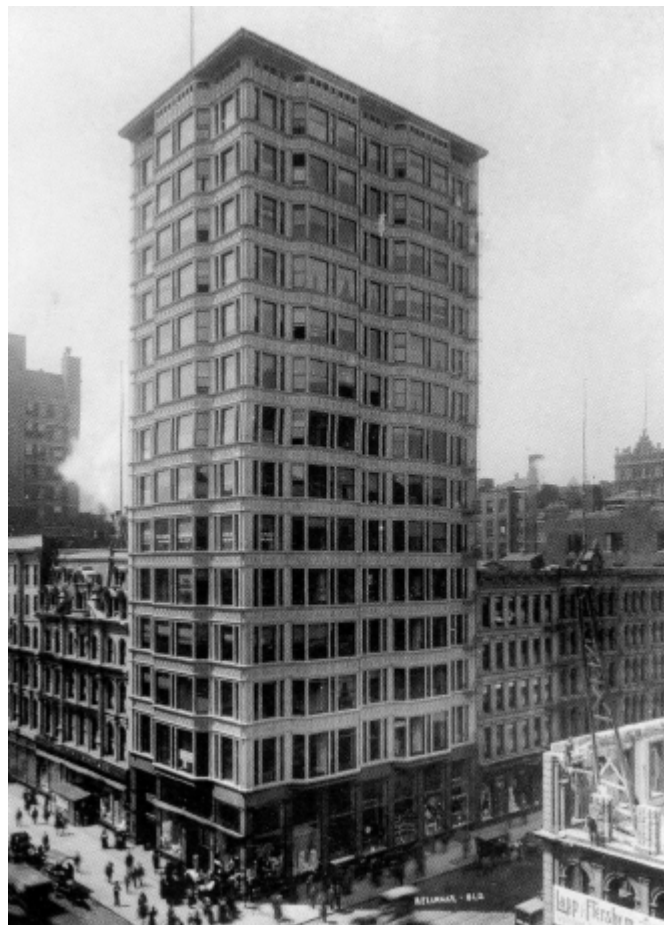


Figura I-1 Reliance Building, Chicago, Illinois

- Anni '20: il vetro non caratterizza più una parte del tamponamento esterno, ma costituisce interamente la facciata degli edifici, un semplice “schermo” trasparente che permette la visione all'interno e garantisce l'integrazione col paesaggio. I montanti metallici si sviluppano da piano a

piano e, con i traversi che ricoprono i solai, formano una griglia di pannelli vetrati.

Importanti conquiste del periodo sono i brevetti per la produzione in serie di lastre e del vetro temperato, grazie ai quali si ottengono prodotti più duraturi e sicuri.

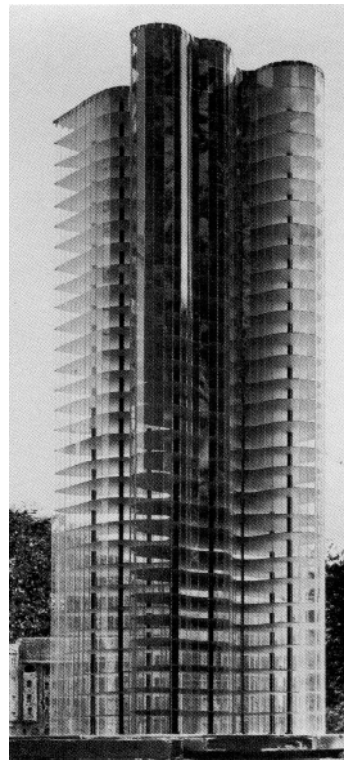
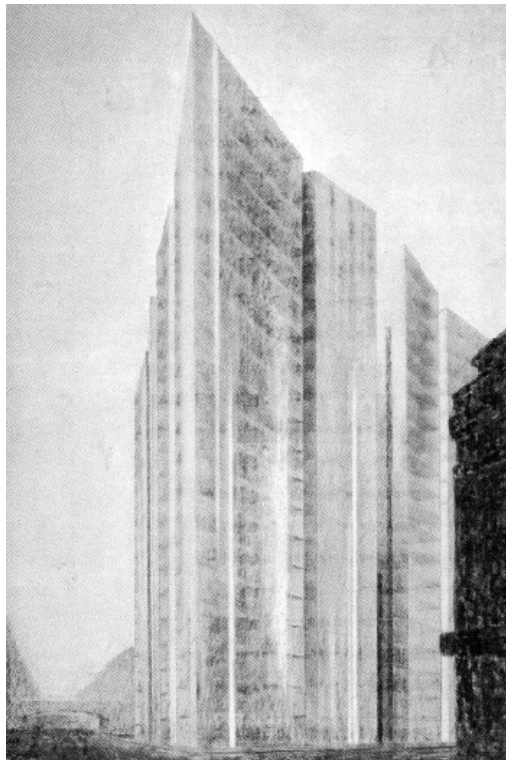


Figura I-2 Mies van der Rohe – Schizzi

- Anni '50 - '60: l'uso massiccio di curtain walls fa sorgere problemi relativi agli eccessivi guadagni solari nei locali durante l'estate; i progettisti cercano di porvi rimedio adottando per esempio rivestimenti riflettenti sulle vetrate, brise-soleil, sistemi di climatizzazione, orientamento adeguato dell'edificio nel lotto di terreno anche se non sempre con i migliori risultati.

Il sistema strutturale della facciata continua comincia a integrarsi con i telai delle vetrate, diventando un elemento unico, solitamente in alluminio e neoprene per le guarnizioni.

Appaiono nei cataloghi dei produttori i primi tentavi di vetrocamera, con i quali migliorano sensibilmente i valori di trasmittanza termica delle finestre. Sir Alistair Pilkington inventa il processo per la produzione del vetro *float*.

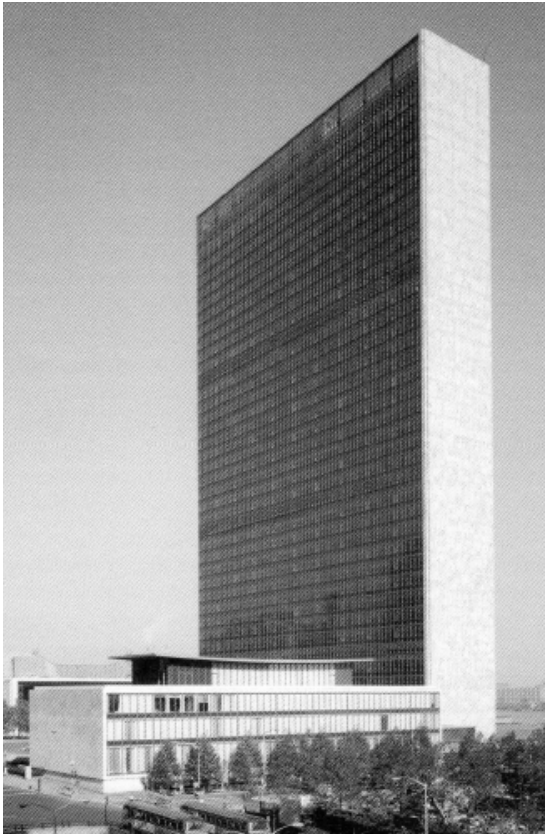


Figura I-3 Palazzo delle Nazioni Unite,
New York, New York



Figura I-4 Lever House
New York, New York

- Fino ad oggi: durante le varie decadi le problematiche economiche, politiche e sociali hanno segnato le successive evoluzioni del “curtain wall”; tra di esse annoveriamo la necessaria diminuzione dei consumi e l’attenzione all’ambiente, i cambiamenti climatici occorsi e la creazione di un ambiente salutare per gli occupanti. Queste spinte, unitamente agli aspetti architettonici di trasparenza e riflessività hanno fatto in modo che questo sistema costruttivo fosse sempre terreno di sperimentazione artistica e tecnologica (silicone strutturale che lascia in vista solo le guarnizioni, vetri trattati chimicamente in diverse forme o addirittura traslucidi, schermature integrate nel sistema di facciata, “doppia pelle”, test di prestazioni su modelli in scala, facciate interattive sensibili all’ambiente circostante, componenti interni che producono energia etc..).



Figura I-5 John Hancock Tower, Boston, Massachusetts



Figura I-6 Fondation Cartier, Paris, France

I - 2. Facciate continue moderne

I - 2.1 Elementi

Il paragrafo contiene la spiegazione dei termini utilizzati nel settore dell'ingegneria delle facciate, per facilitare la comprensione del resto dello scritto e non causare fraintendimenti. Le definizioni provengono dalle normative europee³, così come le figure a corredo.

La configurazione tipica di curtain wall è composta come in figura I-7:

³ UNI EN 13119 "Curtain walling – Terminology"

1	Guarnizione esterna della vetrata	Strato rettilineo di materiale di tenuta resiliente preformato inserito tra la faccia esterna di una lastra di vetro, vetrata isolante (vetro unito al perimetro) o pannello di tamponamento e il telaio perimetrale, il listello fermavetro o il pressore
2	Listello fermavetro	Elemento di materiale profilato impiegato lungo il perimetro di una lastra di vetro, di una vetrata isolante (vetro unito al perimetro) o di un pannello di tamponamento per assicurare il medesimo al telaio.
3	Pannello di tamponamento	Materiale di riempimento o di rivestimento traslucido od opaco, realizzato in un pezzo unico o in più elementi, installato all'interno di un'intelaiatura perimetrale
4	Vetrata isolante	Unità composta da due o più lastre di vetro unite lungo il loro perimetro ermeticamente sigillate per garantire un miglioramento delle prestazioni di isolamento termico e acustico
5	Guarnizione interna della vetrata	Strato rettilineo di materiale di tenuta resiliente preformato inserito tra la faccia esterna di una lastra di vetro, vetrata isolante (vetro unito al perimetro) o pannello di tamponamento e il telaio perimetrale, il listello fermavetro o il pressore
6	Montante	Elemento strutturale verticale dell'intelaiatura di una facciata continua
7	Copertina	Profilato esterno di copertura, solitamente installato a scatto, applicato sul pressore del montante o del traverso per fornire una finitura architettonica adeguata
8	Listello pressore	Profilo a pressione applicato lungo il perimetro di una lastra di vetro, vetrata isolante o pannello di tamponamento per vincolare e comprimere la guarnizione della vetrata
9	Tassello	Blocchetto di materiale idoneo, posto sotto il bordo inferiore di una lastra di vetro, vetrocamera o pannello di tamponamento durante il loro inserimento nel telaio
10	Connettore a T	Profilato inserito all'interno della sezione cava del traverso per consentire la connessione strutturale di quest'ultimo al montante
11	Davanzale	Area di una facciata continua posta tra due fasce orizzontali, solitamente vetrate, che nasconde la vista della testa del retrostante telaio
12	Pannello di davanzale ("spandrel")	Pannello all'interno del davanzale posizionato nella zona di parapetto
13	Cannotto	Elemento di connessione strutturale profilato sagomato per essere installato all'interno del profilo cavo di un elemento dell'intelaiatura
14	Staffa di fissaggio	Assemblaggio di componenti strutturali progettate per trasmettere alla struttura dell'edificio tutte le azioni agenti sulla facciata continua consentendo allo stesso tempo tutti i necessari movimenti
15	Taglio termico	Elemento a bassa conducibilità termica incorporato per ridurre il flusso di calore tra materiali maggiormente conduttivi.
16	Traverso	Elemento strutturale orizzontale dell'intelaiatura di una facciata continua
17	Asola di scarico	Apertura che consente il defluire dell'acqua verso l'esterno dell'edificio

Tabella 1 Terminologia e descrizione dei componenti principali

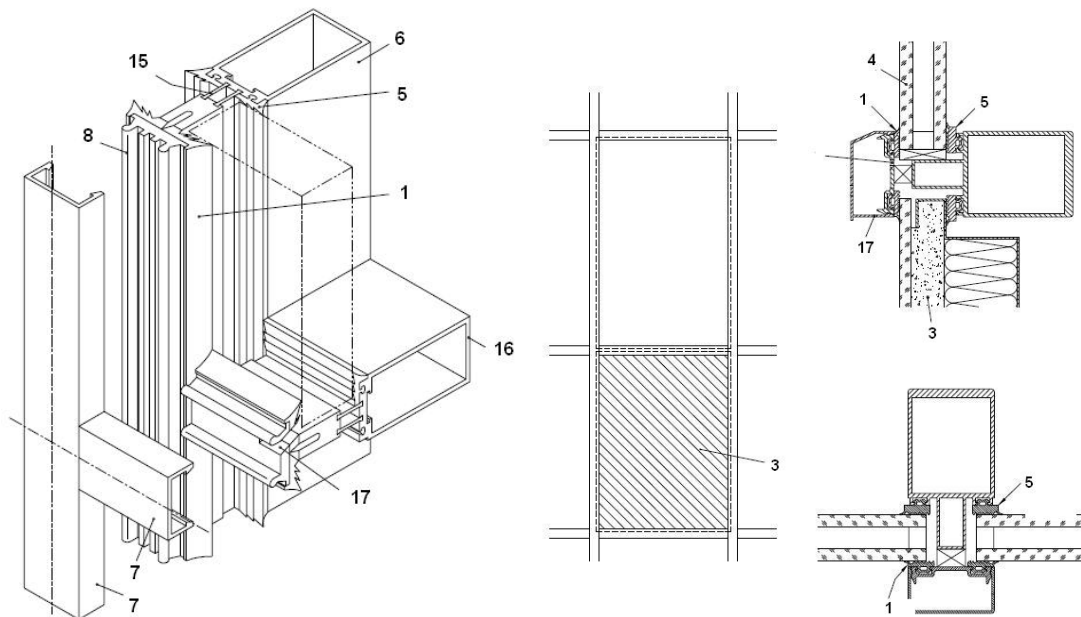


Figura I-7 Componenti di una facciata continua - particolari

Vale la pena soffermarsi sugli elementi più importanti delle facciate continue e fornire alcune ulteriori informazioni sul ruolo che svolgono:

Montanti – traversi: vengono comunemente realizzati in alluminio attraverso un processo di estrusione del materiale da uno stampo. Sebbene sia possibile ricorrere anche ad altri materiali, quello citato è largamente utilizzato per le sue buone proprietà meccaniche, unite alla sua leggerezza. Il loro compito è conferire rigidità alla struttura, per cui hanno sezioni e dimensioni maggiori dei pannelli, così da sporgere internamente o verso l'esterno.

Pannelli “spandrel”: Sono situati nella zona di separazione tra due piani adiacenti e, come avremo modo di vedere successivamente, rivestono un ruolo molto importante nella compartimentazione ai fini della prevenzione incendi. La finitura esterna è realizzata in qualsivoglia materiale, poi solitamente è presente una cavità d'aria interna e uno strato di materiale isolante.

Ancoraggi: sono uno dei punti delicati, perché connettono la facciata al sistema portante dell'edificio. Devono essere in grado di trasmettere a quest'ultimo i carichi dovuti al peso proprio, al vento e ad ogni altro evento accidentale;

devono assorbire le tolleranze di produzione e montaggio dei vari componenti e permetterne i movimenti una volta messi in opera; devono infine durare nel tempo e garantire facilità di intervento.

Vetrata: la tipologia più diffusa è la cosiddetta lastra “float”, che prende il nome dal metodo di produzione. In realtà, al termine del processo di formazione, la semplice lastra non incontra né i requisiti di sicurezza (è fragile e tende a rompersi in grandi pezzi taglienti) né di trasmittanza termica (conducibilità elevata, piccolo spessore). Per ovviare a tutto ciò esistono ulteriori trattamenti:

- Vetro temperato: riscaldando il materiale e raffreddandolo velocemente se ne migliorano le caratteristiche meccaniche e in caso di rottura si creano frammenti piccoli e non acuminati.
- Vetro laminato: due lastre vengono accostate con interposto un film di materiale plastico trasparente (PVB); questo permette l’adesione delle parti, la persistenza delle proprietà ottiche e, in caso di rottura, i frammenti tendono a rimanere attaccati al collante.
- Vetrocamera: due o più lastre vengono unite a dei profili in alluminio o materiale plastico, così da formare tra le due un’intercapedine (o due intercapedini) sigillata. A seconda del gas presente all’interno, se aria o altro, diminuisce sensibilmente il valore di trasmittanza termica.
- Vetri riflettenti o basso emissivi: vengono solitamente usati per la creazione di vetrocamere perché, attraverso particolari trattamenti superficiali (sul lato della lastra rivolto all’interno dell’intercapedine) si diminuisce la parte di radiazione solare trasmessa all’interno dell’edificio.

I - 2.2 Tipologie

Non tutti gli elementi elencati in tabella 1 sono sempre presenti nelle facciate continue, perché esistono diverse strutture, nate per esigenze di tipo ingegneristico, architettonico, cantieristico o economico:

- a) *Facciata a montanti e traversi*: il montaggio prevede in primo luogo la posa in opera dei montanti e su di essi il fissaggio dei traversi. Quindi, dopo aver inserito nelle apposite guide le guarnizioni, si posizionano le

lastre di tamponamento, siano esse vetrate oppure opache; per bloccarle si utilizza un elemento pressore, fissato meccanicamente al telaio (si interpone del materiale plastico per realizzare il taglio termico). Infine una copertina inserita a scatto sui pressori rappresenta la finitura esterna della facciata.

- b) *Facciata a telai*: similmente al caso a) prevede la posa di un sistema di montanti, ma gli elementi di chiusura giungono in cantiere già inseriti in telai; questi vengono così fissati meccanicamente alla struttura di montanti con maggiore facilità.
- c) *Facciata continua strutturale*: i pannelli sono “incollati” alla griglia di montanti e traversi mediante un apposito silicone strutturale, senza ulteriori meccanismi. Rimangono in vista solamente le fughe tra le diverse lastre, in cui vengono inserite le guarnizioni di tenuta, le quali hanno anche il compito di assorbire le dilatazioni. Questa tipologia minimizza la porzione metallica di telaio esposta, portando a minori dispersioni di calore, ma a causa della precisione richiesta in fase di montaggio, viene realizzata prevalentemente in moduli preassemblati in stabilimento.
- d) *Facciata a cellula*: rappresenta il sistema col più alto grado di prefabbricazione, poiché la facciata viene integralmente suddivisa in moduli che giungono in cantiere preassemblati. Non serve alcuna struttura di supporto tranne le staffe di ancoraggio alle solette di piano (o travi di bordo), perché ciascuna cellula è realizzata in modo da incastrarsi con quelle adiacente, a formare un telaio. La produzione in stabilimento permette maggiori controlli e diminuzione delle tolleranze di fabbricazione, ma anche costi superiori. La messa in opera è rapida e avviene secondo un ordine prefissato, solitamente calando le cellule dai piani superiori. Le lastre e i pannelli possono essere montati a pressione (come “a”) oppure incollati al sostegno (caso “c”).
- e) *Facciata a fissaggio puntuale*: rispetto ai tipi precedenti cambia radicalmente il sistema di fissaggio dei pannelli di facciata (molto spesso sono tutti trasparenti), perché anziché essere continuo lungo il perimetro

delle lastre, è localizzato nei quattro angoli. Si utilizzano dunque dei fissaggi puntuali inseriti a pressione o bucando le lastre; questi poi vengono collegati alle staffe (i cosiddetti “ragni”), attraverso dei perni che permettono i movimenti differenziati delle varie parti di facciata: internamente tutto il sistema è agganciato a montanti o appeso e sostenuto da tiranti.

- f) *Facciata a doppia pelle*: questa tipologia merita un discorso a parte, perché prevede uno schermo esterno ed una chiusura interna, realizzati entrambi con una delle metodologie elencate precedentemente, e divisi da un'intercapedine aerata di dimensioni variabili. Quest'ultima garantisce un miglioramento delle prestazioni termo igrometriche, acustiche e ottiche, oltre a permettere l'installazione di impianti. È necessaria però una progettazione accurata, affinché per esempio si inneschi la ventilazione naturale dell'intercapedine, oppure che essa non costituisca, in caso di incendio, una via di sviluppo preferenziale per le fiamme.

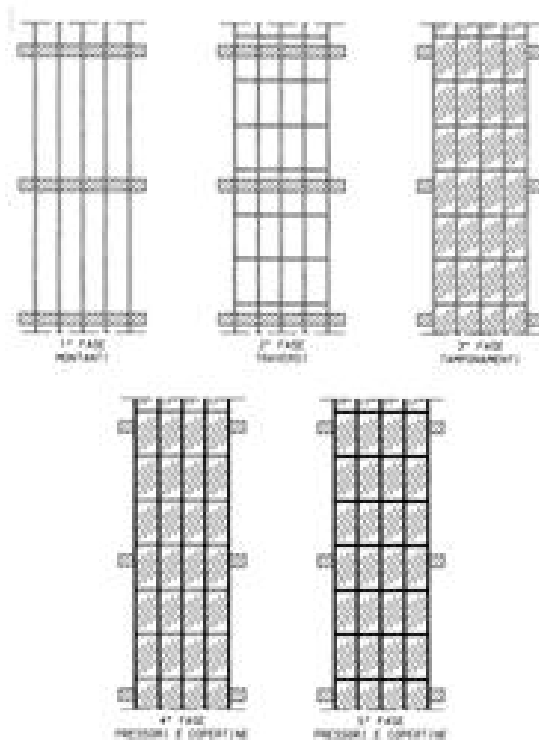


Figura I-8 Facciata montanti e traversi – fasi di assemblaggio

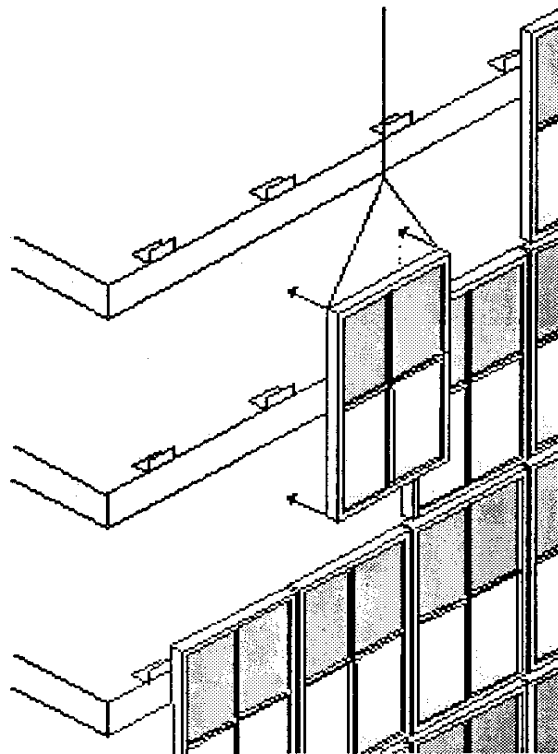


Figura I-9 Facciata a cellule

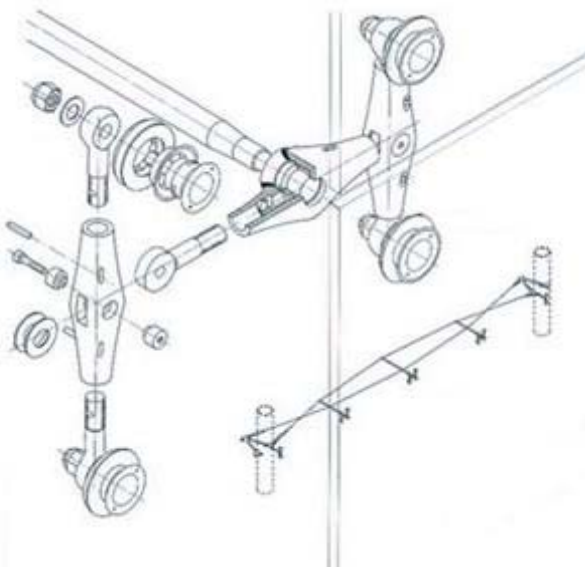


Figura I-10 Facciata a fissaggio puntuale - modulo

Come si è potuto osservare le diverse classi di facciata sono basate sia sul sistema di fissaggio delle lastre ai telai, sia sul sistema di messa in opera dell'intera facciata e non esistono confini netti tra le varie tipologie.

I - 2.3 Prestazioni

In generale l'involucro di un edificio è la zona di confine tra interno ed esterno, a cui è demandato il controllo di agenti atmosferici, trasmissione di calore e luce nelle due direzioni, flussi di aria e persone.

In particolare i "curtain walls" a causa dei materiali e delle tecniche impiegati per la loro realizzazione richiedono una stretta osservanza dei requisiti prestazionali sotto elencati⁴:

- Resistenza al carico del vento
- Carico permanente (sostenere il peso proprio e limitare le deformazioni)
- Resistenza all'urto
- Permeabilità all'aria
- Tenuta all'acqua
- Isolamento acustico per via aerea
- Trasmittanza termica
- Reazione al fuoco
- Resistenza al fuoco
- Propagazione del fuoco
- Durabilità
- Permeabilità al vapore acqueo
- Equipotenzialità
- Resistenza alle azioni sismiche
- Resistenza allo shock termico
- Deformazioni dell'edificio e dilatazioni termiche controllate
- Resistenza ai carichi orizzontali

Per molte voci dell'elenco precedente è possibile in realtà reperire la norma specifica che tratta in modo esaustivo la procedura completa per verificare la singola prestazione.

Il seguito dell'elaborato verte esclusivamente sul comportamento di una facciata in caso di incendio, sulle leggi che ne regolano la classificazione e sulla possibile previsione di ciò che potrebbe accadere.

⁴ UNI EN 13830 "Curtain walling – Product Standard"

II. INCENDIO

II - 1. Fenomeno

L'incendio è una reazione di ossidazione che avviene solo in caso di presenza contemporanea di un combustibile (materia che viene bruciata), un comburente (ossigeno presente nell'aria) e un mezzo d'innesco (sorgente termica, generalmente scintille, fiamme o altro).

La prima fase di un incendio è quella di *accensione*, in cui una sorgente di calore riscalda il materiale combustibile fino alla temperatura sufficiente affinché il processo di combustione si autosostenga senza ulteriori apporti di energia.

Nella fase successiva, di *propagazione*, il calore generato dal nucleo iniziale dell'incendio viene assorbito dai materiali circostanti, finché essi emettono gas infiammabili che contribuiscono ad espandere il fuoco.

Queste fasi avvengono a velocità variabili a seconda del tipo di combustibile e dell'apporto di comburente, fino a superare i 500 °C. In queste condizioni avviene il fenomeno del "flashover", cioè un rapido innalzamento di temperatura causato dall'autoaccensione di quasi tutti i materiali combustibili. L'incendio si è quindi esteso e la temperatura dell'aria arriva a superare i 1000°C.

Quando infine viene a mancare il materiale combustibile, oppure la temperatura dell'aria si abbassa fin sotto la soglia di ignizione dei materiali, o ancora viene a mancare il comburente l'incendio si avvia verso l'*estinzione*.

I prodotti della combustione sono luce, braci, cenere e soprattutto gas e fumi ad alta temperatura. I gas sono i principali responsabili della propagazione di un incendio, perché l'innesco avviene molto spesso in fase gassosa; i fumi invece sono residui carboniosi sospesi nell'aria provocati dalla parte incombustibile dei materiali, oppure da una parziale combustione di questi ultimi (per mancanza di comburente, umidità elevata, temperature basse etc..).

Gas e fumi sono quindi entrambi pericolosi per gli occupanti di un edificio perché:

- Possono portare all'asfissia per mancanza di ossigeno (gas e fumi)
- Possono essere tossici (gas e fumi)

- Possono esser tanto densi da impedire l'individuazione dei percorsi di fuga (fumi).

La pericolosità di questi prodotti risiede nella natura gassosa, che permette loro di propagarsi velocemente attraverso le aperture dell'edificio; possono quindi costituire pericolo per gli occupanti non direttamente interessati dall'incendio o generare addirittura nuovi focolai.

II - 2. Progettazione antincendio

I problemi legati all'innesco e alla propagazione dell'incendio all'interno degli edifici viene affrontato innanzitutto in fase progettuale, durante la quale si prevedono tutte le misure necessarie per limitarne gli effetti.

II - 2.1 Misure di protezione

Sono chiamate *misure di protezione attive* tutte le installazioni che, ad incendio innescato, vengono utilizzate per segnalare l'allarme e spegnere le fiamme:

- Sistemi di rilevamento di fumi o fiamme
- Sistemi di allarme per gli occupanti e le squadre di soccorso
- Sistemi di estinzione manuali interni ed esterni all'edificio (idranti, manicotti..)
- Sistemi di estinzione ad attivazione automatica (per esempio: sprinkler)
- Accessi facilitati per le squadre di soccorso
- Piani per la gestione delle emergenze

Si definiscono invece *misure di protezione passive* quelle previste per evitare che un incendio si inneschi, sviluppi e propaghi in tutto l'edificio.

- Adeguata compartimentazione dei locali
- Adeguato comportamento della struttura sottoposta a carichi d'incendio
- Utilizzo di materiali con corretta reazione al fuoco
- Utilizzo di materiali con adeguata resistenza al fuoco
- Predisposizione di vie di fuga, luoghi sicuri e relative segnalazioni
- Impianti realizzati a regola d'arte

In certi casi di particolare rischio sono previste alcune disposizioni aggiuntive per una corretta fruizione dell'edificio, quali per esempio il divieto di fumo o fiamme libere in alcuni locali oppure il controllo di materiali tossici o molto infiammabili.

II - 2.2 Approccio prescrittivo

Il progetto viene sviluppato sulla base di specifiche indicazioni per le misure di sicurezza attive o passive di cui si è detto. Questi limiti vengono imposti per legge in funzione della tipologia e destinazione d'uso dell'edificio e si fondano sulle esperienze di eventi precedenti e sui dati raccolti in tali occasioni.

Hanno carattere del tutto generale e, proprio per poter essere validi per il maggior numero di casistiche, presentano dei margini di sicurezza molto elevati.

Il vantaggio per il progettista che segue questo tipo di approccio consiste nel limitare la parte di calcolo legata all'evento incendio, perché si limita ad applicare i valori che gli vengono forniti e che sono universalmente ritenuti validi.

In questo caso può essere sicuro della correttezza del suo operato, ma non è in grado di quantificare il margine di sicurezza assunto. Il sistema quindi ha una sua rigidità, perché deve essere applicato nella sua integrità e non lascia spazio ad interpretazioni che potrebbero migliorare un'opera, per esempio sotto l'aspetto economico o del consumo energetico.

L'approccio prescrittivo è quindi indicato per edifici convenzionali di dimensioni contenute, dove si può fare affidamento su un gran numero di casi pratici ed evidenze sperimentali e dove i margini di miglioramento sono ridotti.

II - 2.3 Approccio prestazionale e Fire Engineering

Questo metodo di progettazione mira alla determinazione del comportamento dell'edificio in caso d'incendio e su di esso fonda la scelta delle misure di protezione da adottare e il loro dimensionamento.

Tutti i fattori che rientrano nella progettazione sono determinati con precisione, cosicché è possibile introdurre delle varianti, pur garantendo un livello di sicurezza adeguato ed equivalente a quello prescritto dai regolamenti.

Questo processo richiede uno sforzo superiore in fase progettuale, probabilmente inutile per edifici convenzionali; in caso di edifici di prestigio e tecnologicamente complessi può essere invece la soluzione giusta per:

- Progettare con maggiore libertà
- Evitare sprechi di materiale
- Verificare la validità dei progetti di prevenzione degli incendi
- Valutare i piani di emergenza ed evacuazione
- Investigare sulle cause dell'incendio

La disciplina preposta alla valutazione quantitativa del fenomeno dell'incendio e delle conseguenze che esso produce in un edificio, è chiamata *Fire Engineering*; attraverso l'applicazione dei suoi metodi è possibile determinare analiticamente e quantitativamente il livello di sicurezza connesso ad un edificio o ad una attività. Il processo prevede:

1. Stabilire un obiettivo di sicurezza e i risultati da perseguire
2. Valutare la struttura e tutti gli elementi esposti, persone comprese
3. Identificare gli adeguati scenari d'incendio e le situazioni di potenziale pericolo
4. Sviluppare la soluzione adatta
5. Ottenere l'approvazione della soluzione dagli enti preposti

Ciascuno di questi punti può essere sviluppato con gli strumenti che il progettista ritiene più corretti, siano essi delle prove sperimentali, dei procedimenti di calcolo o dei modelli al computer. Naturalmente è necessario che l'affidabilità di questi metodi sia certificata.

L'apertura verso l'approccio prestazionale in Italia è stata confermata dal D.M. 09.05.2007 "Direttive per l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio", mentre in altri Paesi esistono già da tempo delle legislazioni apposite.

II - 3. Criticità delle facciate continue

L'incendio in un edificio può propagare perché il calore si trasmette per conduzione, convezione e radiazione alle partizioni orizzontali e verticali. I solai hanno di solito un'elevata inerzia termica, che rallenta la diffusione del calore. Al contrario i curtain walls non sono elementi particolarmente massivi e alcuni materiali come l'alluminio sono fortemente conduttivi.

Un altro fattore di propagazione è la ventilazione, che influisce sulla velocità di combustione, apportando comburente. Anche sotto questo aspetto le facciate continue sono problematiche perché, soprattutto dopo la rottura dei vetri causata dall'innalzamento di temperatura, la ventilazione assume proporzioni considerevoli.

Infine i curtain walls sono strutture discontinue, sia in senso verticale che orizzontale (telai cavi, intercapedini, cavetti impiantistici, etc.): rappresentano quindi una via preferenziale per il passaggio di fumo e fiamme, anche a causa della differenza di pressione tra l'ambiente dell'incendio e gli altri locali.

II - 3.1 Dati storici

L'osservazione di incendi legati alle facciate continue ha evidenziato i punti più deboli di cui tener conto in fase progettuale⁵:

- possibile propagazione verticale dell'incendio (conduzione e convezione) nell'intercapedine esistente tra piano della facciata e bordo dei solai, imputabile ad una scarsa tenuta al fumo in corrispondenza dell'attacco della struttura del curtain wall alle partizioni orizzontali dell'edificio.
- possibile propagazione verticale dell'incendio per conduzione all'interno del pannello sottofinestra della facciata.
- possibile propagazione verticale del fuoco, esternamente al piano della facciata, dovuta al fatto che le fiamme, una volta avvenuta la rottura dei vetri per l'aumento di temperatura, si propagano dal piano dove è situato il focolaio iniziale a quelli successivi, risalendo lungo l'esterno del curtain wall per poi rientrare all'interno dell'edificio a distanza di uno o più interpiani.

⁵ UX 37 – *Fuoco e Facciate Continue*, Quadra Tecnica, dicembre 2003

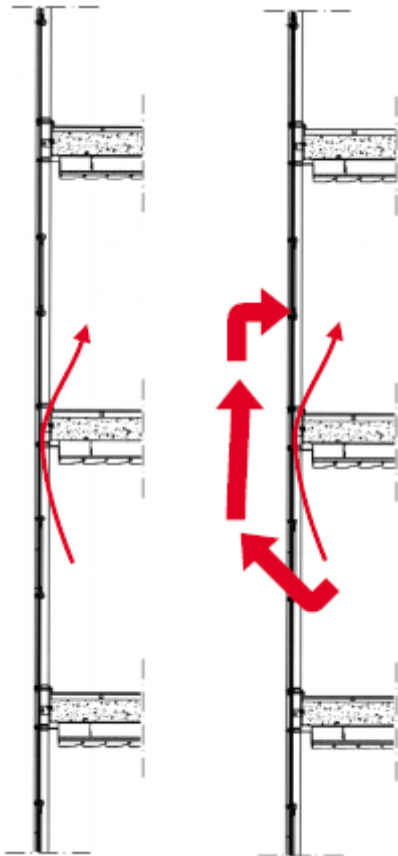


Figura II-1 Propagazione interna o esterna dell'incendio

L'analisi storica delle facciate continue meno recenti ha dimostrato un comportamento sostanzialmente positivo in caso d'incendio. Generalmente l'intelaiatura perde gran parte delle caratteristiche meccaniche e subisce grandi deformazioni, ma generalmente non crolla e i pannelli spandrel non si distaccano.

Questo comportamento può essere spiegato dal fatto che dopo 10-15 minuti dall'insorgere dell'incendio, i vetri si rompono per effetto della temperatura; ciò permette un costante e abbondante apporto di aria fredda, che abbassa i profili di temperatura in prossimità della facciata ($\approx 300^{\circ}\text{C}$) rispetto all'interno ($600^{\circ}\div 1000^{\circ}\text{C}$).

II - 3.2 Criteria progettuali

La pratica progettuale ha individuato alcuni punti fondamentali da osservare nel processo di ingegnerizzazione della facciata:

- a) la predisposizione di un setto tagliafuoco in materiale incombustibile ed ancorato all'intradosso della soletta stessa e non alla facciata continua.
- b) l'impiego di materiali incombustibili: lana di roccia, lana di vetro, espansi rigidi a base di resine poliuretatiche⁶.
- c) particolare attenzione va prestata alla protezione del lato interno del pannello sottofinestra.

Questi accorgimenti non sono direttamente indicati dalle normative di settore, le quali specificano solo le caratteristiche di resistenza al fuoco dei materiali o del nodo solaio-facciata.

Alcuni Paesi europei inoltre impongono il fissaggio dei pannelli opachi di facciata al sistema portante dell'edificio, per evitare cadute di materiale e pericolo per occupanti e soccorritori.

II - 3.3 Esempi di soluzioni costruttive

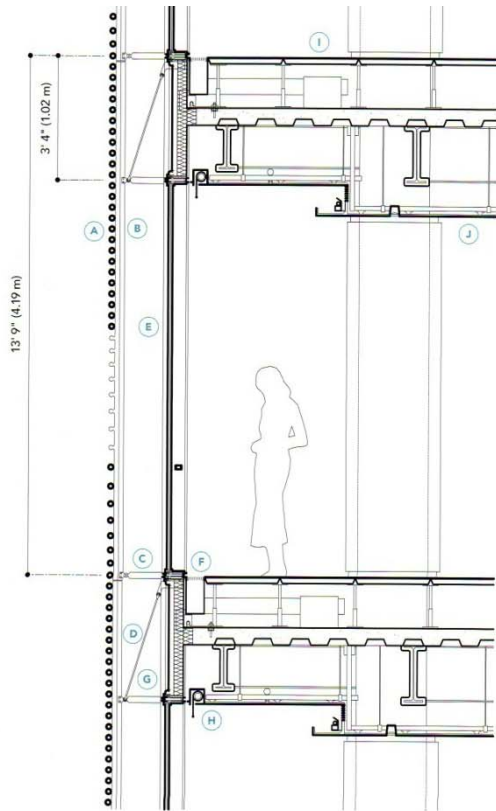
Di seguito riportiamo dei disegni esplicativi di come sia stato risolto (oppure no) il nodo facciata – solaio in alcuni palazzi di recente costruzione:

La sezione di figura II-2 mostra un esempio di corretta risoluzione del nodo: il pannello spandrel è posto in corrispondenza della soletta e realizzato in materiale isolante; il piano superiore è isolato dai fumi che si possono sviluppare in quello inferiore grazie alla continuità creata tra pannello di facciata opaco e solaio in lamiera grecata.

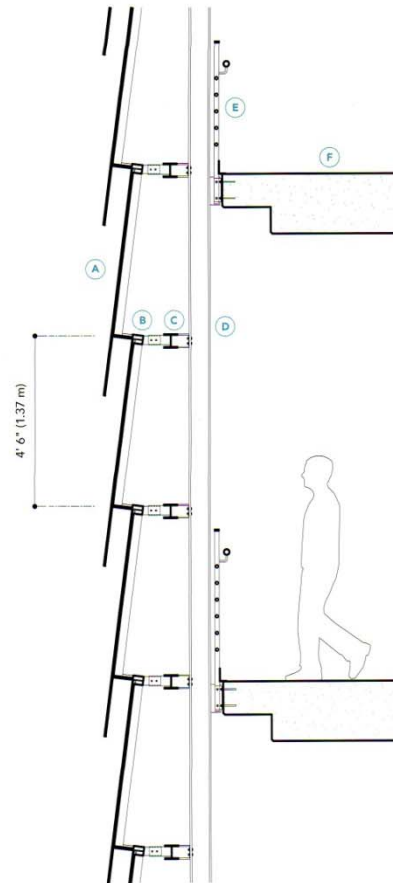
La sezione di figura II-3 presenta caratteristiche particolari, perché ciascun piano non è isolato da quello inferiore; ciò rappresenta un punto debole in caso d'incendio, a causa del quale saranno state previste misure di sicurezza alternative (per esempio: impianto di estinzione ad attivazione automatica)

⁶ Cfr. Allegato D.M. 22 febbraio 2006 – Titolo II, punto 5.2 comma 2 (f)

Figura II-2 New York, USA, 2007



- (A) Glazed ceramic tubes with internal aluminum connection
- (B) Painted aluminum vertical strut
- (C) Painted aluminum horizontal strut
- (D) Steel suspension rod
- (E) Low-iron insulating glass with low-E coating
- (F) Painted extruded-aluminum unit frame
- (G) Painted aluminum spandrel panel
- (H) Automated internal shade
- (I) Raised floor over concrete slab on deck
- (J) Suspended ceiling

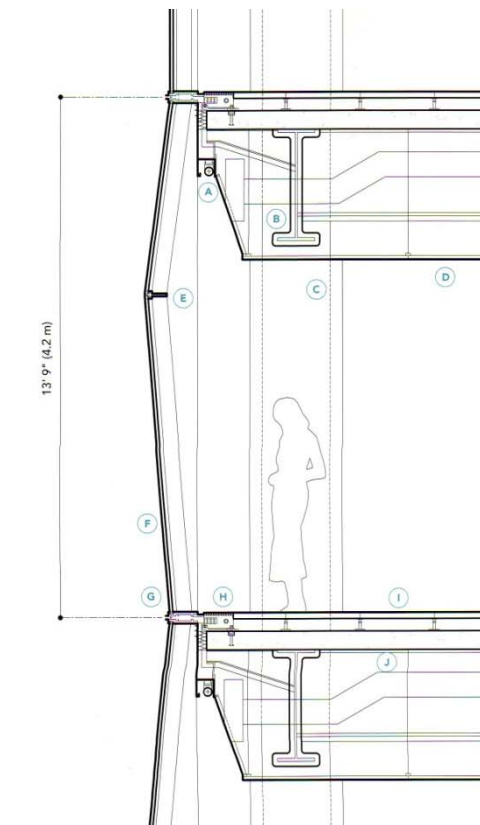


7
Section

- (A) Structurally glazed monolithic tempered glass
- (B) Extruded-aluminum unit frame
- (C) Painted steel beam
- (D) Painted steel column
- (E) Painted steel guardrail
- (F) Reinforced-concrete floor slab

Figura II-3 New York, USA, 2004

L'immagine di figura II-4 dimostra come il particolare del nodo tra solaio e facciata non sia stato curato secondo le regole pratiche esposte in II.3.2: i pannelli vetrati trasparenti sono continui tra i due piani e non è presente il pannello spandrel con materiale isolante; si ritiene che il giunto orizzontale possa impedire la propagazione interna di fumo e fiamme, ma ciò risulta inutile dal momento che in caso di rottura dei vetri, essi possono facilmente propagare per via esterna; l'unica attenzione prestata pare quella del rivestimento alle travi in acciaio del solaio.



6
Section

- | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| (A) Adjustable ant glare blind | (F) Insulating glass with low-E coating |
| (B) Steel beam with fireproofing | (G) Extruded-aluminum stack joint |
| (C) Steel column, galvanized-metal cladding | (H) Floor register with convactor and upright |
| (D) Suspended ceiling, galvanized perforated-metal panel | (I) Raised floor |
| (E) CNC-cut, extruded-aluminum mullion | (J) Steel and concrete composite floor |

Figura II-4 Seul, Korea, 2006

III. NORMATIVA ANTINCENDIO

Le norme che regolano la progettazione di un edificio devono tener conto dei possibili rischi legati all'insorgere di incendi. In codici di Paesi differenti, di seguito analizzati, si notano approcci simili, rivolti in generale a:

- a) Garantire l'integrità della struttura portante di un edificio per il tempo necessario al soccorso degli occupanti
- b) Limitare la propagazione di fumo e fiamme
- c) Permettere agli occupanti di lasciare indenni l'edificio
- d) Permettere ai soccorritori di operare in sicurezza

Nel proseguo della tesi analizzeremo una porzione di facciata continua di un edificio alto, adibito ad uffici, per cui questo capitolo sottolinea soprattutto le prescrizioni che interessano questo particolare caso. I paragrafi sono strutturati innanzitutto con la descrizione della legislazione vigente sul territorio italiano, per poi integrare con le norme europee da cui discendono e qualche caso significativo di altri Paesi europei che per primi hanno legiferato in materia di facciate; infine si riporta anche un caso extraeuropeo (Stati Uniti).

III - 1. Richiesta di prestazione

Tutti le soluzioni tecniche e tutti i prodotti adottati in edilizia devono rispondere a determinati requisiti di resistenza al fuoco, a seconda dell'utilizzo.

In Italia le richieste di prestazione per i componenti degli edifici variano in funzione della loro destinazione d'uso. Solo alcune categorie con precise criticità dispongono di una norma dedicata, mentre per tutte le altre vige il Decreto Ministeriale 09.03.2007 che prevede di:

- Determinare il carico di incendio specifico di progetto, influenzato dalla superficie del compartimento, dal rischio di incendio e dal sistema di estinzione previsto⁷
- Ricavare, a seconda del livello di sicurezza richiesto, le caratteristiche delle superfici di compartimentazione⁸

⁷ Vedi D.M.09.03.2007 – Allegato cap. 2

⁸ Vedi D.M.09.03.2007 – Allegato cap. 3, Tabella 4

Questa procedura si applica a tutte le attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco.⁹

Il caso trattato in questa tesi è un palazzo ad uso uffici (oltre 25 persone), quindi soggetto al Decreto Ministeriale 22.02.2006; la prestazione richiesta è funzione dell'altezza antincendio degli edifici¹⁰ (**oltre 54 metri per il caso di studio, si richiede una resistenza R e REI/EI 120¹¹ per le strutture e i sistemi di compartimentazione**). La superficie di ciascun compartimento non deve essere superiore ai 1000 m².

III - 1.1 Belgio

Il problema della resistenza al fuoco degli edifici viene regolamentata a livello nazionale dal decreto reale del 7 luglio 1994 (e modificazioni successive¹²) “Norme di base in materia di prevenzione contro l'incendio e l'esplosione, da rispettare in caso di edifici di nuova costruzione”.

Le prescrizioni si basano sulla distinzione in tre diverse categorie di edifici in funzione di quella che in Italia viene definita “altezza antincendio¹³”:

- Edifici alti (BE): $h > 25$ m
- Edifici medi (BM): $10 \leq h \leq 25$ m
- Edifici bassi (BB): $h < 10$ m

ai quali si deve aggiungere la categoria:

- Edifici industriali

che comprende tutte le costruzioni dedicate ad attività industriali di stoccaggio e trasformazione.

Rispetto al caso trattato in questo elaborato di tesi, la richiesta da parte della legislazione belga prevede una superficie di compartimento non superiore ai 2500 m², sviluppata su un unico livello, a meno della presenza di impianti automatici di spegnimento. Per la resistenza al fuoco si distinguono:

⁹ D.M. 09.03.2007 Art. 1

¹⁰ “Altezza massima misurata dal livello inferiore dell'apertura più alta dell'ultimo piano abitabile e/o agibile, escluse quelle dei vani tecnici, al livello del piano esterno più basso” (D.M. 30.11.1983)

¹¹ D.M. 22.02.2006 Allegato II, 5.1

¹² 19 dicembre 1997; 4 aprile 2003

¹³ Confronta arrêté royal du 7 juillet 1994 – Annexe 1 chap. 1

- gli elementi strutturali e pareti di compartimento (Rf 2h)
- la facciata (1h secondo la NBN-020, solo zona spandrel).

In questo documento sono già ampiamente trattate le disposizioni tecniche relative alla realizzazione di facciate.

III - 1.2 Spagna

Il “Codigo Técnico de la Edificación” (marzo 2006), nel capitolo relativo alla sicurezza in caso di incendio suddivide gli edifici per destinazione d’uso, esclusi gli edifici industriali soggetti al “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”.

Per ciascuno dei seguenti gruppi definisce le superfici massime di compartimentazione e le relative eccezioni¹⁴:

- Caso di applicazione generale
- Residenziale
- Amministrativo
- Commerciale
- Scolastico
- Ospedaliero
- Luoghi di uso pubblico
- Parcheggi

A partire da questa suddivisione e considerando l’altezza antincendio degli edifici, si determina la resistenza al fuoco degli elementi costituenti compartimento nei vari casi, come esposto in figura III-1:

¹⁴ Codigo Técnico de la Edificación, Sección SI 1, Tabla 1.1

Elemento	Sector bajo rasante	Resistencia al fuego		
		Sector sobre rasante en edificio con altura de evacuación:		
		h ≤ 15 m	15 < h ≤ 28 m	h > 28 m
Paredes y techos ⁽³⁾ que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto: ⁽⁴⁾				
- Sector de riesgo mínimo en edificio de cualquier uso	(no se admite)	EI 120	EI 120	EI 120
- Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	EI 120	EI 60	EI 90	EI 120
- Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	EI 120 ⁽⁵⁾	EI 90	EI 120	EI 180
- Aparcamiento ⁽⁶⁾	EI 120 ⁽⁷⁾	EI 120	EI 120	EI 120

Figura III-1 Resistenza al fuoco di elementi costruttivi per destinazione d'uso

Per locali di particolare rischio (locali tecnici, cucine, stoccaggi di materiali pericolosi etc..) esistono ulteriori norme da rispettare in base alle dimensioni degli edifici stessi.

III - 1.3 Stati Uniti

Le tipologie di edifici si dividono in funzione della loro destinazione d'uso¹⁵:

- Pubblici (gruppi A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)
- Uffici (gruppo B)
- Istruzione (gruppo E)
- Fabbriche o industrie (gruppi F-1, F-2)
- Ad alto rischio (gruppi H-1, H-2, H-3, H-4, H-5)
- Istituzionali (gruppi I-1, I-2, I-3, I-4)
- Commerciali (gruppo M)
- Residenziali (gruppi R-1, R-2, R-3, R-4)
- Stoccaggio (gruppi S-1, S-2)
- Di servizio (gruppo U)

Per la descrizione completa dei sottogruppo elencati si rimanda alle sezioni da 303 a 312 dell'International Building Code (IBC) 2009.

Ognuno di essi può essere classificato come edifici "alto" in accordo con la sezione 403 dell'IBC (il limite è fissato pari a 420 feet = 128 metri di altezza

¹⁵ IBC 2009, 302.1

dell'edificio); questo comporta alcune modificazioni alle norme utilizzate nei casi tradizionali e specificati in questo capitolo.

A partire da questa distinzione la lettura congiunta delle figure III-2 e III-3 forniscono le richieste relative alle problematiche antincendio per tutti i tipi di edificio:

BUILDING ELEMENT	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV	TYPE V	
	A	B	Ad	B	Ad	B	HT	Ad	B
Primary structural frame [§] (see Section 202)	3 ^a	2 ^a	1	0	1	0	HT	1	0
Bearing walls Exterior ^{f, g} Interior	3 3 ^a	2 2 ^a	1 1	0 0	2 1	2 0	2 1/II	1 1	0 0
Nonbearing walls and partitions Exterior	See Table 602								
Nonbearing walls and partitions Interior ^a	0	0	0	0	0	0	See Section 602.4.6	0	0
Floor construction and secondary members (see Section 202)	2	2	1	0	1	0	HT	1	0
Roof construction and secondary members (see Section 202)	1½ ^b 2	1b, c	1b, c	0c	1b, c	0	HT	1b, c	0

Figura III-2 Periodo di resistenza al fuoco per differenti elementi costruttivi (in ore)

La dicitura “Type” identifica l'utilizzo di materiali incombustibili (I e II), di materiali incombustibili esternamente e combustibili internamente (III), di incombustibili esternamente e di legno internamente (IV); le sigle A e B invece indicano l'altezza massima dell'edificio in esame (vedi tabella seguente).

GROUP	TYPE OF CONSTRUCTION									
	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV	TYPE V		
	A	B	A	B	A	B	HT	A	B	
	HEIGHT(feet)	UL	160	65	65	65	65	50	40	
GROUP	STORIES(S) AREA (A)									
	S	UL	5	3	2	3	2	3	2	1
A-1	S A	UL UL	5 UL	3 15,500	2 8,500	3 14,000	2 8,500	3 15,000	2 11,500	1 5,500
A-2	S A	UL UL	11 UL	3 15,500	2 9,500	3 14,000	2 9,500	3 15,000	2 11,500	1 6,000
A-3	S A	UL UL	11 UL	3 15,500	2 9,500	3 14,000	2 9,500	3 15,000	2 11,500	1 6,000
A-4	S A	UL UL	11 UL	3 15,500	2 9,500	3 14,000	2 9,500	3 15,000	2 11,500	1 6,000
A-5	S A	UL UL	UL UL	UL UL	UL UL	UL UL	UL UL	UL UL	UL UL	UL UL
B	S A	UL UL	11 UL	5 37,500	3 23,000	5 28,500	3 19,000	5 36,000	3 18,000	2 9,000
E	S A	UL UL	5 UL	3 26,500	2 14,500	3 23,500	2 14,500	3 25,500	1 18,500	1 9,500
F-1	S A	UL UL	11 UL	4 25,000	2 15,500	3 19,000	2 12,000	4 33,500	2 14,000	1 8,500
F-2	S A	UL UL	11 UL	5 37,500	3 23,000	4 28,500	3 18,000	5 50,500	3 21,000	2 13,000
H-1	S A	1 21,000	1 16,500	1 11,000	1 7,000	1 9,500	1 7,000	1 10,500	1 7,500	NP NP
H-2 ^d	S A	3 21,000	2 16,500	2 11,000	1 7,000	2 9,500	1 7,000	2 10,500	1 7,500	1 3,000
H-3 ^d	S A	UL UL	6 60,000	4 26,500	2 14,000	4 17,500	2 13,000	4 25,500	2 10,000	1 5,000
H-4	S A	UL UL	7 UL	5 37,500	3 17,500	5 28,500	3 17,500	5 36,000	3 18,000	2 6,500
H-5	S A	4 UL	4 UL	3 37,500	3 23,000	3 28,500	3 19,000	3 36,000	3 18,000	2 9,000
I-1	S A	UL UL	9 55,000	4 19,000	3 10,000	4 16,500	3 10,000	4 18,000	3 10,500	2 4,500
I-2	S A	UL UL	4 UL	2 15,000	1 11,000	1 12,000	NP NP	1 12,000	1 9,500	NP NP
I-3	S A	UL UL	4 UL	2 13,000	1 10,000	2 10,300	1 7,500	2 12,000	2 7,500	1 5,000
I-4	S A	UL UL	5 60,500	3 26,500	2 13,000	3 23,500	2 13,000	3 25,500	1 18,500	1 9,000
M	S A	UL UL	11 UL	4 21,500	2 12,500	4 18,500	2 12,500	4 20,500	3 14,000	1 9,000
R-1	S A	UL UL	11 UL	4 24,000	4 16,000	4 24,000	4 16,000	4 20,500	3 12,000	2 7,000
R-2	S A	UL UL	11 UL	4 24,000	4 16,000	4 24,000	4 16,000	4 20,500	3 12,000	2 7,000
R-3	S A	UL UL	11 UL	4 UL	4 UL	4 UL	4 UL	4 UL	3 UL	2 UL
R-4	S A	UL UL	11 UL	4 24,000	4 16,000	4 24,000	4 16,000	4 20,500	3 12,000	2 7,000
S-1	S A	UL UL	11 48,000	4 26,000	2 17,500	3 26,000	2 17,500	4 25,500	3 14,000	1 9,000
S _{2b,c}	S A	UL UL	11 79,000	5 39,000	3 26,000	4 39,000	3 26,000	5 38,500	4 21,000	2 13,500
U ^f	S A	UL UL	5 35,500	4 19,000	2 8,500	3 14,000	2 8,500	4 18,000	2 9,000	1 5,500

Figura III-3 Superfici e altezze massime consentite

Per le i tamponamenti esterni non portanti e le partizioni esiste un'apposita tabella¹⁶:

FIRE SEPARATION DISTANCE = X (feet)	TYPE OF CONSTRUCTION	OCCUPANCY GROUP ¹	OCCUPANCY GROUP F-1, M, S-1 ⁹	OCCUPANCY GROUP A, B, E, F-2, I, R, S-2 ⁹ , U ^b
$X < 5^c$	All	3	2	1
$5 \leq X < 10$	IA Others	3 2	2 1	1 1
$10 \leq X < 30$	IA, IB IIB, VB Others	2 1 1	1 0 1	1 ^d 0 1 ^d
$X \geq 30$	All	0	0	0

Figura III-4 Resistenza al fuoco per pareti esterne non portanti (in ore)

¹⁶ Vedi IBC sezione 602, tabella 602

basata sulla “fire separation distance¹⁷”.

III - 2. Classificazione

Secondo il Decreto Ministeriale 16.02.2007 sono previste tre diverse modalità di classificazione dei prodotti e degli elementi costruttivi da utilizzare in campo edile¹⁸:

Classificazione in base ai risultati di prove: rappresenta la soluzione più onerosa, ma al tempo stesso la più affidabile perché prevede di esporre realmente al fuoco un oggetto, in condizioni controllate. I soggetti che eseguono il test sono organismi qualificati e certificati, che seguono procedure standard (anch'esse oggetto di normativa, spiegate nel seguito) e al termine della prova redigono un rapporto dettagliato del suo esito. L'obiettivo è quindi quello di misurare, sotto specifiche condizioni di esposizione, il rispetto di criteri prestazionali misurabili

Classificazione in base ai risultati di calcoli: è generalmente rivolta alla realizzazione di elementi costruttivi resistenti al fuoco, portanti, separanti o non separanti e comprende anche i collegamenti e l'interazione con altri elementi. Il riferimento per questa procedura è indicata negli eurocodici e nelle relative appendici nazionali.

Classificazione in base ai confronti con tabelle: si basa sul confronto tra l'elemento costruttivo che dobbiamo classificare e apposite tabelle, divise per tecnologia e materiali, in cui si stabilisce la resistenza al fuoco di un elemento sulla base del suo spessore. Data la procedura semplificata, i valori tabulati sono cautelativi, pur provenendo da campagne sperimentali ed elaborazioni numeriche. Per lo stesso motivo la validità di queste tabelle è strettamente legata a questo utilizzo e non sono consentite estrapolazioni o interpolazioni; è possibile non attenersi a queste prescrizioni nel caso si decida di sfruttare una delle due precedenti procedure.

¹⁷ La distanza misurata perpendicolarmente dalla superficie esterna dell'edificio fino alla fine del lotto, alla mezzera di una strada pubblica, ad un altro edificio

¹⁸ DM 16.02.2007 Art. 2 comma 3

L'allegato A presenta le possibili classi; si riporta di seguito un esempio:

SIMBOLI

R	Capacità portante	P o PH	Continuità di corrente o capacità di segnalazione
E	Tenuta	G	Resistenza all'incendio della fuliggine
I	Isolamento	K	Capacità di protezione al fuoco
W	Irraggiamento	D	Durata della stabilità a temperatura costante
M	Azione meccanica	DH	Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura
C	Dispositivo automatico di chiusura	F	Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore
S	Tenuta al fumo	B	Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore

Le seguenti classificazioni sono espresse in minuti, a meno che non sia indicato altrimenti.

Figura III-5 Caratteristiche valutate in caso di incendio

A.4.3 - Si applica a	Facciate (curtain walls) e muri esterni (che includono parti vetrate)									
Nome	EN 13501-2; EN 1364-3,4,5,6; EN 1992-1.2; EN 1993-1.3; EN 1994-1.2; EN 1995-1.2; EN 1996-1.2; EN 1999-1.2									
Classificazione:										
E	15		30		60	90	120			
EI	15		30		60	90	120			
EI-W		20	30		60					
Annotazioni	La classificazione è completata da "(i→o)", "(o→i)", o "(i↔o)", per indicare se l'elemento è stato sottoposto a prova e se rispetta i requisiti sull'incendio proveniente dall'interno o dall'esterno o entrambi. Laddove previsto, la "stabilità meccanica" indica che l'eventuale caduta di parti non è suscettibile di provocare danni alle persone nel periodo indicato per la classificazione E o EI.									

Figura III-6 Tabella di classificazione relativa alle chiusure esterne

La tabella di figura III-5 mostra quali siano le proprietà in base alle quali si procede alla classificazione; non tutte sono valide per ogni elemento costruttivo, ma solo quelle inerenti alla funzione principale dell'elemento stesso. Nella figura III-6, relativa a "facciate (curtain walls) e muri esterni", si legge infatti che le classi sono organizzate secondo la tenuta (E), l'isolamento (I) e l'irraggiamento (W); si tralascia per esempio la capacità portante (R), perché si tratta di elementi non strutturali. Ciascuna possibile classe è legata ad un numero che esprime, in minuti, il tempo di permanenza delle prestazioni in caso d'incendio; per concludere sono citate le norme di riferimento e alcune annotazioni valide solo per la specifica tipologia di elementi costruttivi.

III - 2.1 Europa

In ambito europeo lo stesso argomento è trattato dalla norma UNI EN 13501-2 "Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione (Parte 2 – in base a prove)"; nei singoli Paesi, compresa l'Italia, le relative prescrizioni si basano sul recepimento di questo documento.

Le classi di resistenza e le prestazioni misurate per la classificazione sono analoghe a quelle riportate per il caso italiano.

E	15		30	60	90	120
EI	15		30	60	90	120
EW		20	30	60		

Figura III-7 Classi definite per i "curtain walls" come da 13501-2

In aggiunta ad esse però la norma stabilisce innanzitutto diversi scenari d'incendio, ciascuno dei quali permette di definire il corretto attacco termico nelle diverse situazioni¹⁹; in funzione del diverso scenario utilizzato, sono differenti le tolleranze per le applicazioni nei casi reali:

a) *Curva standard temperatura/tempo*

Rappresenta un incendio nelle fasi successive al flash-over, confinato in un compartimento

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

dove t [min] è il tempo trascorso dall'inizio del test in minuti e T [°C] è la temperatura media nel forno

b) *Curva di riscaldamento lento*

Va utilizzata per testare gli elementi le cui caratteristiche di resistenza diminuiscono nel corso delle varie fasi dell'incendio

$$T = 154t^{0,25} + 20 \quad 0 < t \leq 21$$

$$T = 345 \log_{10}(8 * (t - 20) + 1) + 20 \quad t > 21$$

dove t [min] è il tempo trascorso dall'inizio del test in minuti e T [°C] è la temperatura media nel forno

c) *Fuoco semi-naturale*

Le temperature dei fumi durante un incendio di questo tipo raggiungono, vicino al soffitto, un valore di circa 1000°C tra i 10 e 20 minuti dall'inizio del test.

Non si riesce a riprodurre l'effetto in una comune fornace con bruciatori.

d) *Curva di esposizione esterna*

Caratterizza l'esposizione di una facciata esposta ad un incendio che propaga dalle finestre del piano inferiore o proviene dall'esterno dell'edificio

$$T = 660 * (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20$$

¹⁹ Vedi UNI EN 13501-2 cap.4

dove t [min] è il tempo trascorso dall'inizio del test in minuti e T [°C] è la temperatura media nel forno

e) Attacco a temperatura costante

Per alcuni elementi il test deve essere condotto a temperature costanti e differenti per tipologia:

20 °C per le infiltrazioni in porte antincendio a temperatura ambiente

200 °C per le infiltrazioni in porte antincendio a medie temperatura

500 °C per la resistenza al fuoco di pavimenti galleggianti

1000 °C per la resistenza di camini ed elementi ad essi collegati

Per completare il quadro citiamo anche²⁰:

f) Curva degli idrocarburi

Da utilizzare nel caso in cui l'incendio si sviluppi da idrocarburi o da sostanze con velocità di rilascio termico equivalente

$$T = 1080 * (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20$$

dove t [min] è il tempo trascorso dall'inizio del test in minuti e T [°C] è la temperatura media nel forno.

g) Curva di incendio reale

Si utilizza nell'ottica di un approccio prestazionale e comprende una fase di riscaldamento e una di raffreddamento fino a temperatura ambiente.

Deve essere determinata per via sperimentale o analitica.

²⁰ Vedi UNI EN 1992 1-2 cap. 3.2 e 3.3

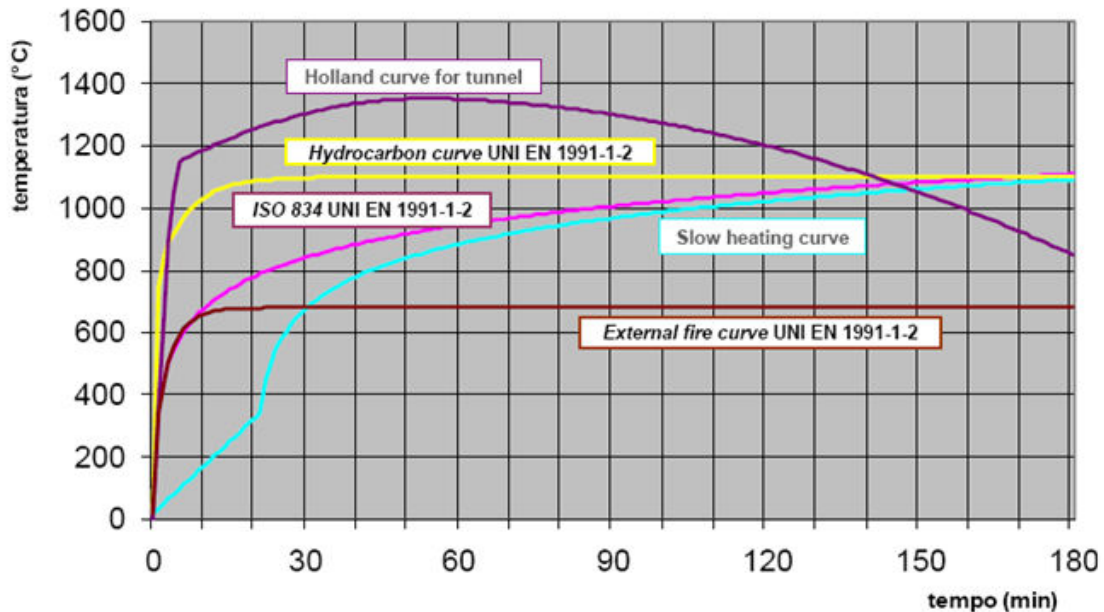


Figura III-8 Diverse curve d'incendio a confronto

Altra aggiunta di rilievo è la spiegazione dettagliata dei criteri secondo i quali si determina la cessazione di una prestazione; per esempio in riferimento alle caratteristiche principali di una facciata continua²¹:

- La perdita di tenuta (E) si verifica in caso di: presenza di aperture o fratture sopra una certa dimensione; accensione del tampone di cotone; presenza persistente di fiamme sulla faccia non esposta.
- Per tutti gli elementi, escluse porte e serrande, il livello di isolamento termico (I) è definito dalla temperatura media della faccia non esposta, che non deve aumentare di oltre 140 °C rispetto alla temperatura di partenza, e da quella massima raggiunta localmente, che non deve innalzarsi di oltre 180 °C.
- Per soddisfare il criterio relativo all'irraggiamento (W), il valore massimo di energia trasmessa per radiazione, dal lato non esposto direttamente alle fiamme, non deve mai superare i 15 kW/m².

²¹ Vedi UNI EN 13501-2 cap.5

III - 2.2 Belgio

Le classi riconosciute sono quelle stabilite dal documento redatto da una commissione della comunità europea (03.05.2000). Come si può vedere da figura III-9 le classi in materia di facciate coincidono con la norma europea UNI 13502-2 (così come per gli altri elementi):

Concerne	Façades (murs rideaux) et murs extérieurs (y compris éléments vitrés)									
Norme(s)	EN 13501-2; EN 1364-3,4,5,6; EN 1992-1.2; EN 1993-1.2; EN 1994-1.2; EN 1995-1.2; EN 1996-1.2; EN 1999-1.2									
Classification: —										
E	15		30		60	90	120			
EI	15		30		60	90	120			
EW		20	30		60					
Remarques	<p>La classification est complétée par «(i → o)», «(o → i)», ou «(i ↔ o)» afin d'indiquer que l'élément a été testé et satisfait aux exigences de l'intérieur uniquement, de l'extérieur uniquement ou des deux</p> <p>Au besoin, la stabilité mécanique indique qu'aucune chute de pièce n'est susceptible de causer des dommages aux personnes pendant le laps de temps indiqué pour le classement E ou EI</p>									

Figura III-9 Classi di resistenza al fuoco per facciate valide in territorio belga

I metodi di classificazione si basano, per tutti quei prodotti privi di marcatura CE, su:

- un rapporto di classificazione basato su prove di laboratorio, secondo una qualsiasi procedura riconosciuta nel territorio europeo
- un procedimento di calcolo riconosciuto dal ministero degli Interni belga
- una approvazione da parte di alcuni organismi certificati

III - 2.3 Spagna

Un unico documento regola sia la reazione che la resistenza al fuoco di prodotti e componenti da costruzione, il decreto reale 312/2005.

Questa norma segue lo stesso principio degli altri documenti citati nel presente capitolo, come si può osservare da figura III-10, dove si riporta una tabella inerente alle facciate continue:

Productos	Fachadas (muros-cortina) y muros exteriores (incluidos elementos de vidrio).									
Norma(s)	UNE-EN 13501-2:2004; EN 1364-4, 5, 6; EN 1992-1, 2; EN 1993-1, 2; EN 1994-1, 2; EN 1995-1, 2; EN 1996-1, 2; EN 1999-1, 2 (véase apartado 3.3 de este anexo).									
Clasificación : -										
E	15		30		60	90	120			
EI	15		30		60	90	120			
EW		20	30		60					
Comentarios	La clasificación se completa con "(i → o)", "(o → i)" ó "(i ↔ o)" para indicar si el elemento ha sido probado y cumple los requisitos sólo de interior o de exterior o ambos. En caso necesario, la estabilidad mecánica indica que ningún desprendimiento de partes puede causar daños personales durante el plazo previsto para la clasificación E ó EI.									

Figura III-10 Classi di resistenza al fuoco per facciate valide in territorio spagnolo

Non si citano in questa sede metodi alternativi alle prove di laboratorio per la classificazione ("Normas"); essi sono presenti nella sezione SI 6 del Codice Tecnico de la Edificacion, per il quale risultano validi i metodi semplificati presenti negli annessi (C – F) alla medesima sezione.

III - 2.4 Stati Uniti

L'International Building Code ammette la classificazione degli elementi da costruzione secondo prove di laboratorio in osservanza della norma ASTM E 119 (vedi capitolo successivo); oppure in accordo con la sezione 703.3 che prevede:

- presenza di documentazione che attesti la progettazione di un elemento secondo un criterio di resistenza al fuoco
- confronto con soluzioni tipo fornite in tabelle (vedi sezione 720)
- calcolo delle prestazioni in accordo con la sezione 721
- confronto con soluzioni tecniche di edifici già realizzati e la cui resistenza è documentata secondo la norma ASTM E 119
- altre metodologie di cui va accertata la validità dall'autorità competente.

III - 3. Prove di laboratorio

Consistono essenzialmente nell'allestimento di un provino significativo dell'elemento da testare, e nell'esposizione, in ambiente controllato (forno), ad una sollecitazione termica crescente nel tempo; al termine viene stilato un rapporto di prova che deve contenere i risultati ottenuti e le osservazioni. Esse rappresentano una possibile soluzione tra quelle citate nei criteri di classificazione al fuoco e sono regolamentate da documenti appositi per garantirne la validità; il riferimento sul territorio italiano sono le UNI EN 1363 (parte 1-2-3) e le UNI EN 1364 parte (1-2-3-4).

La prima serie di norme indicano aspetti e procedimenti, procedure alternative o aggiuntive, prove di verifica sui forni comuni a tutte le tipologie di test di resistenza al fuoco. Per esempio sono elencate le attrezzature necessarie per condurre la prova e raccogliere i dati (forno, termocoppie, tamponi etc..), le caratteristiche di temperatura e umidità in cui si devono trovare forno e campione da testare, tutte le procedure preliminari e le tolleranze di esecuzione e misurazione. Inoltre vengono riprese le condizioni di perdita di prestazioni, la definizione delle curve e lo schema del rapporto di prova già citate nella UNI EN 13501-2.

La serie di norme UNI EN 1364 sono indirizzate agli elementi non portanti, tra cui muri (parte 1), soffitti (parte 2), facciate continue in configurazione completa (parte 3), facciate continue in configurazione parziale (parte 4).

Chiariamo innanzitutto che la differenza principale tra la parte 3 e la parte 4, le più attinenti al nostro caso, risiede nella porzione di facciata considerata, come da figura III-11:

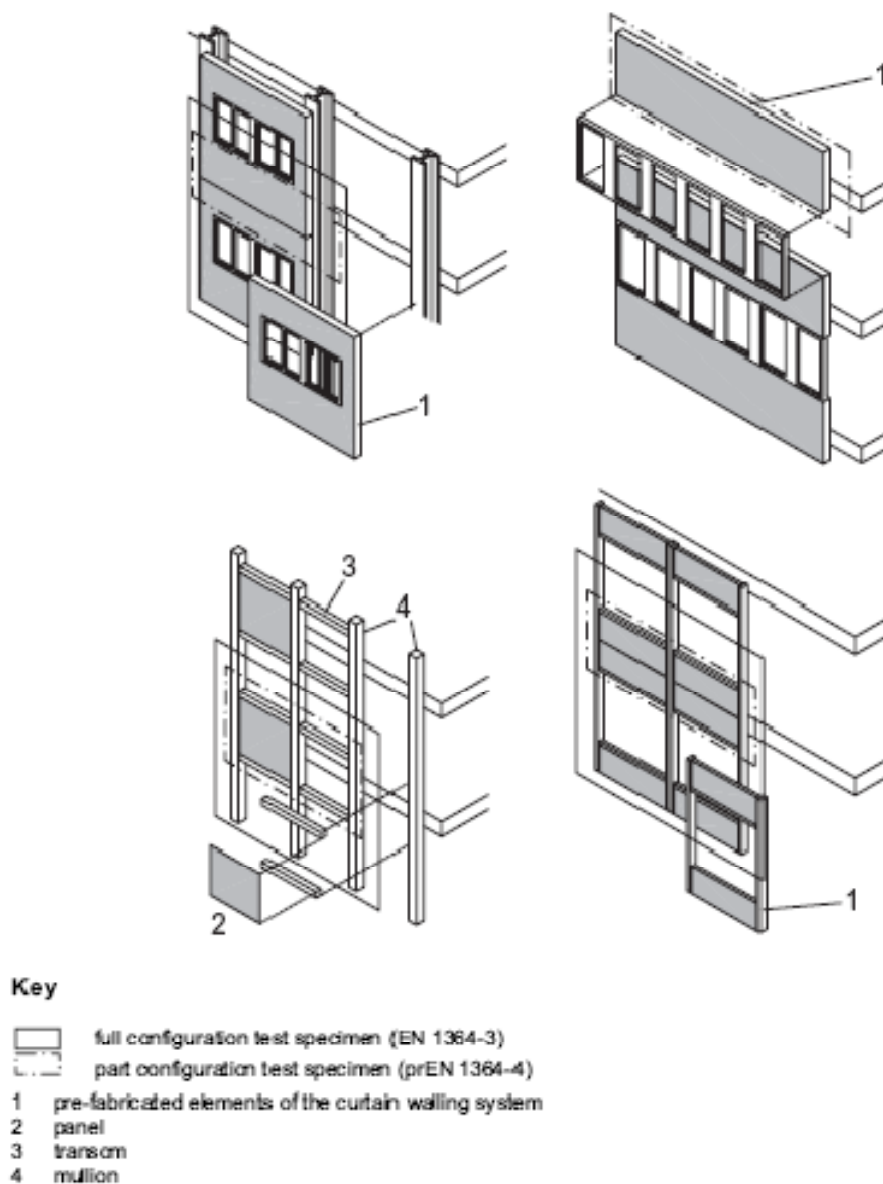


Figura III-11 Schemi di configurazione di prova²²

La necessità di allestire un'intera facciata nasce soprattutto quando essa è composta da vetri resistenti al fuoco; altrimenti se lo scopo della prova è testare la resistenza del solo pannello spandrel o la tenuta del giunto tra solaio e pannello è sufficiente limitare il tutto a quella porzione di facciata²³, qualunque sia la curva di temperatura utilizzata.

Dal momento che la tesi verte proprio su una prova condotta in osservanza della norma UNI EN 1364-4 per testare un pannello spandrel rispetto

²² UNI EN 1364-4 Allegato A – figura A.2

²³ UNI EN 1364-3 Allegato A – figura A.1

all'esposizione al fuoco esterna , se ne riportano i dettagli. Lo scopo dichiarato di tale documento è "specificare un metodo per determinare la resistenza al fuoco di componenti di facciate continue, inclusi prodotti di tamponamento non resistenti al fuoco, quali le vetrate". Si esamina la resistenza per una esposizione al fuoco dall'interno o dall'esterno di:

- Pannelli spandrel, appesi o fissati al solaio o una combinazione di entrambi
- Il giunto orizzontale
- Gli ancoraggi tra la facciata e il solaio

Questa procedura comprende la valutazione del cedimento di parti di facciata che possono causare danni alle persone".

La configurazione del test è differente a seconda dell'elemento da testare e descritta in figura III-12²⁴, dove si rimanda sempre alla serie di norme UNI 1363 già citate e all'allegato B delle presente norma:

Product / component of curtain wall	Type of curtain wall	Fire exposure – internal, external	Test configuration (see Annex B)
Combination upstand-downstand	Non-fire-resistant glazing	EN 1363-1	1
		EN 1363-2	2
	Fire-resistant glazing	EN 1363-1	3
		EN 1363-2	4
Downstand	Non-fire-resistant glazing	EN 1363-1	5
		EN 1363-2	6
	Fire-resistant glazing	EN 1363-1	7
		EN 1363-2	8
Upstand	Non-fire-resistant glazing	EN 1363-1	9
		EN 1363-2	10
	Fire-resistant glazing	EN 1363-1	11
		EN 1363-2	12
Horizontal linear gap seal	Non-fire-resistant glazing	EN 1363-1	1, 5, 9, 13
	Fire-resistant glazing	EN 1363-1	3, 7, 11, 14
Fixing	Non-fire-resistant glazing	EN 1363-1	15
	Fire-resistant glazing	EN 1363-1	16
NOTE For more information on the test configuration depending on the heating exposure and explanation, see Table A.1.			

Figura III-12 Configurazione di test e condizioni di esposizione

²⁴ UNI EN 1364-4 cap. 4.1 - tabella 1

È importante che il provino sia altamente rappresentativo dello scenario da testare, per cui:

- L'altezza del pannello spandrel deve essere pari al caso reale (almeno 1 metro)
- La larghezza della porzione di facciata deve essere pari almeno a 3 metri (o se il curtain wall nella realtà è più piccolo, nel test deve essere allestito interamente)
- Se vanno verificate sia l'esposizione interna che esterna, potrebbero rendersi necessari più di un test, se le condizioni per ciascuna curva di carico non sono rispettate

Un'altra possibilità prevista è quella di allestire un test il cui risultato abbia il più ampio campo di applicazione possibile, nel qual caso sarà più difficile rispettare le condizioni imposte dalla normativa per il superamento della prova.

Il campo diretto di applicazione dei risultati del test è infatti limitato a quelle condizioni per le quali le prestazioni della facciata possono solo migliorare²⁵:

- Diminuzione della larghezza del pannello spandrel, ma sistema di ancoraggio che resta inalterato
- Diminuzione dell'interasse di montanti o traversi, oppure aumento della dimensione dei montanti
- Aumento della soletta di piano o dello spessore del giunto orizzontale, misurati in verticale
- Aumento della densità dell'isolante nel giunto, se composto da lana di roccia
- Diminuzione dell'interasse tra gli ancoraggi.

Le figure III-13 e III-14 riassumono le condizioni di superamento della prova, già descritte nel capitolo III-2.1:

²⁵ UNI EN 1364-4 cap.13

Surface or horizontal linear gap seal	Integrity (E)				Insulation (I) (for each discrete area > 0,1 m ²)	
	Cotton pad	Gap gauge	Flaming	Falling parts	Mean temp. rise	Maximum temp. rise
S3	Y ^a	–	Y	–	Y ^b	Y ^b
Horizontal linear gap seal	Y	Y	Y	–	–	Y
Fixing	–	–	–	–	–	Y for loadbearing function
S2, S5				Y ^b		
^a Only use cotton pad where I classification is required (see EN 13501-2:2006, 5.2.2.1). ^b Where required.						

Figura III-13 Prestazioni per esposizione al fuoco dall'interno

Surface	integrity (E)				Insulation (I) (for each discrete area > 0,1 m ²)	
	Cotton pad	Gap gauge	Flaming	Falling parts	Mean temp. rise	Maximum temp. rise
S3	Y	Y	Y	–	Y	Y
S2, S5	–	–	–	Y ^a	–	–
^a where required.						

Figura III-14 Prestazioni per esposizione al fuoco dall'esterno

nelle quali S3 rappresenta la faccia non esposta al fuoco, al disopra del solaio, mentre S2 e S5 le superfici rivolte all'interno del forno (non necessariamente esposte direttamente), rispettivamente al di sotto e al di sopra della soletta di ancoraggio.

La misurazione degli incrementi di temperatura viene effettuato da una serie di termocoppie posizionate:

- Sulla faccia interna al forno, per controllare che la temperatura nel forno corrisponda alla curva di carico prescelta; per ciascuna configurazione di prova è consigliato il corretto posizionamento²⁶.
- Sulla faccia non esposta, per registrare l'aumento medio di temperatura²⁷; la media si basa sui valori registrati da cinque termocoppie, una al centro, le altre in corrispondenza di ogni quarto di facciata.

²⁶ UNI EN 1364-4 Annesso B

²⁷ UNI EN 1364-4 cap. 9.2.2

- Sulla faccia non esposta, per registrare l'aumento massimo di temperatura²⁸; sono previste un minimo di sei termocoppie, posizionate in modo da rilevare ogni possibile variabile tra le temperature dei pannelli e dei montanti.
- Sul giunto orizzontale, per registrare l'aumento massimo di temperatura; le termocoppie sono posizionate in posizioni specifiche lungo l'interasse dei montanti.

La valutazione del requisito di integrità è fatto visivamente e con l'ausilio del tampone di cotone.

III - 3.1 Europa

La procedura descritta per l'Italia discende direttamente dalle normative europee; è quindi valido e applicabile in tutti i Paesi appartenenti all'Unione Europea.

III - 3.2 Stati Uniti

Prevede l'analisi della risposta termica di un prodotto o di un elemento da costruzione ad una sollecitazione standard.

La procedura permetta la valutazione di²⁹:

- Trasmissione di calore
- Trasmissione di gas caldi, sufficienti per l'accensione del tampone di cotone
- Capacità portante in caso di esposizione ad alte temperature (per elementi strutturali)

ma non assicura:

- Informazioni valide per modelli di dimensioni differenti da quelle testate
- Grado di partecipazione del modello all'incendio (fumi, rilascio di sostanze tossiche o altri prodotti di combustione)

²⁸ UNI EN 1364-4 cap. 9.2.3

²⁹ ASTM E 119 – 4.3

- Misura del passaggio di fumo o altri prodotti di combustione
- Comportamento dei giunti tra elementi costruttivi³⁰
- Misura della propagazione delle fiamme
- Effetti di possibili aperture o cavità sullo sviluppo dell'incendio.

La procedura di prova, regolamentata a livello normativo dalla ASTM E 119, avviene su un allestimento "rappresentativo"³¹ dell'elemento da testare e si compone di due parti distinte:

- a) Esposizione alla sollecitazione termica crescente (in forno) – "Fire Test"
- b) Sollecitazione meccanica e termica di un getto d'acqua – "Hose Stream Test"

È definita un'unica curva Tempo – Temperatura, espressione di un'esposizione al fuoco severa:

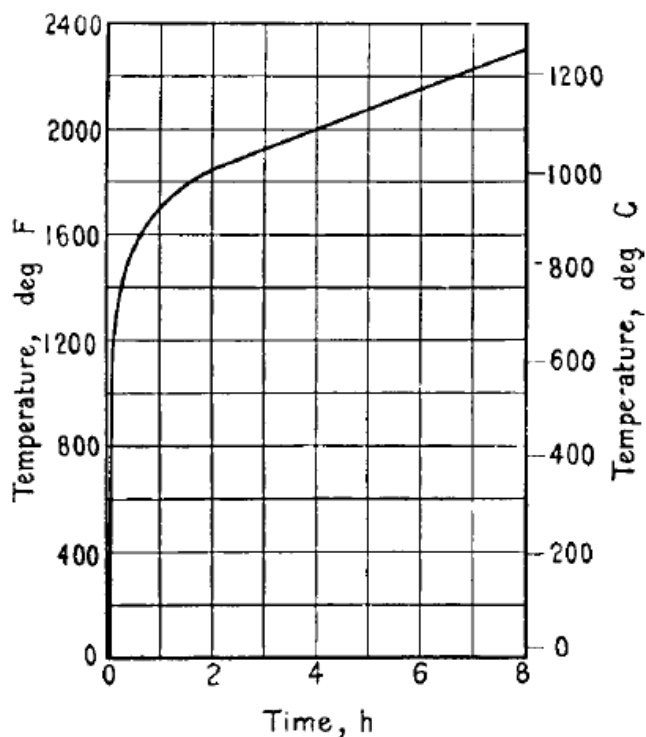


Figura III-15 Curva incendio standard (USA)

³⁰ Esistono metodi appositi regolamentati da ASTM E 1966

³¹ Questa valutazione è a discrezione dell'organismo di prova

Per tener conto dei diversi scenari d'incendio è prevista l'esposizione a curve d'incendio differenti, nel qual caso va inserito un fattore di correzione della resistenza al fuoco pari a³²:

$$C = \frac{2I * (A - A_s)}{3 * (A_s + L)}$$

dove C ha la stessa unità di misura di I, I è il periodo di resistenza al fuoco, A è l'area sottesa dalla curva che rappresenta la temperatura media a cui è stato esposto il provino per i ¾ del periodo indicato, A_s è l'area sottesa dalla curva standard nello stesso periodo, L un fattore di correzione (54°F h oppure 30°C h; 3240°F min oppure 1800°C min).

Fire Test

La prova di laboratorio cessa quando viene a mancare una prestazione richiesta o quando trascorre il tempo prescritto per uno specifico prodotto o elemento costruttivo, durante il quale esso non perde le sue caratteristiche di comportamento al fuoco.

Se sono previste condizioni sull'innalzamento della temperatura media sulla faccia non esposta, quindi determinata da più punti di misurazione, la prova cessa se una qualunque termocoppia registra una temperatura superiore al 30% di quella fissata come limite massimo superiore.

È possibile protrarre la prova oltre il periodo necessario, con l'intento di raccogliere dati aggiuntivi.

Hose Stream Test

Viene effettuato su un secondo provino identico a quello sottoposto a "Fire Test" ed esposto alla stessa curva d'incendio; il periodo di esposizione è pari a metà di quello in cui è stato classificato l'elemento (grazie alla prima prova), al termine del quale si realizza subito il "Hose Stream Test".

In alternativa si può realizzare immediatamente al termine del "Fire Test", usando così un unico provino.

Non è necessario realizzarlo per verifiche di resistenza al fuoco inferiori a 1 h.

³² ASTM E 119 – 8.4

Per **tamponamenti esterni o partizioni non portanti**, le condizioni di superamento delle prove di classificazione sono³³:

- L'elemento ha resistito all'esposizione al fuoco, senza consentire il passaggio di gas caldi o fiamme tali da incendiare un tampone di cotone, per il tempo necessario alla classificazione desiderata
- L'elemento ha resistito a entrambi i test, senza il passaggio di acqua nel caso di "Hose Stream Test" (vale in contemporanea la prima condizione)
- Il calore trasmesso attraverso l'elemento porta a innalzamenti di temperatura sulla faccia non esposta inferiori a 250°F (139°C), rispetto a quella iniziale.

III - 4. Normativa specifica per le facciate

La regolamentazione della sicurezza antincendio per facciate di edifici di grande altezza e realizzati spesso con involucri di tipo "curtain walls" rappresenta un tema nuovo in Italia; al tempo stesso è un settore in cui si registrano forti innovazioni tecnologiche, che vanno però integrate con la necessità di garantire la sicurezza in caso d'incendio.

Per questo motivo è stata approvata dal Comitato Tecnico Scientifico di Prevenzione Incendi, nella seduta del 23 marzo 2010, la Guida Tecnica su "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" (di seguito denominata semplicemente "Guida Tecnica")

Il documento prende spunto da documenti tecnici redatti in altri Paesi europei che hanno già regolamentato questo tema; però per limitarne l'impatto su progettisti e produttori italiani, viene precisato che è discrezione del progettista (per un periodo transitorio di due anni) affidarsi a queste regole tecniche, e per edifici superiori a 12 metri d'altezza.

Gli obiettivi principali sono i seguenti³⁴:

- limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, a causa di fiamme o fumi caldi che fuoriescono da vani,

³³ ASTM E 119 - 18

³⁴ Vedi "Guida Tecnica" Cap.1

aperture, cavità verticali della facciata, interstizi eventualmente presenti tra la testa del solaio e la facciata o tra la testa di una parete di separazione antincendio e la facciata, con conseguente coinvolgimento di altri compartimenti sia che essi si sviluppino in senso orizzontale che verticale, all'interno della costruzione e inizialmente non interessati dall'incendio

- limitare la probabilità di incendio di una facciata e la sua successiva propagazione, a causa di un fuoco avente origine esterna (incendio in edificio adiacente oppure incendio a livello stradale o alla base dell'edificio)
- evitare o limitare, in caso d'incendio, la caduta di parti di facciata (frammenti di vetri o di altre parti comunque disgregate o incendiate) che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti l'edificio e l'intervento in sicurezza delle squadre di soccorso.

Sostanzialmente quindi si cerca di contenere il fuoco e le rispettive conseguenze al compartimento in cui si è generato (o all'esterno) senza che vengano coinvolte in alcun modo le persone in altre zone dell'edificio.

La guida distingue le tipologie di **facciate semplici e curtain walls** (per le quali definisce i requisiti di verifica di resistenza al fuoco e i metodi che ne consentono la determinazione) e **facciate a doppia pelle** (che vengono analizzati caso per caso, a seconda delle tecnologie progettuali).

Facciate semplici e curtain walls – Resistenza al fuoco

Viene introdotta la prima novità, perché se il carico d'incendio specifico³⁵ per ciascun compartimento è inferiore a 200 MJ/mq, non sono previste richieste per la resistenza al fuoco per gli elementi di facciata. Altresì se il carico d'incendio specifico è superiore ai 200 MJ/mq, ma è presente un sistema di spegnimento ad attivazione automatica, non è richiesto alcun requisito di resistenza.

Va detto che il valore di 200 MJ/mq riferito al carico d'incendio specifico è facilmente raggiungibile, specie per compartimenti di grandi dimensioni; per

³⁵ DEFINIZIONE??


piccoli edifici invece questo risulta vantaggioso, in rapporto alle richieste per esempio del DM 09.03.2007, livello II e III di prestazione³⁶.

In caso contrario la facciata deve essere dotata, in corrispondenza di ogni solaio o muro trasversale di compartimentazione, di una fascia realizzata da elementi costruttivi di classe di resistenza al fuoco E60 ef (o→i). Ciò significa che devono garantire la prestazione di tenuta (E) per 60 minuti sottoposti ad una curva di esposizione di fuoco esterno (ef = “external fire”), misurata dall'esterno (o = “outside”), verso l'interno (i = “inside”)³⁷; lo scopo che si intende raggiungere è quindi quello di ridurre al minimo la propagazione verticale dell'incendio tra due compartimenti.

Inoltre nel caso di facciata di tipo “curtain walls” è richiesto che il giunto tra il pannello di facciata e i solai o i muri trasversali sia di classe EI60 (i→o), cioè garantisca tenuta e isolamento per 60 minuti sotto l'azione della curva di incendio standard, che agisce direttamente sulla superficie rivolta verso l'interno dell'edificio.

L'allegato alla Guida Tecnica mostra come devono essere realizzati gli elementi suddetti; la figura III-16 riporta le possibili configurazioni della fascia di separazione orizzontale, in cui a) rappresenta una sporgenza orizzontale continua oltre il piano di facciata (anche un davanzale), b) un parapetto continuo al piano superiore, c) un architrave continuo al di sotto del solaio e raccordato ad esso, d) l'altezza del solaio:

³⁶ DM 09.03.2007 - Allegato

³⁷ Circolare  Cap.3.1

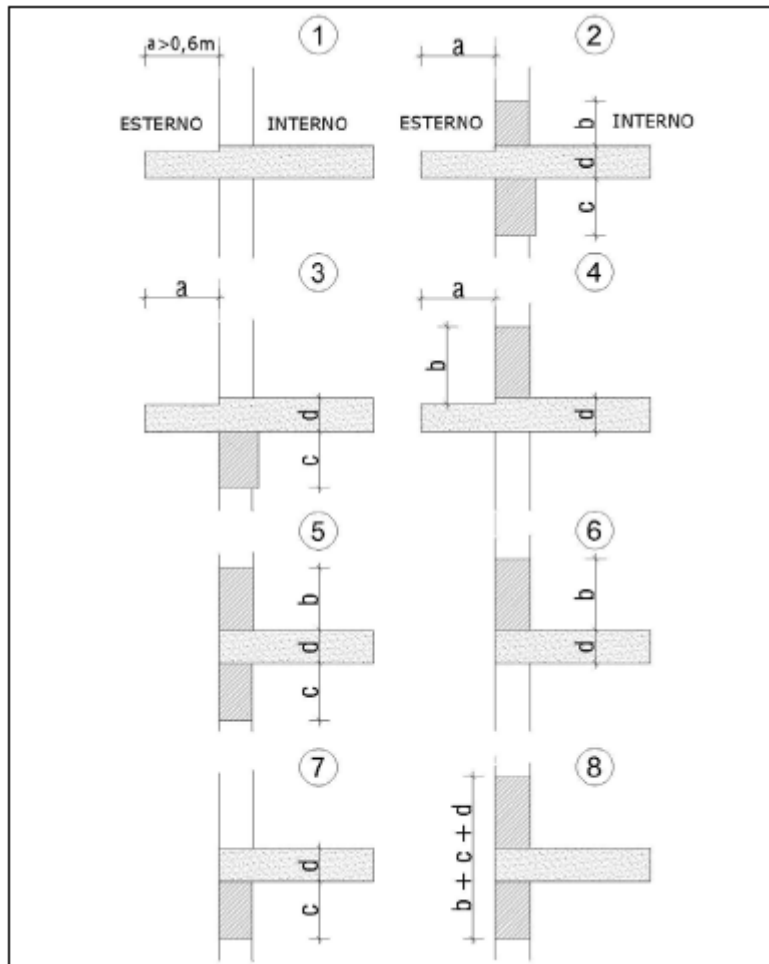


Figura III-16 – Fascia di separazione orizzontale tra compartimenti

Le dimensioni di questi tratti devono essere tali per cui risulti valida una delle seguenti condizioni:

- “a” sia maggiore di 0,6 metri
- La somma di $a + b + c + d$ sia superiore al metro.

Lo stesso criterio vale per la propagazione di un incendio tra compartimenti adiacenti, dunque orizzontale:

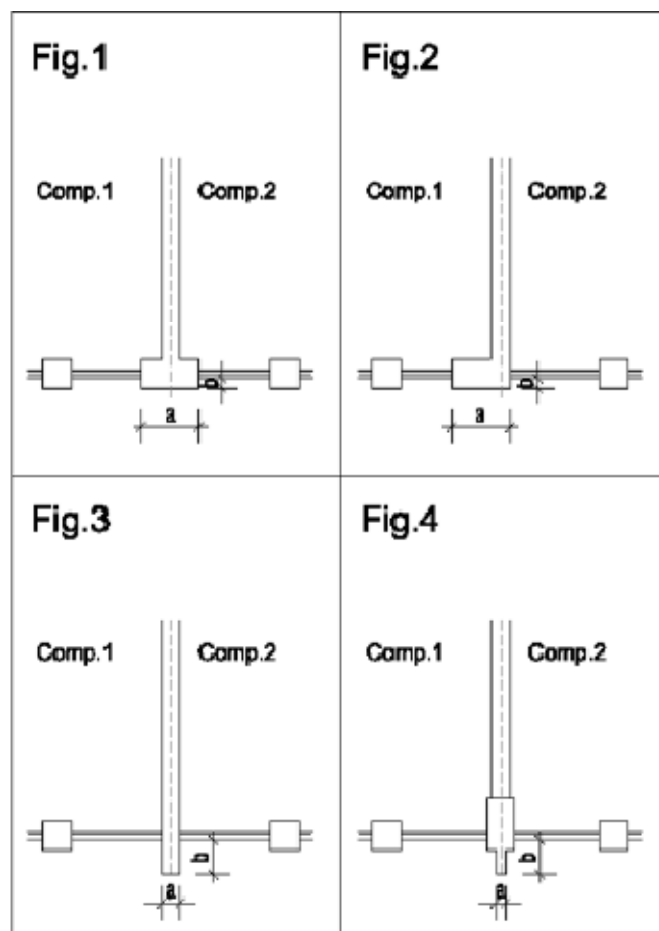


Figura III-17 – Fascia di separazione orizzontale tra i compartimenti

Anche in questo caso la somma delle dimensioni “2*b” (due volte la profondità della sporgenza dell’elemento dal piano esterno della facciata) e “a” (la sua larghezza) deve essere pari come minimo ad 1 metro.

Altro caso è quello in cui due facciate siano vicine o a contatto, a formare un angolo compreso tra 0° (nel caso siano opposte) e 180° (allineate). La figura III-18 riassume tutte le possibili configurazioni e chiarisce le distanze minime che devono essere rispettate, che variano in funzione dell’angolo e dell’altezza antincendio dell’edificio considerato:

0°	d_1
0° - 90°	$d_2 = 1 + (d_1 - 1) \cdot \cos(\alpha)$
90° - 180°	$d_3 = 1$ metro
$\geq 180^\circ$	$d_3 = 1$ m (considero sviluppo)

Tabella 2 Distanze minime tra facciate adiacenti

Altezza antincendio [m]	d_1 [m]
$h \leq 24$	3,5
$24 < h \leq 54$	8
$h > 54$	12

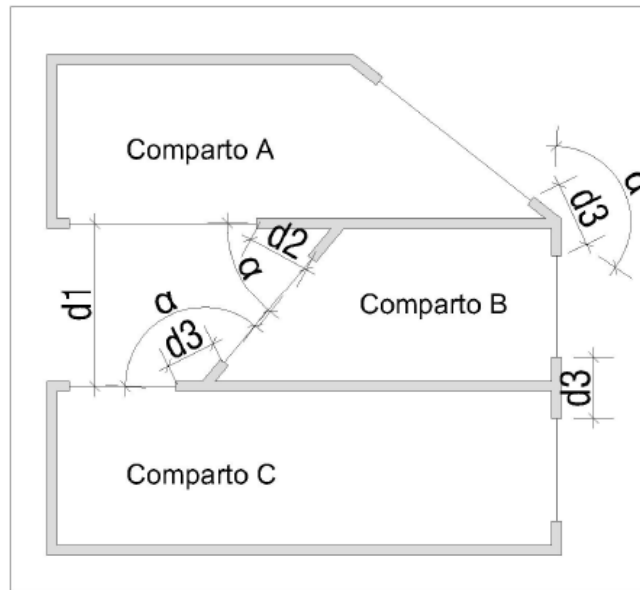


Figura III-18 – Facciate formanti un diedro

Facciate semplici e curtain walls – Verifica dei requisiti

Per elementi di facciata pesanti in calcestruzzo, pietra o muratura è anche consentita la valutazione attraverso *soluzioni tipo* (vedi cap. III-2), facendo cioè riferimento alle soluzioni proposte dagli Eurocodici o dalle tabelle dell'allegato D del D.M. 16.02.2007; se questi elementi di facciata non sono direttamente collegati al solaio, il giunto tra di esse deve essere accuratamente dimensionato affinché non risulti un punto di minor prestazione per la facciata.

Le facciate tipo “curtain walls” e in generale tutte le facciate leggere vanno verificate esclusivamente attraverso prove di laboratorio citate nel capitolo III-3.

Facciate a doppia pelle – Resistenza al fuoco

Sono così denominati i sistemi di facciata composti da due pareti, separati da una cavità o intercapedine, come descritto al cap. I-2.2.

In questo caso permane il limite di carico di incendio specifico di 200 MJ/mq al di sotto del quale non sono richieste specifiche prestazioni di resistenza per le pareti esterne del compartimento. In tutti gli altri casi si devono seguire le prescrizioni seguenti³⁸:

³⁸ “Guida Tecnica” Cap.4.1

- *Intercapedine interrotta da elementi di interpiano resistenti al fuoco*: se sono presenti solai o setti di compartimentazione E60 per ciascun piano, la parete esterna ovvero la parete interna devono obbedire alle stesse regole delle facciate semplici. Sono consentite aperture nei solai o setti, purchè dotate di dispositivi automatici di chiusura (E60).
- *Intercapedine ventilata con parete esterna chiusa*: in caso di intercapedine priva di interruzioni orizzontali, se la parete esterna è costituita, per oltre il 50% della sua superficie, da elementi fissi che si rompono a temperature superiori a 100 °C, la parete interna dovrà avere, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EW30 (i↔o) da verificare mediante una prova in conformità alla norma EN 1364-1 nel caso in cui la parete interna poggi direttamente sui solai e in conformità alla norma EN 1364-3 nel caso in cui la parete interna sia di tipo *Curtain Walls*. In questo secondo caso è inoltre richiesto che l'elemento di giunzione della facciata ai solai e ai muri trasversali dei compartimenti sia di classe di resistenza al fuoco EI60 (i→o). In entrambi i casi deve essere comunque applicata la curva temperatura-tempo nominale standard.
- *Intercapedine ventilata con parete esterna aperta*: se l'intercapedine è priva di interruzioni e la parete esterna è costituita, per almeno il 50% della sua superficie da elementi provvisti di lamelle mobili di aerazione che si aprono automaticamente in caso di incendio (apertura almeno 30 gradi rispetto all'orizzontale) o di grate fisse distribuite con uniformità, o infine, di pannelli costituiti da materiali che a temperature inferiori a 100 °C fondono, la parete interna dovrà presentare analoghi requisiti di resistenza al fuoco delle facciate semplici.
- *Presenza di impianto automatico di spegnimento nell'intercapedine*: con un impianto posizionato all'interno delle due pareti e dimensionato in modo da garantire una densità di scarica non inferiore a 10 l/min·mq³⁹ sulle pareti interne dell'intero perimetro delimitante il compartimento, non

³⁹ Con altezze interpiano non superiore a 3,5 metri; in caso devono essere previsti sistemi che garantiscono la distribuzione uniforme del flusso d'acqua su tutta la superficie da proteggere

sono richiesti specifici requisiti di resistenza al fuoco se la parete interna è in vetro temperato con trattamento HST (*Heat Soak Test*). Questo impianto si aggiunge ai normali dispositivi antincendio dell'edificio e deve funzionare per almeno 60 minuti dall'accensione, che avviene automaticamente a mezzo di sensori nell'intercapedine. Infine deve essere previsto un sistema di evacuazione dei fumi.

Esodo occupanti e squadre di soccorso

Se la facciata è costituita da materiali fragili, soggetti a rotture o cedimenti in caso di incendio, le zone adibite a vie di fuga, luoghi sicuri o all'intervento delle squadre di soccorso vanno protette contro la caduta di tali oggetti; per altezze antincendio superiori a 54 metri ciò si estende a tutte le componenti dell'involucro.

Nel caso di facciate a doppia pelle è opportuno prevedere zone ben visibili dell'involucro destinate all'esodo o alle squadre di soccorso, e proibire l'accesso ad ogni altro punto dell'intercapedine.

III - 4.1 Europa

La guida tecnica esposta in questo paragrafo non discende direttamente da normative europee; è tuttavia il frutto di una rielaborazione di norme presenti in altri Paesi dell'Unione che già da tempo se ne sono dotati.

III - 4.2 Belgio

Esiste una guida tecnica datata giugno 2004, denominata "Avant-project de regles de conception, de construction et d'aménagement de systemes des facade", che si prefigge lo scopo di definire tutte le richieste relative alle facciate affinché siano conformi al decreto reale del 7 luglio 1994 in materia di prevenzione incendi (vedi cap. III-1).

I contenuti sono molto simili alle linee guida italiane, che a questo documento si ispirano ampiamente; l'intento dichiarato è infatti quello di far rispettare le

richieste dei relativi regolamenti nazionali in caso d'incendio, fornendo alcuni suggerimenti tecnici per essere sicuri che ciò avvenga.

Troviamo in comune:

- metodi di valutazione delle prestazioni, basato su prove o soluzioni tipo (facciate pesanti) o esclusivamente su prove (facciate leggere);
- le tipologie di prova (EN 1363 e 1364)
- la resistenza prescritta per il pannello spandrel (E60 ef (o→i)) e del giunto tra facciata e solaio o muri (EI60 (i→o))
- la configurazione di questi ultimi (vedi figura III-19)
- le regole per facciate a doppia pelle

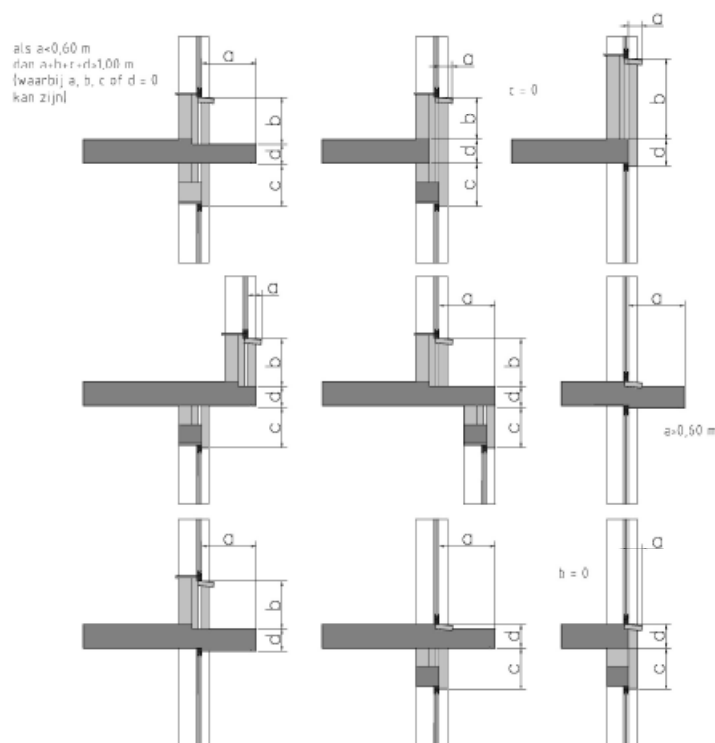


Figura III-19 – Possibili configurazioni della porzione di facciata resistente al fuoco

Non è previsto in questo documento il limite di 200 MJ/m^2 , al di sotto del quale non è imposta alcuna prescrizione di resistenza al fuoco.

Inoltre per edifici bassi, il requisito per il giunto orizzontale è EI30 (i→o).

Infine variano le lunghezze minime di porzioni di involucro resistente al fuoco tra pareti adiacenti, perché definite in funzione della separazione, per la legge belga, tra edifici alti, medi, bassi (vedi cap. III-1.1).

III - 4.3 Spagna

Non esiste una legge o linea guida indirizzata specificatamente alla realizzazione di facciate, tuttavia gli stessi elementi comuni fin qui osservati si ritrovano nella sezione relativa alla protezione contro l'incendio del Codice Tecnico de la Edificacion.

In particolare la sezione SI2 è dedicata alla limitazione della propagazione di un incendio attraverso le superfici esterne.

Per evitare la propagazione orizzontale dell'incendio, tra due edifici vicini o tra due compartimenti nello stesso edificio, la distanza minima da rispettare tra punti di due facciate adiacenti con resistenza al fuoco minore di EI 60 sono indicati in tabella 3:

α	0°	45°	60°	90°	135°	180°
d [m]	3,00	2,75	2,50	2	1,25	0,50

Tabella 3 – Distanze minime tra porzioni di facciate minori di EI 60

Come si può notare tutto è regolato dall'angolo formato dalle due pareti adiacenti e spiegato meglio dalla figura seguente:

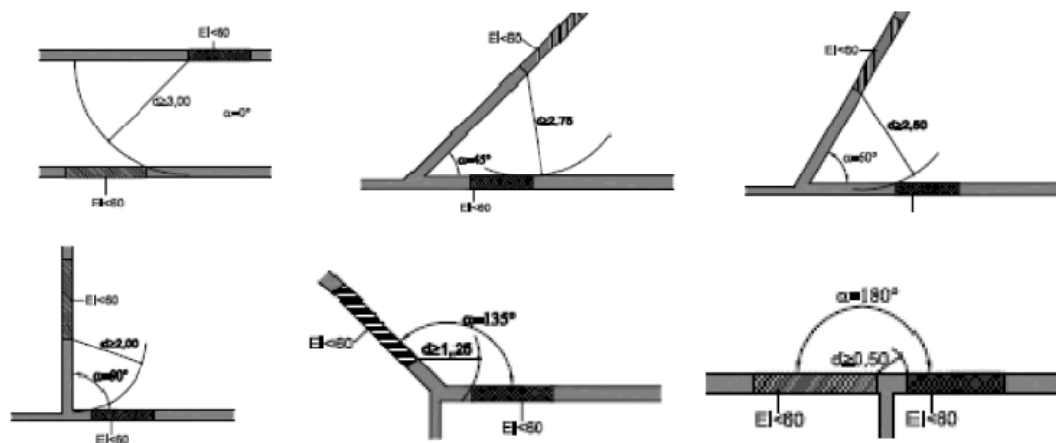


Figura III-20 Possibili configurazioni di facciate adiacenti

Inoltre per scongiurare la propagazione del fuoco in senso verticale è necessario predisporre una porzione di facciata di classe EI 60, di lunghezza pari almeno a 1 metro, come da figura III-21:



Figura III-21 – Porzione di facciata EI 60

Come si può notare dal secondo caso, qualora sia presente una sporgenza dal piano esterno di facciata, la porzione resistente al fuoco può essere di lunghezza pari a: $l = 1 - b$ [m], dove b è la dimensione dell'aggetto.

III - 4.4 Stati Uniti

Il documento IBC prescrive le caratteristiche degli elementi inseriti in edifici per cui sia richiesta una determinata resistenza al fuoco, quindi anche per i tamponamenti esterni (“exterior walls” – sezione 704).

Di particolare interesse per le facciate, in particolare i curtain walls, è il punto 704.9, che contiene una regola per prevenire la propagazione verticale dell'incendio tra due piani adiacenti; essa è prescritta se le aperture di uno stesso piano sono distanti tra loro non più di un metro e mezzo e quelle al piano inferiore non sono resistenti al fuoco (per almeno $\frac{3}{4} h$). Quando vengono rispettate queste condizioni, è necessario predisporre un pannello spandrel (o porzione di muro esterno) di lunghezza pari almeno a 3 ft (914 mm), che separi verticalmente dette aperture, oppure un elemento aggettante di almeno 30 in (762 mm). La resistenza al fuoco di questo elemento deve essere pari almeno a 1 h.

Se non specificatamente richiesto, questi elementi non devono rispettare i limiti imposto dalla ASTM E 119 per le temperature della faccia non esposta.

Questa regola costruttiva non viene applicata:

- per edifici non è più alti di tre piani
- per edifici dotati di un sistema di estinzione automatica degli incendi

- per parcheggi aperti

Per le facciate continue si richiede che lo spazio tra la parete esterna e i solai debba essere sigillato con materiali appositi per impedire la propagazione delle fiamme dall'interno (IBC 713.4). Si ritengono adeguati i materiali testati nel corso delle prove previste da ASTM E 119 (vedi capitolo III-3.2) o installati in accordo con ASTM E 2307.

I pannelli spandrel dei curtain walls devono sottostare alle prescrizioni del punto 704.9 (vedi sopra); qualora non sia richiesta una specifica resistenza al fuoco, il giunto deve comunque rispettare quanto detto in 713.4.

III - 5. Considerazioni sul confronto normativo

Le procedure suggerite dalle normative di settore sono simili per ogni Paese: i requisiti prestazionali sono definiti sulla base della distinzione in classi degli edifici (che però avviene con criteri differenti).

Solo in Italia e solo per i casi previsti dal D.M. 09.03.2007 le richieste di prestazione avvengono si fondano sulla determinazione del carico d'incendio, che pare un metodo più congruente alla problematica della sicurezza in caso d'incendio.

Il riferimento alle facciate continue non è sempre preciso nei codici di legge, che si riferiscono a pareti esterne in generale, salvo poi la presenza di norme dedicate. I curtain walls sono per la maggior parte vetrati ed è chiaro che i limiti imposti siano applicabili solo ai pannello spandrel, ma questo non è precisato con chiarezza.

Italia e Belgio hanno norme specifiche per le facciate, molto recente nel primo caso (2010), già in corso da tempo nel secondo caso (2004). La Spagna invece non ha una normativa dedicata ma, come il Belgio, è stato tra i primi Paesi ad affrontare alcuni problemi tecnici relativi alle facciate, attraverso la NBE-CPI/96 (oggi sostituita dal "Codigo Tecnico de la Edificacion").

Nei codici di legge statunitensi l'unica discriminante, nella distinzione tra differenti tipologie di facciate e relativi requisiti, è la presenza più o meno fitta di vetrate, il quale rappresenta un implicito riferimento ai curtain walls.

Un elemento in comune nelle legislazioni europee è la classificazione delle facciate continue esclusivamente attraverso prove di laboratorio. Questo è prescritto esplicitamente in Italia o Belgio o implicitamente per il caso spagnolo; per quest'ultimo si fa riferimento anche ad altri metodi descritti negli allegati da C a F del Codice Tecnico de la Edificacion, ma nessuno di essi è applicabile al caso di facciate continue.

III - 6. Tabelle riassuntive

La tavola seguente è utile per un confronto immediato tra le legislazioni dei Paesi di cui abbiamo parlato in questo capitolo

	RICHIESTA DI PRESTAZIONE	CLASSIFICAZIONE	PROVE DI LABORATORIO	NORMATIVA FACCIATE
ITALIA	D.M. 09.03.2007: Norma generale – per carico incendio D.M. 22.02.2006 : Uffici – per altezza antincendio e numero occupanti	D.M. 16.02.2007: - in base a prove - in base a calcoli - in base a tabelle Definisce classi e prestazioni		“Guida Tecnica”: - configurazione zona spandrel - requisiti pannello spandrel - prescrizioni per facciate adiacenti - test di laboratorio obbligatori per facciate continue
EUROPA	---	UNI EN 13501-2 - In base a prove Definisce: - classi e prestazioni - scenari d’incendio - cessazione dei requisiti	Serie di norme UNI EN 1363: “Prove di resistenza al fuoco” Serie UNI EN 1364: “Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti”	---
BELGIO	Decreto reale 7 luglio 1994: - Edifici alti (BE) - Edifici medi (BM) - Edifici bassi (BB) ai quali si aggiunge la categoria “edifici industriali”	Commissione 3 maggio 2000: - in base a prove di laboratorio - in base a procedura riconosciuto da Ministero Interni - in base ad approvazione di organismi certificati	basate su sollecitazione termica crescente UNI EN 13501-2 curve di incendio per scenari differenti	“Avant-projet de regles de conception, de construction et d’aménagement de systemes des facade”: - Coincide con il caso italiano che discende da questo documento
SPAGNA	Codigo Tecnico de la Edificacion (2006): - destinazione d’uso - altezza antincendio. Restano esclusi gli edifici industriali e le zone a rischio	Decreto Reale 312/2005: - classi Codigo Tecnico de la Edificacion SI6: - in base a prove - in base a metodi semplificati su annessi (C-F)		Codigo Tecnico de la Edificacion SI2: - configurazione zona spandrel - requisiti pannello spandrel - prescrizioni per facciate adiacenti
USA	IBC 2009: - destinazione d’uso (+ “edificio alto”) - reazione al fuoco dei materiali - “fire separation distance” (per chiusure esterne)	IBC 2009: - in base a documentazione appropriata - in base a confronto con soluzioni tipo - in base a calcolo secondo sezione 721 - in base a confronto con elementi già testati (ASTM E119) - in base ad altri metodi verificati dall’autorità competente	ASTM E 119: - sollecitazione termica crescente - azione meccanica dell’acqua Curva d’incendio standard, scontata con coefficiente per scenari differenti Non testa i giunti, esiste norma dedicata (E 1966)	IBC 2009: - prevedere pannello spandrel se superficie finestrata per ciascun piano è molto elevata - giunto realizzato con procedure e materiali verificati

TAVOLA 1
Sintesi del confronto normativo

Capitolo:
III – 6 Tabelle riassuntive

IV. CASO DI STUDIO: EDIFICIO DELL'AREA "PORTA NUOVA"

IV - 1. Descrizione

Tra i progetti di riqualificazione urbana che interessano la città di Milano, quello di "Porta Nuova" comprende tre aree adiacenti, Garibaldi, Repubblica ed Isola per una superficie totale di oltre 290,000 m metri quadrati.

Le destinazioni d'uso dei palazzi di nuova costruzione sono differenti, come si vede da figura IV-1:



Figura IV-1 Area di Porta Nuova – Destinazione d'uso degli edifici

Nell'area stanno sorgendo nuove residenze all'avanguardia nel campo dei consumi energetici e architettonicamente di pregio; spazi commerciali e percorsi pedonali, raccordati alle zone storiche dello shopping milanese; spazi verdi e culturali, da utilizzare sia come luoghi di aggregazione che di formazione; un polo istituzionale, rappresentato dal nuovo palazzo della

Regione Lombardia; uffici in locali ad alta efficienza energetica, ma al tempo stesso flessibili per rispondere alle esigenze di ciascuna azienda; completano il quadro aree pedonali, parchi e connessioni facilitate dalle nuove infrastrutture.

L'azienda Permasteelisa Group, è stata incaricata di realizzare la facciata continua di un edificio adibito ad uffici in questa zona, la "Torre Cesar Pelli", disegnata dall'omonimo studio di architettura.

Il progetto prevede due parti:

- Un "podio", cioè una piazza circolare di circa 100 metri di diametro e interamente pedonale, che funge da elemento di continuità tra il parco e la cittadella della moda. L'area è rialzata di 6 metri rispetto al piano stradale e circondata da negozi ed uffici; al di sotto di esse passa una strada e verranno realizzati i parcheggi.
- I palazzi, che sorgeranno intorno al podio tra i quali il più alto toccherà i 145 metri. Questi saranno adibiti non solamente ad uffici, ma anche a residenze e spazi dedicati a creatività, moda, comunicazione, nonché a strutture di tipo alberghiero. L'alta sostenibilità sarà un elemento comune, attraverso il risparmio energetico, l'impiego di materiali innovativi, l'utilizzo efficiente delle risorse rinnovabili.

Di seguito vengono mostrate alcune immagini del progetto che ad oggi (estate 2010) è ancora in fase di realizzazione:



Figura IV-2 Planivolumetrico dell'edificio all'interno dell'area di Porta Nuova



Figura IV-3 Vista del complesso di palazzi

Figura IV-4 Palazzi inseriti nel tessuto urbano circostante



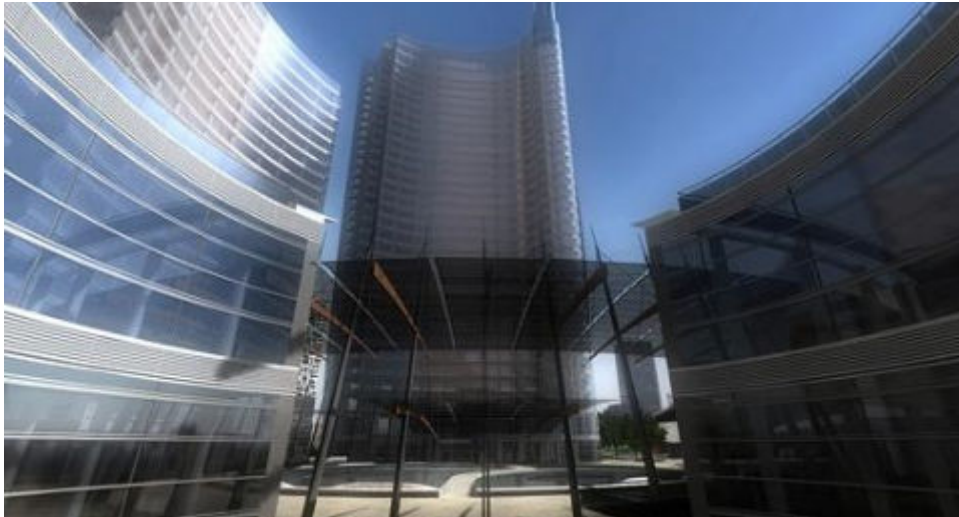


Figura IV-5 Particolare della piazza



Figura IV-6 Prospetto degli edifici, sezione della zona interrata

IV - 2. Prove di laboratorio

IV - 2.1 Facciata

La tipologia di facciata realizzata da Permasteelisa è del tipo “a cellula” (vedi cap. I 2.2 d), un sistema ad alto grado di prefabbricazione dove l’orditura di montanti e traversi tipica delle facciate continue viene realizzata assemblando in opera dei moduli; il contorno di ciascun modulo è costituito da metà montante e traverso che si connette alla metà adiacente per formare un sistema portante completo.

La tavola 2 mostra sia la sezione verticale di facciata compresa tra due interpiani, sia le sezioni orizzontali della stessa, al di sopra e al di sotto della zona di fissaggio al solaio.

La tavola 3 riporta i particolari in sezione orizzontale della zona spandrel della facciata, come si può dedurre dalla presenza di isolante all’interno della lastra vetrata. Si vedono inoltre anche le lastre di materiale isolante poste a protezione del montante verticale.

La tavola 4 rappresenta i particolari della sezione verticale della facciata nella zona spandrel, in cui si nota con chiarezza l’intersezione tra due cellule e il pannello opaco che continua al di sotto della soletta cui è agganciato il modulo.

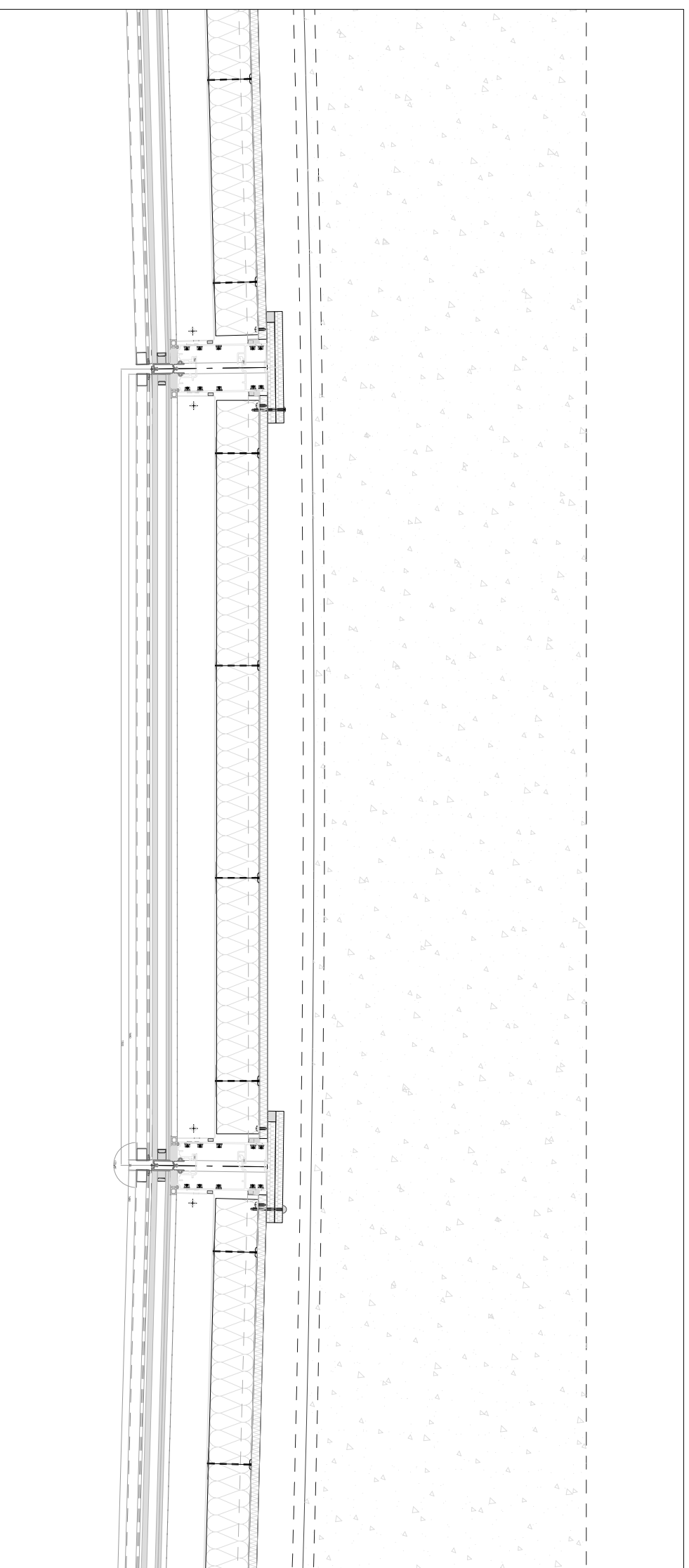
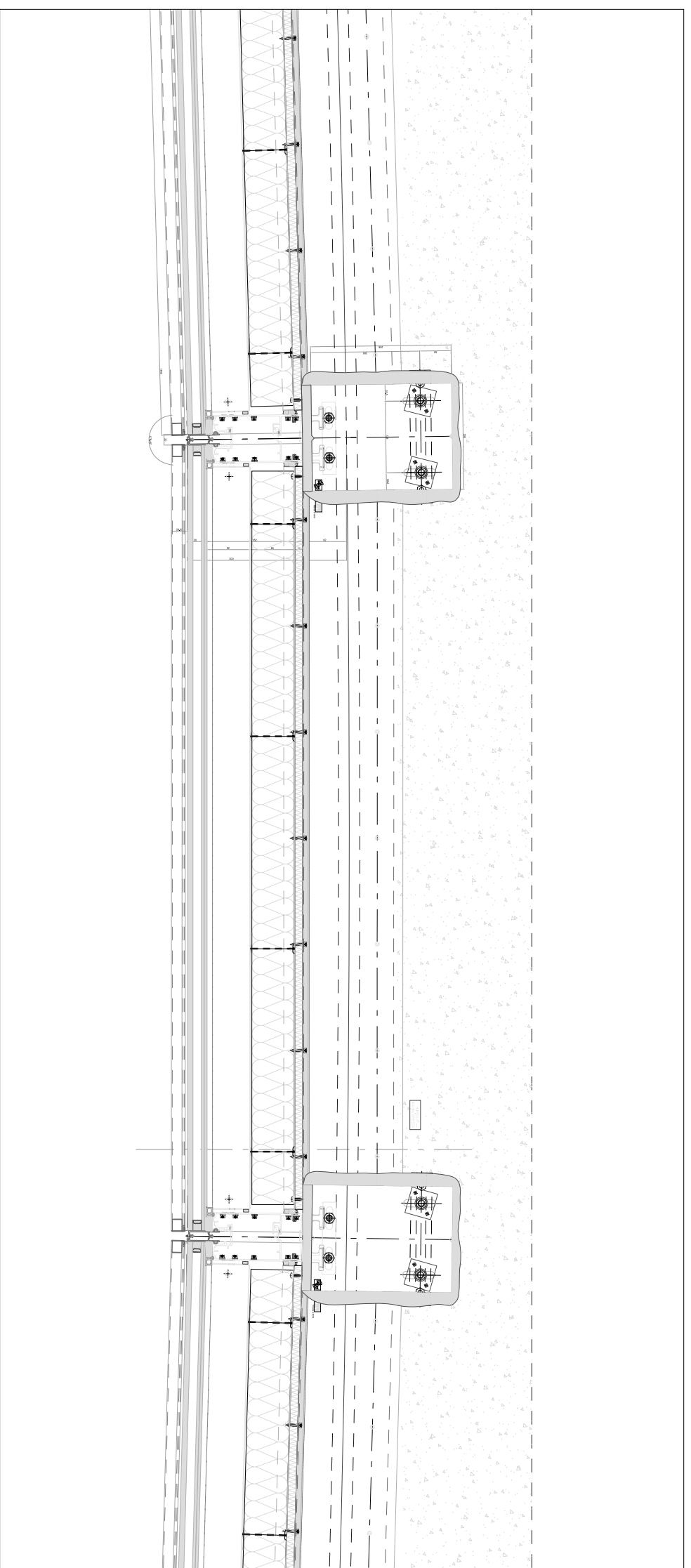
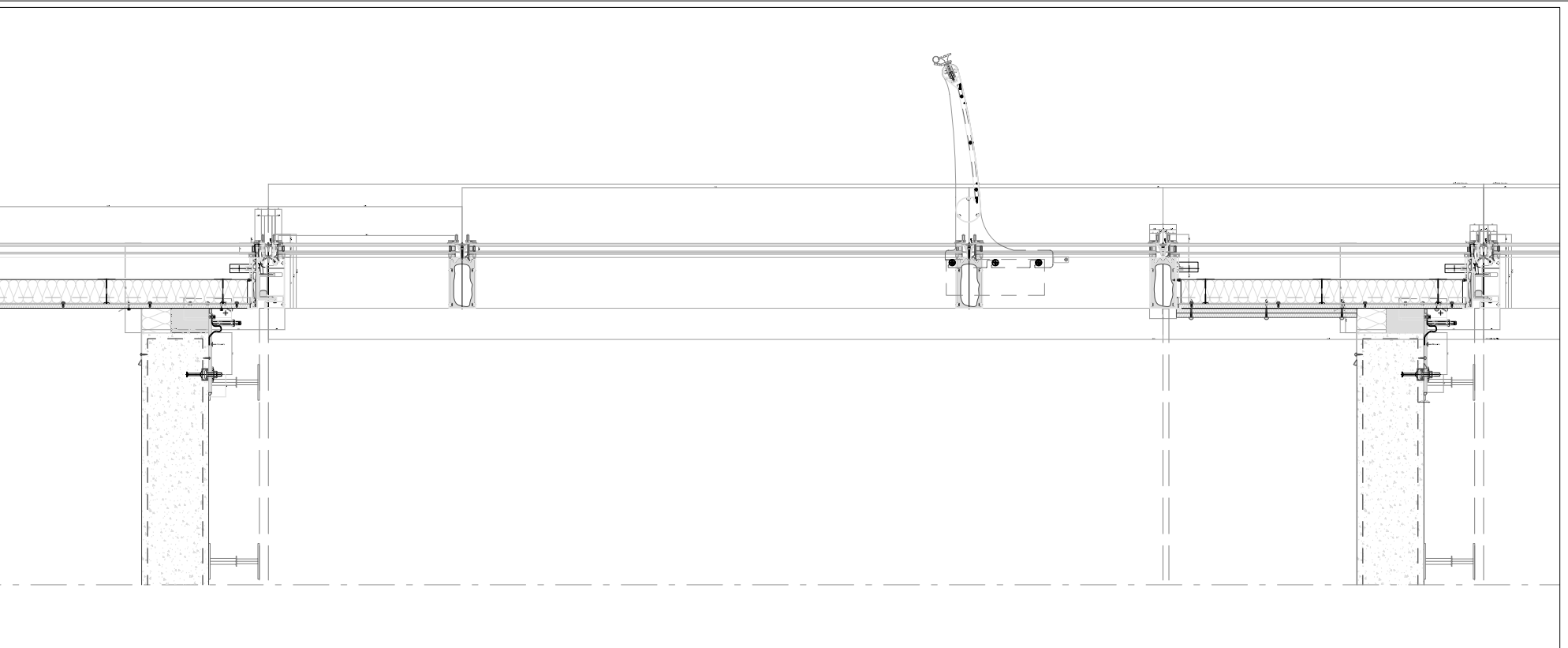


Tavola 2
Sezioni orizzontali e verticale della facciata tipo

Scala 1:10 (verticale)
1:5 (orizzontali)

Capitolo:
IV - 2 **Prove di laboratorio**

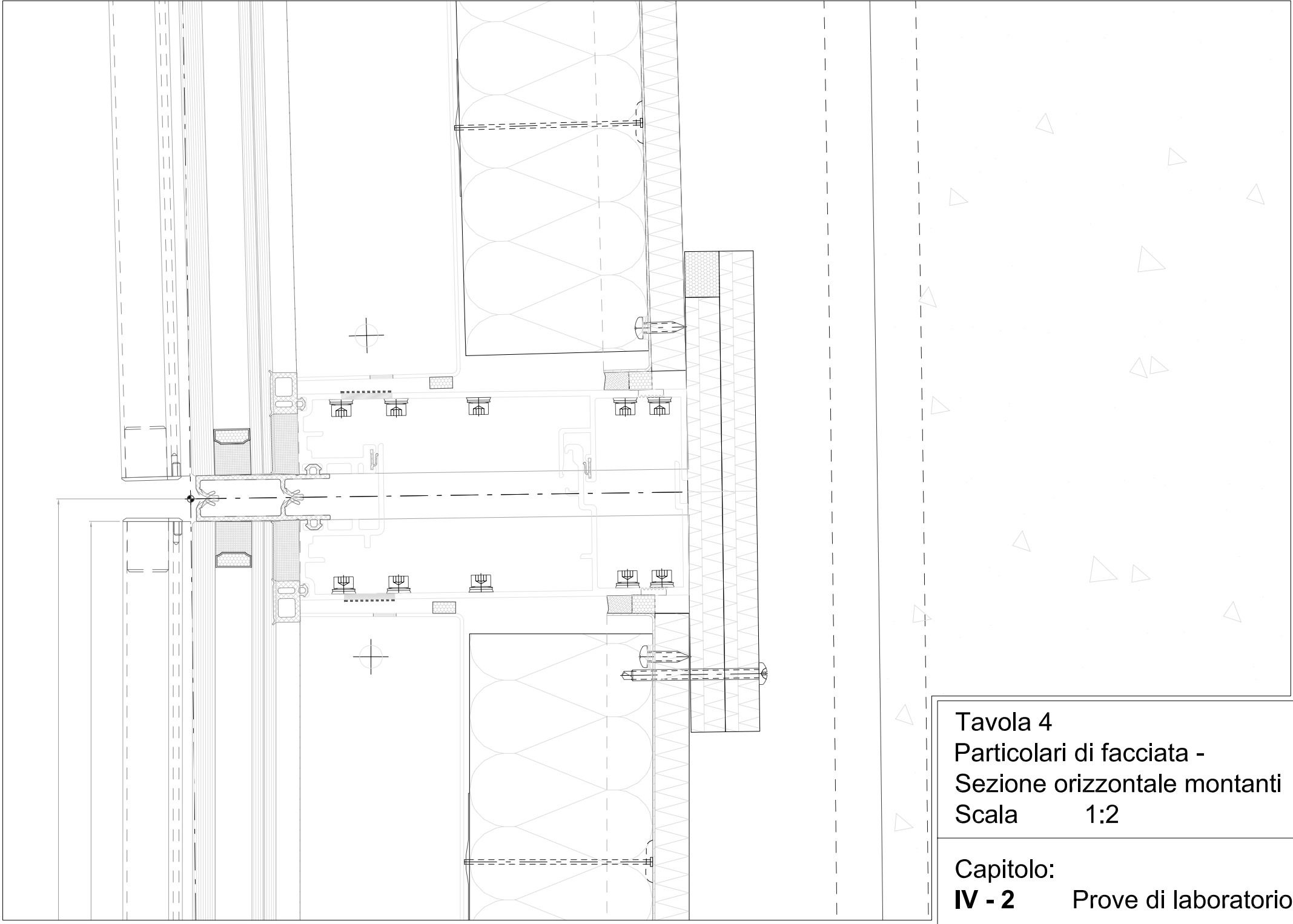
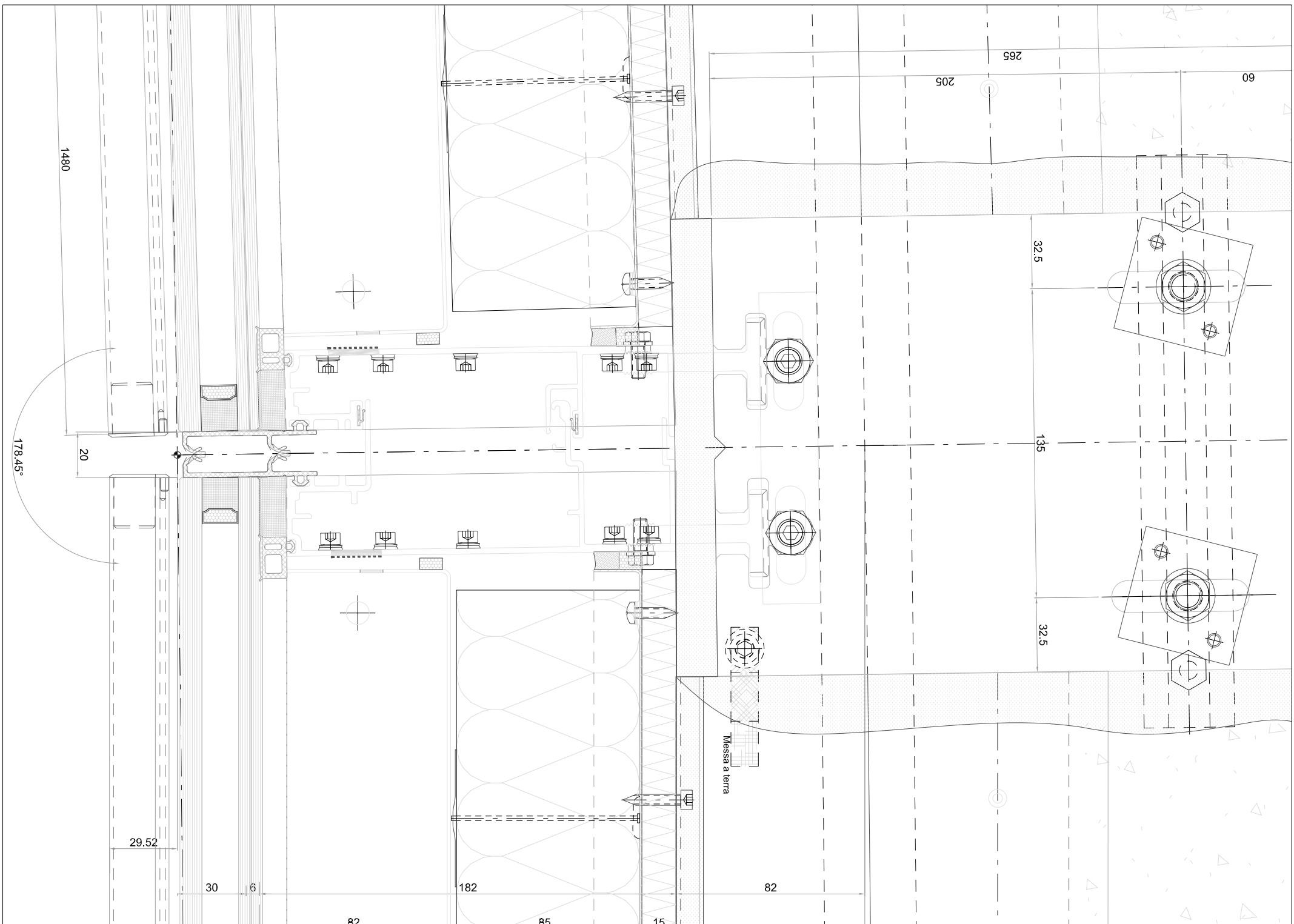


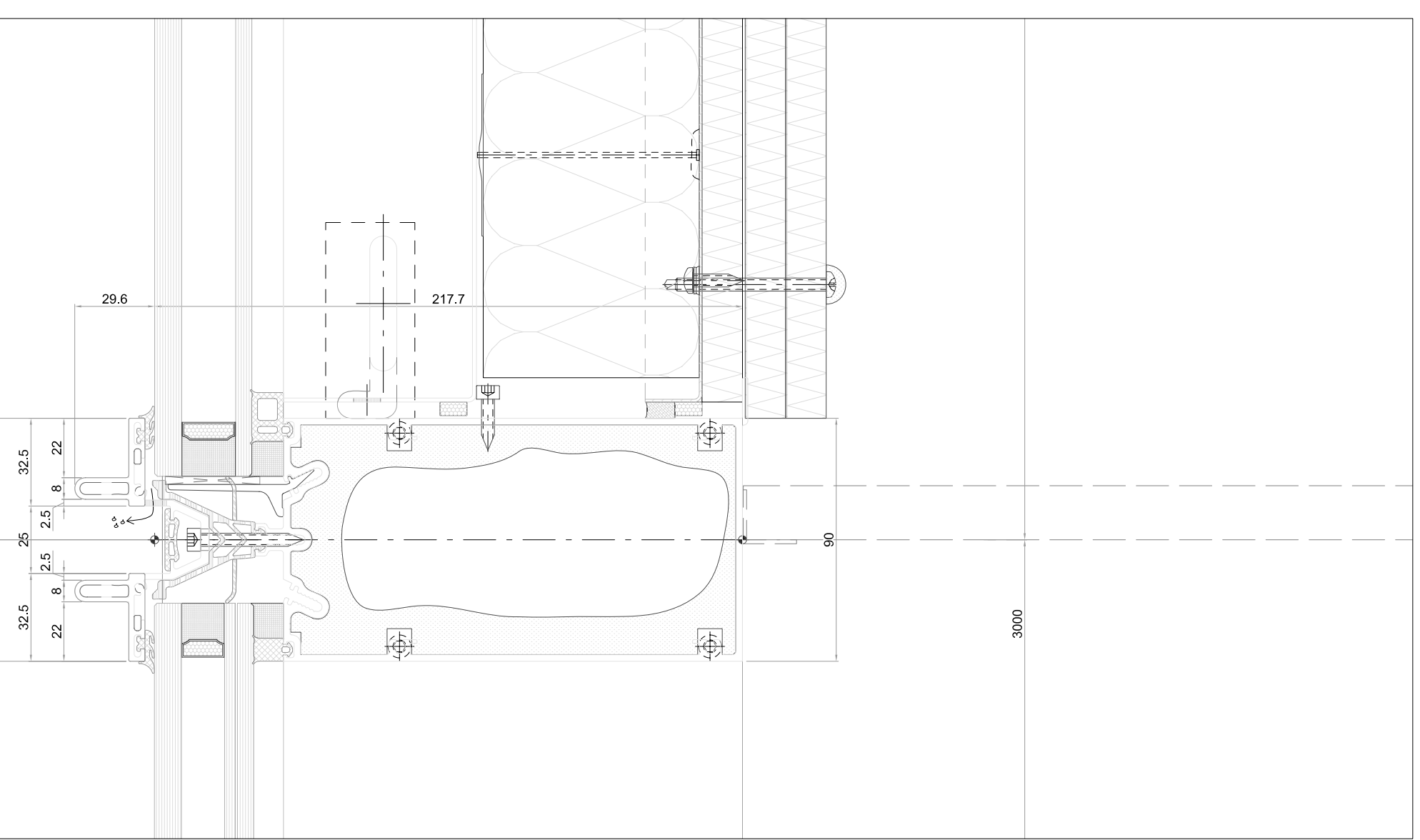
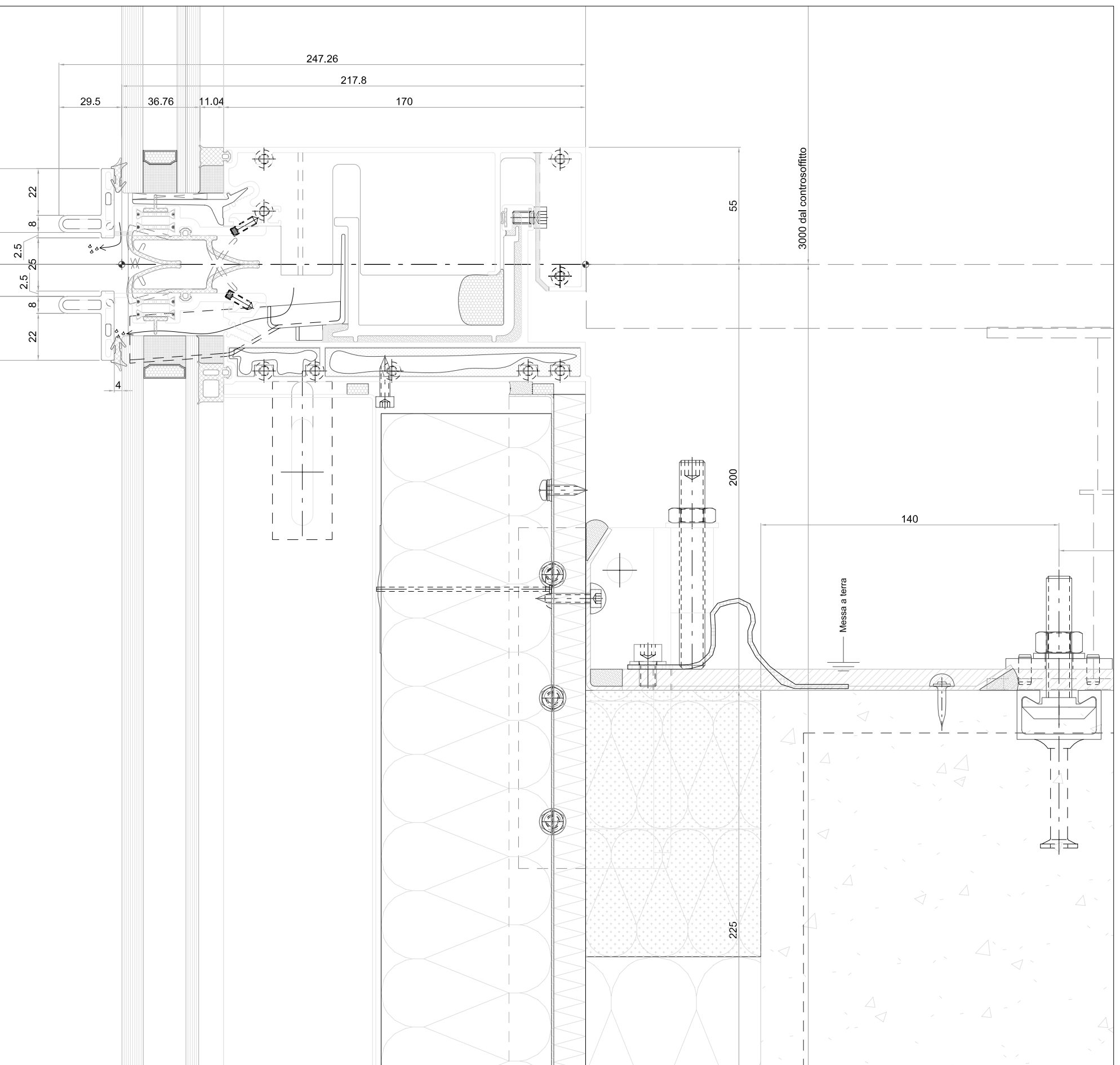
Tavola 4
 Particolari di facciata -
 Sezione orizzontale montanti
 Scala 1:2

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio

Tavola 3
Particolari di facciata - Sezione verticale pannello spandrel

Scala 1:2

Capitolo: IV - 2
Prove di laboratorio



Le prove effettuate dall'azienda sono volte a stabilire:

- a. Il requisito di resistenza al fuoco EI 120 per il pannello spandrel impiegato in facciata, secondo quanto richiesto dal D.M. 22.02.2006 (vedi cap. III.1)
- b. Il requisito di resistenza al fuoco EI 120 per una porzione di facciata, comprensiva di tutti gli elementi sensibili.

in conformità alle procedure descritte nella norma UNI EN 13501-2

“classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi”.

Tali prove vengono svolte presso l'Istituto Giordano, ente certificatore riconosciuto con sede in provincia di Rimini.

Si ricorda che all'epoca in cui sono state eseguite le prove non era ancora stato emanata la “Guida Tecnica” specifica per le facciate continue di cui si è detto al punto III.4.

IV - 2.2 Prima prova

Ha lo scopo verificare il requisito a), secondo gli specifici riferimenti normativi:

- UNI EN 1363 - 1 “Prove di resistenza al fuoco – Requisiti generali”
- UNI EN 1364 – 1 “Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti – Muri”

Il campione di prova consiste in un muro non portante verticale, formato da una struttura metallica in alluminio, da pannellature in lastre di fibrosilicato, da un pannello in lamiera d'acciaio e da un pannello in lana di roccia; la chiusura lato solaio viene realizzata da lana di roccia in pannelli e a fiocchi, raccolte da due lamiera in acciaio.



Figura IV-7 Particolare lastre di fibrosilicato, lato esposto



Figura IV-8 Particolare dell'isolamento in lana di roccia esterno

Il campione è stato montato su una costruzione di sostegno, realizzata in blocchi di laterizio e malta tradizionale a base cementizia, protetta da entrambe le facce da un intonaco a base cementizia; infine la costruzione di sostegno è

stata montata su un telaio di prova, realizzato con una cornice perimetrale indeformabile di cemento armato.



Figura IV-9 Particolare del campione innestato sulla struttura di sostegno

Per la prova è stato utilizzato un forno sperimentale con apertura su un lato verticale, rivestito internamente di fibroceramica.

Il provino è stato posizionato in modo le lastre di fibrosilicato fossero esposte direttamente alla fiamma, per simulare un incendio che si sviluppa all'interno del compartimento, in cui il pannello spandrel è appeso alla soletta superiore.



Figura IV-10 Lato esterno del forno



Figura IV-11 Lato del provino esposto

Le figure seguenti mostrano alcuni estratti del rapporto di prova redatto dall'Istituto Giordano e documentano la posizione delle strumentazioni, l'andamento della curva d'incendio standard e le temperature raggiunte al termine dei 120 minuti.

Per visionare l'intero contenuto del rapporto di prova si consiglia la lettura dell'Allegato A.

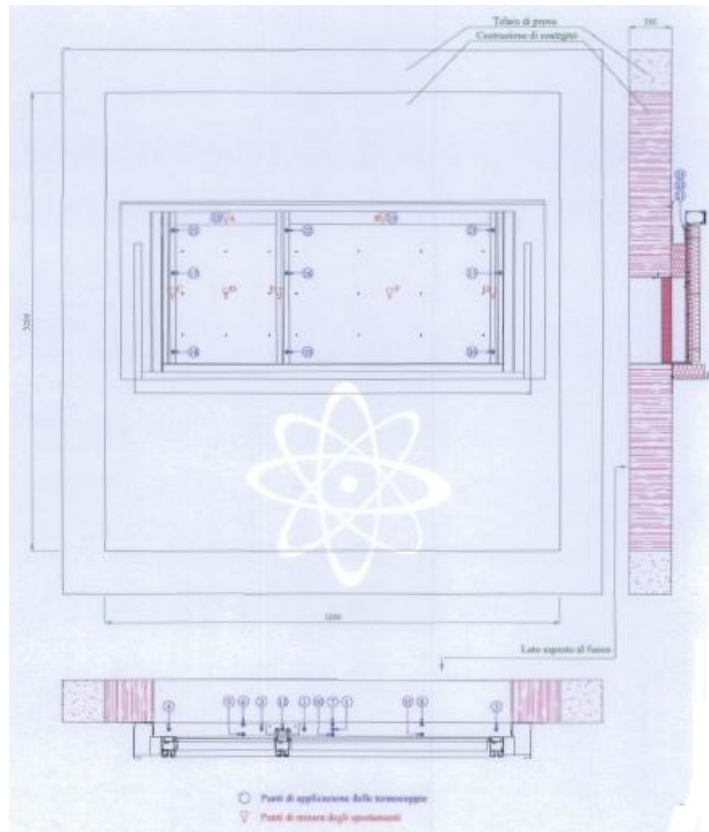


Figura IV-12 Posizione delle termocoppie sul provino

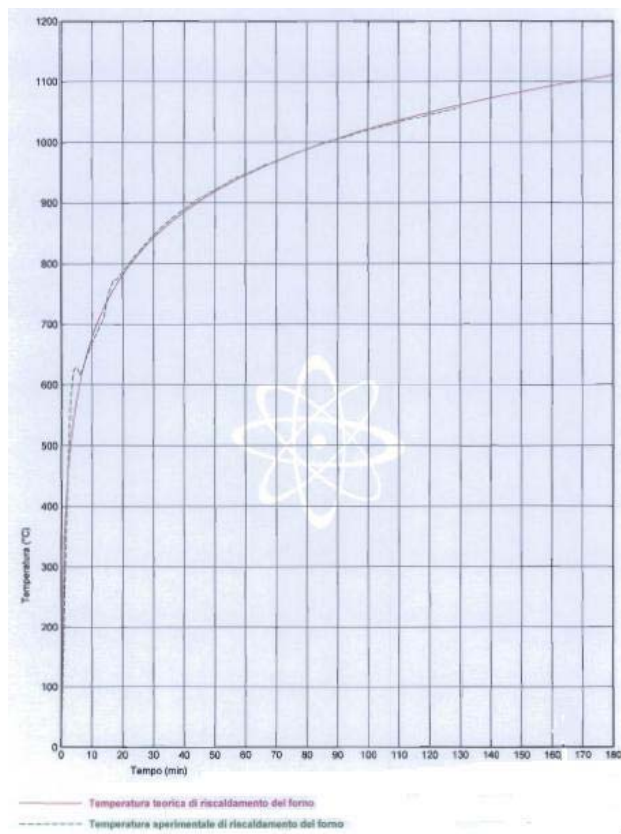


Figura IV-13 Curva d'incendio standard

Punto di misura		Termocoppia	Incremento di temperatura
		[n.]	[°C]
Sulla barriera al fuoco orizzontale superiore		1	84
		2	77
		3	77
		4	74
		5	75
		6	76
		7	77
		8	76
		9	77
		10	116
		11	80
Sulla staffa di fissaggio della cellula		12	84
Sulla struttura	traversa superiore	13	76
		14	93
	faccia esterna dei montanti	15	116
		16	137
		17	125
		18	78
		19	103
		20	89
	faccia interna dei montanti	21	91
		22	106
		23	109

Figura IV-14 Temperature finali registrate per ogni termocoppia

Come si può notare da figura IV-14, trascorsi 120 minuti in nessun punto del campione viene superato il limite prescritto per la temperatura media dalla normativa⁴⁰, pari a 140 °C (requisito di isolamento).

Le immagini seguenti, documentano la prova in corso e l'analisi del provino al termine; dimostrano che è stato rispettato anche il requisito relativo alla tenuta⁴¹.

⁴⁰ Cfr. cap. III.2.1

⁴¹ Cfr. cap. III.2.1



Figura IV-15 Prova in corso, isolante esterno annerito



Figura IV-16 Termine della prova, al di sotto della lana di roccia



Figura IV-17 Termine della prova, montante integro

La figura IV-16 mostra come la lamiera metallica al di sotto della lana di roccia abbia subito danni, ma non abbia fratture; il sigillante termoespandente (nero) in corrispondenza degli angoli ha garantito la tenuta.

La figura IV-17 mostra invece come il montante risulti sostanzialmente integro al termine della prova, perché protetto da una doppia lastra di fibrosilicato, rimossa per scattare le foto.

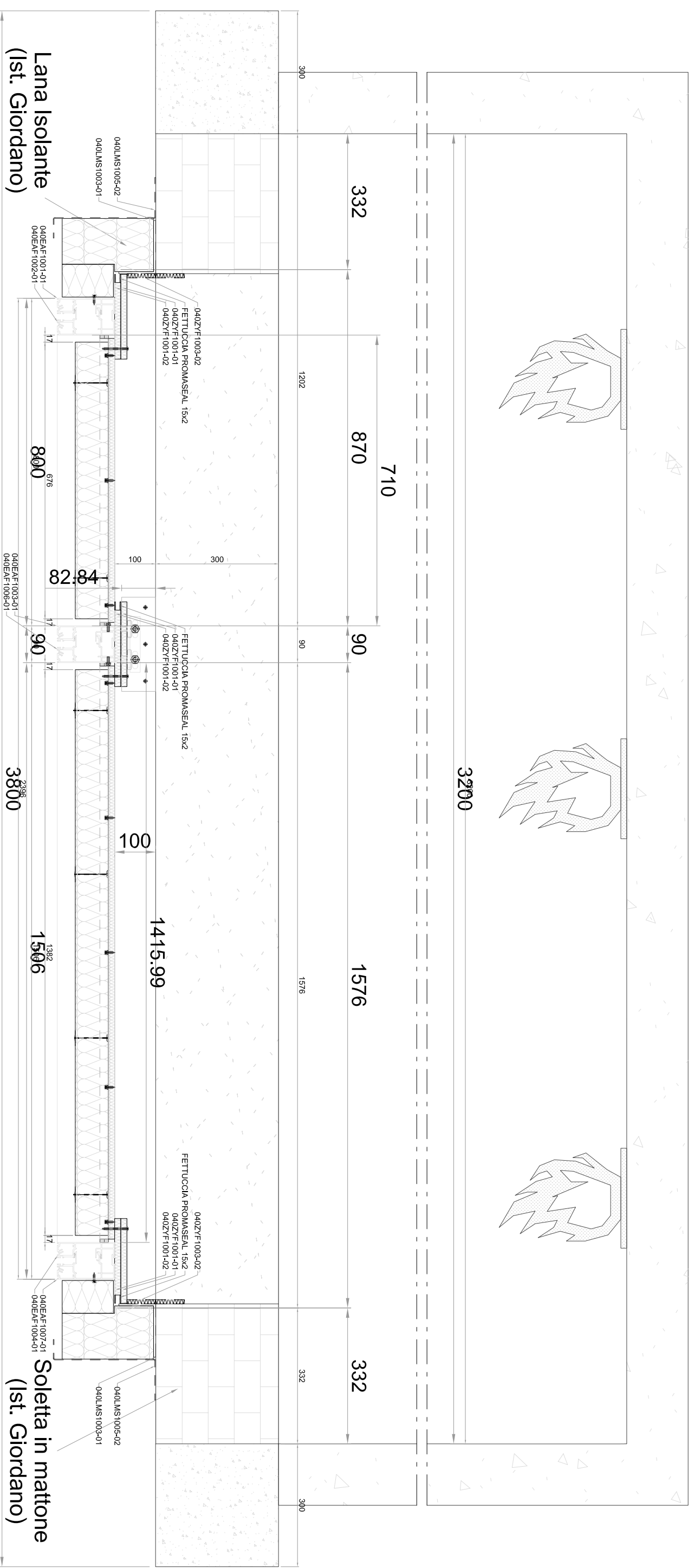
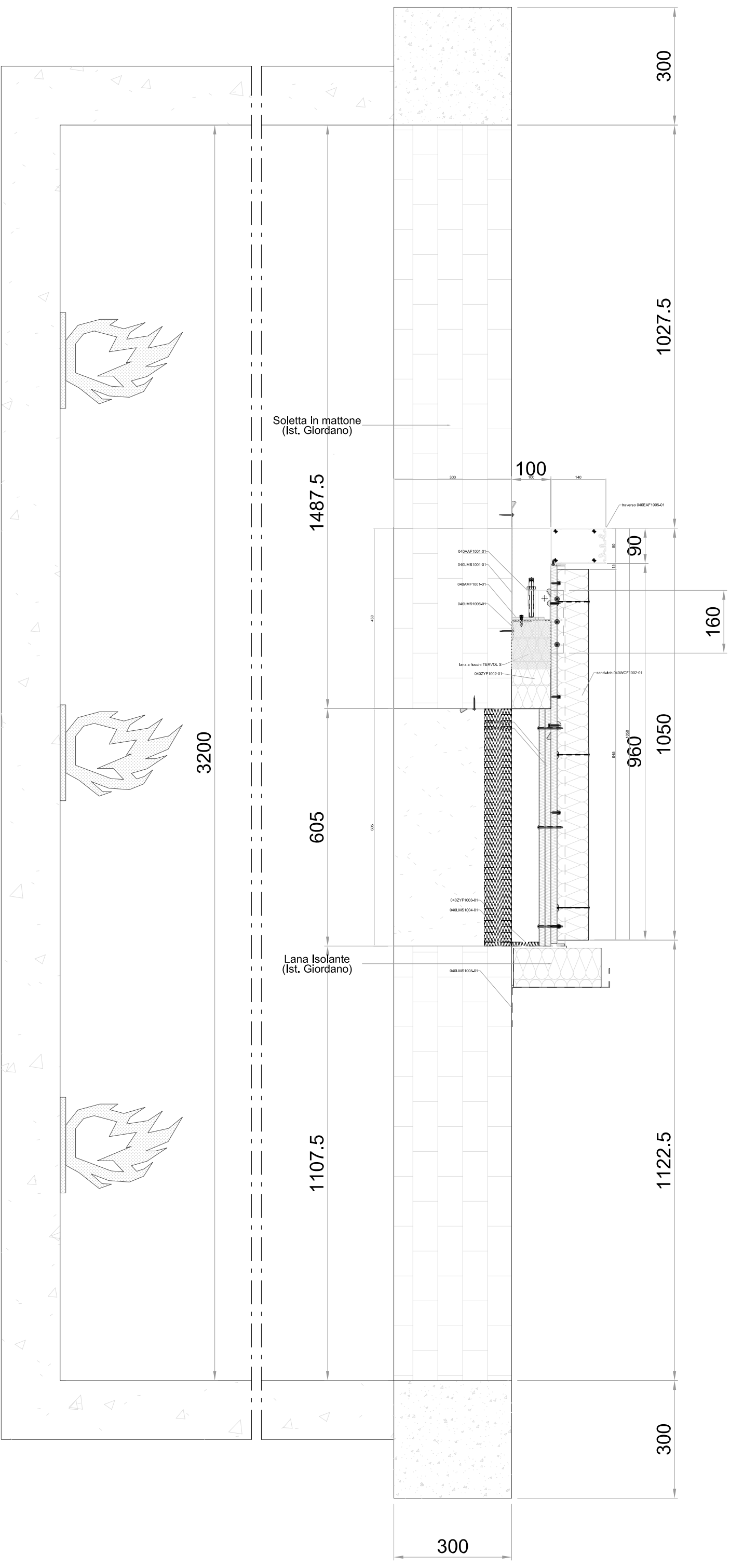


Tavola 5
1° Test - Sezione orizzontale

Scala 1:10

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio



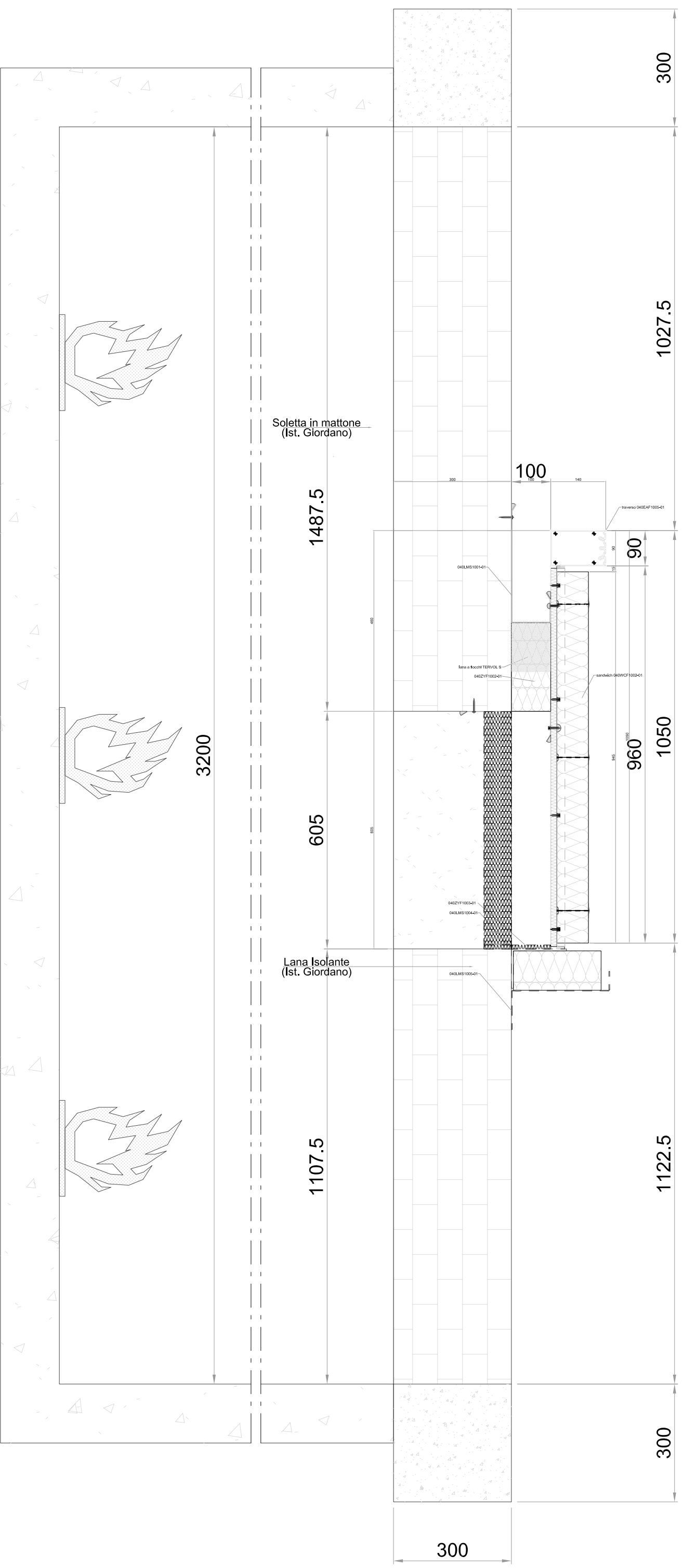


Tavola 7
1° Test - Sezione verticale - tipo

Scala 1:10

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio

TABELLA CODICI MATERIALI ORDINATI

CODICE	DESCRIZIONE MATERIALE
040AAF1001-01	Slitta/uncino per fissaggio cellula
040AMF1001-01	Staffa per fissaggio cellula
040ZYF1001-01	Pannello Promat antifuoco
040ZYF1001-02	Pannello Promat antifuoco
040ZYF1002-01	Materassino lana
040ZYF1003-01	Pannello Promat antifuoco
040ZYF1003-02	Pannello Promat antifuoco
040LMS1001-01	Barriera al fuoco orizzontale superiore
040LMS1002-01	Barriera al fuoco orizzontale inferiore
040LMS1003-01	Angolare per fissaggio
040LMS1004-01	Angolare per fissaggio
040LMS1005-01	Angolare Supporto
040LMS1005-02	Angolare Supporto
040LMS1006-01	Piatto Supporto Staffa
040WCF1001-01	Pannello sandwich con Promat
040WCF1002-01	Pannello sandwich con Promat
040EAF1001-01	Montante di chiusura femmina
040EAF1002-01	Montante maschio
040EAF1003-01	Montante femmina
040EAF1004-01	Montante di chiusura maschio
040EAF1005-01	Traverso
040EAF1005-02	Traverso
040EAF1006-01	Montante maschio
040EAF1007-01	Montante femmina

IV - 2.3 Seconda prova

Viene allestito questo test per verificare il requisito b); i riferimenti normativi sono:

- UNI EN 1363 - 1 “Prove di resistenza al fuoco – Requisiti generali”
- UNI EN 1364 – 1 “Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti – Facciate continue – Configurazione parziale”

Il provino sottoposto a test rappresenta una porzione completa di facciata continua, che comprende la zona del pannello spandrel e la parte vetrata sottostante. Il modello comprende tre montanti, posti ad interassi differenti tra loro.



Figura IV-18 Provino allestito per la seconda prova

Viene montata direttamente all'interno del forno, agganciata ad una soletta in cemento armato che poggia su metà della bocca del forno orizzontale; è poi chiusa superiormente con un'altra piastra in cemento armato, lasciando all'esterno solo la parte di facciata al di sopra delle staffe di fissaggio.



Figura IV-19 Particolare delle staffe di aggancio



Figura IV-20 Piastra di copertura del modello e superficie non esposta

La curva d'incendio utilizzata è stata la stessa della prima prova, la curva d'incendio standard⁴², applicata dal lato interno della facciata, cioè quella al di sotto della soletta cui è fissata. Pur essendo verificata la resistenza del solo pannello spandrel, questa rappresenta per l'intera facciata un'esposizione molto severa ed ha portato la prova a fallire.

⁴² Cfr. III-3.1

La figura IV.21 mostra come a prova ancora in corso venga meno il requisito di tenuta, perché avviene la trasmissione delle fiamme attraverso la superficie di facciata non esposta.

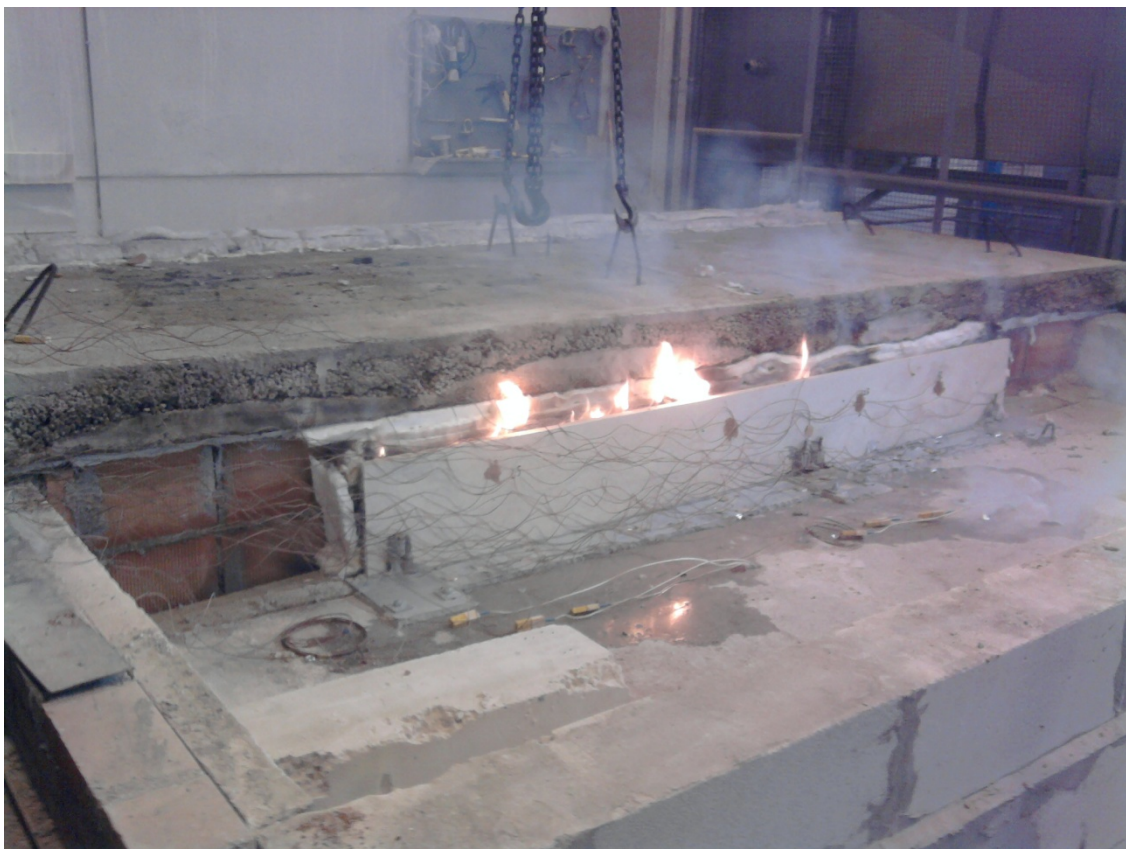


Figura IV-21 Propagazione delle fiamme sulla faccia non esposta

Viene quindi decretato il fallimento della prova, spento il forno e scoperchiato, mettendo in luce la situazione di figura IV.22: gli elementi sono stati sciolti dall'azione termica, compreso il pannello spandrel, per il quale era stata verificata la resistenza attraverso la prima prova.

In figura IV.23 si vede come la soletta, cui era agganciata la facciata, sia deformata. Si ritiene che l'azione combinata del peso della facciata e del fuoco, possa aver portato la piastra di cemento in semplice appoggio a inflettersi; ciò può aver provocato di conseguenza delle tensioni tali da portare al collasso la struttura di alluminio che sostiene la facciata.



Figura IV-22 Facciata deteriorata dall'azione del fuoco



Figura IV-23 Particolare della soletta di chiusura deformata

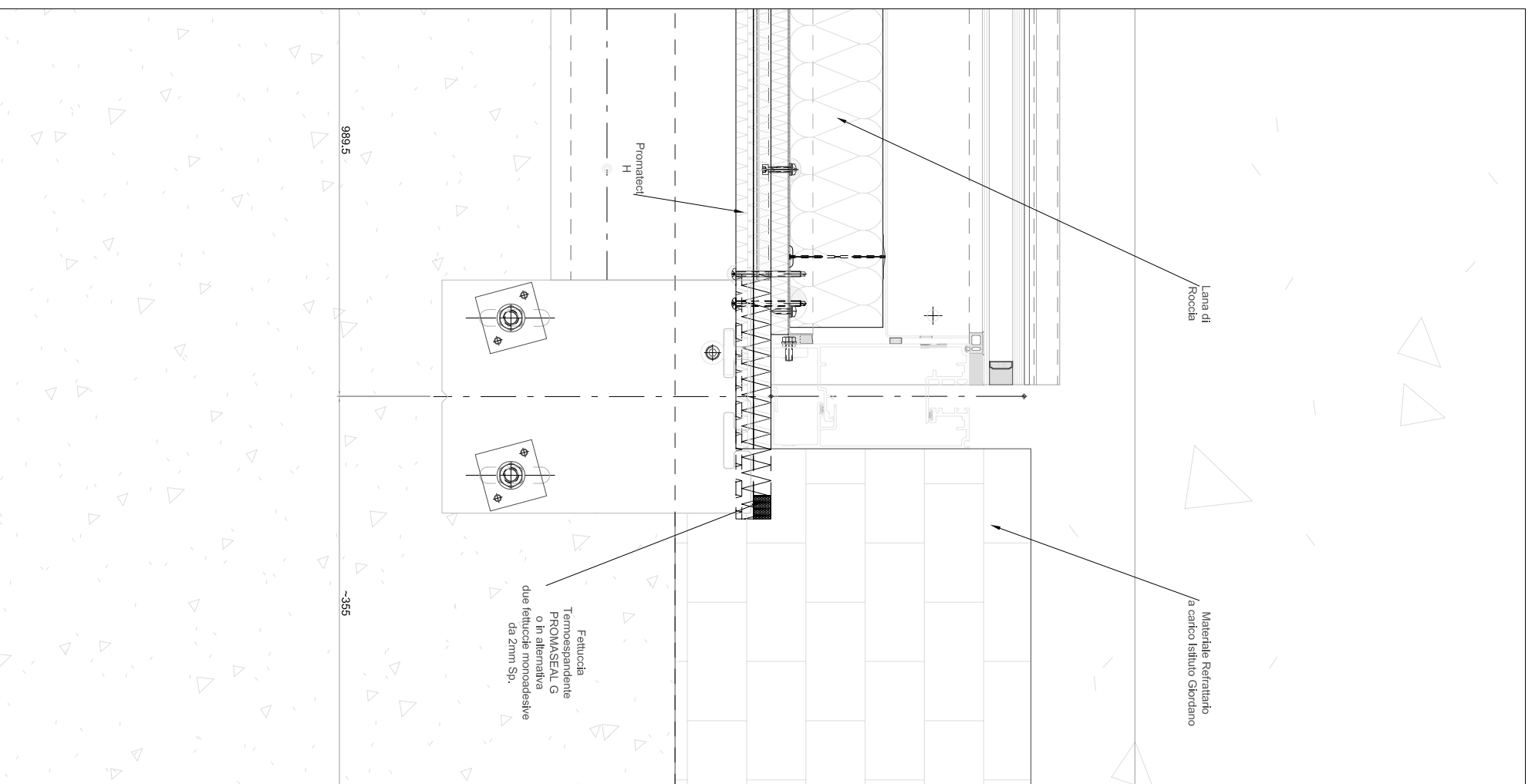
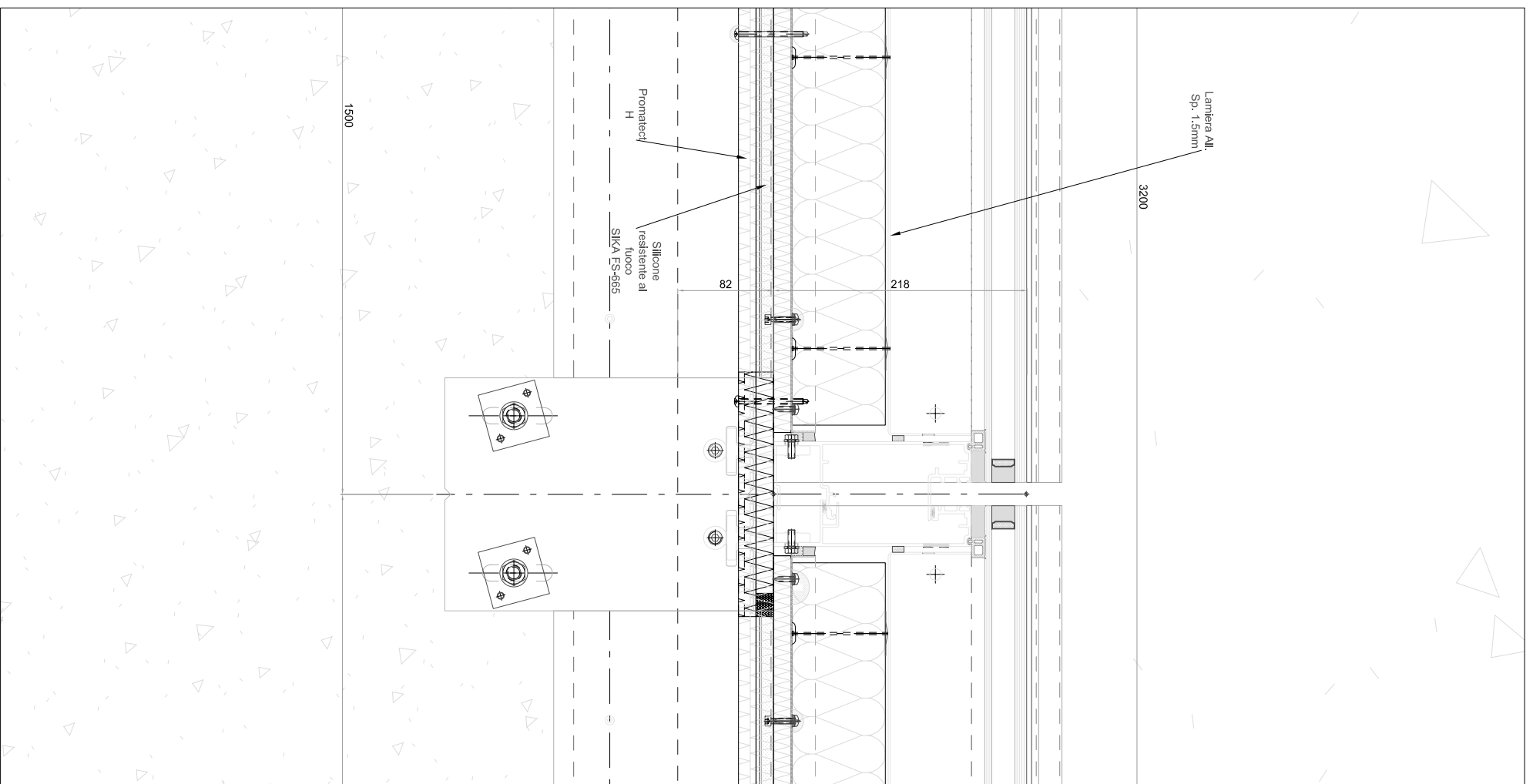
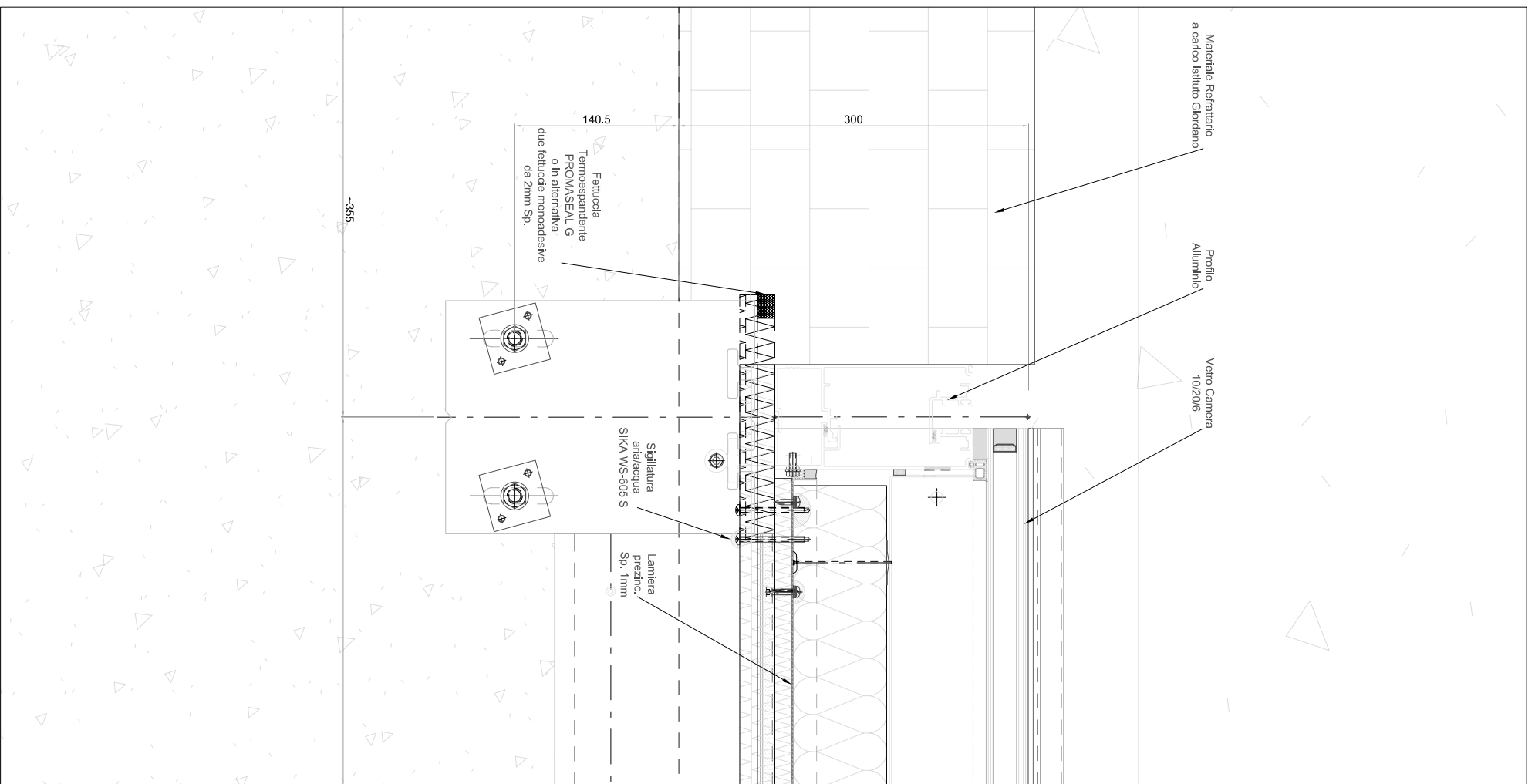


Tavola 9
2° Test - Particolari sezione orizzontale

Scala 1:5

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio

Tavola 10
2° Test - Sezione verticale - montante

Scala 1:5

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio

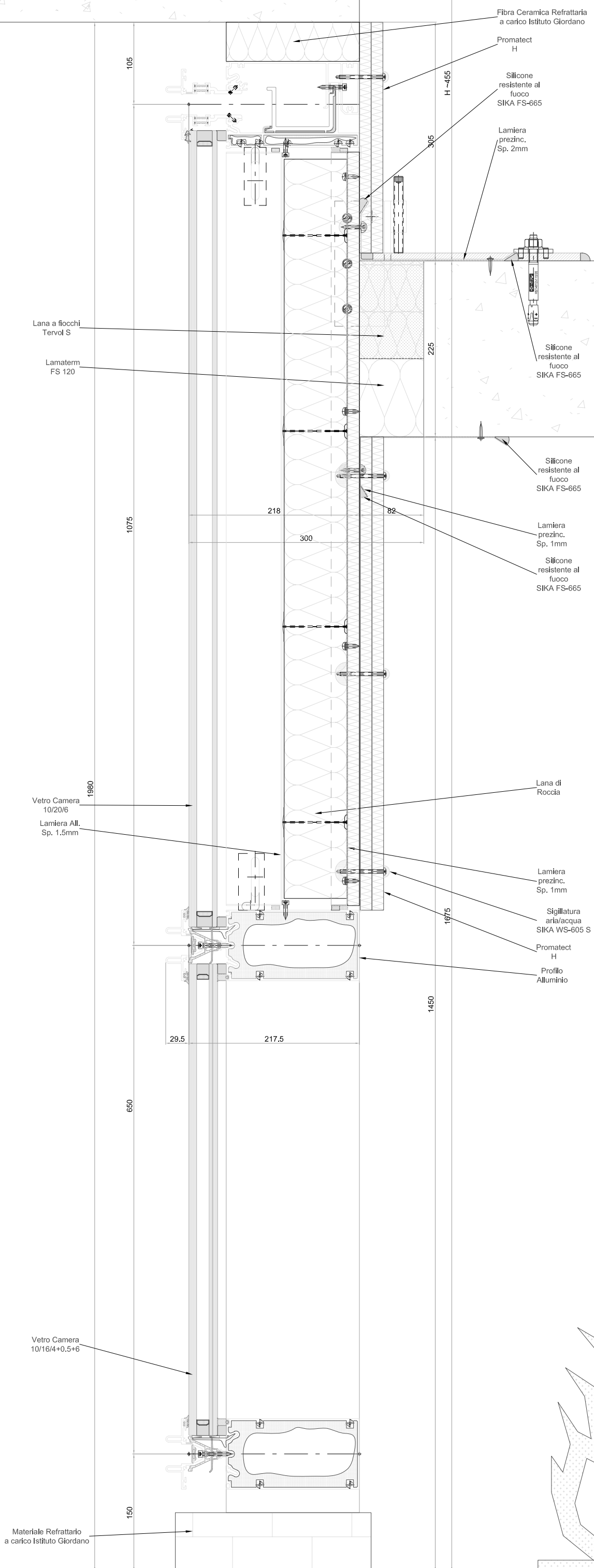
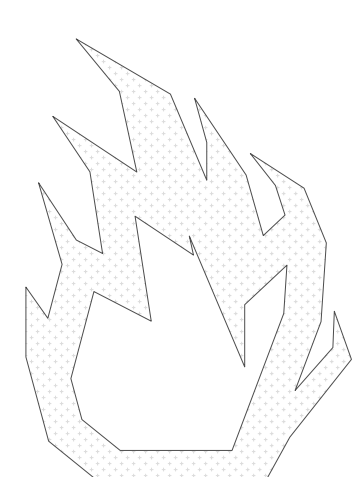
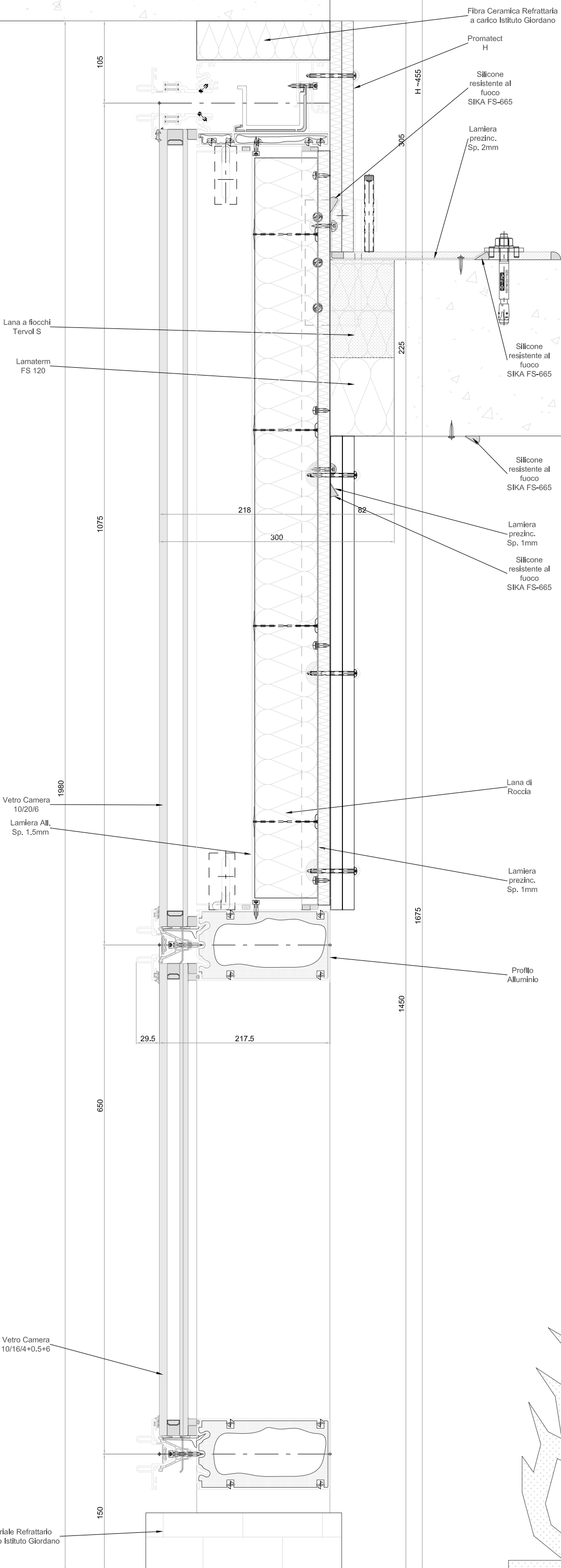


Tavola 11
2° Test - Sezione verticale - tipo

Scala 1:5

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio



IV - 2.4 Terza prova

Viene allestito questo test per verificare il requisito b); in questo caso i riferimenti normativi sono:

- UNI EN 1363 - 1 “Prove di resistenza al fuoco – Requisiti generali”
- UNI EN 1363 - 2 “Procedure alternative e aggiuntive”
- UNI EN 1364 – 1 “Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti – Facciate continue_ Configurazione parziale”

Il modello di prova è simile al precedente, trattandosi di una porzione della medesima facciata continua; la larghezza nominale è pari a 3050 mm, la lunghezza 1905 mm, per uno spessore totale di 278 mm, mentre il giunto tra costruzione di sostegno e facciata è lungo 2800 mm e alto 305. Il tutto viene agganciato ad una soletta che copre metà della bocca del forno orizzontale; il forno viene poi chiuso superiormente da una soletta in cemento armato.



Figura IV-24 Campione in fase di allestimento

I particolari costruttivi sono simili alla prova n°2, ma con alcune modifiche: per esempio la facciata è simmetrica e i montanti utilizzati sono quattro, con interasse maggiore tra i due centrali e minore tra il centrale e quello d'angolo (vedi fig.IV.24); non sono presenti le parti vetrate trasparenti, anche a causa della differenza di esposizione al fuoco scelta per questa prova; la soletta a cui

è fissata la facciata viene irrigidita con un appoggio centrale; sono stati isolati maggiormente i punti di connessione tra i montanti d'angolo e la struttura di supporto; è stato migliorato l'isolamento sulla superficie non esposta e la connessione con la soletta di chiusura della bocca del forno; le staffe di aggancio sono state ricoperte di silicone termoespandente e isolate dall'ambiente con lana di roccia.



Figura IV-25 Particolare dell'interno del forno – colonna di sostegno centrale



Figura IV-26 Particolare del giunto tra facciata e struttura di sostegno



Figura IV-27 Isolamento della faccia non esposta



Figura IV-28 Provino del test ultimato

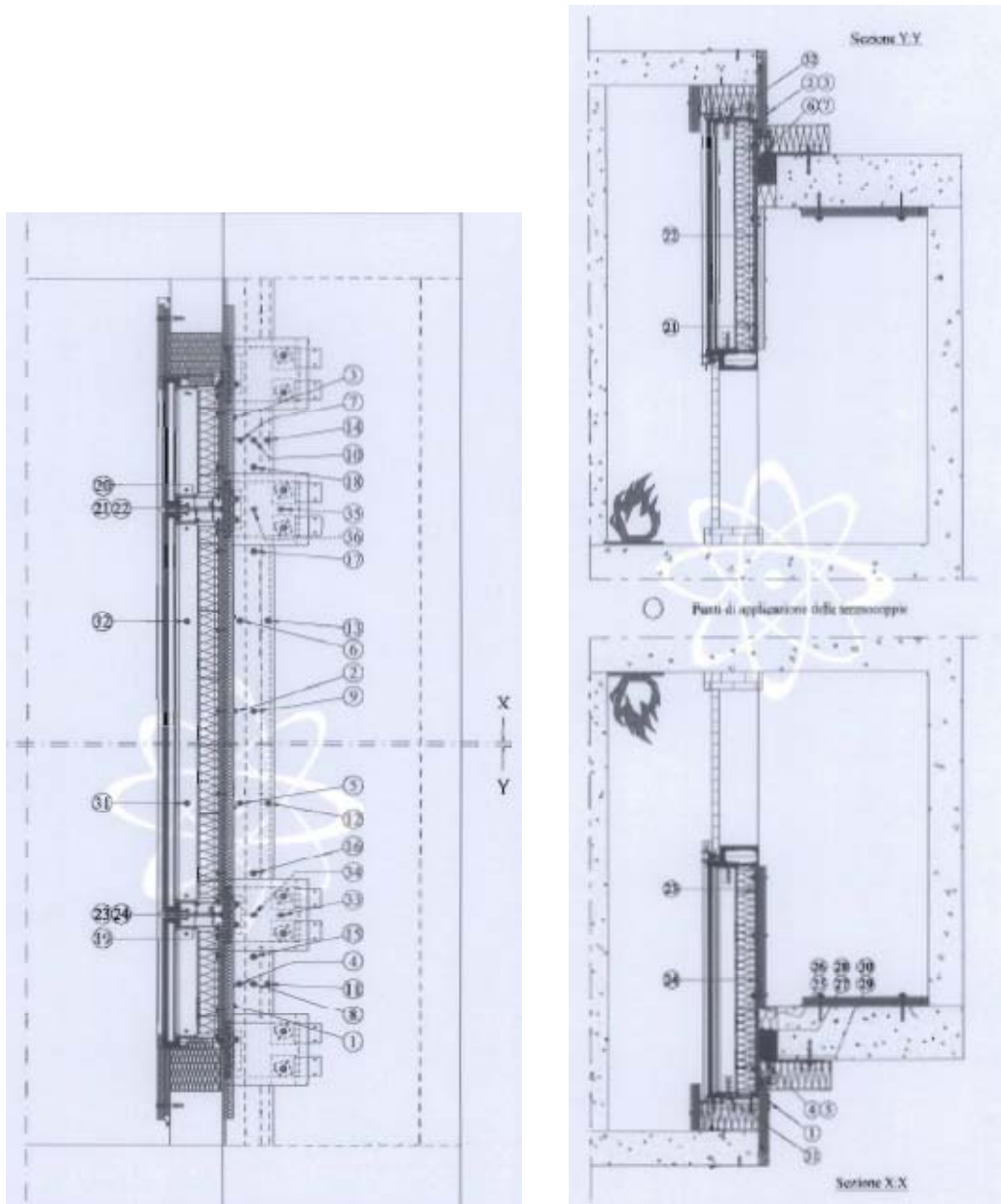
In questo caso cambia la curva d'incendio utilizzata: si ritiene che la curva d'incendio standard sia troppo severa e adatta a testare le superfici interne di un compartimento; nel caso di facciate continue, un incendio che rischia di propagare al piano superiore per la rottura dei vetri, entra in contatto con l'aria esterna e la sua temperatura diminuisce.

Per tale motivo si utilizza la curva d'incendio esterno⁴³.

⁴³ Vedi cap. III-2.1

Di seguito si riportano le informazioni più rilevanti del rapporto di prova redatto dall'Istituto Giordano: la posizione delle termocoppie, le temperature registrate a fine prova, la curva di carico. Il rapporto completo è riportato in allegato B.

Figura IV-29 Punti di applicazione delle termocoppie



Punto di misura sulla faccia non esposta al fuoco del campione	Termocoppia [n.]	Incremento di temperatura [°C]
Sulla superficie verticale	1	50
	2	81
	3	86
Sulla superficie orizzontale	4	109
	5	88
	6	90
	7	135
	8	67
	9	51
	10	80
	11	43
	12	31
	13	34
	14	51
	15	107
	16	79
	17	84
	18	91

Figura IV-30 Temperature a fine prova – punti di misura esterni

Punto di misura all'interno del campione	Termocoppia [n.]	Incremento di temperatura [°C]
All'interno dei montanti	19	641
	20	696
Sul montante destro	21	715
	22	714
Sul montante sinistro	23	623
	24	644
Nell'interspazio inferiore su lana rigida	25	574
	26	542
Nell'interspazio intermedio, tra lana rigida e lana a fiocchi	27	389
	28	399
Nell'interspazio superiore su lana a fiocchi	29	219
	30	183
Sulla traversa superiore	31	600
	32	597
Sulla piastra di fissaggio sinistra	33	11*
	34	430
Sulla piastra di fissaggio destra	35	135
	36	462

(*) per problemi tecnici non è stato possibile registrare alcun valore.

Figura IV-31 Temperature a fine prova – punti di misura interni

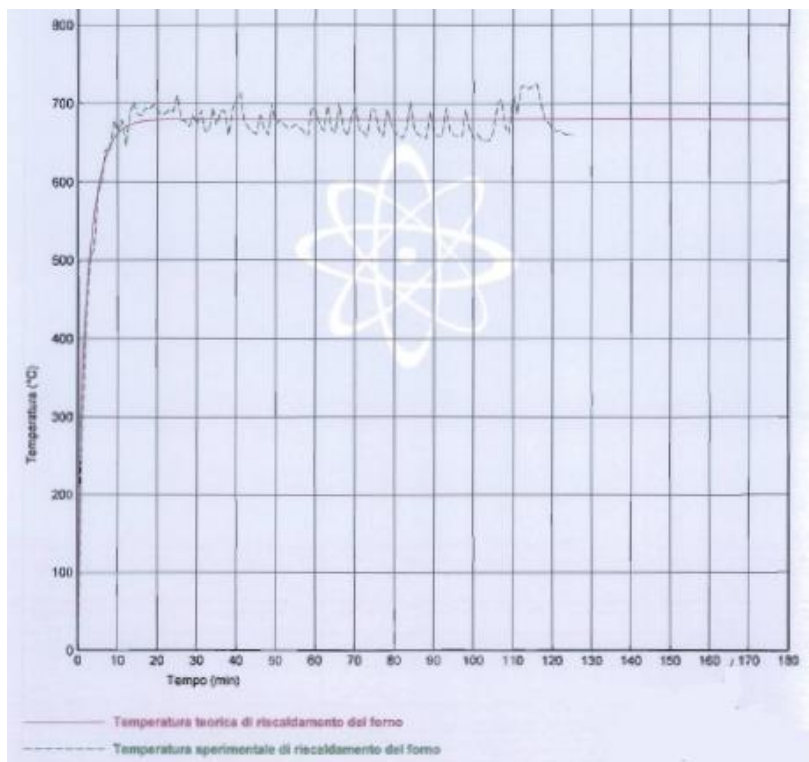


Figura IV-32 Curva d'incendio esterno

I valori riportati in figura IV.30 dimostrano che sulla superficie non esposta non si raggiunge mai un incremento di temperatura superiore ai 140 °C⁴⁴, per cui il requisito di isolamento è raggiunto.

Le foto successive documentano come anche il requisito di tenuta⁴⁵ venga raggiunto al termine della prova.



Figura IV-33 Prova del tampone di cotone

⁴⁴ Cfr. cap. III.2.1

⁴⁵ Cfr. cap. III.2.1



Figura IV-34 Assenza di fratture o fiamme sul lato non esposto



Figura IV-35 Aspetto del provino al termine della prova



Figura IV-36 Staffe di fissaggio ancora integre a fine prova

In figura IV-35 vediamo come al termine dei 120 minuti la zona spandrel della facciata sia rimasta integra, nonostante tutto il resto si sia sciolto.

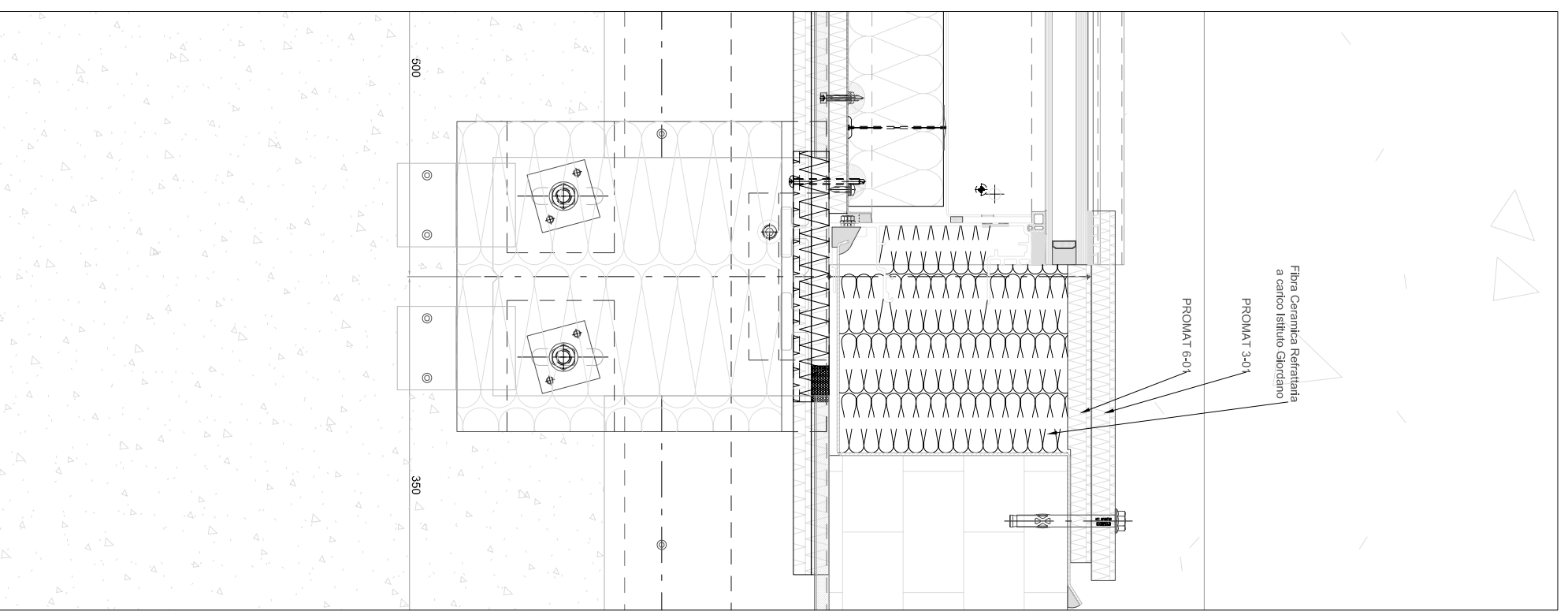
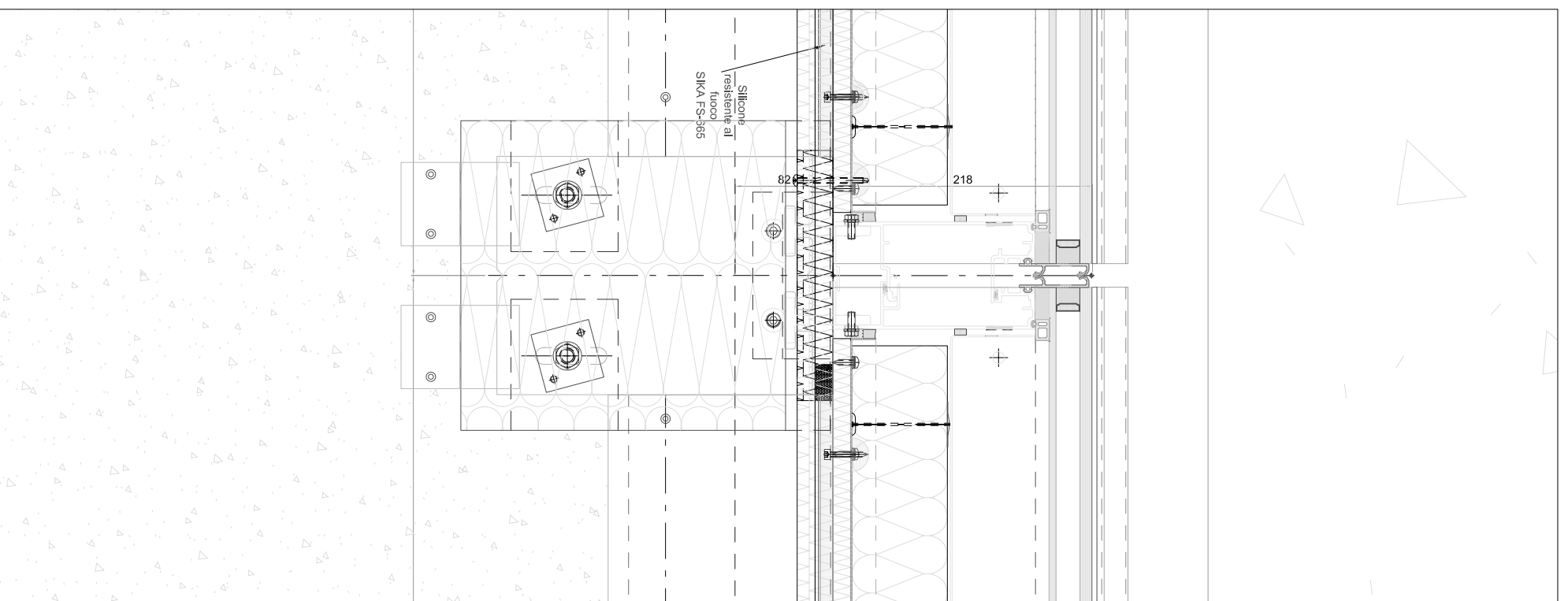
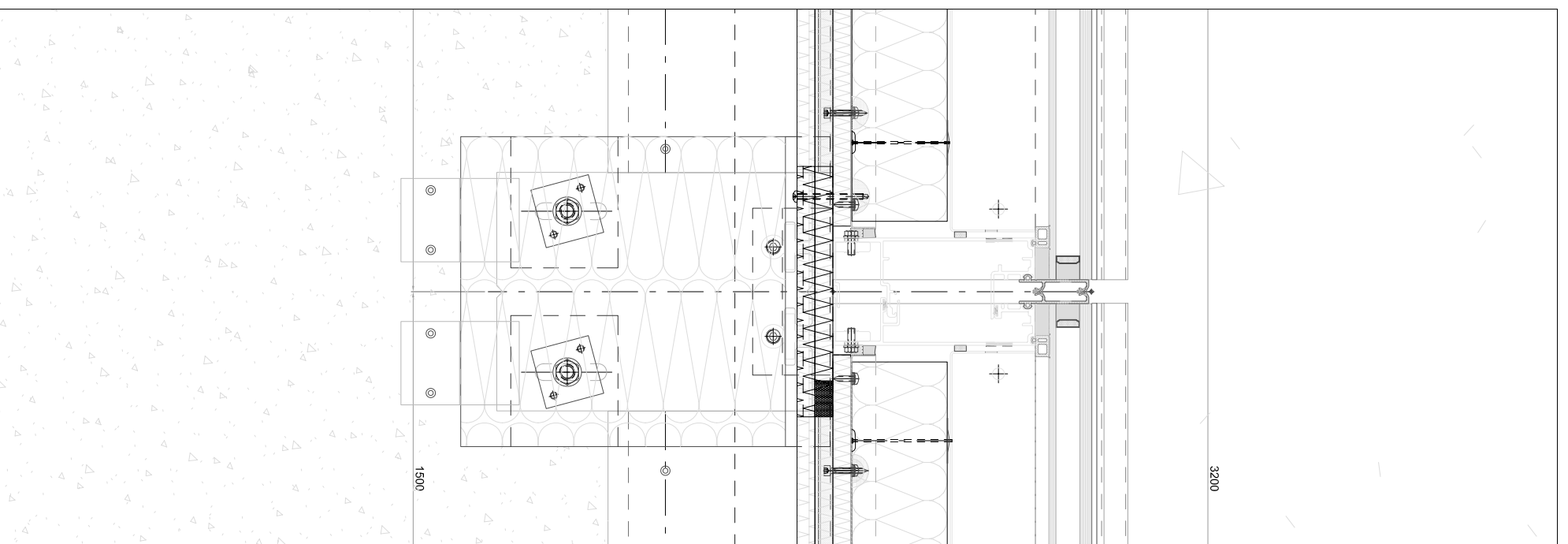
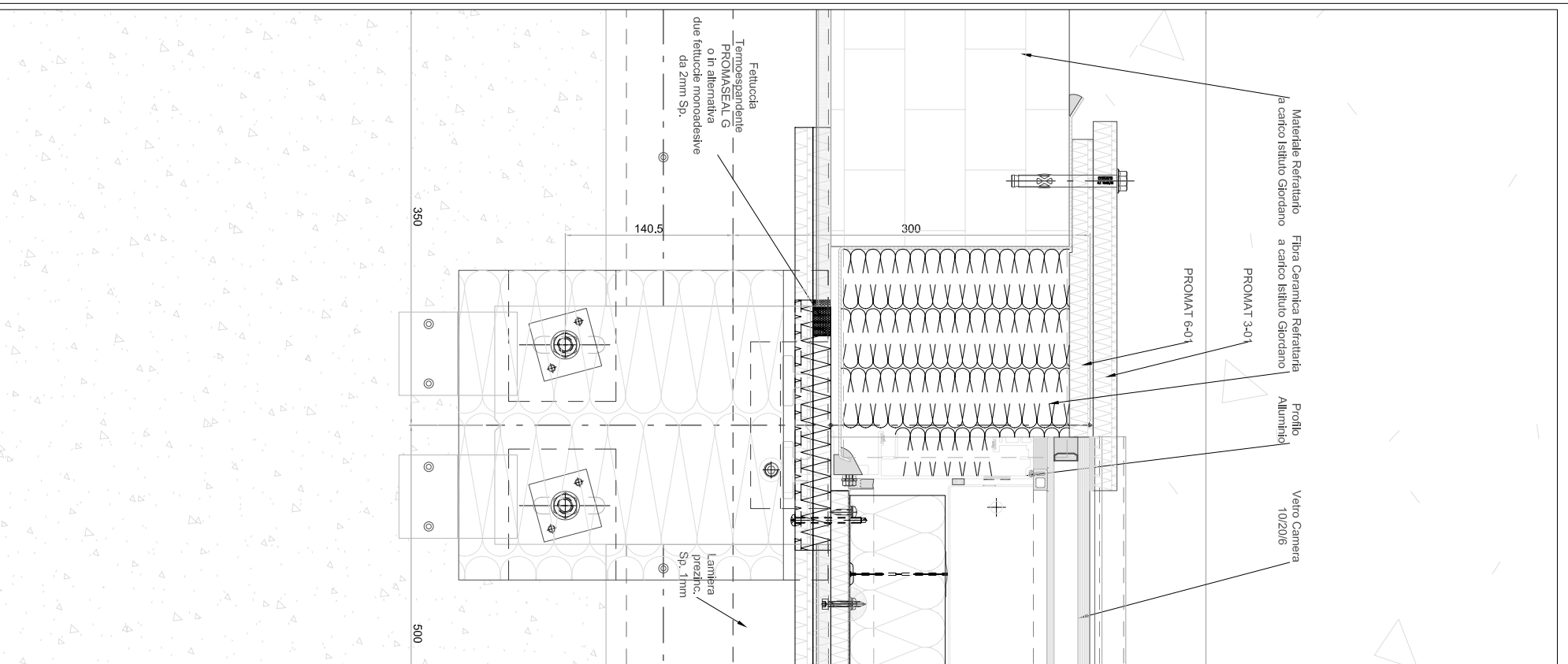


Tavola 12
3° Test - Particolari sezione orizzontale

Scala 1:5

Capitolo:
IV - 2 Prove di laboratorio

Fibra Ceramica Refrattaria
a carico Istituto Giordano

Fibra Ceramica Refrattaria
a carico Istituto Giordano

Promatect
H

Silicone
resistente al
fuoco
SIKA FS-665

Lamiera
prezinc.
Sp. 2mm

Silicone
resistente al
fuoco
SIKA FS-665

Silicone
resistente al
fuoco
SIKA FS-665

Lamiera
prezinc.
Sp. 1mm

Silicone
resistente al
fuoco
SIKA FS-665

Lana di
Roccia

Lamiera
prezinc.
Sp. 1mm

Sigillatura
aria/acqua
SIKA WS-605 S

Promatect
H

Profilo
Alluminio

Lana a fiocchi
Tervol S

Lamaterm
FS 120

Vetro Camera
10/20/6
Lamiera All.
Sp. 1.5mm

105

1075

1980

800

29.5

218

300

217.5

1675

1450

H~455

305

235

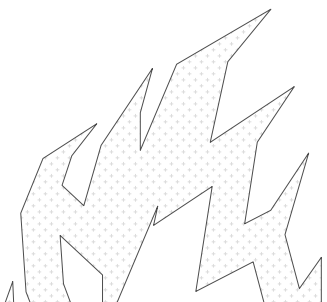


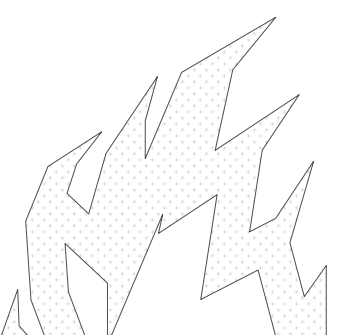
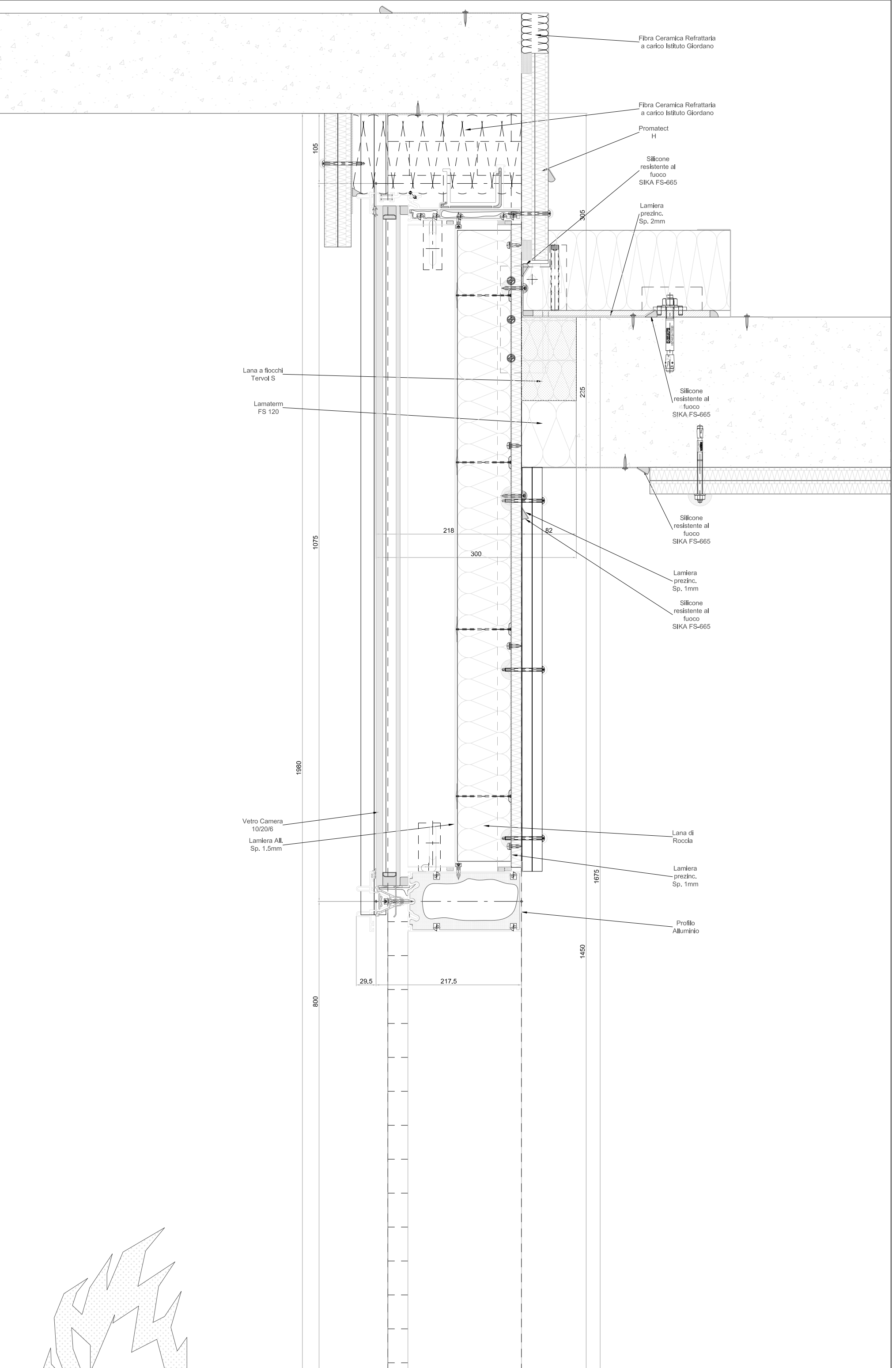
Tavola 14
3° Test - Sezione verticale - tipo

Scala

1:5

Capitolo:
IV - 2

Prove di laboratorio



V. MODELLO NUMERICO

La fase successiva al test di laboratorio e alla raccolta di dati sperimentali, è rivolta all'utilizzo di appositi software, con i quali si riproduce la situazione della prova sperimentale nel modo più fedele possibile.

V - 1. Programma di calcolo

Per le elaborazioni seguenti ci si avvale di un software agli elementi finiti, Straus7, comunemente usato in svariati campi dell'ingegneria; grazie ad esso possiamo effettuare un'analisi numerica con lo scopo di ottenere una soluzione approssimata, ma ingegneristicamente valida del problema, attraverso una discretizzazione dello stesso in una serie ragionevole di equazioni che ne governano la fisica.

La scelta è ricaduta su questo particolare programma perchè dotato del solutore per casi di trasmissione di calore in regime transitorio, che rispecchia le necessità del nostro caso.

Lo scopo finale della modellazione è infatti quello di ottenere informazioni circa i valori di temperatura per diverse zone del provino, in funzione di quella imposta all'interno della camera del forno; inoltre i dati sono legati ad un ben definito arco temporale, durante il quale si modificano le temperature dei materiali, le loro proprietà e le forzanti del sistema.

La conduzione di calore è il fenomeno attraverso il quale viene trasferita energia termica da un punto ad un altro di corpo (solido o liquido, omogeneo o eterogeneo), a causa di una differenza di temperatura tra i due punti. La convezione e la radiazione invece governano lo scambio di energia tra l'ambiente e un corpo, attraverso la frontiera che delimita quest'ultimo.

Ogni punto del corpo deve sottostare alle leggi di conservazione dell'energia, che per un sistema tridimensionale si definisce:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - Q = -\rho C \frac{\partial T}{\partial t}$$

dove:

T è la temperatura

t è il tempo in secondi

Q è la quantità di energia generata all'interno del corpo, per unità di volume

ρ è la densità

C è il calore specifico del materiale a pressione costante

La legge di Fourier mette in relazione il flusso per unità di superficie e il gradiente di temperatura. Considerando le tre direzioni principali:

$$q_x = -k_x \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_y = -k_y \frac{\partial T}{\partial y}$$

$$q_z = -k_z \frac{\partial T}{\partial z}$$

in cui i simboli hanno gli stessi significati già detti e il valore k rappresenta il coefficiente di conduttività termica del materiale (per ciascuna direzione), cioè una costante dipendente dal materiale, che regola la quantità di energia in movimento.

Combinando l'equazione di conservazione dell'energia e la legge di Fourier si ottiene l'equazione risolvibile del problema di scambio termico, note le condizioni al contorno:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}$$

Le condizioni al contorno possono essere:

- Temperatura nota

- Flusso noto (anche nullo: rappresenta il caso adiabatico, usato molto spesso in simulazioni numeriche, per esempio per rappresentare un piano di simmetria)
- Coefficiente di scambio termico convettivo
- Coefficiente di scambio termico radiativo

La **convezione** è la modalità di scambio termico causata dal moto di un fluido. Per esempio una superficie calda immersa in un ambiente a temperatura più fredda, riscalda l'aria intorno ad essa e ne induce il movimento, perché meno densa che nel resto dell'ambiente; nell'intorno della superficie c'è un continuo apporto di aria più fredda cosicché si realizza un passaggio di energia maggiore che nel caso di sola conduzione.

Il flusso per unità di superficie è funzione della differenza di temperatura T tra superficie e fluido secondo la legge:

$$q = h_c(T - T_{amb}) \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

in cui h_c rappresenta il coefficiente di scambio termico convettivo e dipende dal tipo e dalla velocità del fluido considerato.

La **radiazione** rappresenta lo scambio termico per via elettromagnetica tra due corpi o un corpo più caldo e l'ambiente più fredda (viceversa si ha l'assorbimento). L'equazione alla base del fenomeno è:

$$q = h_r \sigma A (T^4 - T_{amb}^4) \quad [W]$$

dove A è l'area, σ la costante di Stefan Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), mentre h_r è il coefficiente di scambio termico radiativo. Quest'ultimo valore varia tra 0 e 1 per il corpo "nero" ideale. Nella realtà ci si riferisce a corpi "grigi" cioè con valori inferiori all'unità. A sua volta il coefficiente di scambio termico radiativo dipende dall'emissività ε di un corpo, proprietà del materiale, e dal fattore di forma tra due corpi, cioè della porzione di corpo "vista" dall'altro a causa della reciproca posizione nello spazio.

L'equazione differenziale di secondo grado vista prima applicata ad un numero finito di elementi che discretizzano il modello, porta ad un sistema matriciale del tipo:

$$[K] \{T\} + [C] \{\dot{T}\} = \{F\}$$

dove

- [K] è la matrice di conduttività del sistema (il programma la chiama "di rigidità" per analogia con il caso strutturale)
- [C] è la matrice che contiene le informazioni sulla capacità termica del sistema
- {F} è il vettore dei carichi applicati (condizioni al contorno)
- {T} è il vettore delle temperature nodali del sistema
- { \dot{T} } rappresenta la variazione di temperatura di T nel tempo

V - 2. Realizzazione del modello

V - 2.1 Materiali

Il capitolo IV (e le tavole) riporta in dettaglio tutti i materiali e le stratigrafie del modello sottoposto al test. In questa sede vengono indicate le proprietà degli stessi, legati alla variazione di temperatura a cui sono sottoposti; nelle situazioni progettuali comuni infatti le caratteristiche dei materiali si mantengono pressoché costanti, mentre in caso di incendio ciò non è vero per tutti i materiali, perché alcuni modificano le proprietà in funzione della forte escursione termica cui sono sottoposti.

Per risolvere il problema di trasmissione di calore in regime dinamico è necessario fornire al software almeno la densità, la conduttività e il calore specifico a pressione costante dei materiali interessati.

La densità è considerata dal programma un valore costante dal sistema; conduttività e calore specifico fanno parte delle caratteristiche che è possibile fornire in dipendenza da una variabile, tipicamente il tempo o la temperatura (ma anche in funzione del periodo, della curvatura, dello sforzo etc..) creando apposite tabelle.

La figura V-1 riporta l'esempio della definizione della conduttività dell'acciaio rispetto alla temperatura; la colonna di sinistra contiene i valori che definiscono la funzione, mentre nella parte destra viene tracciato il grafico per punti.

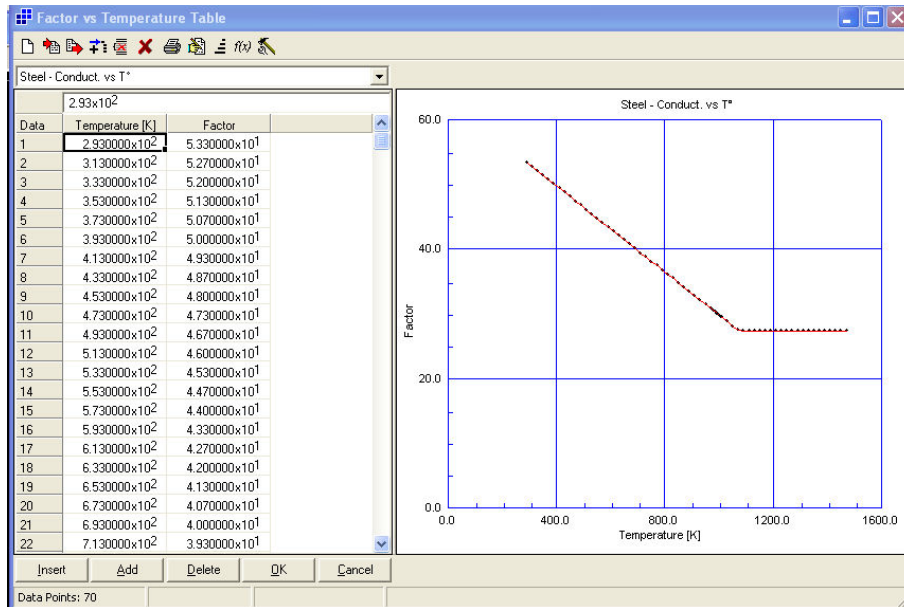


Figura V-1 Tabella della conduttività dell'acciaio in funzione della temperatura

Le figure seguenti mostrano invece i menu del programma che consentono l'implementazione delle caratteristiche fisiche, termiche e geometriche dei materiali:

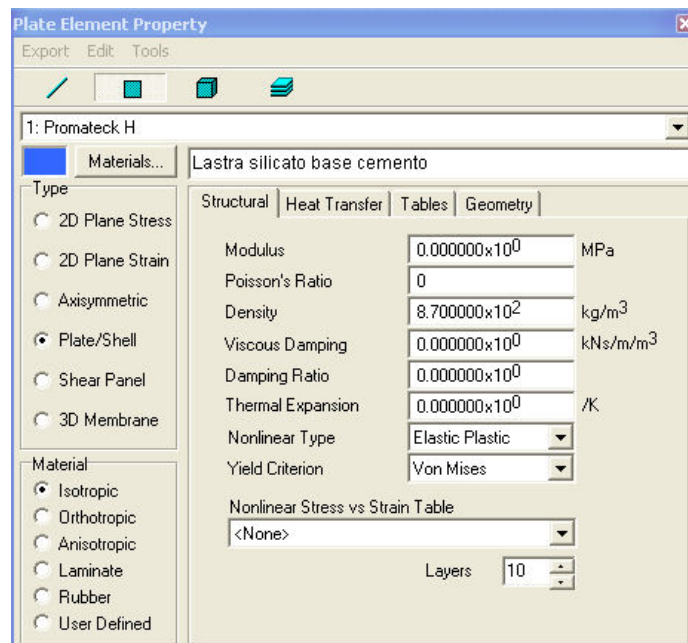


Figura V-2 Proprietà strutturali dei materiali

Si riconosce nelle prime righe in alto la tipologia di elemento a cui si riferiscono le proprietà che si vanno a impostare (“plate” in questo caso, elemento bidimensionale perché tratto dalla modellazione della sezione corrente del provino). Sotto di esso troviamo il nome del materiale e nella colonna di sinistra le proprietà di carattere generale (per esempio quella di materiale isotropo, cioè per il quale caratteristiche fornite nei tab sulla destra sono uguali in ogni direzione dello spazio). La parte destra riporta in queste immagini le caratteristiche meccaniche; si può vedere come non vengano fornite al programma, fatta eccezione per la densità, perché l’analisi non comprende la valutazione degli sforzi.

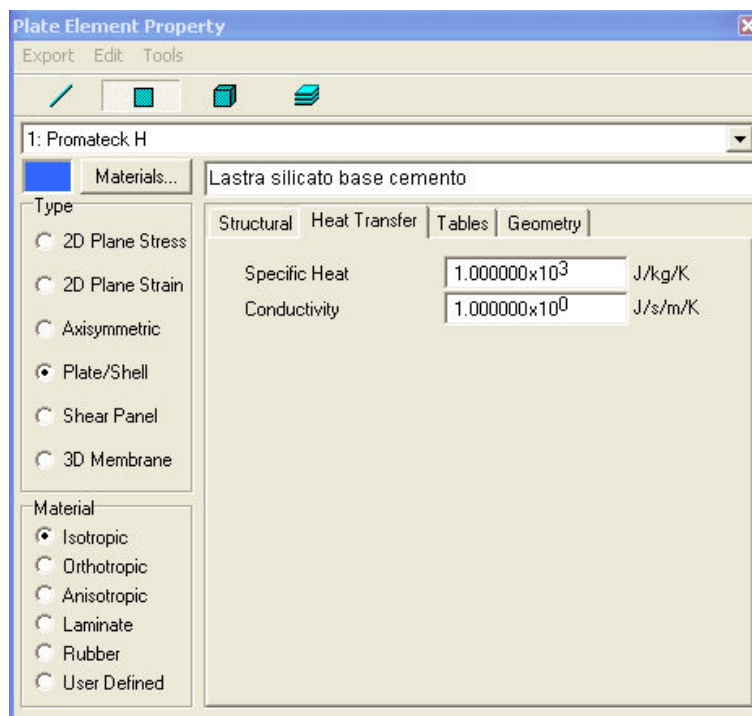


Figura V-3 Proprietà termiche dei materiali

La figura V-3 mostra come vengano inseriti i dati relativi al calore specifico del materiale e alla conduttività. Per lo specifico materiale (isolante), la prima proprietà è una costante, la seconda dipende dalla temperatura; per questo motivo il secondo dato è unitario, perché legato alla scheda “tables” dell’immagine successiva.

Le tabelle vengono usate da Straus come moltiplicatori del dato immesso in questa sede (o anche nella scheda “structural”). Al fine di ottenere la corretta

definizione delle proprietà bisogna inserire un valore unitario se la tabella è costituita dai valori reali che la proprietà assume, mentre si deve inserire il dato tipico se la tabella è definita come il rapporto tra la variazione del dato e il valore tipico assunto come riferimento.

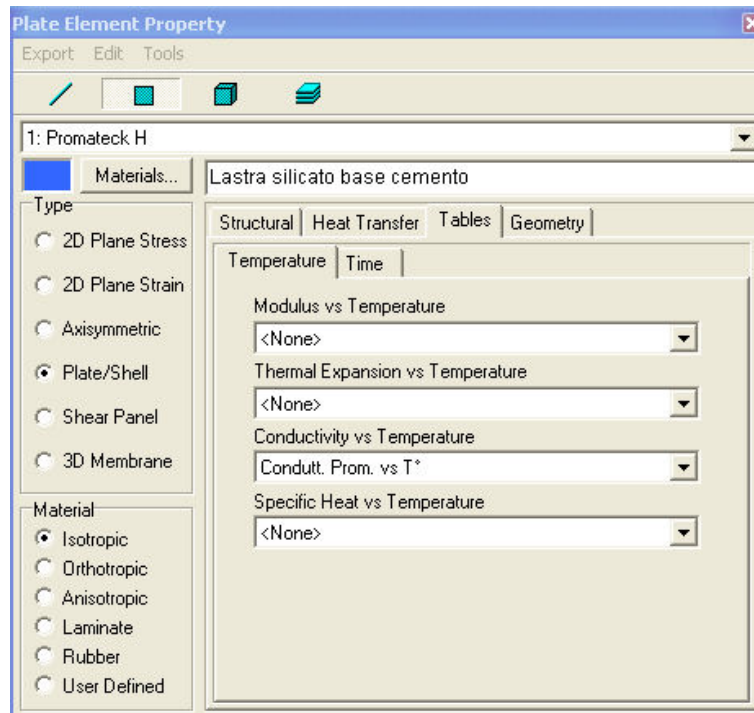


Figura V-4 Tabelle legate alle proprietà dei materiali

La figura V-4 mostra come sia possibile definire delle tabelle per dipendenza di alcune proprietà dalla temperatura (modulo elastico, coefficiente di espansione termica lineare, conduttività e calore specifico) oppure dal tempo (modulo elastico o conduttività)

Quanto detto sin qui è valido per ogni tipo di elemento (“beam”, “plate” o “brick”), mentre sono differenti le modalità per definirne la geometria.

Riportiamo di seguito la tabella 4, con i valori delle proprietà dei materiali utilizzate e se esse dipendono o meno da una variabile, nel qual caso si rimanda al paragrafo relativo per la loro definizione. Alcuni valori di tabella sono stati ragionevolmente stimati, poiché non siamo in possesso della definizione esatta.

MATERIALI	ρ (densità)		cp (calore specifico)		λ (conduttività)	
	dip. (x)	valore [kg/mc]	dip. (x)	valore [J/Kg°C]	dip. (x)	valore [W/m°C]
Promateck H	NO	870	NO	1000	SI	vedi "Promateck"
Lamiera (acciaio)	NO	7850	SI (T°)	vedi "Acciaio"	SI (T°)	vedi "Acciaio"
Silicone resistente al fuoco SIKA	NO	1470	NO	1000	NO	0.35
Tervol S - Lana a fiocchi	NO	80	NO	840	SI (T°)	vedi "Tervol S"
Tervol DP - Lana roccia	NO	80	NO	840	NO	0.035
Lamiera alluminio	NO	2700	SI (T°)	vedi "Alluminio"	SI (T°)	vedi "Alluminio"
Lamatherm - Lana roccia	NO	80	NO	840	NO	0.035
Lastra vetro	NO	2500	NO	1000	NO	1
Distanziatore	NO	1200	NO	1000	NO	0.25
Filtene	NO	10	NO	1470	NO	0.057
Guarnizioni	NO	1150	NO	1000	NO	0.25
Taglio termico	NO	1450	NO	1600	NO	0.3
Mattoni refrattari	NO	800	NO	1000	SI	vedi "Mattoni refrattari"
Cemento	NO	2400	SI (T°)	vedi "Cemento"	SI (T°)	vedi "Cemento"
Fibroceramica	NO	130	NO (900°C)	969	SI (T°)	vedi "Fibroceramica"

Tabella 4 Tabella delle proprietà dei materiali

Le norme o i cataloghi dei produttori forniscono le proprietà dei materiali esprimendo la temperatura in gradi Celsius, così come appare nei seguenti paragrafi. Si ricorda però che successivamente tali dati vengono implementati nel software agli elementi finiti convertiti in gradi Kelvin.

Acciaio

I dati utilizzati sono forniti dall'Eurocodice UNI EN 1993-1-2:2005

“Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1.2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio”.

La variazione di calore specifico è definita per intervalli di temperatura T dell'acciaio:

Per $20^{\circ}\text{C} \leq T < 600^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 425 + 7,73 * 10^{-1}T - 1,69 * 10^{-3}T^2 + 2,22 * 10^{-6} * T^3 \left[\frac{J}{KgK} \right]$$

Per $600^{\circ}\text{C} \leq T < 735^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 666 + \frac{13002}{738 - T} \left[\frac{J}{KgK} \right]$$

Per $735^{\circ}\text{C} \leq T < 900^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 545 + \frac{17820}{T - 731} \left[\frac{J}{KgK} \right]$$

Per $900^{\circ}\text{C} \leq T < 1200^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 650 \left[\frac{J}{KgK} \right]$$

e graficamente:

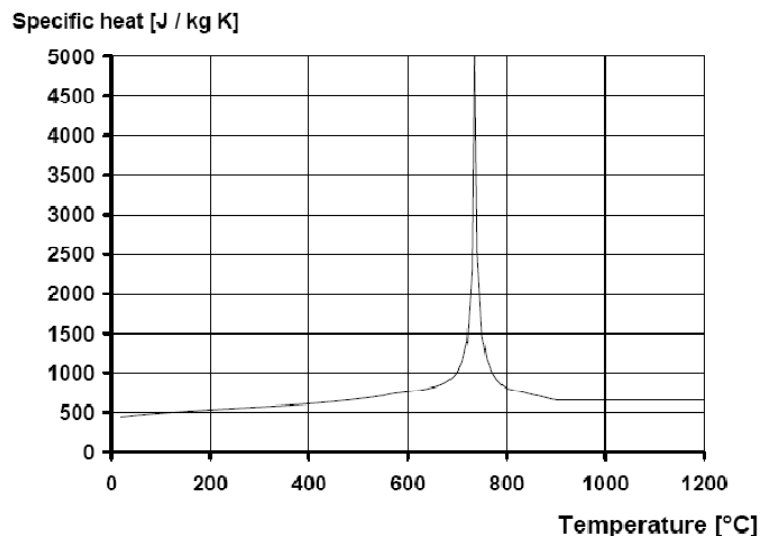


Figura V-5 Calore specifico dell'acciaio

La conduttività termica vale:

Per $20^{\circ}\text{C} \leq T < 800^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda = 54 - 3,33 * 10^{-2}T \left[\frac{W}{mK} \right]$$

Per $800^{\circ}\text{C} \leq T < 1200^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda = 27,3 \left[\frac{W}{mK} \right]$$

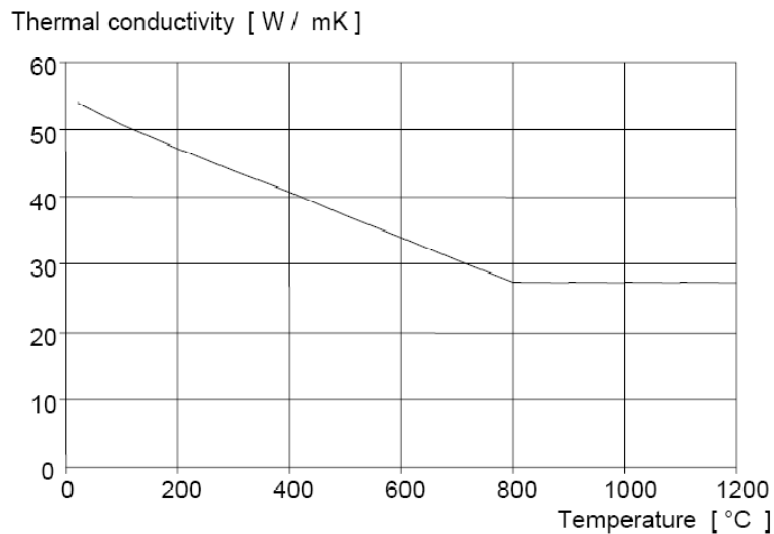


Figura V-6 Conduttività termica dell'acciaio

Alluminio

Si ottengono le proprietà dall'Eurocodice UNI EN 1999-1-2:2007 "Progettazione delle strutture in alluminio – Parte 1.2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio".

Il calore specifico dipende dalla temperatura T del materiale attraverso la relazione:

Per $0^{\circ}\text{C} \leq T < 500^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 0,41 * T + 903 \left[\frac{J}{KgK} \right]$$

e riportato su un grafico:

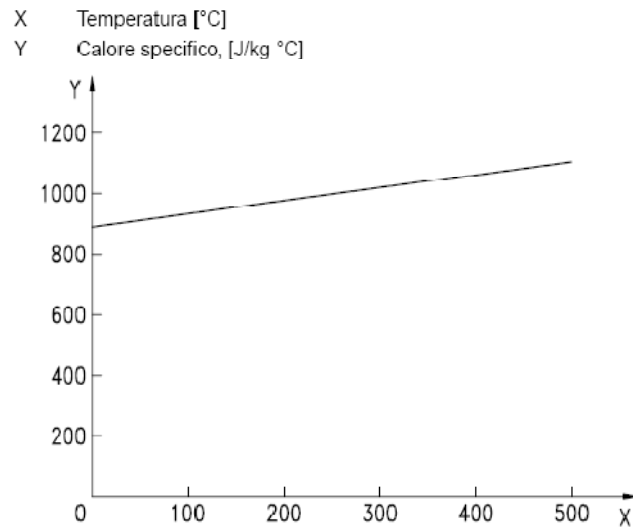


Figura V-7 Calore specifico dell'alluminio

La conduttività termica invece dipende dalla serie delle leghe cui appartiene:
Leghe della serie 2000, 4000, 5000, 7000 – Per $0^{\circ}\text{C} \leq T < 500^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda = 0,1 * T + 140 \left[\frac{W}{mK} \right]$$

Il grafico di figura V-8 riporta i valori sopra definiti unitamente a quelli per le altre serie:

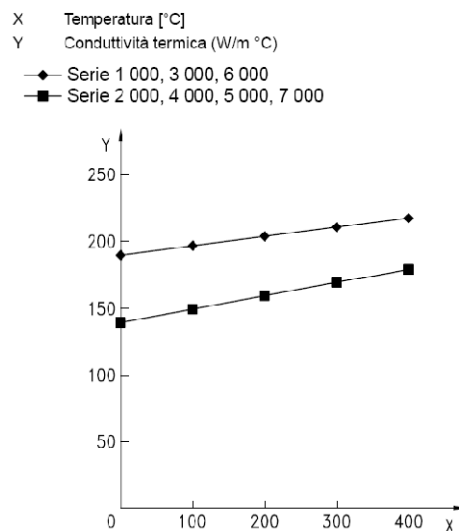


Figura V-8 - Conduttività specifica dell'alluminio

Cemento

L' Eurocodice UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture di calcestruzzo– Parte 1.2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio", fornisce le indicazioni necessarie.

Il calore specifico per un calcestruzzo asciutto vale:

Per $20^{\circ}\text{C} \leq T < 100^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 900 \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right]$$

Per $100^{\circ}\text{C} \leq T < 200^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 900 + (T - 100) \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right]$$

Per $200^{\circ}\text{C} \leq T < 400^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 1000 - \frac{(T - 200)}{2} \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right]$$

Per $400^{\circ}\text{C} \leq T < 1200^{\circ}\text{C}$:

$$c_p = 1100 \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right]$$

Il grafico di figura V-9 mostra l'andamento appena descritto e il picco compreso tra i valori di temperatura di 115°C e 200°C nel caso di umidità nel calcestruzzo pari al 1,5% ($c_{p,\text{picco}} = 1470 \text{ J/KgK}$) e al 3% ($c_{p,\text{picco}} = 2020 \text{ J/KgK}$):

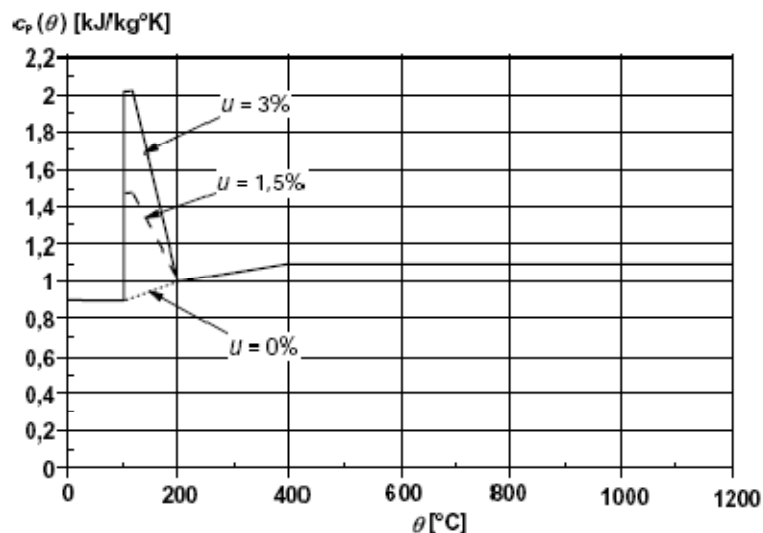


Figura V-9 Calore specifico del calcestruzzo

Per la nostra elaborazione consideriamo i dati indicati per un calcestruzzo asciutto.

La conduttività termica per un calcestruzzo tradizionale viene definita da un intervallo compreso tra due limiti:

Limite superiore: per $0^{\circ}\text{C} \leq T < 1200^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda = 2 - 0,2451 * \left(\frac{T}{100}\right) + 0,0107 * \left(\frac{T}{100}\right)^2 \left[\frac{W}{mK}\right]$$

Limite inferiore : per $0^{\circ}\text{C} \leq T < 1200^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda = 1,36 - 0,136 * \left(\frac{T}{100}\right) + 0,0057 * \left(\frac{T}{100}\right)^2 \left[\frac{W}{mK}\right]$$

E graficamente:

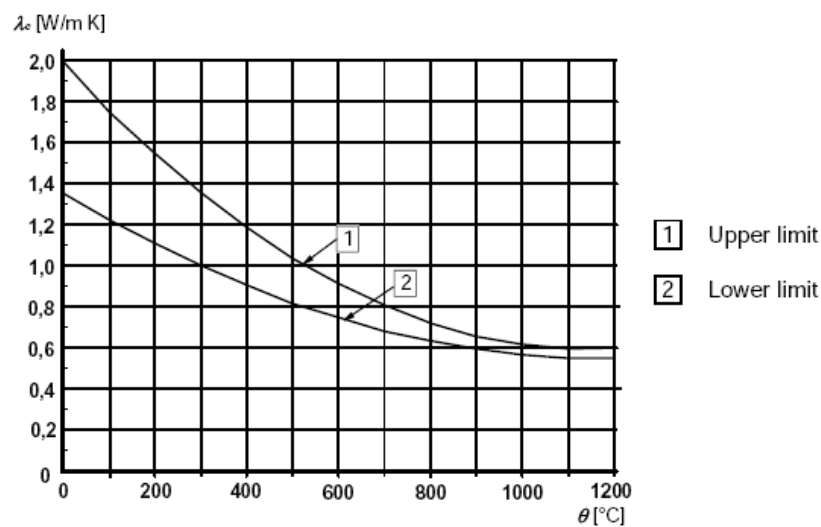


Figura V-10 Conduttività termica del calcestruzzo

I valori da utilizzare possono essere definiti nell'Annesso Nazionale; per la nostra analisi, non disponendo di tale dato abbiamo usato un valore intermedio.

Promateck

Il produttore fornisce un grafico che lega la conduttività alla variazione di temperatura del materiale, attraverso una relazione lineare:

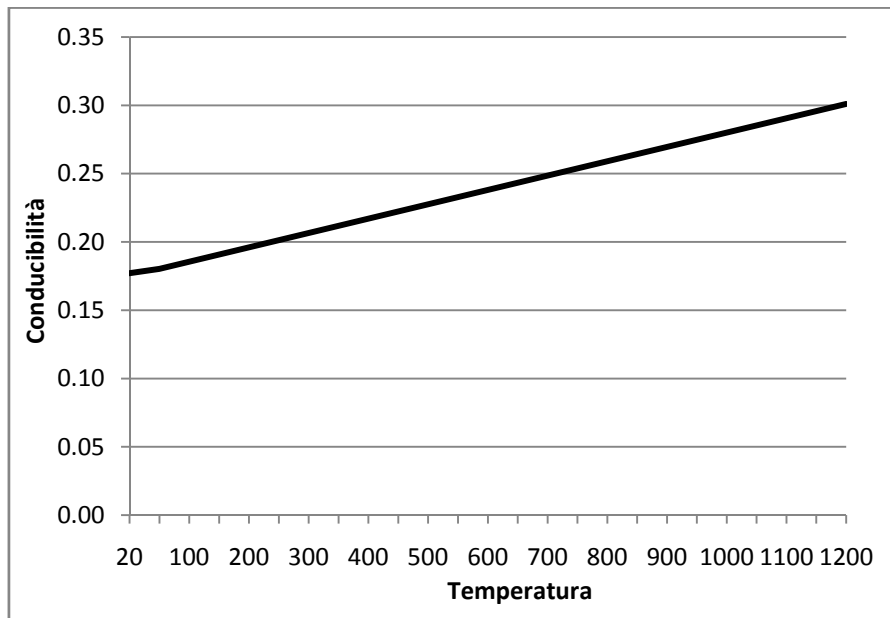


Figura V-11 Conduttività termica della lastra di Promateck

Tervol S

La conduttività termica viene dichiarata nella scheda tecnica, rispetto agli intervalli di temperatura seguenti di figura V-12:

CARATTERISTICHE	VALORI
CONDUCIBILITÀ TERMICA λ	
a -80° C	0,023
a -70° C	0,024
a -60° C	0,025
a -50° C	0,027
a -40° C	0,028
a -30° C	0,029
a -20° C	0,030
a -10° C	0,031
a 0° C	0,032
a 20° C	0,033
a 50° C	0,037
a 100° C	0,044
a 150° C	0,051
a 200° C	0,059
a 250° C	0,068
a 300° C	0,079
a 400° C	0,106
a 500° C	0,142
a 600° C	0,191

Figura V-12 Conduttività termica del materiale Tervol S

Fibrocera mica e mattoni refrattari

Il materiale viene fornito dal laboratorio di prova, per cui non siamo in possesso della scheda tecnica reale. Per questo motivo si utilizzano schede tecniche di materiali analoghi.

La conduttività dichiarata dal produttore per l'isolante in fibrocera mica è ricavata dalla tabella di figura V-13, per intervalli di temperatura:

CONDUCIBILITÀ TERMICA	200°C	0,072
	400°C	0,105
	600°C	0,163
	800°C	0,269
	1000°C	0,408
	1100°C	0,490

Figura V-13 – Conduttività fibrocera mica

Analogamente per i mattoni refrattari:

Conduttività termica (ASTM C-182) alla temperatura media di:

400°C	W/m.K	0.12
600°C	W/m.K	0.14
800°C	W/m.K	0.17
1000°C	W/m.K	0.19
1200°C	W/m.K	-
1400°C	W/m.K	-

Figura V-14 – Conduttività termica dei mattoni refrattari

Questo secondo prodotto viene utilizzato unicamente nella simulazione bidimensionale della sezione corrente del provino, perchè comprende anche l'intera sezione del forno di prova.

V - 2.2 Semplificazione del modello

Nell'approccio all'uso di un sistema agli elementi finiti è opportuno valutare se alcune caratteristiche del caso reale oggetto di studio possano essere eliminate. Molto spesso infatti, a seconda dei casi e delle applicazioni ingegneristiche, alcuni aspetti possono essere tralasciati, comportando una discrepanza del tutto trascurabile tra il dato numerico e quello reale.

Così facendo però è possibile individuare delle semplificazioni che riducono le tempistiche, sia di modellazione che di elaborazione dei dati da parte del computer, che in alcune occasioni possono diventare davvero onerose.

Talvolta inoltre non è possibile conoscere alcune variabili che il programma richiede; anche in questo caso si ricorre ad approssimazioni della realtà, fondate su basi scientifiche.

Facendo riferimento alle tavole riportate nel capitolo IV per il modello reale, si elencano di seguito le variazioni apportate.

Eliminazione vetrocamera

Il rapporto di prova redatto dall'Istituto Giordano⁴⁶ segnala che dopo 7 minuti dall'inizio del test avviene la rottura dei vetrocamera presenti nel modello.

Riteniamo quindi superfluo inserire tale componente nella simulazione, sia perché presente per un ristretto arco di tempo, rispetto ai 120 minuti totali, sia perché esso rappresenta un problema per il corretto svolgimento della parte successiva della simulazione.

Il programma Straus7 infatti non prevede la possibilità che un materiale possa cambiare di fase (per esempio rammollire a causa di alte temperature) o spaccarsi (per lo shock termico), cambiando così il regime delle forzanti sulla superficie del modello virtuale. Nella realtà questo però avviene, cosicché per ottenere dati coerenti si è operata questa scelta, applicando le forzanti direttamente agli strati retrostanti la vetrocamera; nel corso dell'analisi dei dati non deve stupire quindi se questi fossero leggermente più alti rispetto al caso reale nei primi minuti del test.

⁴⁶ Cfr. Allegato B

Questo accorgimento permette anche di eliminare la cavità interna al vetrocamera e tra vetrocamera e isolante, che come diremo nei punti successivi, rappresentano altre probabilità di inserire errori.

Eliminazione delle cavità

All'interno del modello sono presenti numerosi interstizi di dimensioni variabili, perché la presenza di vuoti permette sia di alleggerire il sistema costruttivo che di garantire un buon grado di isolamento termico.

Il meccanismo che regola la trasmissione di calore in queste situazioni è lo scambio termico per radiazione, e in misura minore per convezione.

Tuttavia il software utilizzato non è in grado di simulare il fenomeno radiativo tra due corpi, ma solo tra un corpo e l'ambiente ad una determinata temperatura o una sorgente di energia imposta⁴⁷.

Per questo motivo abbiamo scelto di eliminare dove possibile la presenza di piccole cavità; la scelta è stata fatta in base alle loro dimensioni (nell'ordine di alcuni millimetri), della loro posizione, della prossimità a punti di misurazione.

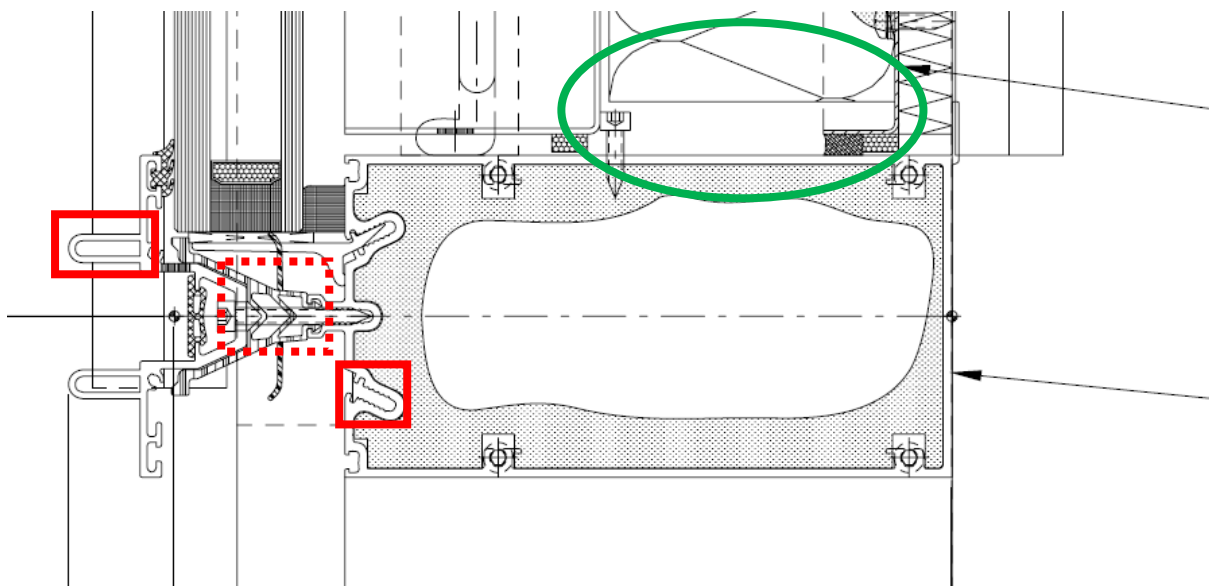


Figura V-15 Particolare del traverso inferiore della facciata continua

Abbiamo evidenziato in figura V-15 alcuni esempi delle semplificazioni effettuate:

⁴⁷ Vedi Strand R2.4 Online Help (www.strand7.com)

- i rettangoli rossi rappresentano alcune cavità all'interno del traverso (linea continua) o del taglio termico (linea tratteggiata), eliminate in quanto ininfluenti ai fini del risultato finale;
- l'ovale verde individua una cavità propria del sistema costruttivo, troppo sottile per avere ripercussioni sui risultati finali, soprattutto a causa della lontananza dai punti di misurazione; è stata riempita nel modello informatico aumentando il volume del materiale isolante soprastante.

Aria ferma

Non è stato possibile eliminare alcune cavità perché giudicate troppo influenti sul risultato finale, generalmente quelle di dimensioni maggiori. È questo il caso delle cavità all'interno dei montanti, con dimensioni dell'ordine di una decina di centimetri.

Come già spiegato al punto precedente il software non è in grado di riconoscere queste situazioni, per cui la soluzione adottata è stata quella di utilizzare un "mezzo solido", cioè uno strato di materiale equivalente con le caratteristiche termodinamiche dell'aria ferma, che sono note in funzione della temperatura⁴⁸:

Temp (K)	ρ (kg/mc)	cp (kJ/kgK)	$\mu \cdot 10^7$ (Ns/mq)	$\nu \cdot 10^6$ (mq/s)	$k \cdot 10^3$ W/mK	$\alpha \cdot 10^6$ mq/s	Pr
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728

Tabella 5 Proprietà termodinamiche dell'aria ferma

⁴⁸ SFPE – Handbook of Fire Protection Engineering – 1-71, tabella 1-3.5

In questo modo si risolve anche la determinazione dei coefficienti convettivi delle superfici, anch'essi di difficile determinazione.

Inoltre il programma richiede, sia per lo scambio convettivo che radiativo, di inserire la temperatura dell'ambiente con cui avviene lo scambio, delle cavità in questo caso, che a priori è incognita.

Eliminazione piastra in acciaio

La configurazione della facciata prevede sul lato non esposto esterno al forno la presenza di due piastre metalliche in acciaio, in corrispondenza degli angoli.



Figura V-16 Posizione delle piastre metalliche

Esse hanno la funzione di garantire la tenuta alle fiamme e ai fumi che possono infiltrarsi attraverso le giunzioni dei materiali. Nel modello agli elementi finiti non è prevista la possibilità di inserire tali componenti dell'incendio, perché non si tratta di un software fluidodinamico; per questo motivo e per lo spessore molto ridotto che comporta complicazioni nella mesh, riteniamo opportuno omettere questo particolare.

Nei capitoli successivi vengono chiarite le implicazioni di questa semplificazione.

Comportamento dell'alluminio alle alte temperature

Nel paragrafo sulla definizione delle proprietà termiche dei materiali (cap. V-5.2) abbiamo descritto le proprietà assunte per l'alluminio sulla base delle

indicazioni fornite dall'Eurocodice UNI EN 1999-1-2:2007. Queste però vengono definite solo fino alla temperatura di 500°C, perché per valori più alti il materiale giunge a fusione.

La curva d'incendio esterno impone sul provino per gran parte del periodo di prova una temperatura di circa 680°C (vedi figura IV-32).

L'approssimazione in questo caso consiste nel considerare che le proprietà dell'alluminio a queste temperature siano pari a quelle dei valori estremi definiti nelle norme.

Nel caso reale la fusione del materiale porta gli strati retrostanti a diretto contatto con le fiamme o i fumi di combustione caldi.

Nel modello gli elementi in alluminio si portano rapidamente a temperature prossime a quelle della curva d'incendio esterno (660-670°C), imponendo egualmente una sollecitazione termica simile sui materiali limitrofi.

Si ritiene quindi di introdurre un errore limitato attraverso questa semplificazione, grazie al fatto che l'alluminio è altamente conduttivo e permette una facile trasmissione del calore.

Eliminazione connettori puntuali

La modellazione informatica ha ommesso di riportare la presenza di viti, tasselli e connettori vari; si tratta di elementi di discontinuità puntuali, il cui inserimento avrebbe complicato eccessivamente il modello,. All'interno degli strati di materiale la loro influenza è limitata alle zone limitrofe; sulle superfici esterne non c'è trasmissione di calore perché le parti terminali sono state sigillate con apposito silicone.

V - 2.3 Forzanti e condizioni al contorno

Rappresentano le condizioni affinché si inneschi la trasmissione di calore dall'interno del forno verso la superficie esterna. La loro determinazione si basa su alcuni dati registrati durante l'esperienza di laboratorio e sulle indicazioni fornite dalle norme.

Condizioni interne – curva d’incendio esterno

È la forzante termica principale della simulazione. Il suo andamento è definito rispetto al tempo di prova secondo la relazione già enunciata in III-2.1

Questa viene imposta nel modello come temperatura a cui si porta l’aria all’interno del forno e si considera valida per ogni superficie interna al forno.

Sono invece i coefficienti di scambio termico superficiale a variare per le superfici direttamente rivolte o meno verso i bruciatori.

Per la porzione di facciata esposta direttamente alle fiamme si utilizza il coefficiente di scambio termico convettivo $h_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ suggerito dall’Eurocodice 1 parte 1.2 cap. 3.2.2 (5)⁴⁹; il valore alto del coefficiente significa che a causa delle temperature imposte internamente e della velocità con cui crescono, si innescano nel forno dei sensibili moti convettivi.

È necessario aggiungere poi un coefficiente che regoli lo scambio termico radiativo; secondo le richieste del programma, questo è dato dal valore dell’emissività ε dei materiali per un fattore di forma (F): $h_r = \varepsilon * F$.

In via del tutto generale si assume come valore di emissività $\varepsilon = 0,9$ valido per gran parte dei materiali da costruzione, mentre viene assunto $F = 1$, tipico dello scambio termico tra due superfici opposte e parallele.

Sulla faccia non esposta del provino all’interno del forno si considera valida la prescrizione fornita dall’Eurocodice⁵⁰ 1 parte 1.2 cap. 3.1 (5), che indica un valore del coefficiente di scambio termico pari a $h = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$; tale valore è valido per la faccia non esposta di elementi di separazione e considera sia il contributo convettivo che radiativo.

Condizioni esterne – ambiente

In questo caso la definizione della temperatura ambientale è meno precisa, perché si basa su interpretazioni del caso specifico. Il rapporto di prova registra

⁴⁹ Vedi UNI EN 1991-1-2:2004 “Azioni sulle strutture esposte al fuoco”

⁵⁰ Vedi UNI EN 1991-1-2:2004 “Azioni sulle strutture esposte al fuoco”

un valore di temperatura ambiente per il capannone in cui si è stata eseguita pari a 5°C. Questa è valida come condizione iniziale e del tutto generale, ma nel corso del test il calore rilasciato dalle superfici esterne del provino e del forno hanno riscaldato l'aria immediatamente circostante; purtroppo non esiste una rilevazione strumentale di tale dato.

È necessario però imporre una temperatura ambiente ragionevole e più alta dei 5°C iniziali, perchè se la temperatura ambiente si mantiene molto bassa per tutta la durata della prova, il programma calcola delle dispersioni eccessive verso l'ambiente esterno e delle temperature superficiali esterne inferiori.

Basandoci sulle testimonianze dei presenti, viene fissato un valore di 293°K (20°C) per tutta la durata della prova.

Il coefficiente di scambio termico per la superficie verticale non esposta esterna al forno è pari a $h = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EC1 parte 1.2 cap. 3.1 (5)⁵¹), che comprende i contributi di trasmissione del calore per conduzione e convezione.

Per le altre superfici, quelle orizzontali, che non appartengono direttamente alla configurazione della facciata, abbiamo utilizzato coefficienti di carattere più generale, forniti dall'Annesso B della norma UNI EN ISO 10077-2:

$$h = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h = 5 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (\text{ridotto})$$

Entrambi i coefficienti considerano sia lo scambio per convezione e radiazione; quello ridotto viene utilizzato in prossimità del giunto soletta-facciata per tener conto dello scambio termico radiativo tra superficie verticale e orizzontale.

Temperature iniziali

Attenendoci alla temperatura registrata nel rapporto di prova redatto dall'Istituto Giordano, imponiamo in ogni punto del modello una temperatura iniziale di 5°C pari a 278 °K.

⁵¹ Vedi UNI EN 1991-1-2:2004 "Azioni sulle strutture esposte al fuoco"

V - 2.4 Mesh

L'esperienza di tesi ha portato alla creazione di due modelli distinti della prova di resistenza al fuoco, bidimensionale e tridimensionale.

Nel primo caso si utilizzano elementi definiti "plates", cioè triangolari o rettangolari, nel secondo parallelepipedi a base triangolare o quadrata, i cosiddetti "brick".

I vertici di tali figure sono detti "nodi" e sono i punti sensibili per la definizione della temperatura; in essi infatti può essere imposto a priori un valore e sempre negli stessi punti vengono restituiti dal solutore i risultati finali.

Per gli elementi che si trovano sul bordo del modello può essere imposto una temperatura ambientale e un coefficiente di radiazione e convezione per regolare gli scambi termici tra il suo contorno e l'ambiente

Modello 2D

È stato il primo ad essere creato e rappresenta la sezione tipo verticale della facciata.

È servito inizialmente per testare la qualità degli assunti principali che riguardano materiali e condizioni al contorno e per calibrare il modello a causa della mancanza di alcune informazioni (per esempio la temperatura ambiente nei pressi delle superfici esterne).

La sezione del modello, considerando le semplificazioni spiegate in V-2.2 assume la forma di figura V-17 e V-18:

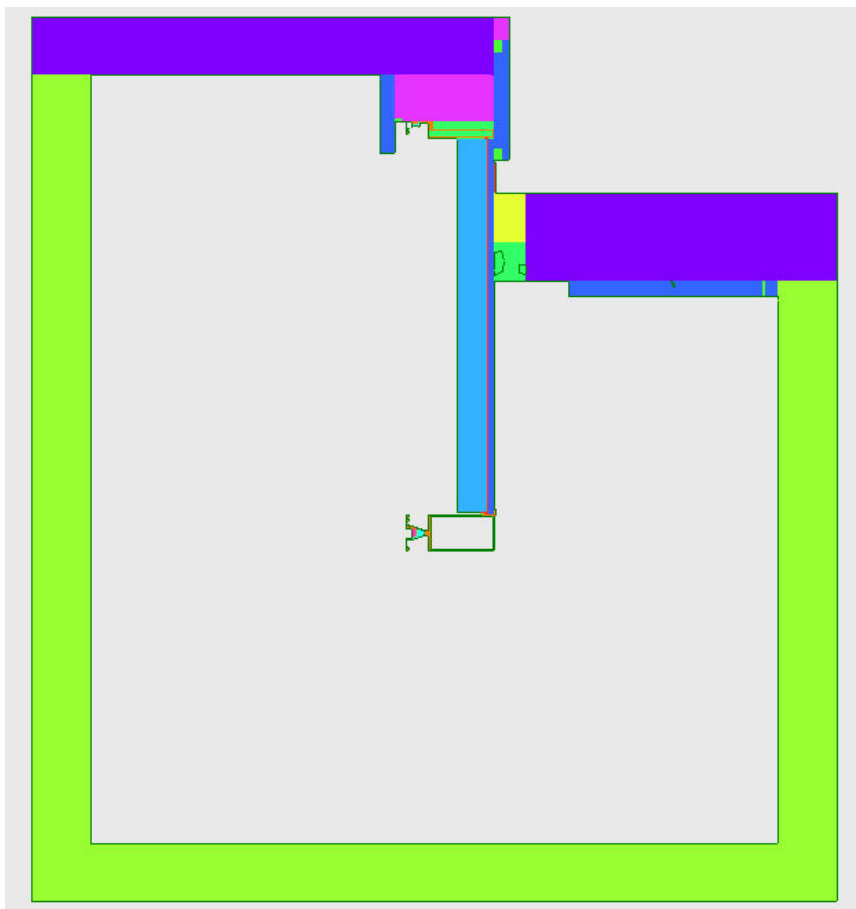


Figura V-17 Sezione verticale del modello di test

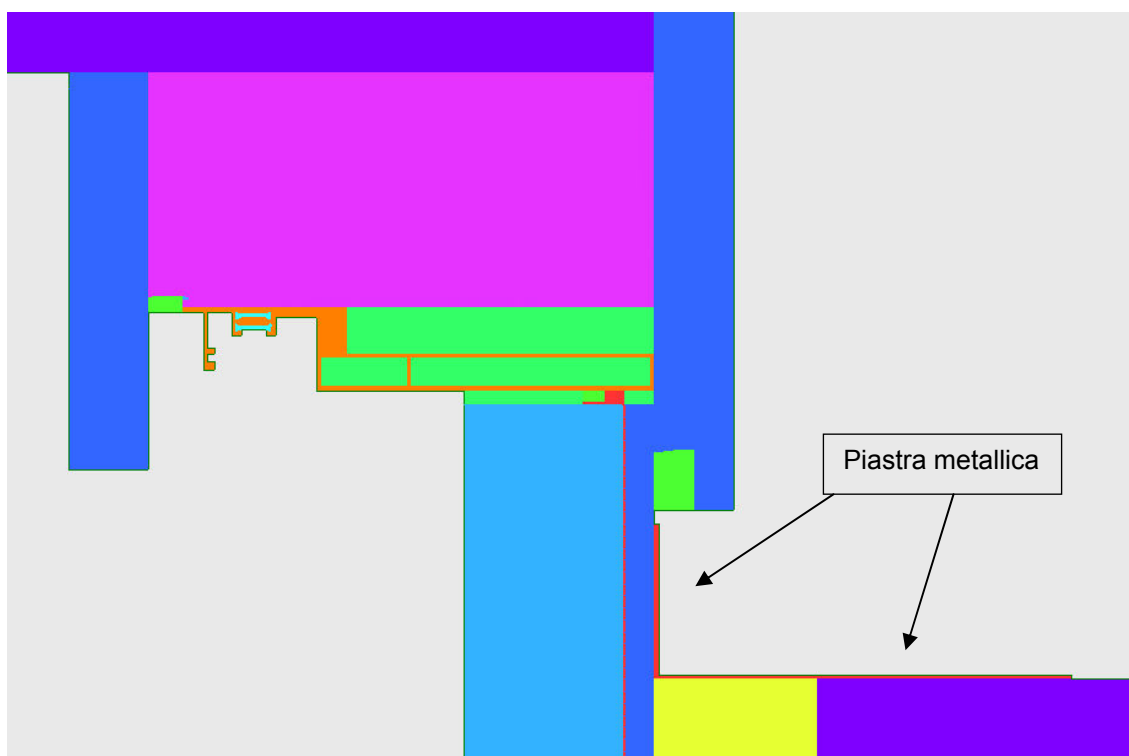


Figura V-18 Particolare del modello di test – superficie esterna non esposta

Dalle immagini precedenti si vede come la modellazione abbia interessato la sezione totale del modello di prova, compreso il forno, perché la simulazione impiega un breve periodo di tempo; si precisa che nelle figure a materiali differenti corrispondono colori diversi.

La figura V-18 mette in luce un particolare, quello della piastra metallica di chiusura (elemento a L rosso) nei pressi del giunto soletta-facciata, che nel capitolo V-2.2 abbiamo dichiarato di omettere.

Nelle prime simulazioni condotte i risultati di temperatura sulla superficie orizzontale nei pressi della piastra apparivano molto bassi e distanti da quelli del test di laboratorio. Si è pensato che ciò fosse imputabile al fatto che la piastra in acciaio, molto conduttiva, si scaldasse nella parte a contatto con la superficie verticale più calda, e trasmettesse parte di questo calore.

Abbiamo deciso così di ripristinare tale elemento, grazie al quale si ottengono risultati più simili al caso reale.

Da questo modello provengono i dati relativi alle termocoppie esterne al forno.

Modello 3D

La configurazione particolare della facciata nei pressi del montante richiede un'analisi tridimensionale, perché le stratigrafie e i materiali variano in due direzioni distinte, talvolta anche con la presenza di elementi puntuali.

Il modello è stato creato estrudendo una sezione orizzontale opportunamente preparata, che comprende il montante e il resto della facciata per una larghezza totale di circa mezzo metro. In questo caso i profili dei montanti hanno subito ulteriori semplificazioni.

Le figure successive mostrano il suo aspetto finale:

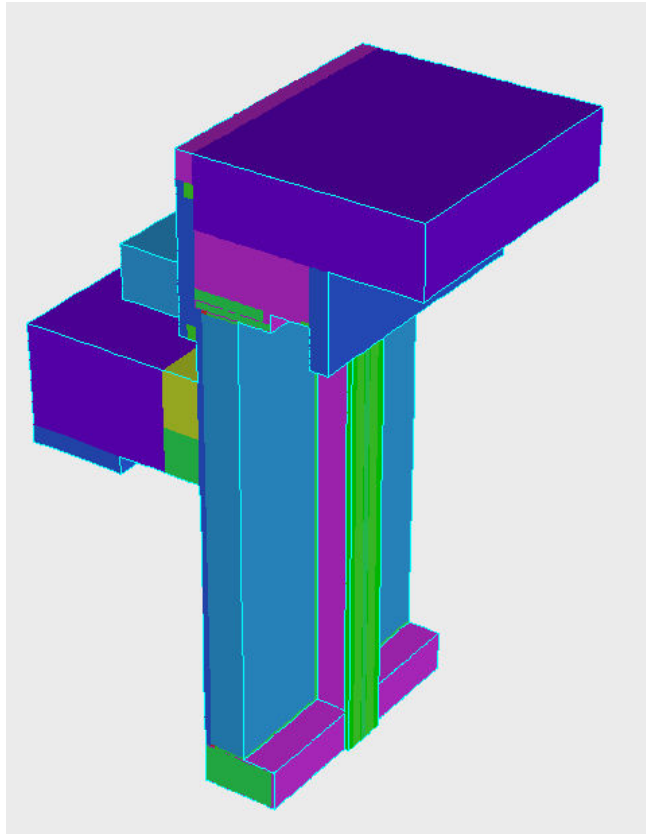


Figura V-19 Vista frontale – lato esposto

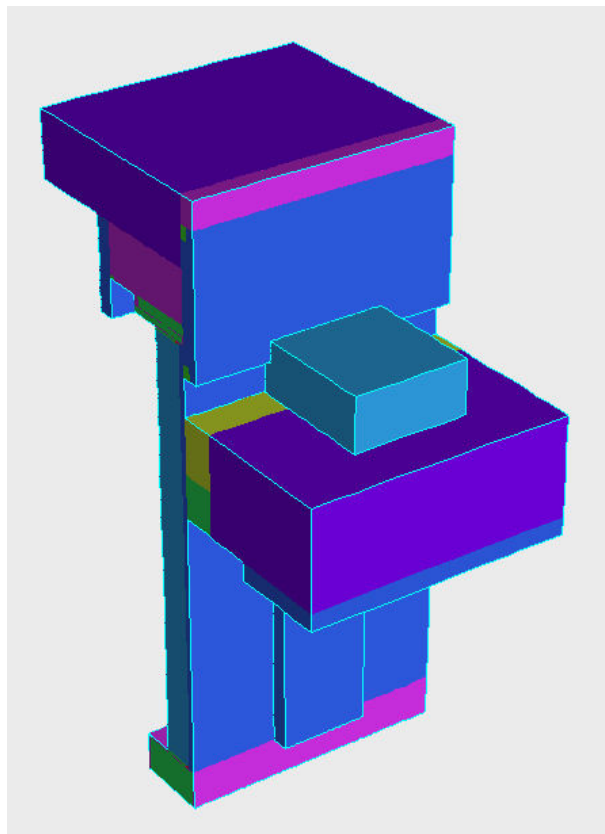


Figura V-20 Vista posteriore – lato non esposto

Anche in questo caso ciascun materiale è contrassegnato in colori differenti.

Il modello è delimitato da due piani di sezione paralleli alla facciata, che intersecano le due lastre di cemento; non viene compreso quindi il forno per intero, perché il tempo di elaborazione dei dati risulta già elevato.

Per lo stesso motivo non è qui presente la piastra di metallo che chiude il nodo tra solaio e facciata, secondo quanto indicato nel capitolo V-2.2; per tale motivo utilizziamo di questa simulazione solo i dati relativi alle temperature interne al forno.

V - 2.5 Solutore

Il programma risolve il sistema di equazioni che permette di calcolare le temperature incognite dei nodi degli elementi.

L'equilibrio del sistema, scritto in notazione matriciale, diviene:

$$[K] \{T\} + [C] \{\dot{T}\} = \{F\}$$

dove

- [K] è la matrice di conduttività del sistema (il programma la chiama "di rigidità" per analogia con il caso strutturale)
- [C] è la matrice che contiene le informazioni sulla capacità termica del sistema
- {F} è il vettore dei carichi applicati (condizioni al contorno)
- {T} è il vettore delle temperature nodali del sistema
- { \dot{T} } rappresenta la variazione di temperatura di T nel tempo

Note le condizioni di temperatura, viene calcolato il flusso termico per ciascun elemento.

Dal momento che si tratta di un fenomeno di trasmissione del calore in regime transitorio, viene richiesto di determinare degli intervalli temporali, o "step", in cui viene suddivisa la durata totale dell'analisi.

La scelta di questi intervalli è molto importante nel nostro caso perché il programma assembla le matrici che rappresentano il sistema all'inizio di

ciascuno di essi. Gli elementi che compongono l'equazione di equilibrio possono dipendere dal tempo (per esempio il vettore dei carichi applicati {F}) per i quali vengono utilizzati i valori dell'istante iniziale dello "step" temporale; oppure dalla temperatura (per esempio la matrice di conduttività [K] o capacitiva [C]), nel qual caso valgono le proprietà riferite alle temperature superficiali raggiunte da ciascun materiale all'inizio dello "step".

Ciascuna proprietà rimane costante per tutto l'intervallo di tempo: se la durata di uno "step" è maggiore del periodo con cui variano alcune proprietà o forzanti del sistema, si introduce un errore nella simulazione, perché queste modificazioni non vengono prese in considerazione fino al successivo "step".

Un numero maggiore di "step" dalla durata più ridotta garantisce una soluzione più precisa, ma allo stesso tempo aumenta il tempo della simulazione.

Un numero troppo basso di "step" dalla durata troppo elevata possono risultare imprecisi o addirittura a portare a soluzioni inconsistenti e quindi inutili.

Allo stesso modo se la variabilità delle forzanti del sistema avviene in intervalli di tempo molto grandi, ma si necessita di "step" di breve durata (per esempio per raccogliere molti dati), è possibile mantenere la composizione delle matrici per intervalli di tempo maggiori del singolo "step".

Alla luce delle osservazioni sin qui fatte abbiamo scelto:

Modello	N° step	Durata singolo step	Registrazione dati
2 D	120	60 secondi	ogni step
3 D	24	300 secondi (5 min)	ogni step

Tabella 6 Parametri temporali di simulazione

Per il caso bidimensionale abbiamo scelto "step" da un minuto perché corrispondono alla frequenza con cui sono stati registrati i valori di temperatura dall'istituto che ha condotto la prova sperimentale.

Nel modello tridimensionale del montante si è reso necessario aumentare la durata di ciascun "step" e trovare un compromesso tra un tempo ragionevole di simulazione, che pure rimane molto alto, e l'accuratezza dei risultati.

Quando si avvia il processo di risoluzione del sistema, vengono stampati a video alcuni messaggi che informano periodicamente sul procedimento.

Nel caso compaiano messaggi di errore o di allerta è opportuno capire la natura di tali messaggi, prima di procedere ad un utilizzo dei risultati.

V - 2.6 Risultati

I valori di temperatura ricavati dal modello vengono messi a confronto con i dati registrati nel corso dell'ultimo test di laboratorio

I dati di termocoppie in posizioni equivalenti sul provino vengono accorpati nei seguenti gruppi, distinti tra punti di misura interni ed esterni:

Termocoppie esterne

- Sulla superficie verticale (uno a metà dell'interasse di ciascun montante, a circa 20 cm dal piano del solaio)
- Sulla superficie orizzontale (a circa 2 cm dal piano verticale, uno a metà degli interassi tra montanti centrali e d'angolo, due lungo l'interasse dei due montanti centrali)
- Sulla superficie orizzontale (a circa 6-7 cm dal piano verticale, uno posizionato centralmente per ciascuno degli interassi dei montanti)
- Sulla superficie orizzontale (a circa 12 cm dal piano verticale, uno a metà degli interassi tra montanti centrali e d'angolo, due lungo l'interasse dei due montanti centrali)

Termocoppie interne

- Interno montanti (uno all'interno di ciascun montante, a metà altezza)
- Montante sinistro⁵² (sul lato interno al forno non esposto, uno a metà altezza e uno in prossimità del traverso inferiore)
- Interspazio inferiore (due sensori sulla superficie inferiore della lana rigida, circa 10 cm da ambo le parti rispetto alla mezzeria di un montante)

⁵² Le termocoppie relative al montante destro hanno restituito risultati non attendibili al termine della prova e non vengono qui considerati

- Interspazio intermedio (stesse posizioni dei precedenti, sul piano compreso tra lana rigida e lana a fiocchi)
- Interspazio superiore (stessa posizione dei precedenti, sul piano superiore della lana a fiocchi)
- Sul traverso superiore (due distribuiti uniformemente lungo l'interasse dei montanti centrali)

A differenza di quanto si vede nelle figure IV-30 e IV-31 e nel rapporto di prova in allegato B dove sono riportati i valori singoli di temperatura, vengono di seguito inseriti nei grafici i valori medi e massimi dei precedenti gruppi di termocoppie (curva "Tc – lab"). In questo modo si cerca di minimizzare le differenze tra i sensori dovuti alle tolleranze di montaggio del provino, di posizionamento degli strumenti e di esposizione nel forno e fornire un termine di confronto idoneo per i dati del modello numerico.

La curva analitica inserita è la stessa per ogni gruppo di termocoppie ("Fem"), dal momento che il modello agli elementi finiti restituisce risultati del tutto simmetrici e non inficiati dal problema delle tolleranze come nel caso reale.

Si ricorda che le temperatura fornite dalle termocoppie interne sono messi a confronto con i dati del modello tridimensionale, mentre quelle delle termocoppie esterne sono confrontare con i valori ricavati dal modello in due dimensioni.

Superficie non esposta verticale (TC 1 – 2 – 3)

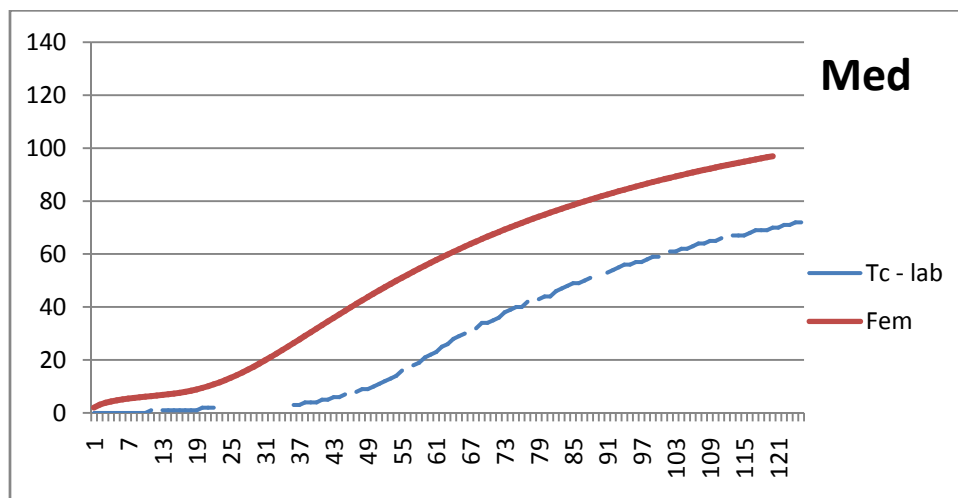


Figura V-21 Superficie verticale, valori medi

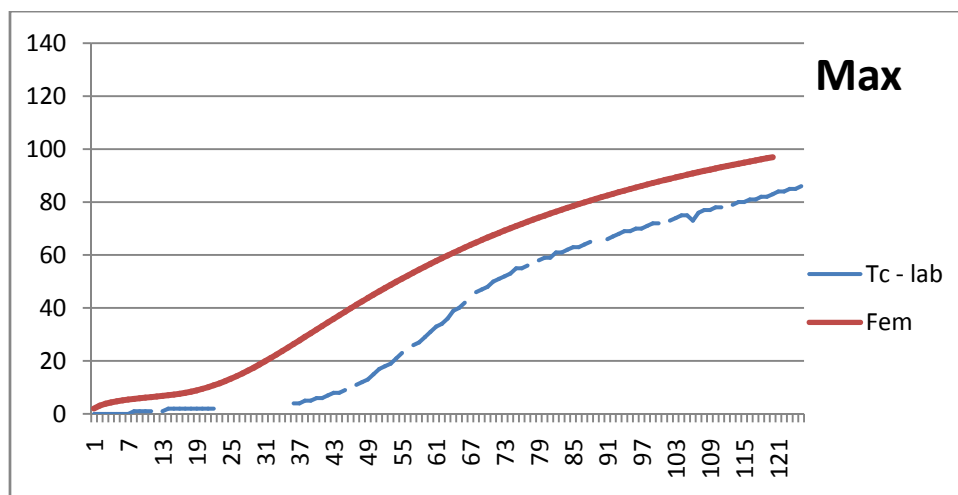


Figura V-22 Superficie verticale, valori massimi

Sono le curve più significative per il risultato della prova, perché rappresentano le temperature per la quale la normativa impone i limiti.

I valori superiori ottenuti dalla modellazione informatica possono essere giustificati dalla vicinanza del traverso superiore in alluminio; poiché il materiale non cambia fase in Straus7, le temperature dell'elemento salgono fino a quelli della curva di carico, provocando una sorta di esposizione diretta degli strati vicini.

Tuttavia poiché la curva più alta è quella del metodo agli elementi finiti, nel caso in cui si decida di affidarsi a tali dati, è possibile operare con un certo margine di sicurezza.

Superficie orizzontale vicina (TC 4 – 5 – 6 – 7)

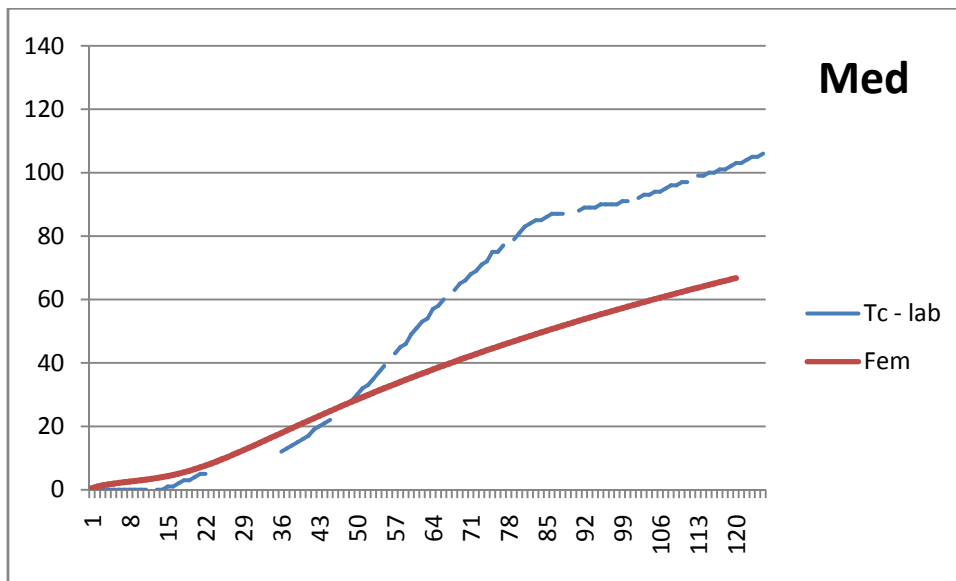


Figura V-23 Superficie orizzontale vicina, valori medi

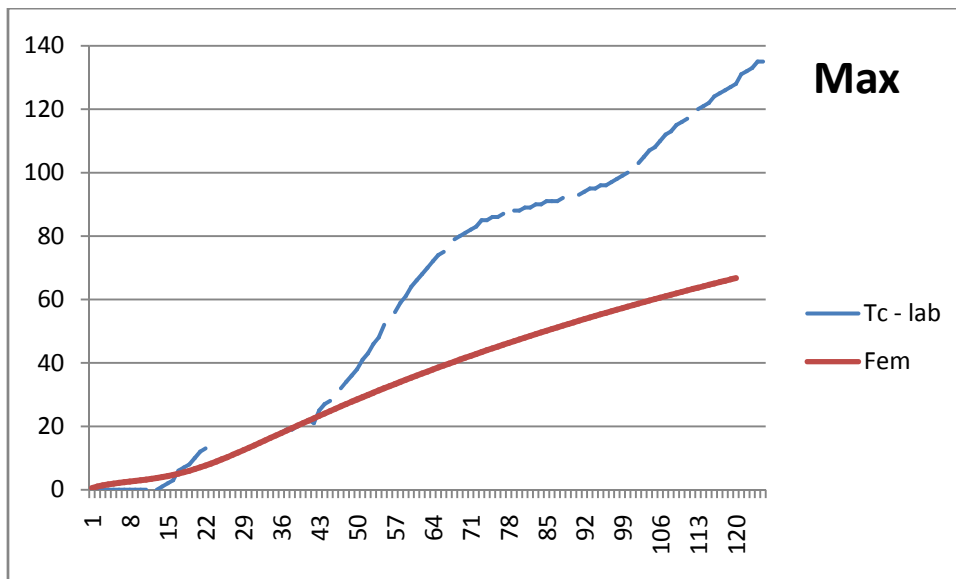


Figura V-24 Superficie orizzontale vicina, valori massimi

Riconosciamo un comportamento simile tra le curve nella prima parte della prova (40-50 minuti). Successivamente però esse divergono troppo per poter pensare di sfruttare i dati dell'analisi informatica; essi appaiono inferiori al caso reale, quindi sottostimano la trasmissione del calore.

Superficie orizzontale intermedia (TC 8 – 9 – 10)

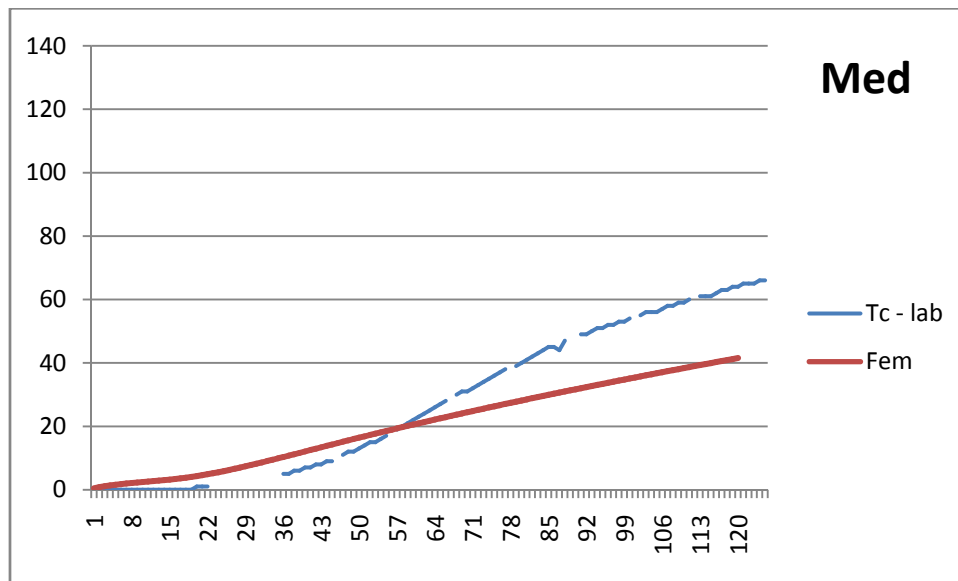


Figura V-25 Superficie orizzontale intermedia, valori medi

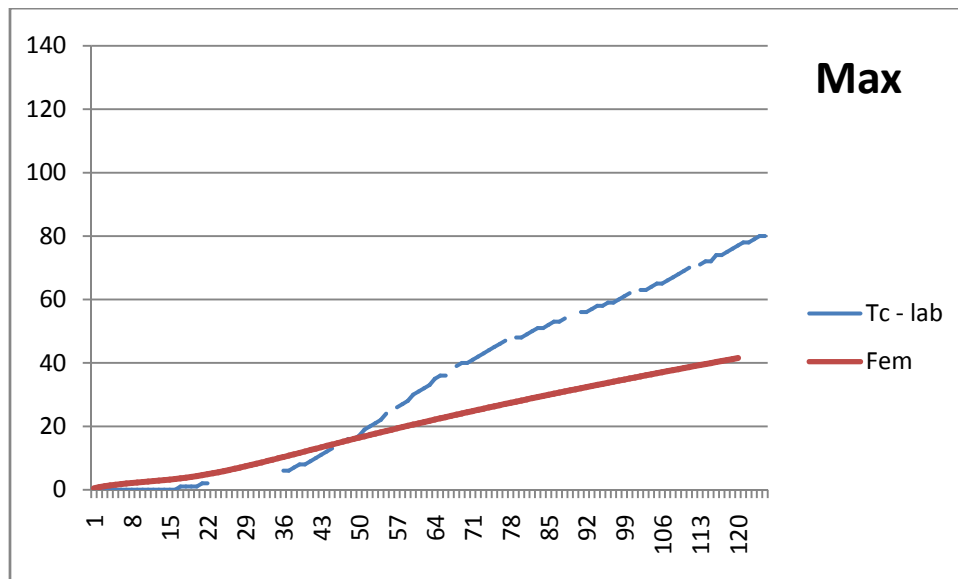


Figura V-26 Superficie orizzontale intermedia, valori massimi

Nella prima parte della prova osserviamo un comportamento della curva rossa a favore di sicurezza, rispetto a quella del test. Intorno ai 60 minuti però avviene un'inversione di tendenza, che porta le due curve ad un divario finale intorno ai 20 °C (t° media).

Superficie orizzontale lontana (TC 11 – 12 – 13 – 14)

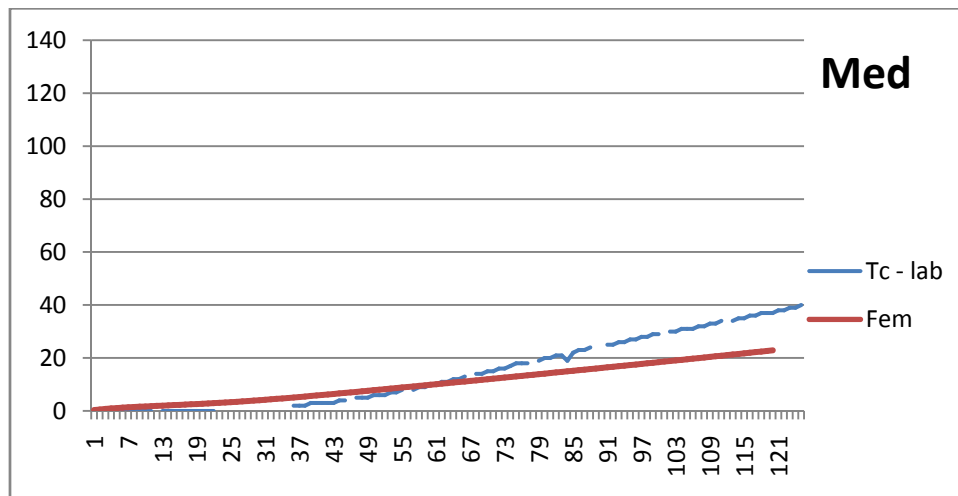


Figura V-27 Superficie orizzontale lontana, valori medi

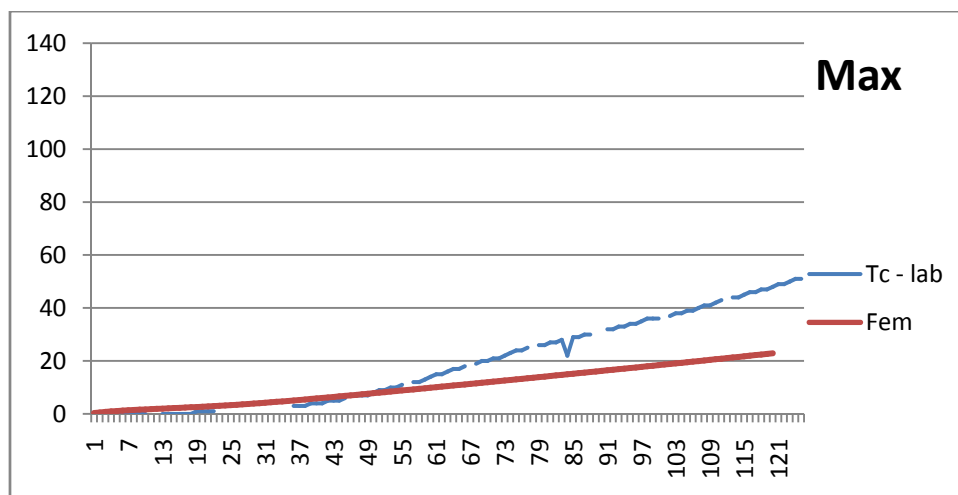


Figura V-28 Superficie orizzontale lontana, valori massimi

Notiamo lo stesso comportamento tra questa coppia di curve e i due punti di misura precedenti, con le curve rosse più alte fino ai 60 minuti circa, per poi scendere al di sotto di quella blu. Rispetto alle altre la differenza è meno marcata; ciò significa che l'errore si riduce tanto più ci si allontana dalla facciata.

Ricordiamo che questi dati provengono da un modello bidimensionale della sezione tipo, quindi più preciso nei confronti della trasmissione del calore, lato non esposto.

Interno montanti (TC 19 – 20)

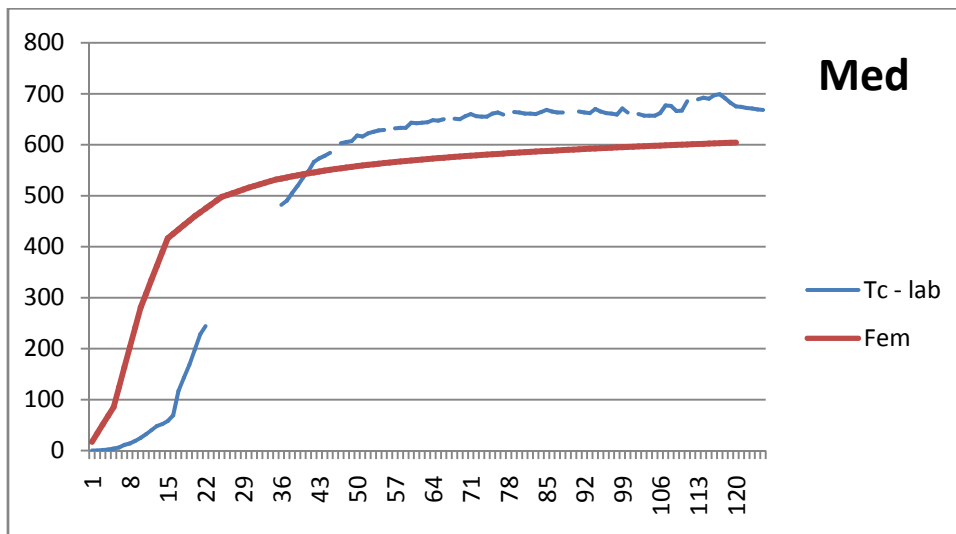


Figura V-29 Interno montanti, valori medi

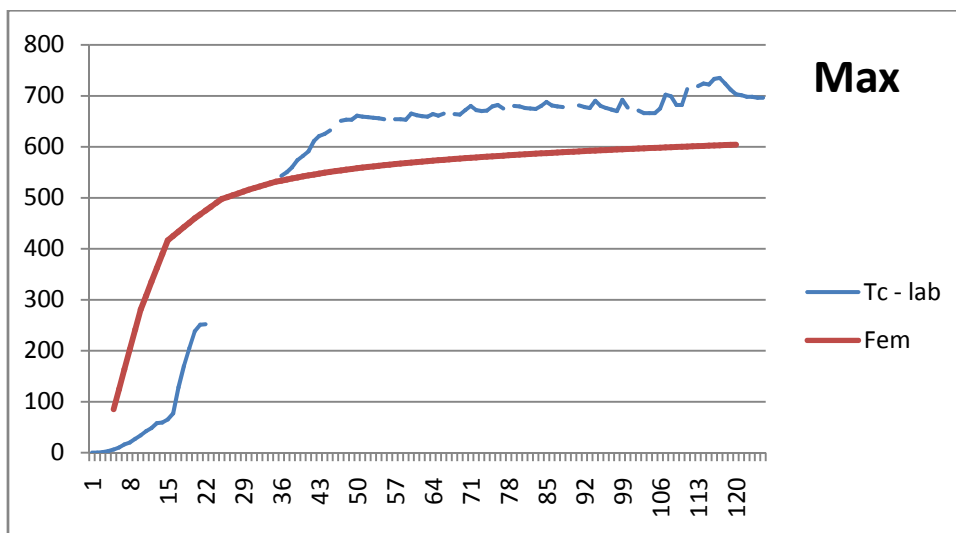


Figura V-30 Interno montanti, valori massimi

I risultati mostrano un andamento simile e si potrebbero usare con i giusti coefficienti di sicurezza. Persiste qualche dubbio sulla loro affidabilità, perché sono fortemente condizionati dai materiali modellati come “alluminio” e “aria” che come vedremo non danno risultati apprezzabili.

Da notare che i valori prossimi alle temperature tipiche della curva d'incendio esterno (raggiunti dopo un'ora) non sono significativi.

Montante sinistro (TC 23 – 24)

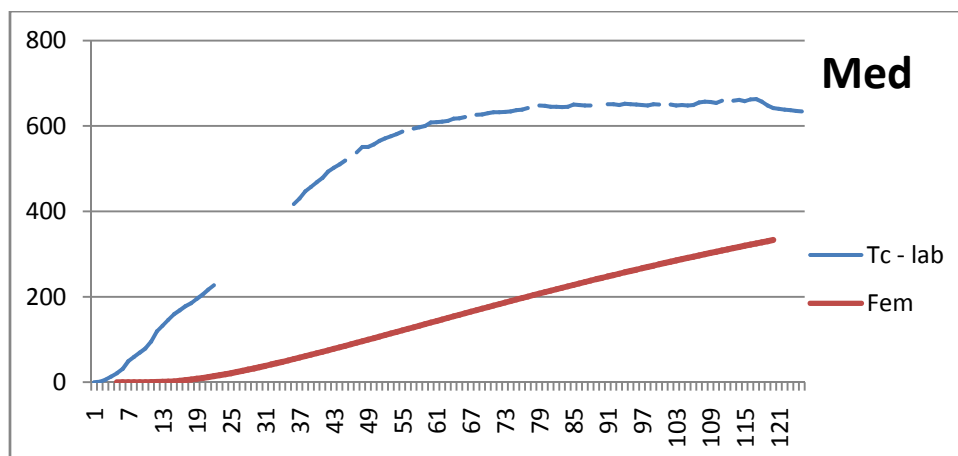


Figura V-31 Montante sinistro, valori medi

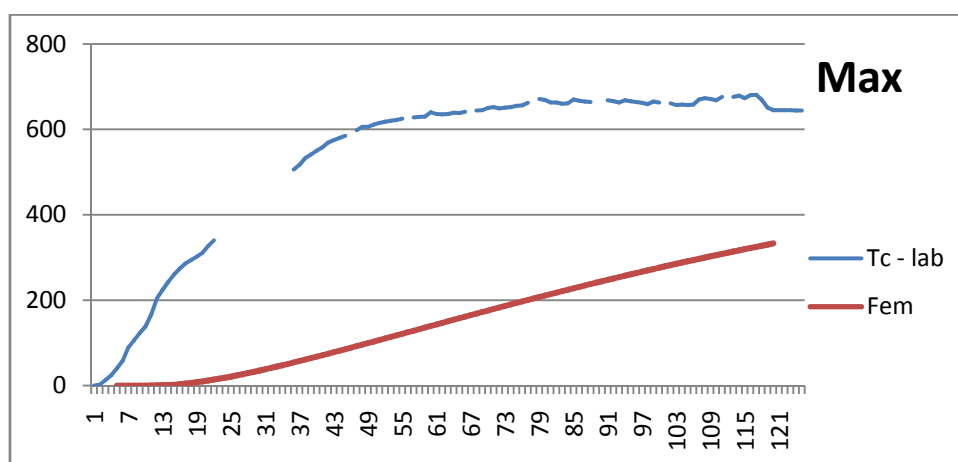


Figura V-32 Montante sinistro, valori massimi

È evidente una forte differenza di risultati tra il caso sperimentale e quello analitico. Le termocoppie sono posizionate tra il montante e la lastra di Promateck (isolante), nella parte interna del forno ma non esposta direttamente; la maggior quantità di calore viene trasmessa dalla parte anteriore del provino, per conduzione nell'alluminio e per radiazione nella cavità. Si ritiene che la modellazione dell'aria nella cavità del montante e dell'alluminio nel suo spessore non sia adeguata alla situazione.

I dati delle curve sperimentali si allineano, dopo 80-90 minuti dall'inizio del test, a quelli della curva d'incendio esterno (680°C); questo è sintomo del fatto che i materiali nelle zone intorno ai sensori si sono sciolti, cosa che non è possibile simulare in Straus7. Al termine della prova abbiamo avuto la conferma di ciò attraverso un riscontro visivo

Interspazio inferiore (TC 25 – 26)

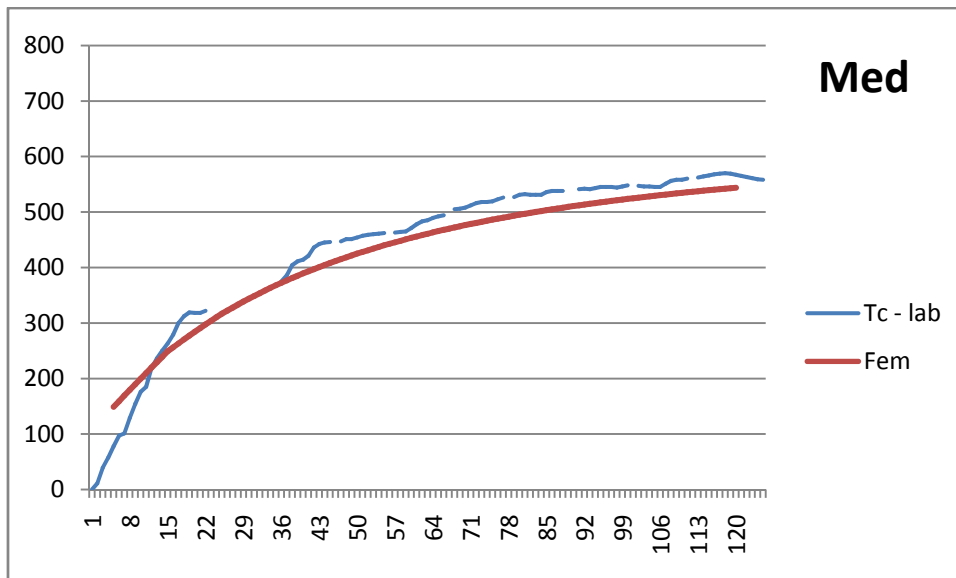


Figura V-33 Interspazio inferiore, valori medi

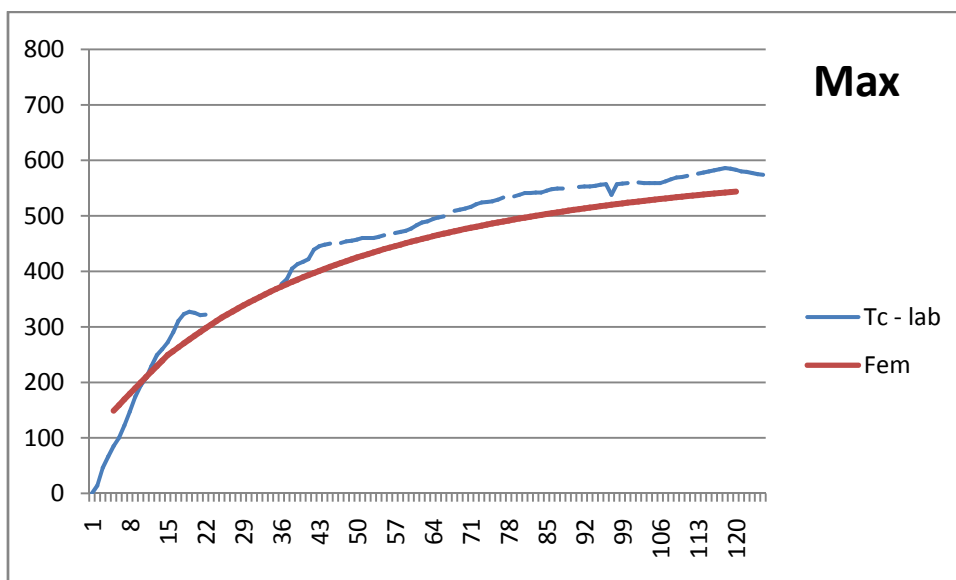


Figura V-34 Interspazio inferiore, valori massimi

I risultati delle due prove sono allineati; questo perché le termocoppie sono posizionate internamente al forno, ma non in prossimità dei montanti, dove esistono le maggiori incertezze riguardo ai materiali. In questo caso otteniamo la conferma della corretta definizione dei materiali isolanti (Promateck e Tervol) e delle condizioni al contorno per la faccia non esposta.

Interspazio intermedio (TC 27 – 28)

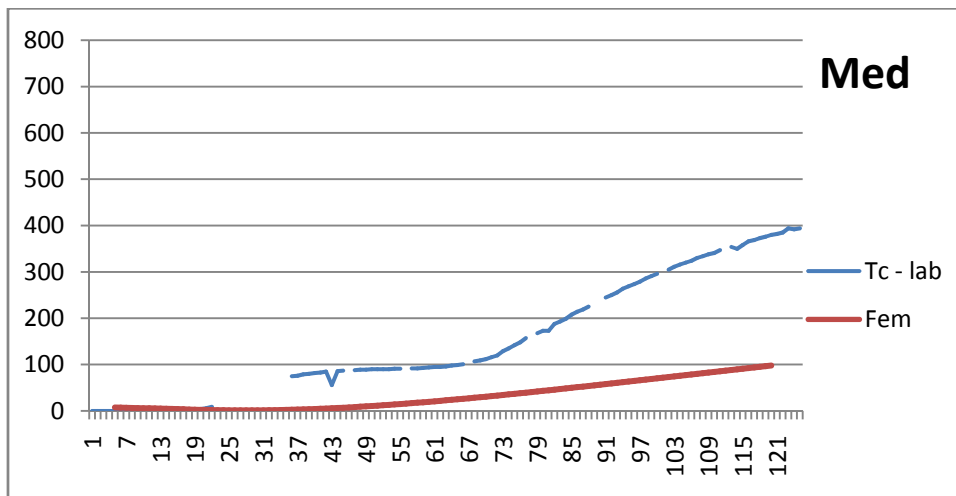


Figura V-35 Interspazio intermedio, valori medi

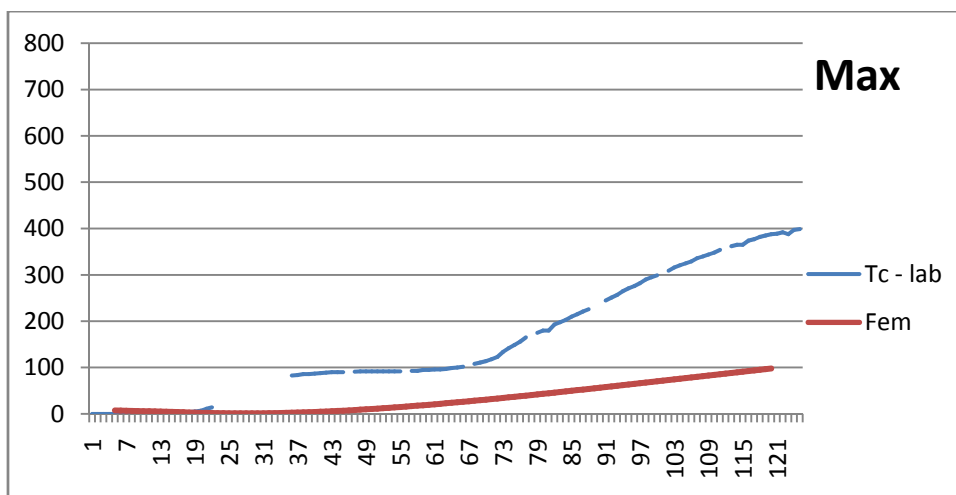


Figura V-36 Interspazio intermedio, valori massimi

Verificato che la differenza tra le due curve non è causata da una mesh grossolana, si ritiene che la causa sia sempre l'approssimazione relativa all'aria ferma. Rispetto al caso precedente dove la termocoppia era sulla superficie interna del forno, questa è compresa tra strati isolati di vari materiali nei pressi del montante; l'influenza del forno non è più preponderante e pesa maggiormente la vicinanza col montante, per il quale i profili di temperatura non sono corretti, come visto nel grafico di figure V-31 e V-32.

Interspazio superiore (TC 29 – 30)

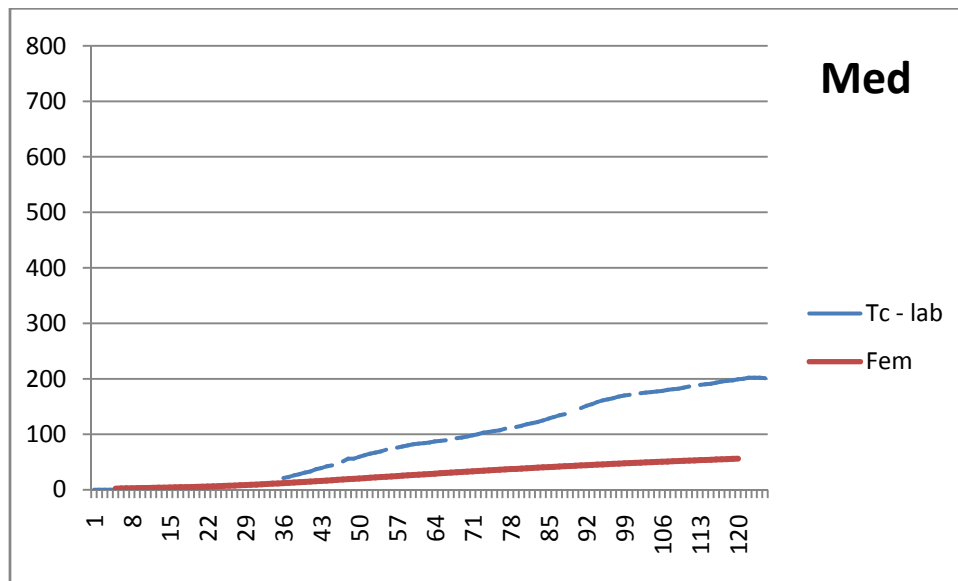


Figura V-37 Interspazio superiore, valori medi

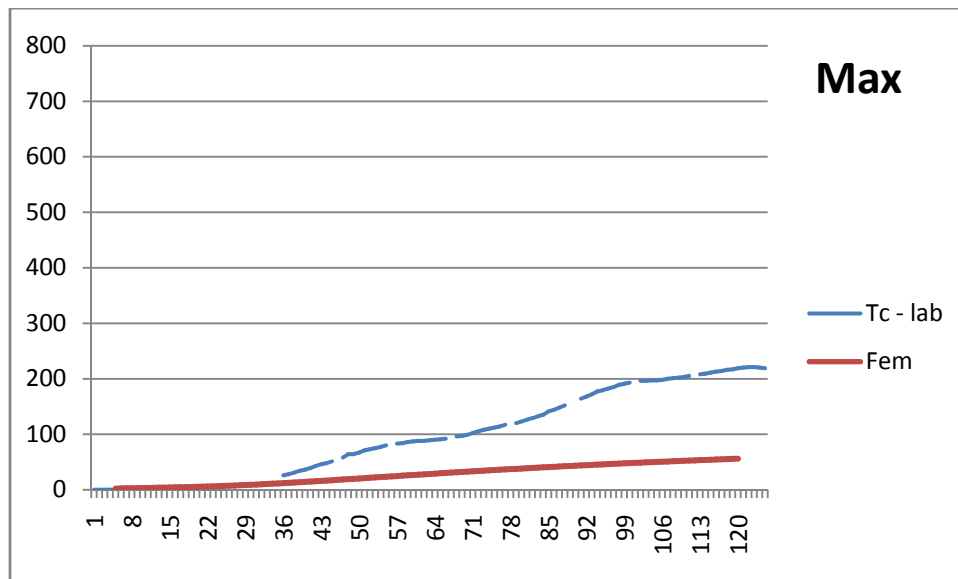


Figura V-38 Interspazio intermedio, valori massimi

Si ripete lo stesso problema del caso precedente, ma con minore intensità. Nel modello tridimensionale riscontriamo la scarsa capacità di riprodurre le temperature ottenute sul piano del solaio.

(Murray, 2009) (Opici, 1990) (Romanelli, Scapaccino, & Boaga, 1979) (Purkiss, 2007 (2° ed. -1996 la 1° ed.))

Traverso superiore (TC 31 – 32)

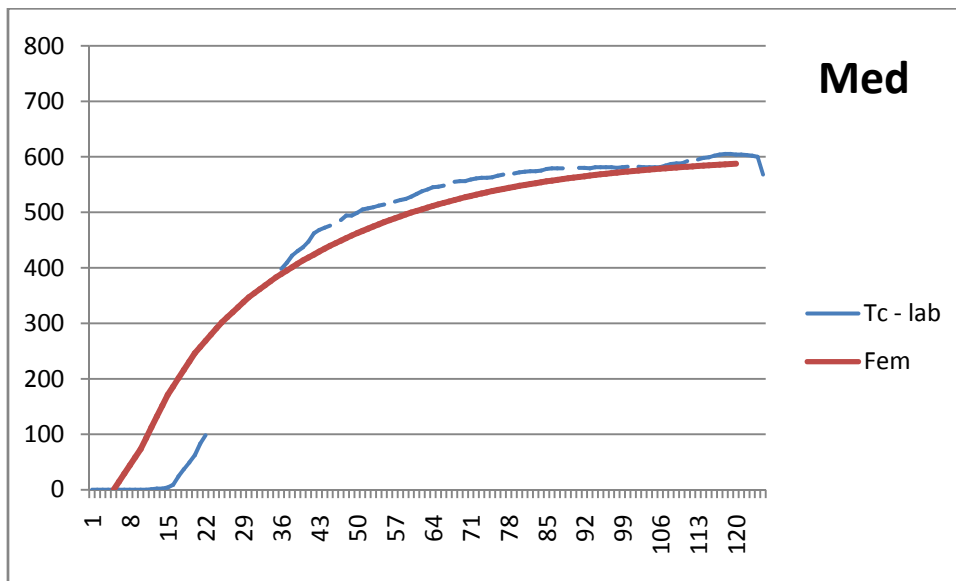


Figura V-39 Traverso superiore, valori medi

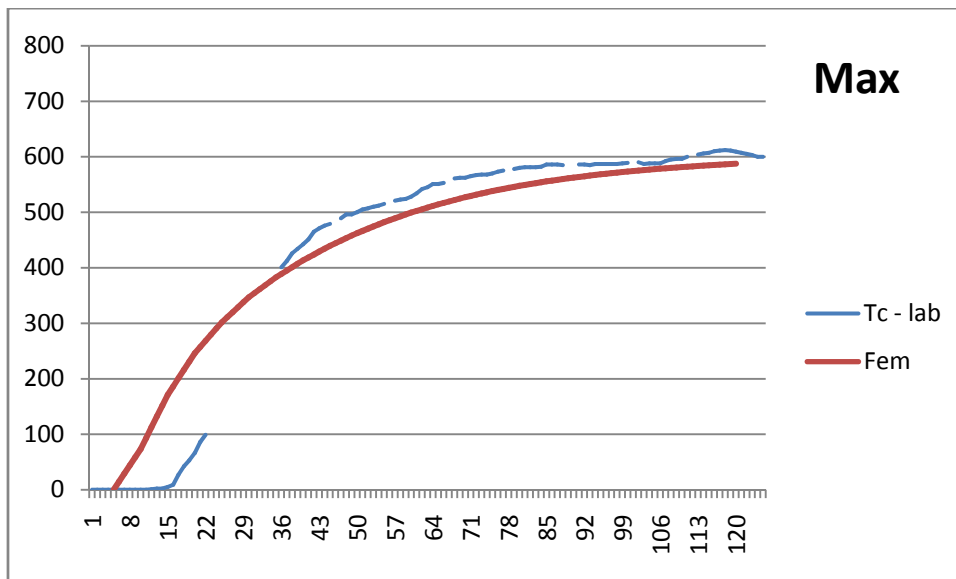


Figura V-40 Traverso superiore, valori medi

c'è buona corrispondenza tra il dato numerico e sperimentale. Questo conferma che per le temperature di elementi direttamente esposti o vicini all'esposizione diretta si ottengono risultati apprezzabili e di qualche utilità.

La temperatura intorno ai 600°C dimostra che le termocoppie non sono mai state esposte direttamente al fuoco, a causa della fusione di alcuni elementi.

VI. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'elaborato di tesi riguarda le facciate continue ed il loro comportamento in caso d'incendio. Lo scopo è quello di valutare come sia possibile impiegare alcuni strumenti informatici appositi come supporto alla fase progettuale.

Per trattare l'argomento con completezza si introduce questo tipo di tecnologia costruttiva, denominato anche "curtain wall"; se ne traccia brevemente l'evoluzione storica e si mostrano i principali componenti, le loro tipologie e le prestazioni attese.

Il capitolo II è dedicato al fenomeno dell'incendio: innanzitutto viene descritto cosa accade quando esso si innesca e perché rappresenta un pericolo per le persone e gli edifici; poi si indicano i possibili approcci progettuali e il grado di sicurezza che garantiscono; infine si collega l'incendio alle facciate continue, descrivendo quali problematiche particolari insorgono.

Il terzo capitolo comprende una panoramica delle legislazioni italiana, di altri Paesi europei e statunitense inerenti all'argomento.

Nel capitolo IV comincia la parte di tesi prettamente sperimentale, dove vengono descritte le tipologie di prova condotte su una porzione di facciata continua. Si tratta di un progetto di Permasteelisa Group per il rivestimento esterno della Torre Cesar Pelli nella zona di Milano Porta Nuova.

Il capitolo 5 è dedicato alla modellazione numerica attraverso la quale si tenta di riprodurre il terzo dei tre test condotti, quello che interessa una facciata continua in configurazione parziale, soggetta ad una curva d'incendio esterno.

Il capitolo si conclude con la comparazione tra le temperature registrate dalle termocoppie nel corso della terza prova di laboratorio e quelle ottenute per via analitica.

La necessità di costruire un modello per ricreare un'esperienza di laboratorio nasce da tre fattori concatenati:

- Le prove di laboratorio sono onerose e richiedono tempo

- La “Guida Tecnica⁵³” obbliga a classificare ogni facciata esclusivamente attraverso prove di laboratorio
- Ciascuna prova ha un campo di applicazione limitato

I risultati ottenuti nel corso di questa esperienza di tesi dimostrano che è possibile ricreare dei modelli da cui trarre indicazioni circa il comportamento al fuoco delle facciate continue.

Nei casi specifici considerati da questo elaborato, la prova di laboratorio da cui sono derivati i dati per il confronto è avvenuta prima della modellazione numerica. Questo perché all’epoca non era ancora stato stabilito se fosse possibile ottenere dati significativi per il comportamento al fuoco delle facciate continue attraverso strumenti informatici; inoltre essendo una delle prime esperienze di questo tipo si rendevano necessari dei dati di base su cui calibrare il modello; infine si tratta in ogni caso di un progetto da consegnare al committente entro i termini concordati.

La procedura progettuale di cui si dimostra in questa sede l’affidabilità avrà invece un percorso contrario, perché in una prima fase si sviluppa un modello informatico provando a piacere varie configurazioni (modelli, stratigrafie, sistemi di facciata etc..) poi si sceglie quello considerato migliore e se ne testa il comportamento al fuoco con un test di laboratorio approvato dalle normative, necessario per la sua classificazione.

I risultati migliori sono stati ottenuti nei punti del modello in cui il comportamento dei materiali è noto (fornito da codici o da schede tecniche) e la trasmissione di calore avviene soprattutto per conduzione.

La stessa precisione non è stata ottenuta per tutto il modello, perché in altri punti è forte l’influenza del montante al cui interno è modellata “aria ferma”, che è un mezzo troppo isolante rispetto alla trasmissione di calore che avviene realmente nel montante.

⁵³ Vedi III - 4

In particolare dalle comparazioni fatte emerge che la superficie verticale non esposta della sezione corrente (retro del pannello spandrel) è una zona in cui ritroviamo valori affidabili; dal momento che in tali punti sul provino di laboratorio vengono piazzate le termocoppie per valutare il requisito di isolamento secondo normativa, l'aver ottenuto risultati analoghi tra dato sperimentale e numerico, conferma la possibilità di fare affidamento in fase progettuale agli strumenti informatici.

Lo strato isolante nel pannello spandrel è un elemento imprescindibile per il superamento delle prove di laboratorio; tuttavia in fase di progettazione può essere utile sapere cosa succede variando i materiali o lo spessore. Non è pensabile fare per ciascuna configurazione un test, ma è possibile prevederne il comportamento attraverso il metodo numerico.

Il grafico di figura V – 22 mostra anche che i valori analitici sono superiori ai dati sperimentali, per cui possono essere utilizzati sapendo che si opera con un certo margine di sicurezza.

In sintesi quanto più la determinazione delle variabili (comportamento al fuoco dei materiali e regime delle forzanti) in una porzione di provino è precisa e si fonda su basi scientifiche, tanto più i risultati di temperatura e flusso calcolati per via numerica nel suo intorno rispecchiano il caso reale.

La modellazione agli elementi finiti può essere un valido mezzo per ampliare il campo di applicazione diretta dei risultati di prova, per adesso molto limitato⁵⁴. Per determinate configurazioni di facciata, un'azienda specializzata ha solitamente a disposizione un'abbondante documentazione riguardo il comportamento al fuoco; questa può essere sfruttata anche per progetti successivi che non rientrano nel campo dell'applicazione diretta prevista dalle norme, attraverso la creazione di modelli numerici.

Se realizzo un modello e riesco a dimostrarne l'affidabilità confrontando i risultati con i dati dei test che ho a disposizione, significa che ho calibrato correttamente il modello e tutte le approssimazioni in esso contenute. A questo

⁵⁴ Cfr. III - 3

punto se introduco alcune variazioni, ma non approssimazioni, ottengo in ogni caso risultati vicini al caso reale.

Questo modo di procedere non è però riconosciuto dalle normative italiane.

Un altro problema risiede nella richiesta di prestazione per le facciate continue. All'epoca della progettazione di questa facciata sono state seguite le indicazioni del D.M. 22.02.2006⁵⁵ che prevede una resistenza per le “strutture e i sistemi di compartimentazione” pari a REI 120.

Bisogna chiarire se entro queste categorie di elementi rientrano anche le facciate continue; sino a tempi recenti (marzo 2010) avveniva così, ma con l’emanazione della “Guida Tecnica”⁵⁶ in materia di facciate, il requisito di comportamento al fuoco è stato fissato a EI 60 ef (o→i) per il pannello spandrel e a EI 60 (i→o) per il giunto orizzontale.

Questo conferma che la prescrizione precedente fosse troppo conservativa.

Le considerazioni fatte si fondano sui dati raccolti nel corso di una campagna sperimentale e di una modellazione relative ad un’unica configurazione di facciata continua. Sarebbe dunque opportuno comprovare tale studio attraverso altre evidenze sperimentali riferite a casi differenti di modellazione e test per la previsione del comportamento al fuoco delle facciate continue.

⁵⁵ “Approvazione delle regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l’esercizio di edifici e locali ad uso uffici”

⁵⁶ Vedi cap. III - 4

VII. BIBLIOGRAFIA

Murray, S. (2009). *Contemporary Curtain Wall Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.

Opici, M. A. (1990). *"FACCIAE CONTINUE" - Una monografia*. Milano: Tecnomedia.

Purkiss, J. A. (2007 (2° ed. -1996 la 1° ed.)). *Fire Safety Engineering - Design of Structures*. Oxford: Butterworth - Heinemann.

Romanelli, F., Scapaccino, E., & Boaga, G. (1979). *"dalla finestra al curtain wall" RICERCHE SULLE TECNOLOGIE DEL DISCONTINUO*. Roma: Officina Edizioni.

VIII. INDICE DELLE FIGURE

Figura I-1 Reliance Building, Chicago, Illinois	8
Figura I-2 Mies van der Rohe – Schizzi.....	9
Figura I-3 Palazzo delle Nazioni Unite,	10
Figura I-4 Lever House.....	10
Figura I-5 John Hancock Tower, Boston, Massachusetts	11
Figura I-6 Fondation Cartier, Paris, France	12
Figura I-7 Componenti di una facciata continua - particolari	14
Figura I-8 Facciata montanti e traversi – fasi di assemblaggio.....	17
Figura I-9 Facciata a cellule	18
Figura I-10 Facciata a fissaggio puntuale - modulo.....	18
Figura II-1 Propagazione interna o esterna dell'incendio	25
Figura II-2 New York, USA, 2007	27
Figura II-3 New York, USA, 2004	27
Figura II-4 Seul, Korea, 2006	28
Figura III-1 Resistenza al fuoco di elementi costruttivi per destinazione d'uso.	32
Figura III-2 Periodo di resistenza al fuoco per differenti elementi costruttivi (in ore).....	33
Figura III-3 Superfici e altezze massime consentite	34
Figura III-4 Resistenza al fuoco per pareti esterne non portanti (in ore).....	34
Figura III-5 Caratteristiche valutate in caso di incendio	36
Figura III-6 Tabella di classificazione relativa alle chiusure esterne.....	36
Figura III-7 Classi definite per i “curtain walls” come da 13501-2.....	37
Figura III-8 Diverse curve d'incendio a confronto	39
Figura III-9 Classi di resistenza al fuoco per facciate valide in territorio belga .	40
Figura III-10 Classi di resistenza al fuoco per facciate valide in territorio spagnolo.....	41
Figura III-11 Schemi di configurazione di prova	43
Figura III-12 Configurazione di test e condizioni di esposizione.....	44
Figura III-13 Prestazioni per esposizione al fuoco dall'interno	46
Figura III-14 Prestazioni per esposizione al fuoco dall'esterno.....	46

Figura III-15 Curva incendio standard (USA).....	48
Figura III-16 – Fascia di separazione orizzontale tra compartimenti	53
Figura III-17 – Fascia di separazione orizzontale tra i compartimenti.....	54
Figura III-18 – Facciate formanti un diedro.....	55
Figura III-19 – Possibili configurazioni della porzione di facciata resistente al fuoco	58
Figura III-20 Possibili configurazioni di facciate adiacenti	59
Figura III-21 – Porzione di facciata EI 60	60
Figura IV-1 Area di Porta Nuova – Destinazione d’uso degli edifici.....	63
Figura IV-2 Planivolumetrico dell’edificio all’interno dell’area di Porta Nuova...	64
Figura IV-3 Vista del complesso di palazzi	65
Figura IV-4 Palazzi inseriti nel tessuto urbano circostante	65
Figura IV-5 Particolare della piazza.....	66
Figura IV-6 Prospetto degli edifici, sezione della zona interrata.....	66
Figura IV-7 Particolare lastre di fibrosilicato, lato esposto	69
Figura IV-8 Particolare dell’isolamento in lana di roccia esterno	69
Figura IV-9 Particolare del campione innestato sulla struttura di sostegno	70
Figura IV-10 Lato esterno del forno.....	71
Figura IV-11 Lato del provino esposto.....	71
Figura IV-12 Posizione delle termocoppie sul provino.....	72
Figura IV-13 Curva d’incendio standard	72
Figura IV-14 Temperature finali registrate per ogni termocoppia	73
Figura IV-15 Prova in corso, isolante esterno annerito.....	74
Figura IV-16 Termine della prova, al di sotto della lana di roccia	74
Figura IV-17 Termine della prova, montante integro	75
Figura IV-18 Provino allestito per la seconda prova	76
Figura IV-19 Particolare delle staffe di aggancio	77
Figura IV-20 Piastra di copertura del modello e superficie non esposta.....	77
Figura IV-21 Propagazione delle fiamme sulla faccia non esposta	78
Figura IV-22 Facciata deteriorata dall’azione del fuoco.....	79
Figura IV-23 Particolare della soletta di chiusura deformata	79
Figura IV-24 Campione in fase di allestimento	80

Figura IV-25 Particolare dell'interno del forno – colonna di sostegno centrale .	81
Figura IV-26 Particolare del giunto tra facciata e struttura di sostegno	81
Figura IV-27 Isolamento della facciata non esposta.....	82
Figura IV-28 Provino del test ultimato	82
Figura IV-29 Punti di applicazione delle termocoppie.....	83
Figura IV-30 Temperature a fine prova – punti di misura esterni.....	84
Figura IV-31 Temperature a fine prova – punti di misura interni.....	84
Figura IV-32 Curva d'incendio esterno	85
Figura IV-33 Prova del tampone di cotone	85
Figura IV-34 Assenza di fratture o fiamme sul lato non esposto	86
Figura IV-35 Aspetto del provino al termine della prova	86
Figura IV-36 Staffe di fissaggio ancora integre a fine prova	86
Figura V-1 Tabella della conduttività dell'acciaio in funzione della temperatura	91
Figura V-2 Proprietà strutturali dei materiali	91
Figura V-3 Proprietà termiche dei materiali	92
Figura V-4 Tabelle legate alle proprietà dei materiali	93
Figura V-5 Calore specifico dell'acciaio.....	95
Figura V-6 Conduttività termica dell'acciaio.....	96
Figura V-7 Calore specifico dell'alluminio.....	97
Figura V-8 - Conduttività specifica dell'alluminio	97
Figura V-9 Calore specifico del calcestruzzo.....	98
Figura V-10 Conduttività termica del calcestruzzo	99
Figura V-11 Conduttività termica della lastra di Promateck.....	100
Figura V-12 Conduttività termica del materiale Tervol S	100
Figura V-13 – Conduttività fibroceramica	101
Figura V-14 – Conduttività termica dei mattoni refrattari	101
Figura V-15 Particolare del traverso inferiore della facciata continua.....	103
Figura V-16 Posizione delle piastre metalliche.....	105
Figura V-17 Sezione verticale del modello di test.....	110
Figura V-18 Particolare del modello di test – superficie esterna non esposta	110
Figura V-19 Vista frontale – lato esposto	112
Figura V-20 Vista posteriore – lato non esposto.....	112

Figura V-21 Superficie verticale, valori medi	117
Figura V-22 Superficie verticale, valori massimi.....	117
Figura V-23 Superficie orizzontale vicina, valori medi	118
Figura V-24 Superficie orizzontale vicina, valori massimi.....	118
Figura V-25 Superficie orizzontale intermedia, valori medi	119
Figura V-26 Superficie orizzontale intermedia, valori massimi	119
Figura V-27 Superficie orizzontale lontana, valori medi	120
Figura V-28 Superficie orizzontale lontana, valori massimi	120
Figura V-29 Interno montanti, valori medi	121
Figura V-30 Interno montanti, valori massimi	121
Figura V-31 Montante sinistro, valori medi	122
Figura V-32 Montante sinistro, valori massimi.....	122
Figura V-33 Interspazio inferiore, valori medi	123
Figura V-34 Interspazio inferiore, valori massimi.....	123
Figura V-35 Interspazio intermedio, valori medi	124
Figura V-36 Interspazio intermedio, valori massimi.....	124
Figura V-37 Interspazio superiore, valori medi	125
Figura V-38 Interspazio intermedio, valori massimi.....	125
Figura V-39 Traverso superiore, valori medi	126
Figura V-40 Traverso superiore, valori medi	126

IX. ALLEGATO A – RAPPORTO DI PROVA 1° TEST

X. ALLEGATO B – RAPPORTO DI PROVA 3° TEST



ISTITUTO GIORDANO



Istituto Giordano S.p.A.
Via Rossini, 2 - 47814 Bellaria-Igea Marina (RN) - Italy
Tel. +39 0541 343030 - Fax +39 0541 345540
istitutogiordano@giordano.it - www.giordano.it
Cod. Fisc./ P.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
Organismo Europeo notificato n. 0407
Accreditamenti: SINCERT (057A e 082B) - SIT (20)

Laboratorio autorizzato ai sensi del Decreto del Ministero dell'Interno 26/03/1985

RICONOSCIMENTI DA MINISTERI ITALIANI:

- Legge 1086/71 con D.M. 27/11/82 n. 22913 "Prove sui materiali da costruzione".
- Decreto 21/07/06 "Certificazione CE per le unità da dipinto".
- D.M. 04/08/94 "Certificazione CEE sulle macchine".
- Notifica n. 757890 del 15/12/98 "Certificazione CEE per gli apparecchi a gas".
- D.M. 09/07/93 "Certificazione CEE in materia di recipienti semplici a pressione".
- D.M. 08/07/93 "Certificazione CEE concernente la sicurezza dei giocattoli".
- incarichi di verifica della sicurezza e conformità dai prodotti nell'ambito della sorveglianza sul mercato e tutela del consumatore.
- D.M. 02/04/98 "Rilascio di attestazioni di conformità delle caratteristiche e prestazioni energetiche dei componenti degli edifici e degli impianti".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 21/03/86 "Prove di reazione al fuoco secondo D.M. 26/06/84".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 03/07/92 "Prove di resistenza al fuoco secondo Circolare n. 7 del 02/04/91 norma CNVVF/CCI UNI 9723".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 08/02/08 "Prove di resistenza al fuoco ai sensi del D.M. 21/06/04 e del D.M. 16/02/07".
- Legge 46/82 con D.M. 09/10/85 "immissione nell'albo dei laboratori autorizzati a svolgere ricerche di carattere applicativo a favore delle piccole e medie industrie".
- Protocollo n. 116 del 27/03/87 "Iscrizione allo Schedario Anagrafe Nazionale delle ricerche con codice N.E0490Y9Y".
- Decreto 24/05/02 "Certificazione CE di rispondenza della conformità delle attrezzature a pressione".
- Decreto 13/12/04 "Certificazione di conformità di attrezzature a pressione trasportabili".
- Decreto 14/02/02 "Certificazione CE di conformità in materia di emissione acustica ambientale per macchine e attrezzature".
- Decreto 05/02/03 "Esecuzione delle procedure di valutazione della conformità dell'equipaggiamento marittimo".
- Decreto 17/09/04 "Certificazione CE sugli ascensori e componenti di sicurezza".
- Notifica per le attività di attestazione della conformità alle norme armonizzate della Direttiva 89/106/CE sui prodotti da costruzione.
- Decreto 20/01/05 "Verifiche di prova su dispositivi medici".
- D.Lgs. 02/02/07 n. 22 "Certificazione ai sensi della Direttiva 2004/22/CE (MID) di contatori per energia elettrica di corrente alternata (c.a.) monofase e trifase e di contatori volumetrici di gas a membrana".
- Decreto 11/09/07 "Certificazione CE di dispositivi di protezione individuale".
- Decreto 10/12/07 n. 218 "Certificazione del processo di produzione del conglomerato cementizio prodotto con processo industrializzato".

RICONOSCIMENTI DA ENTI TERZI:

- SINCERT: Accreditazioni n. 057A del 19/02/00 "Organismo di certificazione di sistemi di gestione per la qualità" e n. 082B del 12/04/06 "Organismo di certificazione di prodotto".
- SIT: Accreditazione Centro multisede n. 20 (Bellaria - Pomezia) per grandezze termometriche ed elettriche.
- ICM: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto".
- IMO: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per canne fumarie".
- UNCSAAL: Riconoscimento del 26/03/85 "Laboratorio per le prove di certificazione UNCSAAL su serramenti e facciate continue".
- KEYMARK per isolanti termici: "Misure di conduttività termica per materiali isolanti".
- IFT: "Prove di laboratorio e sorveglianza in azienda nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per porte, finestre, chiusure oscuranti (antifurto) e serramenti".
- EFSG: "Prove di laboratorio su casseforti e altri mezzi di custodia".
- AENOR: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerenti la direttiva prodotti da costruzione".
- VTT - Finlandia: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerenti la direttiva prodotti da costruzione".
- C.C.I.A.A. Rimini: 28/01/04 "Verifica periodica dell'affidabilità metrologica di strumenti metrici in materia di commercio".
- FBT/VKF - Svizzera "Laboratorio di riferimento per le prove di resistenza al fuoco di componenti edilizi".

RAPPORTO DI CLASSIFICAZIONE N. 262203

Luogo e data di emissione: Bellaria-Igea Marina - Italia, 10/11/2009

Committente: PERMASTEELISA S.p.A. - Via Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 VITTORIO VENETO (TV) - Italia

Denominazione del campione: CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040

Introduzione.

Il presente rapporto di classificazione di resistenza al fuoco definisce la classificazione assegnata all'elemento non portante verticale denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040" in conformità alle procedure indicate nella norma UNI EN 13501-2:2008 del 27/03/2008 "Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 2: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco, esclusi i sistemi di ventilazione".



CLAUSOLE:

Il presente documento si riferisce solamente al campione o materiale sottoposto a prova.
Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Comp. PB
Revis.

Il presente rapporto di classificazione consta di n. 6 fogli e non può essere riprodotto e/o pubblicizzato se non integralmente.

Foglio
n. 1 di 6

Dettagli del campione.

Tipo di funzione.

L'elemento non portante verticale denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040" è un muro non portante.

Ha la funzione di resistere al fuoco con riferimento alle caratteristiche prestazionali indicate nel paragrafo 5 della norma UNI EN 13501-2:2008.

Descrizione.

L'elemento non portante denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040" è costituito da:

- muro non portante verticale formato sostanzialmente da una struttura metallica in alluminio, da pannellature in lastre di fibrosilicato a base di silicati, cementi ed additivi, da pannello in lamiera d'acciaio prezinco e da pannello in lana di roccia;
- chiusura fronte solaio orizzontale formata sostanzialmente da lana di roccia, in pannello e a fiocchi, racchiusa da n. 2 lamiere in acciaio prezinco.

Rapporto di prova e risultati di prova a supporto del presente rapporto di classificazione.

Il presente rapporto di classificazione è supportato dal seguente rapporto di prova.

Laboratorio di prova	Istituto Giordano S.p.A.
Indirizzo del laboratorio	Via Verga, 6 - 47043 Gatteo (FC) - Italia
Committente	PERMASTEELISA S.p.A. - Via Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 VITTORIO VENETO (TV) - Italia
Rapporto di prova	n. 262203 del 10/11/2009
Data di prova	06/10/2009



Condizione di esposizione.

Curva temperatura/tempo	Standard (le condizioni di riscaldamento e l'ambiente del forno rispondono a quanto indicato nella norma UNI EN 1363-1:2001 del 31/07/2001 "Prove di resistenza al fuoco - Requisiti generali", paragrafi 5.1.1, 5.1.2 e 5.2.1)
Direzione di esposizione	Esposta al fuoco la faccia dove il campione non era sporgente (prova del 06/10/2009)
Numero di superfici esposte	1
Condizioni di supporto	Costruzione di supporto non normalizzata rigida

Risultati di prova.**Tenuta.**

	Prova del 06/10/2009 con esposta al fuoco la faccia dove il campione non era sporgente
Accensione del tampone di cotone	Nessuna accensione
Presenza di fiamma persistente	Nessuna presenza
Passaggio del calibro da 6 mm di diametro	Nessun passaggio
Passaggio del calibro da 25 mm di diametro	Nessun passaggio

Isolamento.

	Prova del 06/10/2009 con esposta al fuoco la faccia dove il campione non era sporgente
Incremento della temperatura massima sul lato non esposto maggiore di 180 °C	> 130 min



Classificazione e campo di applicazione diretta.

Riferimento per la classificazione.

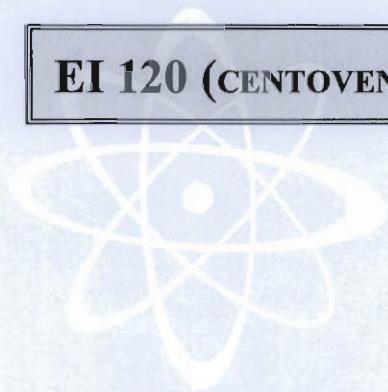
La presente classificazione è stata eseguita in conformità al paragrafo 7.5.2 della norma UNI EN 13501-2:2008.

Classificazione.

L'elemento non portante verticale denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040" è classificato in conformità alle seguenti combinazioni di requisiti prestazionali e classi.

Non sono consentite altre classificazioni.

EI 120 (CENTOVENTI)



Campo di applicazione diretta.

L'elemento non portante verticale denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040" ha il seguente campo di diretta applicazione in accordo alla norma UNI EN 1364-1:2002.

Tipo di variazione	Paragrafo di riferimento alla norma UNI EN 1364-1:2002	Possibilità di variazione
Riduzione di altezza	13.1 a)	Consentita
Aumento di spessore del muro	13.1 b)	Consentita
Aumento di spessore dei materiali componenti	13.1 c)	Consentita
Riduzione delle dimensioni lineari dei riquadri o dei pannelli, ma non dello spessore	13.1 d)	Consentita
Riduzione dello spazio tra gli irrigidimenti	13.1 e)	Consentita
Riduzione della distanza tra i vincoli	13.1 f)	Consentita
Aumento di numero dei giunti orizzontali in casi di prova effettuata con un solo giunto a distanza non maggiore di 500 mm dal margine superiore	13.1 g)	Non applicabile
Uso di impianti ed accessori applicati alla superficie in caso di prova effettuata come illustrato nella figura 10, con gli impianti o gli accessori a distanza non maggiore di 500 mm dal margine superiore	13.1 h)	Non consentita
Giunti orizzontali e/o verticali, del tipo sottoposto a prova	13.1 i)	Consentita
Aumento di larghezza	13.2	Non consentita
Aumento di altezza fino a 4 m	13.3	Non consentita
Costruzione di sostegno normalizzate	13.4.1	Non consentita
Costruzione di sostegno non normalizzate	13.4.2	Consentita

Regole per la modifica delle costruzioni di supporto.

Non è consentita alcuna modifica.



Limitazioni.

Restrizioni.

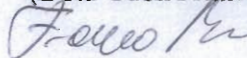
Non esistono restrizioni alla durata di validità del presente rapporto di classificazione.

Avvertenza.

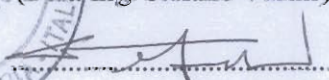
Questo rapporto non costituisce omologazione o certificazione del prodotto.



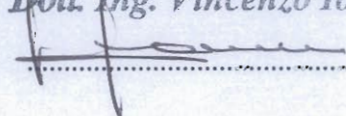
Il Responsabile
Tecnico di Prova
(Dott. Geol. Franco Berardi)

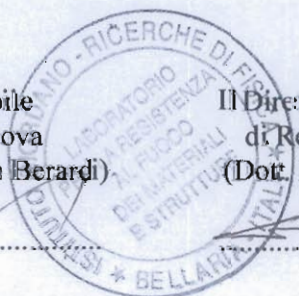


Il Direttore del Laboratorio
di Resistenza al Fuoco
(Dott. Ing. Stefano Vasini)



Il Presidente o
l'Amministratore Delegato
Dott. Ing. Vincenzo Iommi







ISTITUTO GIORDANO



Istituto Giordano S.p.A.
Via Rossini, 2 - 47814 Bellaria-Igea Marina (RN) - Italy
Tel. +39 0541 343030 - Fax +39 0541 345540
istitutogiordano@giordano.it - www.giordano.it
Cod. Fisc./ P.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
Organismo Europeo notificato n. 0407
Accreditamenti: SINCERT (057A e 082B) - SIT (20)

RICONOSCIMENTI DA MINISTERI ITALIANI:

- Legge 1086/71 con D.M. 27/11/82 n. 22913 "Prove sui materiali da costruzione".
- Decreto 21/07/06 "Certificazione CE per le unità da diporto".
- D.M. 04/08/94 "Certificazione CEE sulle macchine".
- Notifica n. 757890 del 15/12/98 "Certificazione CEE per gli apparecchi a gas".
- D.M. 09/07/93 "Certificazione CEE in materia di recipienti semplici a pressione".
- D.M. 08/07/93 "Certificazione CEE concernente la sicurezza dei giocattoli".
- incarichi di verifica della sicurezza e conformità dai prodotti nell'ambito della sorveglianza sul mercato e tutela del consumatore.
- D.M. 02/04/98 "Rilascio di attestazioni di conformità delle caratteristiche e prestazioni energetiche dei componenti degli edifici e degli impianti".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 21/03/86 "Prove di reazione al fuoco secondo D.M. 26/06/84".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 03/07/92 "Prove di resistenza al fuoco secondo Circolare n. 7 del 02/04/91 norma CNVVF/CCI UNI 9723".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 08/02/08 "Prove di resistenza al fuoco ai sensi del D.M. 21/06/04 e del D.M. 16/02/07".
- Legge 46/82 con D.M. 09/10/85 "immissione nell'albo dei laboratori autorizzati a svolgere ricerche di carattere applicativo a favore delle piccole e medie industrie".
- Protocollo n. 116 del 27/03/87 "Iscrizione allo Schedario Anagrafe Nazionale delle ricerche con codice N.E0490Y9Y".
- Decreto 24/05/02 "Certificazione CE di rispondenza della conformità delle attrezzature a pressione".
- Decreto 13/12/04 "Certificazione di conformità di attrezzature a pressione trasportabili".
- Decreto 14/02/02 "Certificazione CE di conformità in materia di emissione acustica ambientale per macchine e attrezzature".
- Decreto 05/02/03 "Esecuzione delle procedure di valutazione della conformità dell'equipaggiamento marittimo".
- Decreto 17/09/04 "Certificazione CE sugli ascensori e componenti di sicurezza".
- Notifica per le attività di attestazione della conformità alle norme armonizzate della Direttiva 89/106/CE sui prodotti da costruzione.
- Decreto 20/01/05 "Verifiche di prova su dispositivi medici".
- D.Lgs. 02/02/07 n. 22 "Certificazione ai sensi della Direttiva 2004/22/CE (MID) di contatori per energia elettrica di corrente alternata (c.a.) monofase e trifase e di contatori volumetrici di gas a membrana".
- Decreto 11/09/07 "Certificazione CE di dispositivi di protezione individuale".
- Decreto 10/12/07 n. 218 "Certificazione del processo di produzione del unigummetale cementizzato prodotto con processo industrializzato".

RICONOSCIMENTI DA ENTI TERZI:

- SINCERT: Accreditamenti n. 057A del 19/02/00 "Organismo di certificazione di sistemi di gestione per la qualità" e n. 082B del 12/04/06 "Organismo di certificazione di prodotto".
- SIT: Accreditamento Centro multisede n. 20 (Bellaria - Pomezia) per grandezze termometriche ed elettriche.
- ICI-M: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto".
- IMD: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per carne fumate".
- UNCSAAL: Riconoscimento del 26/03/85 "Laboratorio per le prove di certificazione UNCSAAL su serramenti e facciate continue".
- KEYMARK per isolanti termici: "Misure di conducibilità termica per materiali isolanti".
- IFT: "Prove di laboratorio e sorveglianza in azienda nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per porte, finestre, chiusure oscuranti (antiefrazione) e serramenti".
- EFSG: "Prove di laboratorio su casseforti e altri mezzi di custodia".
- AENOR: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerenti la direttiva prodotti da costruzione".
- VTT - Finlandia: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerenti la direttiva prodotti da costruzione".
- C.C.I.A.A. Rimini: 28/01/04 "Verifica periodica dell'affidabilità metrologica di strumenti metrici in materia di commercio".
- FBV/KF - Svizzera "Laboratorio di riferimento per le prove di resistenza al fuoco di componenti edilizi".

CLAUSOLE:

Il presente documento si riferisce solamente al campione o materiale sottoposto a prova.
Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

RAPPORTO DI PROVA N. 262203

Luogo e data di emissione: Bellaria-Igea Marina - Italia, 10/11/2009

Committente: PERMASTEELISA S.p.A. - Via Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 VITTORIO VENETO (TV) - Italia

Data della richiesta della prova: 16/09/2009

Numero e data della commessa: 46396, 17/09/2009

Data del ricevimento del campione: 25/09/2009

Data dell'esecuzione della prova: 06/10/2009

Oggetto della prova: Determinazione della resistenza al fuoco di elemento non portante verticale secondo le norme UNI EN 1363-1:2001 ed UNI EN 1364-1:2002

Luogo della prova: Istituto Giordano S.p.A. - Blocco 7 - Via Verga, 6 - 47043 Gatteo (FC) - Italia

Provenienza del campione: campionato e fornito dal Committente

Identificazione del campione in accettazione: n. 2009/2029

Premessa.

Presso il forno sperimentale del Laboratorio di Resistenza al Fuoco di questo Istituto è stata eseguita una prova secondo le prescrizioni delle norme UNI EN 1363-1:2001 ed UNI EN



Comp. PB
Revis.

Il presente rapporto di prova è composto da n. 32 fogli.

Foglio
n. 1 di 32

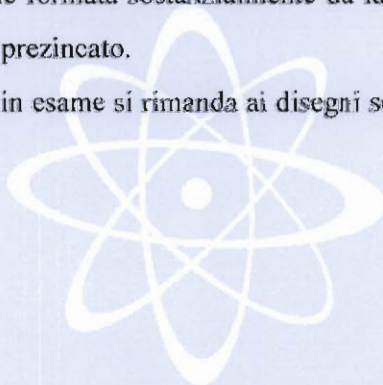
1364-1:2002, su un muro non portante denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040", prodotto e presentato dalla ditta Permasteelisa S.p.A. - Via Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 Vittorio Veneto (TV) - Italia.

Descrizione del campione*.

Il campione sottoposto a prova è costituito da un muro non portante denominato "CAMPIONE SPANDREL - PORTA NUOVA 100C90040" e costituito da:

- muro non portante verticale formato sostanzialmente da una struttura metallica in alluminio, da pannellature in lastre di fibrosilicato a base di silicati, cementi ed additivi, da pannello in lamiera d'acciaio prezincolato e da pannello in lana di roccia;
- chiusura fronte solaio orizzontale formata sostanzialmente da lana di roccia, in pannello e a fiocchi, racchiusa da n. 2 lamiere in acciaio prezincolato.

Per maggiori dettagli sul campione in esame si rimanda ai disegni schematici dello stesso forniti dal Committente e riportati nei fogli seguenti.



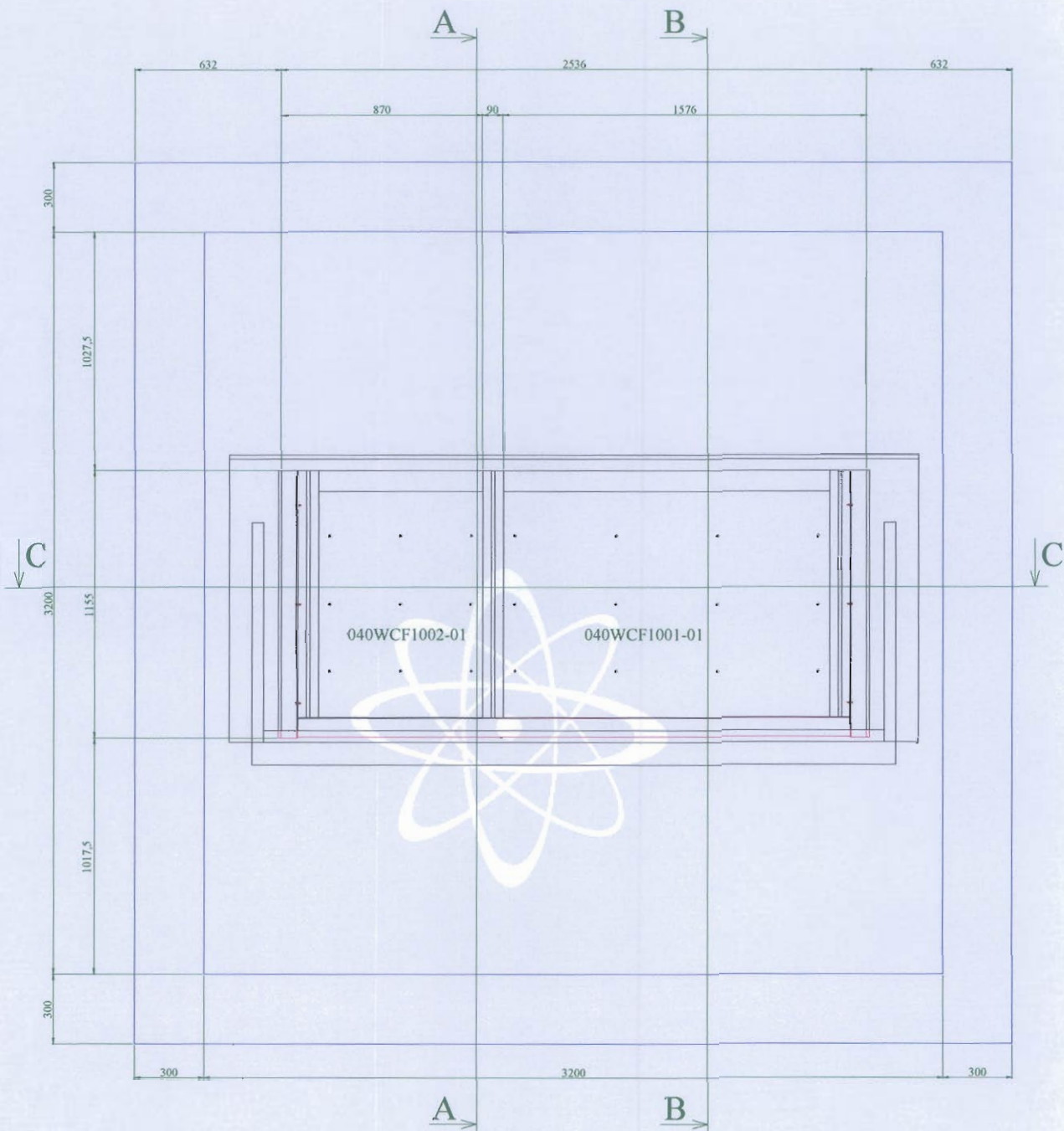
(*): secondo le dichiarazioni del Committente.

LEGENDA

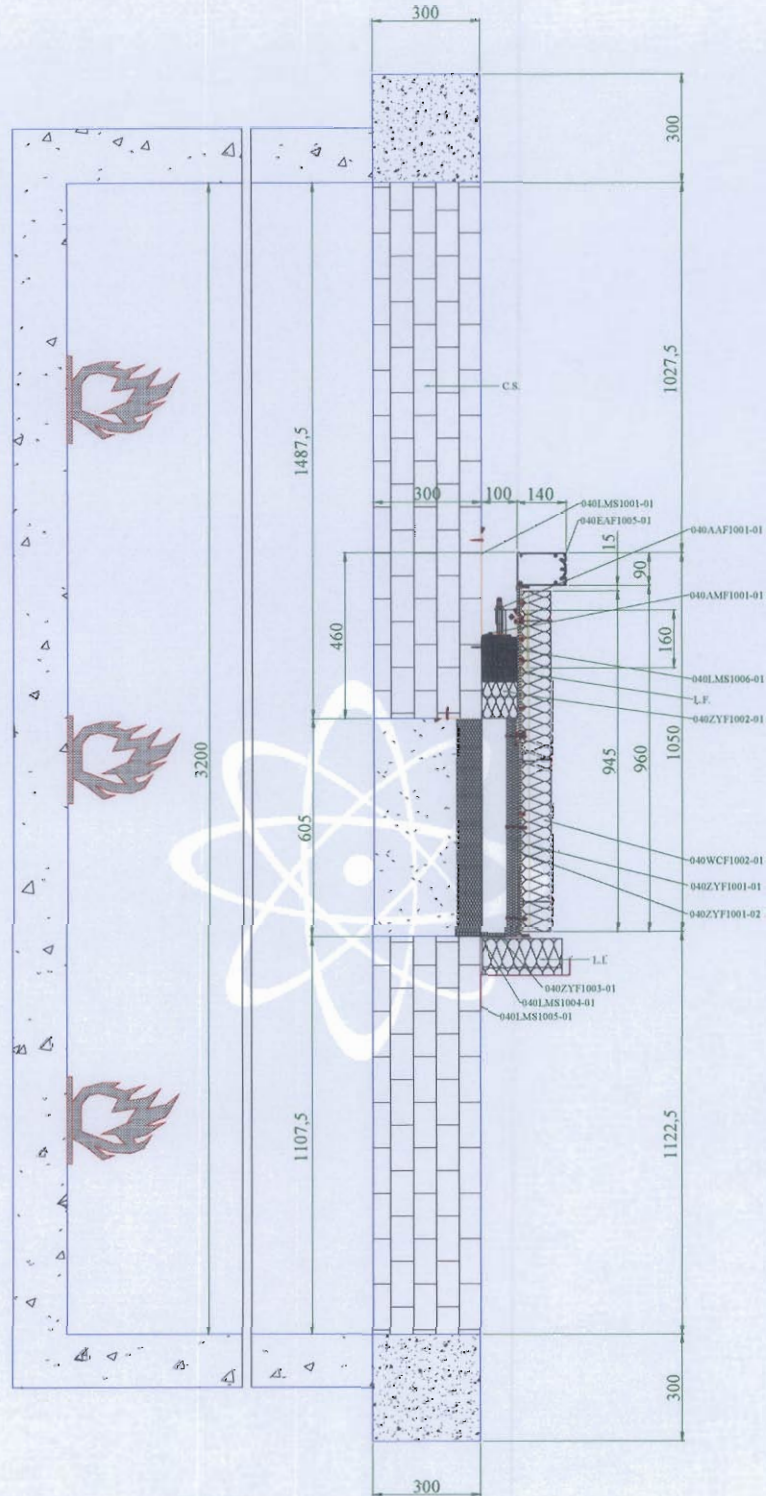
Codice	Descrizione
040AAF1001-01	Slitta/uncino per fissaggio cellula
040AMF1001-01	Staffa per fissaggio cellula
040ZYF1001-01	Lastra in fibrosilicato "Promatect H"
040ZYF1001-02	Lastra in fibrosilicato "Promatect H"
040ZYF1002-01	Materassino in lana
040ZYF1003-01	Lastra in fibrosilicato "Promatect H"
040ZYF1003-02	Lastra in fibrosilicato "Promatect H"
040LMS1001-01	Barriera al fuoco orizzontale superiore
040LMS1003-01	Angolare per fissaggio
040LMS1004-01	Angolare per fissaggio
040LMS1005-01	Angolare di supporto
040LMS1005-02	Angolare di supporto
040LMS1006-01	Piatto supporto staffa
040WCF1001-01	Pannello sandwich con lastra in fibrosilicato "Promatect H"
040WCF1002-01	Pannello sandwich con lastra in fibrosilicato "Promatect H"
040EAF1001-01	Montante di chiusura femmina
040EAF1002-01	Montante maschio
040EAF1003-01	Montante femmina
040EAF1004-01	Montante di chiusura maschio
040EAF1005-01	Traversa
040EAF1006-01	Montante maschio
040EAF1007-01	Montante femmina
F.P.	Fettuccia "Promaseal", sezione 15 × 2 mm
P.S.P.	Pannello con silicone "Promaseal S"
P.S.S.	Pannello con silicone "Sika FS-665"
L.F.	Lana a fiocchi "Tervol S"
L.I.	Lana isolante
C.S.	Costruzione di sostegno



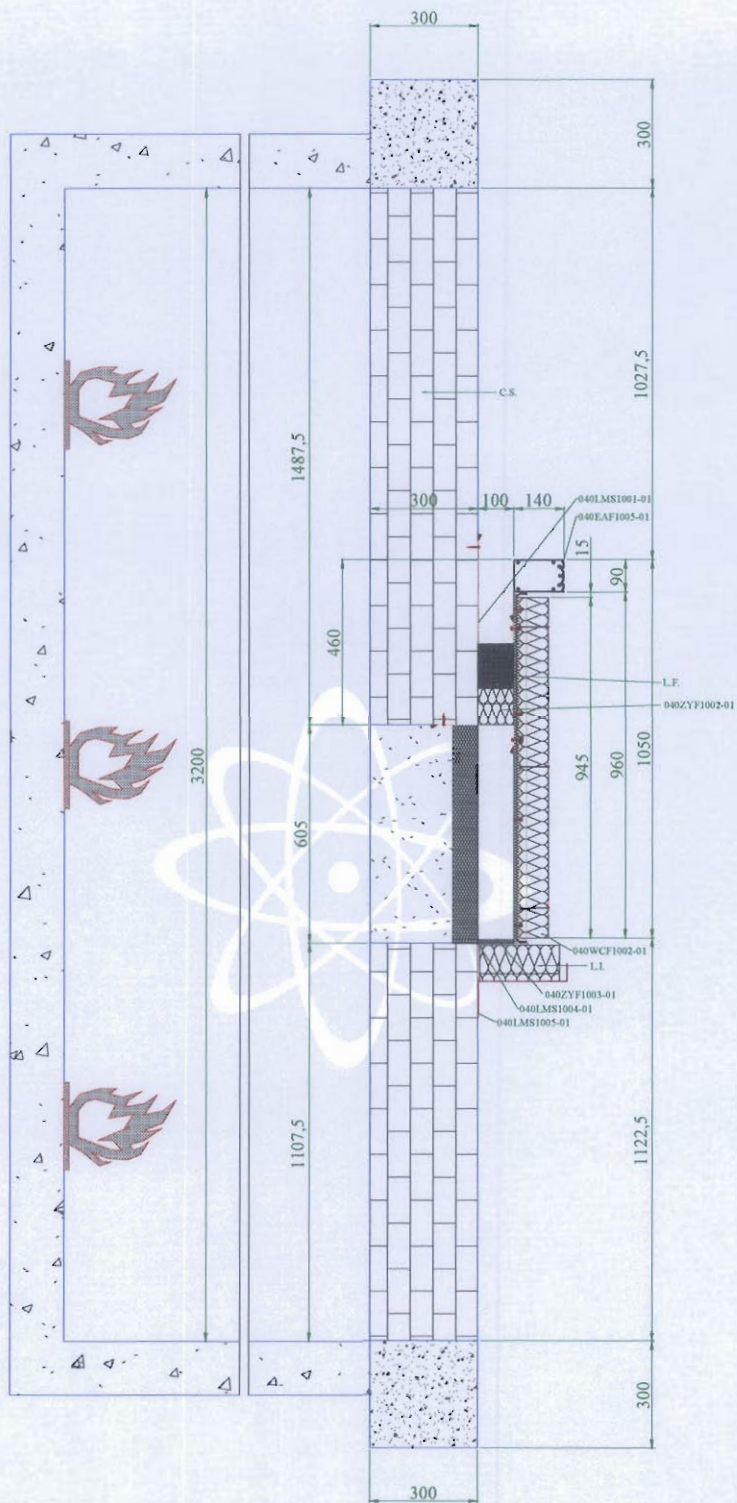
PROSPETTO DEL CAMPIONE



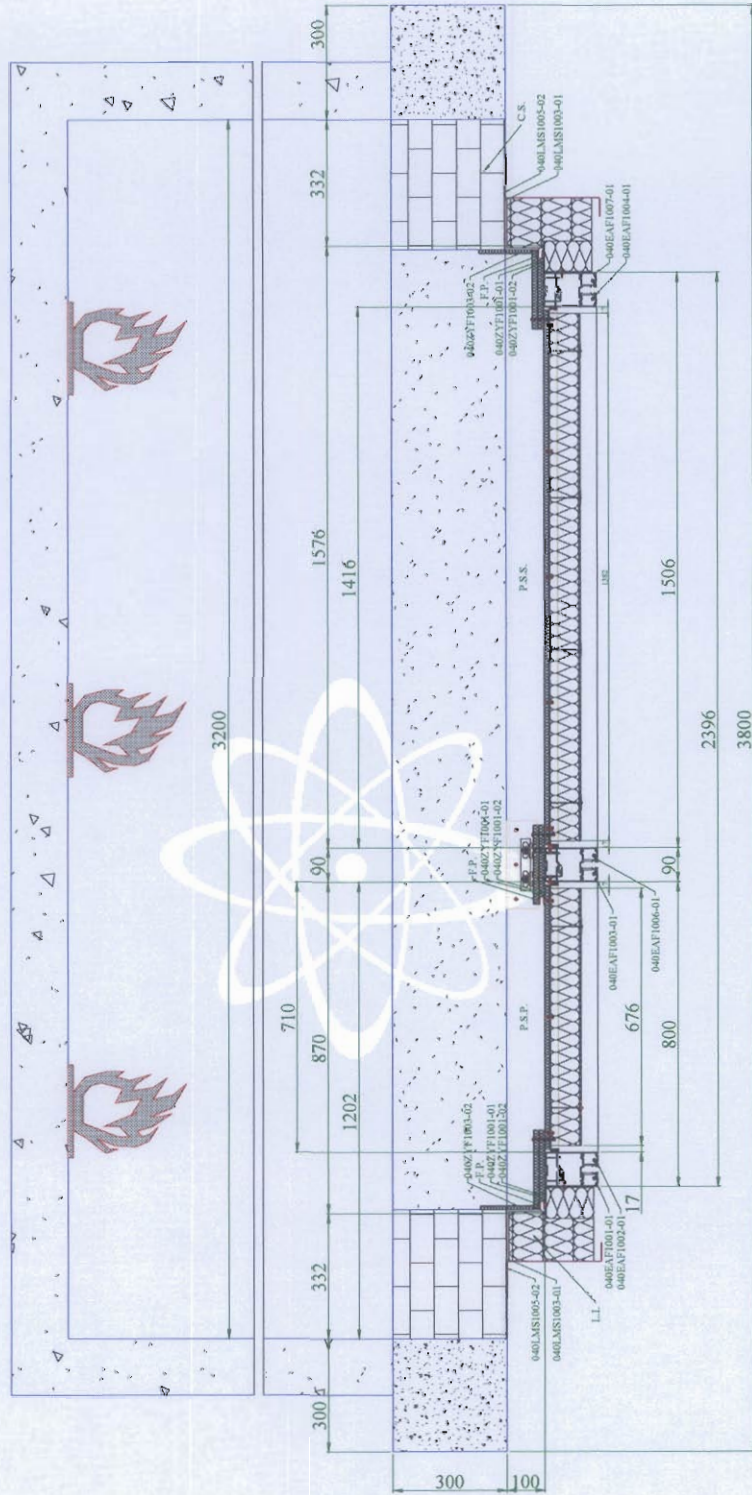
SEZIONE A:A



SEZIONE B:B



SEZIONE C:C



Costruzione di sostegno.

Descrizione della costruzione di sostegno.

Il campione è stato montato su una costruzione di sostegno non normalizzato di tipo rigido, spessore nominale 300 mm, costituito sostanzialmente da una muratura in blocchi di laterizio, legati con giunti orizzontali e verticali di malta tradizionale a base cementizia, protetta su ambo le facce con uno strato di intonaco tradizionale a base cementizia.

La costruzione di sostegno è stata a sua volta montata su un telaio di prova costituito da una cornice perimetrale indeformabile in cemento armato, densità nominale 2300 kg/m³.

Descrizione della modalità di fissaggio del campione alla costruzione di sostegno.

Il campione è stato montato sulla costruzione di sostegno mediante il fissaggio meccanico tramite chiodi, viti e tasselli degli elementi del campione alla costruzione di sostegno.

Riferimenti normativi.

La prova è stata eseguita secondo le prescrizioni delle seguenti norme:

- UNI EN 1363-1:2001 del 31/07/2001 "Prove di resistenza al fuoco - Requisiti generali";
- UNI EN 1364-1:2002 del 01/04/2002 "Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti - Muri".

Condizionamento.

Prima di essere sottoposto a prova, il campione e la relativa costruzione di sostegno sono stati conservati in laboratorio per 11 giorni fino al raggiungimento di una condizione ambientale di equilibrio.



Modalità della prova.

Descrizione del forno sperimentale.

Per l'esecuzione della prova è stato utilizzato un forno sperimentale con apertura su di un lato verticale (bocca del forno), altezza interna 3200 mm, larghezza interna 3200 mm e profondità interna 1200 mm, rivestito internamente con fibra ceramica e provvisto di:

- n. 8 bruciatori a doppia fiamma alimentati a gasolio, distribuiti equamente sulle pareti verticali laterali;
- n. 2 camini posti separatamente, aventi valvole di variazione della sezione d'uscita comandate elettronicamente;
- sistema di rilevamento della pressione costituito da:
 - n. 2 rilevatori di pressione posti a 500 mm ed a $\frac{2}{3}$ d'altezza della bocca del forno, collegati ad un sistema automatico di rilevazione;
 - sistema a lettura manuale della pressione posto su una parete del forno in prossimità della sua bocca;
- sistema di rilevamento delle temperature costituito da:
 - centraline poste sui lati verticali del forno per il rilevamento delle temperature all'interno del forno;
 - termocoppie a filo tipo "K" collegate ad una centralina mobile, a sua volta collegata ad un lettore che trasforma la differenza di potenziale delle termocoppie stesse in temperatura;
- sistema di acquisizione dati facente capo ad un calcolatore elettronico con software di gestione.

Faccia esposta al fuoco.

Il campione in esame è asimmetrico e, come richiesto dal Committente, è stata esposta al fuoco la faccia dove il campione non era sporgente.

Punti di misura delle temperature e degli spostamenti.

I punti per la misura delle temperature sulla faccia non esposta del campione in prova (posizione delle termocoppie della faccia non esposta) ed i punti per la misura degli spostamenti del campione in prova (posizione dei trasduttori di spostamento) sono riportati negli schemi dei fogli seguenti.



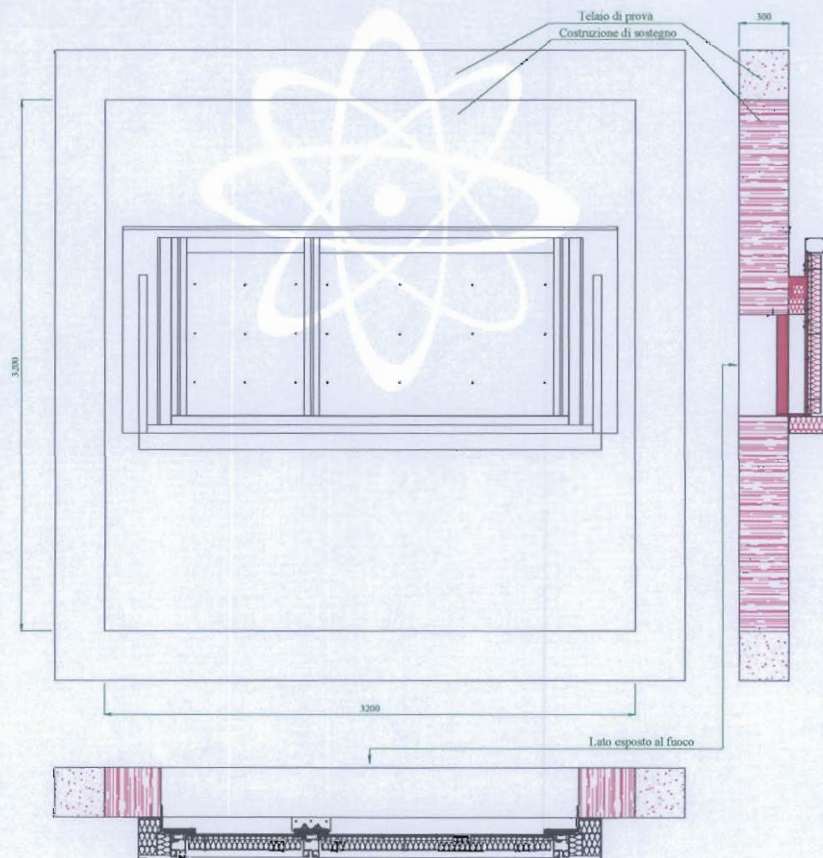
Misura della pressione.

La pressione è stata misurata tramite un sensore "T" di pressione posizionato all'interno del forno sperimentale a 500 mm di altezza dalla base del campione ed a 100 mm dall'elemento di sostegno.

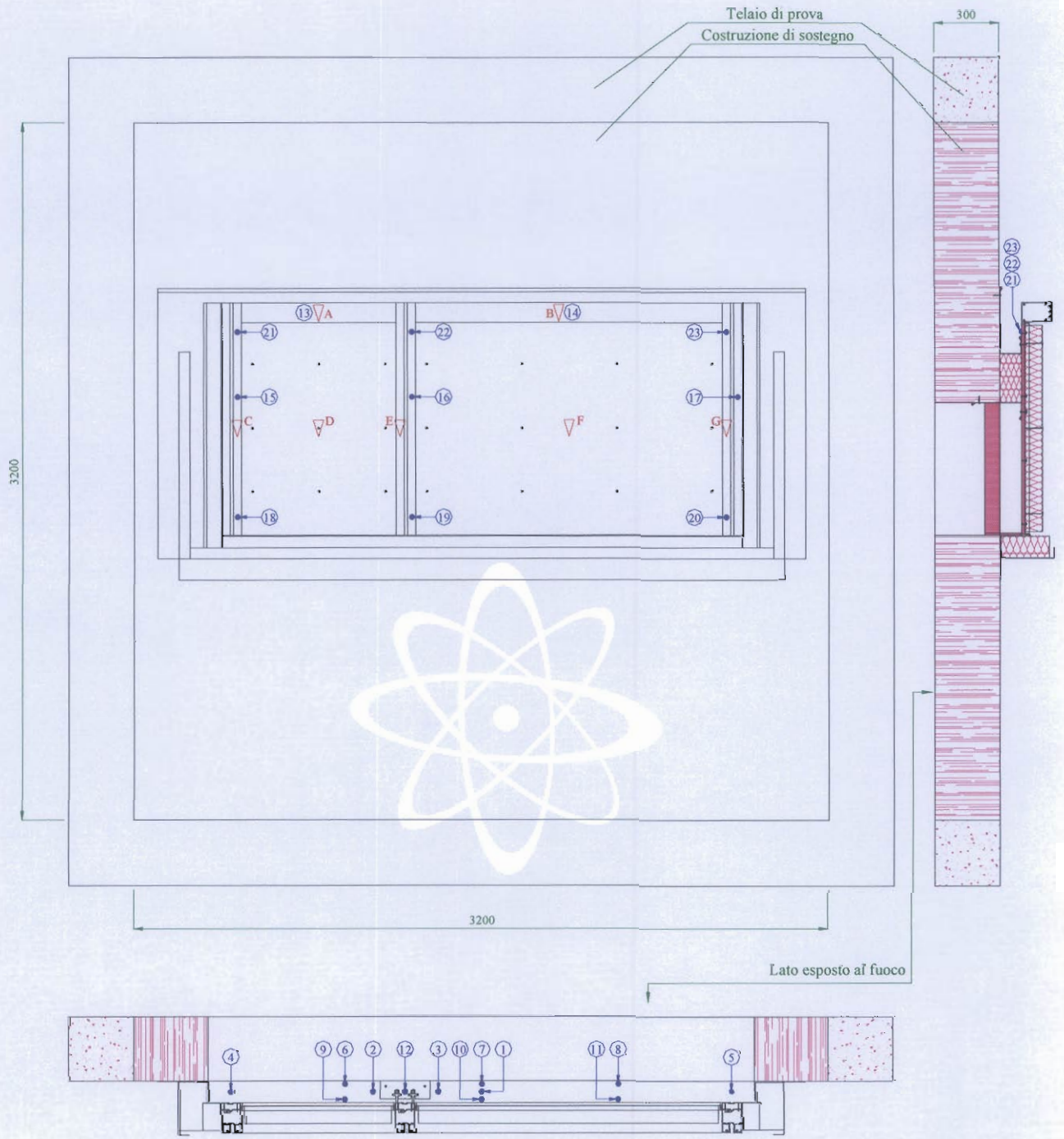
Incertezza di misura.

In ragione della natura delle prove di resistenza al fuoco e della conseguente difficoltà di quantificare l'incertezza della misurazione della resistenza al fuoco, non è possibile fornire una dichiarazione del grado di accuratezza del risultato.

MODALITÀ DI PROVA



DISPOSIZIONE DELLE TERMOCOPPIE E PUNTI PER LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI SUL CAMPIONE



- Punti di applicazione delle termocoppie
- ▽ Punti di misura degli spostamenti



Risultati della prova.

Condizioni ambientali al momento della prova.

Temperatura ambiente all'inizio della prova	22 °C
---------------------------------------------	-------

Prova al fuoco.

Nel corso della prova si sono verificati i comportamenti significativi riportati nella seguente tabella.

Tempo [min]	Osservazioni
15	Inizio di fuoriuscite di vapore acqueo e di fumi freddi sulla faccia non esposta al fuoco del campione, in corrispondenza del suo bordo verticale destro.
45	Inizio dell'annerimento del campione, in corrispondenza del pannello in lana minerale di maggiori dimensioni; tale fenomeno si è esteso, nei minuti successivi, anche al pannello in lana minerale di minori dimensioni.
55	Inizio dell'annerimento del pannello in lana minerale di minori dimensioni, sulla faccia non esposta al fuoco del campione
60	Inizio di fuoriuscite di vapore acqueo e di fumi freddi in corrispondenza della traversa superiore del campione sulla sua faccia non esposta al fuoco.
130	Interruzione della prova senza che nel frattempo si fossero verificati ulteriori fenomeni significativi

Ripetuti controlli effettuati nel corso della prova secondo le prescrizioni della norma UNI EN 1363-1:2001 sulla faccia non esposta al fuoco del campione in esame non hanno mai evidenziato la perdita di tenuta da parte del campione stesso.



Temperature.

All'interruzione della prova gli incrementi di temperatura registrati dalle termocoppie applicate sul campione in esame avevano raggiunto i valori riportati nel prospetto riepilogativo seguente.

Punto di misura		Termocoppia	Incremento di temperatura
		[n.]	[°C]
Sulla barriera al fuoco orizzontale superiore		1	84
		2	77
		3	77
		4	74
		5	75
		6	76
		7	77
		8	76
		9	77
		10	116
		11	80
Sulla staffa di fissaggio della cellula		12	84
Sulla struttura	traversa superiore	13	76
		14	93
	faccia esterna dei montanti	15	116
		16	137
		17	125
		18	78
		19	103
		20	89
	faccia interna dei montanti	21	91
		22	106
		23	109



Spostamenti.

I valori degli spostamenti rispetto ad un riferimento fisso registrati nel corso della prova sono riportati nella tabella seguente.

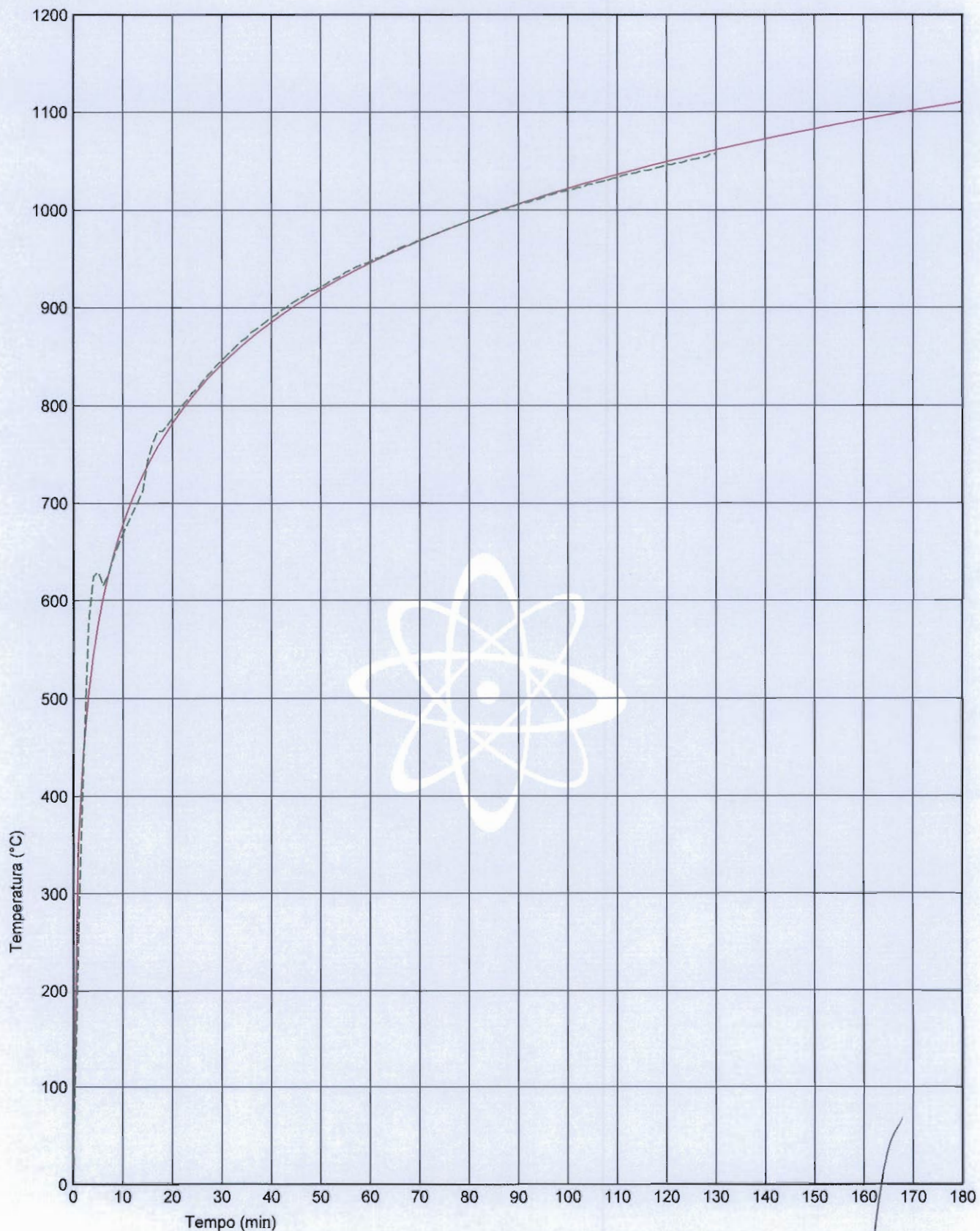
Tempo di misura [min]	Spostamento						
	nel punto "A" [mm]	nel punto "B" [mm]	nel punto "C" [mm]	nel punto "D" [mm]	nel punto "E" [mm]	nel punto "F" [mm]	nel punto "G" [mm]
0	0	0	0	0	0	0	0
10	2	2	1	1	3	-2	2
20	5	5	2	2	6	0	5
30	6	8	3	0	8	-1	5
40	8	9	3	-2	8	-5	4
50	9	10	2	-4	8	-8	3
60	11	11	1	-7	8	-8	3
70	10	10	0	-9	7	-9	2
80	10	9	-1	-9	7	-9	0
90	10	9	-3	-9	6	-9	-2
100	9	9	-5	-9	6	-10	-2
110	9	8	-6	-9	6	-10	-3
120	8	8	-6	-9	5	-10	-4
130	8	8	-7	-10	5	-11	-5

Nei fogli seguenti sono riportati:

- il diagramma con la curva teorica di riscaldamento del forno e la curva effettivamente realizzata nel corso della prova;
- i diagrammi con le curve temperatura/tempo registrate dalle termocoppie applicate sul campione in esame;
- il diagramma pressione/tempo;
- la tabella dello scarto percentuale "d_c";
- le fotografie del campione in esame prima e dopo la prova.



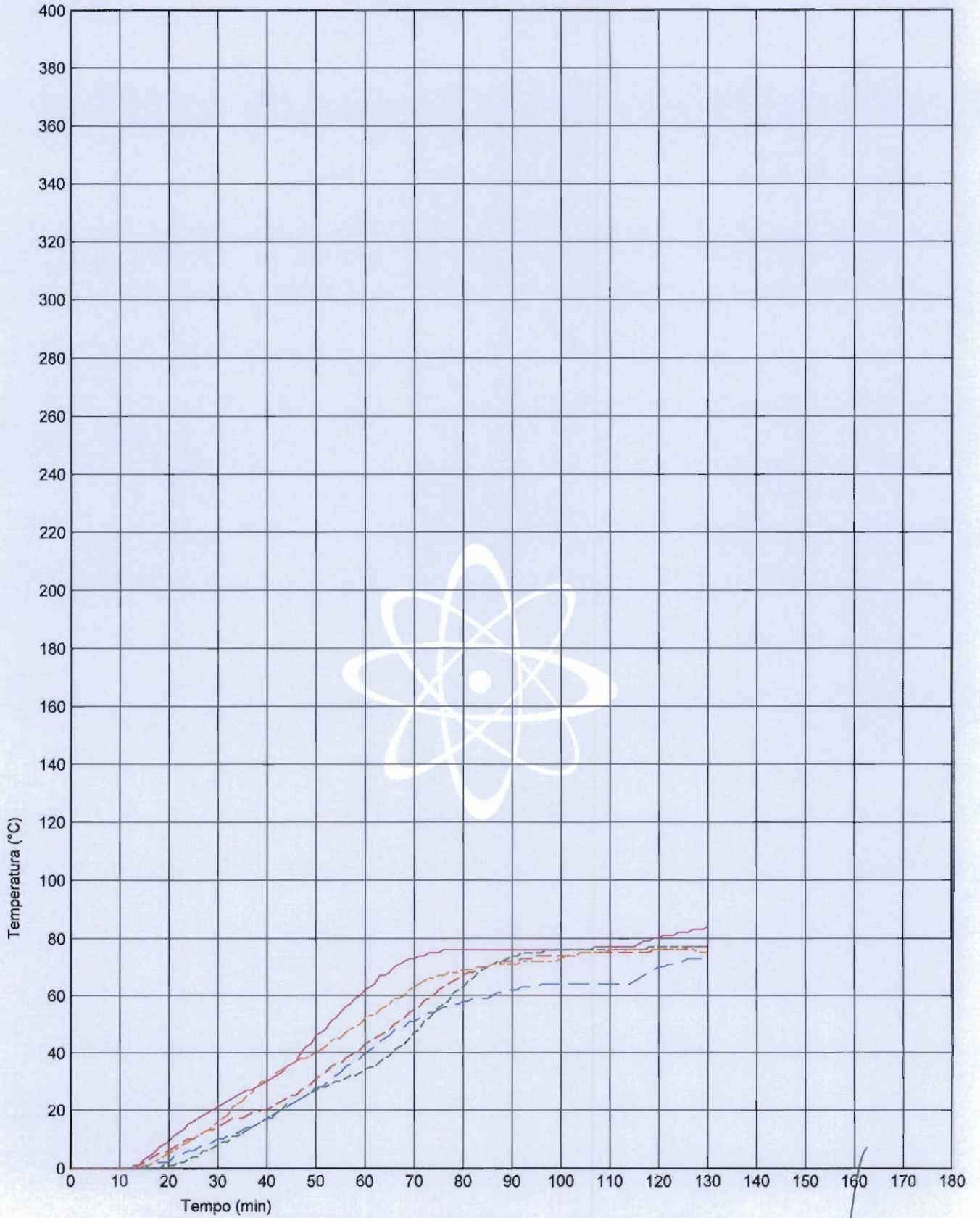
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 1



— Temperatura teorica di riscaldamento del forno
- - - Temperatura sperimentale di riscaldamento del forno



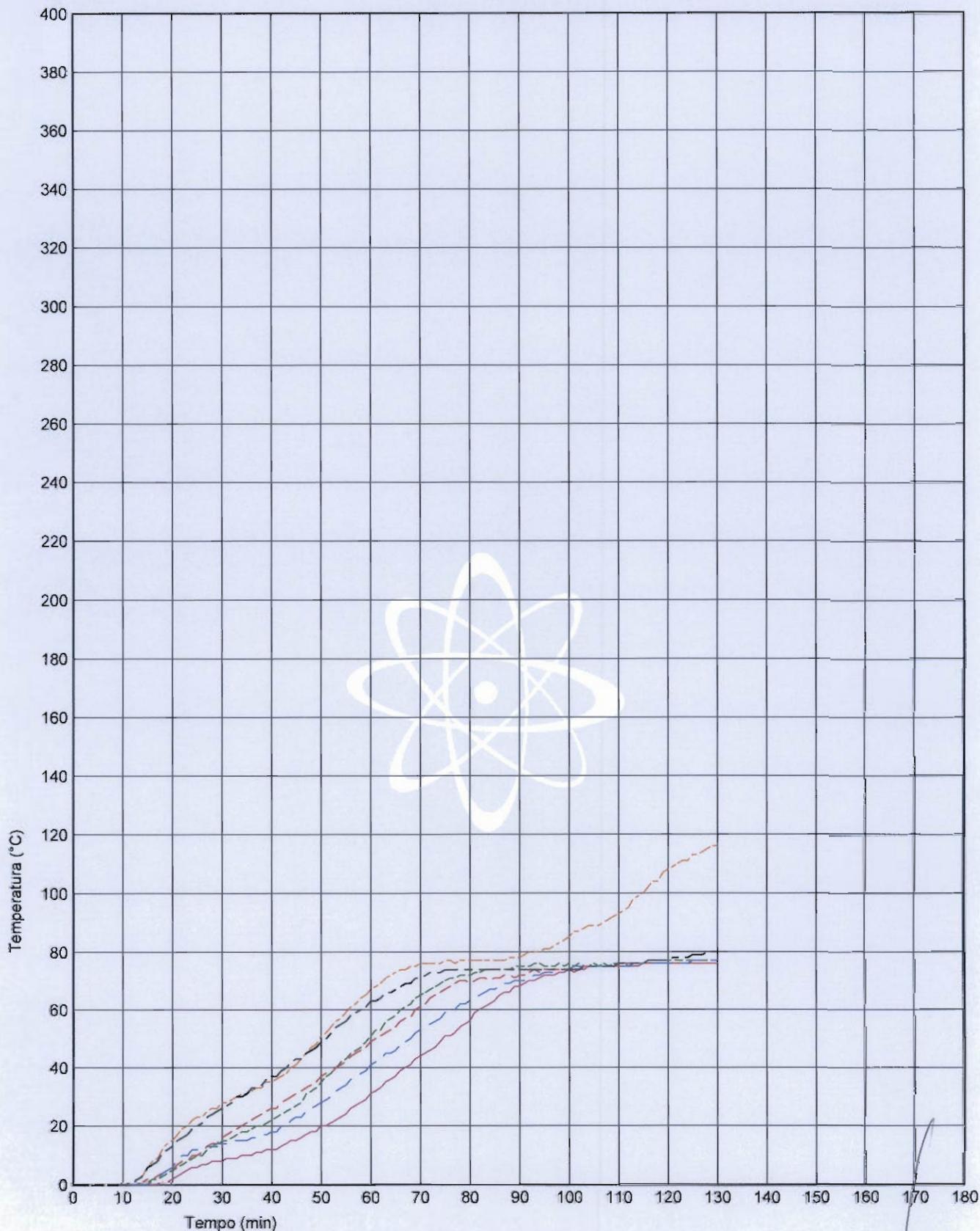
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 2



- Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T1)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T2)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T3)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T4)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T5)



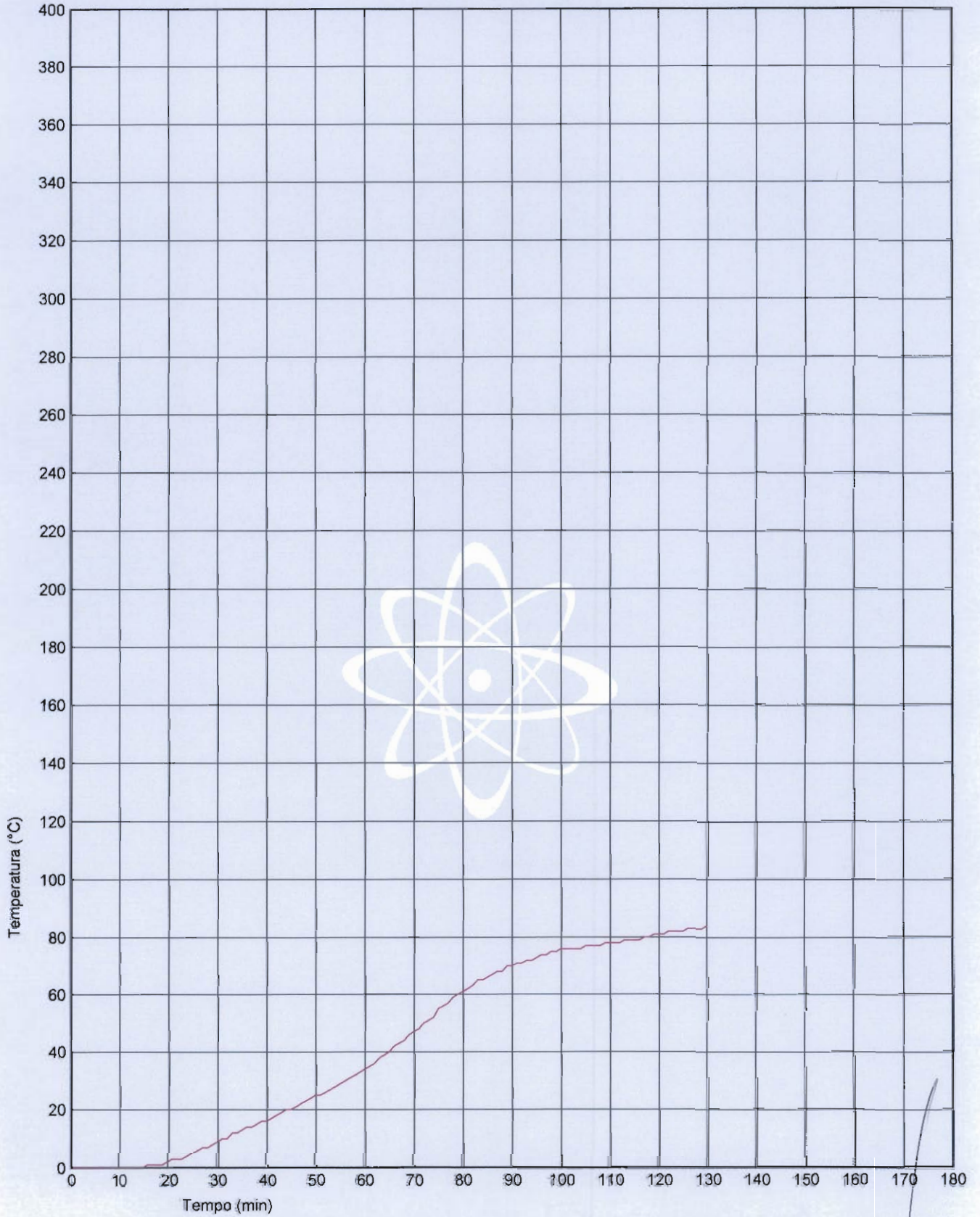
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 3



- Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T6)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T7)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T8)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T9)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T10)
- - - Incremento di temperatura sulla barriera al fuoco orizzontale superiore (T11)



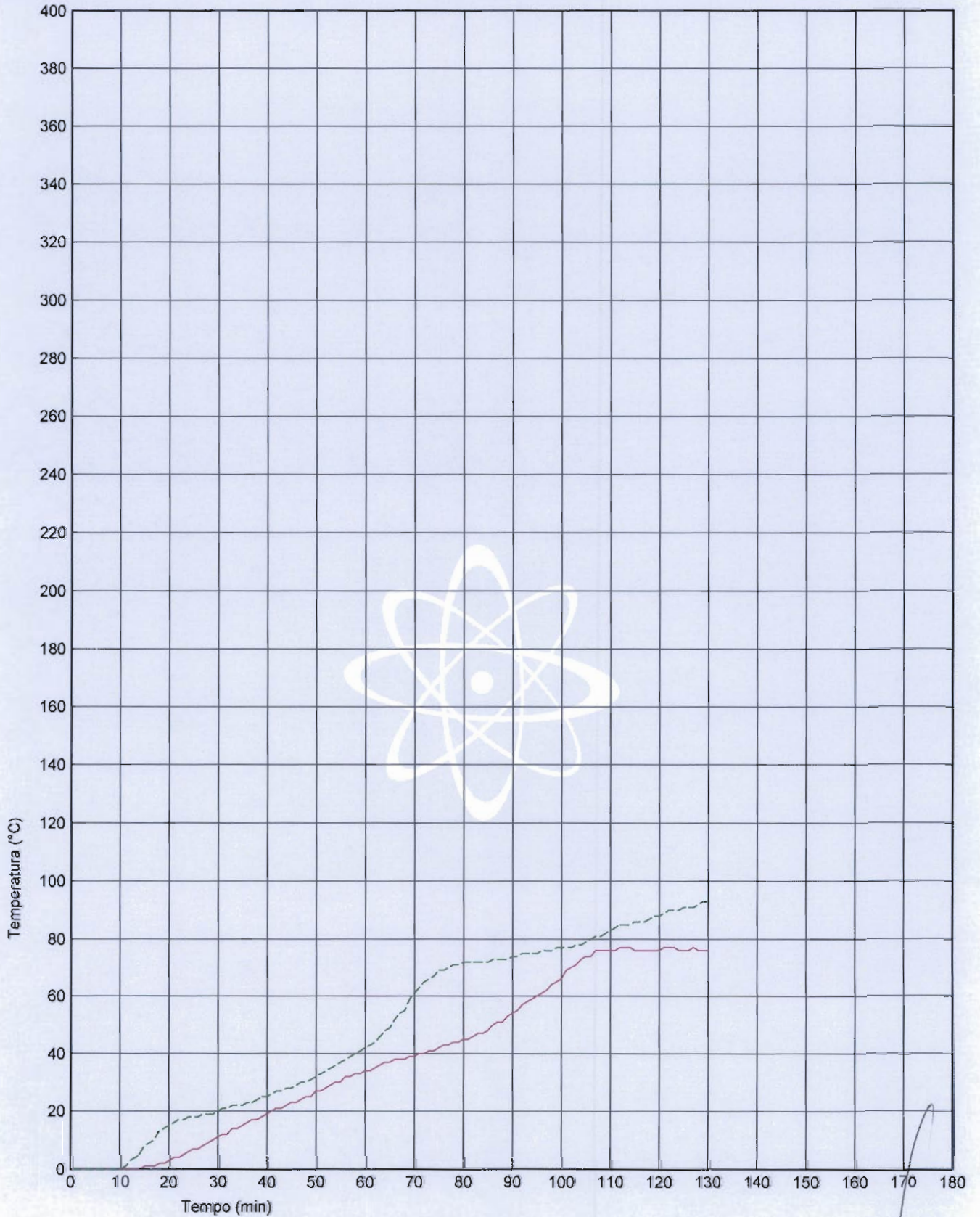
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 4



— Incremento di temperatura sulla staffa di fissaggio della cellula (T12)



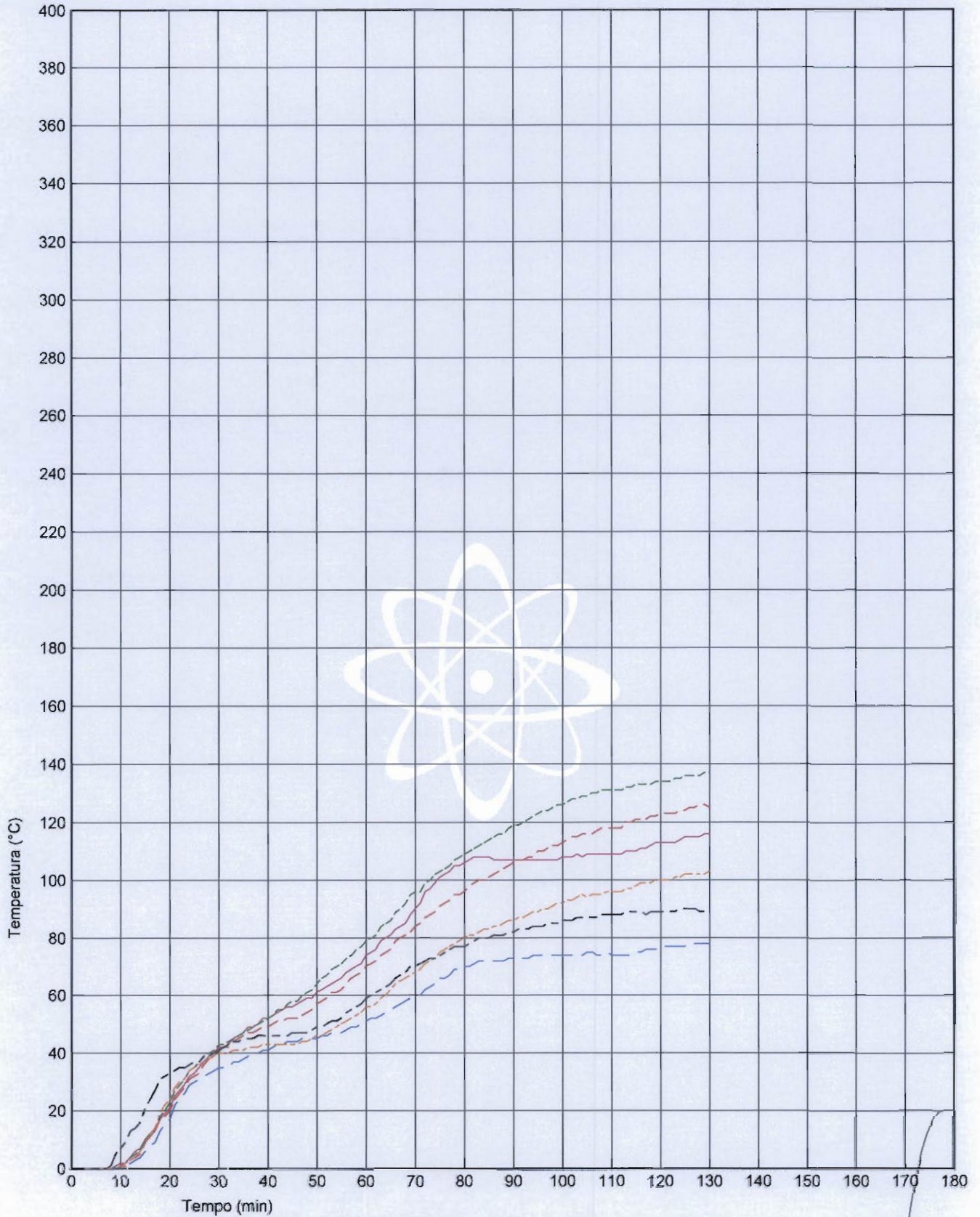
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 5



— Incremento di temperatura sulla traversa superiore della struttura (T13)
- - - Incremento di temperatura sulla traversa superiore della struttura (T14)



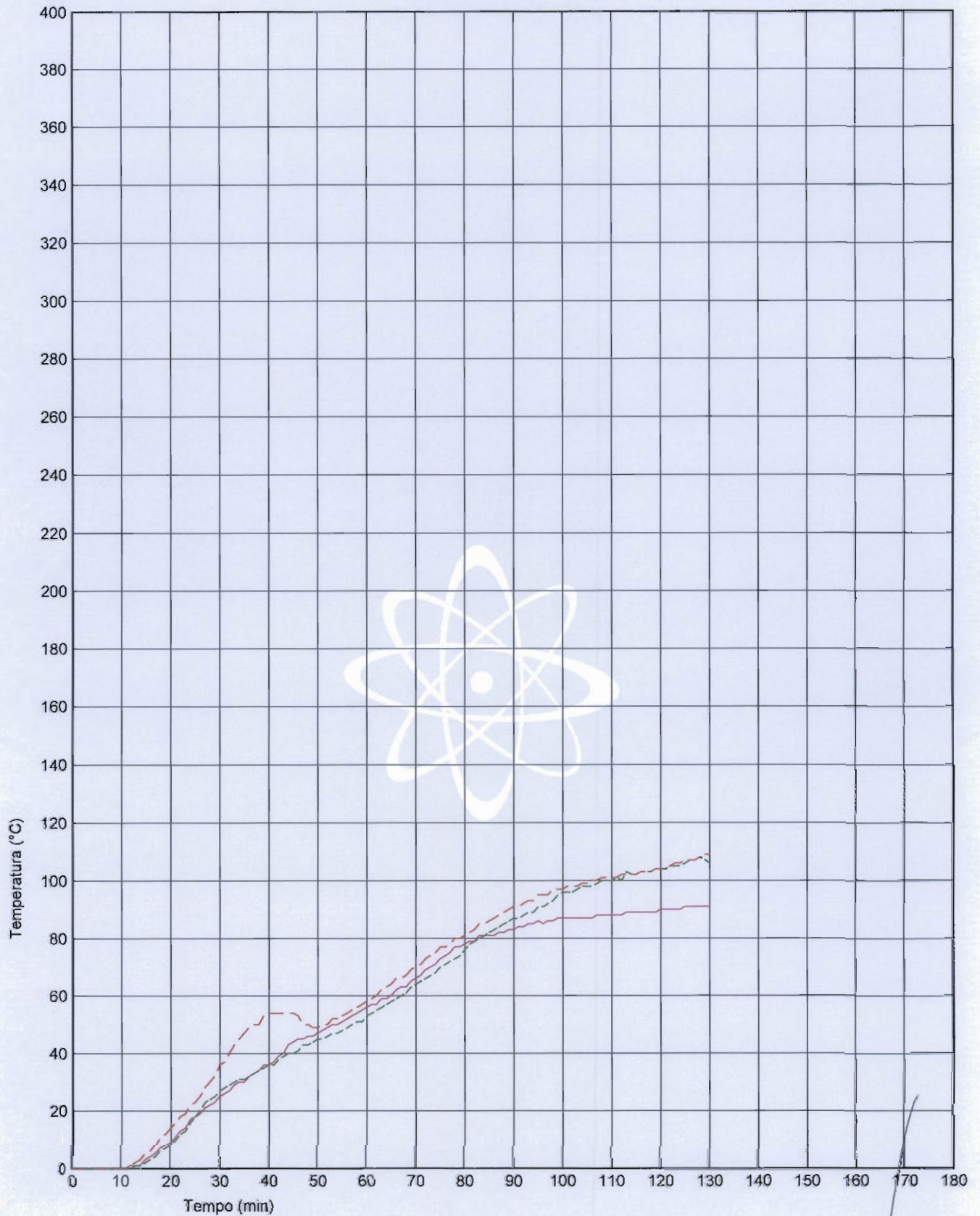
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 6



- Incremento di temperatura sulla faccia esterna dei montanti della struttura (T15)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia esterna dei montanti della struttura (T16)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia esterna dei montanti della struttura (T17)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia esterna dei montanti della struttura (T18)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia esterna dei montanti della struttura (T19)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia esterna dei montanti della struttura (T20)



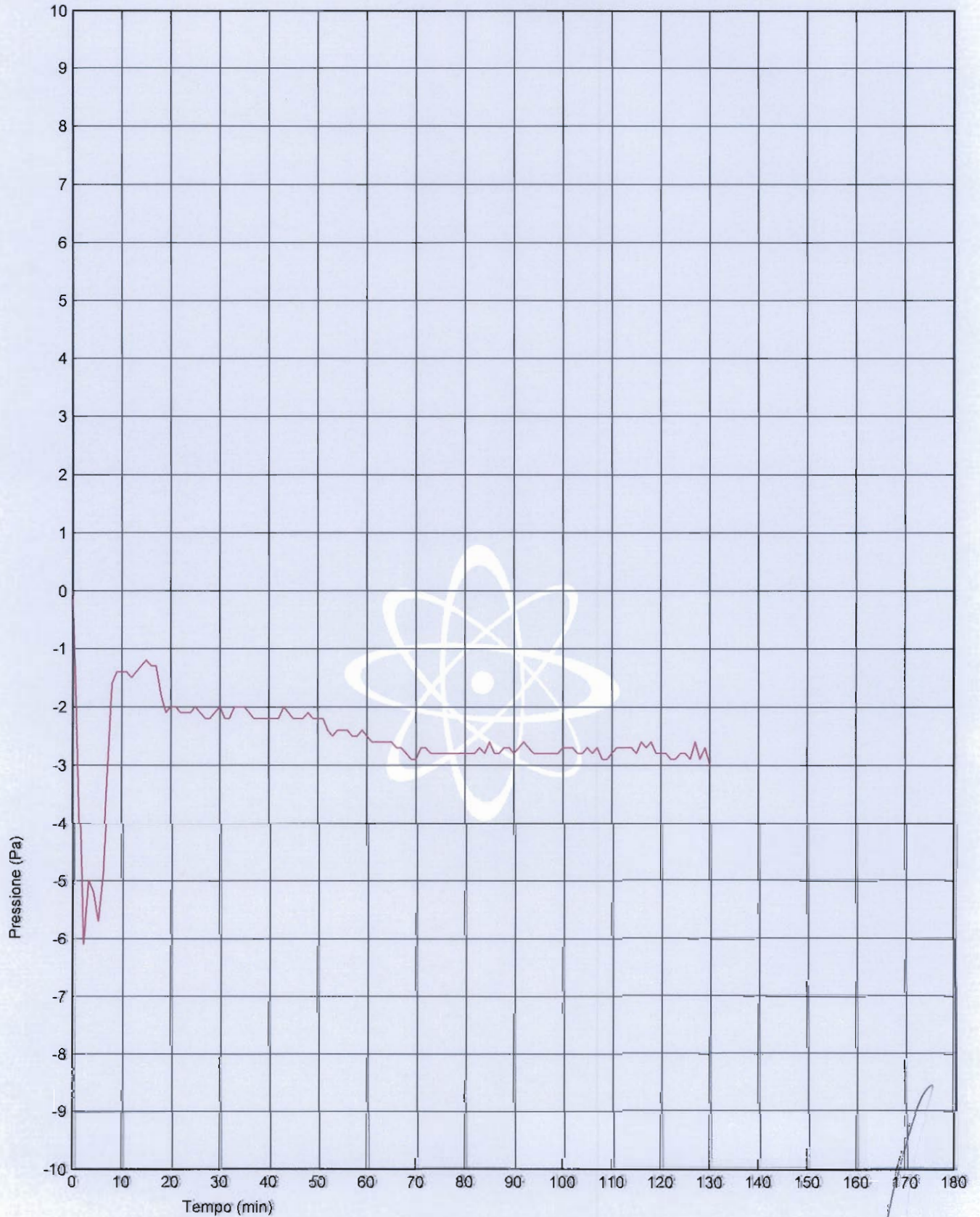
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 7



- Incremento di temperatura sulla faccia interna dei montanti della struttura (T21)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia interna dei montanti della struttura (T22)
- - - Incremento di temperatura sulla faccia interna dei montanti della struttura (T23)



DIAGRAMMA PRESSIONE/TEMPO (pressione a 500 mm da piano di riferimento)



— Pressione del forno



TABELLA DELLO SCARTO PERCENTUALE "d_e"

Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
0	22	0,0	//
1	261	-21,6	//
2	434	-15,5	//
3	576	-5,6	//
4	625	1,1	//
5	629	3,9	15,0
6	616	4,3	15,0
7	626	3,7	15,0
8	644	3,1	15,0
9	657	2,6	15,0
10	669	2,1	15,0
11	680	1,7	14,5
12	691	1,3	14,0
13	701	1,0	13,5
14	713	0,7	13,0
15	744	0,6	12,5
16	761	0,6	12,0
17	774	0,7	11,5
18	774	0,8	11,0
19	780	0,8	10,5
20	787	0,8	10,0
21	793	0,8	9,5
22	800	0,8	9,0
23	806	0,8	8,5
24	813	0,7	8,0



Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
25	817	0,7	7,5
26	824	0,7	7,0
27	830	0,7	6,5
28	835	0,7	6,0
29	841	0,7	5,5
30	846	0,7	5,0
31	851	0,7	4,9
32	856	0,7	4,8
33	861	0,7	4,8
34	866	0,7	4,7
35	869	0,7	4,6
36	875	0,7	4,5
37	878	0,7	4,4
38	882	0,6	4,3
39	886	0,6	4,3
40	890	0,6	4,2
41	893	0,6	4,1
42	897	0,6	4,0
43	900	0,6	3,9
44	904	0,6	3,8
45	907	0,6	3,8
46	910	0,6	3,7
47	912	0,6	3,6
48	917	0,6	3,5
49	918	0,6	3,4



Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
50	921	0,6	3,3
51	924	0,6	3,3
52	927	0,6	3,2
53	930	0,6	3,1
54	932	0,6	3,0
55	936	0,6	2,9
56	938	0,6	2,8
57	941	0,6	2,8
58	943	0,6	2,7
59	945	0,6	2,6
60	947	0,5	2,5
61	950	0,5	2,5
62	951	0,5	2,5
63	954	0,5	2,5
64	956	0,5	2,5
65	959	0,5	2,5
66	961	0,5	2,5
67	963	0,5	2,5
68	964	0,5	2,5
69	967	0,5	2,5
70	969	0,5	2,5
71	971	0,5	2,5
72	973	0,5	2,5
73	975	0,5	2,5
74	977	0,4	2,5



Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
75	979	0,4	2,5
76	981	0,4	2,5
77	983	0,4	2,5
78	985	0,4	2,5
79	986	0,4	2,5
80	989	0,4	2,5
81	990	0,4	2,5
82	992	0,4	2,5
83	994	0,4	2,5
84	996	0,4	2,5
85	998	0,4	2,5
86	1000	0,4	2,5
87	1001	0,4	2,5
88	1002	0,4	2,5
89	1004	0,4	2,5
90	1006	0,4	2,5
91	1007	0,4	2,5
92	1008	0,3	2,5
93	1010	0,3	2,5
94	1011	0,3	2,5
95	1013	0,3	2,5
96	1015	0,3	2,5
97	1016	0,3	2,5
98	1018	0,3	2,5
99	1019	0,3	2,5

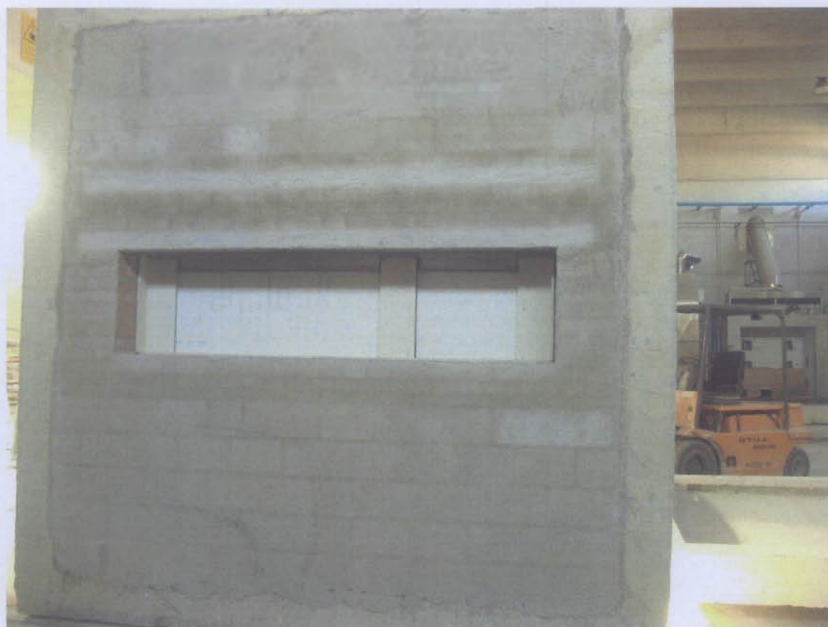


Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
100	1020	0,3	2,5
101	1021	0,3	2,5
102	1023	0,3	2,5
103	1023	0,3	2,5
104	1026	0,3	2,5
105	1026	0,3	2,5
106	1028	0,3	2,5
107	1029	0,3	2,5
108	1030	0,3	2,5
109	1032	0,3	2,5
110	1033	0,2	2,5
111	1035	0,2	2,5
112	1036	0,2	2,5
113	1037	0,2	2,5
114	1038	0,2	2,5
115	1040	0,2	2,5
116	1040	0,2	2,5
117	1041	0,2	2,5
118	1043	0,2	2,5
119	1044	0,2	2,5
120	1046	0,2	2,5
121	1046	0,2	2,5
122	1048	0,2	2,5
123	1048	0,2	2,5
124	1050	0,2	2,5

Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
125	1051	0,2	2,5
126	1052	0,2	2,5
127	1053	0,2	2,5
128	1054	0,2	2,5
129	1057	0,1	2,5
130	1057	0,1	2,5



FOTOGRAFIE DEL CAMPIONE



Fotografia della faccia esposta al fuoco del campione prima della prova.



Fotografia della faccia non esposta al fuoco del campione prima della prova.



Fotografia della faccia esposta al fuoco del campione dopo la prova.



Fotografia della faccia non esposta al fuoco del campione dopo la prova.

Conclusioni.

Riferimento	Criterio di prestazione	Descrizione	Risultato
Paragrafo 11.2 della norma UNI EN 1363-1:2001	Tenuta	Tampone di cotone	> 130 min
		Calibro da 6 mm	> 130 min
		Calibro da 25 mm	> 130 min
		Fiamma persistente	> 130 min
Paragrafo 11.3 della norma UNI EN 1363-1:2001	Isolamento	Termocoppie n. 1 ÷ 23	> 130 min

Campo di applicazione diretta dei risultati di prova.

Del campione in esame sono ammesse le variazioni secondo la norma UNI EN 1364-1:2002 riportate nella tabella seguente.

Tipo di variazione	Paragrafo di riferimento alla norma UNI EN 1364-1:2002	Possibilità di variazione
Riduzione di altezza	13.1 a)	Consentita
Aumento di spessore del muro	13.1 b)	Consentita
Aumento di spessore dei materiali componenti	13.1 c)	Consentita
Riduzione delle dimensioni lineari dei riquadri o dei pannelli, ma non dello spessore	13.1 d)	Consentita
Riduzione dello spazio tra gli irrigidimenti	13.1 e)	Consentita
Riduzione della distanza tra i vincoli	13.1 f)	Consentita
Aumento di numero dei giunti orizzontali in casi di prova effettuata con un solo giunto a distanza non maggiore di 500 mm dal margine superiore	13.1 g)	Non applicabile

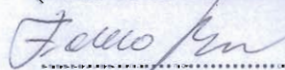


Tipo di variazione	Paragrafo di riferimento alla norma UNI EN 1364-1:2002	Possibilità di variazione
Uso di impianti ed accessori applicati alla superficie in caso di prova effettuata come illustrato nella figura 10, con gli impianti o gli accessori a distanza non maggiore di 500 mm dal margine superiore	13.1 h)	Non consentita
Giunti orizzontali e/o verticali, del tipo sottoposto a prova	13.1 i)	Consentita
Aumento di larghezza	13.2	Non consentita
Aumento di altezza fino a 4 m	13.3	Non consentita
Costruzione di sostegno normalizzate	13.4.1	Non consentita
Costruzione di sostegno non normalizzate	13.4.2	Consentita

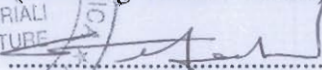
Il presente rapporto di prova descrive in modo dettagliato il metodo di allestimento, le condizioni di prova ed i risultati ottenuti dalla prova dello specifico elemento costruttivo qui descritto condotta secondo il procedimento illustrato nella norma UNI EN 1363-1:2001. Non è materia del presente rapporto qualsiasi variazione riguardante le dimensioni, i dettagli costruttivi, i carichi, gli sforzi, le condizioni ai bordi ed alle estremità, che non sia consentita nel campo di applicazione diretta del rispettivo metodo di prova.

Il presente rapporto di prova è valido solo per manufatti installati conformemente al campione provato, la cui faccia esposta al fuoco corrisponda alla faccia esposta al fuoco del campione provato sperimentalmente.

Il Responsabile
Tecnico di Prova
(Dott. Geol. Franco Berardi)

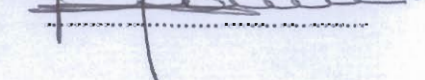



Il Responsabile del Laboratorio
di Resistenza al Fuoco
(Dott. Ing. Stefano Vasini)



Il Presidente o
l'Amministratore Delegato

Dott. Ing. Vincenzo Iommi





ISTITUTO GIORDANO



Istituto Giordano S.p.A.
Via Rossini, 2 - 47814 Bellaria-Igea Marina (RN) - Italy
Tel. +39 0541 343030 - Fax +39 0541 345540
istitutogiordano@giordano.it - www.giordano.it
Cod. Fisc./ P.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
Organismo Europeo notificato n. 0407
Accreditamenti: SINCERT (057A e 082B) - SIT (20)

Laboratorio autorizzato ai sensi del Decreto del Ministero dell'Interno 26/03/1985

RICONOSCIMENTI DA MINISTERI ITALIANI:

- Legge 1086/71 con D.M. 27/11/82 n. 22913 "Prove sui materiali da costruzione".
- Decreto 21/07/06 "Certificazione CE per le unità da diporto".
- D.M. 04/08/94 "Certificazione CEE sulle macchine".
- Notifica n. 757890 del 15/12/98 "Certificazione CEE per gli apparecchi a gas".
- D.M. 09/07/93 "Certificazione CEE in materia di recipienti semplici a pressione".
- D.M. 08/07/93 "Certificazione CEE concernente la sicurezza dei giocattoli".
- Incarichi di verifica della sicurezza e conformità dai prodotti nell'ambito della sorveglianza sul mercato e tutela del consumatore.
- D.M. 02/04/98 "Rilascio di attestazioni di conformità delle caratteristiche e prestazioni energetiche dei componenti degli edifici e degli impianti".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 21/03/86 "Prove di reazione al fuoco secondo D.M. 26/08/84".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 03/07/92 "Prove di resistenza al fuoco secondo Circolare n. 7 del 02/04/91 norma CNVVF/CCI UNI 9723".
- Legge 818/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 08/02/08 "Prove di resistenza al fuoco ai sensi del D.M. 21/06/04 e del D.M. 18/02/07".
- Legge 46/82 con D.M. 09/10/85 "immissione nell'albo dei laboratori autorizzati a svolgere ricerche di carattere applicativo a favore delle piccole e medie industrie".
- Protocollo n. 116 del 27/03/87 "Iscrizione allo Schedario Anagrafe Nazionale delle ricarchie con codice N.E0490Y9Y".
- Decreto 24/05/02 "Certificazione CE di rispondenza della conformità delle attrezzature a pressione".
- Decreto 13/12/04 "Certificazione di conformità di attrezzature a pressione trasportabili".
- Decreto 14/02/02 "Certificazione CE di conformità in materia di emissione acustica ambientale per macchine e attrezzature".
- Decreto 05/02/03 "Esecuzione delle procedure di valutazione della conformità dell'equipaggiamento marittimo".
- Decreto 17/09/04 "Certificazione CE sugli ascensori e componenti di sicurezza".
- Notifica per le attività di attestazione della conformità alle norme armonizzate della Direttiva 89/106/CE sui prodotti da costruzione.
- Decreto 20/01/05 "Verifiche di prova su dispositivi medici".
- D.Lgs. 02/02/07 n. 22 "Certificazione ai sensi della Direttiva 2004/22/CE (MID) di contatori per energia elettrica di corrente alternata (c.a.) monofase e trifase e di contatori volumetrici di gas a membrana".
- Decreto 11/09/07 "Certificazione CE di dispositivi di protezione individuale".
- Decreto 10/12/07 n. 218 "Certificazione del processo di produzione del conglomerato cementizio prodotto con processo industrializzato".

RICONOSCIMENTI DA ENTI TERZI:

- SINCERT: Accreditamenti n. 057A del 19/02/00 "Organismo di certificazione di sistemi di gestione per la qualità" e n. 082B del 12/04/06 "Organismo di certificazione di prodotto".
- SIT: Accreditamento Centro multisede n. 20 (Bellaria - Pomezia) per grandezze termometriche ed elettriche.
- ICM: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto".
- IMQ: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per canne fumarie".
- UNCSAAL: Riconoscimento del 26/03/85 "Laboratorio per le prove di certificazione UNCSAAL su serramenti e facciate continue".
- KEYMARK per isolanti termici: "Misure di conduttività termica per materiali isolanti".
- IFI: "Prove di laboratorio e sorveglianza in azienda nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per porte, finestre, chiusure oscuranti (antifurto) e serramenti".
- EFSO: "Prove di laboratorio su casseforti e altri mezzi di custodia".
- AENOR: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerenti la direttiva prodotti da costruzione".
- VTT - Finlandia: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerenti la direttiva prodotti da costruzione".
- C.C.I.A.A. Rimini: 28/01/04 "Verifica periodica dell'affidabilità metrologica di strumenti metrici in materia di commercio".
- FBTVKF - Svizzera "Laboratorio di riferimento per le prove di resistenza al fuoco di componenti edilizi".

RAPPORTO DI CLASSIFICAZIONE N. 265539

Luogo e data di emissione: Bellaria-Igea Marina - Italia, 05/02/2010

Committente: PERMASTEELISA S.p.A. - Viale Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 VITTORIO VENETO (TV) - Italia

Denominazione del campione: PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano

Introduzione.

Il presente rapporto di classificazione di resistenza al fuoco definisce la classificazione assegnata alla porzione di facciata continua denominata "PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano" in conformità alle procedure indicate nella norma UNI EN 13501-2:2009 del 26/11/2009 "Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 2: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco, esclusi i sistemi di ventilazione".



Comp. PB
Revis.

Il presente rapporto di classificazione consta di n. 6 fogli e non può essere riprodotto e/o pubblicato se non integralmente.

Foglio
n. 1 di 6

CLAUSOLE:

Il presente documento si riferisce solamente al campione o materiale sottoposto a prova.
Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Dettagli del campione.

Tipo di funzione.

La porzione di facciata continua denominata "PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano" è un tamponamento verticale esterno non portante.

Ha la funzione di resistere al fuoco con riferimento alle caratteristiche prestazionali indicate nel paragrafo 5 della norma UNI EN 13501-2:2009.

Descrizione.

La porzione di facciata continua denominata "PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano" è costituita da un tamponamento verticale esterno non portante formato sostanzialmente da montanti in alluminio e specchiature vetrate.

Rapporto di prova e risultati di prova a supporto del presente rapporto di classificazione.

Il presente rapporto di classificazione è supportato dal seguente rapporto di prova.

Laboratorio di prova	Istituto Giordano S.p.A.
Indirizzo del laboratorio	Via Verga, 6 - 47043 Gatteo (FC) - Italia
Committente	PERMASTEELISA S.p.A. - Viale Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 VITTORIO VENETO (TV) - Italia
Rapporto di prova	n. 265539 del 05/02/2010
Data di prova	29/01/2010



Condizione di esposizione.

Curva temperatura/tempo	Curva d'incendio esterno (le condizioni di riscaldamento e l'ambiente del forno rispondono a quanto indicato nella norma UNI EN 1363-2:2001 del 31/07/2001 "Prove di resistenza al fuoco - Procedure alternative e aggiuntive", paragrafo 5)
Direzione di esposizione	Esposta al fuoco la faccia esterna (prova del 29/01/2010)
Numero di superfici esposte	1
Condizioni di supporto	Costruzione di sostegno orizzontale non normalizzata

Risultati di prova.**Tenuta.**

	Prova del 29/01/2010 con esposta al fuoco la faccia esterna
Accensione del tampone di cotone	Nessuna accensione
Presenza di fiamma persistente	Nessuna presenza
Passaggio del calibro da 6 mm di diametro	Nessun passaggio
Passaggio del calibro da 25 mm di diametro	Nessun passaggio

Isolamento.

	Prova del 29/01/2010 con esposta al fuoco la faccia esterna
Incremento della temperatura media sul lato non esposto maggiore di 140 °C	> 125 min
Incremento della temperatura massima sul lato non esposto maggiore di 180 °C	> 125 min



Classificazione e campo di applicazione diretta.

Riferimento per la classificazione.

La presente classificazione è stata eseguita in conformità al paragrafo 7.5.3 della norma UNI EN 13501-2:2009.

Classificazione.

La porzione di facciata continua denominata "PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano" è classificata in conformità alle seguenti combinazioni di requisiti prestazionali e classi.

Non sono consentite altre classificazioni.

EI 120-ef (o→i)



Campo di applicazione diretta.

La porzione di facciata continua denominata "PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano" ha il seguente campo di diretta applicazione in accordo alla norma UNI EN 1364-4:2007.

Tipo di variazione	Paragrafo di riferimento alla norma UNI EN 1364-4:2007	Possibilità di variazione
La diminuzione di larghezza del pannello è ammessa purché i dettagli di fissaggio al solaio di supporto rimangano inalterati	13 a)	Consentita
Diminuzione dell'interasse dei montanti e delle traverse o aumento delle dimensioni dei montanti	13 b)	Consentita
Aumento dello spessore del solaio o dello spessore della sigillatura del giunto lineare orizzontale, misurata verticalmente	13 c)	Consentita
Aumento di densità della sigillatura se costituita da lana minerale (ma non cambiamento della modalità della sigillatura)	13 d)	Consentita
Diminuzione della distanza tra i punti di fissaggio, verticali e/o orizzontali	13 e)	Consentita

Regole per la modifica delle costruzioni di supporto.

I risultati di prova di un campione di facciata continua sottoposto a prova accoppiato ad un solaio non normalizzato sono applicabili per altri solai dello stesso tipo, purché lo spessore, come pure la prestazione di resistenza al fuoco per quanto riguarda la resistenza strutturale, l'integrità e l'isolamento termico di questi solai siano uguali o maggiori del solaio non standard utilizzato nella prova.



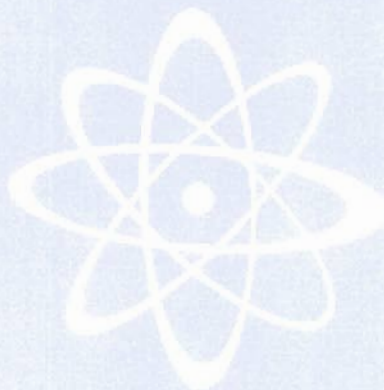
Limitazioni.

Restrizioni.

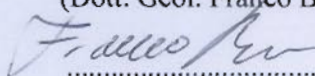
Non esistono restrizioni alla durata di validità del presente rapporto di classificazione.

Avvertenza.

Questo rapporto non costituisce omologazione o certificazione del prodotto.

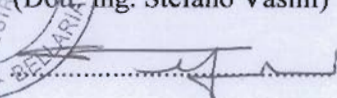


Il Responsabile
Tecnico di Prova
(Dott. Geol. Franco Berardi)





Il Direttore del Laboratorio
di Resistenza al Fuoco
(Dott. Ing. Stefano Vasini)



Il Presidente o
l'Amministratore Delegato

Dott. Ing. Vincenzo Iommi





RICONOSCIMENTI DA MINISTERI ITALIANI:

- Legge 1086/71 con D.M. 27/11/82 n. 22913 "Prove sui materiali da costruzione".
- Decreto 21/07/06 "Certificazione CE per le unità da diporto".
- D.M. 04/08/04 "Certificazione CEE sulle macchine".
- Notifica n. 757890 del 15/12/98 "Certificazione CEE per gli apparecchi a gas".
- D.M. 09/07/85 "Certificazione CEE in materia di recipienti semplici a pressione".
- D.M. 08/07/93 "Certificazione CEE concernente la sicurezza dei giocattoli".
- Incarichi di verifica della sicurezza e conformità dai prodotti nell'ambito della sorveglianza sul mercato e tutela del consumatore.
- D.M. 02/04/98 "Rilascio di attestazioni di conformità delle caratteristiche e prestazioni energetiche dei componenti degli edifici e degli impianti".
- Legge 81/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 21/03/86 "Prove di reazione al fuoco secondo D.M. 26/06/84".
- Legge 81/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 03/07/92 "Prove di resistenza al fuoco secondo Circolare n. 7 del 02/04/91 norma CNVVF/CCI UNI 9723".
- Legge 81/84 e D.M. 26/03/85 con autorizzazione del 08/02/08 "Prove di resistenza al fuoco ai sensi del D.M. 21/06/04 e del D.M. 16/02/07".
- Legge 46/92 con D.M. 09/10/85 "immissione nell'albo dei laboratori autorizzati a svolgere ricerche di carattere applicativo a favore delle piccole e medie industrie".
- Protocollo n. 116 del 27/03/87 "Iscrizione allo Schedario Anagrafe Nazionale delle ricerche con codice N.E0490Y9Y".
- Decreto 24/05/02 "Certificazione CE di rispondenza della conformità delle attrezzature a pressione".
- Decreto 13/12/04 "Certificazione di conformità di attrezzature a pressione trasportabili".
- Decreto 14/02/02 "Certificazione CE di conformità in materia di emissione acustica ambientale per macchine e attrezzature".
- Decreto 05/02/03 "Esecuzione delle procedure di valutazione della conformità dell'equipaggiamento marittimo".
- Decreto 17/09/04 "Certificazione CE sugli ascensori e componenti di sicurezza".
- Notifica per le attività di attestazione della conformità alle norme armonizzate della Direttiva 89/106/CE sui prodotti da costruzione.
- Decreto 20/01/05 "Verifiche di prova su dispositivi medici".
- D.Lgs. 02/02/07 n. 22 "Certificazione ai sensi della Direttiva 2004/22/CE (MID) di contatori per energia elettrica di corrente alternata (c.a.) monofase e trifase e di contatori volumetrici di gas a membrana".
- Decreto 11/09/07 "Certificazione CE di dispositivi di protezione individuale".
- Decreto 10/12/07 n. 218 "Certificazione del processo di produzione del conglomerato cementizio prodotto con processo industrializzato".

RICONOSCIMENTI DA ENTI TERZI:

- SINCERT: Accreditamenti n. 057A del 19/02/00 "Organismo di certificazione di sistemi di gestione per la qualità" e n. 082B del 12/04/06 "Organismo di certificazione di prodotto".
- SIT: Accreditamento Centro multisede n. 20 (Bellaria - Pomezia) per grandezze termometriche ed elettriche.
- ICIM: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto".
- IMQ: "Prove di laboratorio nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per canne fumarie".
- UNCSAAL: Riconoscimento del 26/03/85 "Laboratorio per le prove di certificazione UNCSAAL su serramenti e facciate continue".
- KEYMARK per isolanti termici: "Misure di conduttività termica per materiali isolanti".
- IFI: "Prove di laboratorio e sorveglianza in azienda nell'ambito degli schemi di Certificazione di Prodotto per porte, finestre, chiusure oscuranti (antifurto) e serramenti".
- EFGS: "Prove di laboratorio su cassaforti e altri mezzi di custodia".
- AENOR: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerti la direttiva prodotti da costruzione".
- VTT - Finlandia: "Valutazione della conformità ai fini della marcatura CE per alcuni prodotti inerti la direttiva prodotti da costruzione".
- C.C.I.A.A. Rimini: 28/01/04 "Verifica periodica dell'affidabilità metrologica di strumenti metrici in materia di commercio".
- FBT/VKF - Svizzera: "Laboratorio di riferimento per le prove di resistenza al fuoco di componenti edilizi".

RAPPORTO DI PROVA N. 265539

Luogo e data di emissione: Bellaria-Igea Marina - Italia, 05/02/2010

Committente: PERMASTEELISA S.p.A. - Viale Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 VITTORIO VENETO (TV) - Italia

Data della richiesta della prova: 01/02/2010

Numero e data della commessa: 47792, 02/02/2010

Data del ricevimento del campione: 13/01/2010

Data dell'esecuzione della prova: 29/01/2010

Oggetto della prova: Determinazione della resistenza al fuoco di porzione di facciata continua secondo le norme UNI EN 1363-1:2001, UNI EN 1363-2:2001 ed UNI EN 1364-4:2007

Luogo della prova: Istituto Giordano S.p.A. - Blocco 7 - Via Verga, 6 - 47043 Gatteo (FC) - Italia

Provenienza del campione: campionato e fornito dal Committente

Identificazione del campione in accettazione: n. 2010/0088

Premessa.

Presso il forno sperimentale del Laboratorio di Resistenza al Fuoco di questo Istituto è stata eseguita una prova secondo le prescrizioni delle norme UNI EN 1363-1:2001, UNI EN

CLAUSOLE:

Il presente documento si riferisce solamente al campione o materiale sottoposto a prova.
Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Comp. **AB** Il presente rapporto di prova consta di n. 39 fogli e non può essere riprodotto c/o pubblicizzato
Revis. **AB** se non integralmente.

Foglio
n. 1 di 39



1363-2:2001 ed UNI EN 1364-4:2007 con esposizione al fuoco esterna su una facciata continua denominata "PORTA NUOVA 100C90040 - Porzione di facciata continua da utilizzare nel progetto Porta Nuova Garibaldi dell'area Garibaldi Repubblica a Milano", prodotta e presentata dalla ditta Permasteelisa S.p.A. - Viale Enrico Mattei, 21/23 - Zona Industriale San Giacomo di Veglia - 31029 Vittorio Veneto (TV) - Italia.

Descrizione del campione*.

Il campione è costituito da una porzione di facciata continua in configurazione parziale, avente le seguenti caratteristiche dimensionali riportate nella tabella seguente.

Facciata continua	Larghezza nominale	3050 mm
	Altezza nominale	1905 mm
	Spessore totale d'ingombro	278 mm
Varco per il giunto orizzontale	Larghezza nominale	2800 mm
	Altezza nominale	305 mm

Per maggiori dettagli sul campione si rimanda ai relativi disegni forniti dal Committente e riportati nei fogli seguenti.



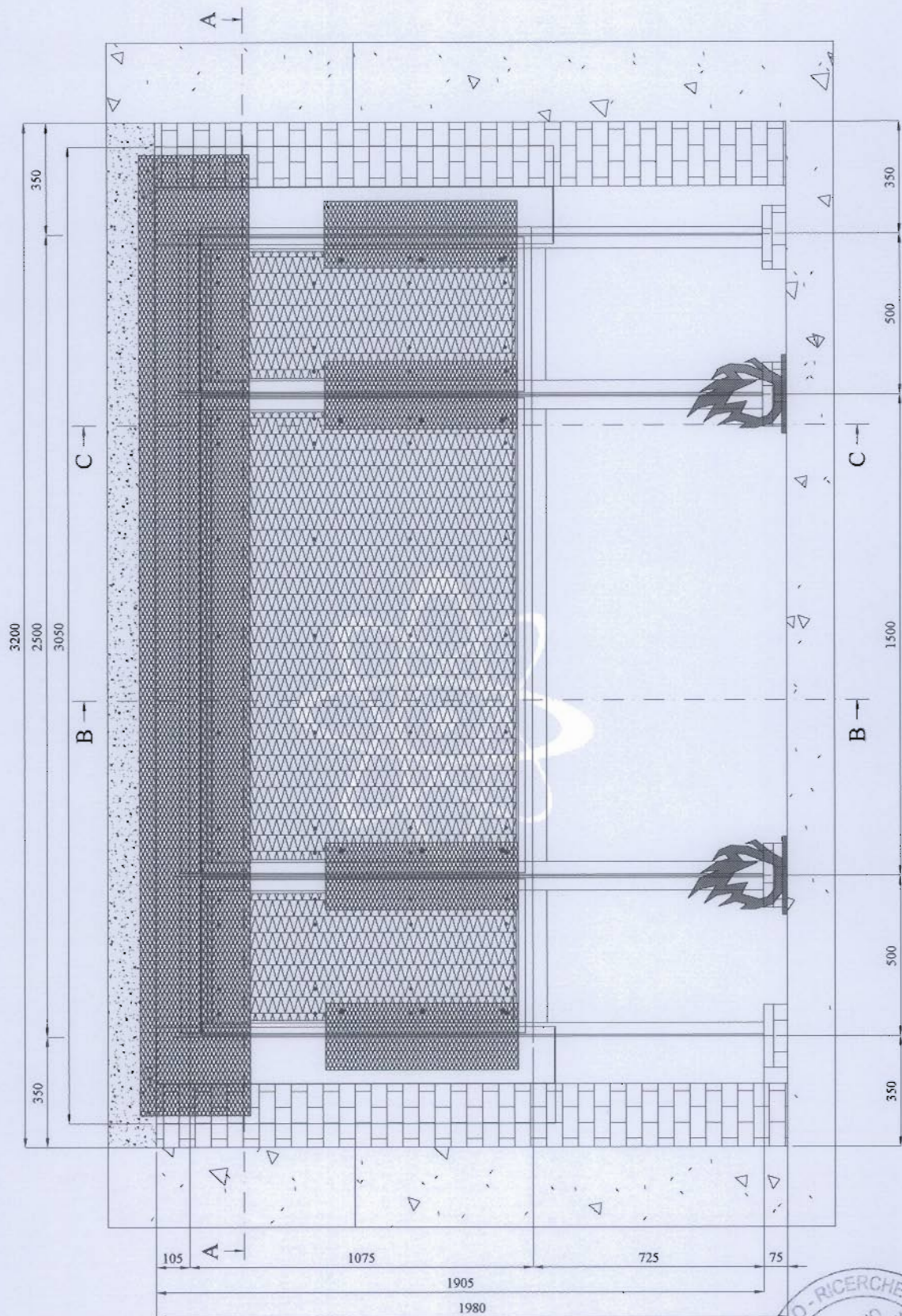
(*) secondo le dichiarazioni del Committente ed in base a controlli effettuati da personale di questo Istituto.

LEGENDA

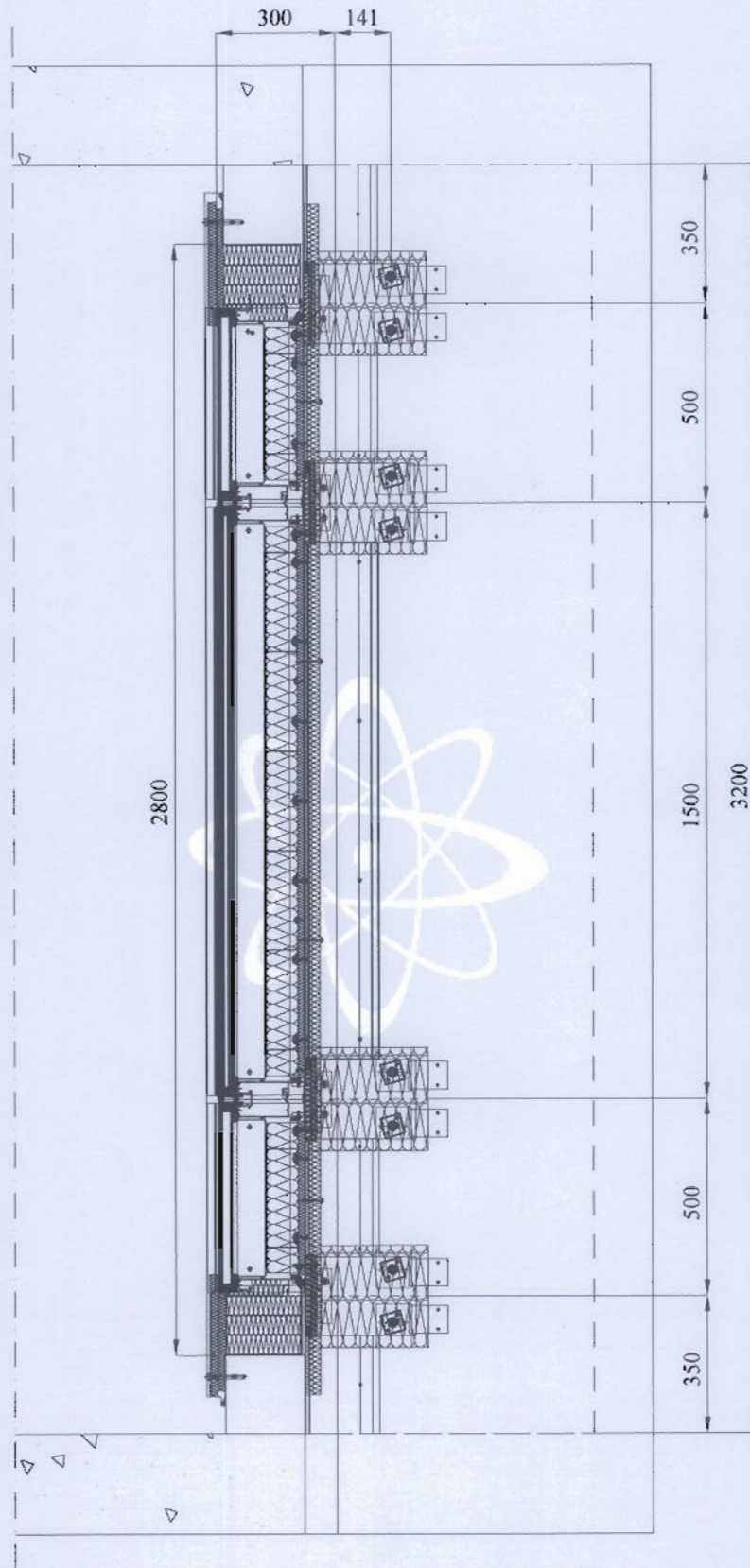
Simbolo	Descrizione
1	Materiale refrattario
2	Fibra ceramica refrattaria
3	Profilo in alluminio
4	Vetrocamera tipo "10/20/6"
5	Listello in fibrosilicato "Promatect H", lunghezza 1200 mm e sezione 310 × 20 mm
6	Listello in fibrosilicato "Promatect H", lunghezza 1200 mm e sezione 250 × 20 mm
7	Fettuccia termoespandente "Promaseal G"
8	Lamiera in acciaio zincata, spessore nominale 1,0 mm
9	Silicone ignifugo "SIKA FS-665"
10	Lastra in fibrosilicato "Promatect H"
11	Lamiera in acciaio zincata, spessore nominale 2,0 mm
12	Lana a fiocchi "Tervol S"
13	Materiale isolante "Lamaterm FS 120"
14	Lamiera in alluminio, spessore 1,5 mm
15	Lana di roccia
16	Sigillante "SIKA WS-605 S"



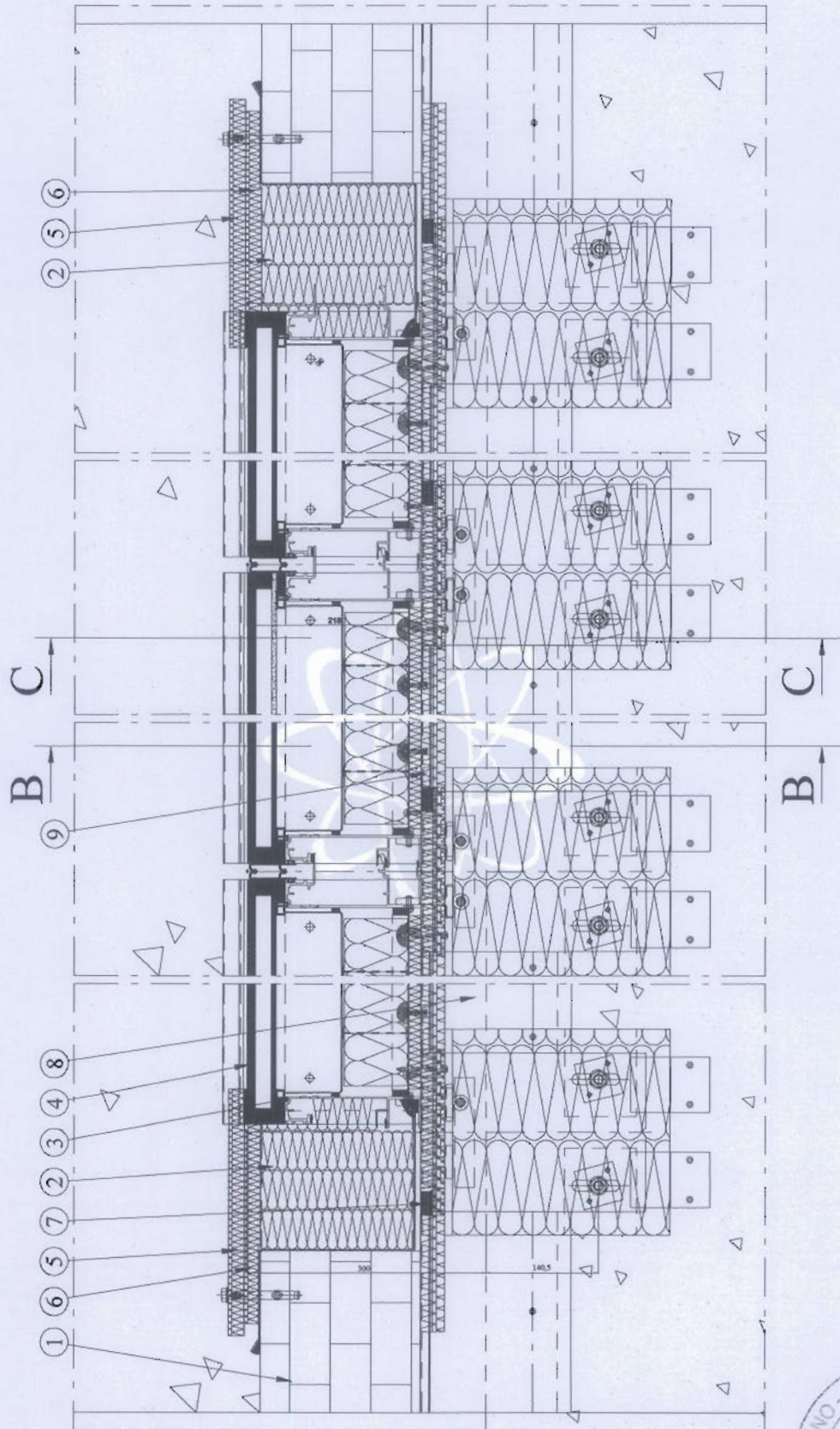
**DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(PROSPETTO)**



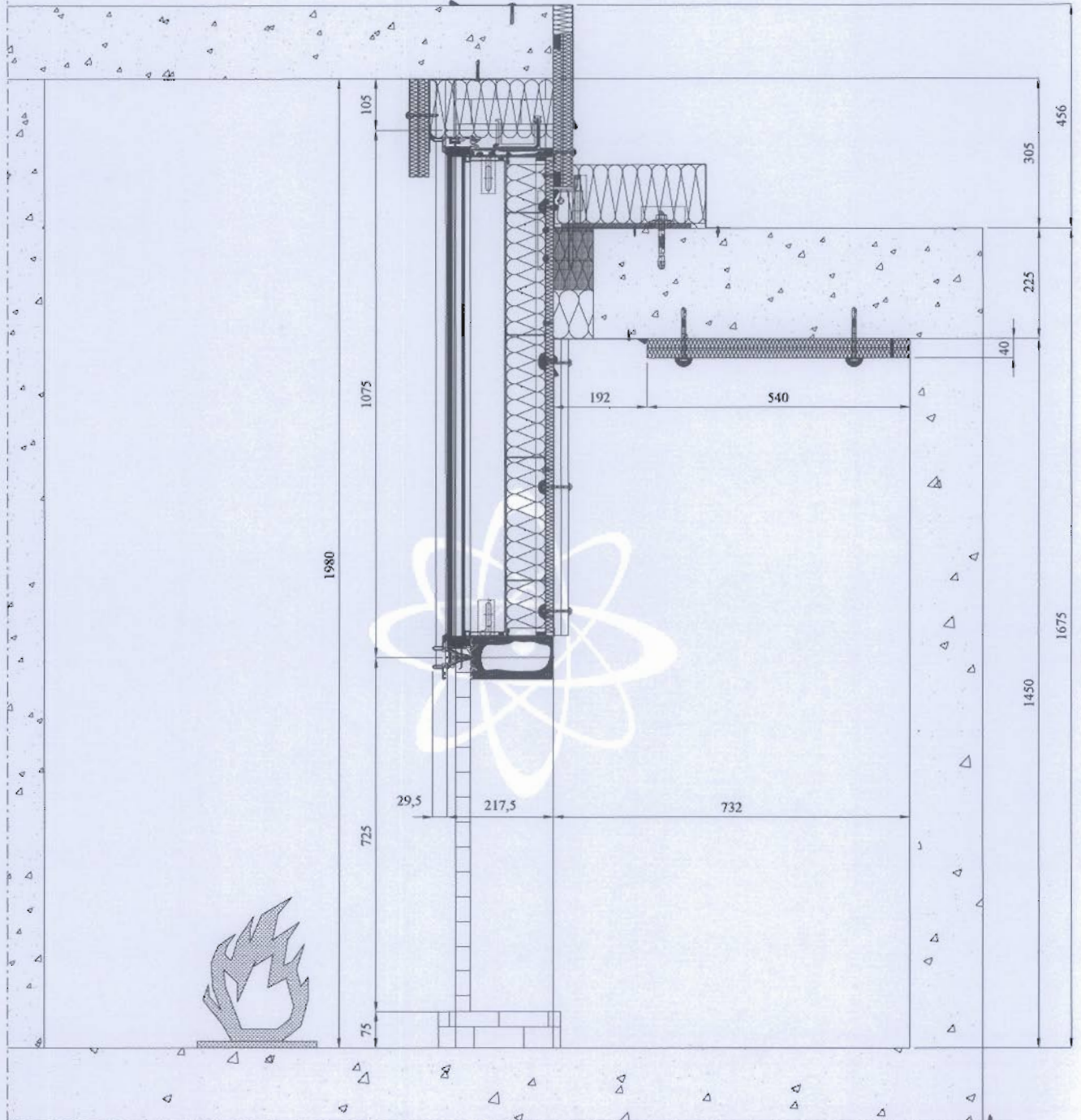
**DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(SEZIONE A:A)**



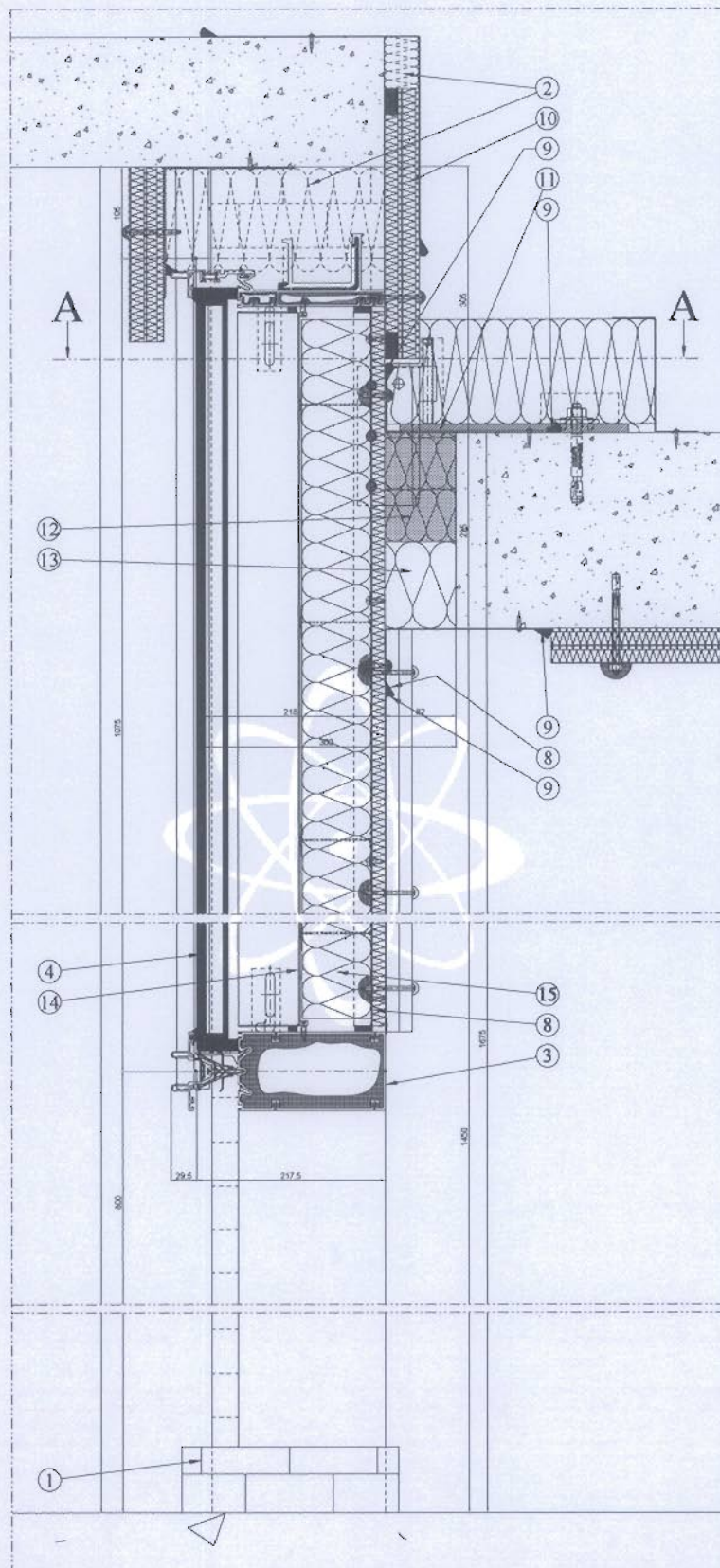
**DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(PARTICOLARI DELLA SEZIONE A:A)**



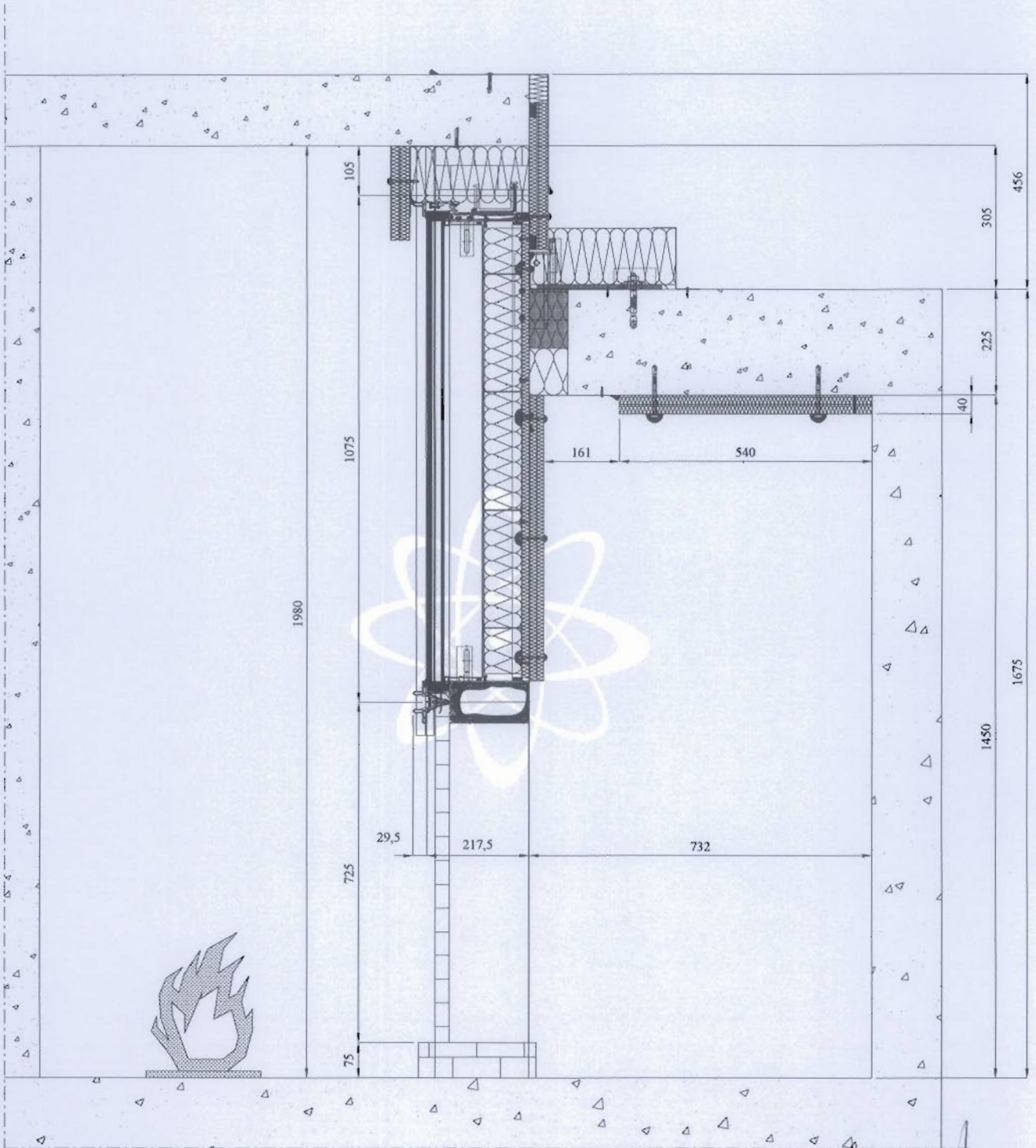
**DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(SEZIONE B:B)**



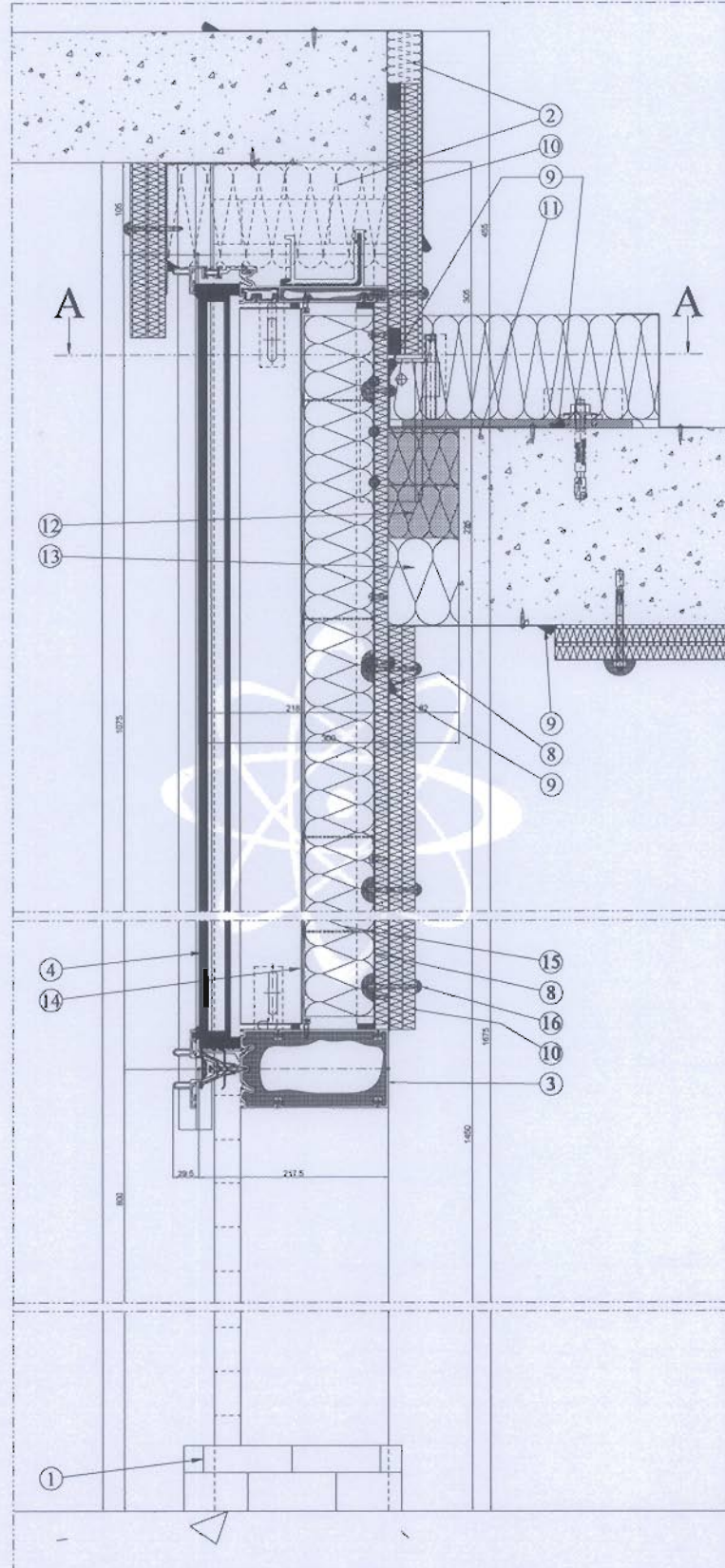
**DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(PARTICOLARI DELLA SEZIONE B:B)**



DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(SEZIONE C:C)



**DISEGNO SCHEMATICO DEL CAMPIONE
FORNITO DAL COMMITTENTE
(PARTICOLARI DELLA SEZIONE C:C)**



Costruzione di sostegno.

Descrizione della costruzione di sostegno.

Il campione è stato montato su una costruzione di sostegno orizzontale non normalizzata costituita da una soletta in cemento armato, altezza nominale 225 mm e densità nominale 2300 kg/m³.

Descrizione della modalità di fissaggio del campione alla costruzione di sostegno.

Il campione è stato montato sulla costruzione di sostegno mediante apposite staffe di sostegno.

Riferimenti normativi.

La prova è stata eseguita secondo le prescrizioni delle seguenti norme:

- UNI EN 1363-1:2001 del 31/07/2001 "Prove di resistenza al fuoco - Requisiti generali";
- UNI EN 1363-2:2001 del 31/07/2001 "Prove di resistenza al fuoco - Procedure alternative e aggiuntive";
- UNI EN 1364-4:2007 del 13/09/2007 "Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti - Parte 4: Facciate continue - Configurazione parziale".

Condizionamento.

Prima di essere sottoposto a prova, il campione e la relativa costruzione di sostegno sono stati conservati in laboratorio per 16 giorni fino al raggiungimento di una condizione ambientale di equilibrio.



Modalità della prova.

Configurazione di prova.

Configurazione 2 come indicato nella tabella 1 della norma UNI EN 1364-4:2007.

Descrizione del forno sperimentale.

Per l'esecuzione della prova è stato utilizzato un forno sperimentale con apertura sul lato superiore (bocca del forno), rivestito internamente in mattoni refrattari e provvisto di:

- rulli cilindrici di appoggio, posti uno su ciascun lato corto ad interasse di 4200 mm;
- bruciatori a doppia fiamma alimentati a gasolio posti sui lati lunghi;
- n. 2 camini, posti sui lati corti, con sistema di regolazione della sezione d'uscita costituito da valvola a farfalla;
- rilevatori di pressione posti su due lati;
- sistema di acquisizione dati costituito da:
 - centraline poste sui lati lunghi del forno per il rilevamento delle temperature all'interno del forno;
 - sistema a lettura manuale della pressione posto su una parete del forno in prossimità della sua bocca;
 - termocoppie a filo tipo "K" collegate ad una centralina mobile, a sua volta collegata ad un lettore che trasforma la differenza di potenziale delle termocoppie stesse in temperatura;
 - calcolatore elettronico e software di gestione.

Esposizione al fuoco.

Il campione in esame è stato esposto al fuoco sulla superficie esterna.



Punti di misura delle temperature.

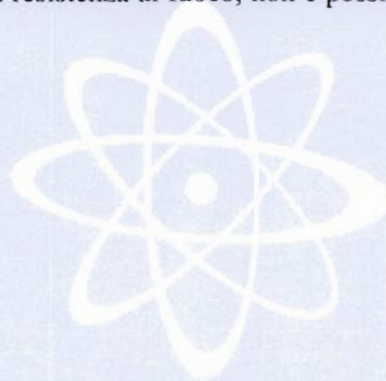
I punti per la misura delle temperature sulla faccia non esposta del campione in prova (posizione delle termocoppie della faccia non esposta) e delle temperature interne all'interno del campione in prova (posizione delle termocoppie interne) sono riportati nei disegni schematici dei fogli seguenti.

Misura della pressione.

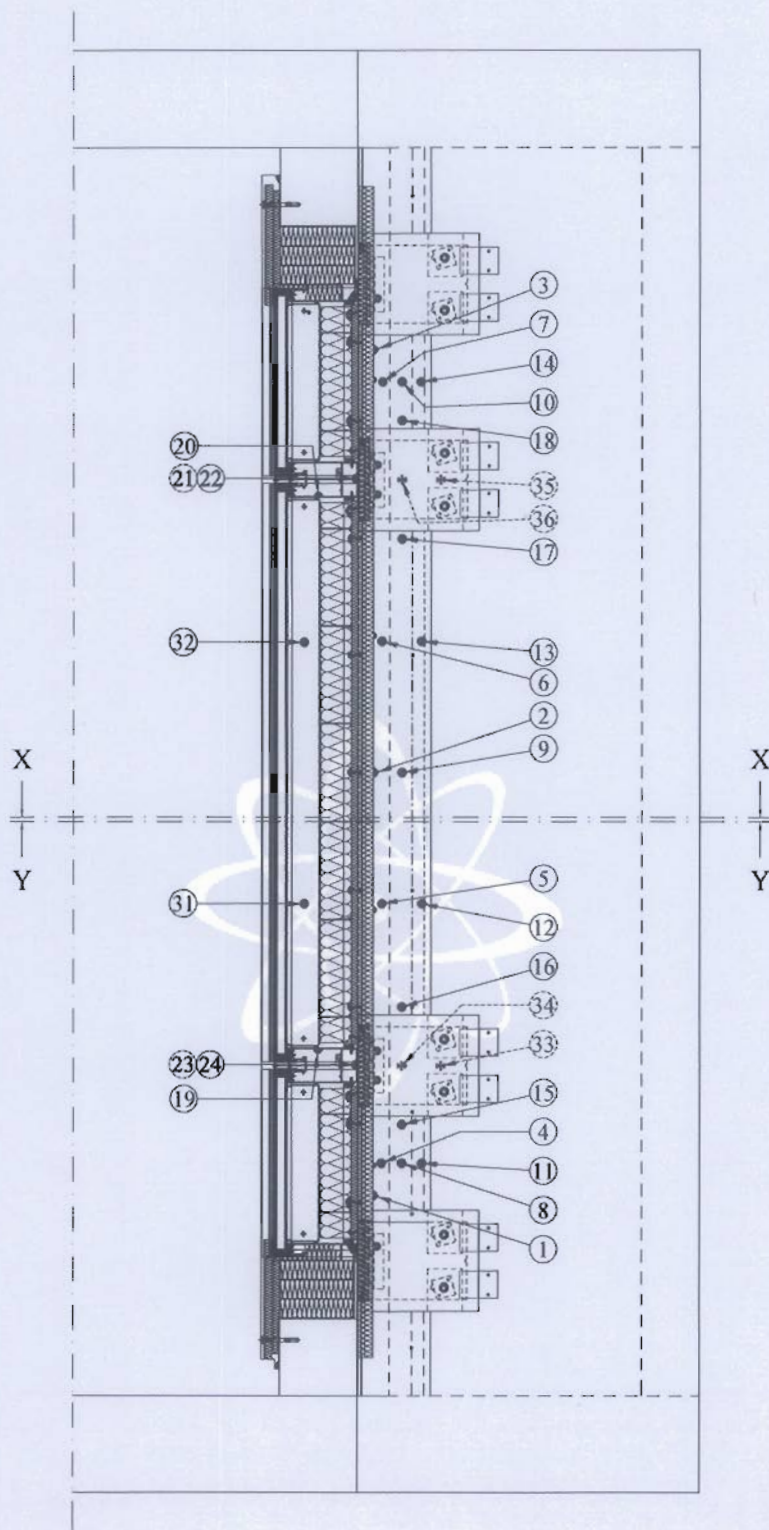
La pressione è stata misurata tramite un sensore "T" di pressione posizionato all'interno del forno sperimentale a 100 mm dalla costruzione di sostegno ed a 100 mm dalla superficie interna del campione.

Incertezza di misura.

In ragione della natura delle prove di resistenza al fuoco e della conseguente difficoltà di quantificare l'incertezza della misurazione della resistenza al fuoco, non è possibile fornire una dichiarazione del grado di accuratezza del risultato.



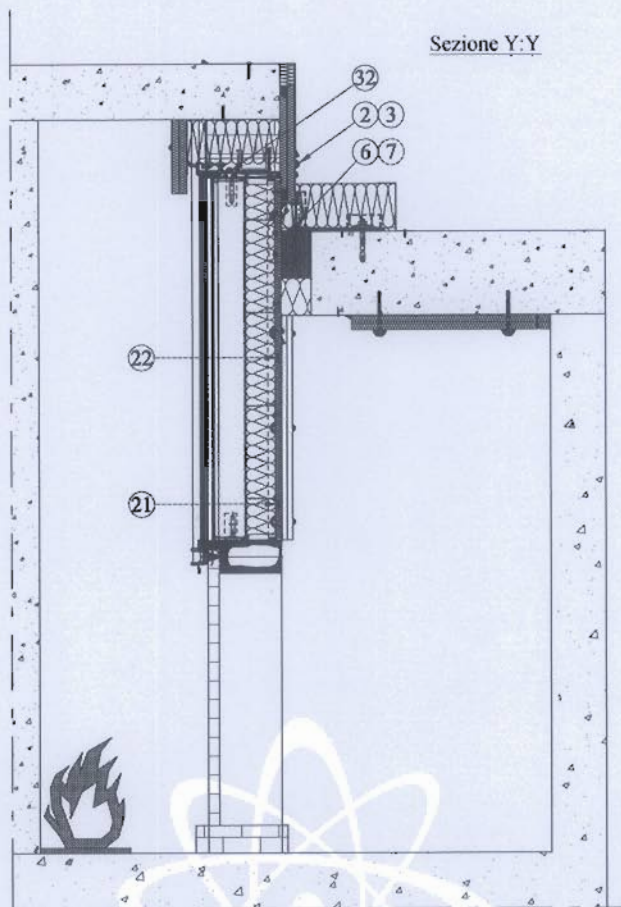
MODALITÀ DI PROVA



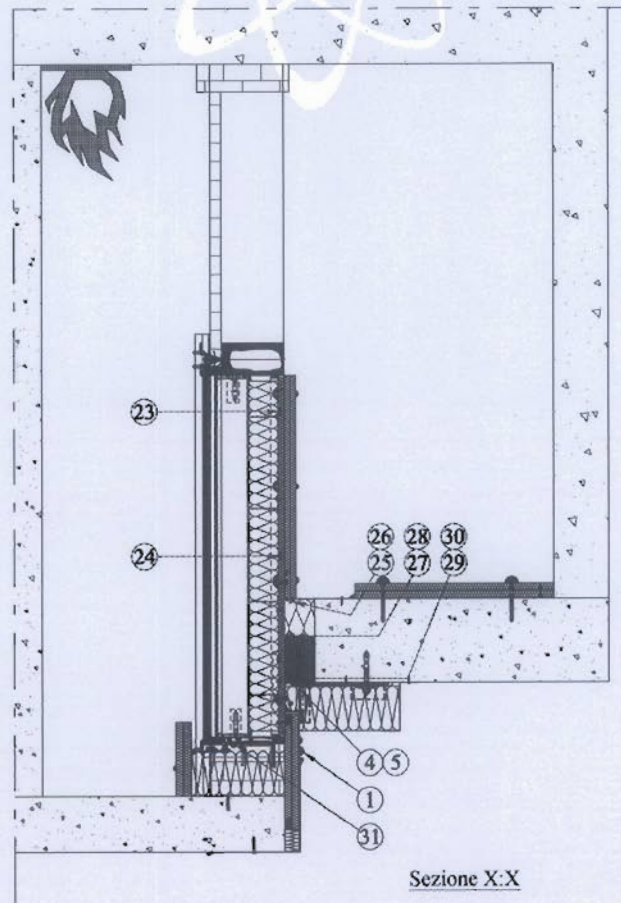
Punti di applicazione delle termocoppie



MODALITÀ DI PROVA



○ Punti di applicazione delle termocoppie



Sezione X:X



Risultati della prova.

Condizioni ambientali al momento della prova.

Temperatura ambiente all'inizio della prova	5 °C
---------------------------------------------	------

Prova al fuoco.

Nel corso della prova si sono verificati i comportamenti significativi riportati nella seguente tabella.


Tempo [min]	Osservazioni
7	Esplosione delle specchiature vetrate.
10	Inizio di deboli fuoriuscite di vapore acqueo e di fumi "freddi" in corrispondenza dello spazio tra la soletta e la facciata continua.
50	Inizio di fuoriuscite di vapore acqueo e di fumi "freddi" in corrispondenza delle staffe.
120	Su richiesta del Committente sono state asportate le protezioni in lana di roccia poste sopra le due staffe centrali, avendo cura di verificare la tenuta del campione anche in queste condizioni.
125	Interruzione della prova senza che nel frattempo si fossero verificati ulteriori fenomeni significativi.

Ripetuti controlli effettuati nel corso della prova secondo le prescrizioni della norma UNI EN 1363-1:2001 sulla faccia non esposta al fuoco del campione in esame non hanno mai evidenziato la perdita di tenuta da parte del campione stesso.



Temperature.

All'interruzione della prova gli incrementi di temperatura registrati dalle termocoppie applicate sul campione in esame avevano raggiunto i valori riportati nel prospetto riepilogativo seguente.

Punto di misura sulla faccia non esposta al fuoco del campione	Termocoppia [n.]	Incremento di temperatura [°C]
Sulla superficie verticale	1	50
	2	81
	3	86
 Sulla superficie orizzontale	4	109
	5	88
	6	90
	7	135
	8	67
	9	51
	10	80
	11	43
	12	31
	13	34
	14	51
	15	107
	16	79
	17	84
	18	91



Punto di misura all'interno del campione	Termocoppia	Incremento di temperatura
	[n.]	[°C]
All'interno dei montanti	19	641
	20	696
Sul montante destro	21	715
	22	714
Sul montante sinistro	23	623
	24	644
Nell'interspazio inferiore su lana rigida	25	574
	26	542
Nell'interspazio intermedio, tra lana rigida e lana a fiocchi	27	389
	28	399
Nell'interspazio superiore su lana a fiocchi	29	219
	30	183
Sulla traversa superiore	31	600
	32	597
Sulla piastra di fissaggio sinistra	33	//*
	34	430
Sulla piastra di fissaggio destra	35	135
	36	462

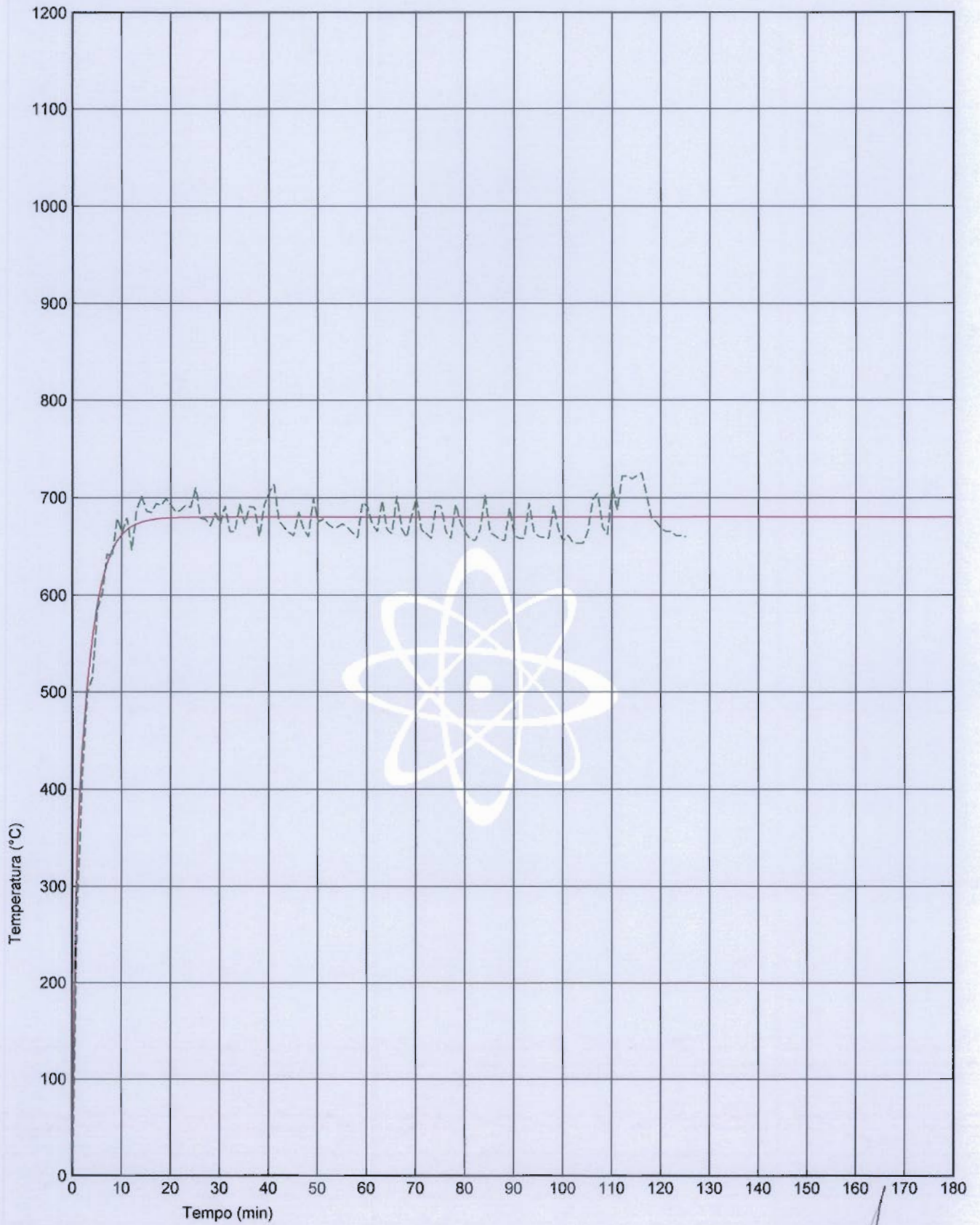
(*) per problemi tecnici non è stato possibile registrare alcun valore.

Nei fogli seguenti sono riportati:

- il diagramma con la curva teorica di riscaldamento del forno e la curva effettivamente realizzata nel corso della prova;
- i diagrammi con le curve temperatura/tempo registrate dalle termocoppie applicate sul campione in esame;
- il diagramma pressione/tempo;
- la tabella dello scarto percentuale "d_c";
- le fotografie del campione in esame prima e dopo la prova.



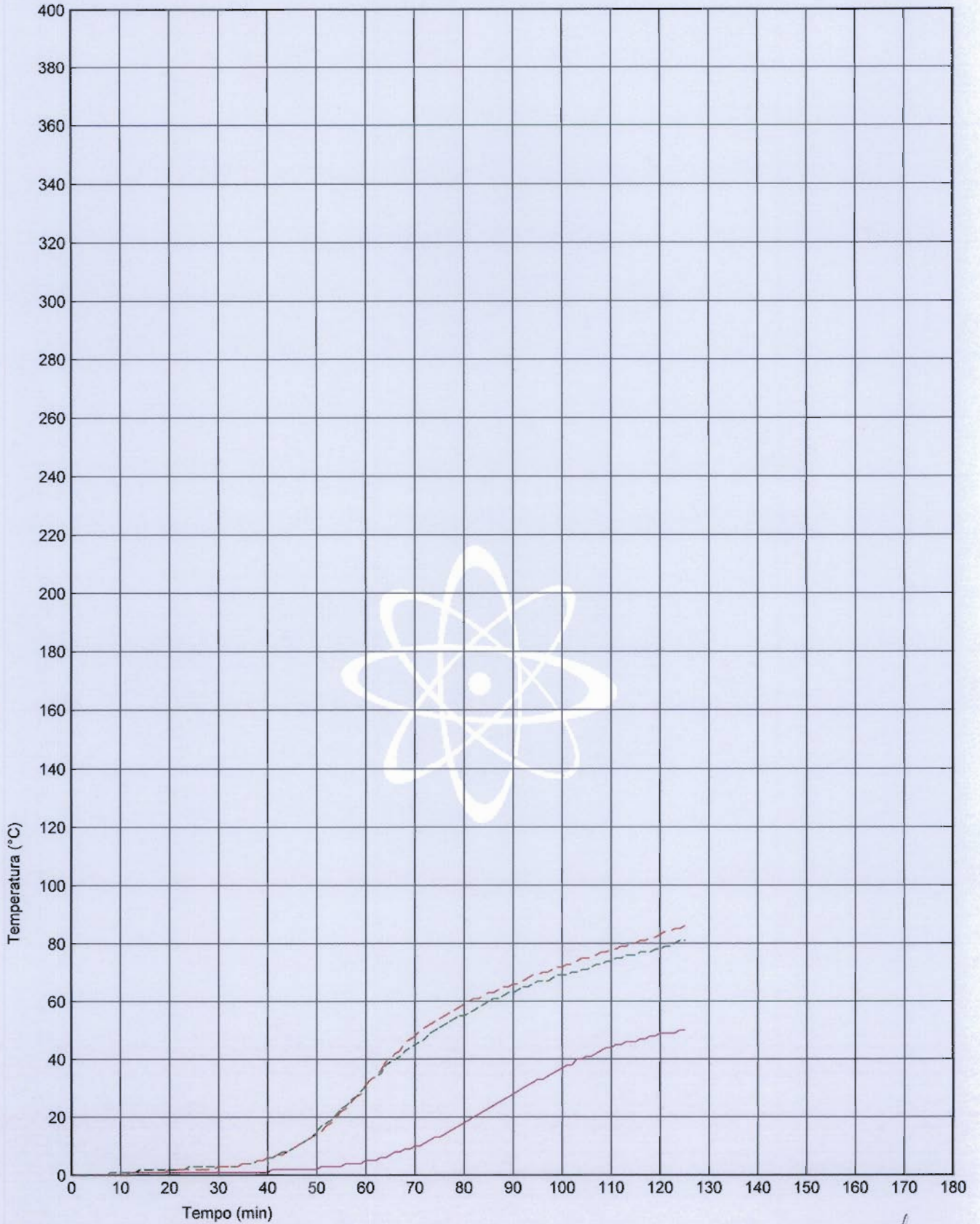
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 1



— Temperatura teorica di riscaldamento del forno
- - - Temperatura sperimentale di riscaldamento del forno



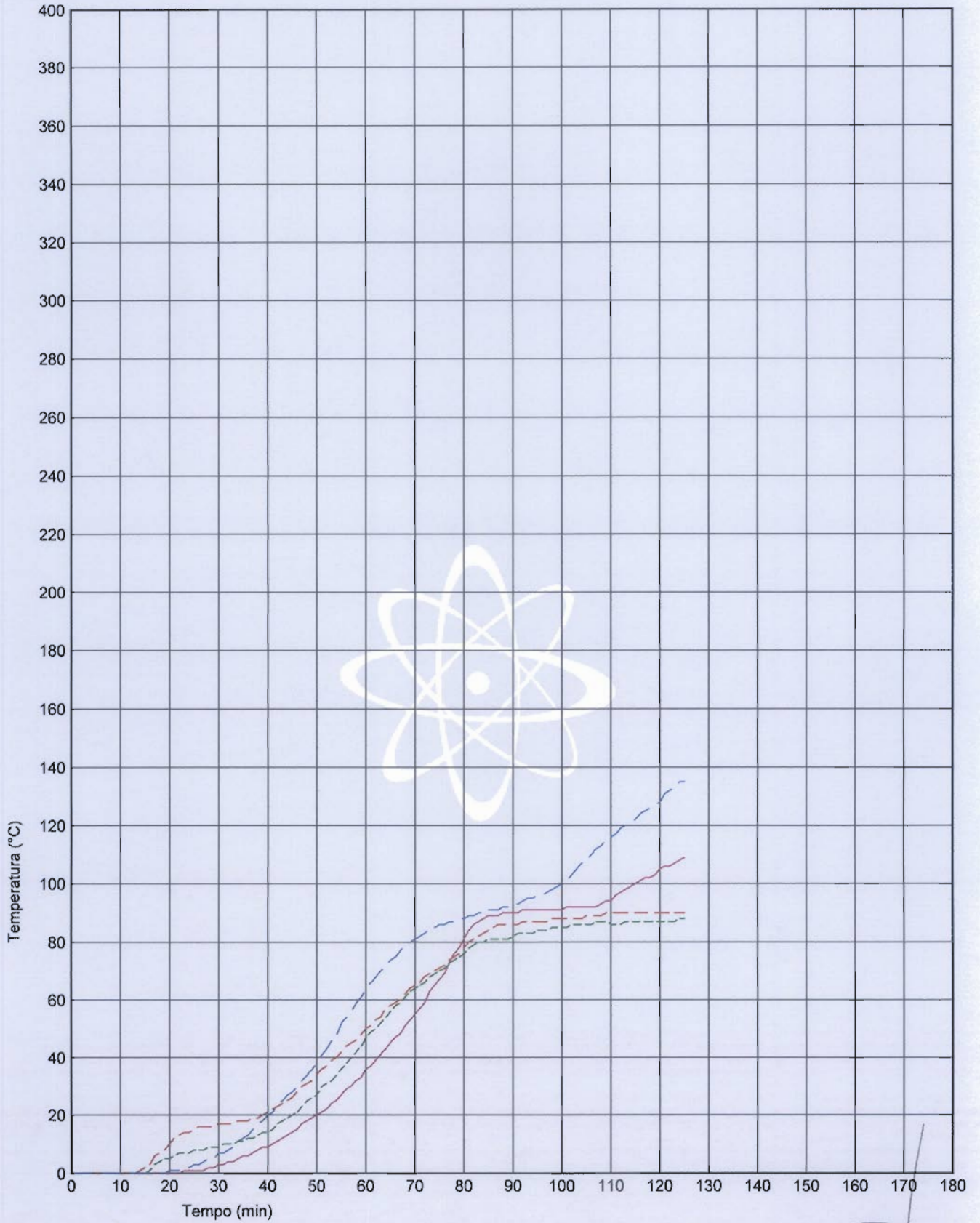
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 2



- Incremento di temperatura sulla superficie verticale non esposta al fuoco del campione (T1)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie verticale non esposta al fuoco del campione (T2)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie verticale non esposta al fuoco del campione (T3)



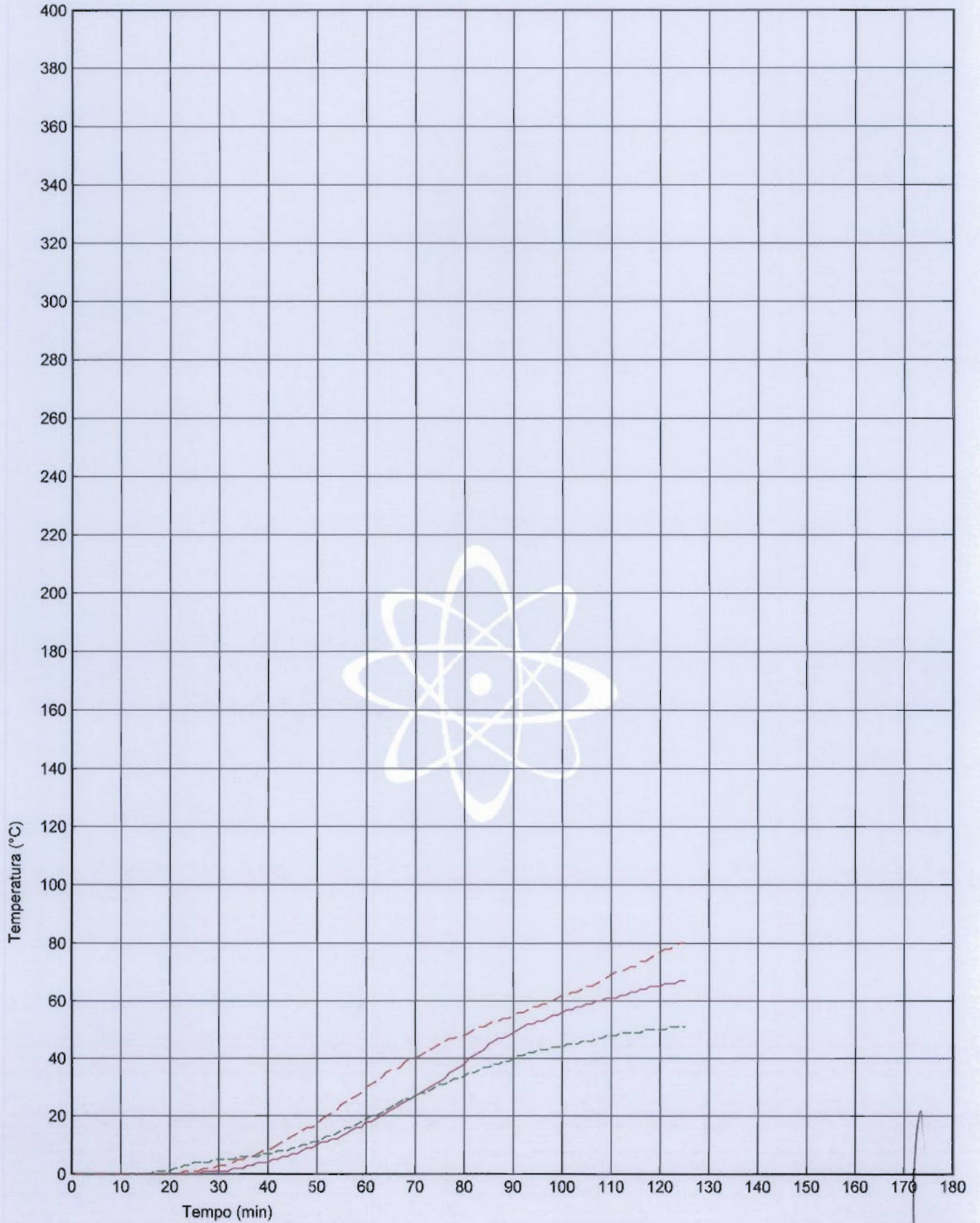
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 3



- Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T4)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T5)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T6)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T7)



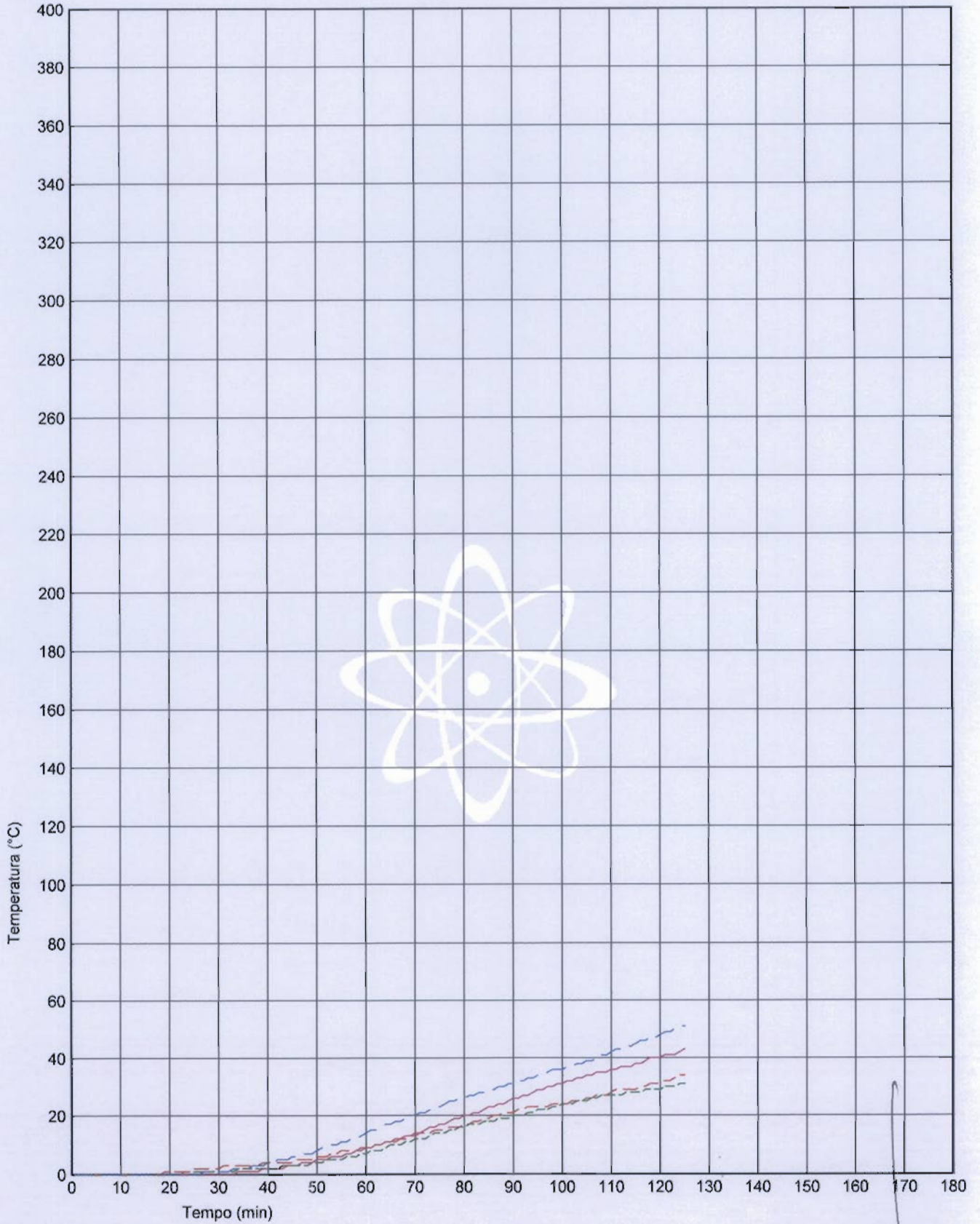
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 4



- Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T8)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T9)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T10)



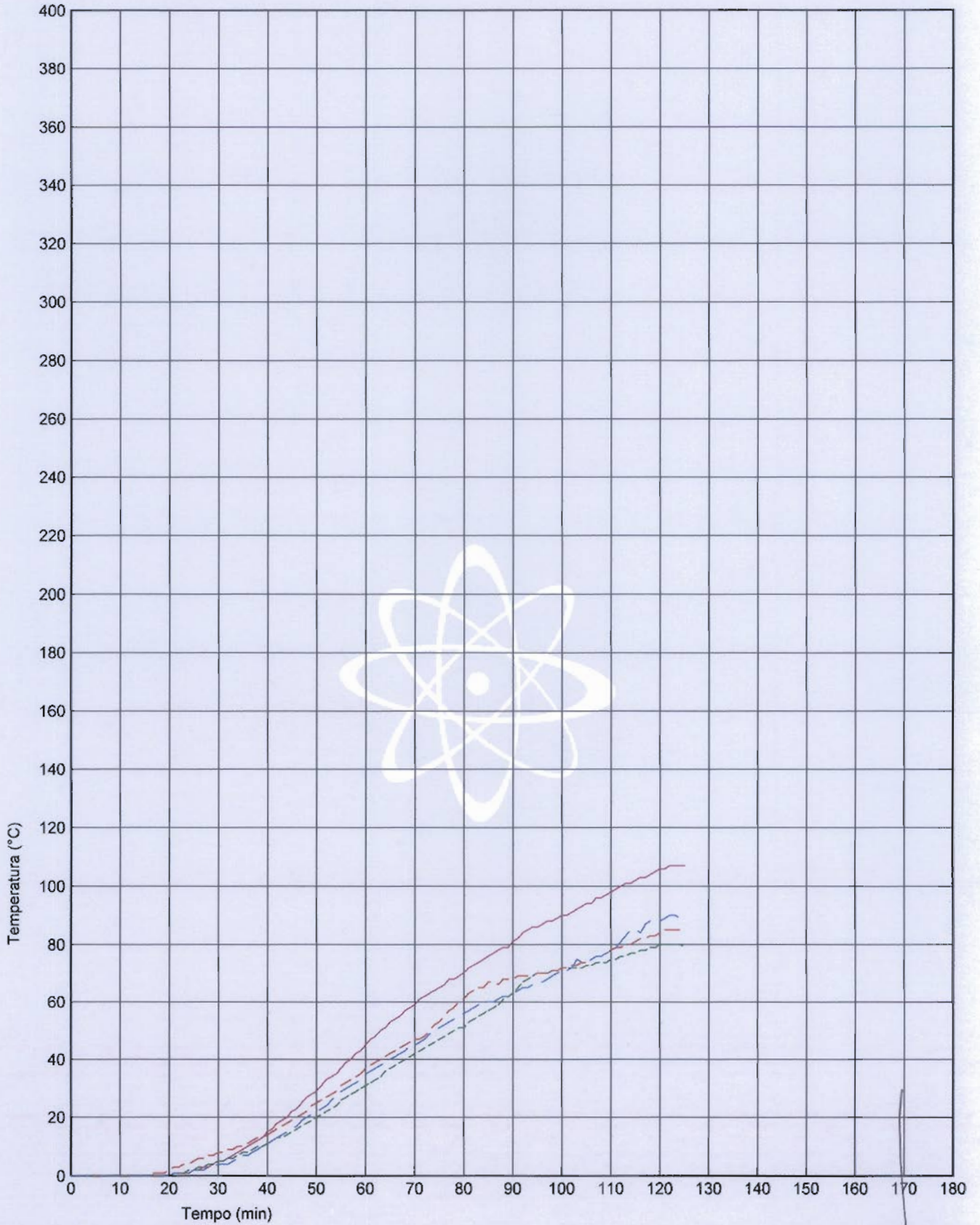
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 5



- Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T11)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T12)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T13)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T14)



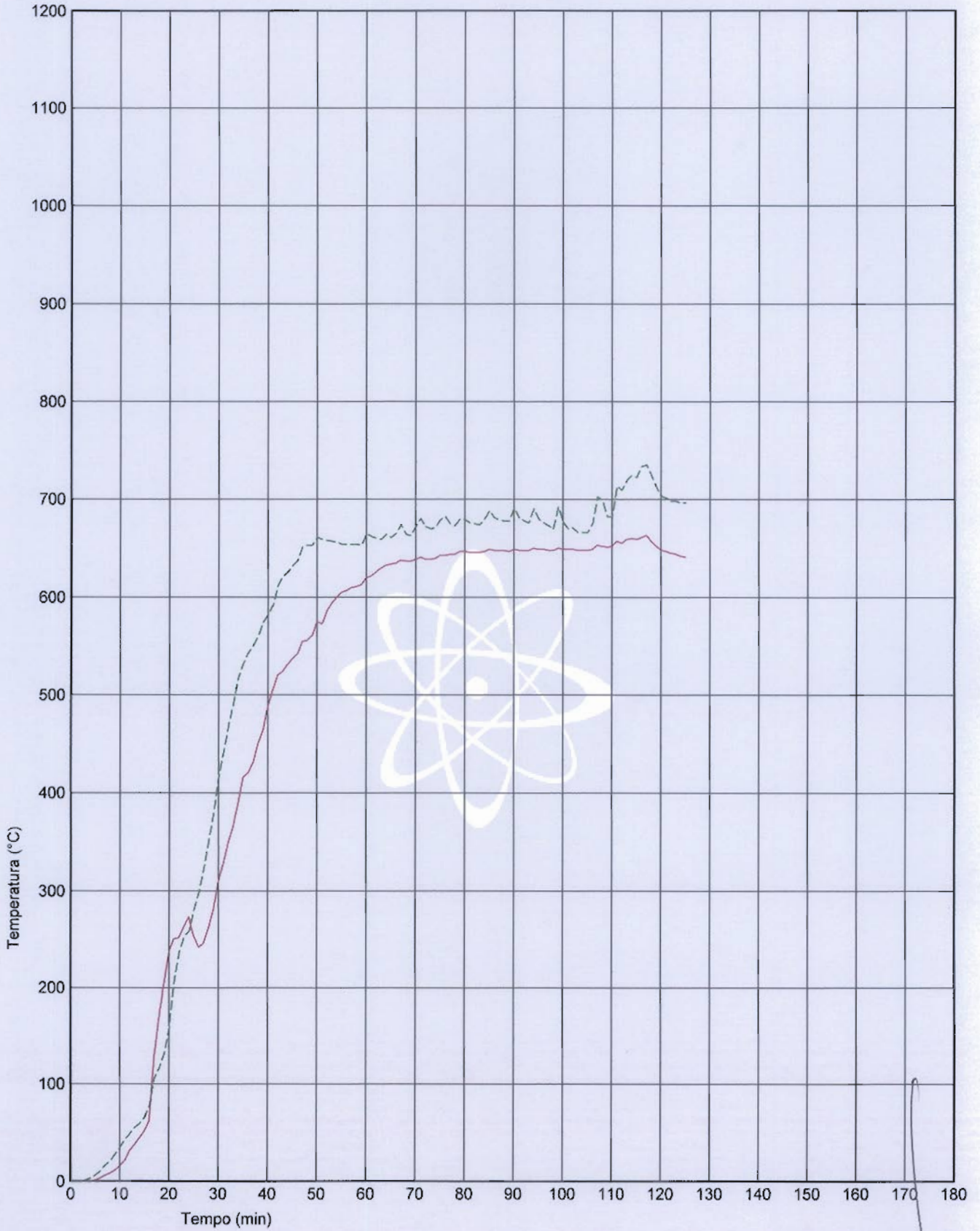
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 6



- Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T15)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T16)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T17)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie orizzontale non esposta al fuoco del campione (T18)



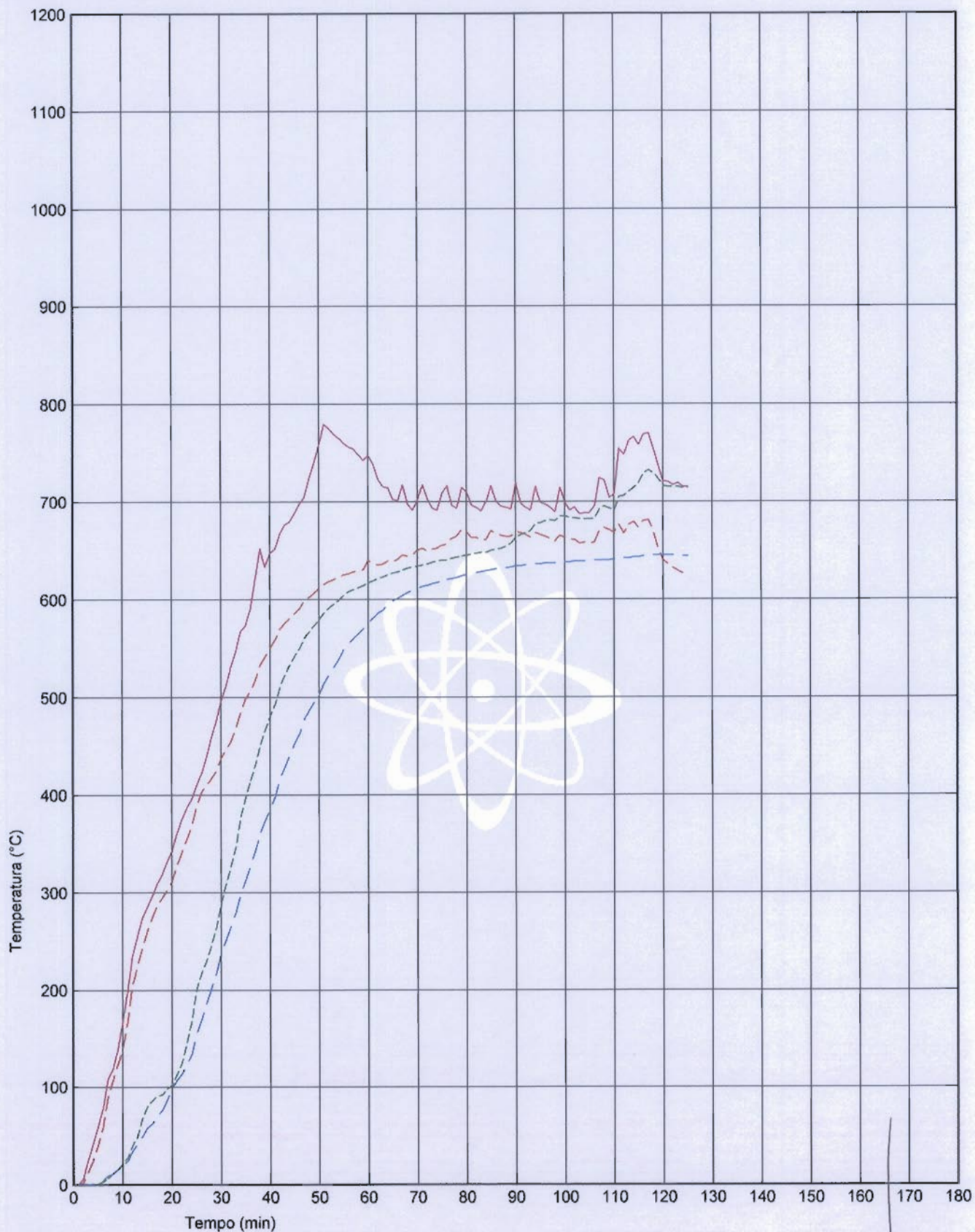
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 7



- Incremento di temperatura sulla superficie interna del campione, all'interno di un montante (T19)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie interna del campione, all'interno di un montante (T20)



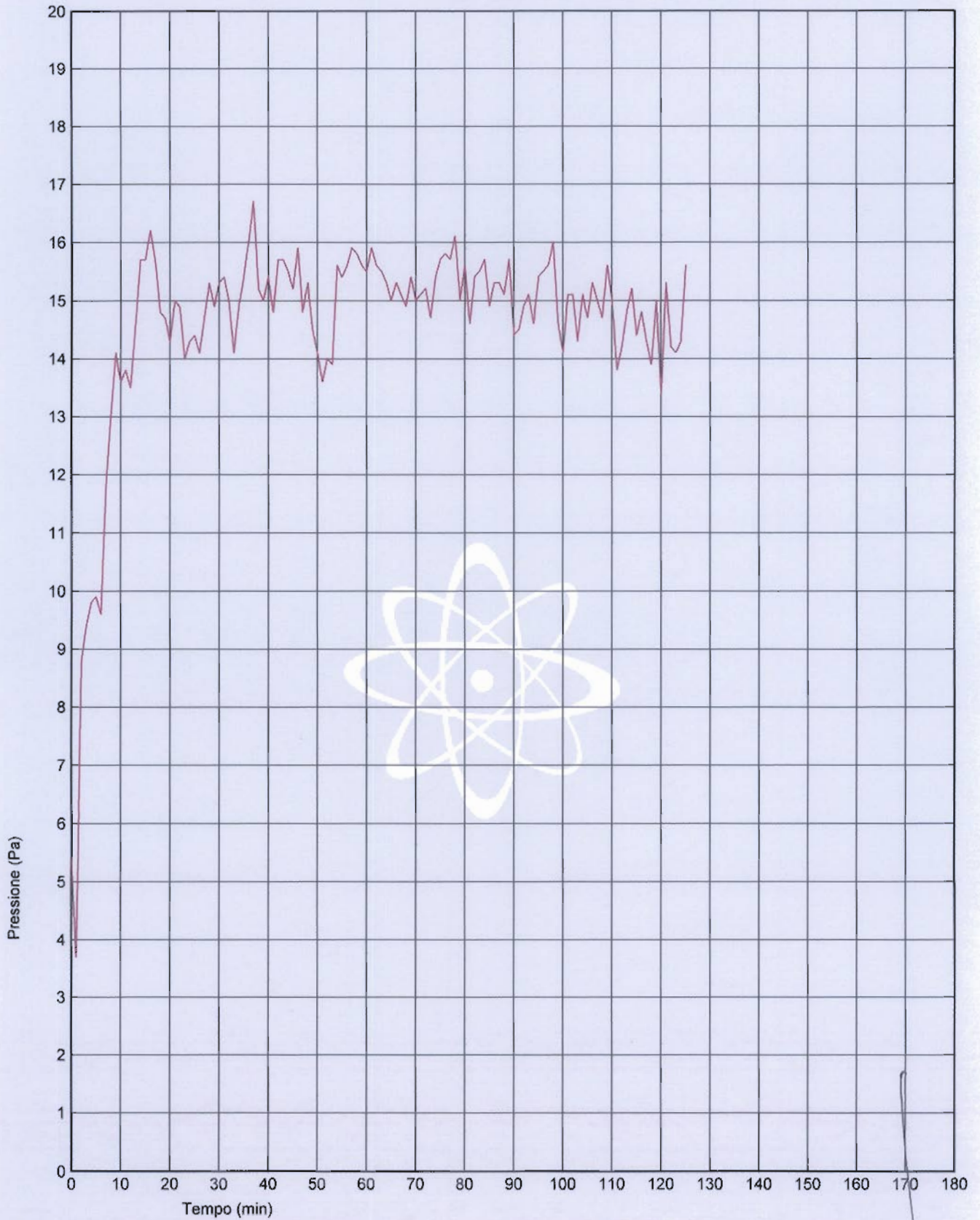
DIAGRAMMA TEMPERATURA/TEMPO N. 8



- Incremento di temperatura sulla superficie interna del campione, sul montante destro (T21)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie interna del campione, sul montante destro (T22)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie interna del campione, sul montante sinistro (T23)
- - - Incremento di temperatura sulla superficie interna del campione, sul montante sinistro (T24)



DIAGRAMMA PRESSIONE/TEMPO



— Pressione del forno



TABELLA DELLO SCARTO PERCENTUALE "d_e"

Tempo [min]	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova [°C]	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e" [%]	Limite di tolleranza [%]
0	0	0,0	//
1	289	-21,1	//
2	419	-12,3	//
3	500	-8,1	//
4	515	-7,8	//
5	585	-6,2	15,0
6	602	-5,3	15,0
7	642	1,6	15,0
8	639	0,3	15,0
9	679	1,4	15,0
10	664	1,2	15,0
11	679	1,3	14,5
12	646	-3,6	14,0
13	688	-0,7	13,5
14	701	0,8	13,0
15	686	1,0	12,5
16	685	1,0	12,0
17	694	1,2	11,5
18	692	1,3	11,0
19	699	1,5	10,5
20	692	1,6	10,0
21	685	1,5	9,5
22	687	1,5	9,0
23	692	1,5	8,5
24	690	1,5	8,0
25	710	1,7	7,5



Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
26	679	1,6	7,0
27	678	1,5	6,5
28	671	1,3	6,0
29	684	1,3	5,5
30	673	1,1	5,0
31	691	1,2	4,9
32	665	-2,2	4,8
33	665	-2,2	4,8
34	693	-0,8	4,7
35	673	-0,9	4,6
36	691	-0,4	4,5
37	690	-0,1	4,4
38	660	-0,5	4,3
39	693	-0,2	4,3
40	705	0,2	4,2
41	713	0,7	4,1
42	676	0,6	4,0
43	670	0,4	3,9
44	664	0,2	3,8
45	661	0,0	3,8
46	685	0,0	3,7
47	668	-0,1	3,6
48	660	-0,2	3,5
49	699	-0,1	3,4
50	675	-0,1	3,3
51	678	-0,1	3,3



Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
52	673	-0,2	3,2
53	669	-0,2	3,1
54	670	-0,3	3,0
55	673	-0,3	2,9
56	669	-0,4	2,8
57	664	-0,4	2,8
58	659	-0,5	2,7
59	695	-0,4	2,6
60	691	-0,4	2,5
61	673	-0,4	2,5
62	665	-2,2	2,5
63	697	0,2	2,5
64	667	-0,5	2,5
65	663	-1,0	2,5
66	701	-0,2	2,5
67	668	-0,5	2,5
68	659	-0,8	2,5
69	681	-0,7	2,5
70	699	-0,3	2,5
71	667	-0,5	2,5
72	663	-0,7	2,5
73	658	-0,9	2,5
74	692	-0,7	2,5
75	691	-0,5	2,5
76	665	-0,6	2,5
77	658	-0,8	2,5



Tempo	Curva di riscaldamento del forno sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d_e"	Limite di tolleranza
[min]	[°C]	[%]	[%]
78	693	-0,6	2,5
79	674	-0,6	2,5
80	664	-0,7	2,5
81	657	-0,9	2,5
82	656	-1,0	2,5
83	667	-1,0	2,5
84	702	-0,8	2,5
85	664	-0,9	2,5
86	661	-1,0	2,5
87	657	-1,1	2,5
88	656	-1,2	2,5
89	689	-1,1	2,5
90	661	-1,1	2,5
91	658	-1,2	2,5
92	658	-1,3	2,5
93	694	-1,2	2,5
94	664	-1,2	2,5
95	660	-1,3	2,5
96	659	-1,3	2,5
97	658	-1,4	2,5
98	691	-1,3	2,5
99	667	-1,3	2,5
100	655	-1,4	2,5
101	661	-1,4	2,5
102	653	-1,5	2,5
103	653	-1,5	2,5

Tempo [min]	Curva di riscaldamento del for- no sperimentale effettivamente realizzata nel corso della prova [°C]	Scarto percentuale dell'area sottesa dalla curva teorica e da quella effettivamente realizzata nel corso della prova "d _e " [%]	Limite di tolleranza [%]
104	653	-1,6	2,5
105	665	-1,6	2,5
106	698	-1,5	2,5
107	704	-1,4	2,5
108	670	-1,4	2,5
109	662	-1,4	2,5
110	712	-1,3	2,5
111	687	-1,2	2,5
112	722	-1,1	2,5
113	722	-1,0	2,5
114	719	-0,8	2,5
115	722	-0,7	2,5
116	725	-0,6	2,5
117	702	-0,5	2,5
118	679	-0,5	2,5
119	675	-0,5	2,5
120	668	-0,5	2,5
121	665	-0,6	2,5
122	665	-0,6	2,5
123	661	-0,6	2,5
124	661	-0,6	2,5
125	660	-0,7	2,5



FOTOGRAFIE DEL CAMPIONE



Fotografia della superficie esposta al fuoco della facciata durante la fase di allestimento.



Fotografia del campione prima della prova visto dall'interno del forno sperimentale.



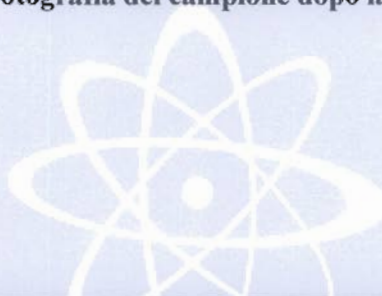
Fotografia della superficie non esposta al fuoco del campione durante la fase di allestimento.



Fotografia della superficie non esposta al fuoco del campione durante una delle verifiche di tenuta eseguite dopo il 120° minuto di prova quando sono state rimosse le protezioni in lana di roccia dalle due staffe centrali.



Fotografia del campione dopo la prova.



Risultato della prova.

Riferimento	Criterio di prestazione	Descrizione	Risultato
Paragrafo 11.2 della norma UNI EN 1363-1:2001	Tenuta	Tampone di cotone	> 125 min
		Calibro da 6 mm	> 125 min
		Calibro da 25 mm	> 125 min
		Fiamma persistente	> 125 min
Paragrafo 11.3 della norma UNI EN 1363-1:2001	Isolamento	Termocoppie n. 1 ÷ 18	> 125 min



Campo di applicazione diretta dei risultati di prova.

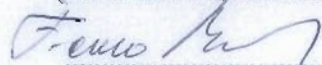
Del campione in esame sono ammesse le variazioni secondo la norma UNI EN 1364-4:2007 riportate nella tabella seguente.

Tipo di variazione	Paragrafo di riferimento alla norma UNI EN 1364-4:2007	Possibilità di variazione
La diminuzione di larghezza del pannello è ammessa purché i dettagli di fissaggio al solaio di supporto rimangano inalterati	13 a)	Consentita
Diminuzione dell'interasse dei montanti e delle traverse o aumento delle dimensioni dei montanti	13 b)	Consentita
Aumento dello spessore del solaio o dello spessore della sigillatura del giunto lineare orizzontale, misurata verticalmente	13 c)	Consentita
Aumento di densità della sigillatura se costituita da lana minerale (ma non cambiamento della modalità della sigillatura)	13 d)	Consentita
Diminuzione della distanza tra i punti di fissaggio, verticali e/o orizzontali	13 e)	Consentita

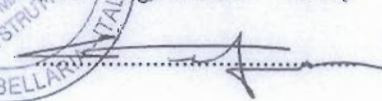
Il presente rapporto di prova descrive in modo dettagliato il metodo di allestimento, le condizioni di prova ed i risultati ottenuti dalla prova dello specifico elemento costruttivo qui descritto condotta secondo il procedimento illustrato nelle norme UNI EN 1363-1:2001 ed UNI EN 1363-2:2001. Non è materia del presente rapporto qualsiasi variazione riguardante le dimensioni, i dettagli costruttivi, i carichi, gli sforzi, le condizioni ai bordi ed alle estremità, che non sia consentita nel campo di applicazione diretta del rispettivo metodo di prova.

Il presente rapporto di prova è valido solo per manufatti installati conformemente al campione provato, la cui faccia esposta al fuoco corrisponda alla faccia esposta al fuoco del campione provato sperimentalmente.

Il Responsabile
Tecnico di Prova
(Dott. Geol. Franco Berardi)




Il Responsabile del Laboratorio
di Resistenza al Fuoco
(Dott. Ing. Stefano Vasini)



Il Presidente o
l'Amministratore Delegato

Dott. Ing. Vincenzo Iommi

