

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE EDILE E AMBIENTALE - ICEA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Tesi di Laurea Magistrale in Tecnica delle Costruzioni 2

Relatore: Prof. Ing. Roberto Scotta

Laureando: Daniele Pozzan

ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022

Sommario

Premessa	3
Introduzione	5
Il rischio sismico in Italia	5
Prevenzione, ricostruzione e costi.....	6
Modalità di valutazione della classe di rischio	6
Metodi tradizionali di rinforzo sismico.....	8
Esempi di metodi invasivi	8
Esempi di metodi non invasivi.....	9
Il Cappotto Sismico	11
L'innovazione della tecnica del "cappotto sismico"	11
La campagna sperimentale.....	11
Cenni di teoria	12
Caratteristiche generali del sistema.....	13
Certificazioni	14
Caratteristiche dei pannelli	14
Caratteristiche geometriche e modularità	14
Contabilizzazione delle superfici	15
Tolleranze	16
Nomenclatura.....	16
Peso	17
Materiali che compongono il sistema	17
Cassero Cappotto Sismico	17
Materiale isolante.....	18
Completamenti strutturali.....	20
Connettori strutturali	20
Acciaio d'armatura	20
Calcestruzzo.....	21
Attrezzature e accessori per la posa in opera	21
Utensili e accessori necessari	21
Altro materiale da carpenteria	22
Posa in opera	23
Gestione cantiere e sicurezza	23
Trasporto e accesso al cantiere	23
Scarico e accatastamento in cantiere.....	23
Stoccaggio e protezione dei casseri.....	24

*Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri
a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti*

Movimentazione.....	25
Ponteggi e opere in quota	26
Operazioni preliminari.....	27
Misurazioni e rilievo	27
Cordolo di partenza e chiamate in fondazione	29
Stato e preparazione del supporto verticale	29
Fissaggio connettori strutturali	30
Posa e fissaggio del cappotto sismico	32
Individuazione dei pannelli.....	32
Verifica livelli e tolleranze.....	32
Inserimento sui ferri di chiamata	33
Unione tra moduli.....	33
Fissaggio temporaneo dei casseri.....	34
Modifica in opera dei casseri.....	34
Predisposizione di impianti.....	35
Armo del ferro	36
Verifica ferro.....	36
Passi dei ferri	37
Armatura diffusa con maglia singola	37
Armatura diffusa con maglia doppia	38
Nervature.....	41
Angoli.....	43
Aggetti di gronda e terrazzi	45
Varie ed eventuali.....	47
Getto del calcestruzzo	48
Casserature e rinforzi minimi	48
Tipologia e caratteristiche del calcestruzzo	51
Modalità e velocità di getto.....	52
Costipamento del getto.....	53
Verifica dei risultati.....	53
Esempi	54
Operazioni conclusive.....	54
Taglio reti in corrispondenza delle aperture	54
Verifica e ripristino di fessure.....	55
Finitura.....	55
Considerazioni finali	57
Riferimenti.....	58

Premessa

Questa tesi nasce dall'esigenza di fornire alle imprese installatrici, ma anche ai progettisti e ai direttori dei lavori, una guida teorico-pratica alla posa in opera del cassero termo-isolato a rimanere denominato Geniale® Cappotto Sismico prodotto dall'azienda Ecosism srl di Battaglia Terme (PD) e sviluppato in collaborazione con il dipartimento ICEA dell'Università di Padova nell'ambito del progetto di ricerca *Smart Cladding*. La tecnica, conosciuta più in generale come *cappotto sismico* o *epidermide antisismica*, si propone di riqualificare sismicamente ed energeticamente gli edifici esistenti prevalentemente dall'esterno con pareti di rinforzo in c.a., risultando pertanto meno invasiva e più rapida rispetto alle prassi consolidate.

L'obiettivo di questo scritto è fornire uno strumento di lavoro completo e tecnicamente accurato attraverso una raccolta organizzata di nozioni ed esperienze acquisite dalla letteratura tecnica e attraverso l'azienda produttrice, anche grazie al confronto quotidiano con installatori, progettisti e colleghi.

*Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri
a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti*

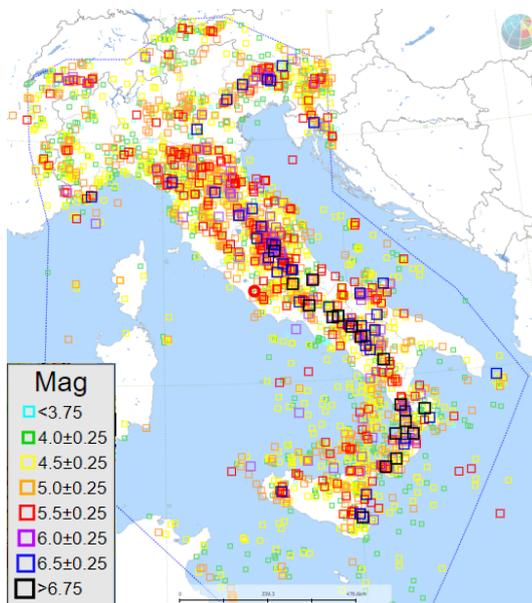
Introduzione

Il rischio sismico in Italia

L'Italia è notoriamente un Paese a rischio sismico moderato a livello globale ma a rischio medio-alto se considerato nel contesto europeo, sia come frequenza che come intensità degli eventi sismici. La causa di questa sismicità è essenzialmente il movimento relativo tra la placca africana e quella eurasiatica che occasionalmente, sotto forma di terremoti, rilascia l'energia accumulata nella deformazione.

Ciò che espone maggiormente al rischio sismico la popolazione italiana rispetto ad altre zone del mondo non è tanto l'intensità dei terremoti in termini di energia sviluppata o di accelerazione al suolo, quanto la densità abitativa e la fragilità del patrimonio edilizio.

Figura 1 - Terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 in Italia nel periodo 1000-2020



(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2022)

Le nuove costruzioni annue costituiscono meno dell'1% del costruito e pertanto è necessario concentrarsi prevalentemente sulla messa in sicurezza delle strutture esistenti. Si consideri che circa il 74% degli edifici ha più di 40 anni e che quelli costruiti fino agli anni '60 rappresentano circa il 40% del costruito, ovvero 3,8 milioni di edifici, e sono dovuti perlopiù alle ricostruzioni post-belliche o alla fase di espansione frenetica dell'edilizia (Cresme Ricerche e Ingegneria Sismica Italiana, 2018) in cui la sicurezza antisismica non era certo al primo posto.

La legislazione antisismica in Italia vede il suo vero inizio con la legge n. 64 del 2 febbraio 1974, stabilendo di fatto il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale, oltre che di redazione delle norme tecniche. I successivi spartiacque normativi per la progettazione strutturale in Italia sono stati principalmente il D.M. 16 gennaio 1996 e il D.M. 14 gennaio 2008 (NTC 2008). Da ciò risulta evidente che anche il costruito tra gli anni '60 e '80 è carente sismicamente in materia di requisiti progettuali. A ciò si aggiunge il progressivo aumento di densità abitativa che ha portato a realizzare edifici più alti e sopraelevazioni, il crescente utilizzo di strutture in c.a. e il conseguente degrado dei materiali dovuto alla vetustà degli stessi o a cattive pratiche di costruzione.

Prevenzione, ricostruzione e costi

Negli ultimi 20 anni i tre eventi sismici che spiccano sono certamente quello che ha colpito L'Aquila nel 2009, l'Emilia-Romagna nel 2012 e il lungo sciame sismico che ha investito il centro Italia a cavallo tra il 2016 e 2017. La ricostruzione con fondi pubblici ha interessato tutti questi territori e per quello del centro Italia in particolare è stato nominato un Commissario Straordinario alla Ricostruzione Post Sisma 2016 per sovrintendere alla ricostruzione di un'area che interessa 140 Comuni tra Abruzzo, Marche, Lazio e Umbria e che è stata denominata *cratere del centro Italia*. Per questi territori, al momento della stesura, vige ancora lo stato di emergenza e la gestione straordinaria fino al 31 dicembre 2022.

Una stima della spesa necessaria per migliorare sismicamente lo stock edilizio è stata fornita dal Rapporto sulla Promozione della sicurezza dai Rischi naturali del Patrimonio abitativo realizzato da Missione Casa Italia nel 2017 per la Presidenza del Consiglio dei Ministri. Come si evince dalla tabella sotto riportata, suddividendo gli edifici secondo la loro vulnerabilità e la pericolosità del territorio, si ha una forbice molto larga dei costi complessivi che vanno da circa 37 miliardi di euro fino a più di 850 miliardi di euro.

Tabella 1 Entità degli investimenti necessari per migliorare la vulnerabilità sismica (in miliardi di €)

	Intervento nei comuni con $ag(max)>0,25$	Intervento nei comuni con $ag(max)>0,15$	Intervento nei comuni con $ag(max)>0,05$
Solo edifici in muratura portante	36,8	269,2	540,5
Edifici in muratura portante e edifici in cls armato realizzati prima del 1971	46,4	360,0	723,1
Edifici in muratura portante e edifici in cls armato realizzati prima del 1981	56,0	430,3	850,7

(Missione Casa Italia - Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2017)

L'altra faccia di questi numeri è il potenziale mercato della riqualificazione sismica che purtroppo oggi è staccato, e di molto, da quello della riqualificazione energetica.

In tema di prevenzione sismica, l'art. 11 del D.L. 39/2009 ha istituito il Fondo per la Prevenzione del Rischio Sismico per 965 milioni di euro per 7 anni (dal 2010 al 2016) ripartendo le risorse tra le regioni sulla base dell'indice medio di rischio dei territori. Altri 120 milioni per il 2015 e 73,5 milioni per il 2016 sono arrivati rispettivamente con il D.M. 9 marzo 2017 e con l'ordinanza n. 532 del 2018. Il Fondo per la Prevenzione del Rischio Sismico, con la legge di bilancio 2019, è stato rifinanziato per 50 milioni. Il decreto 24 agosto 2021 ha previsto la ripartizione di altri 147,3 milioni di euro per il periodo 2019-2021 a 3814 comuni. Il Fondo è stato poi rifinanziato per complessivi 200 milioni per il periodo 2024-2029 (Servizio Studi Camera dei Deputati, 2022).

Manca tuttavia un vero piano nazionale strategico di prevenzione sismica, che per il mercato privato è stato "delegato" in un certo senso agli incentivi fiscali *Sismabonus* e *Superbonus 110%* i quali, seppure utili a stimolare gli interventi di messa in sicurezza, non sono sufficienti a indirizzare correttamente le spese laddove vi è il maggior *payback* in termini di salvaguardia della vita e di rapporto tra costi e benefici. Il Superbonus 110% in particolare ha eliminato la premialità (e persino la necessità) del salto di classe di rischio sismico, rendendo gli investimenti in sicurezza sismica certamente meno efficienti.

Modalità di valutazione della classe di rischio

L'obiettivo di ogni intervento antisismico è quello di ridurre la vulnerabilità dell'edificio esistente e quindi di:

- ✓ aumentare la sicurezza degli occupanti, migliorando il rapporto tra la capacità (intesa come resistenza della struttura) e la domanda (cioè l'intensità del terremoto) in termini di accelerazione

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

sismica relativa allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Questo rapporto si definisce *indice di sicurezza* della struttura IS-V e va dalla classe G alla classe A+.

Tabella 2 Attribuzione della Classe di Rischio IS-V in funzione dell'entità dell'Indice di Sicurezza

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A ⁺ _{IS-V}
$80\% < IS-V \leq 100\%$	A _{IS-V}
$60\% < IS-V \leq 80\%$	B _{IS-V}
$45\% < IS-V \leq 60\%$	C _{IS-V}
$30\% < IS-V \leq 45\%$	D _{IS-V}
$15\% < IS-V \leq 30\%$	E _{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F _{IS-V}

- ✓ ridurre la perdita economica in caso di sisma, riducendo il danno agli elementi strutturali ma anche a quelli non strutturali. Le perdite economiche associate al danneggiamento vengono espresse come una percentuale del costo di ricostruzione (CR) dell'edificio, privo del suo contenuto.

Tabella 3 Percentuale del costo di ricostruzione (CR) associata al raggiungimento di ciascuno stato limite

Stato Limite	CR (%)
SLR	100
SLC	80
SLV	50
SLD	15
SLO	7
SLID	0

(Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2017)

Il costo di ricostruzione va dallo 0% in corrispondenza dello stato limite di inizio danno (SLID) al quale è associabile una perdita economica nulla in seguito all'evento sismico, fino al 100% al raggiungimento dello stato limite di ricostruzione (SLR) ovvero quando l'edificio non può essere ripristinato e l'unica possibilità è la demo-ricostruzione. In relazione alla frequenza media annua di superamento dei vari stati limite si determina un indice economico detto PAM (Perdita Annuale Media), espresso in funzione della percentuale del costo di ricostruzione CR.

Tabella 4 Attribuzione della Classe di Rischio PAM

Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A ⁺ _{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A _{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B _{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C _{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D _{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E _{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F _{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G _{PAM}

(Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2017)

La Classe di Rischio Sismico della Costruzione è individuata come la peggiore tra le classi IS-V e PAM. Ogni intervento antisismico va quindi valutato globalmente in base al miglioramento della sua classificazione tra ante e post-operam. Gli interventi dovrebbero migliorare entrambi gli indici di prestazione, mantenendoli il più possibile equilibrati. Puntando al solo miglioramento nei confronti della salvaguardia della vita alzando l'indice IS-V si rischia comunque un forte danneggiamento del fabbricato, pregiudicandone anche l'operatività e aumentandone i costi di ripristino. Nel caso opposto in cui un progetto sia fortemente sbilanciato verso lo Stato Limite di Danno, va assicurato un livello di salvaguardia della vita altrettanto buono.

Metodi tradizionali di rinforzo sismico

La richiesta di riqualificazione sismica è sempre più orientata al mantenimento dell'operatività dell'edificio anche durante gli interventi e, più generalmente, alla bassa invasività complessiva delle opere. Questo risultato può essere raggiunto in vari modi, ma il più semplice è certamente intervenire dall'esterno. Tale approccio risulta particolarmente conveniente in edifici pubblici quali scuole, ospedali, municipi o edifici strategici, ma lo è anche a livello privato: pensiamo ad esempio a quanto sarebbe complesso organizzare l'allontanamento temporaneo degli occupanti di un condominio per eseguire delle opere di miglioramento sismico, ammesso che si riesca ad arrivare alla delibera da parte dei condòmini per eseguire i lavori.

Si descrivono di seguito alcuni metodi di rinforzo sismico suddividendoli in base alla loro invasività per meglio introdurre gli argomenti successivi. Tale elenco non ha pretesa di completezza, si trascurano infatti moltissime altre forme di intervento, come ad esempio i consolidamenti dei solai, gli isolatori sismici, vari tipi di interventi locali, i sistemi di protezione passiva, ecc.

Esempi di metodi invasivi

Tra le prassi consolidate per il miglioramento o l'adeguamento sismico degli edifici esistenti in c.a. vi è la famiglia di interventi atti ad aumentare duttilità e resistenza di nodi, travi e pilastri mediante incamiciatura (metodo CAM) o fasciatura in materiali fibrorinforzati (FRP) che richiedono la messa a nudo del telaio spesso in maniera diffusa nell'edificio. Per il rinforzo di pareti in muratura si citano invece i sistemi di placcaggio con reti metalliche e betoncino (tecnica dell'*intonaco armato*) o l'evoluzione con materiali compositi (GFRP), che prevedono di rifoderare le murature da ambo i lati per garantirne il miglioramento delle prestazioni meccaniche.

Figura 2 Rinforzo strutturale dei nodi in c.a. a Carpi con materiali compositi in CFRP, dopo gli eventi sismici di maggio 2012.



(ITS S.r.l., s.d.)

Figura 3 Esempio di placcaggio con rete in fibra di vetro o acciaio e malta a base di calce



(Cresme Ricerche e Ingegneria Sismica Italiana, 2018)

Esempi di metodi non invasivi

Vi sono poi altre tecniche di rinforzo che, in alcuni casi, possono permettere di intervenire solo dall'esterno o comunque di limitare gli interventi interni. Queste sono principalmente i controventi metallici e le pareti di controvento in c.a.

Controventi metallici

I controventi metallici vengono utilizzati per migliorare la resistenza della struttura, modificandone anche la risposta sismica. Possono essere configurati a X, con le aste che lavorano solo a trazione, o a V, con le aste che lavorano sia a trazione che a compressione. Questi sistemi prevedono una connessione con la struttura esistente di tipo puntuale o preferibilmente attraverso un controtelaio per ripartire le sollecitazioni. Possono essere abbinati a dispositivi dissipativi in maniera tale da ridurre anche la domanda sismica.

Questo tipo di intervento può essere in alcuni casi poco invasivo in termini di opere interne, ma può essere invece molto impattante a livello estetico.

Figura 4 Scuola Domiziano Viola, Potenza, 2003) Adeguamento antisismico con controventi collegati alla struttura



Figura 5 Plesso scolastico "G. De Petra" Casoli (CH) Controventi metallici a "V rovescio" dotati di dispositivi silicnici fluido-viscosi pressurizzati



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Pareti controventanti in c.a.

Anche le pareti di rinforzo in c.a. vengono utilizzate per aumentare la resistenza della struttura, al contempo irrigidendola riducendone gli spostamenti e quindi i danni, compresi quelli non strutturali, in caso di evento sismico. Opportunamente dislocati, i setti in c.a. possono ridurre gli effetti torsionali avvicinando il baricentro delle masse e quello delle rigidità. Possono essere realizzati all'interno della campitura in c.a. esistente ma anche realizzati in parallelo, collegandosi in maniera efficace alla struttura e soprattutto ai solai rigidi. Lo scopo dei controventi in c.a. è quello di attirare le azioni orizzontali grazie alla loro rigidità, sgravando le strutture esistenti dal compito. Questo comporta generalmente la creazione o il rinforzo delle fondazioni in corrispondenza di tali strutture per trasferire al suolo le maggiori sollecitazioni. Questi tipo di controventi possono essere progettati sia in duttilità sia come elementi non dissipativi, variando significativamente sia la risposta globale sia la progettazione degli elementi stessi.

Da un punto di vista estetico le pareti possono essere anche poco impattanti, integrandosi meglio con l'architettura dello stato di fatto. In alcuni casi risultano a malapena visibili dopo l'intervento.

Figura 6 Realizzazione di muri di taglio su edificio a telaio (Gigliotti, 2013)



Figura 7 Intervento con aggiunta di nuove pareti strutturali prima dopo la finitura esterna



Il Cappotto Sismico

L'innovazione della tecnica del “cappotto sismico”

Pur attingendo dalla letteratura delle pareti controventanti, la tecnica del cappotto sismico ha varie peculiarità che meritano un'analisi a sé stante. Innanzitutto, la nuova parete sismo-resistente viene realizzata in concomitanza con la posa dell'isolamento termico perimetrale poiché è armata e gettata all'interno di un cassero coibentato. Anche per questo motivo interessa generalmente tutto il perimetro dell'edificio o la maggior parte di esso, con l'effetto di “diluire” le azioni in fondazione e a livello degli impalcati, dove avviene la trasmissione delle sollecitazioni tra le due strutture. La nuova lastra in c.a. diffusa riceve sollecitazioni inferiori rispetto ai setti localizzati, permettendo quindi una riduzione spesso significativa dello spessore e della quantità specifica di armatura al metro quadrato.

La campagna sperimentale

Prima della commercializzazione del cassero per cappotto sismico, l'azienda produttrice ha voluto confermare sperimentalmente la bontà del proprio brevetto. Si è rivolta quindi al Dipartimento Icea dell'Università di Padova per costruire un'adeguata campagna sperimentale in tal senso.

La prima fase della ricerca è stata sviluppata con l'obiettivo di validare le modalità di calcolo e caratterizzazione del cappotto sismico mediante il confronto tra i risultati derivanti da prove cicliche quasi statiche in controllo di spostamento con cicli di ampiezza crescente su pareti mono-piano in scala reale e i valori numerici calcolati mediante le relazioni analitiche proposte dalle normative italiane vigenti. Il secondo stadio della ricerca è stato invece sviluppato con l'obiettivo di caratterizzare compiutamente la nuova tecnologia e di definire le procedure e gli strumenti di calcolo, modellazione e verifica degli interventi di riqualificazione realizzati mediante posa in opera del cappotto sismico. Tali prove sono state definite sulla base di quanto indicato per le prove di TIPO 3 nelle “Linee guida per sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera” emanate dal C.S.LL.PP. il 10/02/2011. (Scotta, 2018)

La prima fase sperimentale si è focalizzata su telai in c.a., mentre la seconda fase ha riguardato pareti in muratura portante. La campagna prove è stata eseguita con lastre di rinforzo da 6 cm, poiché uno degli obiettivi era confermare la stabilità della lastra sottile nervata e armata con maglia baricentrica.

Figura 8 Prima fase campagna sperimentale su strutture a telaio realizzata presso l'azienda produttrice. Preparazione telaio con connettori e fase di inserimento ferri di armatura nei casseri (Ecosism srl).



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 9 Seconda fase campagna sperimentale su murature realizzata presso l'azienda produttrice. Realizzazione e rinforzo di murature in tufo e laterizio e fase di spinta con martinetti (Ecosism srl)



Cenni di teoria

Per quanto riguarda il dimensionamento e la realizzazione delle pareti in calcestruzzo armato, i metodi sono quelli delle norme NTC18 che trattano diffusamente le pareti in calcestruzzo a comportamento dissipativo. Le lastre in calcestruzzo del cappotto sismico vengono invece dimensionate per garantire un comportamento sostanzialmente elastico e non dissipativo nei confronti dell'azione sismica di progetto, intesa come accelerazione orizzontale. Secondo quanto riportato al paragrafo 7.4.1 delle NTC2018 *“Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, la capacità delle membrature deve essere valutata in accordo con le regole di cui al § 4.1, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che in nessuna sezione si superi il momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico [...]”*. Per tale motivo, le prescrizioni contenute al capitolo 7 della norma non risultano vincolanti per il dimensionamento delle pareti del cappotto sismico, permettendo l'utilizzo di spessori inferiori ai 15 cm (fino anche a 8 cm per il sistema qui trattato) e armatura a maglia singola posizionata nel baricentro. Le verifiche in resistenza degli elementi in calcestruzzo vengono effettuate seguendo l'approccio fornito dalla norma per gli elementi strutturali a comportamento non dissipativo, contenute nel capitolo 4 delle NTC2018.

Il calcolo delle sollecitazioni generate dall'azione sismica può essere effettuato utilizzando analisi statiche o dinamiche, lineari o non lineari. Nel caso di analisi statiche o dinamiche con spettro di risposta è necessario utilizzare un fattore di comportamento q compreso tra 1 e 1,5 (comportamento non dissipativo). La modellazione può essere effettuata sia utilizzando elementi tipo beam che elementi tipo shell, secondo due differenti modalità:

- ✓ modellazione a mensole: è un'ipotesi semplificata e cautelativa che considera nella modellazione i soli maschi murari, trascurando il contributo delle fasce di piano (collegamenti tra le pareti verticali sopra e sotto i fori finestra). Conseguentemente le verifiche a pressoflessione e taglio interessano esclusivamente i maschi murari;
- ✓ modellazione a telaio equivalente: consiste nella modellazione sia dei maschi murari verticali che delle fasce orizzontali e comporta la verifica di entrambe le componenti strutturali. L'accoppiamento tra fasce e maschi permette di considerare l'effetto telaio garantito dalla parete. Per quanto riguarda le connessioni tra l'edificio esistente e il cappotto sismico, la valutazione analitica della resistenza degli ancoraggi metallici per calcestruzzo può essere effettuata secondo ETAG 001 - 1997: *“Linee guida per il benessere tecnico europeo di ancoraggi metallici da utilizzare nel calcestruzzo”* e i relativi allegati; in particolare l'allegato C che riguarda la resistenza delle connessioni e l'allegato E per la progettazione per azioni sismiche.

Caratteristiche generali del sistema

La tecnica del cappotto sismico è una soluzione che consente, mediante un intervento combinato che ottimizza il rapporto benefici/costi, sia la messa in sicurezza sismica che l'efficientamento energetico degli edifici esistenti secondo le normative vigenti.



Figura 10 Render della stratigrafia di un cappotto sismico con isolamento esterno in lana di roccia applicato su muratura in laterizio

All'esterno del fabbricato viene applicato un cassero termoisolato a rimanere per creare una nuova "pelle" sismo-resistente; tale cassero è costituito da due strati di materiale isolante personalizzabile, entro i quali viene realizzata una parete in calcestruzzo armata e gettata in opera.

Il vantaggio operativo di realizzare pareti in c.a. con l'ausilio di un cassero a rimanere di altezza di piano dipende dalla capacità di tali casseri di costituire un sistema equilibrato, in cui la spinta del getto viene contrastata dagli isolanti che a loro volta mettono in trazione i distanziatori presenti all'interno del sistema. Questo si traduce in pochi rinforzi necessari all'esterno ed è perciò tanto più utile quanto più si lavora in quota.

La lastra in c.a., opportunamente dimensionata in fase di progetto, viene resa solidale alla struttura esistente mediante l'inserimento di opportuni ancoraggi che, disposti a livello delle fondazioni e dei cordoli di piano, garantiscono la collaborazione tra il nuovo sistema e la struttura stessa a getto indurito.

Per migliorare il comportamento a flessione della lastra e ridurre il rischio di instabilità fuori dal piano è possibile prevedere la realizzazione di opportune nervature di rinforzo orizzontali e verticali. Infine, grazie alla particolare conformazione della maglia metallica tridimensionale in acciaio zincato (denominata in seguito *rete 3D*) che funge anche da rete porta intonaco, è possibile realizzare uno strato di finitura particolarmente solido che garantisce la massima protezione del materiale isolante e della facciata nei confronti di urti accidentali o grandine.

Il sistema viene fornito con l'isolante pre-assemblato e integra le guide e i distanziatori per la corretta posa in opera delle armature strutturali, per minimizzare le operazioni e gli sfridi di cantiere.

Il tutto viene prodotto su misura in base a un rilievo architettonico delle facciate e in funzione del progetto strutturale. I casseri che costituiscono il sistema vengono generalmente realizzati con un'altezza pari a quella di interpiano della struttura, "ricalcando" i prospetti dell'edificio con la predisposizione delle aperture in fase di produzione.

Il sistema può essere progettato per diversi livelli prestazionali sotto vari punti di vista quali il miglioramento sismico, la coibentazione termica, lo sfasamento estivo, l'abbattimento acustico, la reazione al fuoco e l'assorbimento di acqua.

Certificazioni

Il cassero in questione è dotato di marcatura CE su base ETA 11/0281 del 03.08.2020 che fa riferimento al Benestare Tecnico Europeo ETAG 009 *“Non load-bearing permanent shuttering Kits/Systems based on Hollow Blocks or Panels of insulating materials or concrete”* (*“Sistema di casseratura non portante a rimanere in blocchi cavi o pannelli in materiale isolante o calcestruzzo”*). Ogni isolante che compone il cassero dev'essere a sua volta dotato di marcatura CE in conformità alla norma di riferimento.

La cassaforma come semilavorato è conforme ai C.A.M. (Criteri Ambientali Minimi) essendo dotata di auto-dichiarazione ambientale di prodotto tipo II secondo UNI EN ISO 14021:2016 con Convalida di asserzione ambientale P342 attraverso ente accreditato ICMQ al 29.09.2020. Questa asserzione permette di attestare il contenuto di riciclato del cassero attraverso la media ponderata del contenuto di riciclato dei materiali che lo compongono, se a loro volta conformi ai C.A.M.

Caratteristiche dei pannelli

Caratteristiche geometriche e modularità

I limiti dimensionali dei pannelli (di seguito denominati anche moduli o casseri) sono i seguenti:

- ✓ Larghezza massima: 120 cm
Generalmente i moduli vengono prodotti della larghezza massima e posati a correre; almeno un pannello per ogni facciata viene adattato a misura
- ✓ Spessore: fino a 52 cm
Lo spessore è funzione del progetto strutturale, che determina la sezione di calcestruzzo, e del progetto energetico, che determina gli spessori di isolante termico. I casseri più diffusi hanno generalmente uno spessore complessivo (inclusi gli isolamenti) compreso tra 20 e 30 cm.

Suggerimenti

Si possono realizzare combinazioni di spessore personalizzate, tuttavia è consigliabile adottare le misure più comuni o già disponibili per ridurre tempi e costi di produzione

- ✓ Altezza massima: -
Il pannello non ha un vero e proprio limite dimensionale in altezza legato alla produzione; tuttavia, per motivi legati alla trasportabilità ma soprattutto alla posa in opera e al getto, di norma non si superano i 350-400 cm o comunque l'altezza di interpiano

Il multiplo naturale dei moduli è di 10 cm in larghezza e 15 cm in altezza, e corrisponde al passo dei distanziatori. Se la misura della parete non ricade in questi multipli un pannello verrà adattato al centimetro mediante un'operazione di accorciamento eseguita in stabilimento. La rete porta intonaco esterna ha invece una maglia 10 cm x 7,5 cm.

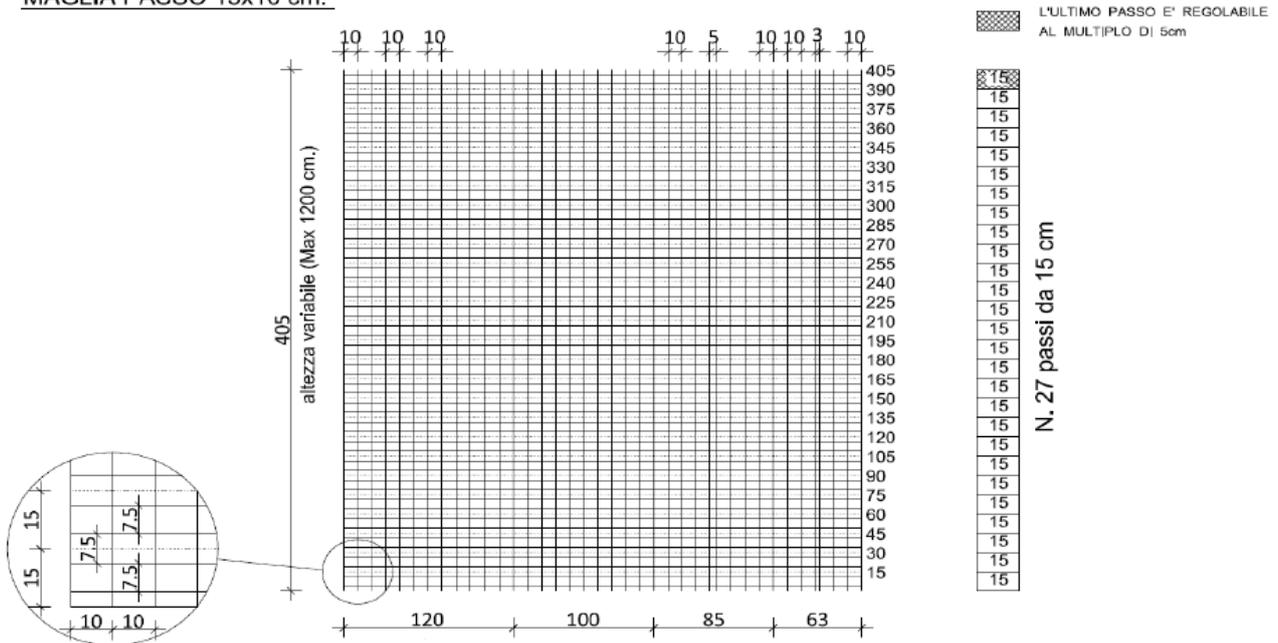
Avvertenza

Il passo dei ferri orizzontali dovrà essere previsto sui multipli di 15 cm per trovare appoggio sui distanziatori, mentre il passo dei ferri verticali dovrà essere preferibilmente sui multipli di 10 cm per adattarsi visivamente alla modularità

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficiamento integrato di edifici esistenti

Figura 11 Moduli e passi del produttore

MAGLIA PASSO 15x10 cm.

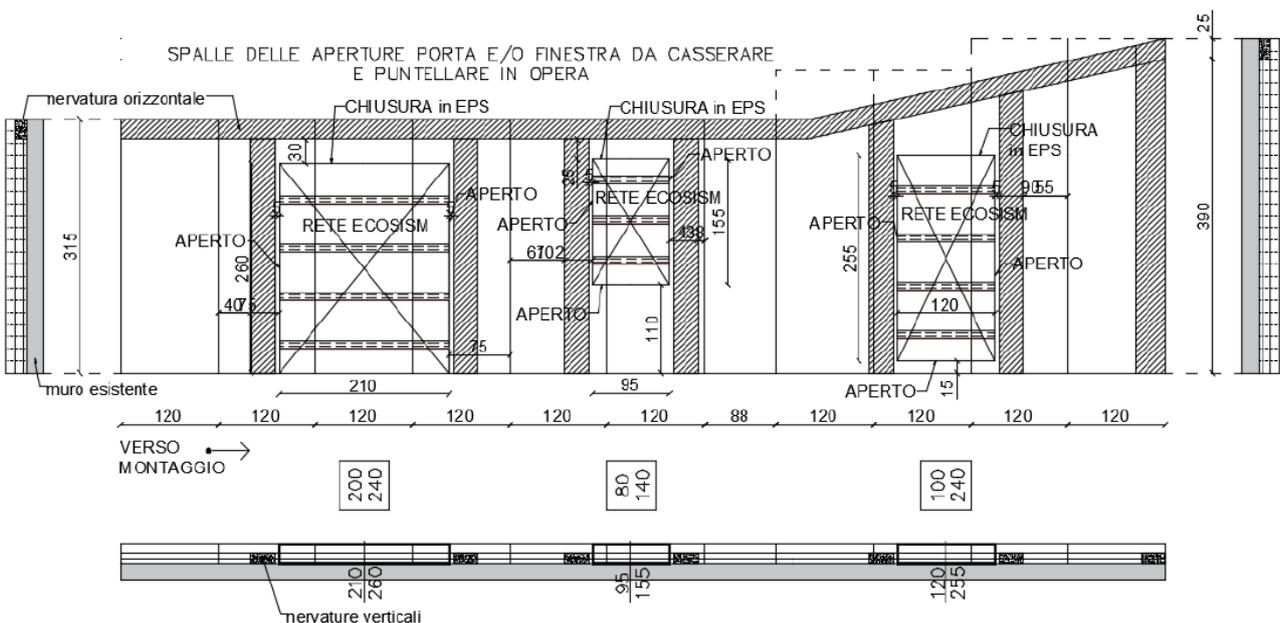


Contabilizzazione delle superfici

Per quanto riguarda la contabilizzazione della superficie dei casseri:

- ✓ si considerano le misure al lordo degli accorciamenti
- ✓ si arrotonda la larghezza in eccesso a 20 cm
- ✓ si arrotonda l'altezza in eccesso a 5 cm
- ✓ si considerano al vuoto per pieno tutte le superfici che presentano la gabbia in acciaio comprese le aperture, con l'eccezione di quelle superiori ai 4 m² che vengono contabilizzate al 50%
- ✓ si procede con reti a "gradini" nel caso di tagli in pendenza e ogni modulo triangolare o trapezoidale viene contabilizzato come un rettangolo

Figura 12 Schema tipo di produzione a misura con aperture, nervature orizzontali e verticali e tagli in pendenza



Approfondimento

La rete 3D è presente anche in corrispondenza delle aperture per dare sufficiente rigidità e auto-portanza alla chiusura dell'architrave, già inserita in stabilimento, e per facilitare la cassetta delle spalle in opera

Tolleranze

La tolleranza di produzione è di ± 1 cm. In corrispondenza delle aperture e delle nervature si può riscontrare una tolleranza di produzione di circa ± 2 cm, da sommarsi a un'eventuale tolleranza di posa.

Nomenclatura

I moduli del cappotto sismico vengono denominati con un codice alfanumerico secondo l'esempio sotto riportato:

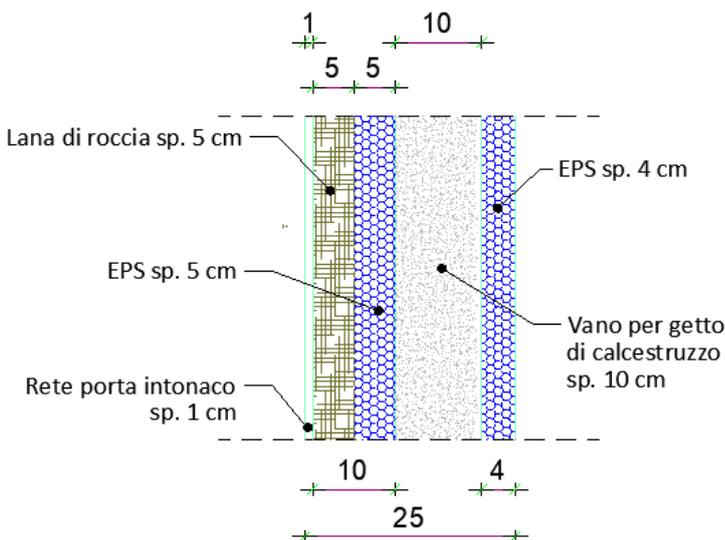
10 + 4 CSE 25 LDRHD+E-CAM

<i>Spessore isolante esterno</i>	<i>Spessore isolante interno</i>	<i>"Cappotto Sismico Ecosism"</i>	<i>Spessore totale comprensivo di getto e rete porta intonaco</i>	<i>Codice di corrispondenza con autodichiarazione ambientale di prodotto secondo ISO 14021</i>
----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	---	--

Segue la dicitura estesa che individua compiutamente gli isolanti, ad esempio: 1+5LDRHD+5EPS+10cls+4EPS

In questo caso il cassero è costituito, partendo dall'esterno, da 1 cm di rete porta intonaco + 10 cm di isolante di cui 5 cm di LDRHD (lana di roccia alta densità) e 5 cm di EPS (polistirene espanso sinterizzato) + 10 cm di spazio per il getto di calcestruzzo + 4 cm di EPS, per un totale di 25 cm.

Figura 13 Stratigrafia cassero 10+4CSE25 LDRHD+E-CAM (1+5LDRHD+5EPS+10cls+4EPS)



Avvertenza

Lo spessore totale del cassero non corrisponde allo spessore finito.

Considerando uno strato esterno di finitura da 2,5 cm lo spessore finito è di $24+2,5=26,5$ cm, in quanto la rete porta intonaco viene inglobata nello spessore della finitura.

Peso

Il peso dei singoli pannelli dipende da dimensioni, aperture e materiali isolanti.

A titolo di esempio si assume come riferimento un cassero 10+4CSE25 (1+10EPS+10cls+4EPS) costituito interamente da EPS, pieno (senza aperture), di larghezza 120 cm e altezza 330 cm, avente un peso di circa 33 kg.

Nella versione con 5 cm di lana di roccia alta densità accoppiata esternamente a 5 cm di EPS, con codice 10+4CSE25 (1+5LDRHD+5EPS+10cls+4EPS), mantenendo le stesse dimensioni, il peso sarà invece di circa 57 kg.

Avvertenza

Si raccomanda di valutare con attenzione l'utilizzo di materiali isolanti pesanti (lana di roccia alta densità, legno mineralizzato, ecc.) in spessori significativi per non compromettere la maneggevolezza del sistema.

Materiali che compongono il sistema

Cassero Cappotto Sismico

Filo di acciaio

La rete 3D è costituita da un filo di acciaio zincato crudo del diametro di mm $2,2 \pm 0,3$ rispondente alle norme di collaudo EN10204, zincato secondo UNI EN 10244-2 del 03/2003 classe C 85 gr/m²

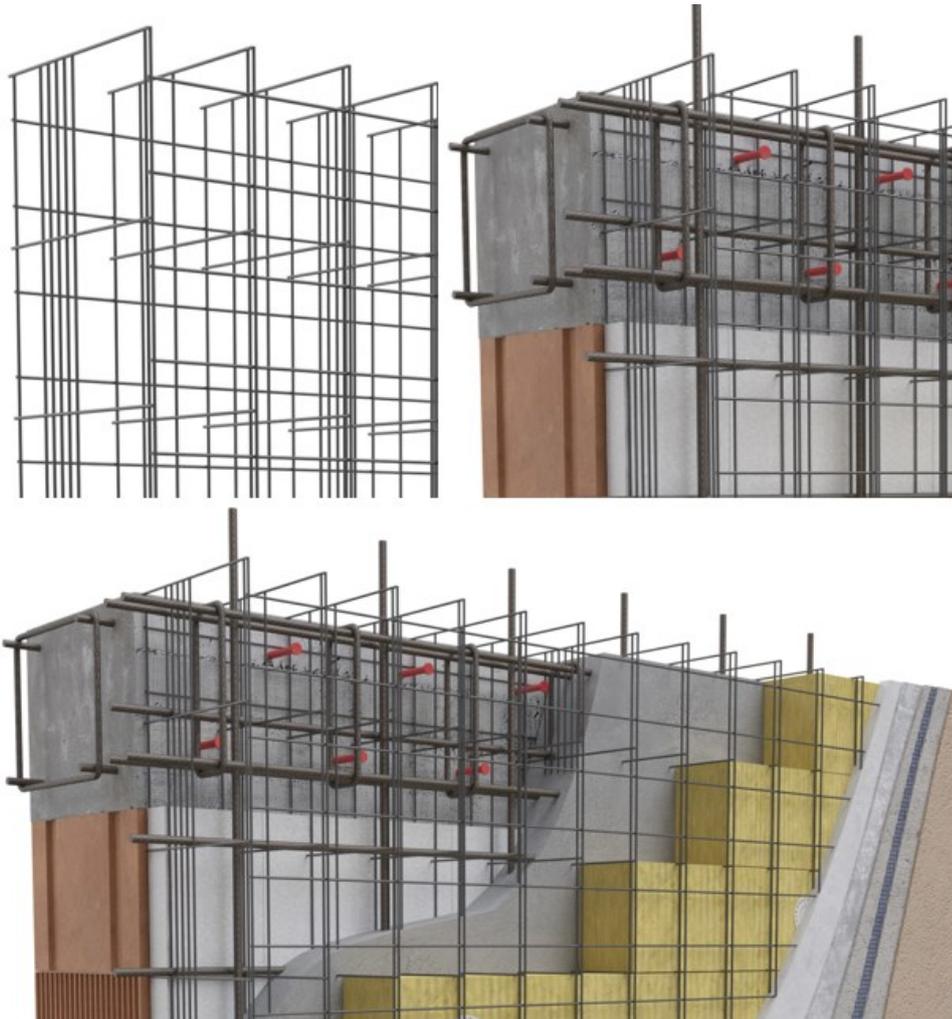
Approfondimento

La rete 3D svolge varie funzioni:

- ✓ *costituisce l'ossatura portante del cassero sostenendone il peso proprio*
- ✓ *blocca gli isolanti inseriti nel cassero assorbendo la pressione del getto di calcestruzzo*
- ✓ *permette di preparare la cassetta degli architravi in stabilimento e facilita la cassetta delle spalle in opera*
- ✓ *permette l'appoggio dei ferri orizzontali sui distanziatori*
- ✓ *regola il copriferro limitando il movimento dei ferri orizzontali*
- ✓ *crea la rete porta intonaco esterna*

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 14 Rete 3D come "struttura" del cassero, appoggio e guida dell'armatura, contenimento isolante e rete porta intonaco



Materiale isolante

Il materiale isolante di base è il polistirene espanso sinterizzato EPS100 o EPS150 conforme alla EN13163 con conducibilità $\lambda_d \leq 0.034$ W/mK, reazione al fuoco Euroclasse E, colore bianco, marcato CE e conforme ai Criteri Ambientali Minimi – C.A.M.

Approfondimento

Le sostituzioni più comuni all'EPS sono quelle con:

- ✓ *EPS additivato con grafite per migliorare la conducibilità*
- ✓ *XPS per la zoccolatura di partenza dato il minor assorbimento di acqua*
- ✓ *lana di roccia per le sue doti di incombustibilità*
- ✓ *isolante fenolico per le sue ottime performance termiche*

Gli isolanti possono essere utilizzati anche in accoppiamento tra loro all'interno dello stesso cassero.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 15 Cassero con zoccolatura in XPS, sponda interna in EPS, isolante esterno in EPS accoppiato a lana di roccia



Figura 16 Cassero con zoccolatura in XPS, sponda interna in EPS, isolante esterno in EPS con grafite



Per le prestazioni complete della gamma di isolanti si può fare riferimento alla tabella di seguito.

Tabella 5 Gamma degli isolanti utilizzati più di frequente

	 EPS Polistirene espanso	 NEO Polistirene espanso con grafite	 XPS Polistirene estruso	 LDR Lana di roccia	 FEN Isolante fenolico	 FAE Faesite pannello ligneo
Conducibilità λ [W/mK]	0.034	0.031	0.036	0.038	0.021	0.240
Densità ρ [kg/m³]	25	25	33	150	35	900
Reaz. al fuoco [EUROCLASSE]	E	E	E	A1	B	-
Resistenza a compressione [kPa]	150	150	200	70	130	-
Resistenza al passaggio di vapore acqueo μ [-]	30-70	30-70	50-150	1	40	-

Avvertenze e raccomandazioni

Viene adottato un algoritmo proprietario dell'azienda produttrice per calcolare la resistenza termica effettiva dei casseri in opera dichiarata in D.o.P., che considera una maggiorazione delle conducibilità dichiarate degli isolanti per tenere in conto la presenza della rete 3D.

Completamenti strutturali

Connettori strutturali

La connessione strutturale all'edificio esistente generalmente avviene per mezzo di viti da calcestruzzo o barre ancorate chimicamente. La tipologia, la posizione e il passo derivano dal calcolo ingegneristico e devono essere indicati nel progetto strutturale.

Avvertenze e raccomandazioni

Per l'ancoraggio strutturale in zone sismiche gli ancoranti commerciali devono possedere il certificato di prestazione sismica C2.

Figura 17 Esempio di vite da calcestruzzo certificata C2



Acciaio d'armatura

L'armatura è realizzata con tondini e staffe in acciaio per calcestruzzo armato (tipo B450C). La tipologia, la posizione e il passo devono essere indicati nel progetto strutturale.

Figura 18 Campione con ferro di armatura inserito



Avvertenza

L'armatura dovrà rispettare i multipli di 15 cm di passo tra ferri orizzontali (es. ferri orizzontali ogni 15 o 30 cm) e i multipli di 10 cm di passo tra ferri verticali (es. ferri verticali ogni 10, 20 o 30 cm), per adattarsi alla modularità dei distanziatori.

Calcestruzzo

Il calcestruzzo che viene gettato entro il cassero dovrà avere sezione e caratteristiche di resistenza secondo progetto strutturale. Può essere impiegato del calcestruzzo proveniente da impianto di betonaggio o in alternativa un betoncino premiscelato.

Figura 19 Getto di calcestruzzo con pompa presso istituto scolastico a Trevignano (TV)



Avvertenza

Non usare calcestruzzi autocompattanti (S.C.C.). In caso di calcestruzzi o betoncini molto fluidi e con inerte molto sottile, si raccomanda maggior cautela nei getti per via della maggior spinta.

Attrezzature e accessori per la posa in opera

Utensili e accessori necessari

Di seguito un elenco non esaustivo dell'attrezzatura minima necessaria fin dall'inizio della posa in opera.

- ✓ Tasselli da cappotto da 8 mm a percussione o avvitamento di lunghezza idonea per il ritegno temporaneo del cassero in fase di posa. Necessarie anche le relative punte da trapano per fori su muratura 8 mm di idonea lunghezza.



- ✓ Trapano tassellatore per fori su calcestruzzo e punte di diametro e lunghezza idonea per fori su calcestruzzo necessari per il fissaggio dei connettori.



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

- ✓ Pinze da reti e punti galvanizzati per l'unione della rete porta intonaco tra moduli accostati



- ✓ Pinza e tronchese per l'adattamento o il taglio della rete 3D dei casseri



- ✓ Seghetto o cutter per il taglio e l'adattamento degli isolanti



- ✓ Vibratore per il costipamento del getto di calcestruzzo, di diametro adatto alla sezione di getto



- ✓ Martello da carpentiere



Altro materiale da carpenteria

- ✓ Tavole e morali
- ✓ Cravatte per getti
- ✓ Puntelli
- ✓ Spezzoni di armatura $\phi 8$
- ✓ Matassina

Posa in opera

Gestione cantiere e sicurezza

Poiché i casseri vengono realizzati su misura in fabbrica, parte delle lavorazioni solitamente eseguite in cantiere avviene in un luogo in cui è più agevole organizzare un sistema di sicurezza. La prefabbricazione si traduce anche in una riduzione dei tempi di cantiere e quindi delle interferenze e delle probabilità di infortuni. Per gli aspetti della sicurezza è stata di utile supporto la tesi di Diego Rudello *“Soluzione integrata per l'efficientamento sismico ed energetico. Caso studio e valutazione della sicurezza nella fase di posa in opera”*.

Trasporto e accesso al cantiere

Il trasporto deve avvenire (salvo situazioni particolari da valutare caso per caso) per mezzo di motrice o bilico centinati, con alza/abbassa, copri/scopri, altezza minima 2,70 m. Va sempre verificata la possibilità di giungere e accedere al sito di cantiere con i suddetti mezzi. I ritiri della merce avvengono presso la sede dell'azienda produttrice.

Figura 20 Bilico centinato caricato in stabilimento



Approfondimento

Il produttore utilizza una procedura denominata “nesting” per l'ottimizzazione dei carichi. Il volume effettivo di carico è inferiore a quello teorico del mezzo di trasporto (mediamente è circa l'80%) e dipende dalla conformazione esatta dei pannelli che compongono quel carico.

Scarico e accatastamento in cantiere

Lo scarico della merce in cantiere avviene per mezzo di sollevatore telescopico con forche (es. Manitou o Merlo), gru con forche o carrello elevatore a forche (*muletto*). Una volta scaricati, i pannelli possono essere accatastati, mantenendoli in posizione orizzontale e sollevati da terra per mezzo di morali di legno o altri supporti disposti a passo massimo di un metro in maniera che non vengano mai in contatto con il terreno per evitare degrado e sporcizia.

Avvertenza

I pannelli possono essere scaricati anche a mano in caso di necessità; in tal caso l'impresa dovrà tenere in conto sia delle maggiori tempistiche di scarico sia del peso del singolo pannello in relazione alle norme sulla movimentazione manuale dei carichi.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 21 Scarico in cantiere dei pannelli da bilico centinato per opera di carrello elevatore a forche



Poiché la posa dei casseri avviene in genere per piani, è opportuno che l'accatastamento avvenga nella maniera più consona alla successiva posa in opera per ridurre gli spostamenti successivi. I codici impressi sui pannelli identificano i muri secondo un preciso schema di posa che viene consegnato insieme alla merce e costituiscono pertanto un ausilio al riconoscimento e all'organizzazione degli stessi.

Rischi connessi allo scarico

I rischi connessi allo scarico sono fondamentalmente quelli derivanti dall'utilizzo dei mezzi necessari. Ad esempio nel caso di carrello elevatore o sollevatori telescopici, secondo L'ufficio Speciale Prevenzione e Protezione dell'Università la Sapienza di Roma, i rischi sono:

- ✓ ribaltamento del mezzo, poco probabile dato il peso ridotto del carico sollevato
- ✓ la caduta del carico sulla cabina, poco pericoloso per il medesimo motivo
- ✓ la caduta durante la salita e la discesa dal mezzo
- ✓ urti e schiacciamento agli arti

Stoccaggio e protezione dei casseri

I pannelli accatastati vanno coperti dall'impresa con teli impermeabili se si prevede che la messa in opera non avvenga in breve tempo, se si prevedono piogge significative o se vengono trattati materiali più sensibili all'acqua rispetto all'EPS (es. lana di roccia e faesite). L'EPS e altri materiali isolanti di sintesi, inoltre, tendono a formare una patina se lasciati esposti per troppo tempo agli UV, situazione che deve essere evitata.

Avvertenza

Alcuni materiali, se bagnati, possono aumentare leggermente di volume rendendo più difficile lo spostamento delle strisce di isolante se questo dovesse essere necessario.

Rischi connessi allo stoccaggio

I rischi potenzialmente connessi allo stoccaggio sono legati agli urti accidentali di cose o persone dovuti al sollevamento dei casseri a causa del vento, a cui si pone rimedio zavorrando le pile.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 22 Accatastamento temporaneo casseri



Movimentazione

La movimentazione avviene generalmente per mezzo di gru, autogrù o sollevatori telescopici. Si consiglia di sollevare uno o al massimo due pannelli per volta (in questo caso verranno già agganciati a terra con i punti zincati da ambo i lati). La rete 3D di cui sono composti i casseri deve essere assicurata alle catene o alle cinghie mediante due ganci di sollevamento con sicura per ogni cassero. Nel caso di pannelli di peso oltre i 50 kg è opportuno aumentare il numero di agganci alla rete 3D per evitare la deformazione della stessa, o in alternativa è possibile utilizzare l'ausilio di una barra di armatura orizzontale saldamente legata all'interno del cassero a cui fissare i ganci, per ridistribuire il carico.

Si consiglia di movimentare i casseri quanto più possibile con il mezzo di sollevamento, lasciando agli operai il compito di guidarlo nella sede appropriata. Se necessario è anche possibile sollevare e depositare i casseri fino al piano di lavoro, installandoli manualmente un elemento per volta.

Figura 23 Movimentazione di pannelli mediante gru con catene e ganci di fissaggio



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Rischi connessi alla movimentazione

I rischi potenziali connessi alla movimentazione sono legati a:

- ✓ caduta dall'alto di oggetti, che viene evitata assicurando opportunamente i casseri mediante ganci di sollevamento con sicura in numero adeguato; si dovrà inoltre evitare il passaggio o la sosta di personale sotto il carico pendente. Il carico deve essere sollevato e movimentato evitando bruschi movimenti che possano sovraccaricare i punti di aggancio.
- ✓ urti accidentali a cose o persone dovuti a oscillazioni impreviste generate dal vento, poiché trattandosi di pannelli dal peso ridotto ma di superficie fino a 4-5 mq possono essere soggetti ad "effetto vela". Si raccomanda maggior cautela nelle giornate ventose anche con velocità del vento inferiore ai limiti di funzionamento dei mezzi di sollevamento.

Ponteggi e opere in quota

La strategia normalmente adottata per operare in quota è il classico ponteggio a telaio o a tubo e giunto, montando gli impalcati piano per piano in sequenza con la posa di Geniale Cappotto Sismico in modo da poter agevolmente calare i casseri dall'alto. Ad ogni ponte aggiunto si andrà ad assicurare il ponteggio alla parete mediante ancoraggi a golfare. Si consiglia pertanto un buon coordinamento tra la squadra di carpentieri e i montatori del ponteggio. La distanza consigliata a cui montare il ponteggio è pari allo spessore del cassero più 20 cm, in maniera da dover installare i parapetti interni solo dove i casseri non sono ancora stati posati.

Figura 24 Ponteggi di tipo tradizionale "a telaio" presso istituti scolastici a Schio (VI) e Trevignano (TV)



In alternativa è anche possibile optare per il cosiddetto "ponteggio mobile" o PLAC (*piattaforma di lavoro autosollevante su colonne*), in particolar modo per facciate regolari. Tale strumento ha il vantaggio di permettere fin da subito l'esecuzione agevole di lavori preparatori in quota senza essere costretti a montare tutti i piani di ponteggio, che costituirebbero un ostacolo alla movimentazione dei casseri. Il maggior limite è il costo oppure, nel caso di utilizzo di una sola piattaforma, la necessità di essere spostata di frequente.

Figura 25 Ponteggio mobile "PLAC" presso il Municipio di Mareno di Piave (TV)



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

È spesso possibile, e a volte consigliabile, posare i moduli e le armature del piano terra prima della posa del ponteggio con l'ausilio di cestello elevatore (o PLE – piattaforma di lavoro elevabile), adottando gli appositi DPI

Figura 26 Utilizzo di cestello elevatore per il montaggio del cappotto sismico al piano terra presso istituto scolastico a Trevignano



Rischi connessi ai lavori in quota

I rischi potenziali connessi ai lavori in quota sono legati a:

- ✓ caduta dall'alto di oggetti, che viene evitata utilizzando battitacco nei ponteggi secondo prescrizioni normative
- ✓ caduta dall'alto, che viene evitata utilizzando ponteggi installati secondo norma e progetto, con particolare riferimento ai parapetti

Operazioni preliminari

Misurazioni e rilievo

I casseri vengono prodotti a misura sulla base di un rilievo restituito in formato *dwg* che individui con buona precisione la pianta, i prospetti, la quota di partenza, le pendenze, la posizione delle aperture, dei cordoli, dei pilastri, di nicchie, sporgenze, gronde, terrazzi e in generale di ogni elemento strutturale o architettonico eventualmente necessario. Tale elaborato può essere ricavato da un rilievo manuale o per mezzo di strumenti digitali come la stazione totale o il laser scanner 3D, secondo le preferenze del rilevatore, la dimensione e la complessità dell'edificio.

Avvertenza

Nel caso in cui le forometrie o altri elementi fossero oggetto di modifiche o spostamenti, è preferibile effettuare il rilievo a valle delle modifiche. In ogni caso prima di effettuare il rilievo sarà necessario valutare a monte la fattibilità dello stesso specie se svolto con strumentazione digitale (disponibilità di sufficiente spazio attorno al fabbricato, possibilità di accedere ai locali interni se necessario, assenza di particolari elementi di ostruzione come ponteggi, alberi o altro a ridosso delle facciate).

Se il rilievo viene svolto prima di realizzare la fondazione, si potrà definire una "quota zero" convenzionale sulla base della quale si indicherà in un secondo momento, prima della progettazione dei casseri, la loro quota di partenza effettiva.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficiamento integrato di edifici esistenti

Si riporta di seguito un esempio per immagini (Fischer Italia S.r.l., 2020)

Figura 27 Laser Scanner 3D e software di elaborazione

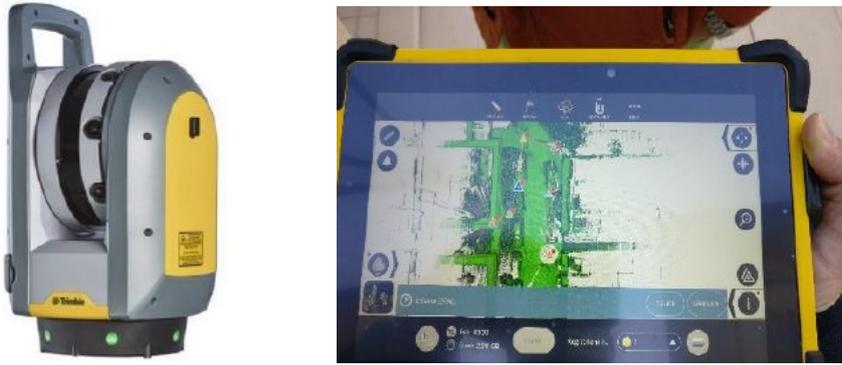
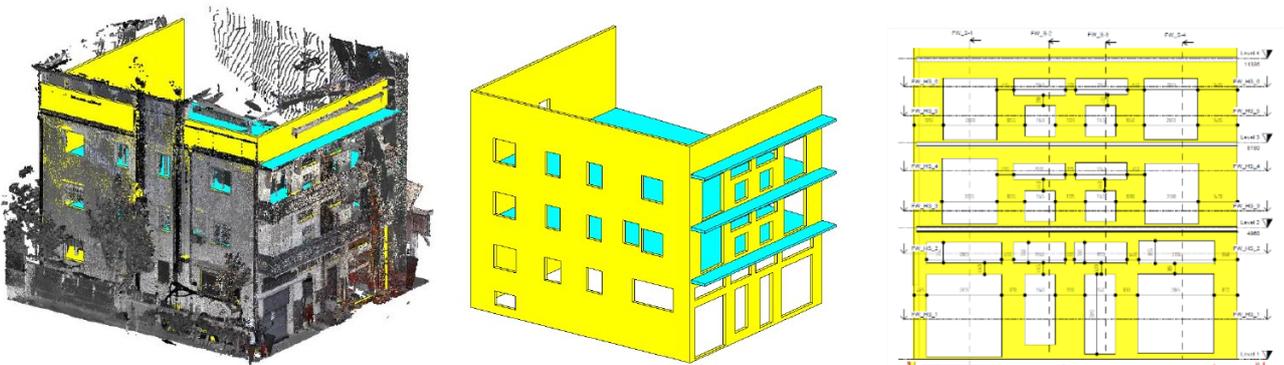
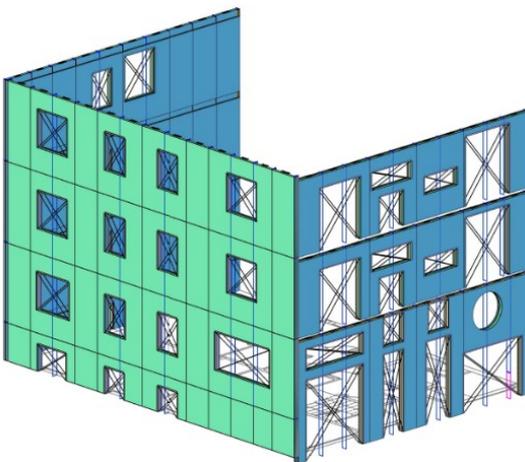


Figura 28 Nuvola di punti, modellazione 3D e output bidimensionale dei prospetti



L'output del rilievo è comunque costituito da piante, prospetti e sezioni prospetti bidimensionali che vengono utilizzati dal produttore per elaborare i disegni esecutivi di produzione dei casseri, individuandone forma, dimensione, innesti e aperture di progetto.

Figura 29 3D di produzione con lievi modifiche alla forometria di progetto (Ecosism srl)



Approfondimento

Il rilievo può essere svolto dall'impresa, dallo studio di progettazione o dall'azienda produttrice. È consigliabile svolgere il rilievo il prima possibile e basare tutti gli elaborati e le relazioni sulle medesime misure condivise.

Cordolo di partenza e chiamate in fondazione

Generalmente i casseri trovano appoggio su un nuovo cordolo di partenza in c.a. solidale alle fondazioni esistenti, anche se in alcuni casi o in alcune zone può non essere necessario. Tale cordolo di partenza deve prevedere opportuni ferri di chiamata disposti secondo progetto strutturale: a fila singola in caso di lastre in c.a. ad armatura singola baricentrica o in due file in caso di lastre in c.a. ad armatura doppia.

Avvertenza

Si dovrà porre attenzione alla planarità del cordolo di fondazione rispetto alla quota stabilita di imposta. Se non livellato correttamente, anche le irregolarità locali causate ad esempio dall'inerte del getto possono comportare un rialzo del modulo e un conseguente disallineamento delle quote.

Figura 30 Ferri di chiamata a fila singola e doppia



Suggerimento

In caso di armatura doppia è consigliabile realizzare i ferri di attesa con ferri singoli o forchette rivolte verso l'alto, per facilitarne lo spostamento e quindi l'inserimento dei casseri dall'alto.

Stato e preparazione del supporto verticale

Il lato interno di isolante che compone il cassero viene posto in aderenza alla parete esistente (sia essa portante o di tamponamento) creando di fatto uno "strato di scorrimento" tra l'esistente e la nuova lastra in c.a.; per questo motivo non è generalmente necessario rimuovere gli intonaci o i rivestimenti esistenti, se non in corrispondenza delle nervature di collegamento strutturale.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 31 Messa a nudo dei cordoli ove si realizza la connessione tra cappotto sismico e struttura esistente



Le pareti esistenti potrebbero presentare tuttavia fenomeni di degrado dovuti a risalita di umidità, muffe o altro che è opportuno risolvere a monte onde evitarne la ricomparsa con conseguenti problematiche estetiche che nel tempo potrebbero comportare anche un degrado strutturale.

In caso di facciate con nicchie e rientranze andrà necessariamente prevista una compensazione (in genere con fogli di EPS di alleggerimento) in modo da garantire un piano di appoggio continuo per i pannelli; andranno adattate di conseguenza le lunghezze dei tasselli di fissaggio in modo da raggiungere la muratura e fissare al contempo i casseri e l'isolante di compensazione posto dietro di essi.

Figura 32 Inserimento di EPS di compensazione dietro ai casseri nelle porzioni di parete con nicchie e rientranze in modo da creare complanarità



La presenza di vuoti dietro ai moduli non è conforme ad una posa a regola d'arte perché può comportare:

- ✓ il movimento dei pannelli, che devono essere poggiati e fissati a una superficie continua durante le fasi di armo e getto
- ✓ il rischio che durante il getto possa infiltrarsi del calcestruzzo nell'intercapedine, generando una spinta verso l'esterno e l'eventuale deformazione dei pannelli
- ✓ la possibilità che si crei un bypass termico e che si formino fenomeni di condensa

Fissaggio connettori strutturali

I connettori strutturali possono essere costituiti da viti da calcestruzzo o barre ancorate chimicamente con resina. È necessario prima di tutto provvedere alla realizzazione dei fori su calcestruzzo in corrispondenza dei cordoli di piano ed eventualmente dei pilastri, secondo le posizioni e i passi previsti da progetto strutturale.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

I connettori posti orizzontalmente in corrispondenza dei cordoli in genere si possono fissare preliminarmente senza ostacolare la successiva posa del pannello.

Suggerimento

Il fissaggio dei connettori è un'operazione molto semplice ma anche invasiva da un punto di vista acustico perché comporta la realizzazione di numerosi fori sulle travi o sui cordoli in c.a. perimetrali trasmettendo vibrazioni e rumore all'intera struttura. Nel caso di edifici occupati si raccomanda di gestire il programma lavori in maniera da arrecare il minor disagio possibile alle persone e alle attività.

Figura 33 Esempio di connessione a livello dei cordoli mediante barre piegate e viti da calcestruzzo



Per quanto riguarda invece i connettori posti verticalmente in corrispondenza di eventuali pilastri si consiglia di eseguire il foro preliminarmente al posizionamento del cassero e di inserirli una volta che il cassero è in posizione: ciò è possibile spostando temporaneamente la striscia di isolante esterna.

Approfondimento

Il cassero è composto da una rete 3D entro la quale sono inserire strisce di isolante di altezza 15 cm, che possono essere spostate o rimosse per eseguire delle operazioni all'interno del cassero e poi rimesse in posizione.

Figura 34 Riposizionamento della striscia di isolante dopo lo spostamento

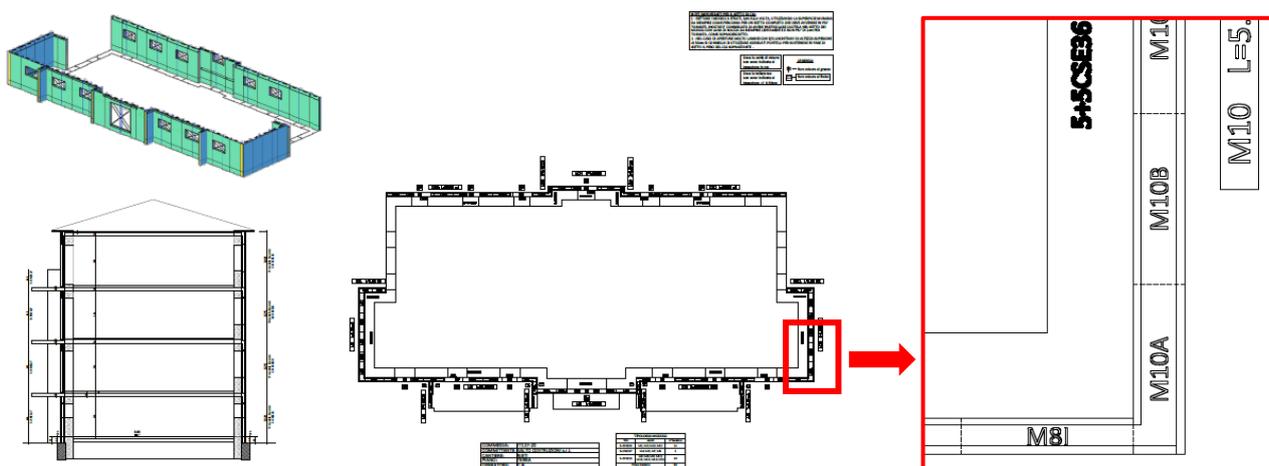


Posa e fissaggio del cappotto sismico

Individuazione dei pannelli

Insieme ai casseri viene consegnata una documentazione a corredo, tra cui una pianta con lo schema di posa e il dettaglio di ogni modulo e di ogni parete, con vista frontale e posteriore. Ogni modulo è contrassegnato con un codice alfanumerico univoco ed è facilmente individuabile in cantiere; ad esempio "M1A" contraddistingue il primo modulo (lettera A) del muro 1 (M1), con numerazione stabilita dall'azienda produttrice in fase di disegno. I pannelli successivi verranno codificati come M1B, M1C e così via fino ad arrivare ad un angolo o ad un punto architettonicamente significativo come ad esempio una variazione di quota, da cui cominceranno i pannelli M2A, M2B, M2C e così via.

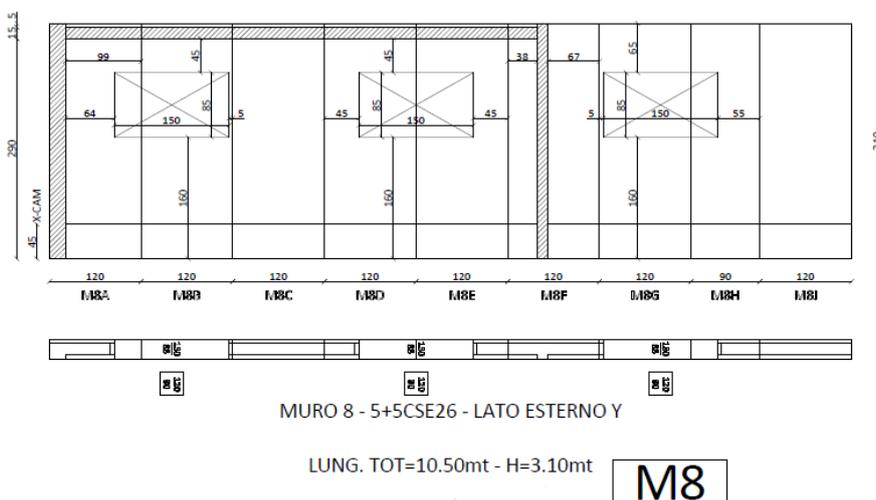
Figura 35 Schema di posa piano terra di palazzina a Rieti. Vista generale e dettaglio



Verifica livelli e tolleranze

Una volta individuato il punto di partenza da cui si intende iniziare, si suggerisce di impostare fin da subito i due pannelli d'angolo e verificare in primis che le misure principali siano concordi con l'esistente (verifica della posizione della finestra più prossima, della quota di imposta della fondazione, della quota del cordolo, ecc.). Consultando la tavola con le misure dei pannelli, partendo dai due pannelli d'angolo già posati è possibile segnare sulla facciata esistente la posizione attesa di ogni pannello. In questo modo sarà possibile verificare pannello dopo pannello la corretta progressione della posa, con particolare riguardo alla posizione delle aperture, e se necessario adeguare le misure in opera correggendo un'eventuale imprecisione senza propagarla ai pannelli successivi.

Figura 36 Schema di posa. Dettaglio esecutivo del muro M8 che riporta la suddivisione dei pannelli e la posizione di innesti e forometrie



Inserimento sui ferri di chiamata

I moduli vanno calati sui ferri di chiamata già predisposti, muovendo e raddrizzando se necessario tali ferri per agevolare l'inserimento del pannello.

Figura 37 Cassero calato sui ferri di chiamata



Unione tra moduli

Una volta posata la prima coppia di moduli è necessario provvedere subito alla loro unione utilizzando una pinzatrice manuale per reti con gli appositi anelli in acciaio zincato. Tutti i casseri andranno uniti sul lato esterno a livello della rete porta intonaco, tramite l'applicazione di un anello ogni 15 cm, e rinforzati negli angoli e nelle connessioni a T o a L tra le murature. Nel caso si vogliano movimentare più pannelli per volta questi possono essere uniti tra loro a terra; in questo caso andranno utilizzati i punti di fissaggio anche sul retro per evitare movimenti e distaccamenti durante il sollevamento.

Figura 38 Unione dei moduli a livello della rete porta intonaco mediante pinza e graffe zincate



Fissaggio temporaneo dei casseri

I casseri devono essere fissati alla parete mediante tasselli da cappotto a espansione di lunghezza idonea, nel numero di almeno 2 pz/m². Questo tipo di fissaggio svolge la funzione di ritegno temporaneo dei pannelli e, se vengono rispettate le indicazioni sulle modalità di getto, è necessario e sufficiente nelle zone in cui il pannello è pieno (cioè senza nervature e aperture) e ben appoggiato al supporto. Il fissaggio con i tasselli da cappotto interesserà la sola sponda posteriore del cassero: si dovrà spostare lateralmente alcune strisce dell'isolante esterno e quindi forare con un trapano con punta di lunghezza adeguata, inserire e fissare il tassello e quindi rimettere l'isolante in posizione.

Per quanto possibile la rosetta del tassello dovrà bloccare anche i fili della rete 3D per un ritegno più rigido ed efficace.

Figura 39 Foratura e fissaggio dell'isolante posteriore alla parete retrostante mediante tassello da cappotto a espansione



Avvertenza

I tasselli da cappotto utilizzati per il ritegno temporaneo NON possono essere utilizzati allo scopo di contrastare la spinta del getto. Vi sono alcuni punti, quali ad esempio angoli e nervature, in cui è sempre e comunque necessario utilizzare dei rinforzi specifici, utilizzando tavole e morali di legno, puntelli e cravatte per getti. In tali punti è a favore di sicurezza assumere che il cassero non offra alcuna resistenza e pertanto i relativi rinforzi dovranno contrastare integralmente la spinta del getto.

Modifica in opera dei casseri

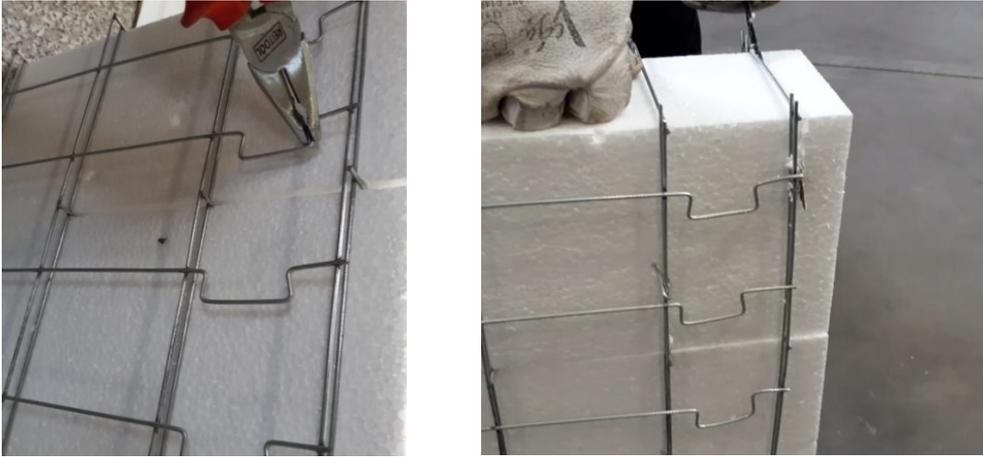
In alcuni casi l'isolante o la rete 3D necessitano di adattamenti e tagli. Le casistiche possono essere di varia natura:

- ✓ per una modifica in corso d'opera, ad esempio lo spostamento di un foro finestra
- ✓ per un errore di posa, come ad esempio un cordolo di partenza realizzato ad una quota diversa rispetto al progetto
- ✓ per esigenze legate alla posa in opera del ferro
- ✓ per la presenza di elementi sporgenti rispetto al filo esterno della parete
- ✓ varie ed eventuali

Il cassero si può accorciare orizzontalmente con una pinza, ruotando i ferri orizzontali presenti su ambo i lati della rete 3D. Il ferro va ruotato in entrambi i sensi per riallineare l'elemento. L'isolante può essere poi portato a filo della rete 3D con un segaccio o un cutter.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 40 Accorciamento del cassero con pinza e taglio isolante in eccesso con segaccio



Se fosse necessario tagliare la rete 3D è invece sufficiente un tronchese; in questo caso il cassero va cautelativamente considerato privo di resistenza ove tagliato e rinforzato di conseguenza se necessario.

Predisposizione di impianti

Durante la fase di posa dei casseri è possibile predisporre i passaggi degli impianti. Risulta semplice forare l'isolante e se necessario tagliare la rete 3D per alloggiare tubazioni che attraversino il cassero, avendo cura di ripristinare poi eventuali fessure.

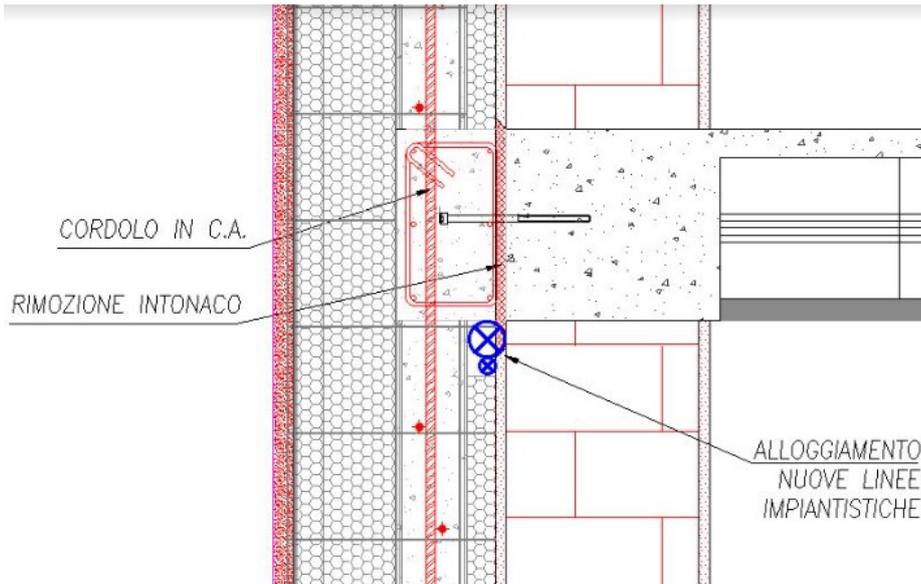
Figura 41 Passaggio di tubazioni attraverso il cassero



Se fosse necessario creare nuove linee impiantistiche di distribuzione del gas o dell'elettricità dietro o dentro ai casseri, posto che così facendo non potranno più essere ispezionabili, si consiglia di posizionarle in aderenza alla parete esistente appena al di sotto dell'innesto del cordolo.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 42 Posizione suggerita per la realizzazione di nuove linee impiantistiche



Armo del ferro

Verifica ferro

Il ferro d'armatura dovrà essere inserito di pari passo con la posa dei casseri; è necessario pertanto disporre in cantiere fin dal primo giorno di posa.

Per quanto riguarda il ferro verticale, nel caso di armatura doppia, questo dovrà essere già pre-saldato "a scaletta" con traversi di collegamento in numero tale da realizzare le 9 legature al mq previste da normativa e facendo attenzione che l'ingombro finito di tale scaletta ne permetta l'inserimento entro i casseri. I ferri verticali che compongono la scaletta possono essere sia esterni che interni rispetto ai ferri orizzontali. La scaletta dovrà essere più alta rispetto al cassero per fungere anche da chiamata per la parete in c.a. del livello successivo.

Figura 43 Esempio di ferri verticali "a scaletta" e singoli presso istituto scolastico ad Arzignano (VI)



Avvertenza

Non è possibile inserire reti elettrosaldate.

I casseri non sono ottimizzati per la posa di ferri a croce.

Passi dei ferri

I ferri d'armatura andranno disposti secondo progetto, tenendo conto che i casseri permettono la posa di:

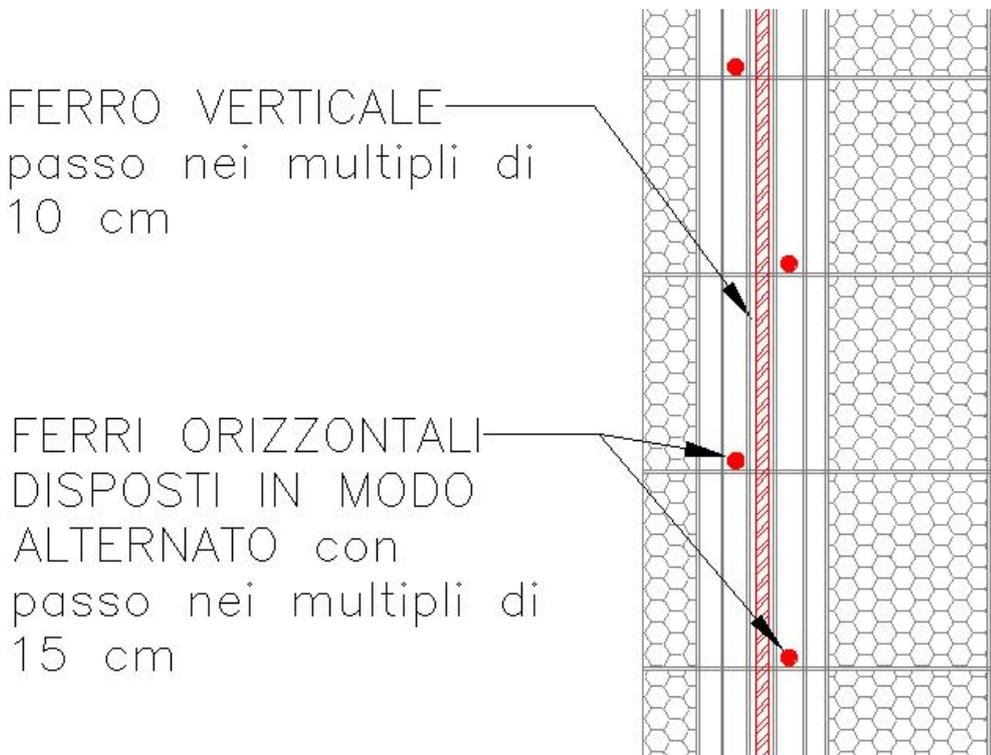
- ✓ ferri orizzontali a passi multipli di 15 cm
- ✓ ferri verticali a passi multipli di 10 cm

Armatura diffusa con maglia singola

Questa configurazione prevede l'inserimento del ferro orizzontale con disposizione sfalsata sfruttando le "corsie di posa" già presenti entro il cassero mediante opportuno posizionamento dei fili verticali della rete 3D secondo i diametri e il copriferro previsti da progetto.

Una volta posati i casseri con il ferro orizzontale si potrà quindi calare dall'alto il ferro verticale nello spazio lasciato tra i due ferri orizzontali, i quali svolgeranno quindi la funzione di bloccare il ferro verticale inserito tra di essi.

Figura 44 Maglia singola baricentrica



Armatura diffusa con maglia doppia

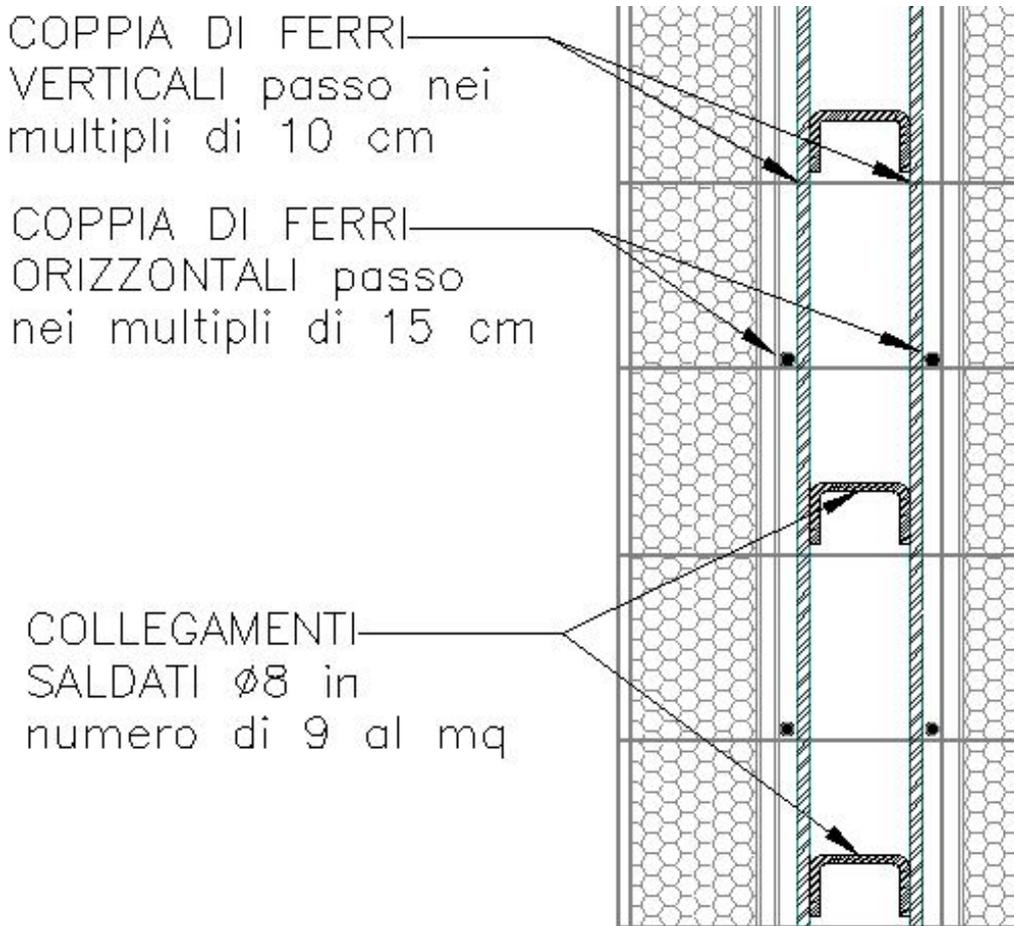
Ferri verticali interni e ferri orizzontali esterni

Si consiglia questa configurazione quando il prospetto è privo o quasi di aggetti (terrazzi, gronde, ecc.), oppure se questi vengono demoliti ed eventualmente ricostruiti successivamente.

Di pari passo con la posa dei casseri viene prima inserito dal lato aperto il ferro orizzontale in barre, forchette o staffe, verificando che l'ingombro del ferro sagomato sia compatibile con l'inserimento entro i casseri. In questa configurazione il copriferro dei ferri orizzontali è garantito dalla presenza dei fili verticali di distanziamento facenti parte della rete 3D.

Una volta posati i casseri e il ferro orizzontale si potranno quindi calare i ferri verticali, già pre-saldati a scaletta dalla ferriera.

Figura 45 Maglia doppia con ferri verticali interni



Suggerimento

Per agevolare la calata delle scalette di ferri verticali, queste potranno essere inserite dall'alto ruotate di 45° in maniera da non intercettare i ferri orizzontali già posati; al termine, con una torsione per raddrizzare la scaletta, questa spingerà i ferri orizzontali contro il filo distanziatore del copriferro integrato nella rete 3D, bloccandolo senza necessità di altre legature.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Per determinare l'ingombro esterno massimo della scaletta composta dai ferri verticali si può utilizzare la seguente relazione:

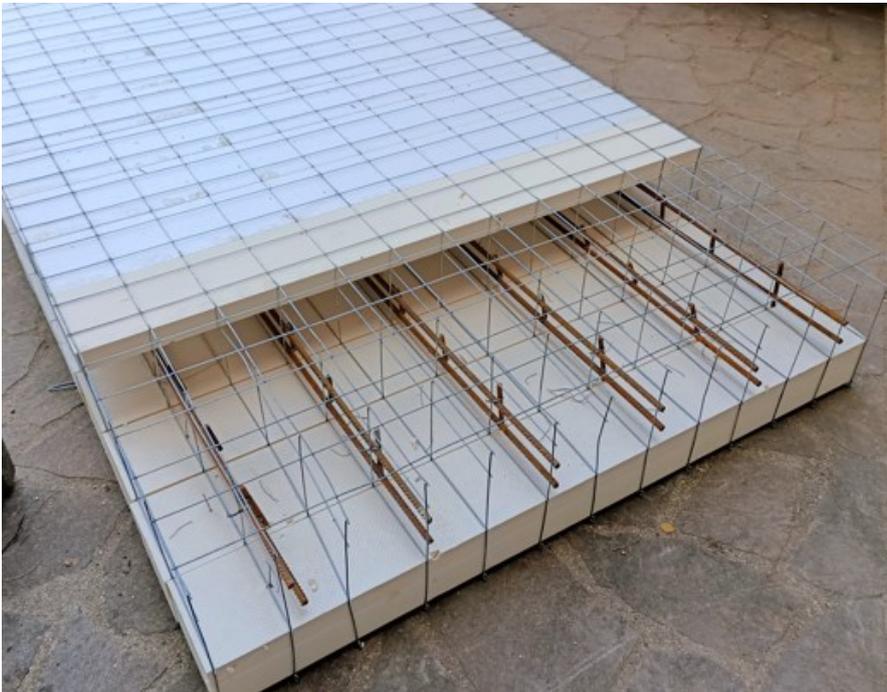
“ingombro esterno massimo scaletta = sezione di getto – diametri dei ferri orizzontali – 2 volte il copriferro – 5 mm di margine”

Per un getto da 150 mm con copriferro 20 mm e due ferri orizzontali $\phi 10$, l'ingombro esterno massimo della scaletta verticale sarà $d = 150 - 2 \times 10 - 2 \times 20 - 5 \text{ mm} = 85 \text{ mm}$

Ferri verticali esterni e ferri orizzontali interni

Questa configurazione è adatta a tutti i casi in cui l'inserimento dall'alto della scaletta dei ferri verticali non sia agevole a causa della presenza di aggetti. Anche in questo caso i due ferri verticali vengono pre-saldati a scaletta con traversi di collegamento, ma tale scaletta viene inserita prima del ferro orizzontale. Se necessario, può essere inserita all'interno dei casseri quando questi sono ancora a terra: per la movimentazione del cassero sarà in questo caso necessario legare le scalette alla rete 3D e sollevare il cassero utilizzando una barra d'armatura orizzontale disposta sotto ai traversi.

Figura 46 Scalette verticali inserite con cassero ancora a terra



Per determinare l'ingombro esterno massimo della scaletta composta dai ferri verticali, nel caso in cui siano esterni rispetto al ferro orizzontale, si può utilizzare la seguente relazione:

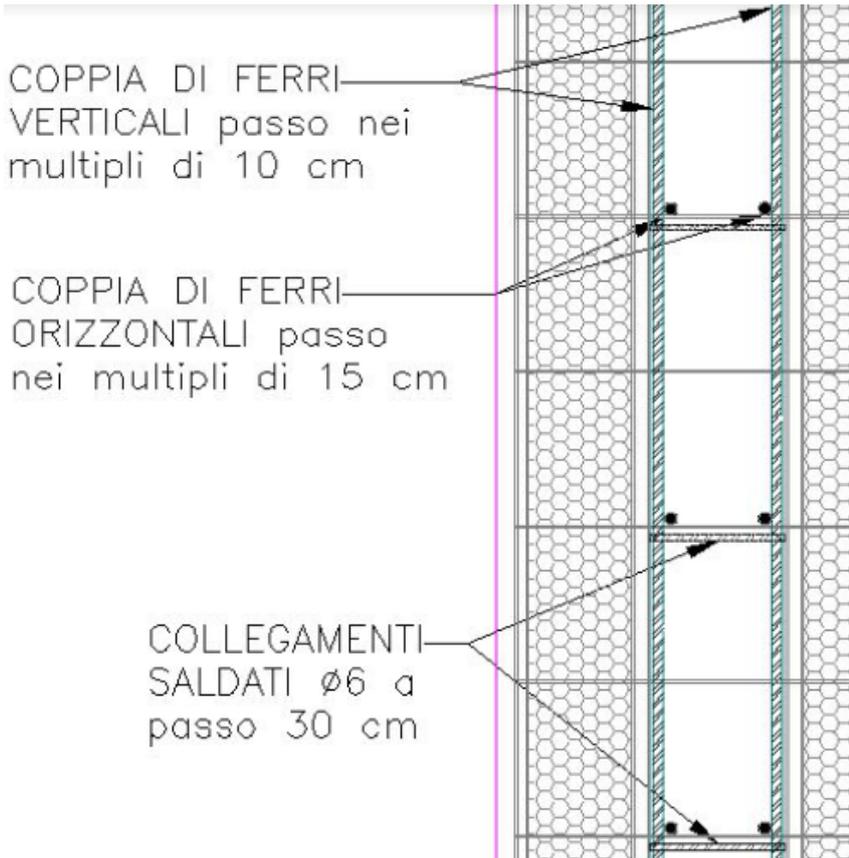
“ingombro esterno massimo scaletta = sezione di getto – 2 volte il copriferro”

quindi, per un getto da 150 mm con copriferro 20 mm, l'ingombro esterno massimo della scaletta verticale sarà $d = 150 - 2 \times 20 = 110 \text{ mm}$

Suggerimento

È anche possibile utilizzare una scaletta composta da due ferri verticali al cui interno porre un singolo ferro orizzontale; questa variante è particolarmente utile nei getti più stretti (ad esempio di sezione 10 cm).

Figura 47 Maglia doppia con ferri verticali esterni



Per garantire il copriferro di progetto mantenendo la scaletta in posizione è necessario che almeno un traverso in sommità e uno in partenza siano più lunghi (vedi figura sotto). La sovrapposizione del ferro di chiamata tra un piano e l'altro dovrà essere di almeno due maglie.

Figura 48 Schema scalette verticali



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

I ferri in sommità possono anche essere sagomati in modo da non ostacolare la posa dei ferri longitudinali del cordolo.

Figura 49 Sommità del cordolo con ferri verticali sagomati. Intervento presso istituto scolastico ad Arzignano (VI)



Nervature

Per nervature si intendono ispessimenti di getto orizzontali o verticali che possono essere realizzati per due funzioni:

- ✓ collegamento della nuova lastra in c.a. alle strutture esistenti, in corrispondenza di cordoli, travi e pilastri (con getto che bagna l'edificio esistente causando una controspinta);
- ✓ irrigidimento della nuova lastra in c.a. fuori piano: in questo caso la nervatura può essere gettata a ridosso della parete esistente (generando controspinta), oppure può essere ricavata entro il cassero sostituendo localmente l'isolante interno con una lastra di faesite o riducendo localmente lo spessore di isolante esterno.

Nervature orizzontali

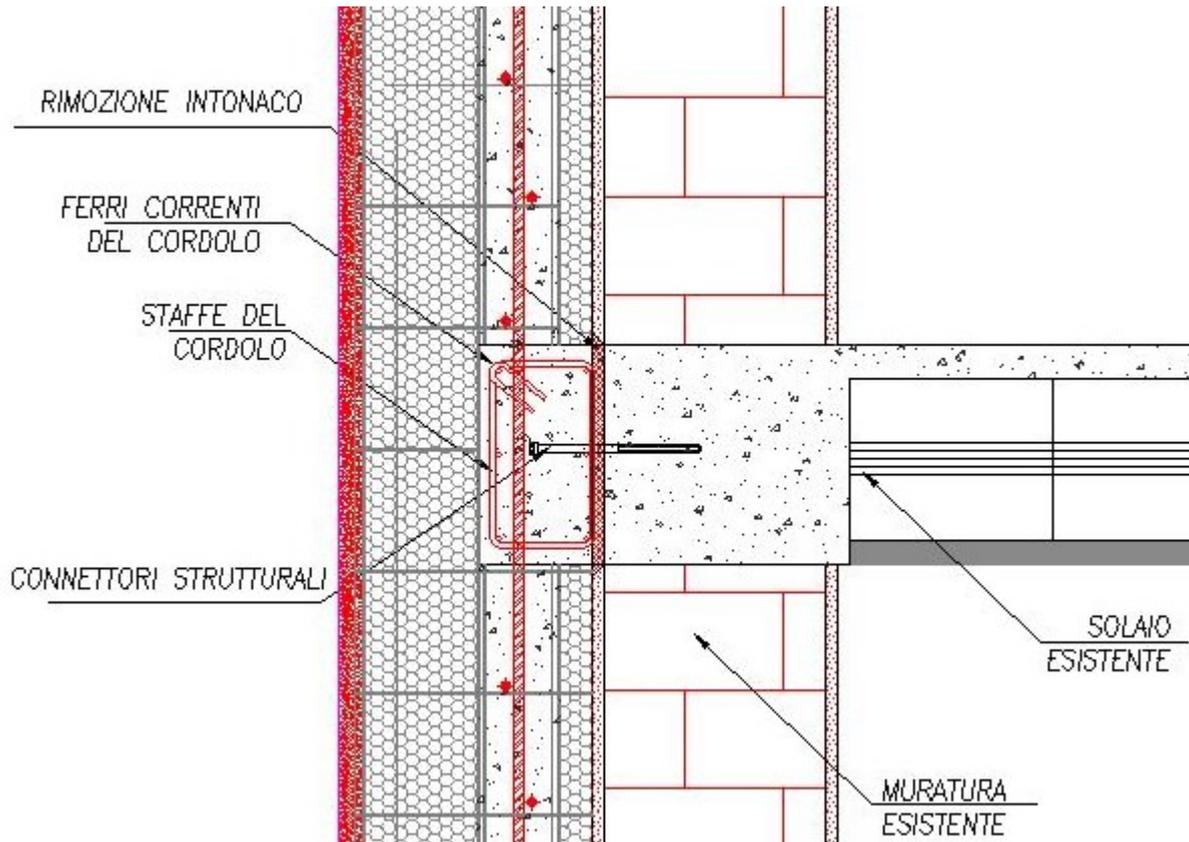
Le nervature orizzontali sono sempre necessarie in corrispondenza dei cordoli di piano e di copertura e quindi, salvo rare eccezioni, si trovano nella parte sommitale dei casseri. Rappresentano le principali zone di trasferimento delle azioni sismiche dalla struttura esistente al Geniale Cappotto Sismico attraverso i connettori, e vengono usualmente armate con una gabbia di acciaio composta da staffe verticali e correnti orizzontali. È possibile creare tale gabbia di cordolo all'interno del pannello già posto in opera, oppure realizzare prima l'armatura del cordolo fissandola a parete e successivamente posarvi davanti il cassero facendolo aderire al muro (in questo caso sarà necessario tagliare alcuni fili della rete 3D); la seconda ipotesi è in genere più difficoltosa in caso di ferri di chiamata molto alti.

Figura 50 Esempi con gabbia del cordolo preparata prima della posa dei casseri o realizzata all'interno dei casseri



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 51 Dettaglio tipo di nervatura orizzontale in corrispondenza del cordolo



Nervature verticali

Le nervature verticali possono essere realizzate in corrispondenza dei pilastri di un telaio in c.a. per una connessione strutturale aggiuntiva oppure in corrispondenza di maschi murari di larghezza esigua per offrire maggior resistenza e rigidità, oppure per migliorare il comportamento fuori dal piano della nuova lastra sottile in calcestruzzo armato.

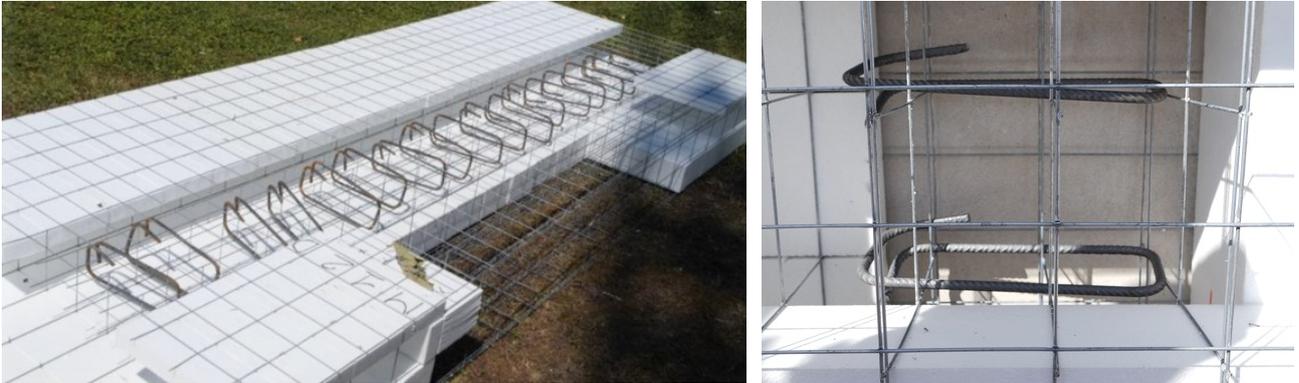
Figura 52 Esempio di nervatura verticale per realizzare un setto più rigido e resistente in corrispondenza del maschio murario presso istituto scolastico a Funo di Argelato (BO)



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

In taluni casi, specie se la nervatura è di modeste dimensioni e quindi non viene realizzato un cassero ad hoc, è possibile inserire le staffe dentro il cassero quando questo è ancora a terra legandole alla rete 3D. Il ferro verticale potrà essere calato successivamente a pannello già in opera.

Figura 53 Inserimento di staffe all'interno del cassero prima della movimentazione dello stesso, presso palazzina a Vittorio Veneto (TV). In questo caso la nervatura si sviluppa verso l'interno, con il nuovo getto che andrà a bagnare la parete esistente generando quindi una contropinta.



Angoli

Maglia doppia con ferri verticali interni

Con questa configurazione di armatura negli angoli vengono generalmente utilizzate armature a forcella che, intersecandosi tra loro, generano una staffa chiusa nell'angolo. Le forcelle andranno a sormontarsi adeguatamente al ferro orizzontale dell'armatura diffusa.

Figura 54 Particolare di intersezione di armatura d'angolo nel caso di maglia doppia con ferri verticali interni, presso istituto scolastico a Schio (VI)

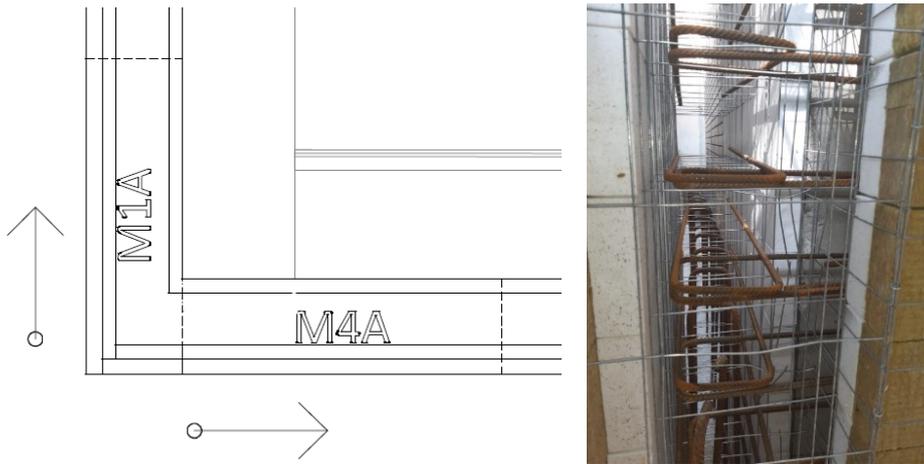


Utilizzando l'esempio di cui alla figura sotto, appare immediata la gerarchia tra i pannelli M1A e M4A che costituiscono l'angolo. Nella fattispecie, il pannello M4A termina a filo dalla parete esistente mentre il pannello M1A è conformato in maniera tale da creare l'angolo garantendo al contempo la continuità del getto. Il pannello M1A in fase di montaggio avrà la spalla aperta e quindi sarà sempre possibile inserire

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

agevolmente le forchette d'angolo nella direzione del muro M1; l'isolante di completamento viene fornito a corredo e inserito dall'alto prima del getto, per permettere l'ispezione del ferro da parte del Direttore Lavori. Nella direzione del muro M4 le forcelle possono sempre essere inserite frontalmente spostando di lato le strisce di isolante esterno del cassero M1A. Se l'ingombro esterno delle forcelle è inferiore a 10 cm queste passano agevolmente dentro la rete 3D; se invece è superiore a 10 cm per inserirle frontalmente potrebbe essere necessario tagliare il filo della rete 3D che ne impedisce il passaggio. In alternativa è possibile preparare le forcelle all'interno del cassero M4A, quindi posare il pannello M1A e tirare le forchette d'angolo nella corretta posizione entro il pannello M1A, tagliando con un tronchese i fili della rete 3D che ne impediscono il passaggio.

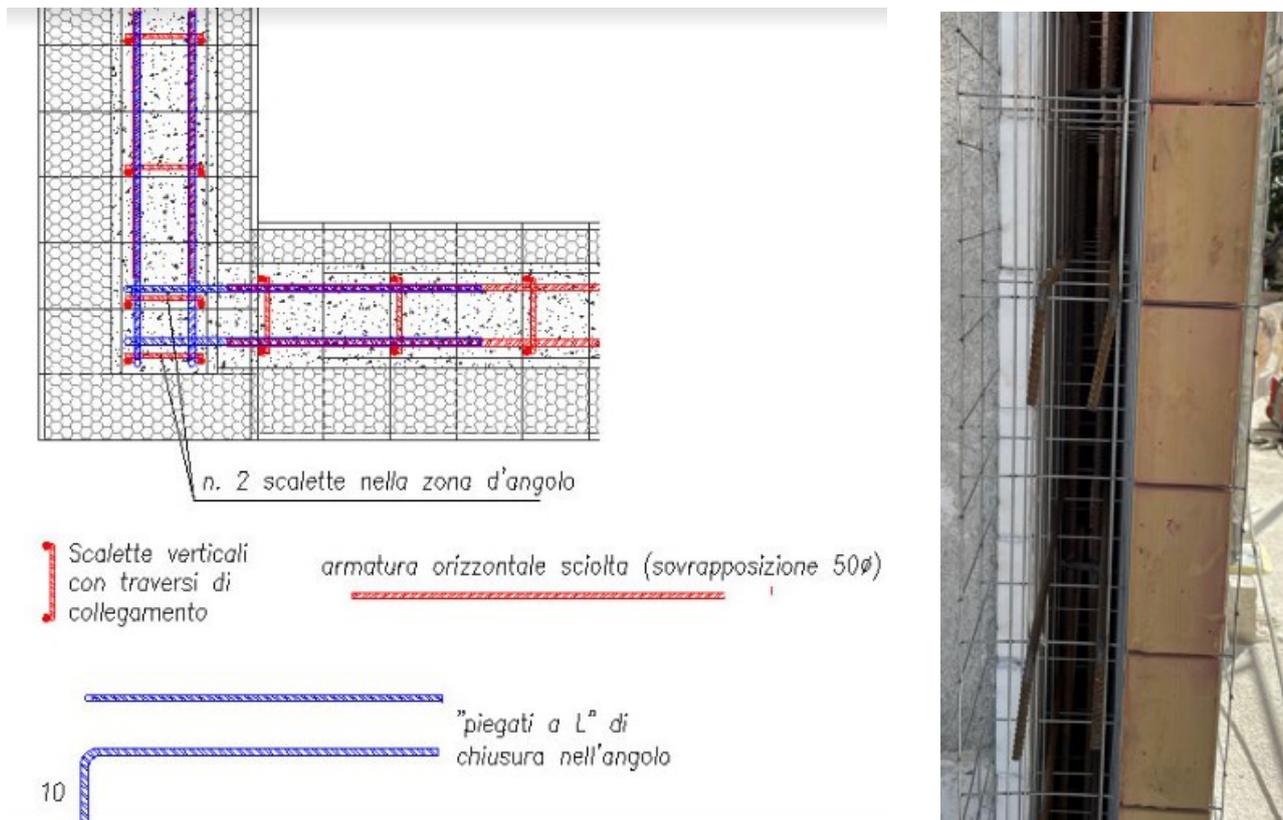
Figura 55 Dettaglio schema di posa angolo e immagine forcelle inserite in entrambe le direzioni a passo 15 cm.



Maglia doppia con ferri verticali esterni

Nei casi con armatura verticale esterna, è possibile utilizzare ferri sagomati a L come da dettaglio seguente.

Figura 56 Esempio con ammorsamento d'angolo con ferri orizzontali sagomati a L, maglia doppia



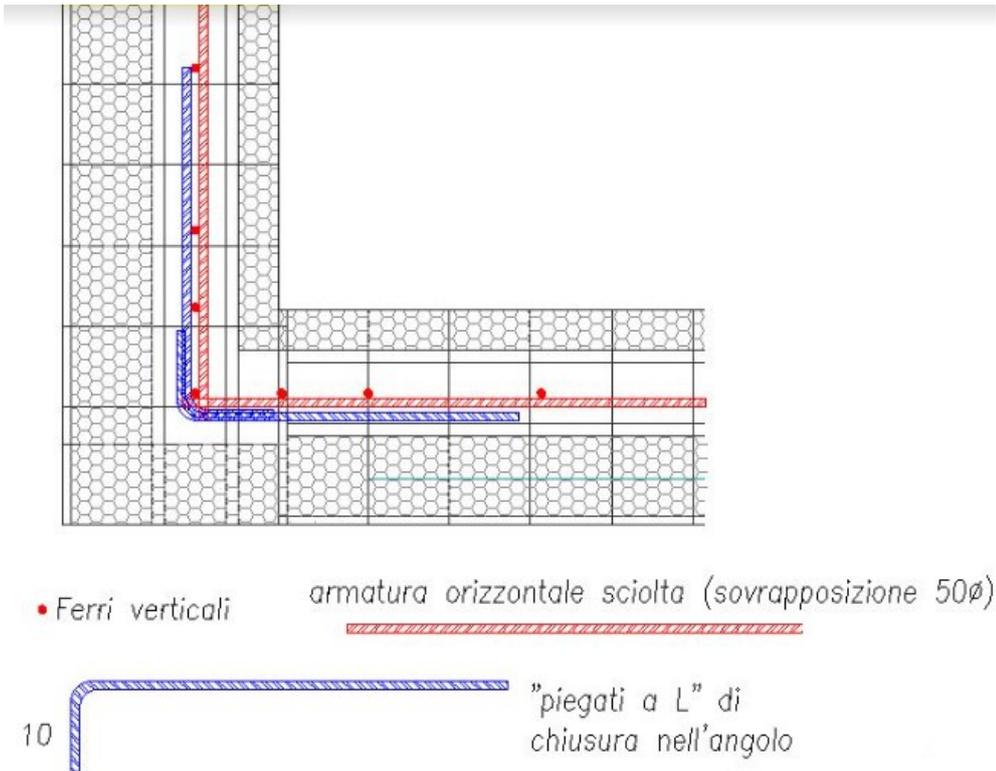
Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Il lato corto del ferro a L non dovrà essere più lungo di 10 cm per permetterne un agevole inserimento attraverso la rete 3D in entrambe le direzioni. Il ferro si ammorserà nei traversi delle scalette e pertanto il braccio corto sarà rivolto verso il basso come in foto.

Maglia singola baricentrica

Si utilizzerà un singolo ferro, piegato a L come nel caso precedente, ma con il braccio corto rivolto orizzontalmente agganciando i ferri verticali e sovrapponendosi a quelli orizzontali dell'armatura diffusa.

Figura 57 Esempio con ammorsamento d'angolo con ferri orizzontali sagomati a L, maglia singola



Aggetti di gronda e terrazzi

Senza possibilità di carotare o eseguire scassi localizzati

In questo caso vengono realizzati casseri più bassi rispetto all'altezza del piano, in modo tale da poter essere inseriti sui ferri di chiamata e per lasciare spazio per il successivo getto dall'alto. I ferri verticali potranno essere inseriti e fissati all'interno del cassero prima della posa, non potendoli calare successivamente. La fascia superiore sotto l'aggetto inizialmente lasciata libera andrà armata "a vista" (normalmente sarà occupata dalla gabbia del cordolo e dai connettori strutturali) e il getto verrà completato con betoncino proiettato di idonee caratteristiche.

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Figura 58 Esempi di cordoli sotto cornice da completare con calcestruzzo proiettato



A betoncino ancora fresco si poserà esternamente un pannello isolante di completamento fornito dal produttore che andrà a solidarizzarsi al betoncino una volta indurito, assicurandosi di non lasciare vuoti. Il pannello verrà tenuto in posizione con apprestamenti temporanei fino all'indurimento del getto, andando poi ad applicare una tassellatura per assicurare il fissaggio.

Suggerimento

È sempre preferibile operare "a cielo aperto", pertanto si consiglia quando possibile il taglio di aggetti e gronde ricostruendoli eventualmente in seguito, anche in maniera diversa. Ciò comporta una notevole semplificazione delle operazioni di posa dei casseri, armo e getto.

Nel caso di terrazzi ricostruiti, è spesso possibile sfruttare l'occasione per correggere il ponte termico della soletta a sbalzo e per recuperare lo spazio perso a causa dell'aumento di spessore della parete.

Figura 59 Esempio di terrazzo demolito e ricostruito per facilitare l'intervento con cappotto sismico, recuperare lo spazio perso nel terrazzo a causa dell'aumento di spessore e adattare le quote

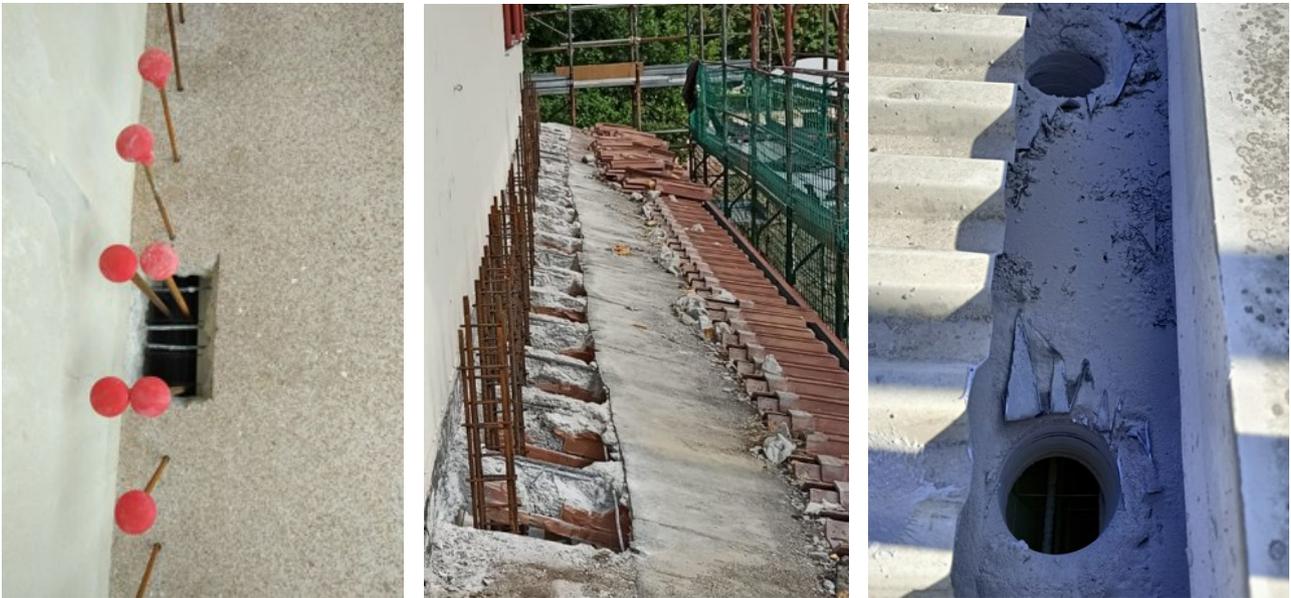


Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Con possibilità di carotare o eseguire scassi localizzati

In questo caso è anche possibile realizzare casseri a tutta altezza di piano, gettando dall'alto ed eventualmente inserendo anche il ferro verticale dall'alto; se quest'ultima operazione non è possibile, il ferro verticale di armatura può essere inserito all'interno del cassero prima di posarlo.

Figura 60 Scassi localizzati o carotaggi per passaggio del ferro e getto attraverso solette o solai in aggetto



Nel caso di pannelli a tutta altezza di piano posti sotto aggetti di gronda e terrazzi, i ferri di chiamata costituiscono un ostacolo alla posa del cassero in aderenza alla parete; ciò è superabile rimuovendo l'isolante posteriore, tagliando i fili orizzontali della rete 3D che bloccano il passaggio dei ferri di chiamata dentro al cassero e rimettendo in sede l'isolante una volta che il cassero è in aderenza alla parete. Si ricorda che ove la rete 3D viene tagliata il cassero perde rigidità e pertanto va rinforzato.

Varie ed eventuali

Non è possibile descrivere l'intera gamma di situazioni e ovviamente le modalità operative più adatte possono variare secondo molteplici fattori, non per ultimo la manualità e le preferenze delle squadre di posa. In tutti i casi occorre sfruttare la possibilità del cassero di:

- ✓ spostare le strisce di isolante;
- ✓ tagliare la rete 3D se necessario, rinforzando poi il cassero dall'esterno;
- ✓ pre-inserire il ferro dentro al pannello;
- ✓ movimentare insieme più pannelli unendoli anche sul retro;
- ✓ adattare il cassero.

Getto del calcestruzzo

Casserature e rinforzi minimi

Pur essendo un cassero autoportante e resistente alla spinta del getto, nei punti descritti è necessario prevedere dei rinforzi esterni.

Angoli e teste

La chiusura viene fornita a corredo come striscia verticale di isolante di pari spessore e tipologia. Andrà quindi realizzata una cassetta in contropinta per tutta la fascia verticale d'angolo fino a minimo 10 cm oltre lo spessore del cassero, su entrambe le facce del pannello d'angolo o sulla singola faccia di testa.

Figura 61 Chiusura di testa con inserimento di isolante e successiva cassetta su angolo



Nervature orizzontali

In corrispondenza delle nervature orizzontali andrà realizzata una cassetta in contropinta.

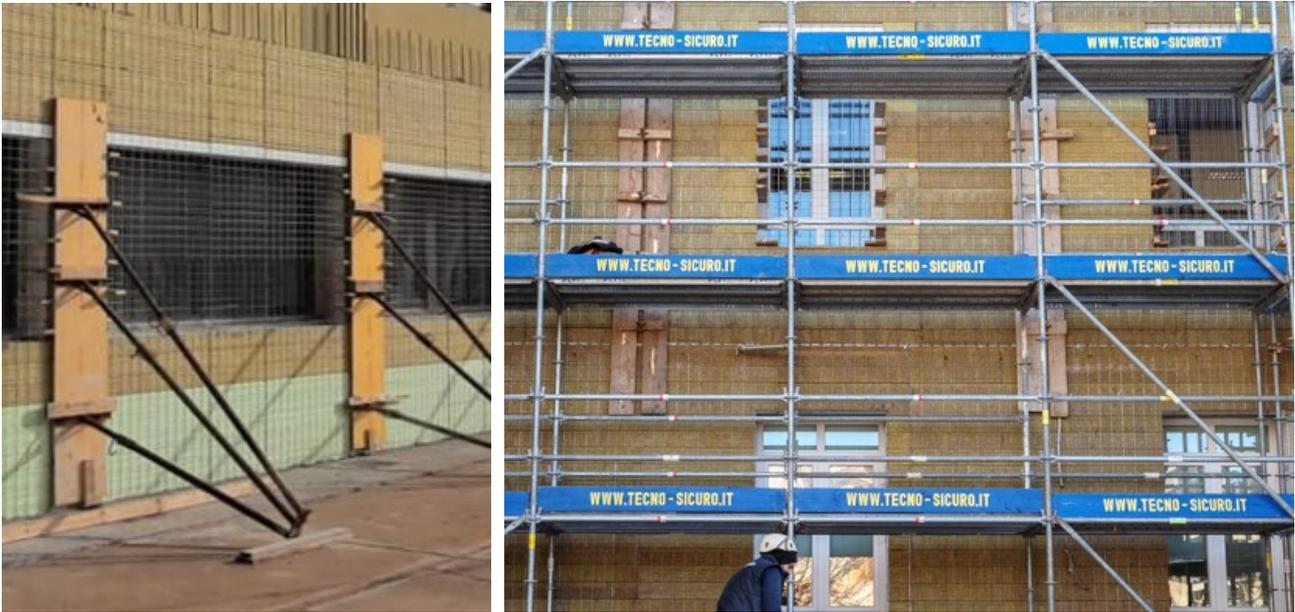
Figura 62 Casseratura su nervatura di cordolo sommitale presso istituto scolastico a Nervesa della Battaglia (TV)



Nervature verticali

In corrispondenza delle nervature verticali, e fino a minimo 10 cm oltre ai due lati delle nervature, andrà realizzata una cassetta in contropinta; la particolare attenzione in questi casi è data dal fatto che la colonna di calcestruzzo che genera la spinta è maggiore rispetto alle nervature orizzontali.

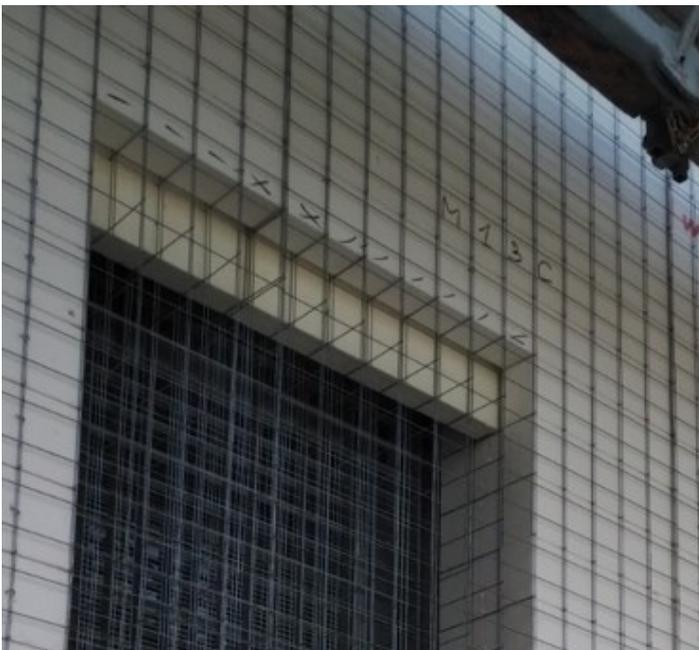
Figura 63 Esempi di cassetta su nervature verticali con puntelli da terra e con cravatte



Architravi

Gli architravi vengono già preparati chiusi in stabilimento con una chiusura di isolante generalmente in EPS 150 kPa da 5 cm, supportato della rete 3D. Quando la luce dell'apertura è ampia (*indicativamente* oltre i 2 m) e quando l'altezza dell'architrave è significativa (*indicativamente* oltre i 30-40 cm), si rendono necessari dei supporti aggiuntivi per impedire la deformazione dell'architrave. È consigliabile pre-gettare un paio di centimetri di calcestruzzo in corrispondenza dell'architrave durante le fasi iniziali di getto, garantendogli una rigidità e una resistenza migliore nel momento in cui il getto andrà completato.

Figura 64 Architrave sostenuto dalla rete 3D e da un blocco di EPS di rinforzo preparato in stabilimento



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

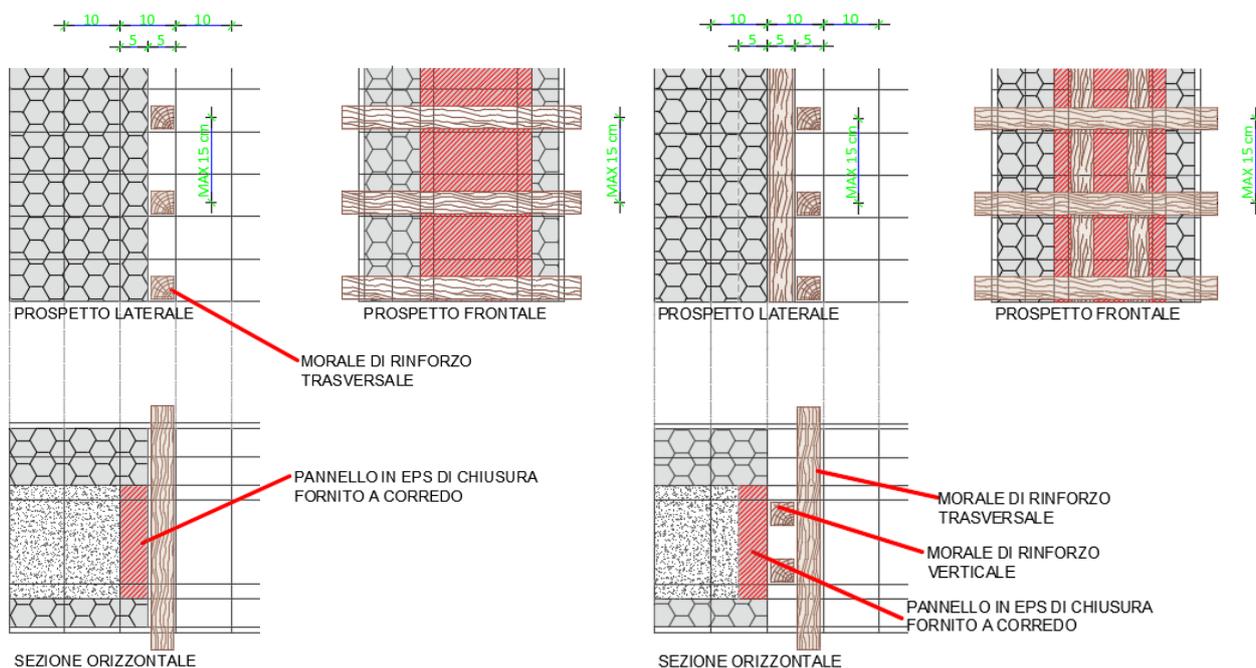
Spalle

Le spalle vengono fornite aperte e devono essere chiuse in opera con strisce di isolante pre-tagliate e fornite a corredo inseribili dall'alto prima del getto. Tali chiusure sono generalmente in EPS 150 kPa da 5 cm, e andranno sostenute da tavole o morali inseriti in opera sfruttando la rete 3D per assorbire la spinta del calcestruzzo. La posizione delle spalle può essere prevista a passi multipli di 5 cm, e verrà adattata in fase di disegno per minimizzare lo scostamento rispetto al filo desiderato.

Figura 65 Casseratura delle spalle con chiusura in EPS e tavolette o morali di legno posizionati entro la rete 3D per contrastare la spinta del getto



Figura 66 Schemi di sostegno delle chiusure laterali con soli morali di legno 5x5 cm



Altre casistiche

Tutti i punti in cui viene indebolita la rete 3D con tagli e sagomature di adattamento devono essere assunti cautelativamente come privi di resistenza e rinforzati esternamente.

Suggerimento

Alcuni spezzoni di armatura $\varnothing 8$ possono essere impiegati efficacemente come "cucitura" e rinforzo dei casseri prima del getto, posizionandoli sia in verticale che in orizzontale entro lo spessore della rete porta intonaco. Se ne consiglia l'utilizzo, ad esempio:

- ✓ *nei giunti orizzontali tra i casseri del piano inferiore e quelli del piano superiore, perché permettono di mantenere il filo esterno corretto e impediscono disallineamenti;*
- ✓ *per vincolare le fasce di completamento sotto gli aggetti e allinearle ai casseri inferiori gettati in precedenza;*
- ✓ *per rinforzare i punti in cui è stata tagliata parte della rete 3D indebolendo quindi la struttura autoportante del cassero;*
- ✓ *per rinforzare punti con getti in contropinta;*
- ✓ *per prevenire una deformazione eccessiva dei materiali più comprimibili come la lana di roccia in caso di getti troppo rapidi.*

Figura 67 Esempio di "cucitura" di rinforzo con spezzoni di armatura diametro 8 mm



Tipologia e caratteristiche del calcestruzzo

Avvertenze

La scelta della tipologia di calcestruzzo è di competenza del progettista delle strutture. Le modalità di prelievo in cantiere sono di esclusiva competenza della Direzione Lavori.

La determinazione della resistenza deriva dal calcolo strutturale e dipende da molti fattori quali le sollecitazioni, la sezione, la classe di esposizione, ecc. Vi sono però altre caratteristiche del calcestruzzo quali il diametro massimo dell'inerte e la classe di consistenza che devono essere indicate dal progettista delle strutture nelle relazioni e negli elaborati strutturali. Queste variano specialmente in virtù di:

- ✓ spessore di getto
- ✓ tipo di armatura
- ✓ copriferro e interferro
- ✓ possibilità di vibrare dall'interno

Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Per getti molto sottili, *indicativamente* di spessore pari a 10 cm o inferiore, può essere conveniente impiegare betoncini premiscelati, che vengono generalmente forniti in silos. Questo, a fronte di un aumento del costo del materiale, garantisce maggior autonomia in cantiere da parte dell'impresa che non è più vincolata alle tempistiche degli impianti di betonaggio e ai piazzamenti della betonpompa.

Suggerimento

La resistenza caratteristica di progetto può essere aumentata per ridurre la sezione di getto. Si sconsiglia di superare i 40 MPa perché nel caso di impiego esclusivo o integrativo di betoncini premiscelati si può riscontrare maggior difficoltà di reperimento.

Avvertenza

Non usare calcestruzzi autocompattanti (S.C.C.). In caso di calcestruzzi o betoncini superfluidi e con inerte molto sottile, si raccomanda particolare cautela nei getti.

Si raccomanda altresì di prestare attenzione ai controlli di accettazione nel caso di betoncini premiscelati che ricadano nella EN998-2 (malte per muratura).

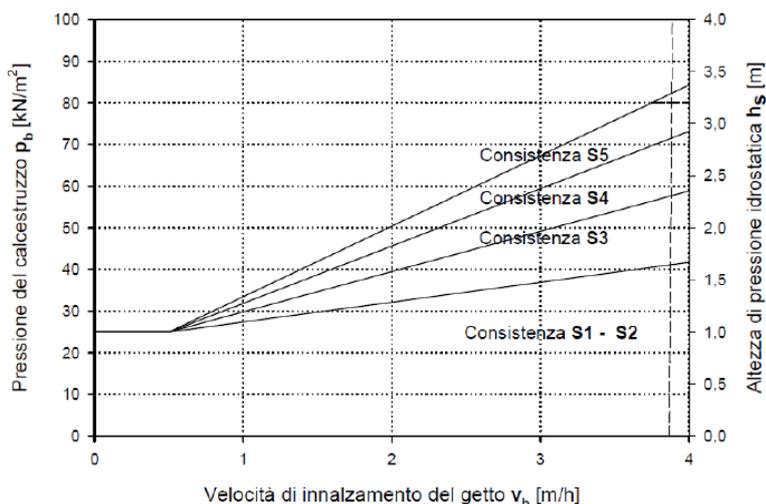
Modalità e velocità di getto

Il getto deve avvenire per fasce orizzontali di altezza omogenea, tenendo conto che la spinta esercitata dal calcestruzzo è fortemente condizionata da vari aspetti e in particolare modo da:

- ✓ altezza di getto nell'unità di tempo (velocità di getto)
- ✓ classe di consistenza

La marcatura ETA del cassero prevede la possibilità di gettare fino a 1 m/h di calcestruzzo di classe di consistenza S4: ciò significa che, in condizioni ideali, si potrà gettare una prima fascia di un metro e vi si potrà gettare la seconda fascia dopo almeno un'ora per dare il tempo al conglomerato di sviluppare la presa e ridurre la spinta da esso esercitata. In queste condizioni specifiche è quindi possibile gettare un intero piano di altezza 3 m circa con fasce di getto consecutive senza interruzioni. Per fluidità maggiori o in presenza di materiali isolanti meno rigidi (es. lana di roccia) può essere tuttavia necessario utilizzare una velocità di getto ridotta, anche fino a 0,30-0,50 m/h, per via della maggior spinta esercitata dal calcestruzzo soprattutto secondo la sua classe di consistenza.

Figura 68 Diagramma per la determinazione della pressione del calcestruzzo (ICF PROFESSIONAL ENGINEERING)



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

Altri aspetti che influiscono sulla spinta esercitata dal calcestruzzo sui casseri e che pertanto hanno un ruolo nella valutazione della velocità di getto sono:

- ✓ l'altezza dei casseri, in quanto va considerata la sovra-spinta derivante dalla caduta dall'alto del calcestruzzo. Anche per questo motivo la base dei casseri è la zona solitamente più sollecitata. Va inoltre posta attenzione al pericolo di segregazione dell'inerte.
- ✓ la modalità di getto, in quanto con la pompa viene impressa al calcestruzzo una velocità iniziale all'uscita dal tubo. Questo aspetto può essere ridotto gettando mediante apposite benne con tubo flessibile, utile specialmente per getti sotto gli sporti di copertura.

Figura 69 Benna con tubo flessibile



- ✓ la modalità di costipamento, le dimensioni e la potenza del vibratore
- ✓ la temperatura iniziale del conglomerato, che se freddo può ritardare la presa rispetto alle attese

Le riprese di getto sono ammesse.

Costipamento del getto

La marcatura ETA del cassero certifica la possibilità di vibrare il cassero dall'interno, che rimane la miglior forma di costipamento del getto per eliminare le bolle d'aria ed evitare fenomeni di segregazione degli inerti. Il costipamento del conglomerato, da eseguirsi di pari passo con i getti, avviene mediante tradizionali vibratorii con ago vibrante di diametro adatto alla sezione di getto. Sono in commercio vibratorii con motore esterno il cui ago raggiunge un diametro minimo di 25 mm, adatto alla vibratura di sezioni da 8-10 cm.

Avvertenze

Si raccomanda di utilizzare vibratorii adeguati alla sezione di getto, per non sollecitare eccessivamente i casseri.

La particolare conformazione dei casseri, con la presenza di fessure orizzontali di spessore 2 mm presenti a intervalli di 15 cm tra le strisce di isolante, aiuta l'allontanamento delle bolle d'aria presenti nel conglomerato, riducendone significativamente il percorso di uscita verso l'esterno. Le suddette fessure permettono altresì l'evacuazione dell'acqua in eccesso.

Verifica dei risultati

A getti induriti la Direzione Lavori può richiedere l'apertura di una o più "finestre" nell'isolante esterno per valutare l'efficacia del riempimento del cassero. A seguito di questa operazione l'isolamento e la rete porta intonaco andranno ripristinati. Si consiglia comunque di eseguire questa operazione in punti che poi vengano nascosti da manufatti, battiscopa, riporti di terreno o altro.

Esempi

A titolo puramente indicativo si riportano di seguito tre combinazioni tipiche:

SPESSORE DI GETTO	20 cm	12 cm	8 cm
TIPO DI ARMATURA	Doppia maglia	Doppia maglia	Maglia singola baricentrica
COSTIPAMENTO	Meccanico con vibratore ago vibrante D≤50 mm	Meccanico con vibratore Ago vibrante D≤35 mm	Meccanico con vibratore ove possibile Ago vibrante D=25 mm
CLASSE DI CONSISTENZA CONGLOMERATO	Fluida (S4)	Superfluida (S5)	Superfluida (S5)
DIAMETRO MASSIMO INERTE	20 mm	15 mm	6-10 mm

Operazioni conclusive

Taglio reti in corrispondenza delle aperture

A getto indurito è possibile rimuovere la rete 3D in corrispondenza delle aperture, recuperando i morali e le tavole in legno utilizzate per rinforzare le chiusure delle spalle. Per eseguire questa operazione può essere utilizzato un tronchese oppure una smerigliatrice angolare ("flessibile") con apposito disco idoneo per il taglio del metallo, per velocizzare le operazioni.

Figura 70 Taglio delle reti 3D dalle aperture



Verifica e ripristino di fessure

Tra i casseri oppure in aderenza a un elemento dell'edificio (ad esempio sotto a un oggetto) possono rimanere delle fessure che vanno saturate con il medesimo materiale isolante o in alternativa con schiuma poliuretanicamente elastica al fine di correggere l'isolamento e saturare i vuoti.

Figura 71 Schiumatura dell'intercapedine tra cassero e soletta in c.a.



Nel caso in cui le reti porta intonaco dei casseri non siano aderenti tra loro (ad esempio a causa di imprecisioni di posa), specie in corrispondenza dei giunti tra piano inferiore e piano superiore, in seguito alla saturazione della fessura con isolante o schiuma andrà operata una cucitura di sormonto utilizzando la pinza e i punti utilizzati per l'unione dei pannelli. Si potrà utilizzare una rete zincata da massetti Ø2 mm oppure la rete in eccesso recuperata dalle aperture. In questo modo verrà data continuità alla rete porta intonaco.

Finitura

Una delle caratteristiche del sistema è la finitura a intonaco che risulta rinforzato dalla rete porta intonaco in acciaio zincato integrata nel cassero. Il ciclo prevede:

FASE 1 - RINZAFFO: Aggrappante a base cementizia per superfici in calcestruzzo e materiali isolanti. Si utilizza una malta secca composta da cemento Portland, sabbie classificate ed additivi specifici per migliorare la lavorazione e l'adesione al supporto.

FASE 2 - INTONACO DI FONDO: Applicazione dell'intonaco di fondo a base di calce e cemento in due mani. Composizione: malta secca composta da calce idrata, cemento Portland, sabbie classificate ed additivi specifici per migliorare la lavorazione e l'adesione.

L'applicazione dell'intonaco sarà eseguita in due mani: la prima a copertura della rete porta intonaco in acciaio zincato, la seconda per dare un copri ferro alla rete di almeno 10mm. La seconda applicazione deve avvenire con la tecnica del "fresco su fresco". Andranno applicati gli idonei paraspigoli inox.

Figura 72 Fasi 1 e 2: rinzaffo e intonaco di fondo applicati con macchina intonacatrice



Modalità operative per la realizzazione di esoscheletri entro casseri a rimanere per l'efficientamento integrato di edifici esistenti

FASE 3 - RASATURA: Rasante premiscelato a basso modulo elastico. L'applicazione della rasatura sarà eseguita in duplice mano con annegamento di una rete in fibra di vetro alcali-resistente (150gr/mq) tra le due mani.

FASE 4 - FINITURA: La finitura dovrà essere realizzata a spessore applicando un intonachino acril-silossanico, previa stesura a rullo di primer.

Figura 73 Fasi 3 e 4: rasatura armata, primer e intonachino



Figura 74 Effetto prima-dopo l'applicazione del sistema cappotto sismico



È tuttavia possibile usare anche rivestimenti in pietra, laterizio, ceramica o realizzare una parete ventilata.

Considerazioni finali

Si è descritto nei dettagli uno dei metodi più noti per la realizzazione della tecnica del cappotto sismico, che tuttavia non è esclusivo: resta la possibilità di ottenere gli stessi risultati da un punto di vista strutturale anche utilizzando le tradizionali casseforme e i sistemi più comuni della tecnica delle costruzioni. Per trovare un'equivalenza anche dal punto di vista dell'isolamento termico e della finitura sarebbe invece necessario utilizzare sistemi a cappotto "robusti", cioè intonacati e con reti metalliche di supporto, che permettano inoltre la scelta di materiali isolanti diversi dall'EPS.

Ciò premesso, le esigenze del mercato stanno dimostrando sempre di più la necessità di un sistema rapido e *off-site* che sposti alcune lavorazioni dal cantiere allo stabilimento. L'organizzazione stessa delle imprese si è modificata in epoca recente, dimostrando la tendenza a formare e impiegare sempre meno manodopera diretta: diventa perciò strategico disporre di sistemi collaudati che siano alla portata di qualsiasi squadra di carpentieri adeguatamente formata e che assicurino metodi e risultati più standardizzati.

Allo stesso modo si è reso necessario per l'azienda disporre di un quaderno tecnico che potesse formare e informare i tecnici che desiderano proporre questo approccio o che si trovano a vario titolo coinvolti in un intervento di miglioramento o adeguamento sismico con la tecnica del cappotto sismico.

Dopo una fase di avvio e di miglioramento progressivo delle prassi progettuali, produttive e applicative, si è ritenuto utile dare una cornice alla vasta gamma di situazioni applicative per cui il sistema è stato concepito.

Riferimenti

- Cresme Ricerche e Ingegneria Sismica Italiana. (2018). *Incentivi e riduzione del rischio sismico in Italia. Cosa fare, come fare.*
- Ecosism srl. (s.d.).
- EOTA. (s.d.). ETAG 001:1997. *“Ancoranti metallici per uso nel calcestruzzo”.*
- EOTA. (s.d.). ETAG 009:2002. *Non load-bearing permanent shuttering Kits/Systems based on Hollow Blocks or Panels of insulating materials or concrete.*
- Fischer Italia S.r.l. (2020, ottobre 19). Rilievo laser scanner. Riccione.
- Gigliotti, R. (2013).
- ICF PROFESSIONAL ENGINEERING. (s.d.). Tratto da www.icfpro.it.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (2022). Tratto da <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>
- ITS S.r.l. (s.d.). Tratto da www.itsantisismica.it: <https://www.itsantisismica.it/rinforzo-strutturale-nodi-pilastro-trave-c/>
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2017). Allegato A "Linee Guida per la classificazione sismica delle costruzioni" di cui al DM dal DM 58/2017 e s.m.i.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2018, gennaio 17). D.M. 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*.
- Missione Casa Italia - Presidenza del Consiglio dei Ministri. (2017). *Rapporto sulla Promozione della sicurezza dai Rischi naturali.*
- Rudello, D. (2020). Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale. *Soluzione integrata per l'efficientamento sismico ed energetico. Caso studio e valutazione della sicurezza nella fase di posa in opera.*
- Scotta, I. R. (2018, Giugno). *Relazione interpretativa del comportamento del sistema Cappotto Sismico Ecosism® sulla base dei risultati sperimentali ottenuti dalla campagna di prove effettuata.*
- Servizio Studi Camera dei Deputati. (2022, marzo 1). Tratto da <https://www.camera.it/temiap/documentazione/temi/pdf/1116493.pdf>
- Ufficio Speciale Prevenzione e Protezione - Università di Roma La Sapienza. (2014). *Il carrello elevatore utilizzo in sicurezza.*

Grazie ai miei genitori, per averci creduto e sperato anche più di me. Auguri per i tuoi 70 anni, mamma.

Grazie a mio fratello, perché se voglio parlare di ingegneria so a chi rivolgermi in famiglia.

Grazie ai miei amici, per non avermi mai fatto sentire in difetto.

Grazie ai miei colleghi passati e presenti per il confronto quotidiano, da voi ho imparato tanto e spero di avervi insegnato qualcosa a mia volta.

Grazie ai miei datori di lavoro, per la fiducia che mi date.

Grazie al mio relatore, che mi ha dato gli strumenti per arrivare al traguardo.

Grazie soprattutto a mia moglie per avermi spronato e ispirato ogni giorno e per avermi aiutato in modo determinante nella nostra vita quotidiana. Non sarei certamente riuscito a completare gli studi senza di lei e per ricambiare non mi basta questa vita.