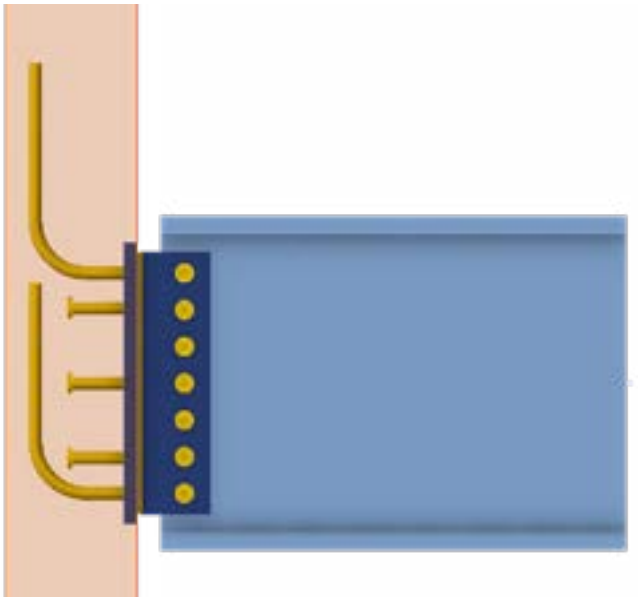
GUIDA PRATICA ALLA PROGETTAZIONE

# PIASTRE ANNEGATE




Eiseko - IDEA StatiCa

# Informazioni sulla guida



Le connessioni con piastre annegate (cast-in plate) costituiscono un'interfaccia importante tra la carpenteria metallica e il calcestruzzo armato. La loro progettazione richiede di considerare diversi componenti strutturali, materiali con comportamenti differenti e, in molti casi, disposizioni tratte da più norme di progettazione.

Questa guida offre una panoramica pratica dei principi ingegneristici e delle criticità legate alla progettazione delle piastre annegate. Esamina i limiti che possono emergere quando metodi di calcolo semplificati vengono applicati a configurazioni complesse e presenta un approccio numerico per analizzare la connessione nel suo insieme: dagli elementi in acciaio collegati, attraverso la piastra e i connettori, fino al calcestruzzo armato.

Particolare attenzione è dedicata alle configurazioni con più tipologie di connettori, condizioni di carico complesse, armature esistenti e discontinuità geometriche. La guida affronta inoltre la ripartizione delle responsabilità progettuali tra il progettista strutturale e l'impresa di carpenteria metallica, come trattata nella pubblicazione SCI P416, e il modo in cui lo scambio digitale dei modelli può supportare questo flusso di lavoro.

L'obiettivo non è sostituire il giudizio ingegneristico o le norme di progettazione consolidate, ma mostrare come l'analisi numerica possa fornire ulteriori elementi di comprensione del comportamento delle piastre annegate e favorire un processo progettuale più efficiente e trasparente.

# A chi è rivolta questa guida

La guida è rivolta principalmente a progettisti strutturali, progettisti di collegamenti, imprese di carpenteria metallica, progettisti di opere provvisionali e altri professionisti coinvolti nella progettazione, nel dettaglio costruttivo o nella verifica delle connessioni con piastre annegate.

# Indice


01 Introduzione

02 Comprendere le connessioni con piastre annegate

03 Criticità progettuali

04 Cosa occorre verificare?

05 Oltre le verifiche semplificate per componenti

06 Un approccio di analisi integrato

07 Analisi e verifica dei componenti in acciaio

08 Analisi e verifica della regione in calcestruzzo

09 Il flusso di progettazione completo

10 Considerazioni progettuali pratiche

11 Mantenere la separazione delle responsabilità progettuali

12 Flusso di lavoro integrato di progetto

13 Considerazioni e limiti della modellazione

14 Punti chiave

15 Considerazioni conclusive

Riferimenti e approfondimenti

Eiseko - IDEA StatiCa

# Terminologia e abbreviazioni

Nella guida si utilizza la seguente terminologia:

**Piastra annegata (cast-in plate)**
Piastra in acciaio inserita in un elemento in calcestruzzo durante il getto, che costituisce l'interfaccia per il collegamento della carpenteria metallica. È di uso comune anche il termine inglese embedment plate.

**Connettore**
Termine generale usato nella guida per gli elementi che trasferiscono le forze tra la piastra in acciaio e la regione in calcestruzzo, inclusi pioli, ancoranti e, ove pertinente, armature saldate.

**Piolo**
Elemento in acciaio a testa saldato alla piastra annegata e immerso nel calcestruzzo.

**Armatura saldata**
Barre d'armatura saldate alla piastra annegata e utilizzate come parte del meccanismo di trasferimento del carico.

**Armatura supplementare**
Armatura prevista specificamente per contribuire alla resistenza nei confronti dei meccanismi di rottura legati all'ancoraggio.

**CBFEM**
Component-Based Finite Element Method (metodo agli elementi finiti basato sui componenti). Metodo numerico utilizzato in IDEA StatiCa Connection per l'analisi e la verifica dei collegamenti in acciaio.

**CSFM**
Compatible Stress Field Method (metodo dei campi di tensione compatibili). Metodo numerico utilizzato in IDEA StatiCa Detail per l'analisi e la verifica delle regioni di discontinuità in calcestruzzo armato.

**Regione di discontinuità**
Regione in cui le ipotesi convenzionali della teoria della trave non rappresentano adeguatamente la distribuzione locale delle tensioni, tipicamente a causa di carichi concentrati, vincoli, aperture o brusche variazioni geometriche.

**Checkbot**
Applicazione di IDEA StatiCa utilizzata per trasferire geometria, carichi e altre informazioni rilevanti tra i software di analisi strutturale globale supportati e IDEA StatiCa.

# 01
# Introduzione alle piastre annegate

Uno dei metodi più diffusi per garantire la stabilità laterale delle strutture è l'impiego di un nucleo in calcestruzzo armato. Questi elementi rigidi, a più setti, si sviluppano tipicamente per tutta l'altezza dell'edificio e l'orditura strutturale circostante viene organizzata attorno a essi.

La carpenteria metallica viene comunemente collegata al nucleo in calcestruzzo tramite piastre annegate (cast-in plate), dette anche embedment plate. Questi elementi vengono inseriti nella parete durante il getto e, in alcuni casi, la faccia della piastra può essere arretrata rispetto al filo del nucleo per evitare interferenze con il cassero rampante.

Per collegare gli elementi in acciaio si utilizza un'ampia varietà di configurazioni. In funzione della prassi locale e delle esigenze di progetto, queste possono comprendere piastre d'anima (fin plate), fazzoletti (gusset plate) o piastre di testa (end plate).

Anche le condizioni di carico associate a questi attacchi possono variare notevolmente. Benché queste connessioni trasferiscano principalmente taglio e forza assiale, possono trasmettere anche momenti, sia direttamente sia come conseguenza di scostamenti di posa rispetto alla posizione nominale.



# 02
# Comprendere le connessioni con piastre annegate

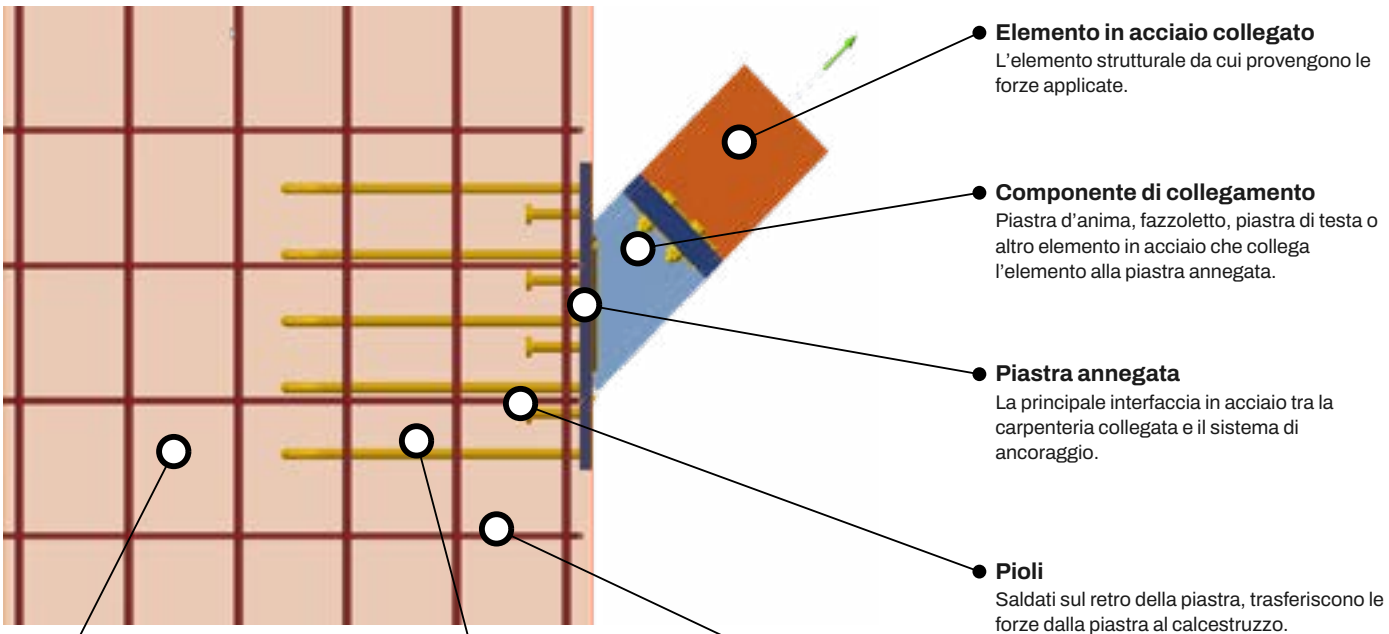
## Anatomia di una connessione con piastra annegata

Una connessione con piastra annegata va considerata come un sistema completo di trasferimento del carico, e non come una semplice piastra in acciaio isolata annegata nel calcestruzzo.

Le forze provenienti dall'elemento in acciaio collegato vengono trasferite, attraverso i componenti di collegamento, alla piastra annegata. Dalla piastra, queste forze passano attraverso i connettori al calcestruzzo e alle armature circostanti, per poi diffondersi nella struttura in calcestruzzo armato.

In funzione della configurazione, questo sistema di trasferimento del carico può comprendere diversi componenti strutturali, ciascuno con la propria rigidezza, resistenza e i relativi meccanismi di rottura.

Una disposizione tipica può comprendere:



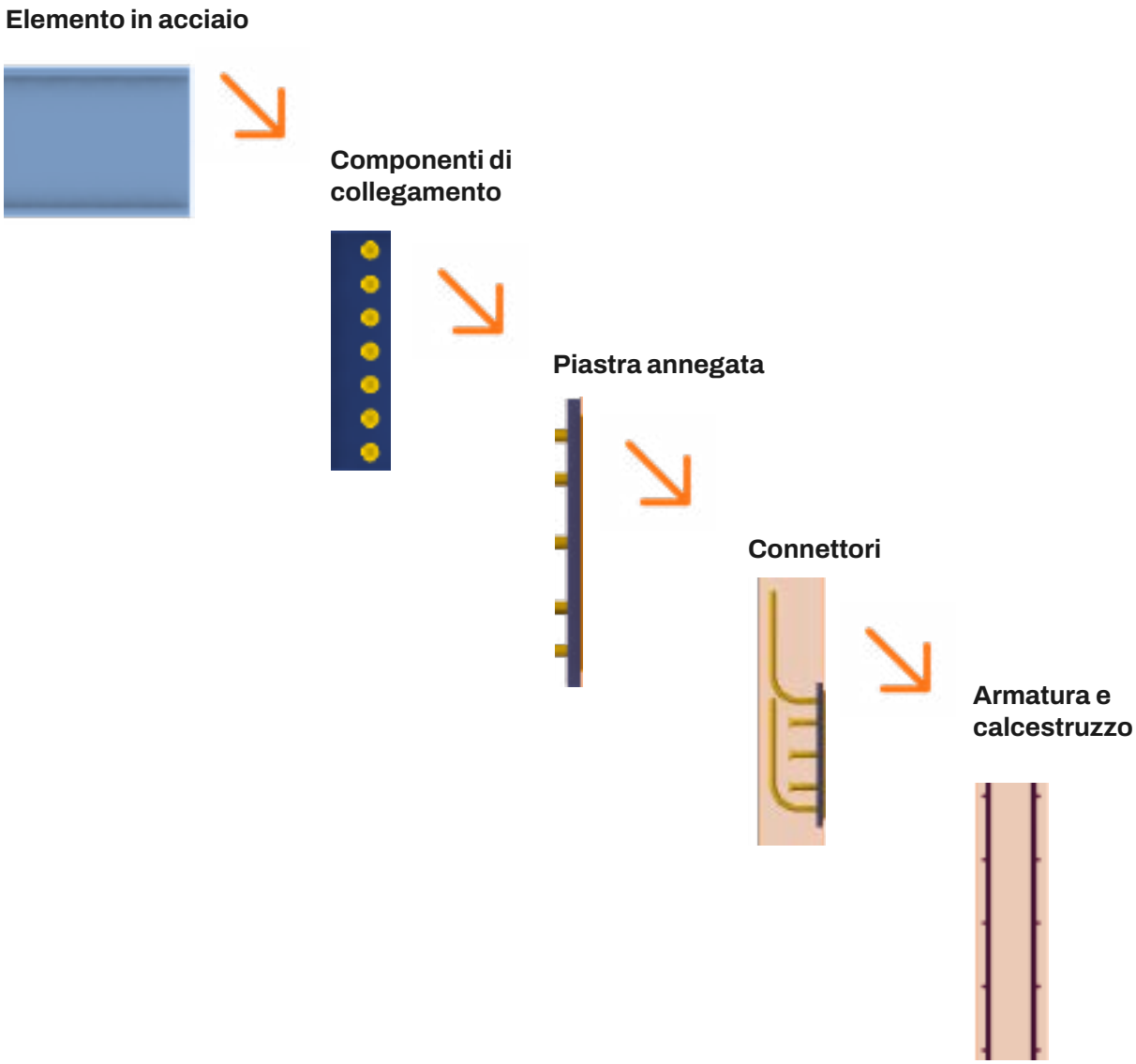
# Il percorso completo del carico

Una connessione con piastra annegata va considerata come un sistema continuo di trasferimento del carico, non come un insieme di componenti indipendenti. Le forze provenienti dall'elemento in acciaio passano attraverso i componenti di collegamento alla piastra, dalla piastra ai connettori e quindi alle armature e al calcestruzzo circostante, per poi diffondersi nel resto della struttura.

Ogni fase di questo percorso influenza la successiva. La rigidezza e la geometria del collegamento in acciaio condizionano la distribuzione delle forze nella piastra e tra i singoli connettori. A loro volta, le forze che si sviluppano nei connettori determinano il modo in cui il carico viene introdotto nel calcestruzzo e come vengono attivate le armature circostanti. La geometria locale, la disposizione delle armature, i bordi, gli spigoli e le aperture possono poi influire sulla diffusione di queste forze nell'elemento in calcestruzzo.

Per questo motivo, verificare la resistenza di ciascun componente in modo indipendente non fornisce necessariamente una comprensione completa del comportamento della connessione. L'interazione tra i componenti, e il modo in cui le forze si trasferiscono dall'uno all'altro, sono altrettanto importanti.

Comprendere e mantenere questo percorso completo del carico è quindi fondamentale per l'analisi e la verifica delle piastre annegate. Esso costituisce il collegamento tra la fase di progettazione dell'acciaio e quella del calcestruzzo, e consente al progettista di valutare non solo se i singoli componenti abbiano resistenza sufficiente, ma anche se le forze possano essere trasferite in modo coerente attraverso l'intera connessione fino alla struttura di supporto.



# Configurazioni tipiche delle piastre annegate

Le piastre annegate possono assumere molte forme, in funzione della geometria della struttura, della carpenteria collegata, delle forze da trasferire e dello spazio disponibile nell'elemento in calcestruzzo armato.

Le disposizioni relativamente semplici possono consistere in un singolo elemento in acciaio collegato tramite piastra d'anima, con la piastra annegata che trasferisce principalmente taglio e forza assiale. Configurazioni più complesse possono prevedere più elementi collegati, taglio, forza assiale e momento combinati, diversi tipi di connettori, oppure piastre collocate in prossimità di bordi, spigoli e aperture della parete.

Le configurazioni tipiche comprendono:

### Collegamenti a taglio semplici
Un elemento in acciaio è collegato alla piastra tramite piastra d'anima o attacco analogo, e la connessione trasferisce prevalentemente taglio.

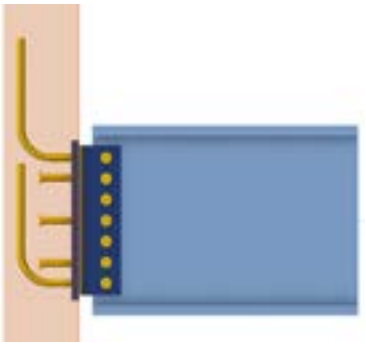
### Taglio e forza assiale combinati
La connessione trasferisce sia taglio sia forze assiali di trazione o compressione, e richiede di considerare la risposta combinata di piastra, connettori e calcestruzzo circostante.

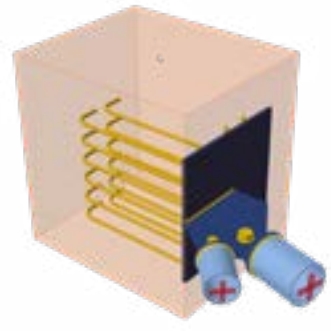
### Collegamenti che trasferiscono momento
Il momento può essere trasferito direttamente dalla connessione oppure derivare da carichi eccentrici, dalla geometria del collegamento o da scostamenti tra posizione nominale e posizione effettiva di posa.

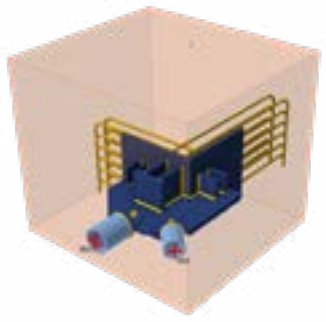
### Collegamenti con più elementi
Più elementi in acciaio possono collegarsi a un'unica piastra o a un fazzoletto, producendo una distribuzione delle forze più complessa nella piastra e nel sistema di ancoraggio.

### Disposizioni d'angolo
Quando le piastre sono collocate in corrispondenza o in prossimità dello spigolo di una parete, i connettori possono trasferire forze in regioni di calcestruzzo che si intersecano ed essere disposti ortogonalmente tra loro.

### Disposizioni con connettori misti
Pioli, ancoranti e armature saldate possono coesistere nello stesso assieme. Queste disposizioni possono uscire dalle ipotesi alla base dei metodi semplificati per gruppi convenzionali di connettori identici.







*La complessità della progettazione cresce man mano che geometria, carichi e combinazione dei tipi di connettori si discostano dalle ipotesi alla base dei metodi di calcolo semplificati.*

# 03
# Criticità progettuali

Una delle principali criticità nella progettazione di questi elementi è l'impiego di più tipologie di connettori. Le piastre annegate possono combinare in vario modo barre d'armatura, tirafondi e pioli. Di conseguenza, la determinazione della loro resistenza può richiedere l'applicazione di disposizioni tratte da diverse parti delle norme di riferimento.

Ad esempio, nell'ambito degli Eurocodici, il progettista può dover considerare:

- EN 1992-1-1 per il calcolo delle barre d'armatura e il punzonamento del calcestruzzo
- EN 1994-1-1 per la resistenza dei pioli
- EN 1993-1-1 ed EN 1993-1-8 per il calcolo degli elementi in acciaio e degli ancoranti annegati
- EN 1992-4 per i fissaggi annegati e post-installati e per i modi di rottura del calcestruzzo

Sebbene la resistenza dei singoli componenti sia trattata dalle norme citate, la situazione si complica quando queste disposizioni vengono applicate ad assiemi con piastre annegate.

La EN 1992-4 e la EN 1993-1-8 contengono disposizioni con apparenti sovrapposizioni e, in alcuni casi, ipotesi di base differenti, riflesso in parte delle diverse date di pubblicazione e dei diversi campi di applicazione. Soprattutto, l'applicabilità di queste disposizioni si riduce quando nello stesso assieme vengono combinati tipi diversi di connettori.

Riguardo al tipo di connettore, la EN 1992-4:2018, §1.2(4), afferma:

> *Questa EN si applica a singoli fissaggi e a gruppi di fissaggi. In un gruppo di fissaggi, i carichi sono applicati ai singoli fissaggi del gruppo per mezzo di un elemento comune. In un gruppo di fissaggi, la presente norma europea si applica solo se sono utilizzati fissaggi dello stesso tipo e dimensione.*

Inoltre, per il calcolo delle forze di trazione nei connettori, la EN 1992-4:2018, §6.2.1(b), assume che:

> *La rigidezza assiale di tutti i fissaggi è uguale. La rigidezza dovrebbe essere determinata sulla base delle deformazioni elastiche dell'acciaio nel fissaggio.*

In questo contesto, l'ipotesi di uguale rigidezza assiale implica di fatto connettori con caratteristiche di rigidezza equivalenti, comprese geometria e lunghezza.

Prima della pubblicazione della EN 1992-4:2018, uno dei principali riferimenti per la progettazione degli ancoraggi nel calcestruzzo era il fib Bulletin 58, Design of Anchorages in Concrete, pubblicato nel 2011. Le indicazioni contenute in questa pubblicazione costituiscono una base importante per gli approcci successivi alla progettazione degli ancoraggi, compresi quelli recepiti nella EN 1992-4.

> *Questa guida di progettazione tratta la progettazione di singoli ancoranti e di gruppi di ancoranti. Ai fini della presente guida, si assume che i gruppi di ancoranti siano collegati da un elemento strutturale comune in grado di distribuire i carichi ai singoli ancoranti del gruppo e che l'interasse degli ancoranti non superi l'interasse caratteristico per il modo di rottura considerato. Si assume inoltre che tutti gli ancoranti di un gruppo siano dello stesso tipo, dimensione e profondità di ancoraggio.*

Di conseguenza, i progettisti hanno spesso dovuto affrontare questi elementi partendo dai principi fondamentali, sviluppando metodologie specifiche per il progetto basate sul giudizio ingegneristico.

Per fornire un quadro progettuale più coerente, lo Steel Construction Institute ha pubblicato nel 2017 la SCI P416. Questa guida fornisce "un modello per la progettazione di collegamenti semplici", insieme a raccomandazioni su aspetti costruttivi e sulla ripartizione delle responsabilità tra progettisti e imprese.

La guida specifica chiaramente che il suo campo di applicazione è limitato a configurazioni nominalmente incernierate che "...trasferiscono il taglio dovuto ai carichi permanenti e variabili e una forza assiale di catena non concomitante derivante da una combinazione di carico eccezionale".

Sebbene queste disposizioni semplici rappresentino una quota significativa delle applicazioni pratiche, non comprendono molte delle configurazioni più complesse che si incontrano nella realtà. Queste possono includere più elementi collegati a un unico fazzoletto, oppure piastre collocate in corrispondenza dello spigolo di una parete, con connettori disposti ortogonalmente tra loro.

Per quest'ultimo caso, le indicazioni disponibili non trattano esplicitamente l'interazione tra connettori che trasferiscono forze nella stessa regione. Questo limite è riportato nella sezione Campo di applicazione del fib Bulletin 58:

> *I metodi descritti in questa guida di progettazione presuppongono che i singoli ancoranti non collegati da un elemento strutturale comune e i gruppi di ancoranti* ***siano sufficientemente distanziati da escludere interazioni****.*

Le piastre annegate si trovano inoltre spesso in zone di calcestruzzo fortemente armate. Per limitare la congestione delle armature, è quindi auspicabile limitare il numero di connettori a quelli strettamente necessari e, ove possibile, evitare di affidarsi ad armature supplementari per resistere ai modi di rottura per sfondamento conico (breakout) del calcestruzzo.

Pur semplice in linea di principio, questo obiettivo può risultare molto più difficile da raggiungere nella pratica a causa della congestione delle armature e dei vincoli di dettaglio.

La EN 1992-4:2018, §7.1(10), afferma:

> *Nel calcolo dell'area dell'armatura supplementare, può essere inclusa l'area di qualsiasi armatura sottoutilizzata presente nell'elemento per altri scopi, purché tale armatura soddisfi i requisiti di dettaglio del presente documento.*

Tuttavia, la norma non fornisce una procedura esplicita per individuare la quota di armatura esistente che può essere considerata sottoutilizzata a tal fine.

Ciò è particolarmente rilevante perché gli effetti di ancoraggio sono prevalentemente locali, mentre il progetto delle armature avviene tipicamente a livello di sezione secondo l'ipotesi di Eulero-Bernoulli, per cui le sezioni piane restano piane dopo la deformazione. Il comportamento degli ancoraggi è diverso, poiché il trasferimento delle forze dagli ancoranti al calcestruzzo circostante è intrinsecamente localizzato.

# 04
# Cosa occorre verificare?

La progettazione di una connessione con piastra annegata richiede di considerare sia il percorso completo del carico sia il comportamento dei singoli componenti attraverso cui le forze vengono trasferite.

In funzione della configurazione e delle condizioni di carico, le verifiche pertinenti possono comprendere:

- resistenza e deformazione della piastra annegata e degli elementi in acciaio collegati;
- resistenza delle saldature e degli altri componenti di collegamento in acciaio;
- resistenza e distribuzione delle forze in pioli, ancoranti e armature saldate;
- meccanismi di rottura del calcestruzzo legati all'ancoraggio;
- tensioni e deformazioni locali nel calcestruzzo;
- tensioni e ancoraggio delle armature;
- interazione tra l'ancoraggio e le armature già presenti nell'elemento in calcestruzzo;
- effetti locali legati a bordi, spigoli, aperture e altre discontinuità geometriche;
- rigidezza della connessione e, ove pertinente, stabilità o instabilità (buckling).

Queste verifiche non dovrebbero necessariamente essere considerate in modo indipendente. La rigidezza e il comportamento di un componente possono influire sulle forze trasferite a un altro, in particolare nelle connessioni complesse con più meccanismi di trasferimento del carico.

La sfida principale, quindi, non è semplicemente stabilire la resistenza di ciascun componente, ma determinare un percorso del carico meccanicamente coerente attraverso l'intera connessione.

# 05
# Oltre le verifiche semplificate per componenti

I metodi di progettazione semplificati basati sui componenti restano appropriati ed efficienti quando geometria della connessione, carichi e disposizione dei connettori rientrano nelle loro ipotesi di base.

Con l'aumentare della complessità della connessione, però, le ipotesi predefinite sulla distribuzione delle forze possono rappresentare meno fedelmente il comportamento strutturale reale. Ciò vale in particolare quando si combinano più tipi di connettori, quando più elementi in acciaio introducono forze nella stessa piastra, o quando il calcestruzzo circostante presenta significative discontinuità geometriche o di armatura.

In questi casi, l'analisi numerica consente di studiare l'interazione tra i singoli componenti mantenendo l'equilibrio nell'intera connessione.

Anziché imporre una distribuzione predefinita delle forze, la risposta strutturale può essere ricavata dalla geometria, dalla rigidezza e dal comportamento dei materiali rappresentati nel modello numerico. In questo modo è possibile studiare il trasferimento delle forze attraverso il collegamento in acciaio e, successivamente, nella regione in calcestruzzo armato.

Per la progettazione delle piastre annegate servono quindi metodi numerici in grado di affrontare due problemi strutturali distinti ma collegati: il comportamento del collegamento in acciaio e il comportamento locale del calcestruzzo armato.

I capitoli seguenti descrivono come CBFEM e CSFM vengono utilizzati per queste due parti dell'analisi.

# 06
# Un approccio di analisi integrato

IDEA StatiCa ha sviluppato un flusso di lavoro integrato per affrontare queste criticità ed estendere l'analisi delle piastre annegate a configurazioni più complesse. L'obiettivo è coniugare un'efficienza di calcolo adatta alla pratica professionale quotidiana con il livello di analisi necessario per valutare comportamenti complessi di acciaio e calcestruzzo.

Il flusso di lavoro risultante può ridurre sensibilmente i tempi di analisi e progettazione delle piastre annegate. In casi complessi valutati durante lo sviluppo e l'applicazione pratica, procedure che prima richiedevano diversi giorni sono state ridotte a poche ore, con una rappresentazione più dettagliata della risposta strutturale.

La riduzione dei tempi di analisi consente inoltre ulteriori iterazioni progettuali, permettendo di studiare configurazioni alternative e di affinare progressivamente il progetto.

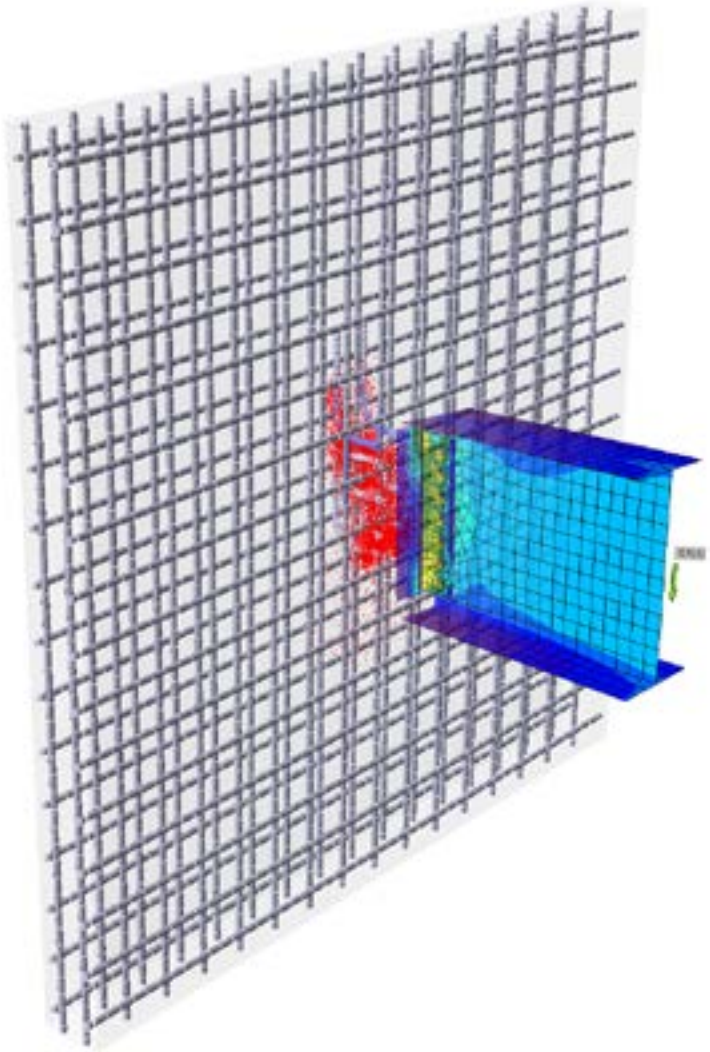
A tal fine, l'approccio combina due metodologie numeriche sviluppate e implementate in IDEA StatiCa:

- il Component-Based Finite Element Method (**CBFEM**), per l'analisi e la verifica dei componenti in acciaio;
- il Compatible Stress Field Method (**CSFM**), per l'analisi e la verifica dei componenti in calcestruzzo.

Il CBFEM, implementato in IDEA StatiCa Connection, è utilizzato per l'analisi e la progettazione di un'ampia gamma di collegamenti in acciaio, comprese configurazioni complesse e su misura.

Il CSFM, implementato in IDEA StatiCa Detail, fornisce un quadro numerico per l'analisi e la progettazione delle regioni di discontinuità in calcestruzzo armato.

Insieme, queste metodologie permettono di seguire il percorso del carico dagli elementi in acciaio collegati, attraverso la piastra annegata e i connettori, fino al calcestruzzo armato.



# 07
# Analisi e verifica dei componenti in acciaio

Seguendo il percorso del carico, i componenti in acciaio della connessione trasferiscono le forze applicate al calcestruzzo.

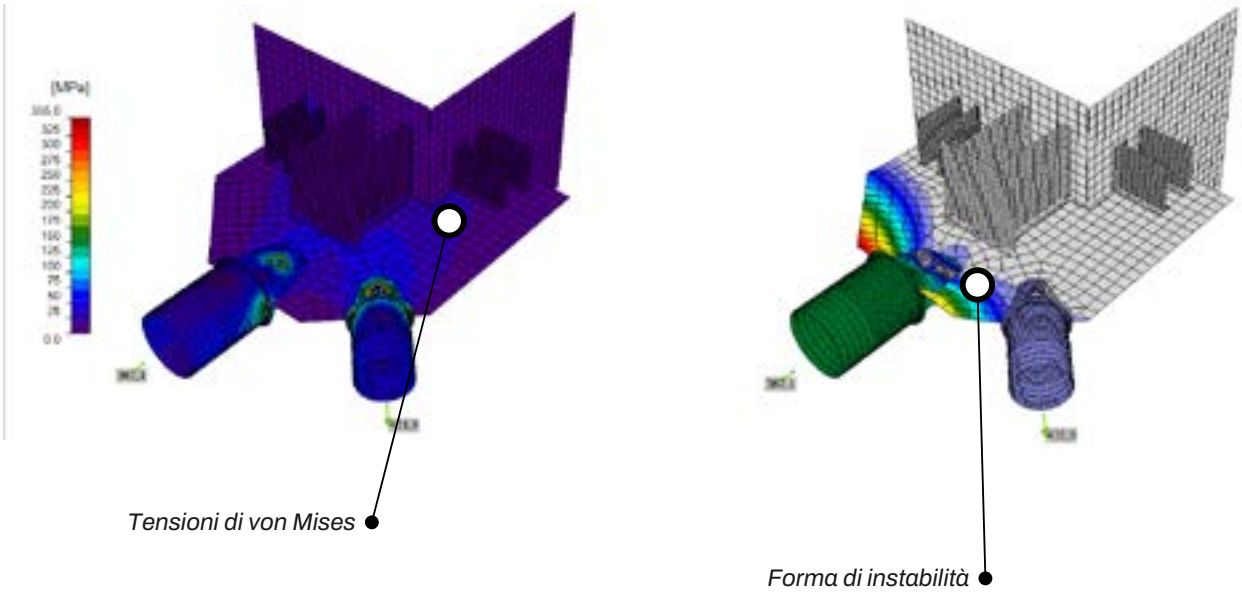
Il modello può includere più elementi collegati e un'ampia gamma di lavorazioni, consentendo di rappresentare geometrie di collegamento complesse.

È importante sottolineare che le sollecitazioni di estremità possono essere applicate a più elementi collegati. A differenza delle condizioni di carico semplificate considerate da alcune indicazioni esistenti, il modello può includere tutte le componenti di sollecitazione rilevanti, senza limitarsi a taglio o trazione. Ciò consente di considerare i momenti quando derivano dalla configurazione del collegamento, dalle condizioni di carico o da scostamenti di posa.

La progettazione strutturale richiede comunemente la valutazione di più casi e combinazioni di carico. Attraverso il flusso di lavoro descritto più avanti, i collegamenti BIM possono trasferire più combinazioni dal modello di analisi globale e aiutare a individuare quelle critiche prima di valutare l'intero insieme per il progetto definitivo.

Questo approccio può ridurre l'onere computazionale mantenendo tutte le verifiche richieste.

Le modifiche possono inoltre essere introdotte rapidamente, consentendo di valutare configurazioni alternative senza ricostruire il modello da zero. Ciò facilita un processo progettuale iterativo in cui diverse disposizioni possono essere studiate e confrontate.




Il metodo CBFEM analizza il collegamento in acciaio e distribuisce le sollecitazioni di estremità applicate in base alla rigidezza relativa dei singoli componenti.

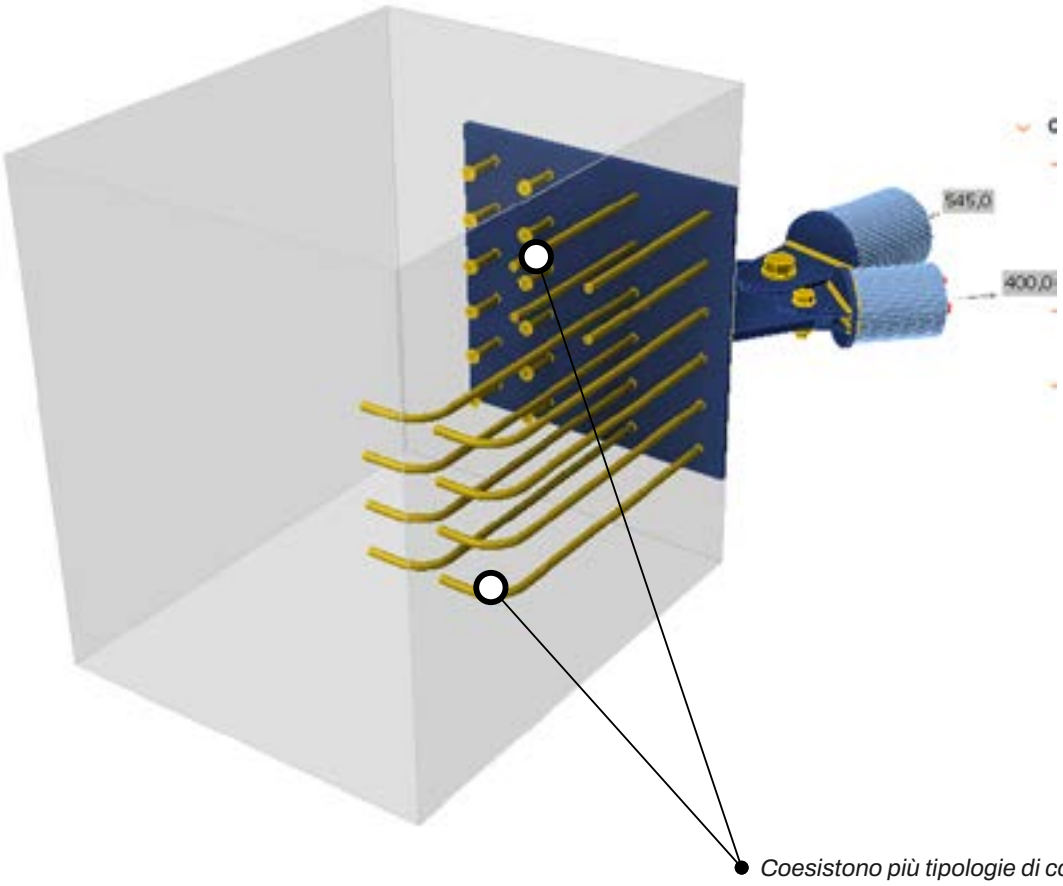
Ciò è particolarmente importante per le configurazioni complesse, perché la distribuzione delle tensioni risultante è determinata dal modello numerico e non da una distribuzione lineare o uniforme assunta a priori, che potrebbe non rappresentare adeguatamente il comportamento in presenza di discontinuità strutturali.

Lo stesso ambiente di modellazione consente anche altre analisi comunemente applicate ai collegamenti in acciaio, tra cui analisi di instabilità (buckling), verifica a catena (horizontal tying), analisi di resistenza e progettazione al fuoco. L'analisi di rigidezza può inoltre essere utilizzata per valutare le ipotesi adottate per le condizioni di vincolo del collegamento nel modello strutturale globale.

IDEA StatiCa Connection modella pioli e barre d'armatura saldate, comprese staffe chiuse, barre a L e barre dritte, annegati in un blocco di calcestruzzo.

Come ogni rappresentazione numerica, il modello resta un'idealizzazione del sistema fisico. In questa fase il suo scopo è valutare il comportamento dei componenti in acciaio e determinare la distribuzione di forze e tensioni nei connettori e nella piastra annegata.

Dopo il calcolo, i connettori possono essere verificati secondo le disposizioni pertinenti della EN 1992-4:2018. Quando le ipotesi alla base delle formule normative ne limitano l'applicabilità alla configurazione modellata, vengono forniti appositi avvisi.




*Coesistono più tipologie di connettori*

L'analisi dei componenti in acciaio fornisce la distribuzione delle forze che deve poi essere trasferita al calcestruzzo armato.

Anziché trattarli come due problemi progettuali non collegati, la geometria, i carichi e il comportamento del collegamento calcolati possono essere trasferiti direttamente all'analisi del calcestruzzo, mantenendo la separazione tra la fase di progettazione dell'acciaio e quella del calcestruzzo.

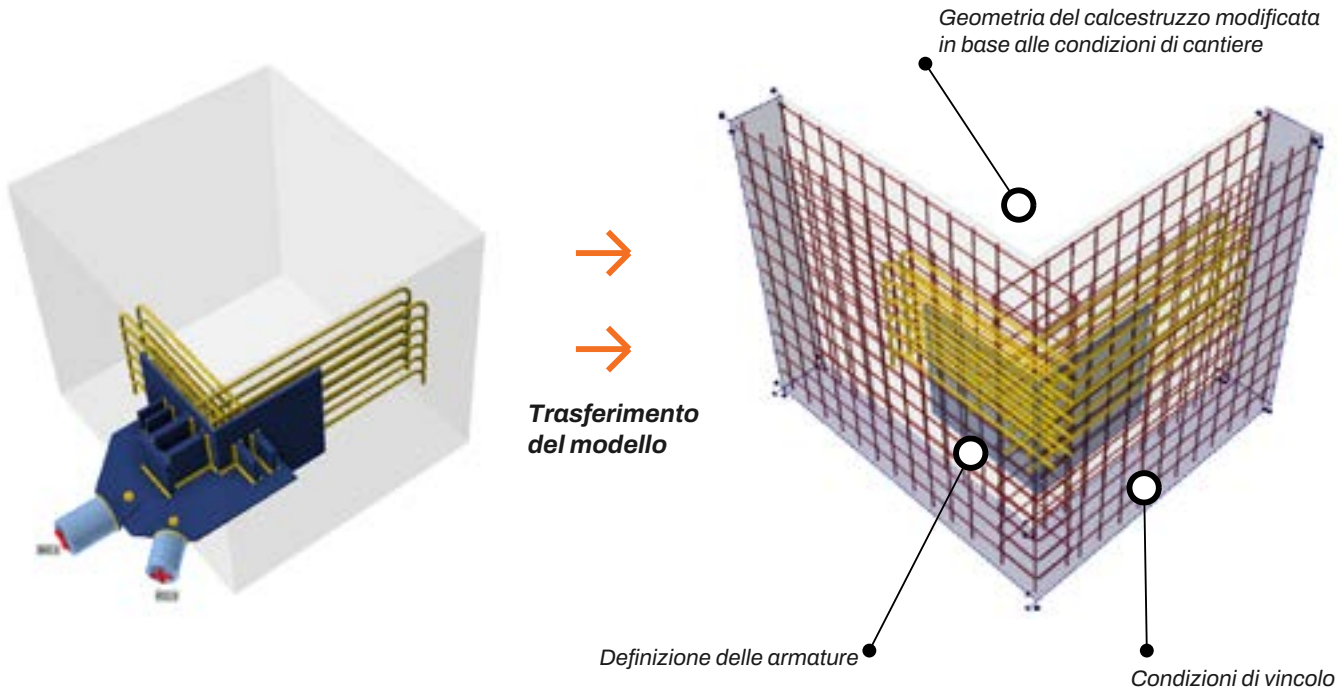
# 08
# Analisi e verifica della regione in calcestruzzo

Il modello della piastra annegata sviluppato in IDEA StatiCa Connection può essere trasferito direttamente in IDEA StatiCa Detail 3D tramite il flusso di lavoro integrato.

Geometria, distribuzione dei carichi calcolata e relative combinazioni vengono trasferite automaticamente tra le due applicazioni.

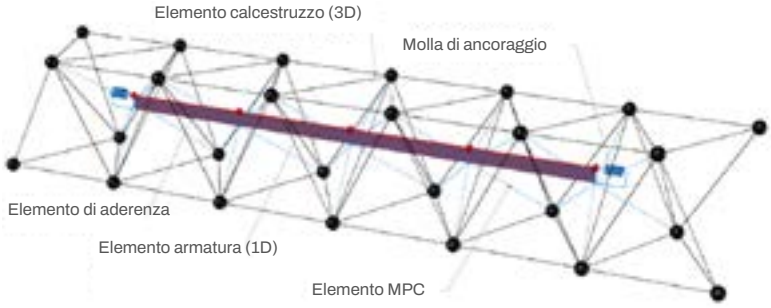
In questa fase la geometria del calcestruzzo può essere modificata per rappresentare le reali condizioni di progetto. Possono essere inserite anche discontinuità come le aperture nelle pareti, che possono influire sulla distribuzione locale delle tensioni.

È possibile definire i carichi esterni agenti sull'elemento in calcestruzzo, insieme a condizioni di vincolo o sollecitazioni interne appropriate, in modo che il modello riproduca la risposta pertinente del modello strutturale globale.




L'armatura presente nell'elemento in calcestruzzo può quindi essere modellata esplicitamente. Ciò permette di individuare possibili interferenze tra connettori e barre d'armatura e, soprattutto, di includere direttamente nell'analisi il contributo strutturale dell'armatura.

Il modello numerico risultante è composto da elementi solidi che rappresentano il calcestruzzo, elementi monodimensionali che rappresentano armature e connettori, ed elementi shell che rappresentano i componenti in acciaio. Tra calcestruzzo e barre d'armatura vengono introdotti elementi di aderenza (bond) per rappresentarne l'interazione.



Con i carichi applicati in equilibrio, le condizioni di trasferimento del carico rappresentate esplicitamente e l'armatura inclusa nel modello numerico, è possibile valutare direttamente la risposta locale dell'armatura alle forze introdotte dagli ancoranti.

L'analisi può quindi dimostrare se l'armatura esistente contribuisce in misura sufficiente al meccanismo locale di trasferimento del carico, riducendo potenzialmente la necessità di armature supplementari che potrebbero altrimenti essere richieste dagli approcci semplificati.

Per le configurazioni con più tipi di connettori, si possono considerare diversi approcci di modellazione.

Un approccio consiste nel seguire la metodologia semplificata della SCI P416, secondo cui i pioli resistono alle forze di taglio e l'armatura resiste alle forze di trazione. Si tratta di un approccio consolidato per le configurazioni che rientrano nel campo di applicazione e nelle ipotesi della guida, anche se può non coprire tutte le configurazioni specifiche di progetto.

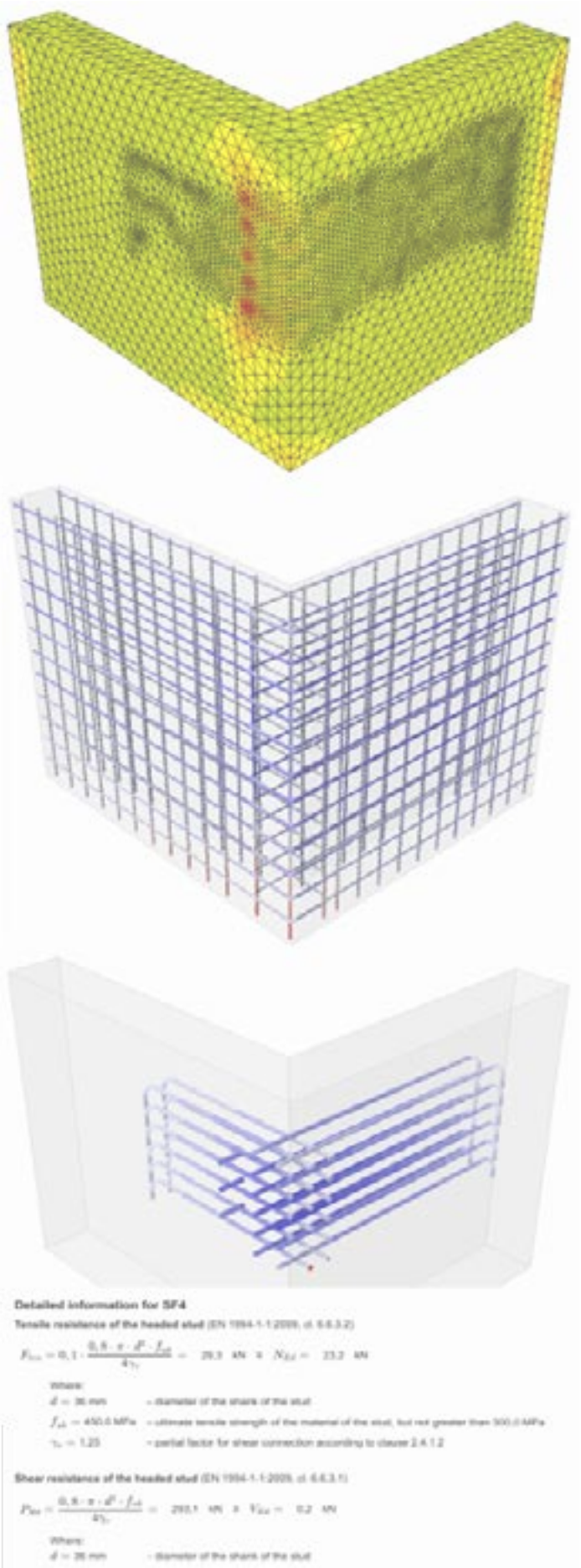
In alternativa, il progettista può studiare altri approcci di distribuzione del carico, compresa la distribuzione in base alla rigidezza relativa dei connettori rappresentati nel modello numerico.

In funzione della configurazione, questo approccio può fornire una distribuzione delle forze più o meno favorevole rispetto a quella ottenuta con le ipotesi semplificate.

Come già discusso, per la verifica dello stesso componente possono essere pertinenti disposizioni di norme diverse. Il progettista resta quindi responsabile della scelta delle disposizioni e delle formule di verifica appropriate, in conformità ai requisiti di progetto e alle norme applicabili.

Modelli di questa complessità richiederebbero normalmente software agli elementi finiti non lineari di uso generale, insieme a un notevole impegno di modellazione e a competenze specialistiche. Per modelli FE generici comparabili, preparazione del modello, analisi e interpretazione possono richiedere diverse ore o, nei casi più complessi, diversi giorni.

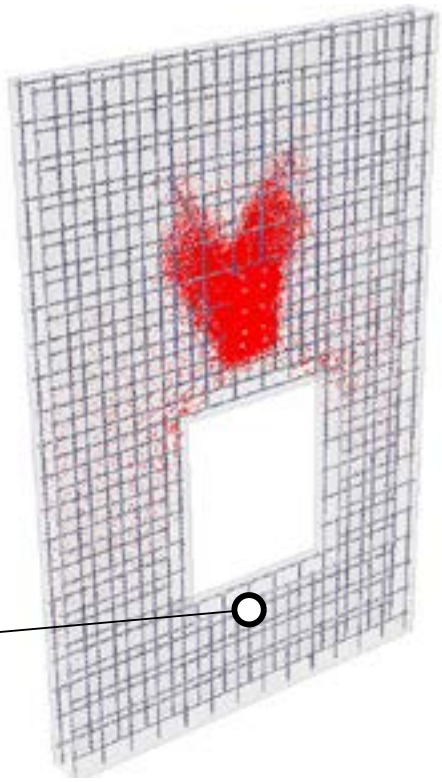
In Detail 3D il modello numerico viene generato automaticamente a partire dalle definizioni geometriche e dei materiali, mentre il solutore è sviluppato specificamente per questa classe di analisi strutturali. Ciò può ridurre in modo significativo i tempi di modellazione e analisi per le applicazioni tipiche.

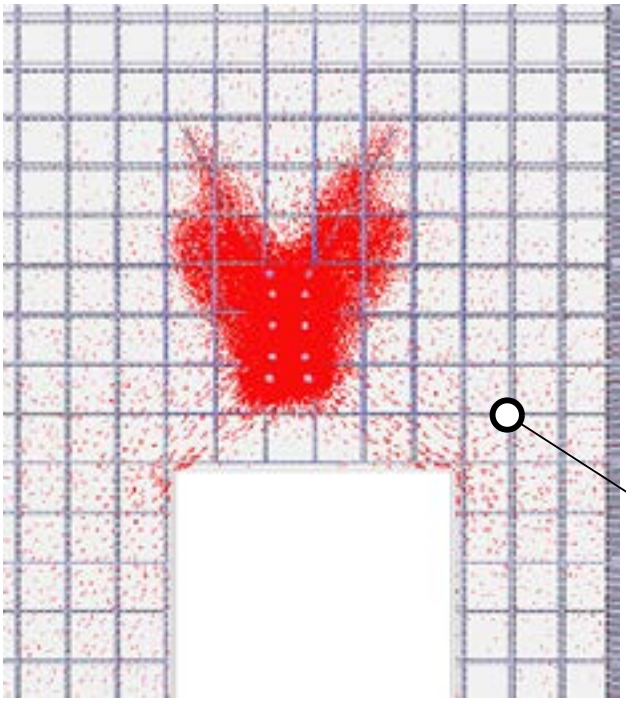


Dopo il calcolo, Detail 3D può visualizzare deformazioni e tensioni nel calcestruzzo, tensioni nelle armature, tensioni di aderenza e forze di ancoraggio complessive agenti su connettori e armature.

Le traiettorie delle tensioni calcolate possono inoltre essere utilizzate per visualizzare lo sviluppo di meccanismi di trasferimento del carico a tirante e puntone nella regione in calcestruzzo.




Quando l'analisi evidenzia una resistenza insufficiente o un comportamento locale sfavorevole, si può introdurre armatura supplementare dove necessario per garantire la resistenza locale richiesta e migliorare il meccanismo di trasferimento del carico.

Questa armatura viene inserita direttamente nel modello tridimensionale, consentendo di individuare già in fase di progetto possibili congestioni e interferenze delle armature e di risolverle prima della costruzione.

# 09
# Il flusso di progettazione completo

L’analisi di una piastra annegata può quindi essere vista come una sequenza che segue il percorso fisico del carico attraverso la connessione.

1. **Definire il collegamento in acciaio**
   Gli elementi collegati, la piastra annegata, i componenti di collegamento in acciaio e i connettori vengono modellati insieme alle condizioni e combinazioni di carico pertinenti.

2. **Analizzare i componenti in acciaio**
   Il CBFEM viene utilizzato per determinare la risposta del collegamento in acciaio e la distribuzione delle forze tra i singoli componenti.

3. **Determinare le forze trasferite all’ancoraggio**
   Le forze che si sviluppano in pioli, ancoranti o armature saldate vengono ricavate dall’analisi del collegamento in acciaio.

4. **Trasferire il modello all’analisi del calcestruzzo**
   Geometria della piastra, disposizione dei connettori, carichi calcolati e combinazioni pertinenti vengono trasferiti in Detail 3D.

5. **Rappresentare la regione in calcestruzzo**
   Nel modello vengono inseriti la geometria dell’elemento in calcestruzzo, le armature, le aperture, i vincoli e le altre condizioni di progetto pertinenti.

6. **Analizzare il meccanismo locale di trasferimento del carico**
   Il CSFM viene utilizzato per valutare la risposta del calcestruzzo e delle armature alle forze introdotte attraverso la piastra e i connettori.

7. **Verificare e affinare il progetto**
   Il comportamento calcolato di acciaio, connettori, armature e calcestruzzo può essere esaminato nel suo insieme. Se necessario, si possono modificare la geometria del collegamento, la disposizione dei connettori o le armature e ripetere l’analisi.

Ne risulta un flusso di lavoro iterativo in cui l’intera connessione può essere affinata progressivamente, anziché considerare ogni componente isolatamente.

# 10
# Considerazioni progettuali pratiche

L'analisi numerica è solo una parte del processo di progettazione delle piastre annegate. La soluzione finale deve soddisfare anche i requisiti geometrici, di dettaglio, di fabbricazione e di costruzione del progetto.

Durante lo sviluppo della connessione occorre quindi considerare i seguenti aspetti.

### Geometria del collegamento
La posizione della piastra rispetto a bordi, spigoli, aperture e altre discontinuità della parete può influire in modo significativo sulla regione disponibile per il trasferimento del carico. Vanno considerate anche la posizione della carpenteria collegata e ogni eccentricità tra le forze applicate e l'ancoraggio.

### Disposizione dei connettori
Tipo, numero, posizione e profondità di ancoraggio dei connettori influenzano sia la resistenza dell'ancoraggio sia la distribuzione delle forze al suo interno. Particolare attenzione è richiesta quando nello stesso assieme si combinano connettori di tipo diverso.

### Disposizione delle armature
Le piastre annegate si trovano spesso in zone fortemente armate. L'interazione tra connettori e armature esistenti va quindi considerata fin dalle prime fasi del progetto, per individuare possibili interferenze ed evitare congestioni di armatura non realizzabili.

### Carichi, eccentricità ed equilibrio
Va considerato l'insieme completo delle sollecitazioni pertinenti. Oltre a taglio e forza assiale, possono nascere momenti dalla configurazione strutturale, da un'introduzione eccentrica del carico o da differenze tra geometria nominale e geometria di posa.

### Geometria del calcestruzzo
Bordi, spigoli, aperture e variazioni di sezione possono influire sul meccanismo locale di trasferimento del carico e vanno rappresentati quando rilevanti per la risposta strutturale.

### Costruibilità
Il progetto finale deve tenere conto di fabbricazione, tolleranze di posa, posizionamento delle armature, requisiti di saldatura e sequenza costruttiva. Una soluzione strutturalmente soddisfacente deve anche poter essere fabbricata e installata in modo affidabile.

### Responsabilità progettuale
Le responsabilità del progettista strutturale, dell'impresa di carpenteria metallica e delle altre parti vanno stabilite con chiarezza. Le informazioni scambiate devono essere sufficienti a consentire a ciascuna parte di completare e verificare la porzione di progetto di propria competenza.

# 11
# Mantenere la separazione delle responsabilità progettuali

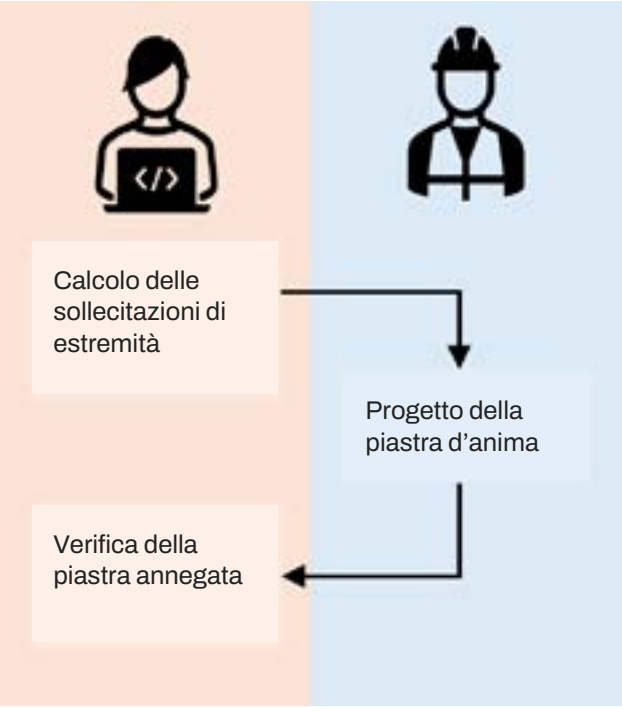
Un aspetto importante della SCI P416 è la chiara definizione delle rispettive responsabilità del progettista strutturale e dell'impresa di carpenteria metallica nella progettazione delle piastre annegate.

Secondo la guida:

> *La ripartizione delle responsabilità che richiede il minor trasferimento di informazioni è quella definita dal piano della faccia della parete in calcestruzzo.*

Una versione semplificata di questo flusso di lavoro è la seguente:

- **Il progettista strutturale fornisce le forze necessarie per il progetto della piastra d'anima saldata alla piastra annegata.**
- **L'impresa di carpenteria metallica progetta e dettaglia la piastra d'anima, o altro attacco in acciaio, collegata alla piastra annegata.**
- **Il progettista strutturale verifica successivamente la parte in calcestruzzo della connessione.**




Il flusso di lavoro IDEA StatiCa è strutturato per mantenere questa separazione delle responsabilità, facilitando al contempo lo scambio di informazioni progettuali tra l'analisi dell'acciaio e quella del calcestruzzo.

La progettazione della piastra annegata si svolge quindi con due applicazioni: una dedicata ai componenti in acciaio e l'altra alla regione in calcestruzzo. I due modelli restano comunque collegati digitalmente, consentendo di trasferire tra loro geometria, carichi e successivi aggiornamenti progettuali.

# 12
# Flusso di lavoro integrato di progetto

A livello di progetto complessivo, il progettista strutturale può utilizzare IDEA StatiCa Checkbot per estrarre le informazioni strutturali pertinenti da un software di analisi globale supportato.

Il modello trasferito contiene la geometria insieme alle sollecitazioni associate ai casi e alle combinazioni di carico pertinenti.

Queste informazioni possono poi essere passate all'impresa di carpenteria metallica, che può utilizzare IDEA StatiCa Connection per progettare più nodi di collegamento a partire dalla geometria e dai risultati di analisi trasferiti.

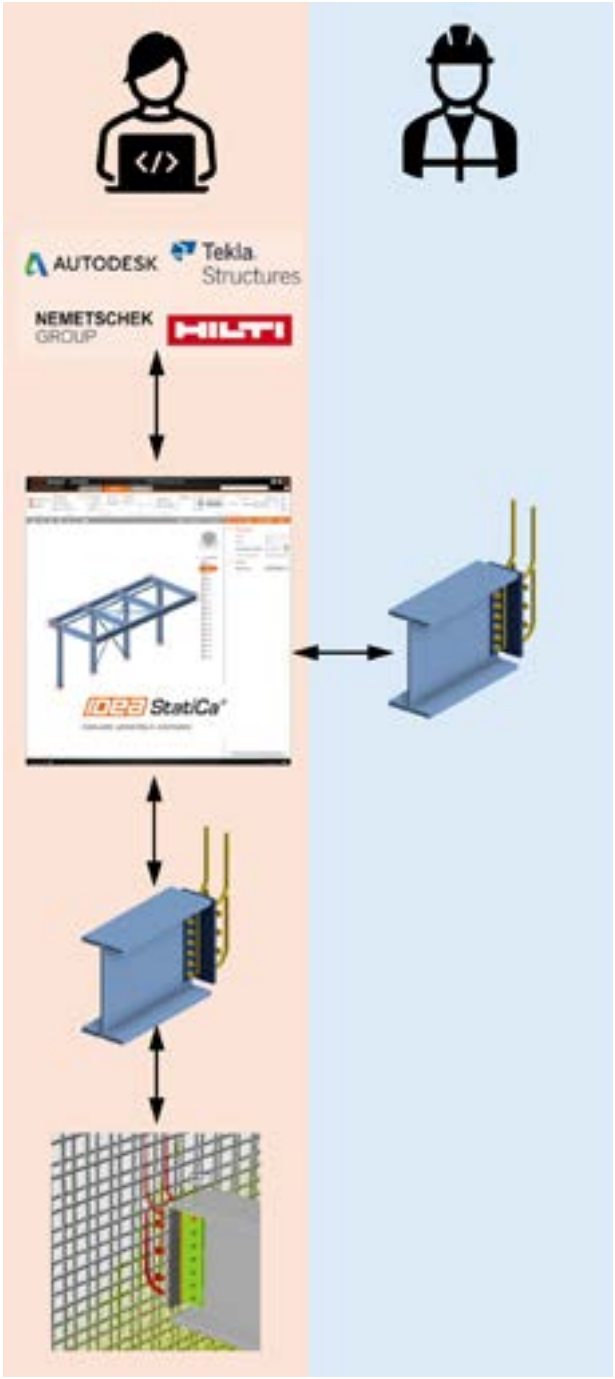
**In questo modo si riduce il ricorso al trasferimento manuale di informazioni tramite disegni annotati e tabelle dei carichi.** Oltre a ridurre i tempi di scambio delle informazioni, questo approccio riduce il rischio di errori legati alla trascrizione manuale dei dati.

L'impresa di carpenteria metallica può quindi restituire al progettista strutturale il modello con i collegamenti progettati. Il progettista può trasferire il collegamento in acciaio pertinente in Detail 3D e procedere con la verifica della regione in calcestruzzo.

Se i risultati dell'analisi globale vengono successivamente aggiornati, Checkbot può sincronizzare il modello con i nuovi risultati e rivalutare i collegamenti già progettati.

Per modifiche relativamente piccole, ciò può evitare di rigenerare disegni e tabelle dei carichi e di ripetere l'intero processo di scambio di informazioni tra progettista strutturale e impresa di carpenteria metallica.

Il progettista strutturale può quindi rivalutare sia i componenti in acciaio sia quelli in calcestruzzo con i risultati di analisi aggiornati, riducendo la necessità di ripetuti scambi manuali di informazioni e di ricostruzioni del modello.



# 13
# Considerazioni e limiti della modellazione

L'analisi numerica offre ulteriori elementi di comprensione del comportamento strutturale, ma non elimina la necessità di ipotesi di modellazione appropriate né del giudizio ingegneristico.

Come per qualsiasi modello numerico, la qualità e la pertinenza dei risultati dipendono da quanto il modello rappresenta la struttura reale e le condizioni di progetto in esame.

Occorre quindi prestare particolare attenzione a:

- la geometria rappresentata nel modello;
- le proprietà dei materiali;
- i carichi applicati e le combinazioni di carico;
- le condizioni di vincolo;
- le proprietà e la disposizione dei connettori;
- la posizione e il dettaglio delle armature;
- le aperture, i bordi e le altre discontinuità geometriche rilevanti;
- le ipotesi sull'interazione tra i singoli componenti; e
- la scelta delle disposizioni normative appropriate per la verifica.

Il livello di dettaglio della modellazione deve essere adeguato al quesito ingegneristico in esame. Una maggiore complessità non garantisce di per sé un risultato più rappresentativo se le ipotesi su vincoli, carichi o materiali non sono appropriate.

I risultati numerici vanno quindi esaminati alla luce dell'equilibrio, del comportamento strutturale atteso e delle ipotesi adottate nel modello.

Il progettista resta responsabile di stabilire se la rappresentazione numerica sia adeguata al progetto specifico e di scegliere le norme applicabili, le procedure di verifica e il livello di cautela richiesto.

**! L'analisi numerica deve supportare il giudizio ingegneristico, non sostituirlo.**

# 14
# Punti chiave

## Le piastre annegate collegano acciaio e calcestruzzo in un unico sistema

Il comportamento della connessione si estende dalla carpenteria collegata, attraverso la piastra e i connettori, fino alle armature e al calcestruzzo circostante. Questi componenti vanno quindi considerati come parti dello stesso percorso del carico.

## Le configurazioni complesse possono andare oltre le ipotesi semplificate

Connettori di tipo misto, più elementi collegati, disposizioni d'angolo, aperture e condizioni di carico complesse possono non essere pienamente rappresentati dalle ipotesi alla base dei metodi semplificati.

## La distribuzione delle forze è determinante

La rigidezza dei singoli componenti di collegamento influenza la distribuzione delle forze nella connessione. L'analisi numerica consente di determinarla senza imporre a priori una distribuzione lineare o uniforme.

## L'armatura esistente è determinante

L'armatura già presente nell'elemento in calcestruzzo può partecipare al meccanismo locale di trasferimento del carico. Rappresentarla esplicitamente permette di studiarne la risposta e il contributo.

## Acciaio e calcestruzzo richiedono analisi diverse

Il collegamento in acciaio e la regione in calcestruzzo armato sono problemi strutturali diversi e vanno analizzati con metodi sviluppati per il rispettivo comportamento. Mantenere un collegamento tra i due modelli assicura la coerenza del percorso del carico tra essi.

## La responsabilità ingegneristica resta del progettista

L'analisi numerica fornisce informazioni aggiuntive con cui prendere e documentare le decisioni progettuali. Il progettista resta responsabile delle ipotesi di modellazione, delle norme applicabili, delle procedure di verifica e dell'interpretazione dei risultati.

## Un'analisi più rapida consente più iterazioni

Ridurre i tempi di analisi delle connessioni complesse rende praticabile lo studio di soluzioni alternative, la risoluzione dei problemi di dettaglio e la rivalutazione del progetto quando cambiano le informazioni di progetto.

# 15
# Considerazioni conclusive

La progettazione delle piastre annegate è un buon esempio di problema che appare relativamente semplice finché l'ingegnere non comincia a esaminare come la connessione si comporta realmente. Acciaio, connettori, armature e calcestruzzo devono lavorare insieme, eppure vengono tradizionalmente progettati con metodi diversi, norme diverse e, spesso, da soggetti diversi.

Per molti anni gli ingegneri hanno affrontato gli spazi tra questi metodi consolidati con l'esperienza, il giudizio ingegneristico e un'adeguata prudenza. Questi restano essenziali. L'analisi numerica non elimina la necessità del giudizio ingegneristico; ci offre piuttosto l'opportunità di comprendere più a fondo il comportamento di queste connessioni e di prendere decisioni più informate.

A nostro avviso, è qui che risiede il vero valore dell'approccio presentato in questa guida. Non si tratta semplicemente di eseguire un calcolo più velocemente o di sostituire un metodo di progettazione esistente con uno numerico. Si tratta di poter vedere come interagiscono le diverse parti della connessione, studiare alternative e comprendere le conseguenze delle nostre scelte progettuali prima che arrivino in cantiere.

Forse l'aspetto più importante è che una maggiore capacità di calcolo non deve incoraggiare complessità inutili. L'obiettivo deve restare quello di sempre nell'ingegneria strutturale: sviluppare connessioni sicure, razionali, pratiche da fabbricare e costruire, e il cui comportamento possa essere compreso e spiegato con chiarezza.

La progettazione delle piastre annegate continuerà a richiedere giudizio ingegneristico, soprattutto man mano che geometrie dei collegamenti e requisiti costruttivi diventano più esigenti. Ciò che sta cambiando sono le informazioni disponibili a supporto di quel giudizio.

# Riferimenti e approfondimenti

## Norme europee

*EN 1992-1-1*
*Eurocodice 2 — Progettazione delle strutture di calcestruzzo — Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*

*EN 1992-4:2018*
*Eurocodice 2 — Progettazione delle strutture di calcestruzzo — Parte 4: Progettazione degli attacchi per l'uso nel calcestruzzo.*

*EN 1993-1-1*
*Eurocodice 3 — Progettazione delle strutture di acciaio — Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*

*EN 1993-1-8*
*Eurocodice 3 — Progettazione delle strutture di acciaio — Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.*

*EN 1994-1-1*
*Eurocodice 4 — Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo — Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*

## Pubblicazioni tecniche

*fib Bulletin 58*
*Design of Anchorages in Concrete. Fédération internationale du béton (fib), 2011.*

*SCI P416*
*'The Design of Cast-in Plates' — Steel Construction Institute; pubblicazione citata in tutta la presente guida.*

*Crediti fotografici*
*Fotografie di cantiere riprodotte su autorizzazione.*
*Fotografie: www.GlobalPhotos.org.*
*Immagini dei modelli e schermate software IDEA StatiCa © Eiseko - IDEA StatiCa.*

# Eiseko - IDEA StatiCa

**IDEA StatiCa** è una società di software ingegneristico specializzata nello sviluppo di soluzioni avanzate di progettazione e analisi strutturale per strutture in acciaio e calcestruzzo. La sua tecnologia è utilizzata da ingegneri di tutto il mondo per analizzare e progettare collegamenti strutturali, regioni di discontinuità in calcestruzzo e altri dettagli strutturali complessi.

Unendo metodi numerici innovativi a flussi di lavoro ingegneristici pratici, IDEA StatiCa punta a rendere l'analisi avanzata accessibile nella progettazione strutturale quotidiana, consentendo agli ingegneri di studiare comportamenti complessi, ottimizzare i progetti e prendere decisioni informate con maggiore efficienza e sicurezza.

**Eiseko - IDEA StatiCa** fornisce supporto tecnico, formazione e competenze ingegneristiche insieme alle licenze software, collaborando a stretto contatto con progettisti strutturali, società di ingegneria, imprese e carpenterie metalliche per supportare l'applicazione pratica della tecnologia IDEA StatiCa nei progetti reali.

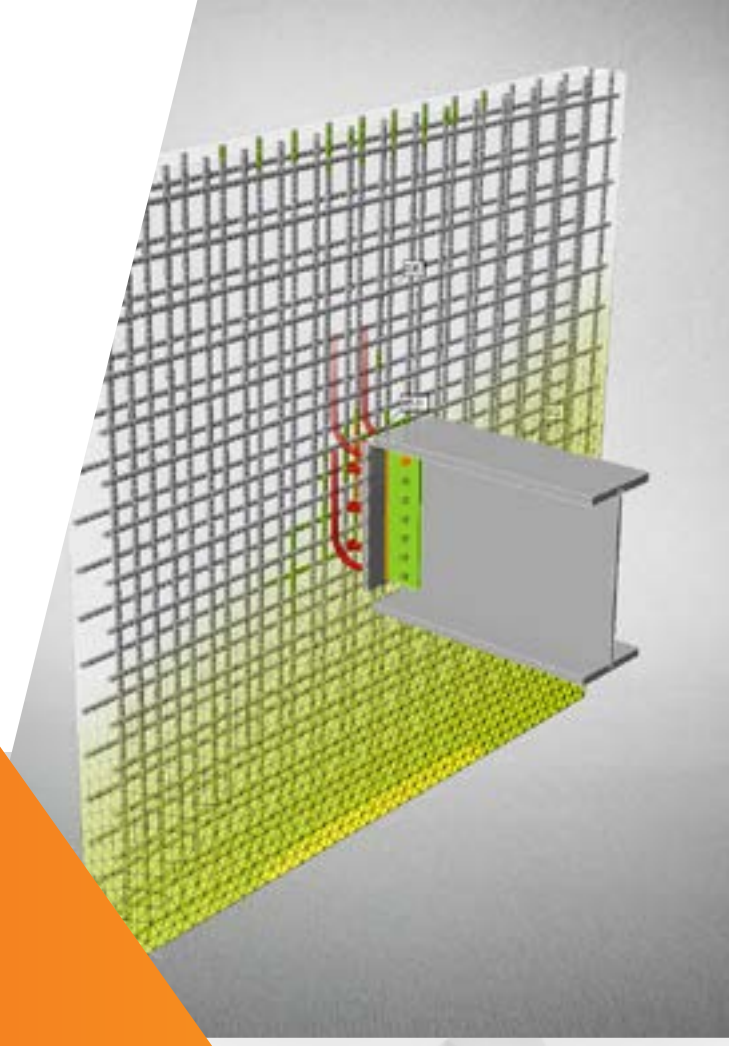
Attraverso pubblicazioni tecniche, formazione, workshop e collaborazioni con la comunità ingegneristica, Eiseko - IDEA StatiCa contribuisce inoltre alla diffusione delle conoscenze e delle buone pratiche nell'ingegneria strutturale.

# Ulteriori risorse

### Guarda il webinar sulla progettazione delle piastre annegate

Connection Wednesdays: Cast-in plate design in IDEA StatiCa

Inquadra il codice QR o fai clic per aprire la registrazione



Dall’

# ACCIAIO

al

# CALCESTRUZZO.

# UN UNICO PERCORSO DEL CARICO.

*Le piastre annegate costituiscono un’interfaccia fondamentale tra carpenteria metallica e calcestruzzo armato, riunendo in un’unica connessione materiali, componenti e requisiti progettuali differenti.*

*Questa guida esplora i principi ingegneristici, le criticità progettuali e i metodi numerici coinvolti nell’analisi del percorso completo del carico: dalla carpenteria collegata, attraverso la piastra annegata e i connettori, fino alle armature e al calcestruzzo circostante.*

*Una risorsa ingegneristica pratica sviluppata da Eiseko - IDEA StatiCa per supportare un approccio più integrato alla progettazione delle piastre annegate.*

EISEKO Software for building | IDEA StatiCa® Authorised Reseller

www.eiseko.it

© 2026 Eiseko - IDEA StatiCa