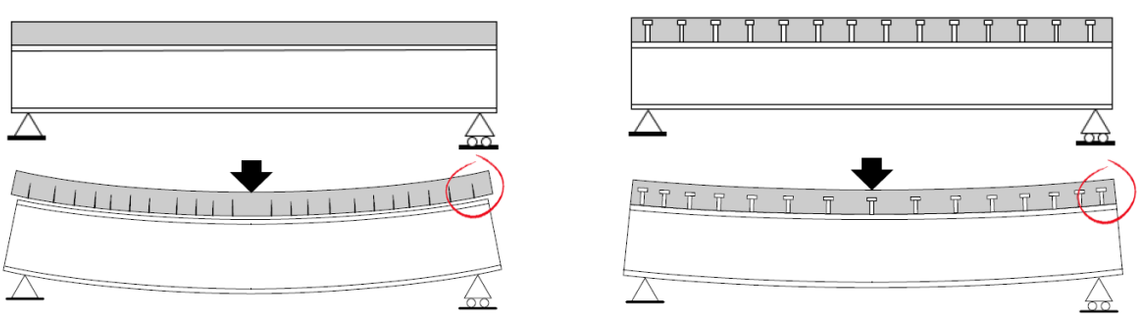
CONNETTORI PER LE STRUTTURE COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO

GENERALITÀ

Nelle strutture composte si definiscono sistemi di connessione i dispositivi atti ad assicurare la trasmissione delle forze di scorrimento tra acciaio e calcestruzzo. In questa nota tecnica verrano presentati sia soluzioni tradizionali con pioli saldati sia soluzioni innovative con connettori a fissaggio diretto.

Lo scopo dei connettori, ad esempio di quelli a taglio, è quello di garantire la connessione meccanica tra le travi in acciaio e le solette in calcestruzzo sovrastanti: In questo caso il sistema di connessione è progettato pertanto per resistere alle forze di taglio che agiscono all'interfaccia tra questi elementi strutturali, favorendo un comportamento congiunto.

Con l'uso dei connettori a taglio viene a crearsi un vincolo a livello di deformazione che consente di aumentare notevolmente sia la resistenza sia la rigidezza del sistema strutturale.



Comportamento deformativo di un sistema non collaborante (a sinistra) e di un sistema collaborante (a destra)

Nel caso di sistema **non-collaborante** la trave in acciaio e la soletta di calcestruzzo si flettono indipendentemente l'una dall'altra, mentre nel caso di sistema **collaborante** i connettori a taglio inducono la trave in acciaio e la soletta a deformarsi come un unico elemento.

I sistemi collaboranti hanno applicazioni:

- nella realizzazione di **nuovi solai collaboranti**, grazie ai quali è possibile ottenere una certa ottimizzazione funzionale degli spazi e del comfort (vibrazioni, isolamento acustico), impiegati in alternativa ai controventi di piano, facilitando oltretutto la modellazione strutturale;
- nell'**adeguamento di solai esistenti** per i quali è spesso necessario aumentarne la portata nei casi di cambio di destinazione d'uso e in generale ai fini di un miglioramento del

comportamento sismico dell'edificio e riducendone i potenizali meccanismi di collasso, per esempio realizzando un solaio rigido garantendo anche la connessione delle armature della soletta alla muratura, migliorando così la distribuzione delle sollecitazioni a taglio sui paramenti e riducendo il rischio di eventuali meccanismi di collasso.

Posa di connettori a fissaggio diretto per il consolidamento di solai esistenti

PROGETTAZIONE

La progettazione dei sistemi di connessione acciaio-calcestruzzo, e quindi dei connettori, è disciplinata dalle seguenti principali normative:

- D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni 2018
- UNI EN 1994-1-1 – Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

Le NTC 2018 al § 4.3.4.3 – *Sistemi di connessione acciaio-calcestruzzo* forniscono indicazioni generali sui sistemi di connessione tra la trave metallica e la soletta in calcestruzzo, e indicazioni specifiche per il calcolo della connessione con connettori duttili, fra cui:

- Disposizione dei connettori e limitazioni, ad esempio in termini di **duttilità** e quindi la capacità deformativa sufficiente al fine di consentire l'adozione dell'ipotesi di comportamento plastico ideale nella sezione considerata;
- Resistenza a taglio dei connettori tenendo in conto, nei casi in cui è presente la lamiera grecata, degli opportuni fattori di riduzione che variano a seconda della geometria del sistema di connessione;
- Valutazione delle sollecitazioni di taglio agenti sul sistema di connessione attraverso il calcolo della forza di scorrimento per unità di lunghezza attraverso l'analisi lineare elastica, l'analisi non lineare o, nel caso di connettori duttili, la teoria plastica;
- Dettagli costruttivi della zona di connessione a taglio.

Le attuali Norme Tecniche, al § 4.3.4.3.1.2, permettono di calcolare la resistenza di progetto a taglio dei pioli saldati in modo automatico con collare di saldatura normale, attraverso apposite formulazioni.

La resistenza di tutte le altre tipologie di connettori a piolo è definita all'interno della Valutazione Tecnica Europea (*European Technical Assessment* – ETA) per il prodotto specifico, basata sugli EAD (European Assessment Document) i quali sono Specifiche tecniche armonizzate sviluppate dall'EOTA (European Assessmente for Technical Assessment), scaricabili dal loro sito dal seguente link:

- https://www.eota.eu/eads

Oltre ai connettori a taglio, esistono altre tipologie di connettori impiegati per le strutture composte acciaio-calcestruzzo, le quali vengono classificate dalle NTC 2018 nelle seguenti categorie:

– connessioni a staffa;

– connessioni composte da connettori a taglio e a staffa;

– connessioni ad attrito.

Per questi altri tipi di connettori, quali connettori a pressione, uncini e cappi, connettori rigidi nelle solette piene, la resistenza a taglio si deve valutare secondo normative di comprovata validità.

TIPOLOGIE DI CONNETTORI A PIOLO

Nel presente approfondimento vengono contemplati i **connettori a taglio**, ossia i sistemi utilizzati nella maggior parte dei casi.

Pioli saldati

I pioli saldati, detti anche "prigionieri", sono un tipo tradizionale di connettori a taglio.

Generalmente i pioli mostrano un comportamento duttile e hanno una buona resistenza alle azioni di taglio orizzontali e al sollevamento verticale: al taglio orizzontale si oppone il gambo mentre il sollevamento verticale è impedito dalla testa.

Quando si utilizza la lamiera grecata nei solai misti, può essere richiesto che i pioli siano saldati attraverso la lamiera oppure che la lamiera sia preforata e dotata di pioli presaldati.

La saldatura dei pioli connettori viene garantita utilizzando diverse tecniche di saldatura, fra cui:

- la saldatura di prigionieri ad arco con ferrula ceramica o gas protettivo;
- la saldatura di prigionieri ad innesco mediante sollevamento a ciclo breve;
- la saldatura di prigionieri a scarica capacitiva con il metodo di innesco alla punta e/o a innesco.

La saldatura dei pioli noti anche col da dicitura "tipo Nelson" avviene con tecnica ad arco con apporto di ferula ceramica a contenimento del bagno di saldatura e con l'impiego una sfera in alluminio posta al centro della base di saldatura, la quale durante il processo provvede a disossidare l'area di saldatura garantendo un risultato ottimale.

Generalmente si ottiene una saldatura a piena penetrazione nel materiale base, fondendo piolo e trave in un unico elemento strutturale e generando quindi un completo ripristino di resistenza.

Caratteristiche principali

- Non serve forare, filettare e svasare la trave sottostante;
- Solitamente non serve aggiungere un terzo materiale d'apporto tra le parti;
- Piena penetrazione del perno nel materiale base;
- Elevati valori di tenuta meccanica e resistenza ad affaticamento da vibrazioni;
- Elevata velocità di saldatura che garantisce grande produttività;
- Il connettore può essere anche saldato sulla trave attraverso la lamiera, ma è richiesto un grande assorbimento di energia elettrica e necessità di attrezzature e personale idonei;

- La saldatura richiede manodopera qualificata/esperta;
- La qualità della saldatura dipende ampiamente dalle condizioni climatiche del sito (es. umidità, basse temperature, ecc.), ma anche di quelle superficiali della trave;
- Ampi controlli di qualità necessari;
- La presenza di cavi e l'equipaggiamento ingombrante (es. generatori, quadri elettrici) rendono le operazioni più complesse, riducendo la sicurezza in cantiere per l'operatore, riducendo in parte la produttività del cantiere, anche per i costi di mobilitazione;
- I lavori di finitura devono essere fatti dopo la saldatura su travi rivestite/verniciate;
- Se l'installazione viene fatta in stabilimento, il trasporto può essere più complesso e i pioli possono deformarsi, rendendo difficoltose le successive lavorazioni;
- L'abilità dell'operatore condiziona fortemente l'affidabilità del fissaggio. In presenza di profili con vernice protettiva o travi corrose (i.e. consolidamenti), la posa risulta complessa.

Materiali

L'acciaio costituente i progionieri deve rispettare le prescrizioni di cui al § 11.3.4.7 delle NTC 2018, in particolare:

"11.3.4.7 CONNETTORI A PIOLO

Nel caso si utilizzino connettori a piolo, l'acciaio deve essere qualificato ed idoneo al processo di formazione dello stesso e compatibile per saldatura con il materiale costituente l'elemento strutturale interessato dai pioli stessi. Esso deve avere le seguenti caratteristiche meccaniche:

– allungamento percentuale a rottura (valutato su base $L_0 = 5{,}65\sqrt{A_0}$ *, dove* A_0 *è l'area della sezione trasversale del saggio) ≥ 12;*

– rapporto ft / fy ≥ 1,2.

Quando i connettori vengono uniti alle strutture con procedimenti di saldatura speciali, senza metallo d'apporto, essi devono essere fabbricati con acciai la cui composizione chimica soddisfi le limitazioni seguenti:

C ≤ 0,18%, Mn ≤ 0,9%, S ≤ 0,04%, P ≤ 0,05%

Per essi si applica quanto riportato al § 11.3.4.10 per le officine per la produzione di elementi strutturali in serie."

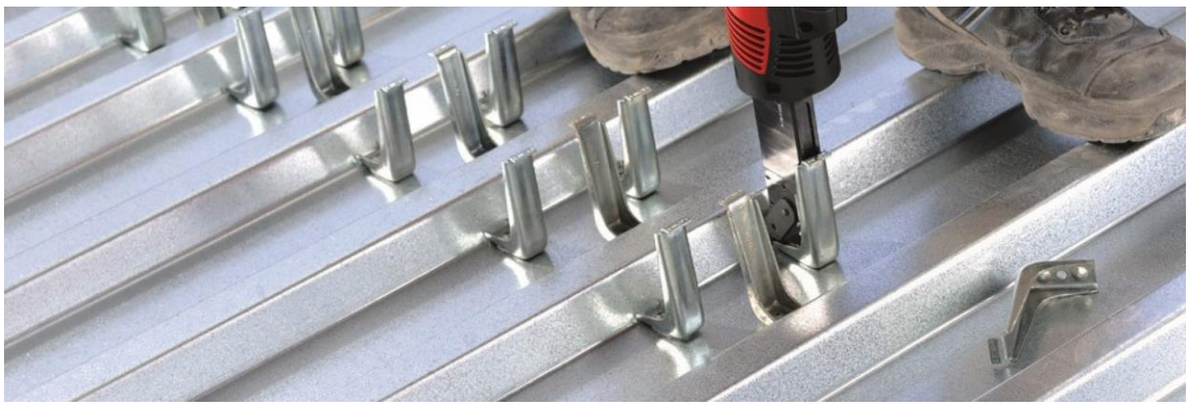
La norma UNI EN 1090-2 inoltre richiede che i prigionieri di saldatura ad arco debbano essere conformi ai requisiti della norma UNI EN ISO 13918:2018 – *Saldatura – Prigionieri e ferrule ceramiche per la saldatura ad arco dei prigionieri*.

Esecuzione e controlli

La saldatura dei connettori deve essere effettuata in conformità alla norma UNI EN ISO 14555, così come indicato nelle NTC 2018 al par. 11.3.4.5:

"Per la saldatura ad arco di prigionieri di materiali metallici (saldatura ad innesco mediante sollevamento e saldatura a scarica di condensatori ad innesco sulla punta) si applica la norma UNI EN ISO 14555:2017; valgono perciò i requisiti di qualità di cui al prospetto A1 della appendice A della stessa norma."

Connettori a fissaggio diretto (tipo X-HVB®)

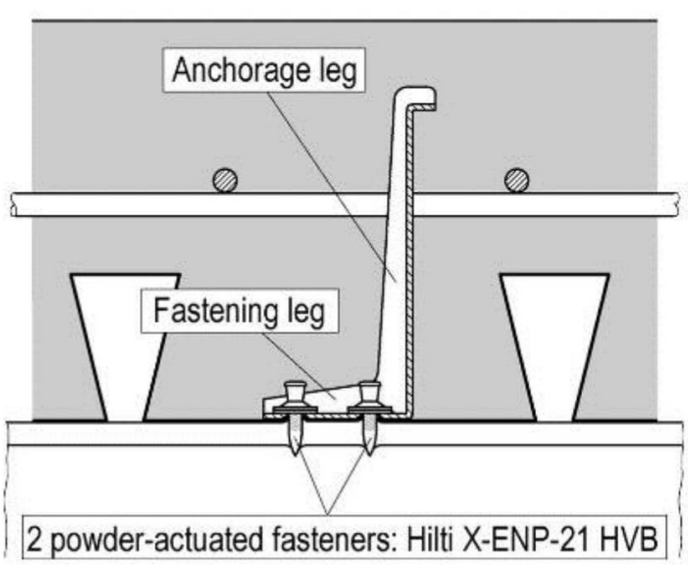


Esistono in commercio differenti tipologie di connettori a fisaggio diretto, ciascuna delle quali presenta specifiche caratteristiche meccaniche e di posa. Di seguito si presenta un esempio di sistema di connessione per solai misti acciaio-calcestruzzo di un determinato produttore: X-HVB®.

Questi connettori sono duttili ai sensi della EN 1994-1-1, par. 6.6, e sono progettati per resistere a sforzo di taglio longitudinale, mentre il sollevamento verticale è generalmente impedito dalla testa e dai chiodi.

Questa tipologia di connettori è idonea per la connessione tra solette in calcestruzzo e travi in acciaio con o senza lamiera in acciaio.

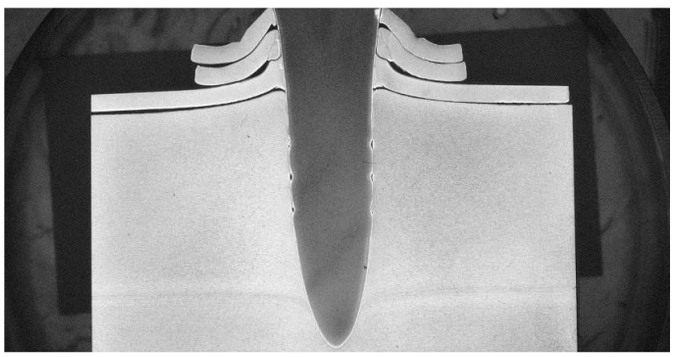
I connettori a taglio presentano una particolare forma a "L", sono realizzati per formatura a freddo e sono costituiti da testa, gambo di ancoraggio e base per il fissaggio. Il gambo viene annegato nel calcestruzzo, mentre la base è fissata alla trave in acciaio con due chiodi X-ENP-21 HVB® tramite un'inchiodatrice azionata con propulsori.



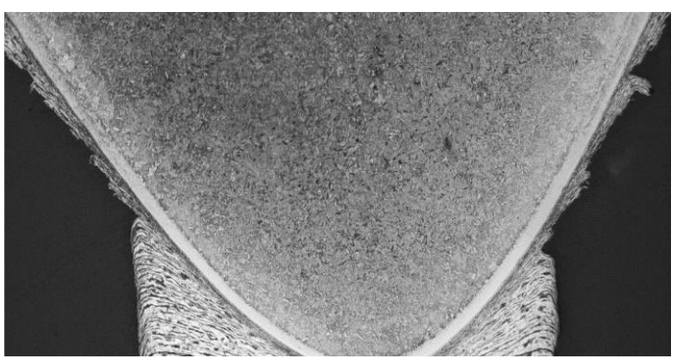
Dettaglio connessione acciaio-calcestruzzo

La resistenza e affidabilità del fissaggio è garantita da quattro meccanismi di tenuta.

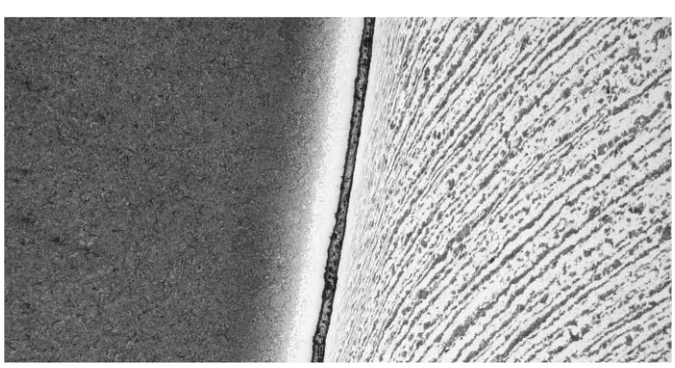
Serraggio: la pressione generata sulla superficie laterale del chiodo a seguito della penetrazione fissa il chiodo nel materiale base.



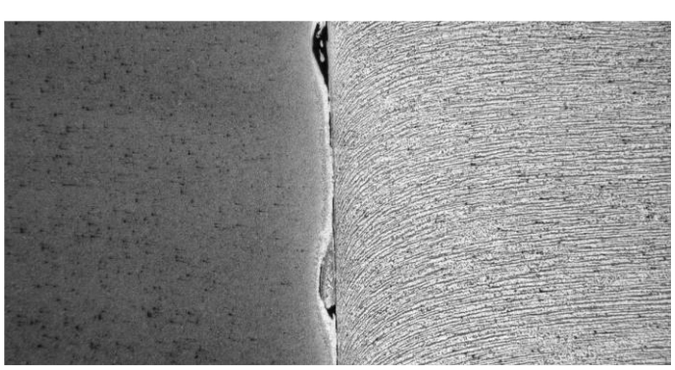
Saldatura o fusione: il calore generato dalla penetrazione provoca un effetto di saldatura tra la superficie del chiodo e il materiale base



Brasatura: il chiodo è ricoperto da un importante strato di zinco. Durante la penetrazione lo strato di zinco si brasa al materiale base, aumentando la resistenza del fissaggio.



Attrito: durante la penetrazione, nelle scanalature lungo il gambo del chiodo si accumulano particelle di acciaio del materiale base e di zinco.



Caratteristiche principali

- Evitano il pre-punzonamento della lamiera grecata;
- Il posizionamento dei connettori non è influenzato dai trattamenti della superficie delle travi;
- Possono essere installati su travi rivestite o dipinte senza nessuna ulteriore lavorazione;
- Particolarmente adatti nei casi di rinforzo dei solai esistenti negli interventi di ristrutturazione/ammodernamento e recupero di edifici: i pioli vengono fissati meccanicamente alle travi esistenti che faranno da appoggio alle nuove solette;
- Attrezzatura di installazione semplice ed economica: non è richiesta corrente elettrica per l'installazione;
- Installazione facile e veloce (fino a 100 connettori/h) che consente una programmazione flessibile del lavoro in cantiere;
- La qualità dell'installazione non dipende dalle condizioni in situ, come ad esempio l'umidità, l'eventuale presenza di ruggine sulla superficie, ecc.
- Non è richiesta manodopera specializzata per l'installazione;
- Non essendo richiesta alcuna saldatura, questi sistemi possono essere impiegati pressoché in ogni condizione di cantiere (es. luoghi di lavoro con determinate misure antincendio);
- Semplici procedure di controllo.

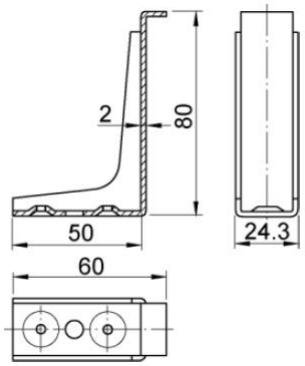
Materiali e durabilità

Componente	**Materiale**
Connettore a taglio tipo X-HVB:	Acciaio di qualità non legato DC04, ai sensi della EN 10130 Rivestimento in zinco: ≥ 3 µm
Chiodo tipo X-ENP-21 HVB:	Acciaio al carbonio C67S, ai sensi della EN 10132-4, temprato, rinvenuto e zincato - durezza nominale: 58 HRC Rivestimento in zinco: ≥ 8 µm
Rondella tipo X-ENP-21 HVB:	Acciaio di qualità non legato DC01, ai sensi della EN 10139 Rivestimento in zinco: ≥ 10 µm

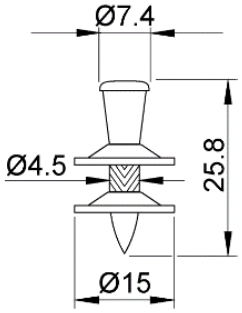
Componenti e dimensioni di gamma

Il sistema è composto dai seguenti elementi:

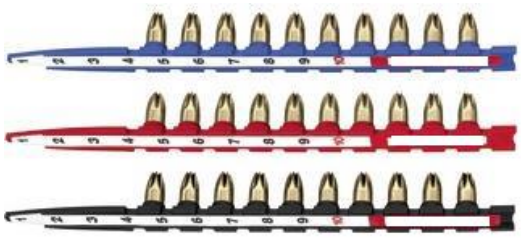
- connettore a taglio X-HVB



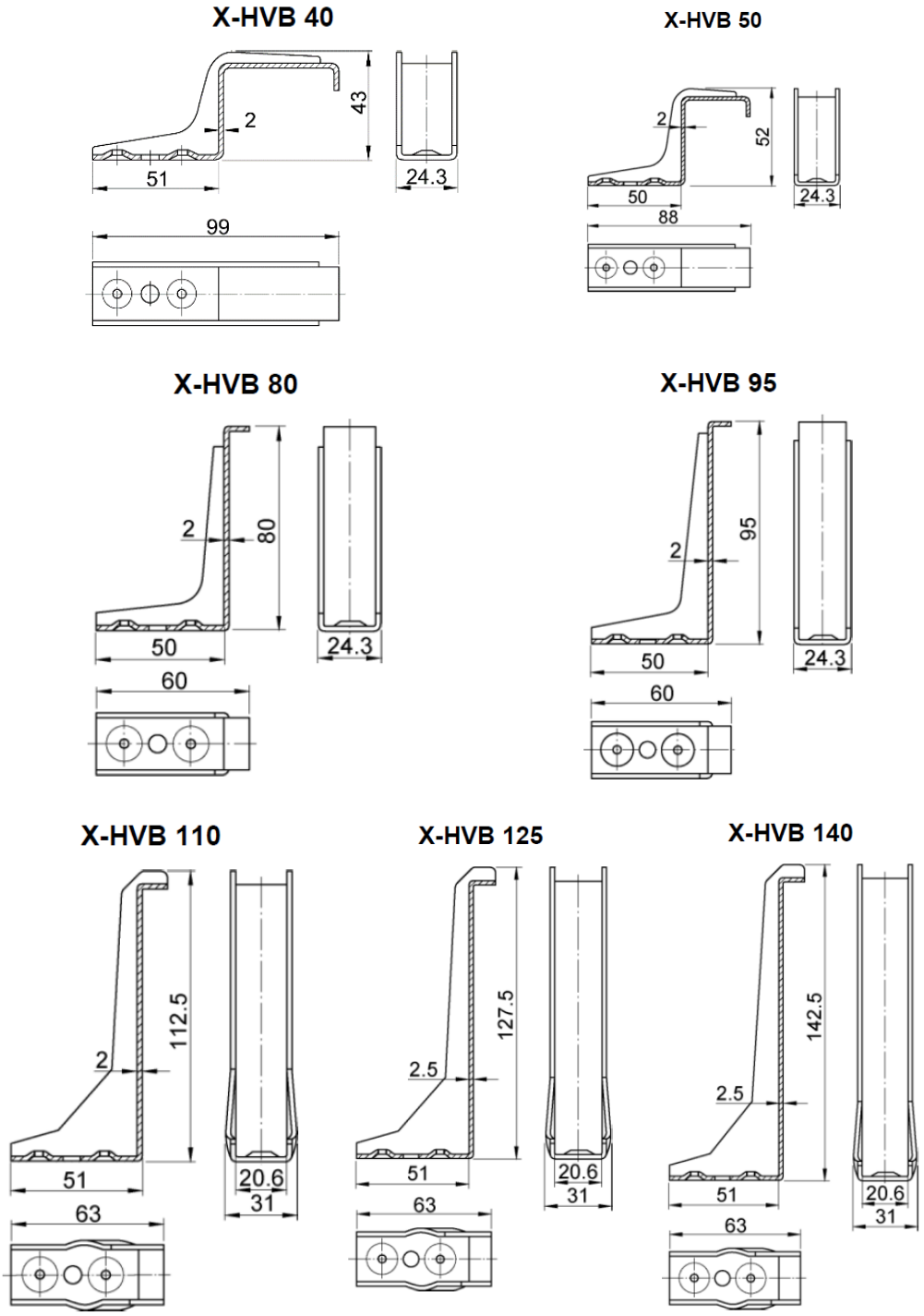
- due chiodi X-ENP-21 HVB per ogni connettore



- utensili per il montaggio: propulsori 6.8/18M e pistola inchiodatrice



Questi particolari connettori a taglio sono disponibili in diverse altezze del gambo di ancoraggio da scegliere a seconda delle caratteristiche della lamiera grecata e delle configurazioni della soletta utilizzate.



Dimensioni pioli tipo X-HVB

NOTA: i connettori X-HVB 40 e X-HVB 50 sono utilizzati specificatamente per solette sottili senza lamiera grecata.

Specifiche per la progettazione

Il sistema X-HVB ha lo scopo di fornire una connessione tra acciaio e calcestruzzo in travi miste e strutture composite ai sensi della EN 1994-1-1, in edifici nuovi oppure per la ristrutturazione di edifici esistenti.

Al fine di garantire che il sistema funzioni correttamente, devono essere presi in considerazione i seguenti fattori:

Tipo di carico

Carichi statici, quasi statici e sismici. In quest'ultimo caso se impiegati come connettori a taglio in travi composte progettate come elementi sismici secondari in strutture dissipative e non dissipative ai sensi della UNI EN 1998-1.

Materiale di base

Utilizzabili per la connessione a taglio su acciai strutturali S235, S275 e S355 nelle qualità JR, JO, J2, K2 ai sensi della EN 10025-2, con uno spessore minimo di 6 mm (per maggiori dettagli è necessario fare riferimento al Benestare Tecnico Europeo ETA-15/0876).

Possibilità di applicazione su acciai di vecchia produzione e che pertanto non possono essere classificati in questo modo, a patto che siano realizzati con acciaio al carbonio non legato con una resistenza minima allo snervamento f_y di 170 N/mm².

Classe del calcestruzzo

Utilizzabili nelle seguenti classi di calcestruzzo:

- Calcestruzzo di peso normale C20/25 ÷ C50/60
- Calcestruzzo leggero LC20/22 ÷ LC50/55, con una densità grezza $\rho \geq 1750$ kg/m^3
- Possibilità di applicazione anche per calcestruzzi con densità $\rho \leq 1750$ kg/m^3

Copriferro in calcestruzzo

Come specificato nella EN1994-1-1, par. 6.6.5.2, se è richiesto un copriferro in calcestruzzo (classe di esposizione identificata nella EN1992-1-1, tabella 4.1), il copriferro in calcestruzzo nominale può essere inferiore di 5 mm ai valori della EN1992-1-1, tabella 4.4 ma non inferiore a 20 mm.

Se non è richiesta una copertura in calcestruzzo, la norma consente che la sommità del connettore a taglio sia a livello con la sommità della soletta in calcestruzzo.

Spessore della soletta

Gli spessori raccomandati delle solette in calcestruzzo per i diversi tipi di X-HVB sono elencati nella seguente tabella:

	Senza effetto corrosione [mm]	Con effetto corrosione [mm]
X-HVB 40	50	60
X-HVB 50	60	70
X-HVB 80	80	100
X-HVB 95	95	115
X-HVB 110	110	130
X-HVB 125	125	145
X-HVB 140	140	160

Spessore minimo della soletta [h]

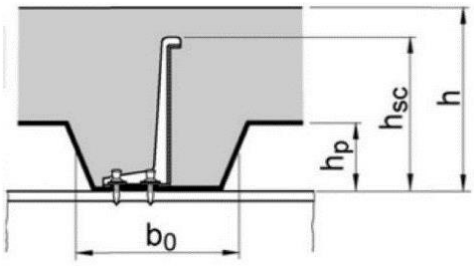
Dimensioni lamiera grecata

Per lo spessore massimo della lamiera grecata devono essere presi in considerazione i seguenti valori:

- 2.0 mm, per X-HVB 80 ÷ 110
- 1.5 mm per X-HVB 125 ÷ 140

	$\frac{b_0}{h_p} \geq 1.8$ [mm]	$1.0 < \frac{b_0}{h_p} < 1.8$ [mm]	$\frac{b_0}{h_p} \leq 1.0$ [1] [mm]
X-HVB 80	45	45	30
X-HVB 95	60	57	45
X-HVB 110	75	66	60
X-HVB 125	80	75	73
X-HVB 140	80	80	80

Altezza massima della lamiera grecata in funzione della geometria della lamiera [hp]



Schema geometrico connessione trave-soletta

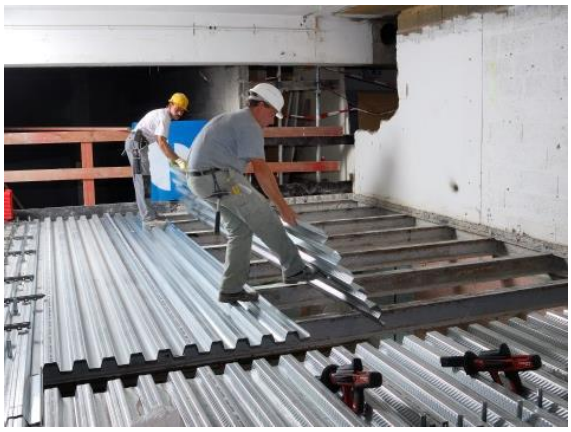
NOTA: $b_0/h_p \geq 1{,}0$ per lamiere grecate perpendicolari all'asse della trave in combinazione con i pioli orientati parallelamente all'asse della trave.

Applicativi di calcolo possono aumentare la produttività progettuale e facilitare l'ottimizzazione. Dal seguente link è possibile scaricare il software di calcolo questa tipologia di connettori:

- Software calcolo connettori a taglio HILTI X-HVB

Esecuzione

Di seguito si illustrato le fasi di installazione per X-HVB su lamiera grecata.

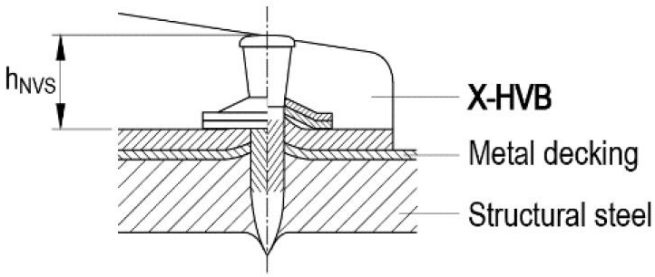


Posa di lamiera grecata su travi d'acciaio e installazione di X-HVB attraverso la lamiera grecata

Posa di rinforzo di rete elettrosaldata e getto del calcestruzzo

Controlli

Il primo modo per valutare la qualità del fissaggio alla trave consiste nel controllare visivamente la sporgenza del chiodo.



Sporgenza della testa del chiodo

Il controllo visivo della rondella superiore e la sporgenza del chiodo h_{NVS} forniscono indicazioni sulla regolazione della potenza dell'attrezzo utilizzato:

Aspetto visivo	Sporgenza della testa del chiodo corrispondente, h_{NVS} [mm]	Misure correttive
Danni visibili alla rondella superiore	$h_{NVS} < 8,2$	Ridurre il livello di potenza o utilizzare un propulsore più leggero
Segno del pistone chiaramente visibile sulla rondella superiore	$8,2 \leq h_{NVS} \leq 9,8$	Nessuna regolazione: il propulsore e l'impostazione della potenza sono corretti
Rondella superiore non deformata	$h_{NVS} > 9,8$	Aumentare il livello di potenza o utilizzare un propulsore più pesante

Ispezione del fissaggio e sporgenza della testa del chiodo

NOTA*:* i dati tecnici riportati sono da considerarsi informativi. Per uso progettuale fare sempre riferimento alla certificazione del prodotto e alle norme di riferimento.

CERTIFICAZIONI

I produttori dei connettori a piolo ricorrono a tutte le procedure per ottenere una Valutazione Tecnica Europea (ETA - di cui Allegato IV del CPR) e, una volta ottenuto l'ETA, possono redigere la DoP e apporre su questi la marcatura CE.

I connettori a piolo sono infatti prodotti qualificati e certificati con European Technical Assessment (ETA) in accordo al § 11.1 delle NTC2018. Si sottolinea che l'ETA viene rilasciato a quei prodotti che non hanno una normativa tecnica armonizzata di riferimento.

La progettazione di questi sistemi può essere effettuata secondo EC4 in presenza di una valutazione ETA

Dai seguenti link è possibile scaricare un esempio di ETA, in particolare per i connettori a piolo a fissaggio diretto:

- Esempio ETA – pioli a fissaggio diretto

Contenuti a cura di Fondazione Promozione Acciaio. Riproduzione riservata.

Immagini – © HILTI SpA, © Castaldo SpA
Si ringrazia HILTI SpA per il materiale tecnico fornito.
Ultimo aggiornamento: Luglio 2023