

POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE EDILE E GEOTECNICA
DOTTORATO ITAC
INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER L'AMBIENTE COSTRUITO

XXV Ciclo



**DISCONTINUITA' DELL'INVOLUCRO EDILIZIO E CONTENIMENTO DEI FABBISOGNI ENERGETICI
STRUMENTO PER L'OTTIMIZZAZIONI DI SOLUZIONI TECNICO COSTRUTTIVE**



PARTE SECONDA - TOMO II

STRUMENTO PER L'OTTIMIZZAZIONI DI SOLUZIONI TECNICO COSTRUTTIVE



ESTRATTO - per approfondimenti scrivere a: caterina.arno@gmail.com

SOMMARIO

PARTE SECONDA - STRUMENTO PER L'OTTIMIZZAZIONE DI SOLUZIONI TECNICO-COSTRUTTIVE

Abstract

Introduzione all'uso pratico dello strumento

Proposta di classificazione e di codifica	1
Matrice prestazionale di confronto ed indicatori di priorità	4
L'uso delle schede	9
Schede di soluzioni tecniche di dettaglio	9
Schede di calcolo del coefficiente di dispersione termica lineica	11
Calcolo del coefficiente U secondo l'abaco cened	12
Calcolo del coefficiente U con therm 6.3	16
Schede tipologiche delle specifiche e delle prescrizioni tecniche dei requisiti essenziali	19

Mappa e codifica dei nodi tipologici

Matrice prestazionale di confronto ed indicatori di priorità

01 *nodo PARETE/SOLAIO CONTRO-TERRA*

GFv.01-Ca	solaio con parete perimetrale contro-terra con isolante esterno
GFv.02-Cb	solaio con parete perimetrale contro-terra con isolante esterno
GFv.03-Ba	solaio con parete perimetrale contro-terra con isolante intermedio
GFv.04-Bb	solaio con parete perimetrale contro-terra con isolante intermedio
GFv.05-Aa	solaio con parete perimetrale contro-terra con isolante interno
GFv.06-Ab	solaio con parete perimetrale contro-terra con isolante interno
GFv.07-Ba	solaio continuo con isolante intermedio e parete verso ambiente non riscaldato con isolante interno
GFv.08-Bb	solaio continuo con isolante intermedio e parete verso ambiente non riscaldato con isolante interno
GFv.09-B_	solaio continuo con isolante intermedio e parete verso ambiente non riscaldato con isolante intermedio

02 nodo con PILASTRO

Po.01-C	parete con isolante esterno
Po.02-B	parete con isolante intermedio (con pilastro isolato esternamente con risvolto laterale)
Po.03-B	parete con isolante intermedio (con pilastro isolato esternamente)
Po.04-B	parete con isolante intermedio (con pilastro isolato internamente con risvolto laterale)
Po.05-B	parete con isolante intermedio (con pilastro isolato internamente)
Po.06-A	parete con isolante interno
Po.07-B	parete con isolante intermedio (con pilastro isolato esternamente con risvolto laterale)
Po.08-B	parete con isolante intermedio (con pilastro isolato internamente con risvolto laterale)

03 nodo ANGOLO

Co.01-C	pareti con isolante esterno (con pilastro)
Co.02-B	pareti con isolante intermedio (con pilastro isolato esternamente)
Co.03-B	pareti con isolante intermedio (con pilastro isolato internamente)
Co.04-A	pareti con isolante interno (con pilastro)
Co.05-C	pareti con isolante esterno
Co.06-B	pareti con isolante intermedio
Co.07-A	pareti con isolante interno
Co.08-D	pareti con isolante esterno e intermedio
Co.09-D	pareti con isolante interno e intermedio

04 nodo SOLAIO-PARETE ESTERNA

IFv.01-C_	parete (continua) con isolante esterno
IFv.02-B_	parete (continua) con isolante intermedio (cordolo disgiuntore)
IFv.03-A_	parete (continua) con isolante interno (cordolo disgiuntore)
IFv.04-C_	parete (aggetto) con isolante esterno
IFv.05-B_	parete (aggetto) con isolante intermedio (cordolo disgiuntore)
IFv.06-D_	parete (aggetto) con isolante interno e solaio con isolante esterno (cordolo disgiuntore)
IFv.07-D_	parete (aggetto) con isolante interno e solaio con isolante intermedio

05 *nodo BALCONE*

Bv.01-C	parete con isolante esterno (con soglia) - soletta disgiunta
Bv.02-B	parete con isolante intermedio (con soglia) - soletta disgiunta
Bv.03-A	parete con isolante interno (con soglia) - soletta disgiunta
Bv.04-C	parete con isolante esterno (con soglia) - soletta con isolante esterno
Bv.05-B	parete con isolante intermedio (con soglia) - soletta con isolante esterno
Bv.06-C	parete con isolante esterno - soletta disgiunta
Bv.07-B	parete con isolante intermedio - soletta disgiunta
Bv.08-A	parete con isolante interno - soletta disgiunta
Bv.09-C	parete con isolante esterno - soletta con isolante esterno
Bv.10-B	parete con isolante intermedio - soletta con isolante esterno
Bv.11-C	parete con isolante esterno - soletta metallica esterna
Bv.12-B	parete con isolante intermedio - soletta metallica esterna

06 *nodo SERRAMENTO*

Wu.01-C	parete con isolante esterno (con cassonetto)
Wu.02-B	parete con isolante intermedio (con cassonetto)
Wu.03-A	parete con isolante interno (con cassonetto)
Wu.04-C	parete con isolante esterno
Wu.05-B	parete con isolante intermedio
Wu.06-A	parete con isolante interno
_Wd.07-Ca	parete con isolante esterno
_Wd.08-Cb	parete con isolante esterno
_Wd.09-Ba	parete con isolante intermedio
_Wd.10-Bb	parete con isolante intermedio
_Wd.11-Aa	parete con isolante interno
_Wd.12-Ab	parete con isolante interno
_Wo.13-Ca	parete con isolante esterno
_Wo.14-Cb	parete con isolante esterno
_Wo.15-Ba	parete con isolante intermedio
_Wo.16-Bb	parete con isolante intermedio
_Wo.17-Aa	parete con isolante interno
_Wo.18-Ab	parete con isolante interno

07 nodo PARETE INTERNA-SOLAIO/PARETE ESTERNA

IWv.01-A_	parete verso ambiente non riscaldato e su copertura inclinata con isolante esterno
IWv.02-A_	parete verso ambiente non riscaldato e su copertura orizzontale con isolante intermedio
IWv.03-A_	parete verso ambiente non riscaldato e su copertura orizzontale con isolante interno
IWv.04-A_	parete verso ambiente non riscaldato e su copertura inclinata con isolante interno
IWv.05-B_	parete verso ambiente non riscaldato e su copertura orizzontale con isolante intermedio
IWv.06-B_	parete verso ambiente non riscaldato e su copertura orizzontale con isolante interno
IWo.07-A_	parete verso ambiente non riscaldato e parete con isolante esterno
IWo.08-A_	parete verso ambiente non riscaldato e parete con isolante intermedio
IWo.09-A_	parete verso ambiente non riscaldato e parete con isolante interno
IWo.10-B_	parete verso ambiente non riscaldato e parete con isolante esterno
IWo.11-B_	parete verso ambiente non riscaldato e parete con isolante intermedio
IWo.12-B_	parete verso ambiente non riscaldato e parete con isolante interno

08 nodo COPERTURA

Rv.01-C	parete con isolante esterno e copertura inclinata con isolante esterno
Rv.02-C	parete con isolante esterno e copertura orizzontale con isolante intermedio
Rv.03-C	parete con isolante esterno e copertura orizzontale con isolante interno
Rv.04-B	parete con isolante intermedio e copertura inclinata con isolante esterno
Rv.05-B	parete con isolante intermedio e copertura orizzontale con isolante intermedio
Rv.06-B	parete con isolante intermedio e copertura orizzontale con isolante interno
Rv.07-A	parete con isolante interno e copertura inclinata con isolante esterno
Rv.08-A	parete con isolante interno e copertura orizzontale con isolante intermedio
Rv.09-A	parete con isolante interno e copertura orizzontale con isolante interno
Rv.10-C	parete con isolante esterno e copertura inclinata con isolante interno
Rv.11-B	parete con isolante intermedio e copertura inclinata con isolante interno
Rv.12-A	parete con isolante interno e copertura inclinata con isolante interno

ABSTRACT**DISCONTINUITÀ DELL'INVOLUCRO EDILIZIO E CONTENIMENTO DEI FABBISOGNI ENERGETICI.
STRUMENTO PER L'OTTIMIZZAZIONE DI SOLUZIONI TECNICO-COSTRUTTIVE.**DISCONTINUITY OF THE BUILDING ENVELOPE AND REDUCTION OF ENERGY NEEDS.
TOOL FOR THE OPTIMIZATION OF TECHNICAL AND CONSTRUCTIVE SOLUTIONS.

Discontinuità involucro edilizio - ponte termico - strumento di ottimizzazione - cantiere edile - dettagli costruttivi - coefficiente di dispersione termica lineica - classe esigenziale - requisito prestazionale - indicazioni di posa

KEYWORDS

La ricerca si prefigge lo scopo di ottimizzare soluzioni tecnico-costruttive nelle discontinuità dell'involucro edilizio per migliorarne le caratteristiche prestazionali e diminuire il fabbisogno energetico dell'edificio.

**DESCRIZIONE GENERALE E
OBIETTIVI DELLA RICERCA**

Attualmente le numerose fonti che propongono coefficienti correttivi di dispersione energetica nei punti di discontinuità dell'involucro non indicano risoluzioni tecniche di dettaglio. La ricerca ha quindi, il preciso intento di fornire soluzioni abbinata alle specifiche tecniche e prestazionali degli elementi tecnologici indagati.

La prima parte dello studio affronta la metodologia e descrive le fasi della ricerca e l'acquisizione dei dati utili come base per l'elaborazione del prodotto.

CONTENUTI DELLA TESI

La seconda parte dello studio è un prontuario di soluzioni costruttive di dettaglio presentate in forma di schede grafico prestazionali utili sia in fase progettuale che costruttiva.

La suddivisione e la classificazione delle discontinuità dell'involucro si basano sulla codifica delle norme UNI EN, individuando e processando nuove casistiche.

I nodi costruttivi proposti derivano, in parte da casi studio selezionati in cantieri di interventi edilizi per nuove costruzioni e, in parte da fonti bibliografiche, per tipologie tipiche dell'edilizia tradizionale. I cantieri hanno avuto la duplice funzione di fornire un preciso quadro dell'attuale pratica realizzativa dei dettagli tecnici per l'ottimizzazione delle discontinuità nell'involucro e sono stati inoltre la base di partenza per sviluppare le soluzioni tecnologiche

presentate.

Nello specifico lo strumento proposto è suddiviso e organizzato in elaborati grafici dei nodi di dettaglio, in schede di calcolo e in schede tipologiche. Le schede di dettaglio di nodi, sono rappresentazioni grafiche corredate da indicazioni tecnico-realizzative. Le schede di calcolo evidenziano le principali caratteristiche termo-fisiche, studiate anche utilizzando un software per la modellazione agli elementi finiti. Le schede tipologiche forniscono indicazioni tecnico-costruttive con sintesi di requisiti prestazionali secondo le classi esigenziali di: sicurezza, benessere ambientale, integrabilità e durabilità nel tempo. La struttura delle schede prodotte consente la possibilità di ulteriori implementazioni e permette un utilizzo versatile delle stesse in funzione di specifiche esigenze del fruitore finale.

Le fasi della ricerca sono articolate in una prima parte di indagine-studio dell'attuale stato dell'arte, con esplorazioni sul campo in cantieri edili, in una seconda parte di classificazione e organizzazione dei dati raccolti; si conclude infine, con la elaborazione di classificati schemi grafici di dettaglio, corredate da schede tecniche prestazionali e strumenti di calcolo. Il campo di indagine della ricerca è focalizzato sull'edilizia di tipo convenzionale.

La prima fase concerne lo studio dello stato dell'arte, che si è sviluppato indagando i differenti aspetti della pratica edilizia: la normativa vigente, i codici di calcolo per le dispersioni energetiche e i manuali di buona pratica costruttiva.

La normativa nazionale di riferimento per le discontinuità dell'involucro è la norma UNI EN ISO 14683 che classifica e codifica i ponti termici fornendo una prima indicazione delle diverse tipologie e del loro coefficiente di dispersione termica lineica, cioè un coefficiente di correzione (Ψ) che tiene conto dell'influenza del ponte termico distribuito lungo una linea, e è utilizzato per determinare il flusso di calore disperso con il ponte termico analizzato. Minore quindi è il valore di Ψ , minore è la quantità dispersa di calore e, di conseguenza migliore è la soluzione tecnica adottata.

Sulla base di questa classificazione esistono abaci e atlanti dei ponti termici che schematizzano e illustrano algoritmi di calcolo per individuare il coefficiente di dispersione termica lineica. Nello

FASI ORGANIZZATIVE E
METODOLOGICHE DELLA
RICERCA

FASE 1 - STATO DELL'ARTE

NORMATIVA, ABACI E ATLANTI
DI CALCOLO

specifico sono stati analizzati:

1. "L'atlante di ponti termici" edito da Edilclima che per ciascuna classe di ponte termico individua alcune casistiche, fornendone valori tabellari precalcolati secondo la norma UNI EN ISO 10211 in riferimento alle diverse caratteristiche dimensionali. Con l'interpolazione dei dati forniti è possibile ottenere un valore del coefficiente di dispersione termica lineica;
2. "L'abaco dei ponti termici" edito da CENED che, sulla base di schemi grafici semplificati, propone algoritmi di calcolo validi solo per alcuni campi di esistenza, al di fuori dei quali i risultati ottenuti non sono attendibili;
3. "Le catalogue des ponts thermiques" dell'OFEN di Zurigo che, anche in questo caso offre valori tabellari, sviluppati però su una casistica più ampia in riferimento anche a edilizia non tradizionale, quali semiprefabbricato o mista in cemento-acciaio.

Esistono inoltre, associazioni di categoria come consorzi di produttori o collegi costruttori che forniscono linee guida e manuali specifici sui temi e le aree di competenza. Le discontinuità nell'involucro edilizio hanno un carattere trasversale e affine, seppur non di primaria importanza, per ciascuno dei settori indagati. La ricerca e l'analisi permettono di ampliare il quadro conoscitivo con sviluppi sia in campo energetico che in architettura tecnica. Entrambe queste discipline contribuiscono a definire caratteristiche prestazionali e a fornire indicazioni grafiche essenziali per la progettazione e l'ottimizzazione delle discontinuità.

In particolare sono stati rilevati:

1. il "Manuale per l'applicazione del Sistema a Cappotto" a cura del Consorzio per la cultura del sistema a cappotto - CORTEXA. Le linee guida illustrate nel manuale si focalizzano sul concetto di qualità ai diversi livelli. Promuovono la qualità come filo conduttore nell'intero processo creativo: dall'idea progettuale fino alle fasi di realizzazione dell'opera, passando dalla produzione e dalla scelta di materiali di qualità. Pertanto, qualità significa anche attenzione al dettaglio e cura dei particolari esecutivi. Le discontinuità sono tipiche dei nodi di dettaglio e quindi punti cruciali su cui intervenire per implementare e rendere un prodotto qualitativamente migliore. Il manuale, che ha valenza di carattere europea, presenta una serie di riferimenti normativi e prescrittivi corredati da esempi grafici esemplificativi dei nodi di raccordi più caratteristici come:

MANUALI DI RIFERIMENTO E
CODICI DI BUONA PRATICA

- intersezione tra involucro opaco e trasparente, tra copertura e involucro verticale e tra fondazioni e involucro perimetrale;*
2. *l'Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico ed Acustico - ANIT che propone una collana di manuali con approfondimenti specifici sui temi acustici e termici. "I materiali isolanti " e "Igrotermia e ponti termici" illustrano le principali grandezze termo-fisiche e il comportamento termo-igrometrico dei più comuni materiali isolanti in edilizia. L'approccio è di tipo teorico, con pochi riferimenti a casi specifici, ma illustra le peculiarità dei materiali che si possono impiegare nei progetti edilizi;*
 3. *il "Manuale Informativo e Formativo" della impresa Area Costruzioni che è nato con lo scopo di informare e formare gli operatori tecnici edili che lavorano nei cantieri dell'impresa. Ha carattere divulgativo, infatti indaga gli errori con immagini tratte da cantieri, ne illustra le possibili soluzioni della buona pratica costruttiva, ne evidenzia le criticità e propone azioni di intervento per risolverle in maniera ottimale. Anche in questo manuale si nota l'importanza della qualità, intesa sia come buona pratica costruttiva che sicurezza per i lavoratori. La programmazione e la pianificazione degli interventi in cantiere favoriscono la sicurezza degli operatori e la rapidità realizzativa.*

La seconda fase della ricerca concerne le esplorazioni conoscitive in cantieri di edilizia convenzionale: hanno permesso di valutare l'attuale pratica costruttiva, di individuare e riconoscere le discontinuità e, se, e in che modo fossero corrette.

I cantieri hanno avuto la duplice funzione di fornire un preciso quadro dell'attuale pratica realizzativa dei dettagli tecnici per la correzione delle discontinuità nell'involucro e sono stati anche la base per sviluppare le soluzioni tecnologiche ricercate.

I cantieri presi in esame si riferiscono principalmente ad interventi di nuova costruzione in Torino e Provincia. Il campo di indagine si è focalizzato su edifici con tecnica costruttiva convenzionale con la struttura principale in latero-cemento. Le imprese costruttrici selezionate spiccano nel panorama territoriale per l'attenzione prestata alla qualità realizzativa e all'orientamento verso la sostenibilità energetico-ambientale con utilizzo di materiali a basso impatto ambientale.

In ciascuna esperienza conoscitiva si sono riscontrati nodi tipologici con caratteristiche e positive, e negative, in riferimento

ESTRATTO - Per approfondimenti scrivere a: Caterina.arno@gmail.com

all'ottimizzazione delle discontinuità a fronte di un abbattimento delle dispersioni termiche.

I nodi costruttivi, pur essendo riconducibili alla suddivisione proposta dalla normativa ed ai codici di calcolo, a causa delle diverse variabili delle condizioni al contorno, sia progettuali che operative dovute a tipicità morfologiche o vincoli particolari, possono dare origine a innumerevoli casistiche di studio e analisi.

La fase produttiva della ricerca si propone una classificazione e codifica dei nodi di discontinuità, e sviluppa uno strumento per l'ottimizzazione delle soluzioni tecnologiche di dettaglio.

Il materiale collezionato, nella fase 1 e nella fase 2, ha permesso di sviluppare una ripartizione e una codifica più approfondita dei nodi tipologici di discontinuità dell'involucro. Questa distinzione non si basa più solo su elementi caratterizzanti il nodo, ma anche sulla posizione dell'isolante e sul tipo di materiale utilizzato. Le famiglie tipologiche individuate sono otto e la codifica si basa sulla norma UNI EN ISO 14683. Il codice alfanumerico identificativo di ciascun dettaglio costruttivo proposto, oltre a comprendere la sigla stabilita della normativa, prosegue indicando la posizione spaziale, il numero d'ordine sequenziale per la specifica famiglia, la posizione dell'isolante principale e l'eventuale cambio di materiale impiegato senza variarne la posizione o la conformazione.

In un'ottica di analisi integrata e sinergica degli aspetti termici con quelli costruttivi generali, il campo di indagine si è ampliato alla individuazione e allo studio dei requisiti tipici dei nodi costruttivi. Dalla studio della norma UNI 8290 si sono estrapolate le classi essenziali utili per le discontinuità dell'involucro edilizio. Esse comprendono: la sicurezza, in termini di stabilità strutturale e di resistenza al fuoco, il benessere ambientale, secondo aspetti termo-igrometrici e acustici, l'integrabilità geometrica e materica e la gestione nel tempo. Ciascuna classe essenziale è composta da sottolivelli di requisiti che incrociati con ciascun nodo tipologico originano celle di una matrice di riferimento e di confronto. Per ciascuna cella matriciale si propone un livello di attenzione che si divide in tre gradi che indicano l'importanza del singolo requisito prestazionale per lo specifico dettaglio analizzato. La classificazione è di tipo qualitativo e non quantitativo poiché non è possibile individuare per ogni requisito un indicatore prestazionale

FASE 3 - STRUMENTI DI
OTTIMIZZAZIONE

CLASSIFICAZIONE E CODIFICA
DEI NODI DI DISCONTINUITÀ
DELL'INVOLUCRO

MATRICE DI CONFRONTO E
INDICATORI DI PRIORITÀ

univoco.

La matrice ha anche la funzione di prospetto riassuntivo e di confronto generale per l'intera sequenza dei nodi indicati. Inoltre, per ciascun nodo, la ricerca offre uno strumento composto da una soluzione grafica del dettaglio tecnico corredata da una scheda di calcolo e da una scheda tipologica.

SCHEDE DI
CARATTERIZZAZIONE

Ogni soluzione grafica è corredata da indicazioni di tipo funzionale e materico per i principali elementi o sistemi componenti il particolare costruttivo. La continuità di isolamento è messa in evidenza da una campitura tenue di colore giallo, per un istantaneo riscontro visivo tra ambiente interno ed esterno dal punto di vista termico. Durante la fase di elaborazione delle soluzioni grafiche, in parallelo, è stata eseguita una ricerca per individuare i principali prodotti, presenti sul mercato, utili all'elaborazione e alla definizione delle soluzioni tecnologiche proposte. Sebbene si tratti di materiali o prodotti specifici, le soluzioni di dettaglio elaborate si possono integrare o adattare secondo le specifiche esigenze del singolo fruitore finale poiché i materiali e le caratteristiche dimensionali sono variabili con conseguenza per la scelta dei modelli e dei prodotti impiegati. Per ciascun articolo, ritenuto significativo, si riporta una breve descrizione, un'immagine di riferimento e un codice a barre bidimensionale (QR Code) che permette il collegamento diretto con il sito internet di riferimento per il prodotto analizzato.

SOLUZIONI GRAFICHE

Le schede di calcolo evidenziano le caratteristiche termo-fisiche principali. Sono strutturate in modo da apparire quasi del tutto automatiche; ovvero un menù a tendina permette di selezionare i materiali che compongono e caratterizzano il dettaglio studiato e attraverso algoritmi a cascata si ottengono i valori delle principali grandezze termofisiche. Se il caso studiato rientra nel campo di validità delle funzioni proposte dall'Abaco dei ponti termici del CENED la scheda prevede anche un sezione dedicata in cui si ottengono i valori del coefficiente di trasmissione lineica. Parallelamente al calcolo secondo l'Abaco CENED tutte le soluzioni proposte sono state studiate anche con l'utilizzo di un software per la modellazione agli elementi finiti.

SCHEDE DI CALCOLO

La verifica agli elementi finiti tramite il programma della LBNL, THERM 6.3 permette di visualizzare l'andamento delle curve isoterme all'interno del modello schematizzato da cui si desume come la temperatura e il flusso termico cambino all'interno dei

singoli componenti. In particolare si può verificare che la temperatura superficiale in corrispondenza degli angoli interni (che in genere rappresentano i punti critici di un edificio) sia superiore a 12°C, che è la soglia per evitare la formazione di muffe o condensa.

La terza ed ultima parte costituente il prodotto della ricerca, è una sintesi complessiva ed è composta, per ciascun dettaglio costruttivo, da una scheda tipologica. Fornisce: indicazioni tecnico-costruttive (con riferimento all'organizzazione proposta dalla matrice di confronto), e presenta al suo interno sia i dati grafici del disegno che i valori numerici ricavati dalla scheda di calcolo. A completamento di tale scheda si aggiungono indicazioni di tipo prescrittivo e indicazioni di posa, desunte in parte anche dalle note dei produttori dei materiali scelti.

SCHEDE TIPOLOGICHE

Lo strumento proposto costituisce un manuale d'uso, in linea con la vigente ed evoluta normativa in tema di discontinuità edilizie, in particolare per la stesura di disciplinari tecnici utili ai progettisti e agli operatori dei cantieri edili.

RISULTATI RAGGIUNTI

Il risultato della ricerca può essere utilizzato come strumento in fase progettuale, organizzativa e costruttiva. La struttura proposta risulta facilmente assimilabile, flessibile e applicabile dagli operatori edili per l'ottimale realizzazione di soluzioni tecnico-costruttive nelle discontinuità dell'involucro edilizio.

In conclusione, il prodotto illustrato non ha valenza esaustiva, ma, grazie alla possibilità di implementazione e versatilità di utilizzo in funzione delle specifiche esigenze del fruitore finale, è facilmente esportabile e assimilabile.

ESPORTABILITÀ DEL PRODOTTO

In un'ottica di maggiore diffusione e facilità di utilizzo il manuale, oltre alla classica diffusione cartacea sarà inserito in una banca dati digitale open source, da cui attingere sia per scopi di ricerca che di progettazione.

INTRODUZIONE ALL'USO PRATICO DELLO STRUMENTO

PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE E DI CODIFICA

Le famiglie tipologiche di discontinuità dell'involucro individuate *LA CODIFICA* sono otto e la codifica si basa sulla norma UNI EN ISO 14683, fornendo, inoltre, un ordine e una gerarchizzazione spaziale (partendo dal basso e andando verso l'alto in un edificio tipo):

1. *GF* indica i ponti termici dovuti al terreno;
2. *_P* indica i ponti termici determinati da pilastri;
3. *_C* indica i ponti termici negli angoli;
4. *IF* indica i ponti termici dei pavimenti;
5. *_B* indica i ponti termici di balconi o poggioli;
6. *_W* indica i ponti termici dovuti ai serramenti;
7. *IW* indica i ponti termici dovuti alle pareti interne.
8. *_R* indica i ponti termici di copertura.

La norma UNI EN ISO 14683 ha origini anglosassoni e le iniziali delle famiglie tipologiche di nodo derivano dal nome inglese: ad esempio "C" che rappresenta l'angolo deriva dall'analogo nome inglese "corner". Inoltre, la norma propone una sigla mutevole di una o due lettere rendendo il codice di lunghezza variabile e inapplicabile nel caso di standardizzazione per l'inserimento in database o elenchi digitali a spazi fissi. La codifica proposta prevede l'impiego di 9 spazi fissi.

L'ordine di codifica proposto all'interno del presente testo segue la collocazione spaziale delle discontinuità all'interno dell'edificio, partendo dalla base a contatto col terreno fino alla copertura del tetto. L'immagine seguente individua, in un generico edificio tipo, la posizione dei nodi di ponte termico e ne fornisce le possibili variabili geometriche riscontrabili nella pratica edilizia comune.

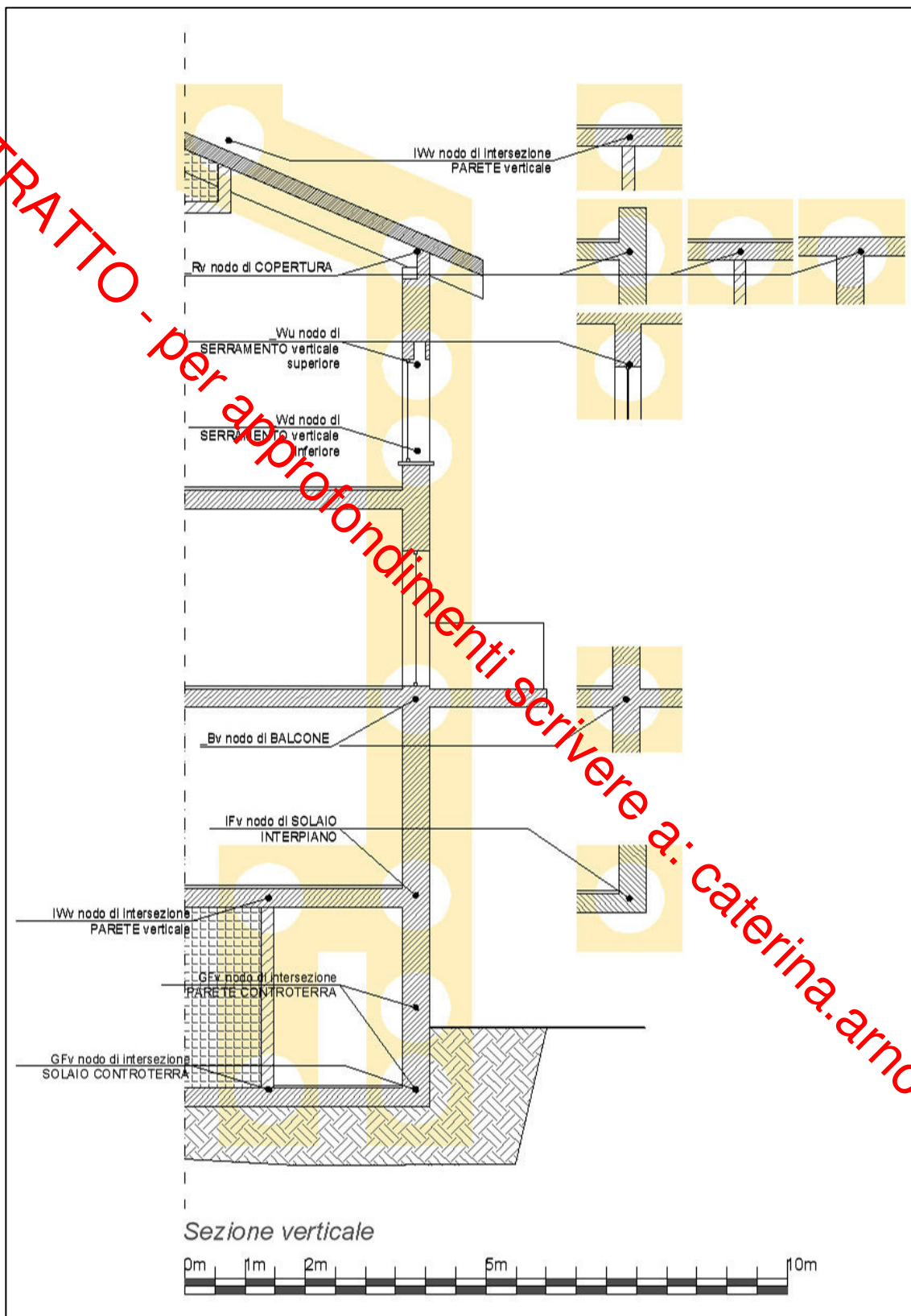


Figura 1. Mappa e codifica delle famiglie tipologiche di discontinuità per la sezione verticale

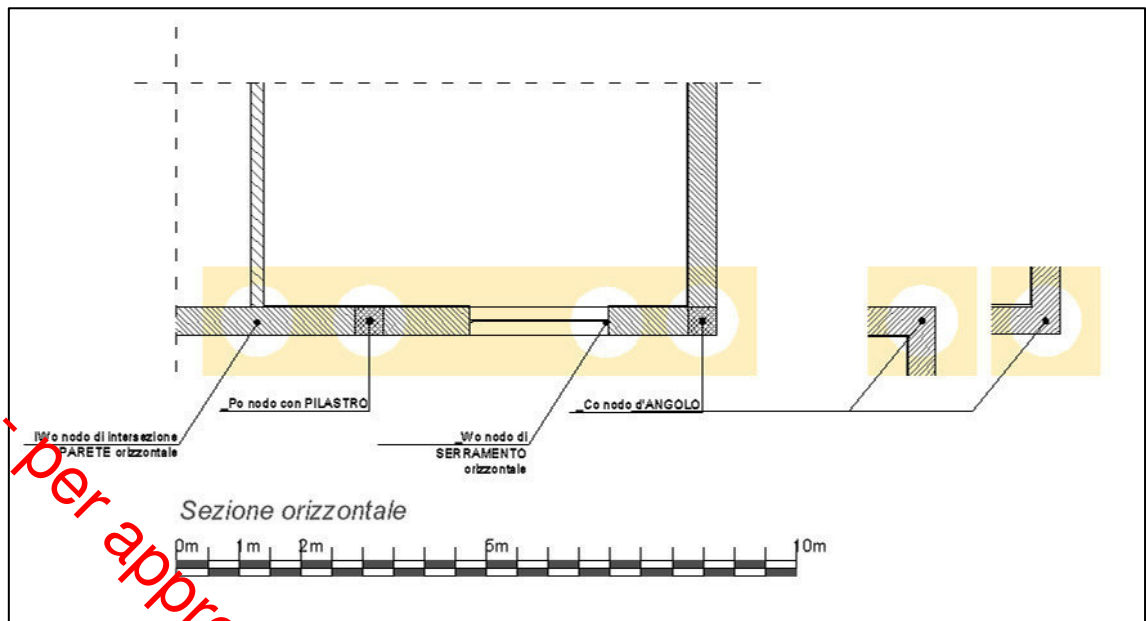


Figura 2. Mappa e codifica delle famiglie tipologiche di discontinuità per la sezione orizzontale

Il codice alfanumerico identificativo di ciascun dettaglio costruttivo proposto comprende:

- la sigla basata sulla normativa (cfr. 3.1.3);
- la tipologia di sezione (orizzontale o verticale);
- il numero d'ordine sequenziale;
- la posizione spaziale dell'isolante principale;
- l'eventuale cambio di materiale coibente impiegato senza variarne la posizione o la conformazione.

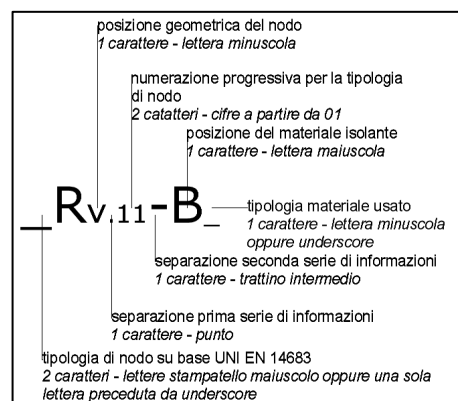


Figura 3. Esempio di codifica proposta - 9 caratteri totali

ESEMPIO DI CODIFICA
PROPOSTA E DI LETTURA

La codifica di ciascun nodo è univoca ed identica per ciascuna scheda proposta; ciò significa che la stessa nomenclatura è riportata e riproposta per tutti i livelli di dettaglio: da quello più

CODIFICA UNIVOCA

generale della matrice di confronto a quello più discorsivo delle schede delle prescrizioni tecniche in modo da mantenere un'anagrafica continua del nodo e renderlo facilmente rintracciabile sotto i diversi scenari di studio.

MATRICE PRESTAZIONALE DI CONFRONTO ED INDICATORI DI PRIORITÀ

In un'ottica di analisi integrata e sinergica degli aspetti termici con quelli costruttivi generali il campo di indagine si è ampliato alla individuazione e allo studio dei requisiti prestazionali tipici dei nodi costruttivi. Dallo studio della norma UNI 8290 sono state estrapolate le classi esigenziali utili per le discontinuità dell'involucro edilizio:

Le classi esigenziali individuate sono:

1. sicurezza, in termini di stabilità strutturale e di resistenza al fuoco;
2. benessere ambientale, secondo aspetti termo-igrometrici e acustici;
3. integrabilità geometrica e materica;
4. gestione nel tempo, in termini di manutenibilità.

Ciascuna classe esigenziale è composta da sottoivelli di requisiti prestazionali che incrociati con ciascun nodo tipologico originano celle di una matrice prestazionale di riferimento.

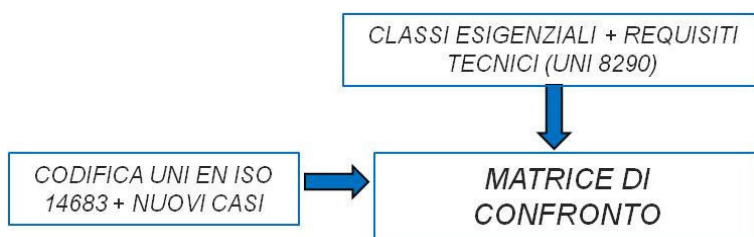


Figura 4. Incrocio per la matrice di confronto

Per ciascuna cella matriciale si propone un livello qualitativo di attenzione: la suddivisione si divide in tre gradi di attenzione, con una distinzione di tipo cromatico, che indicano l'importanza del singolo requisito prestazionale per lo specifico dettaglio analizzato:

- **rosso**: livello di attenzione alto (priorità della prestazione associata a quel requisito sugli altri);
- **giallo**: livello di attenzione medio (prestazione associata al

requisito di media rilevanza);

- **verde:** livello di attenzione basso (prestazione associata al requisito di importanza scarsa o intrinsecamente raggiunta senza particolari prescrizioni tecniche).

La classificazione è di tipo qualitativo e non quantitativo poiché non è possibile individuare per ogni requisito un indicatore prestazionale univoco a cui associare un preciso valore numerico di riferimento.

Il confronto tra gli elementi costituenti la matrice può essere effettuato sia in funzione di un singolo requisito, ovvero confrontando due o più nodi tipologici (confronto in verticale); oppure focalizzando l'attenzione su un solo nodo tipologico, ma analizzandolo sotto diversi aspetti prestazionali al fine di raggiungere un equilibrio tra le diverse prescrizioni per acquisire il livello prestazionale desiderato (confronto in orizzontale).

TIPI DI CONFRONTO

A titolo esemplificativo si riporta il confronto eseguito secondo le quattro diverse classi esigenziali per due nodi tipologici di intersezione tra parete esterna e solaio.

- IFv.01-C_ parete (continua) con isolante esterno;
- IFv.02-B_ parete (continua) con isolante intermedio (cordolo disgiuntore).

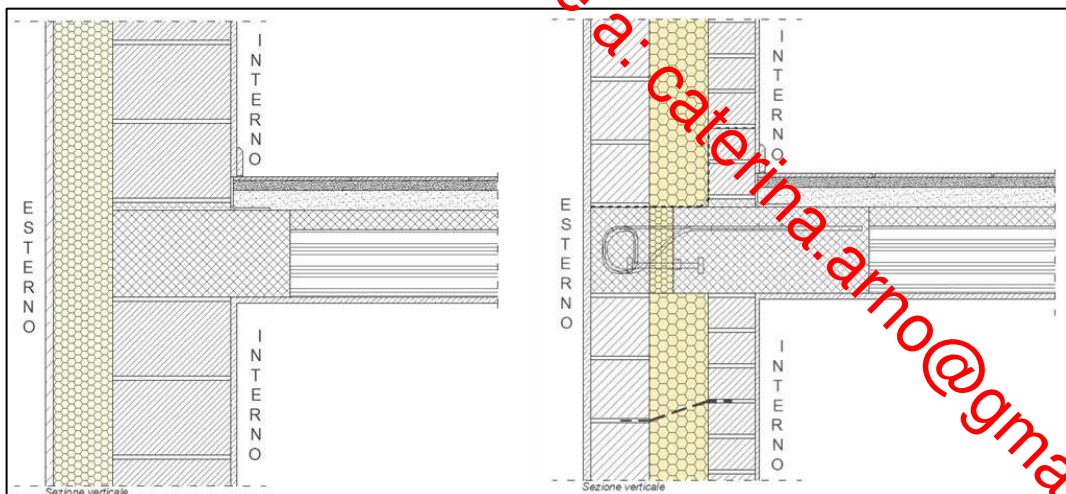


Figura 5. Confronto di due nodi tipologici

Sicurezza				
di stabilità			al fuoco	
affidabilità	resistenza meccanica alle azioni dinamiche	resistenza meccanica alle azioni statiche	assenza di emissioni di sostanze nocive	resistenza al fuoco
Attitudine a garantire, in condizioni di normale utilizzo, livelli prestazionali costanti nel tempo.	Capacità di resistere, nelle condizioni di esercizio, alle sollecitazioni dinamiche agenti, evitando il prodursi di deformazioni, cedimenti e/o rotture.	Capacità di resistere, nelle condizioni di esercizio, alle sollecitazioni statiche agenti, evitando il prodursi di deformazioni, cedimenti e/o rotture.	Attitudine a non produrre e/o emettere sostanze nocive (tossiche, irritanti, corrosive).	Si intende la capacità durante un incendio di mantenere inalterate le proprie caratteristiche d'esercizio per un tempo limite utile alla messa in sicurezza degli occupanti.

Figura 6. Confronto per il requisito prestazionale di sicurezza

Il secondo nodo che presenta un disgiuntore termico interposto nella trave in cemento armato prevede un alto grado di attenzione poiché, se non correttamente progettato e posato in opera, può rivelarsi un indebolimento strutturale che può compromettere il comportamento statico e portante della struttura.

REQUISITO DI SICUREZZA

Benessere						
termico ed igrometrico				acustico		
controllo della condensazione interstiziale	controllo della condensazione superficiale	controllo dell'inerzia termica	isolamento termico	assorbimento	isolamento acustico	
Attitudine ad evitare la formazione di acqua di condensa all'interno degli elementi.	Attitudine ad evitare la formazione di condensa sulla superficie degli elementi.	Attitudine ad attenuare entro opportuni valori l'ampiezza di oscillazione della temperatura e a ritardarne di una opportuna entità l'effetto.	Capacità di garantire adeguata resistenza al flusso di calore, dall'esterno all'interno e viceversa, assicurando il benessere termico.	Attitudine di un oggetto a trasformare parte dell'energia di una radiazione sonora su di esso incidente, in altre forme di energia.	Capacità di garantire adeguata resistenza alle emissioni di rumore, dall'esterno all'interno e viceversa, assicurando il benessere acustico.	

Figura 7. Confronto per il requisito prestazionale di benessere

Dal punto di vista del benessere termico ed igrometrico il primo nodo, con rivestimento esterno a cappotto, fornisce una coibentazione ottimale garantendo la continuità di isolamento e,

REQUISITO DI BENESSERE

pertanto, anche la totale separazione termica tra ambiente interno riscaldato ed ambiente esterno freddo.

Per il secondo nodo la tipologia e lo spessore di isolante posti in intercapedine e nel disgiuntore termico variano. L'importanza di un corretto dimensionamento e di un adeguato posizionamento dei materiali isolanti sono fondamentali per ottenere una prestazione termica elevata e continuativa per tutta la lunghezza dell'isolamento. Questo tipo di conformazione richiede una maggiore attenzione sia dal punto di vista progettuale, sia nella scelta dei diversi materiali coibenti e nel loro accoppiamento, ma anche un'attenzione durante la posa in opera per evitare discontinuità o interruzioni del coibente.

La famiglia tipologica di intersezione tra solaio e parete esterna non presenta la necessità di particolari requisiti acustici e pertanto il livello di attenzione può essere considerato di media importanza.

Integrabilità degli elementi tecnici	
integrazione dimensionale	sostituibilità
Capacità di un elemento o di un componente di poter essere, in parte o totalmente, integrato dimensionalmente in un sistema già esistente onde garantire prestazioni migliorate.	Capacità di un elemento di garantire la possibilità di effettuare sostituzioni di parti e/o elementi, onde garantire le prestazioni originarie.

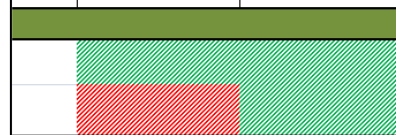


Figura 8. Confronto per il requisito di integrabilità dimensionale

Analogamente a quanto descritto per il paragrafo di benessere termo-igrometrico, il secondo nodo presentato richiede in fase operativa maggiori accorgimenti e attenzioni dal punto di vista costruttivo poiché, per il benessere termico, è necessario raggiungere l'integrabilità dimensionale e materica espresse da questa classe esigenziale.

Risulta evidente, in questo caso, come le classi esigenziali e i relativi requisiti prestazionali siano interconnessi fra loro e che l'ottenimento di uno possa rendere necessario il raggiungimento anche dell'altro.

REQUISITO DI INTEGRABILITÀ

Gestione di manutenibilità				
	anigrosopicità	facilità d'intervento	resistenza al gelo	resistenza all'irraggiamento
	Capacità degli elementi di non essere soggetti a mutamenti di dimensione, comportamento e morfologia in seguito all'assorbimento e/o al contatto con acqua.	Attitudine a garantire facili condizioni di intervento per ispezioni, manutenzioni e/o lavori.	Capacità di mantenere inalterate le proprie caratteristiche e non subire degni o modifiche dimensionali-funzionali a seguito della formazione di ghiaccio così come anche durante la fase di disgelo.	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto e caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione all'energia raggiante.

Figura 1. Confronto per il requisito di gestione nel tempo

In quest' ultima sezione del confronto l'attenzione si concentra sulla vita dell'elemento edilizio e sulla gestione dal punto di vista manutentivo e sulla durabilità dei componenti edilizi esposti all'azione degli agenti atmosferici.

Entrambe le soluzioni analizzate non richiedono interventi costanti e periodici, pertanto non è indispensabile un alto livello prestazionale.

Mentre nelle sezioni precedenti il livello di attenzione massimo ricadeva sul secondo in questo caso accade il contrario, poiché il sistema esterno a cappotto risulta maggiormente esposto agli agenti atmosferici e alle sollecitazioni esterne quindi, i requisiti ad esso associati dovranno avere la priorità rispetto ad altri.

All'inizio della sezione applicativa in cui sono presentate tutte le schede relative ai nodi tipologici studiati è inserita anche la matrice prestazione di confronto complessiva.

REQUISITO DI GESTIONE

MATRICE PRESTAZIONALE

COMPLESSIVA

L'USO DELLE SCHEDE

Nella sezione dedicata alle soluzioni tecniche studiate, il materiale è organizzato seguendo l'ordine delle famiglie tipologiche e dei rispettivi nodi e, per ciascun nodo, nell'ordine, vengono fornite:

- la scheda grafica con la soluzione tecnica di dettaglio;
- la scheda di calcolo del coefficiente di dispersione termica lineica;
- la scheda tipologica delle specifiche e delle prescrizioni tecniche dei requisiti essenziali.

SCHEDE DI SOLUZIONI TECNICHE DI DETTAGLIO

Ciascuna soluzione grafica di rappresentazione di dettaglio è corredata da indicazioni di tipo funzionale e materico per i principali elementi o sistemi componenti il particolare costruttivo. La continuità di isolamento è messa in evidenza con una campitura tenue di colore giallo, in modo da avere un istantaneo riscontro visivo per la separazione tra ambiente interno ed esterno dal punto di vista termico.

Durante la fase di elaborazione delle soluzioni grafiche, in parallelo, è stata eseguita una ricerca per individuare i principali prodotti, presenti sul mercato, utili all'elaborazione e alla definizione delle soluzioni tecnologiche proposte. Sebbene si tratti di materiali o prodotti specifici, le soluzioni di dettaglio elaborate possono essere integrate o adattate secondo le particolari esigenze del singolo fruitore finale, poiché i materiali e le caratteristiche dimensionali possono variare e, conseguentemente, anche la scelta dei modelli e dei prodotti impiegati (cfr. 5.2)¹.

Il nodo preso ad esempio è: **_Bv.09-C_ parete con isolante esterno - soletta con isolante esterno.**

La scheda è strutturata in modo da evidenziare i differenti componenti costruttivi fornendone la classificazione funzionale e il tipo di materiale utilizzato.

¹ Per ciascun prodotto, ritenuto significativo, si riporta una breve descrizione, un'immagine di riferimento e un codice a barre bidimensionale (QR Code) che permette di collegarsi direttamente con il sito internet di riferimento per il prodotto utilizzato.

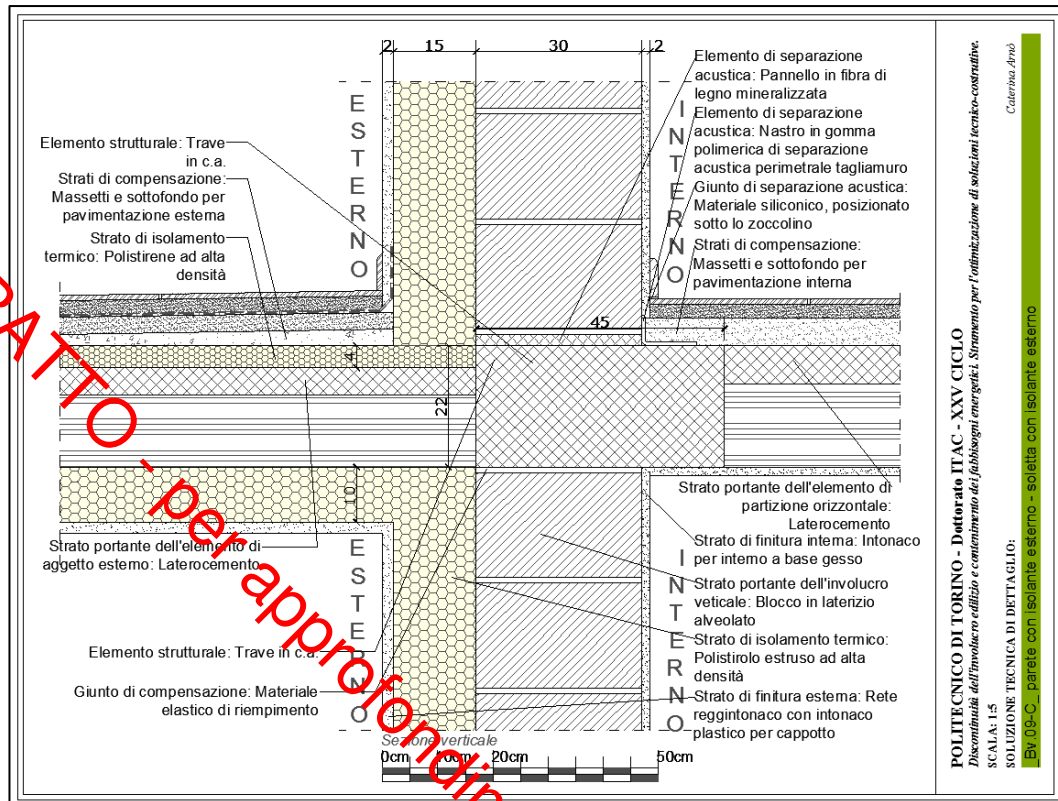


Figura 10. Esempio di scheda tecnica di dettaglio

Gli elementi di maggiore rilevanza sono quotati: come ad esempio lo spessore dell'isolante e le dimensioni della trave strutturale.

La scala di rappresentazione è di "1:5", ma è stata comunque riportata una scala grafica di riferimento nel caso in cui le schede siano stampate o riprodotte senza rispettare le impostazioni originali al fine di garantire sempre un'informazione dimensionale coerente.

La scheda riporta il codice identificativo univoco del singolo nodo di dettaglio e il richiamo cromatico specifico della famiglia di discontinuità. Questo tipo di riconoscimento è riproposto per ciascun tipo di scheda che analizza i differenti aspetti dei nodi tipologici.

SCHEDE DI CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI DISPERSIONE TERMICA LINEICA

Le schede di calcolo evidenziano le caratteristiche termo-fisiche principali.

Sono strutturate in modo da apparire quasi del tutto automatiche; un menù a tendina permette di selezionare i materiali che compongono e caratterizzano il dettaglio studiato e attraverso algoritmi a cascata si ottengono i valori delle principali grandezze termo-fisiche.

Se il caso studiato rientra nel campo di validità delle funzioni proposte dall'Abaco dei ponti termici del CENED la scheda prevede anche una sezione dedicata in cui si ottengono i valori del coefficiente di trasmissione lineica.

*ABACO DEI PONTI TERMICI
CENED*

Parallelamente al calcolo secondo l'Abaco CENED, che non sempre risulta applicabile a causa delle limitazioni imposte dal campo di validità, tutte le soluzioni proposte sono state studiate anche con l'utilizzo di un software per la modellazione agli elementi finiti.

E' stato utilizzato il software Therm 6.3, sviluppato da LBLN, e scaricabile liberamente dal sito internet².

MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI

La modellazione agli elementi finiti tramite il programma della LBNL, THERM 6.3 permette di visualizzare l'andamento delle curve isoterme all'interno del modello schematizzato da cui si deduce come la temperatura e il flusso termico cambino all'interno di singoli componenti.

Di seguito sono illustrati, a titolo esemplificativo, i calcoli per l'ottenimento del coefficiente di trasmissione termica lineica. Al fine di offrire una panoramica più ampia sulla versatilità delle schede proposte, si illustra il percorso di calcolo attraverso le schede automatizzate per l'Abaco CENED in riferimento ad un nodo di intersezione tra solaio e parete esterna. La procedura di calcolo con l'utilizzo del modello agli elementi finiti si riferisce ad un nodo d'angolo.

² <http://windows.lbl.gov/software/therm/6/>

Calcolo del coefficiente Ψ secondo l'Abaco CENED

Il nodo preso ad esempio è: **IFv.03-A_ parete (continua) con isolante interno (cordolo disgiuntore).**

Questa prima parte della scheda di calcolo, riferita alla valutazione del coefficiente di dispersione termica calcolato con l'utilizzo di un abaco si suddivide principalmente in:

1. richiamo grafico rappresentativo del dettaglio tecnico;
2. caratterizzazione (semiautomatica) dimensionale e materica con definizione dei parametri fisico-tecnici specifici;
3. calcolo (automatico) delle grandezze fisiche principali:
 - spessore totale - S_p - [m];
 - volume totale - V - [m³];
 - massa totale - M - [kg];
 - peso totale - P - [N];
 - resistenza termica totale - R - [m²K/W];
 - trasmittanza termica totale - U - [W/m²K];
 - lunghezza equivalente - L_{eq} - [m];
 - conduttività termica equivalente - C_{eq} - [m²K/W];
 - conducibilità termica equivalente - λ_{eq} - [W/mK];
 - trasmittanza adimensionale - U^* - [-].
4. controllo e verifica che i parametri calcolati rientrino nel campo di validità proposto dall'Abaco;
5. calcolo (automatico) del coefficiente di dispersione termica lineica secondo gli algoritmi proposti dall'Abaco.

3 Con la dicitura "peso specifico - ρ " si intende la massa del materiale avente come unità di misura i chilogrammi [kg]. Il "Peso totale - P " (cfr. Figura 6.14) è inteso come forza peso con unità di misura i Newton [N].

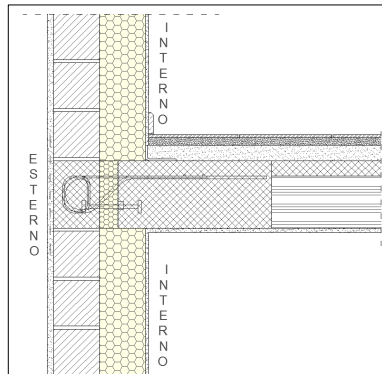


Figura 11. Richiamo grafico del dettaglio costruttivo analizzato

FASE 1: RICHIAMO GRAFICO

Il disegno proposto si riferisce alla soluzione di rappresentazione definita nella scheda grafica dedicata. Il disegno richiama solo la morfologia del nodo costruttivo e non ne riporta le indicazioni dimensionali e materiche per una questione di chiarezza e di facilità di lettura.

NOTA 1: Il dettaglio grafico proposto intende indicare la tipologia funzionale del nodo studiato. I riferimenti grafici hanno valenza indicativa e non esaustiva. Le singole caratteristiche dei materiali possono essere variate in base alle specifiche esigenze di calcolo.

In riferimento alla geometria e alla composizione del nodo tipologico si procede alla definizione delle caratteristiche dimensionali e materiche degli elementi che costituiscono l'elemento studiato.

In base alla tipologia di componente edilizio considerato sono anche riportati i coefficienti di scambio termico liminare, interno ed esterno (cfr.2.2.2)

Il calcolo di questi parametri caratteristici è semiautomatico; ovvero l'utente si limita a scegliere il materiale costituente lo strato considerato e ad inserire i primi tre dati dimensionali (spessore, lunghezza e larghezza). Per facilità di lettura e rapidità di inserimento le caselle con una campitura grigia sono le uniche caselle in cui è necessario imputare i dati; le altre caselle a sfondo neutro vengono completate in automatico a cascata, una volta inseriti i dati di partenza.

NOTA 2: L'utente deve inserire i dati solo nelle caselle campite in grigio, i risultati sono compilati in automatico ed i dati più sensibili sono evidenziati in grassetto.

FASE 2: CARATTERIZZAZIONE DIMENSIONALE

Per la scelta dei materiali e le caratteristiche fisico-tecniche il file di calcolo è stato integrato con un database comprendente i maggiori e più comuni materiali edili, sia tradizionali, sia di tipo bio-edilizio.

**FASE 2: CARATTERIZZAZIONE
MATERICA**

N°	STRATIGRAFIA parete	spessore	lunghezza	larghezza	densità	cond. termica	peso	resist. termica
	Nome materiale	s	h	l	d	λ	p	r
		[m]	[m]	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg]	[m ² K/W]
E	Rse							0,040
01	IntonacoCalce	0,020	3,00	1,00	1600	0,800	96,000	0,025
02	BlocchiConArgillaEspansa	0,200	3,00	1,00	800	0,180	480,000	1,111
03	PolistireneEspansoLastre	0,150	3,00	1,00	20	0,040	9,000	3,750
04	IntonacoCalceGesso	0,010	3,00	1,00	1500	0,700	45,000	0,014
	IntonacoCalceGesso							0,130
	IntonacoCalce							
	IntonacoCalceCemento							
	IntonacoCemento							
	IntonacoPlasticoPerCappotto							
	IntonacoTermoisolanteConPerliteF							
	IntonacoTermoisolanteConPerliteF							
	LanaDiPecora							

Figura 12. Stratigrafia delle parete considerata con scelta del materiale dal database

A seguito della definizione della geometria e dei materiali che costituiscono la stratigrafia il foglio di calcolo elabora automaticamente i risultati delle grandezze fisiche principali⁴.

**FASE 3: CALCOLO DELLE
GRANDEZZE FISICHE
PRINCIPALI**

Si sottolinea che per quanto riguarda il calcolo delle grandezze equivalenti:

- lunghezza equivalente - L_{eq} - [m], è intesa come la somma di tutti gli spessori della stratigrafia ad eccezione dello spessore del materiale isolante;
- conduttività termica equivalente - C_{eq} - [m²K/W], è intesa come la somma delle resistenze termiche specifiche dei singoli materiali ad eccezione di quella del materiale isolante, al netto dei coefficienti liminari;
- conducibilità termica equivalente - λ_{eq} - [W/mK], è intesa come il prodotto tra la lunghezza equivalente e la conduttività termica equivalente.

Analogamente si procede alla definizione e al calcolo per la stratigrafia inerente alla trave.

Anche in questo caso il calcolo, una volta scelta la tipologia di materiale e le caratteristiche dimensionali, è automatico e il risultato finale della trasmittanza termica compare immediatamente.

⁴ Le grandezze fisiche di maggiore rilevanza sono evidenziate, nella scheda di calcolo, in grassetto per una maggiore visibilità.

N°	STRATIGRAFIA trave	spessore	lunghezza	larghezza	densità	cond. termica	peso	resist. termica
	Nome materiale	s	h	l	d	λ	p	r
		[m]	[m]	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg]	[m ² K/W]
E	Rse							0,040
01	IntonacoCalce	0,020	3,00	1,00	1600	0,800	96,000	0,025
02	MattoneForato	0,100	3,00	1,00	1200	0,360	360,000	0,278
03	CementoArmato	0,100	3,00	1,00	2400	2,300	720,000	0,043
04	Poliuretano	0,080	3,00	1,00	30	0,030	7,200	2,667
05	CementoArmato	0,080	3,00	1,00	2400	2,300	576,000	0,035
I	Rsi							0,130
	Spessore totale - Sp	[m]	0,380					
	Resistenza termica totale - R	[m ² K/W]	3,218					
	Trasmittanza termica totale - U	[W/mqK]	0,311					

Figura 13. Stratigrafia e calcolo per la trave

Dal rapporto tra le due trasmittanze: quella della parete e quella della trave si ottiene un valore adimensionale il cui valore deve essere compreso in un campo di validità per poter applicare l'algoritmo di calcolo proposto dall'abaco e ottenere il coefficiente di trasmissione termica lineica.

Trasmittanza adimensionale - U*	[]	1,576
Conducibilità termica equivalente - λ_{eq}	[W/mK]	0,265
Calcolo del coefficiente di trasmissione termica lineica secondo l'abaco Cened		
Riferita alle dimensioni esterne	$\psi_E = 0,112 + 0,428 \cdot U^* - \frac{0,127}{\lambda_{eq}} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	
Riferita alle dimensioni interne	$\psi_I = -0,230 + 0,015 \cdot U^* - \frac{0,219}{\lambda_{eq}} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	
Campo di validità	$1,08 \leq U^* \leq 1,62 \quad 0,23 \leq \lambda_{eq} \leq 0,81 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	
Trasmittanza termica lineica riferita a dimensioni esterne - ψ_e	[W/mK]	0,08
Trasmittanza termica lineica riferita a dimensioni interne - ψ_i	[W/mK]	0,48

Figura 14. Calcolo del coefficiente di dispersione termica lineica secondo l'abaco Cened

Nello specifico caso analizzato i due valori da confrontare e per cui è necessario rispettare il campo di validità sono:

- la trasmittanza termica adimensionale U^* ;
- la conducibilità termica equivalente λ_{eq} .

L'immagine seguente illustra i due valori calcolati e i rispettivi campi di validità. Rispettando i suddetti campi è possibile applicare le formule per il calcolo dei coefficienti.

L'Abaco fornisce due differenti formule poiché i calcoli di dispersione termica globale si possono eseguire in riferimento al perimetro dell'ambiente riscaldato al netto dell'involucro (calcolo

FASE 4: VERIFICA DEL CAMPO DI VALIDITÀ

FASE 5: CALCOLO DEL COEFFICIENTE Ψ

riferito alle dimensioni interne), oppure al lordo dell'involucro (calcolo riferito alle dimensioni esterne).

Questa duplicità di calcolo è prevista dalle norme UNI/TS 11300; inoltre la stessa UNI EN ISO 14683 prevede la possibilità di scegliere se riferirsi alle dimensioni interne o esterne (cfr. 3.1.3).

Confrontando i valori tabellari proposti dalla norma UNI EN ISO 14683, la tipologia di nodo più simile a quello analizzato è il nodo IF7 che, come illustrato nell'immagine seguente, propone un coefficiente di trasmissione lineica interno di 0,80 [W/mK] mentre con un calcolo più dettagliato con l'utilizzo della formula proposta dall'abaco si ottiene un coefficiente di 0,48 [W/mK], cioè con una riduzione della stima di dispersione di circa il 40%.

CONFRONTO CON LA NORMA
UNI EN ISO 14683

Calcolo del coefficiente ψ con THERM 6.3

Il nodo considerato è: **_Co.01-C_ pareti con isolante esterno (con pilastro).**

Questa seconda parte della scheda di calcolo, riferita alla modellazione del nodo costruttivo con l'ausilio di un software agli elementi finiti si suddivide principalmente in:

1. schematizzazione grafica del dettaglio tecnico analizzato rispettando i limiti dimensionali imposti dalla norma UNI 10211 e salvataggio in formato .dxf;
2. importazione del disegno nel programma di calcolo Therm 6.3;
3. creazione, seguendo la geometria e le dimensioni del disegno importato, del modello agli elementi finiti;
4. scelta dei materiali costituenti il nodo con le caratteristiche fisico-tecniche specifiche;
5. definizione delle condizioni al contorno di temperatura per gli scambi termici;
6. scelta di un riferimento per il calcolo delle trasmittanze e dei flussi termici;
7. simulazione di calcolo e acquisizione dei risultati ottenuti con Therm 6.3:
 - L_e , ovvero la lunghezza di riferimento mediante la quale avviene la dispersione di calore;
 - ΔT , ovvero la differenza di temperatura tra l'ambiente

riscaldato e l'esterno⁵;

U_{factor} , ovvero la trasmittanza termica dell'intero componente edilizio comprensiva del contributo disperdente del ponte termico;

- trasferimento dei risultati ottenuti all'interno del foglio di calcolo e stima del coefficiente di dispersione termica lineica.

E' importante precisare che il software agli elementi finiti Therm 6.3 non permette di ottenere direttamente il valore del coefficiente agli elementi finiti ma, fornisce un valore di una trasmittanza [W/mK] che considera il contributo disperdente sia dell'elemento omogeneo (parete, solaio, copertura ecc...) che della discontinuità dovuta al ponte termico. Per ottenere il coefficiente di dispersione termica lineica occorre sottrarre alla trasmittanza complessiva il contributo della trasmittanza dell'elemento omogeneo (ad esempio una parete) e dividerlo per la lunghezza di riferimento attraverso la quale avviene la dispersione di calore.

Le formule seguenti sintetizzano le operazioni automatizzate all'interno del foglio di calcolo.

L'utente dovrà solamente inserire all'interno delle celle con campitura grigia i dati ricavati dalla simulazione agli elementi finiti.

$$F_{ideale} = \Delta T * \sum_i^N (L_{ie} * U_i) [W / m]$$

$$F_{reale} = \Delta T * L_e * U_{factor} [W / m]$$

$$L_{2D} = F_{reale} / \Delta T = L_e * U_{factor} [W / mK]$$

$$\Psi_e = L_{2D} - \sum_i^N (L_{ie} * U_i) = L_e * U_{factor} - \sum_i^N (L_{ie} * U_i) [W / mK]$$

Dove:

- F_{ideale} è il flusso termico disperso in condizioni di omogeneità dell'elemento edilizio (ad esempio una parete con stratigrafia omogenea e continuità materica);
- F_{reale} è il flusso termico disperso in condizioni reali, ovvero con la presenza della discontinuità che causa un ponte termico e pertanto una variazione di flusso rispetto alle condizioni ideali (ad esempio una parete con un pilastro interno) (cfr. Figura 2.3);

⁵ Le temperature considerate sono stazionarie e i valori assunti sono quelli standard di progetto (per l'interno 20° C e per l'esterno, considerando la località di Torino, -8° C). Per gli ambienti non riscaldati o per il terreno è stata assunta convenzionalmente la temperatura di 10° C.

- L^{2D} è il coefficiente di accoppiamento ottenuto dal calcolo bidimensionale agli elementi finiti dell'elemento di separazione tra interno ed esterno (comprendente il ponte termico) (cfr. 3.1.5);
- 3. Ψ_e è il coefficiente di dispersione termica lineica basato sulle dimensioni esterne, ossia misurate tra le superfici esterne finite degli elementi dell'edificio.

Completata la simulazione e ottenuti i risultati: questi sono riportati nella scheda di calcolo insieme ad un'immagine riepilogativa del modello creato.

FASE 8: DA THERM A EXCEL

La figura seguente riassume i valori di calcolo ottenuti da Therm (celle grigie) e i risultati ottenuti dall'automatizzazione del foglio secondo le formule illustrate al paragrafo 0.

Il coefficiente di dispersione globale, riferito sia alla parete in posizione verticale che a quella orizzontale, è ottenuto dalla media pesata di ciascuna dispersione.

Di seguito si riporta il coefficiente calcolato rispetto al perimetro esterno d'involucro.

lunghezza esterna	delta termico	trasm.za termica ideale	flusso termico ideale	trasm.za termica globale	flusso termico reale	coeff. acc.mento termico	coeff. dispersione termica
L_e	ΔT	U_c	F_{ideale}	U_{factor}	F_{reale}	L_{2D}	Ψ_e
[m]	[K]	[W/m ² K]	[W/m]	[W/m ² K]	[W/m]	[W/mK]	[W/mK]
<i>Coefficiente di dispersione termica secondo l'asse orizzontale</i>							
2,63	28	0,1623	11,95	0,1679	12,36	4,70	0,01
<i>Coefficiente di dispersione termica secondo l'asse verticale</i>							
2,63	28	0,1623	11,95	0,1679	12,36	4,70	0,01
<i>Coefficiente di dispersione termica secondo la lunghezza globale</i>							
5,26	28	0,1623	23,90	0,1679	24,73	4,70	0,03

Figura 15. Calcolo del coefficiente di dispersione dai risultati ottenuti con Therm

ESTRATTO Per approfondimenti Scrivere a: caterina.arno@gmail.com

SCHEDE TIPOLOGICHE DELLE SPECIFICHE E DELLE PRESCRIZIONI TECNICHE DEI REQUISITI ESIGENZIALI

La terza ed ultima parte costituente il prodotto della ricerca è una sintesi complessiva ed è composta, per ciascun dettaglio costruttivo, da una scheda tipologica che fornisce: indicazioni tecnico-costruttive (con riferimento all'organizzazione proposta dalla matrice prestazionale di confronto) e che presenta al suo interno sia i dati grafici del disegno che i valori numerici ricavati dalla scheda di calcolo.

A completamento della scheda tipologica si aggiungono indicazioni di tipo prescrittivo e indicazioni di posa, desunte in parte anche dalle note dei produttori dei materiali scelti.

SINTASSI PRESCRITTIVA

La scheda si articola in tre sezioni:

ORGANIZZAZIONE DEI

- un richiamo di tipo grafico simile alla scheda tecnica di dettaglio;
- un breve descrizione del dettaglio analizzato con un'immagine tratta dalle indagini in cantiere o estratta dalle note tecniche fornite dai produttori dei materiali proposti per la realizzazione del nodo.
- un corpo centrale che, suddiviso secondo i differenti requisiti per le singole classi esigenziali, fornisce prescrizioni e specifiche tecnico-prestazionali;
 - una parte conclusiva che indica la sequenza e la metodologia di posa per realizzare il nodo costruttivo analizzato, evidenziandone livelli di attenzione particolare o eventuali criticità.

CONTENUTI

Queste schede tipologiche oltre a racchiudere e riprendere le informazioni, già contenute all'interno delle schede analizzate ai paragrafi precedenti, approfondiscono prescrizioni di capitolato tecnico e di manuale di posa in opera.

COMPLETE AUTONOMIA DELLE

SCHEDE

La ripetizione di risultati già illustrati con sezioni dedicate è giustificata dalla diversa finalità e dalla totale autonomia e autosussistenza di queste schede tipologiche, le quali si possono incorporare ed integrare in documenti di progetto quali relazioni tecniche e, anche in capitolati prestazionali.

Per una completa autonomia di queste schede sono stati compresi sia i dettagli grafici sia i risultati di calcolo già ottenuti in precedenza.

A titolo esemplificativo, la tabella seguente riferita al nodo tipologico di infisso:

Wo.16-Bb parete con isolante intermedio richiama e confronta i risultati del coefficiente termico desunti o calcolati secondo i diversi metodi di calcolo: partendo dal metodo più approssimativo della norma UNI EN ISO 14684 ed arrivando a quello più dettagliato della simulazione agli elementi finiti passando per l'Abaco dei ponti termici CENED e l'Atlante Edilclima.

UNI EN ISO 14684	ABACO CESTEC/CENED	ATLANTE EDILCLIMA	SOFTWARE THERM 6.3
0,00	0,06	0,01	0,07

Tabella 0.1. Confronto dei valori del Tabella coefficiente di dispersione termica lineica secondo i diversi metodi di calcolo

I valori riportati in tabella non coincidono perfettamente poiché i metodi di calcolo hanno livelli di accuratezza differenti e quindi il risultato può differire, pur restando sempre nello stesso ordine di grandezza.

Un'altra caratteristica presente all'interno di questa scheda tipologica sono le indicazioni di posa in opera, fornite sia sotto forma descrittiva che come sequenza numerica in un'immagine di riferimento.

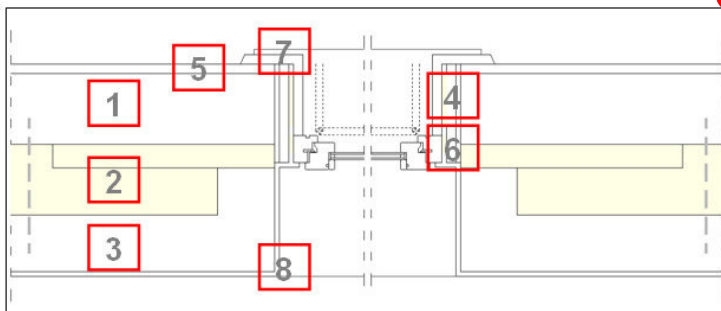
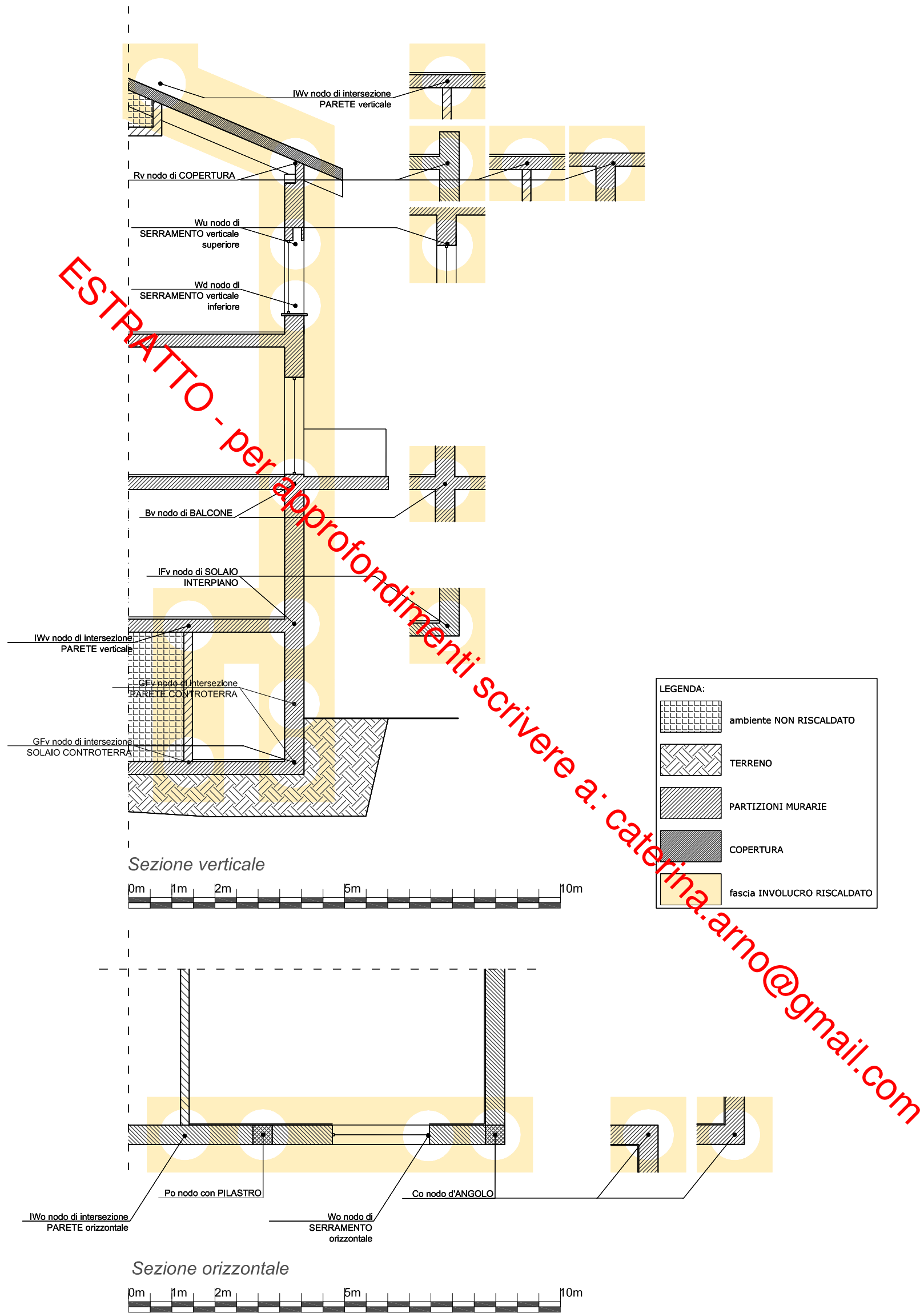


Figura 16. Indicazioni di posa in opera

Come per le schede precedenti anche queste si possono implementare e/o modificare in funzione delle esigenze specifiche del fruitore finale.

**INTEGRABILITÀ E
PERSONALIZZAZIONE DEL
PRODOTTO**



POLITECNICO DI TORINO - Dottorato ITAC - XXV CICLO - A.A. 2012-13

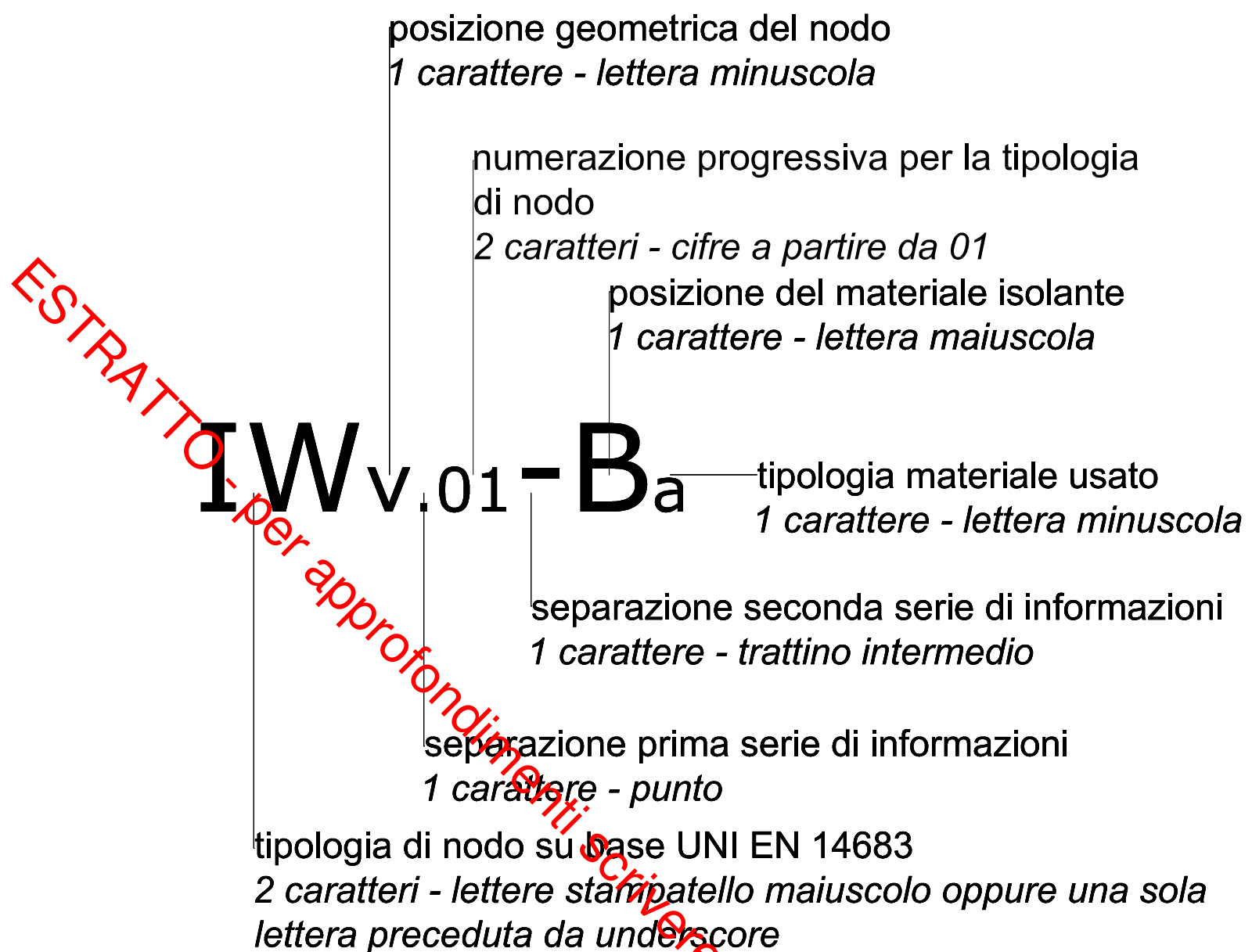
Discontinuità dell'involucro edilizio e contenimento dei fabbisogni energetici. Strumento per l'ottimizzazione di soluzioni tecnico-costruttive.

SCALA: -

Caterina Arnò

Mappa e codifica dei nodi tipologici

ESEMPIO DI CODIFICA DEI NODI STUDIATI - 9 caratteri totali



NOTE:

tipologie di nodi possibili su base UNI EN 14683:

- _B - BALCONE;
- _C - ANGOLO;
- _G - PARETE CONTROTERRA;
- _P - PILASTRO;
- _R - intersezione COPERTURA;
- _W - intersezione SERRAMENTO;
- GF - SOLAIO CONTROTERRA;
- IF - intersezione SOLAIO;
- IW - intersezione PARETE

posizione geometrica del nodo:

- d - basso;
- o - orizzontale;
- u - alto;
- v - verticale

posizione del materiale isolante:

- A - isolamento sul lato interno dell'involucro;
- B - isolamento nell'intercapedine o posizione intermedia dell'involucro;
- C - isolamento sul lato esterno dell'involucro (cappotto esterno)
- D - isolamento in posizione variabile

POLITECNICO DI TORINO - Dottorato ITAC - XXV CICLO - A.A. 2012-13

Discontinuità dell'involucro edilizio e contenimento dei fabbisogni energetici. Strumento per l'ottimizzazione di soluzioni tecnico- costruttive.

SCALA: -

Esempio di codifica proposta - 9 caratteri totali

Caterina Arnò

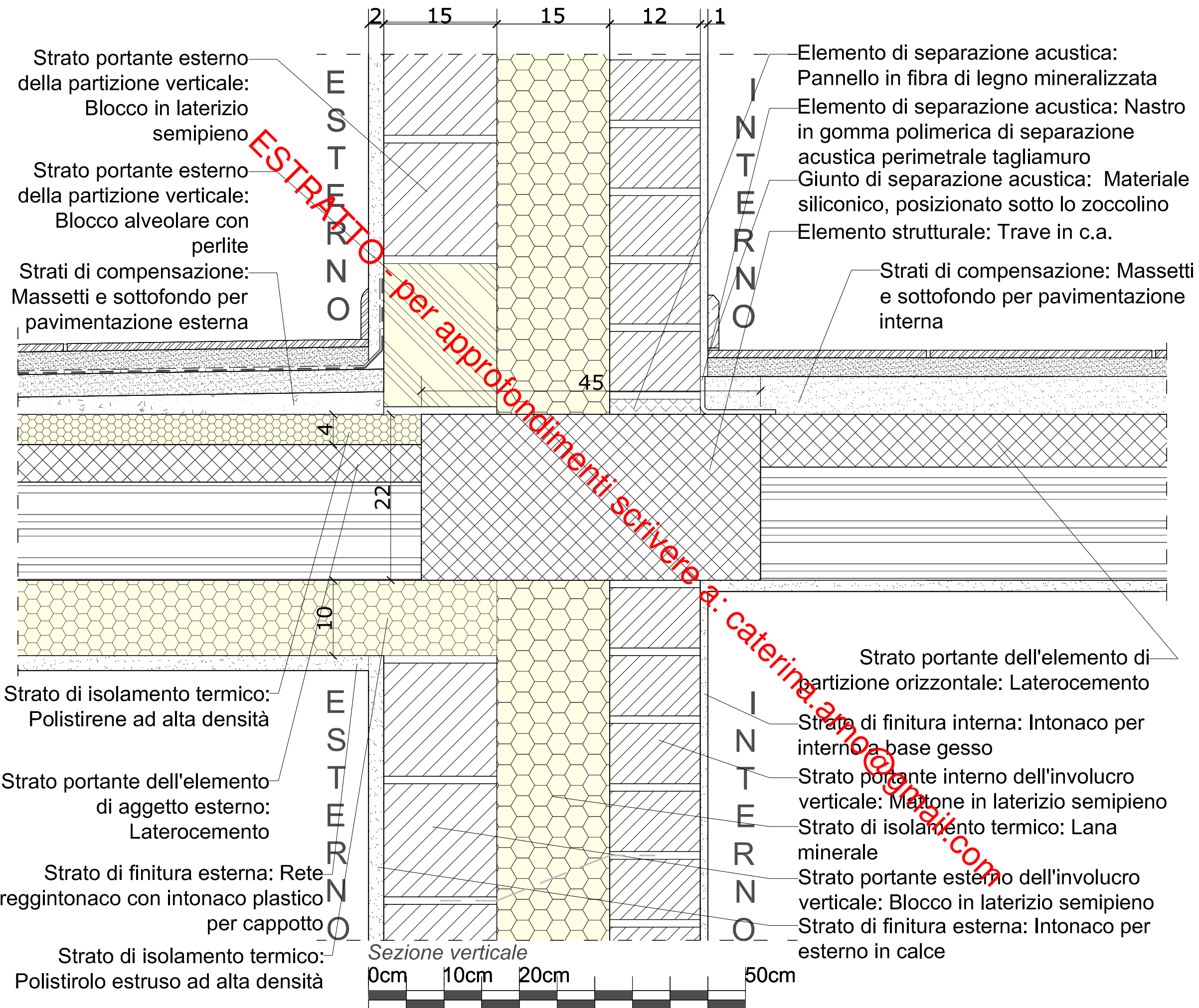
POLITECNICO DI TORINO-Dottorato ITAC-XXV CICLO
Disciplinabilità dell'involucro edilizio e contenimento dei fabbisogni energetici. Strumento per l'ottimizzazione di soluzioni tecnico-costruttive.

NUMERAZIONE	REQUISITO	DESCRIZIONE	CLASSE ESIGENZE / CLASSE DI REQUISITO																
			di stabilità			sicurezza		al fuoco		termico ed igrometrico		Benessere		acustico		Integrabilità		Gestione	
			antiriscaldamento	resistenza alla deformazione	risposta sismica	resistenza alle sollecitazioni	resistenza alle sollecitazioni	assorbimento acustico	isolamento termico	controllo dell'umidità	isolamento termico	assorbimento acustico	isolamento termico	assorbimento acustico	isolamento termico	assorbimento acustico	isolamento termico	assorbimento acustico	
CLASSE A			CLASSE A																
CLASSE B			CLASSE B																
CLASSE C			CLASSE C																
CLASSE D			CLASSE D																
CLASSE E			CLASSE E																
CLASSE F			CLASSE F																
CLASSE G			CLASSE G																
CLASSE H			CLASSE H																
CLASSE I			CLASSE I																
CLASSE J			CLASSE J																
CLASSE K			CLASSE K																
CLASSE L			CLASSE L																
CLASSE M			CLASSE M																
CLASSE N			CLASSE N																
CLASSE O			CLASSE O																
CLASSE P			CLASSE P																
CLASSE Q			CLASSE Q																
CLASSE R			CLASSE R																
CLASSE S			CLASSE S																
CLASSE T			CLASSE T																
CLASSE U			CLASSE U																
CLASSE V			CLASSE V																
CLASSE W			CLASSE W																
CLASSE X			CLASSE X																
CLASSE Y			CLASSE Y																
CLASSE Z			CLASSE Z																

ESTRATTO - per approfondimenti scrivere a: caterina.amo@gmail.com

■	LIVELLO DI ATTENZIONE ALTO (prestazione associata al requisito di maggior impatto)
■	LIVELLO DI ATTENZIONE MEDIO (prestazione associata al requisito di medio impatto)
■	LIVELLO DI ATTENZIONE BASSO (prestazione associata al requisito di minor impatto)

Matrice prestazionale di confronto con indicatori di priorità



POLITECNICO DI TORINO - Dottorato ITAC - XXV CICLO

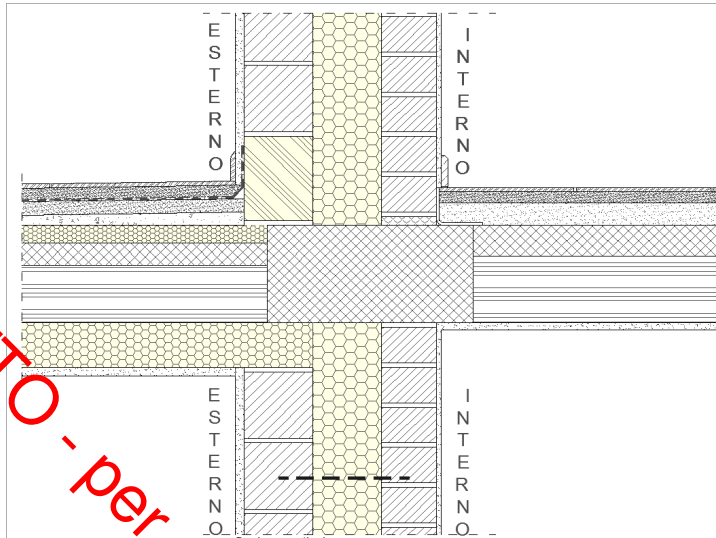
Discontinuità dell'involucro edilizio e contenimento dei fabbisogni energetici. Strumento per l'ottimizzazione di soluzioni tecnico-costruttive.

SCALA: 1:5

SOLUZIONE TECNICA DI DETTAGLIO:

Bv.10-B parete con isolante intermedio - soletta con isolante esterno

Caterina Arnò

Bv.10-B_ parete con isolante intermedio - soletta con isolante esterno

NOTA 1: Il dettaglio grafico proposto intende indicare la tipologia funzionale del nodo studiato. I riferimenti grafici hanno valenza indicativa e non esaustiva. Le singole caratteristiche dei materiali possono essere variate in base alle specifiche esigenze di calcolo.

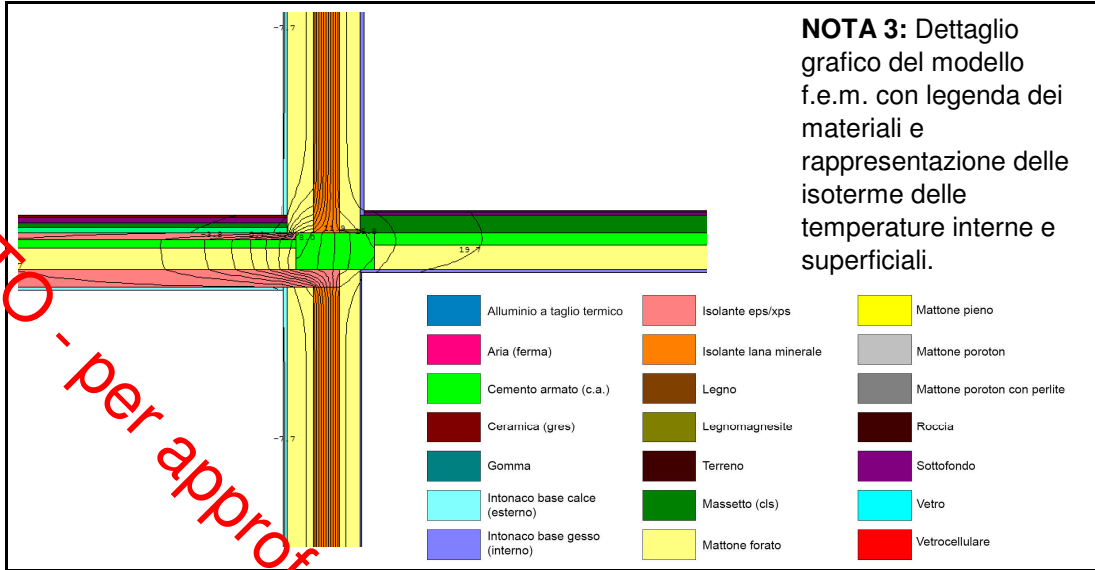
NOTA 2: L'utente deve inserire i dati solo nelle caselle campite in grigio, i risultati vengono compilati in automatico ed i dati più sensibili sono evidenziati in grassetto.

N°	STRATIGRAFIA parete	spessore	lunghezza	larghezza	densità	cond. termica	peso	resist. termica
	Nome materiale	s	h	l	d	λ	p	r
		[m]	[m]	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg]	[m ² K/W]
E	Rse							0,040
01	IntonacoCalce	0,020	3,00	1,00	1600	0,800	96,000	0,025
02	MattoneForato	0,150	3,00	1,00	1200	0,360	540,000	0,417
03	LanaDiRoccia	0,150	3,00	1,00	30	0,040	13,500	3,750
04	MattoneForato	0,120	3,00	1,00	1200	0,360	432,000	0,333
05	IntonacoCalceGesso	0,010	3,00	1,00	1500	0,700	45,000	0,014
I	Rsi							0,130
Spessore totale - Sp		[m]	0,450					
Volume - V		[m ³]	1,350					
Massa totale - M		[kg]	1127					
Peso totale - P		[N]	11051					
Resistenza termica totale - R		[m ² K/W]	4,709					
Trasmittanza termica totale - U		[W/m ² K]	0,212					
Lunghezza equivalente - L		[m]	0,300					
Conduktività termica equivalente - C		[W/m ² K]	1,267					
Conducibilità termica equivalente - λ_{eq}		[W/mK]	0,380					

N°	STRATIGRAFIA balcone	spessore	lunghezza	larghezza	densità	cond. termica	peso	resist. termica
	Nome materiale	s	h	l	d	λ	p	r
		[m]	[m]	[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kg]	[m ² K/W]
E	Rse							0,040
01	IntonacoCalce	0,020	1,50	1,00	1600	0,800	48,000	0,025
02	PolistireneEstrusoLastre	0,100	1,50	1,00	35	0,035	5,250	2,857
03	MattoneForato	0,130	1,50	1,00	1200	0,360	234,000	0,361
04	CementoArmato	0,050	1,50	1,00	2400	2,300	180,000	0,022
05	Poliuretano	0,040	1,50	1,00	30	0,030	1,800	1,333
06	CLSAggeritoConArgillaE spansa	0,090	1,50	1,00	1100	0,450	148,500	0,200
07	Ceramica	0,020	1,50	1,00	2000	1,200	60,000	0,017
E	Rse							0,040
	Spessore totale - Sp	[m]	0,450					
	Resistenza termica totale - R	[m ² K/W]	4,895					
	Trasmittanza termica totale - U	[W/m²K]	0,204					

Bv.10-B parete con isolante intermedio - soletta con isolante esterno

Calcolo del coefficiente di trasmissione termica lineica con l'ausilio di un modello f.e.m. (Therm 6.3)



$$F_{ideale} = \Delta T * \sum_i^N (L_{ie} * U_i) [W / mK]$$

$$F_{reale} = \Delta T * L_e * U_{factor} [W / mK]$$

$$L_{2D} = F_{reale} / \Delta T = L_e * U_{factor} [W / mK]$$

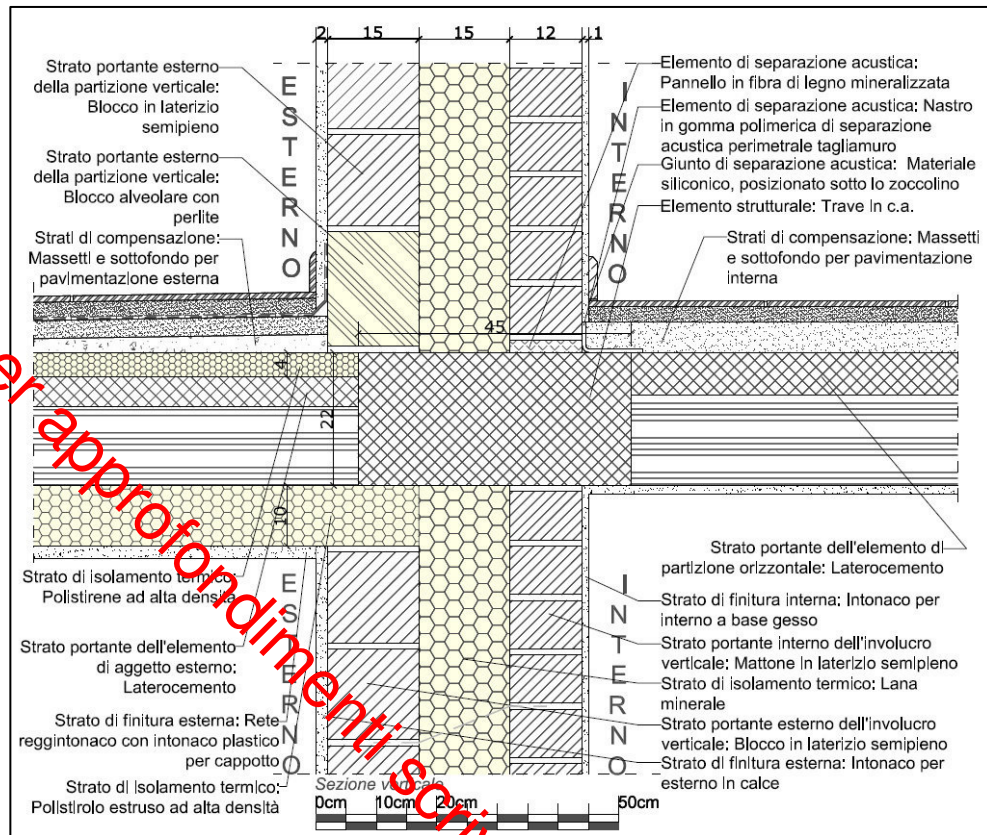
$$\Psi_e = L_{2D} - \sum_i^N (L_{ie} * U_i) = L_e * U_{factor} - \sum_i^N (L_{ie} * U_i) [W / mK]$$

NOTA 4: I parametri fisicotecnici utilizzati per il modello possono differire rispetto a quelli scelti per il calcolo con le formule dell'abaco Cened poiché quest'ultimo è valido solo in precisi campi di esistenza mentre il modello f.e.m. garantisce una maggiore versatilità.

Di seguito si riporta il coefficiente calcolato rispetto al perimetro esterno d'involucro.

lunghezza esterna	delta termico	trasm.za termica ideale	flusso termico ideale	trasm.za termica globale	flusso termico reale	coeff. acc.mento termico	coeff. disp. termica lineica
L_e	ΔT	U_c	F_{ideale}	U_{factor}	F_{reale}	L_{2D}	Ψ_e
[m]	[K]	[W/m ² K]	[W/m]	[W/m ² K]	[W/m]	[W/mK]	[W/mK]
<i>Coefficiente di dispersione termica secondo l'asse orizzontale (balcone)</i>							
3,93	28	0,2043	22,48	0,2896	31,87	8,11	0,34
<i>Coefficiente di dispersione termica secondo l'asse verticale (parete)</i>							
3,37	28	0,2123	20,05	0,2440	23,04	6,83	0,17
<i>Coefficiente di dispersione termica secondo la lunghezza globale</i>							
7,30	28	0,2080	42,53	0,2596	53,08	7,27	0,38

Bv.10-B parete con isolante intermedio - soletta con isolante esterno



ESTRATTO - per approfondimenti scrivere a: caterina.arno@gmail.com

A. DESCRIZIONE

Nodo perimetrale esterno formato dall'intersezione del balcone con l'involucro verticale. Nel dettaglio proposto la muratura è in laterizio semipieno tradizionale con isolante interposto in intercapedine. L'intercapedine, se adeguatamente dimensionata può ospitare uno spessore variabile di isolamento. Il livello minimo di coibentazione è raggiunto dal primo strato, mentre il secondo può essere aggiunto nel caso in cui si intenda implementare le prestazioni termo-igrometriche. La struttura portante è in cemento armato e la mensola del balcone è rivestita esternamente all'intradosso con pannelli isolanti. Gli elementi per l'isolamento termico differiscono per spessore e tipologia del materiale utilizzato, ma la continuità di separazione e d'isolamento termico tra interno ed esterno è garantita. Il disegno precedente evidenzia questa continuità con una campitura di colore giallo, utilizzata anche negli elaborati grafici.



Figura A.1. rivestimento a cappotto della soletta del balcone

B. CLASSI ESIGENZIALI E REQUISITI

1. Classe Esigenziale: SICUREZZA

1.1. Classe di Requisito: SICUREZZA DI STABILITÀ

Il sistema a cappotto è reso solidale alla muratura portante attraverso ancoraggio meccanico puntuale (a tasselli) e/o ancoraggio distribuito chimico (a colla).

La muratura interna e quella esterna sono rese solidali da zanche metalliche puntuali poste ad intervalli regolari al fine di garantire un comportamento omogeneo e continuo.

1.1.1. AFFIDABILITÀ

Si intende l'attitudine a garantire, in condizioni di normale utilizzo, livelli prestazionali costanti nel tempo.

Le caratteristiche prestazionali di capacità portante dovranno essere mantenute nel tempo. Si rimanda a note di posa e di manutenzione indicate dal progettista e dalle specifiche tecniche indicate dai produttori dei materiali utilizzati. L'utilizzo di tasselli e di zanche metalliche favorisce l'ancoraggio e il fissaggio delle tamponature agli elementi strutturali principali.

La realizzazione delle strutture portanti principali, tramite getto di cls in opera, prevede una preventiva posa delle armature alle quali dovranno essere collegate mediante debito inserimento i ferri di ancoraggio dell'elemento disgiuntore di separazione termica. L'elemento proposto dovrà perfettamente integrarsi con la struttura, garantendo una capacità portante pari e superiore al carico proprio e accidentale della muratura esterna. Le dimensioni dell'elemento possono variare in funzione della dimensione della trave (altezza e carpenteria metallica di armatura).

1.1.1. RESISTENZA MECCANICA ALLE AZIONI DINAMICHE

Si intende la capacità di resistere, nelle condizioni di esercizio, alle sollecitazioni dinamiche agenti, evitando il prodursi di deformazioni, cedimenti e/o rotture.

In riferimento alla vigente normativa antisismica il nodo strutturale deve prevedere sollecitazioni dinamiche garantendo le prestazioni previste dalla classe di utilizzo. Nello specifico le armature di sostegno dell'elemento devono integrarsi con le armature previste nel normale calcolo strutturale.

1.1.1. RESISTENZA MECCANICA ALLE AZIONI STATICHE

Si intende la capacità di resistere, nelle condizioni di esercizio, alle sollecitazioni statiche agenti, evitando il prodursi di deformazioni, cedimenti e/o rotture.

La muratura perimetrale poggerà sugli elementi strutturali principali in continuità e complanarità rispetto al filo esterno.

La muratura perimetrale esterna dovrà avere elementi puntuali di ancoraggio con le parti strutturali in cemento armato per garantire un comportamento solidale. Questi collegamenti potranno essere eseguiti tramite ferri di armatura con passo e densità specifici secondo la muratura e dalle caratteristiche dimensionali tipiche della parete in questione. Si rimanda alle prescrizioni tecniche riportate dal progettista nel disciplinare tecnico.

1.2. Classe di Requisito: SICUREZZA AL FUOCO

Le prescrizioni fondamentali in materia di antincendio sono contenute nella normativa edilizia generale ovvero nelle norme edilizie regionali e nei decreti ministeriali. Valgono pertanto le specifiche condizioni richieste dalle singole normative in riferimento anche al tipo di utilizzo della struttura e alla destinazione d'uso dell'edificio.

1.2.1. RESISTENZA AL FUOCO R

Si intende la capacità durante un incendio di mantenere inalterate le proprie caratteristiche d'esercizio per un tempo limite utile alla messa in sicurezza degli occupanti.

La classe di resistenza al fuoco base prevista è R30. In caso di particolari esigenze si rimanda comunque alle prescrizioni previste per quelle esigenze. A titolo di esempio per l'elemento evidenziato in figura, si possono prevedere particolari protezioni tramite pitture o rivestimenti protettivi con materiali che soddisfino le prescrizioni di resistenza al fuoco e al calore pur mantenendo, in condizioni di uso normali, le caratteristiche di capacità portante e di solidarietà con la struttura descritte in precedenza.

2. Classe Esigenziale: BENESSERE

2.1. Classe di Requisito: TERMOIGROMETRICO

2.1.1. CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE

Si intende l'attitudine ad evitare la formazione di condensa sulla superficie degli elementi.

La formazione di condensa superficiale può dare origine a muffe, causa di malattie respiratorie per gli occupanti. La muffa superficiale oltre a sgradevoli problemi estetici può anche influire sul degrado dei materiali delle finiture superficiali. La presenza di condensa è sintomo di un inadeguato comportamento termo-igrometrico dell'involucro edilizio.

Attraverso la simulazione con un software agli elementi finiti è stato verificato che nel punto più sfavorevole del nodo, la temperatura superficiale fosse maggiore di quella di rugiada per le condizioni al contorno di progetto scelte per la simulazione.

La tabella seguente riassume i principali valori considerati e verificati.

Temperatura interna di progetto - T_i [°C]	Temperatura esterna di progetto - T_e [°C]	Umidità relativa interna - ϕ [%]	Temperatura di rugiada - t_r [°C]	Temperatura superficiale interna (simulata) t_{si} [°C]
20°	-8°	60%	14,9°	16,6°

2.1.2. CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE

Si intende l'attitudine ad evitare la formazione di acqua di condensa all'interno degli elementi.

Il progettista, in fase di progettazione deve verificare che durante tutta la stagione di riscaldamento non si formi condensa all'interno delle partizioni murarie. La formazione di condense può dare origine a fenomeni di degrado e ad un decadimento delle prestazioni fisico-tecniche degli elementi coinvolti.

I fenomeni di condensa dipendono principalmente dalle condizioni ambientali interne ed esterne specifiche di ogni singolo ambiente e dal contenuto di umidità dell'aria interna. Risulta necessario quindi, considerare sia il corretto comportamento termoigrometrico della parete d'involucro, sia il buon funzionamento dell'impianto di riscaldamento. Se è previsto che quest'ultimo controlli anche l'umidità dell'aria oltre alla temperatura, si sottolinea l'importanza che questa sia mantenuta all'interno dei valori limite segnalati per evitare i suddetti fenomeni di condensa. L'integrazione progettuale impiantistica insieme a quella edilizia sono indispensabili per rispettare i limiti normativi e raggiungere il benessere ambientale desiderato.

2.1.3. CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA

Si intende l'attitudine ad attenuare entro opportuni valori l'ampiezza di oscillazione della temperatura e a ritardarne di una opportuna entità l'effetto.

Sotto l'azione di fattori termici estivi, i componenti edilizi devono essere dotati di una sufficiente inerzia termica in modo da garantire, attraverso adeguati livelli di attenuazione e di sfasamento dell'onda termica, condizioni accettabili di benessere termico estivo.

2.1.4. CONTROLLO DELL'ISOLAMENTO TERMICO

Si intende la capacità di garantire adeguata resistenza al flusso di calore, dall'esterno all'interno e viceversa, assicurando il benessere termico.

Il parametro di riferimento per questo requisito è la trasmittanza termica areica o lineica in caso di ponte termico.

Coefficiente di trasmissione termica lineica ψ_e [W/mK] secondo diversi metodi di calcolo

Il coefficiente ricavato secondo le quattro modalità diverse non è del tutto attendibile poiché calcolato con metodologie e livelli di accuratezza differenti. Il confronto pertanto è indicativo, ma non esaustivo.

Si ricorda che i calcoli secondo:

- UNI EN ISO 14683 ha un' accuratezza $\pm 50\%$;
- abaci e manuali $\pm 20\%$;
- numerici (modellazione elementi finiti) $\pm 5\%$

UNI EN ISO 14683	ABACO CESTEC/CENED	ATLANTE EDILCLIMA	SOFTWARE THERM 6.3
0,95	n.d.	0,83	0,38

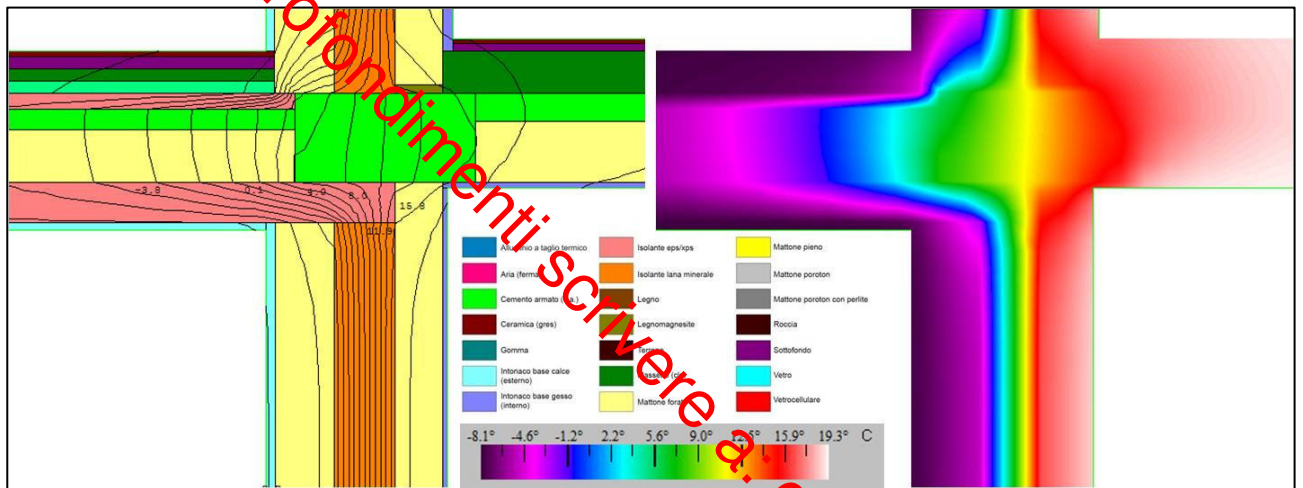


Figura B.1. simulazione termica con software agli elementi finiti (Therm 6.3)

2.2. Classe di Requisito: ACUSTICO

2.2.1. ISOLAMENTO ACUSTICO

Si intende la capacità di garantire un'adeguata resistenza alle emissioni di rumore, dall'esterno all'interno e viceversa, assicurando il benessere acustico.

La diffusione delle vibrazioni acustiche sia per via aerea che attraverso i componenti edilizi deve essere inibita tramite l'uso di opportuni dissuasori o separatori acustici come ad esempio l'impiego di gomme di separazione tra gli elementi strutturali e la muratura di partizione o di involucro.

In questo particolare caso la separazione acustica è svolta dallo strato di coibente termico orizzontale. L'isolamento acustico di facciata è garantito con l'utilizzo di materiali dall'elevata inerzia acustica, particolare attenzione deve essere posta nella scelta dei serramenti.

3. Classe Esigenziale: INTEGRABILITÀ

3.1. Classe di Requisito: INTEGRABILITÀ DEGLI ELEMENTI TECNICI

3.1.1. INTEGRAZIONE DIMENSIONALE

Si intende la capacità di un elemento o di un componente di poter essere, in parte o totalmente, integrato dimensionalmente in un sistema già esistente onde garantirne prestazioni migliorate.

Durante la fase progettuale il progettista dovrà indicare le specifiche tolleranze dimensionali per i singoli elementi costituenti il nodo; tali valori dovranno essere rispettati e controllati dalla D.L. in fase esecutiva.

Durante la fase di realizzazione il costruttore dovrà rispettare i limiti di tolleranza prescritti e rendere geometricamente congruenti le superfici, degli strati intermedi, al fine di agevolare la posa e l'ancoraggio dello strato o dell'elemento contiguo.

4. Classe Esigenziale: GESTIONE

4.1. Classe di Requisito: GESTIONE DI MANUTENIBILITÀ

4.1.1. RESISTENZA AL GELO E ALL'IRRAGGIAMENTO

Si intende la capacità di mantenere inalterate le proprie caratteristiche e non subire degni o modifiche dimensionali a seguito della formazione di ghiaccio o di esposizione all'irraggiamento diretto.

Si suggerisce l'utilizzo di una rete portaintonaco di rinforzo nelle zone di discontinuità materica o geometrica. La rete garantirà continuità e supporto all'intonaco e assorbirà eventuali dilatazioni e variazioni dimensionali fornendo maggiore elasticità all'intonaco. Il materiale proposto dovrà avere un coefficiente di dilatazione termica simile a quello degli strati di rivestimento di intonaco. Gli spessori rimangono comunque ridotti e si evitano fenomeni di degrado e distacco di porzioni di intonaco a causa degli stress termici indotti.

Per eventuali particolarità si rimanda a note di posa e di manutenzione indicate dal progettista e dalle specifiche tecniche indicate dai produttori dei materiali utilizzati.

C. INDICAZIONI DI POSA

Di seguito sono indicate le principali fasi per la realizzazione del nodo analizzato:

- 1) Realizzazione, con getto in opera, degli elementi strutturali.
- 2) Realizzazione solaio in laterocemento.
- 3) Realizzazione del solaio in aggetto per il balcone.
- 4) Posa e ancoraggio (chimico e meccanico) del sistema di rivestimento a cappotto esterno. Se il materiale isolante è in lastre o pannelli è necessario garantire, durante la posa, la perfetta complanarità e continuità tra un modulo e l'altro. In caso di interruzioni puntuali della tessitura muraria per il passaggio di canali e/o impianti sarà necessario mantenere il più possibile la continuità di isolamento termico e acustico.
- 5) Posa dello strato esterno della muratura prestando particolare attenzione alla complanarità delle superfici murarie con quelle strutturali al fine di preparare le superfici alla posa del successivo strato di coibente. Realizzazione e predisposizione di collegamenti per la muratura interna potranno essere eseguiti tramite zancature metalliche e/o conci murari, con passo e densità specifici secondo la muratura e dalle caratteristiche dimensionali tipiche della parete in questione. Si consiglia un rinzauffo di malta sulla faccia interna del muro esterno al fine di garantire una maggiore stabilità muraria.
- 6) Posa e fissaggio dello strato di coibentazione verticale in intercapedine. Se il materiale isolante è in lastre o pannelli è necessario garantire, durante la posa, la perfetta complanarità e continuità tra un modulo e l'altro. In caso di interruzioni puntuali della tessitura muraria per il passaggio di canali e/o impianti sarà necessario mantenere il più possibile la continuità di isolamento termico e acustico.
- 7) Posa e ancoraggio dello strato interno della muratura a quello esterno.
- 8) Posa dello strato di coibentazione orizzontale ad alta densità con adeguata protezione del lato superiore contro abrasioni e usura. Se il materiale isolante è in lastre o pannelli è necessario garantire, durante la posa, la perfetta complanarità e continuità tra un modulo e l'altro.
- 9) Getto e realizzazione degli strati di completamento del solaio (interno ed esterno) con particolare attenzione all'attenuazione dei ponti acustici.
- 10) Posa degli strati di finitura e rivestimento delle superfici interne ed esterne. La realizzazione delle finiture esterna ed interna deve essere eseguita secondo le specifiche prescrizioni indicate dal progettista e dalla D.L. con particolare attenzione alla livellatura e a garantire i requisiti di resistenza alle dilatazioni termiche.

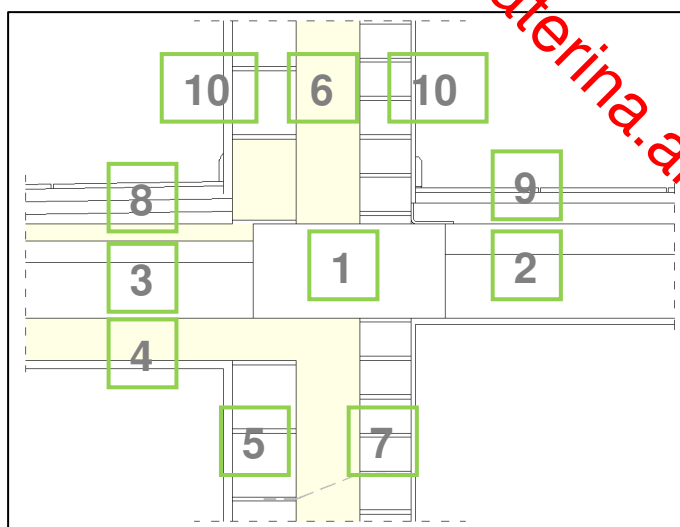


Figura C.1. indicazioni di posa

ESTRATTO - per approfondimenti scrivere a: caterina.arno@gmail.com