COLLEGAMENTI ALLA BASE

I collegamenti alla base rappresentano un punto cruciale nella progettazione poiché vanno a costituire l'interfaccia fra la struttura in acciaio e la fondazione. Questo approfondimento fornisce riferimenti normativi per la progettazione dei collegamenti alla base nelle strutture in carpenteria metallica e alcune considerazioni in merito alla rigidezza delle piastre di base.

PROGETTAZIONE

Il collegamento fra la struttura in acciaio e la fondazione è solitamente realizzato mediante una **piastra di base in acciaio**, saldata all'estremità inferiore delle colonne, la quale trasmette le azioni della sovrastruttura alla **fondazione in calcestruzzo** mediante opportuni **ancoranti pre/post-installati**.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) [1] non esplicitano particolari indicazioni per il calcolo e la verifica del sistema di ancoraggio alla base.

Nota

L'unico riferimento nelle NTC si trova al §11.4.1 per gli ancoranti ad uso strutturale, i quali devono soddisfare la categoria di prestazione C2, definita nella Linea Guida ETAG 001 [2] riguardante le categorie minime raccomandate per la qualificazione degli ancoranti in presenza di azioni sismiche. È importante far notare che tale linea guida sia ormai superata ed è pertanto necessario fare riferimento alle indicazioni contenute nell'Eurocodice 2 parte 4 al §9.2.

Risulta necessario perciò fare riferimento alle indicazioni progettuali degli Eurocodici 2 e 3, per le rispettive verifiche della piastra di base, il calcestruzzo e gli ancoraggi, in particolare:

- UNI EN 1992-4:2018 [3] – Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 4: Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo;
- UNI EN 1993-1-8:2005 [4] – Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti

Per gli ancoranti post-installati, le formule contenute nell'Eurocodice 2 parte 4 fanno riferimento ai valori dei benestari tecnici europei (ETA) di ciascun prodotto.

Nel progetto del collegamento alla base, il progettista può valutare forma, materiali e trattamenti superficiali dei sistemi di ancoraggio più idonei al progetto. In base alle proprie esigenze, il progettista può decidere di impiegare sia ancoranti realizzati su misura oppure sistemi di ancoraggio "standardizzati" già disponibili dalle gamme proposte in commercio.

L'Eurocodice 3 parte 1-8 fornisce metodi di soluzione ingegneristica derivati da formule empiriche per la verifica dei collegamenti colonna-fondazione con **piastra di base**. L'approccio dell'Eurocodice è basato sul metodo dei componenti.

Per valutare il momento resistente del collegamento, l'Eurocodice 3 parte 1-8 (§6.2.8.3) considera le sollecitazioni agenti sul collegamento elencate nella Tabella 6.7, la quale fornisce le espressioni per il calcolo del momento resistente nelle varie configurazioni possibili.

L'azione tagliante proveniente dalla colonna viene solitamente trasmessa alla fondazione in due modi:

- per **resistenza a taglio degli ancoranti**: questi componenti dovranno essere verificati con modalità differenti in base al sistema utilizzato. Gli ancoranti pre-installati devono essere trattati come bulloni soggetti a trazione e taglio, in accordo al §3.6 dell'Eurocodice 3 parte 1-8, mentre per i post-installati è necessario fare riferimento al paragrafo 7.2.2 dell'Eurocodice 2 parte 4.
- per **attrito fra il blocco in calcestruzzo e la piastra in acciaio** (solo per i pre-installati): tale verifica può essere effettuata applicando il punto 6.2.2(6) dell'Eurocodice 3 parte 1-8.

Note per i pre-installati

È importante che siano rispettate le tolleranze foro-bullone indicate dalla norma. A tal proposito è prassi comune annegare i tirafondi nella fondazione in calcestruzzo mediante dime di montaggio ed eventuali perni di centraggio.

Un altro aspetto da tenere in conto è costituito dagli effetti flessionali indotti a causa della deformabilità del calcestruzzo.

In presenza di azioni taglianti significative potrebbe essere utile ricorrere allo sfruttamento del meccanismo di attrito o all'impiego di appositi rostri annegati nel calcestruzzo.

Nota per i post-installati

Per ciascun prodotto, devono essere rispettate tutte le indicazioni contenute nella opportuna certificazione ETA, come ad esempio le distanze minime dal bordo, gli interassi e i dettagli per la posa.

Piastra di base

L'Eurocodice 3 parte 1-8 consente la verifica della piastra di base in acciaio attraverso la sua modellazione con elementi T (T-stub) equivalenti e aree di contatto con il calcestruzzo compresso ipotizzando una distribuzione uniforme della forza di compressione sull'area di contatto stessa.

La piastra viene verificata secondo queste due casistiche:

- **Piastra di base soggetta a flessione per effetto della compressione**, insieme con la soletta di calcestruzzo su cui è posizionata la base della colonna;
- **Piastra di base soggetta a flessione per effetto della trazione** insieme con gli ancoranti associati.

Fig. 1 – Realizzazione e posa in opera di una piastra di base in acciaio

Nell'approccio tradizionale le **piastre di base** delle colonne si progettano **in grande spessore o fittamente irrigidite** in modo da poter essere considerate infinitamente rigide e dunque definire la resistenza del collegamento in funzione della resistenza degli ancoranti e del calcestruzzo. In questo caso il calcolo risulta semplificato poiché, con le ipotesi di rotazione rigida della piastra e conservazione della sezione piana, è possibile considerare una distribuzione delle forze sugli ancoranti che varia linearmente in funzione della distanza dal polo di rotazione.

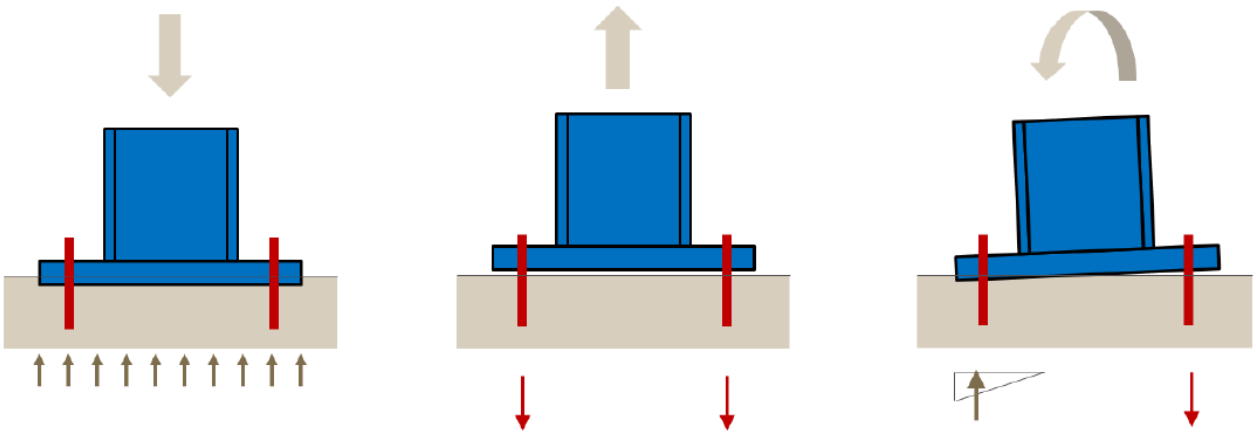

Fig. 2 – Comportamento della piastra di base rigida

Tuttavia, identificare una "piastra di base rigida" non è così scontato come potrebbe sembrare, giacché non esiste una definizione precisa su quando una piastra di base possa essere considerata rigida.

Per la stima della rigidezza flessionale dei collegamenti colonna-fondazione, fra cui la piastra di base, l'Eurocodice 3 parte 1-8 raccomanda l'impiego del metodo al §6.3.4 per considerare l'effettiva deformabilità della piastra di base. La stessa norma sviluppa un metodo per componenti (CM, *Component Method*) analogo a quello per i nodi trave-colonna.

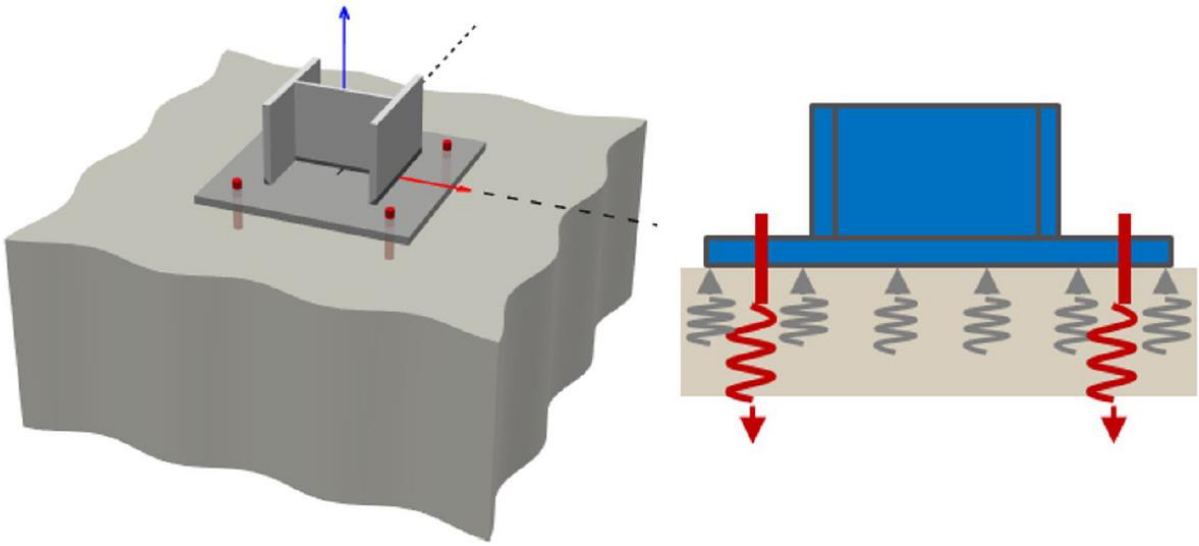

Fig. 3 – Modellazione connessione acciaio-calcestruzzo

Attraverso alcuni programmi di calcolo agli elementi finiti basati proprio su questo metodo dei componenti è possibile valutare il comportamento reale di ciascun elemento.

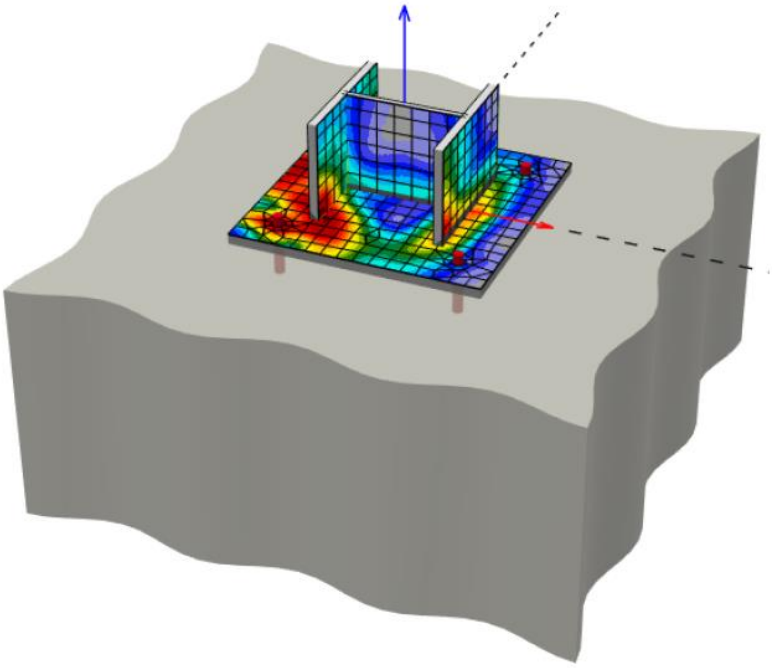

Fig. 4 – Esempio di modello FEM di connessione che utilizza elementi spaziali 3D per le piastre e per gli ancoranti

Il metodo dei componenti risolve la connessione come un sistema di "elementi-componenti" interconnessi. Il modello corrispondente è costruito per ogni tipo di connessione, per essere in grado di determinare le forze e le sollecitazioni in ciascun elemento.

Negli ultimi anni la progettazione basata sugli elementi finiti (FEM) ha rivoluzionato l'ingegneria strutturale rendendo possibile l'inclusione di piastra base, calcestruzzo e sistema di ancoraggio in un unico modello.

Dal seguente link è disponibile un esempio di software agli elementi finiti che permette questo tipo di analisi senza alcuna limitazione nel suo periodo di prova per 30 giorni:

Scarica il software

Si riportano in seguito le ipotesi di comportamento di una piastra rigida:

- Nessuna deformazione della piastra (le superfici rimangono piane);
- Le deformazioni sono distribuite linearmente attraverso la sezione trasversale della piastra di base (corrispondente all'"ipotesi di Bernoulli" nel cemento armato);
- Le proprietà meccaniche rilevanti per la progettazione sono la sezione trasversale (As) e il modulo di elasticità del dispositivo di fissaggio (Es);
- La rigidezza del calcestruzzo è caratterizzata dal suo modulo di elasticità.

Di seguito vengono identificate alcune caratteristiche che insorgono quando una piastra non ha un comportamento di piastra "rigida":

- **Riduzione del braccio interno della leva**: nel caso in cui la piastra di base non possa essere considerata rigida, il braccio di leva interno tra la tensione risultante e la conseguente compressione diminuisce. Il caso limite da considerare è una piastra molto sottile il cui centro di compressione si trova sotto la flangia compressa del profilo a I. Una riduzione del braccio di leva interno porterà ad un aumento delle forze di ancoraggio.

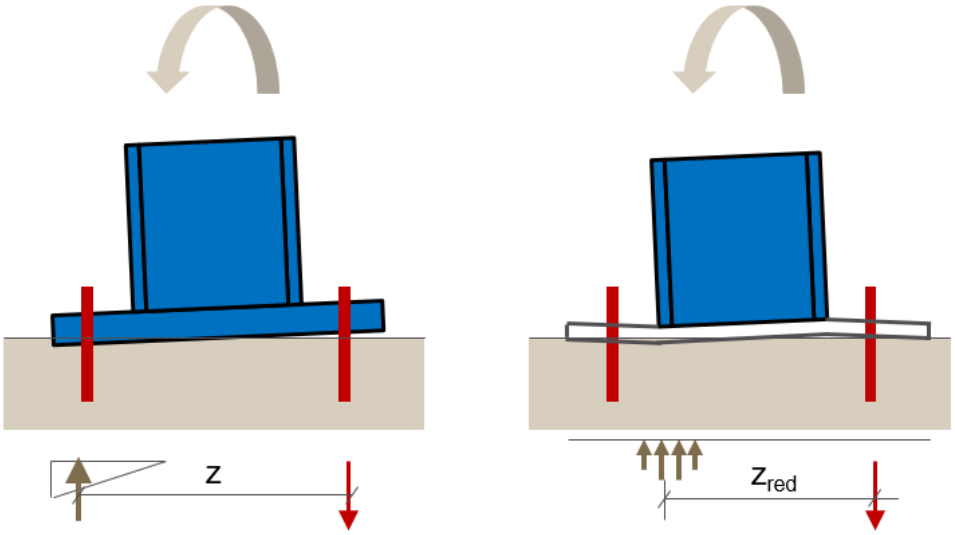

Fig. 5 – Riduzione del braccio di leva interno per piastre di base non rigide

- **Effetti di leva**: per le piastre di base non rigide con determinate geometrie si possono osservare forze di leva. Queste forze aumentano le forze di ancoraggio derivante dal carico applicato (momenti flettenti o di trazione).

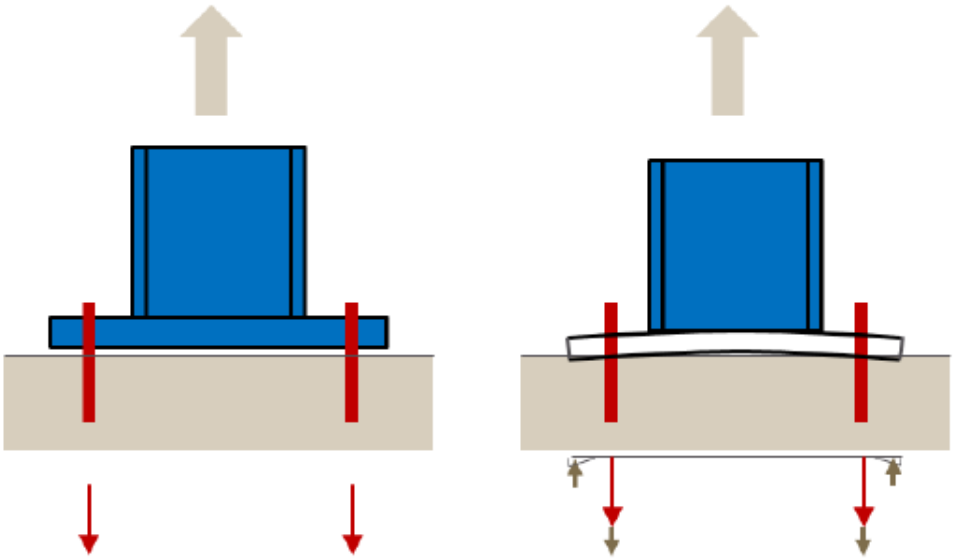

Fig. 6 – Aumento delle forze di ancoraggio a causa dell'effetto leva

- **Diversa distribuzione del carico nei gruppi di ancoranti**: in caso di distanze diverse tra i dispositivi di fissaggio al profilo e le piastre di base non rigide, la distribuzione del carico tra i singoli ancoranti sarà

diversa. A titolo di esempio, in una disposizione di ancoraggio 3x3 l'ancorante centrale sosterrà un carico molto maggiore di quelli esterni nel caso in cui la piastra di base non sia rigida.

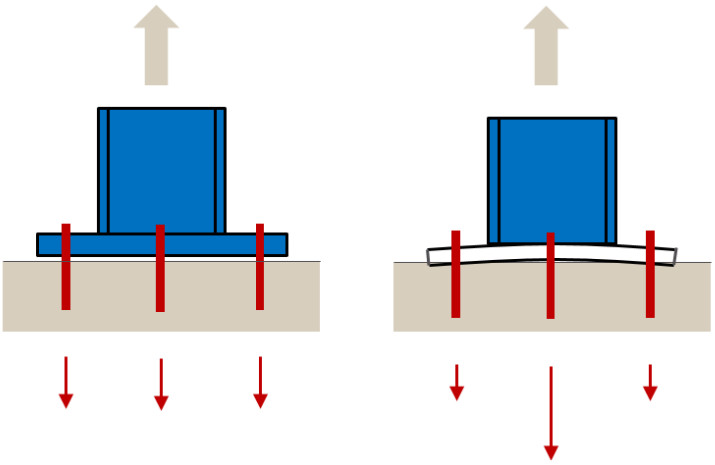

Fig. 7 – Diversa distribuzione del carico nei gruppi di ancoranti

- **Diversa distribuzione delle sollecitazioni del calcestruzzo**: in caso di piastra di base non rigida, la tensione di compressione si concentra sotto il profilo. Questo porterà ad un aumento delle sollecitazioni del calcestruzzo.

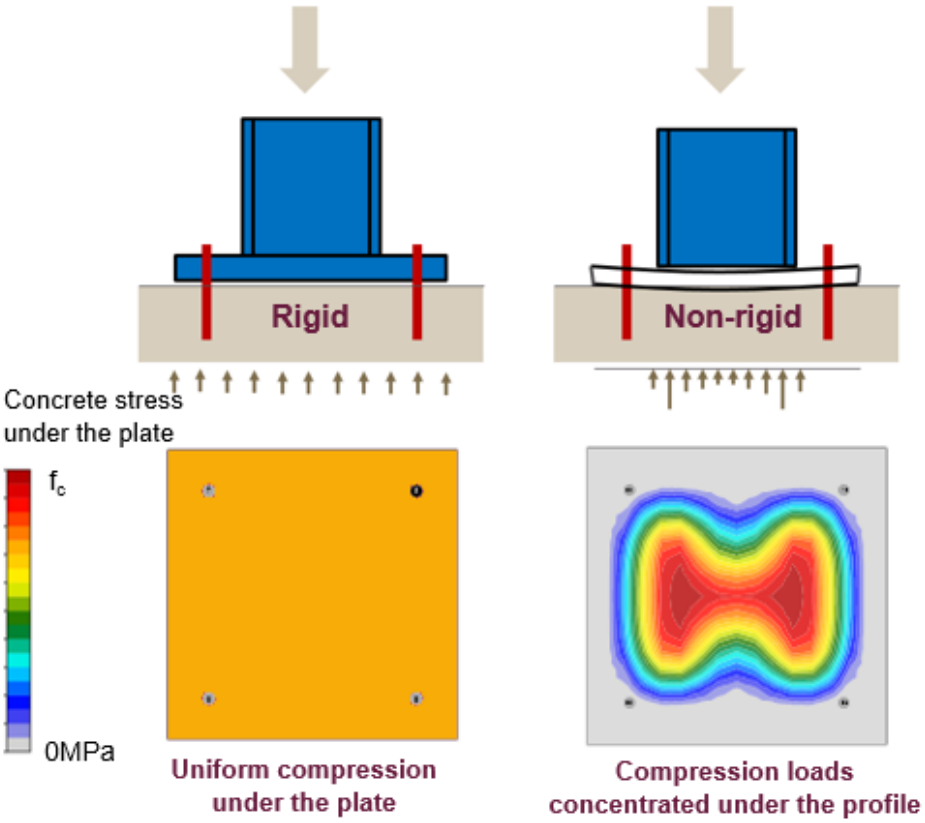

Fig. 8 – Diversa distribuzione delle sollecitazioni del calcestruzzo

Studi di ricerca hanno dimostrato che l'ipotesi di piastra infinitamente rigida può potenzialmente portare a carichi di ancoraggio significativamente più elevati di quelli calcolati secondo la teoria dell'elasticità.

È importante notare che nessun elemento può essere considerato completamente rigido. La piastra di base rigida costituisce infatti un approccio teorico. Studi di ricerca [5] hanno dimostrato che nella realtà il comportamento per le piastre di base "quasi rigide" soddisfano le ipotesi comportamentali di una piastra di base rigida, a patto che la differenza di carico misurata sugli ancoranti rimanga tuttavia entro un range del 10% mettendo a confronto il caso di ipotesi di piastra rigida e quello di piastra flessibile.

Se il comportamento è molto simile, è pertanto possibile applicare le linee guida per la progettazione degli ancoranti tramite valutazione ingegneristica.

Non essendoci normative che suggeriscono esplicitamente di considerare la piastra rigida, questa approssimazione è affidata alla sensibilità del progettista.

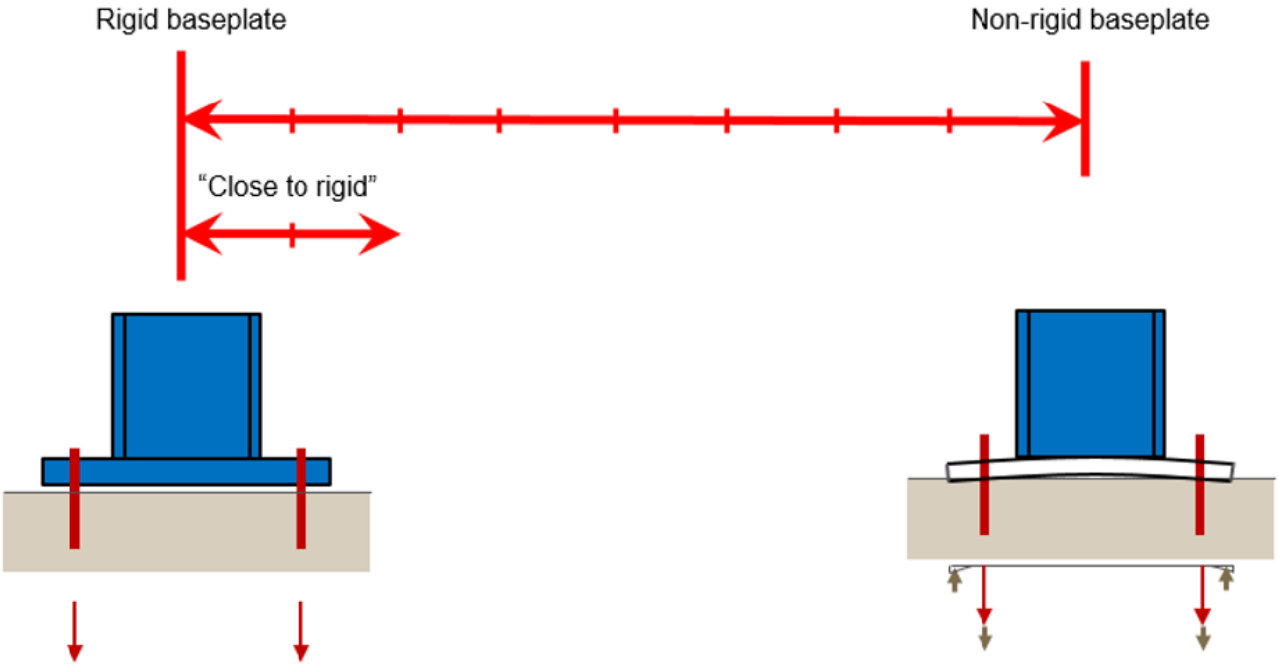

Fig. 9 – Piastra di base rigida, quasi rigida e flessibile

Per valutare il comportamento delle piastre flessibili, è necessario realizzare un'analisi elasto-plastica. I risultati dell'analisi lineare risultano infatti lontani della reale risposta delle connessioni in presenza di carichi elevati.

In un comportamento effettivo di una piastra di base, tutte le geometrie dei componenti e le proprietà meccaniche influenzano la distribuzione del carico (profilo, saldature, rinforzi, piastra, ancoranti e calcestruzzo). I modelli FEM sono utilizzati con lo scopo di verificare il comportamento delle connessioni, in base a tutti questi parametri.

Qui di seguito sono illustrati due esempi limite di una piastra senza deformazioni (rigida), e un caso con deformazioni (non rigida).

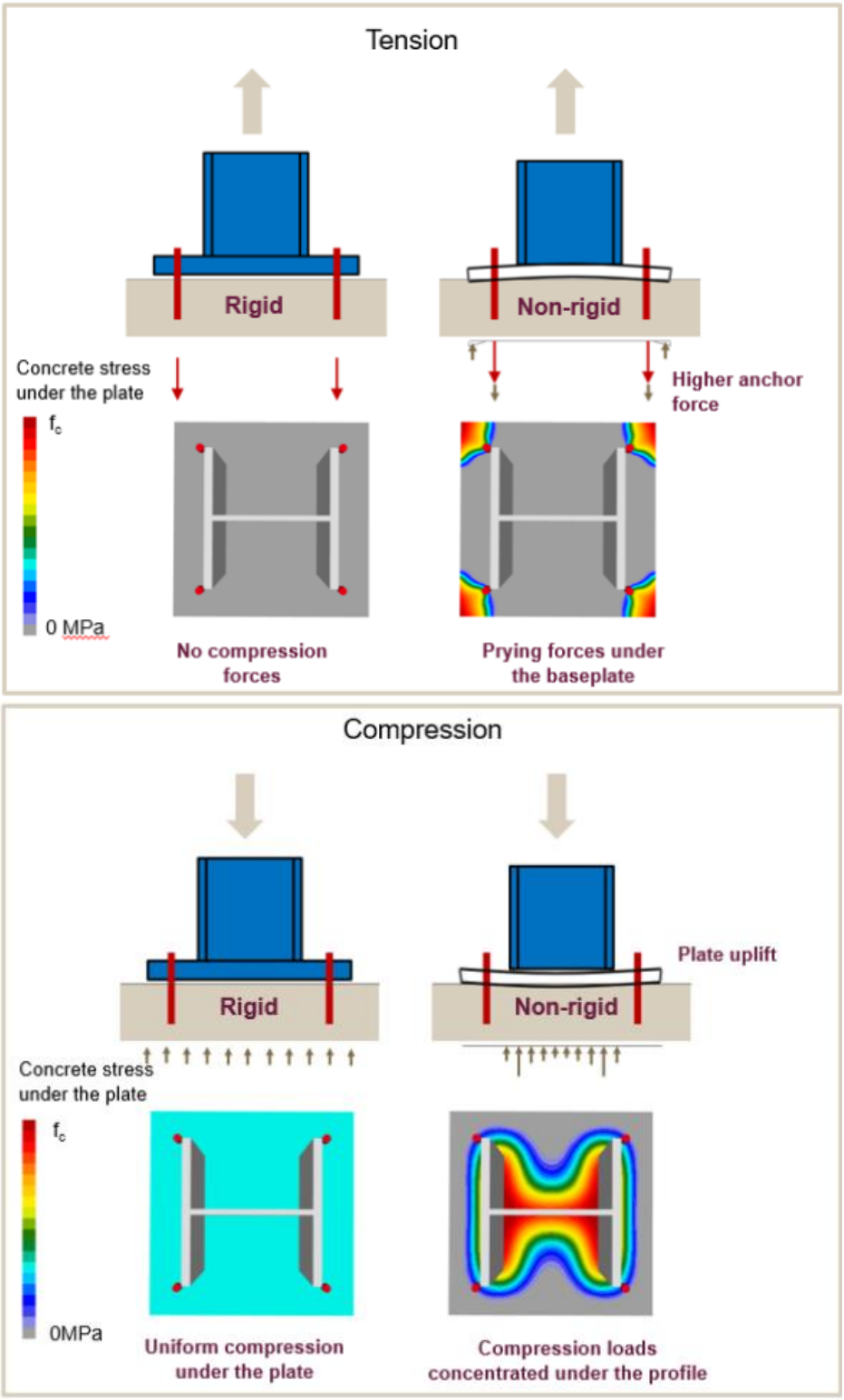

Fig. 10 – Esempi di confronto fra piastre di base rigida e non rigida

Ancoranti

Per l'ancoraggio della piastra alla fondazione vengono impiegati opportuni ancoranti, i quali possono essere installati precedentemente al getto del calcestruzzo, come i **tirafondi**, oppure successivamente mediante **ancoranti post-installati**.

Fig. 11 – Esempi di: tirafondi durante la posa in opera pre-getto; ancoranti meccanici; ancoranti chimici

Il metodo di progettazione dell'Eurocodice 2 parte 4 utilizza modelli fisici basati su una combinazione di prove e analisi numeriche e si applica a:

- **Ancoranti gettati in opera**: ancoranti a piolo, profili di ancoraggio con connessione rigida fra ancoraggio e profilo canale, per esempio;
- **Ancoranti meccanici post-inseriti**: ad esempio ancoranti ad espansione, ancoranti a sottosquadro e viti per calcestruzzo;
- **Ancoranti chimici** post-installati e ancoranti chimici ad espansione.

Per quanto riguarda i tirafondi, l'Eurocodice 3 parte 1-8 raccomanda di impiegare come resistenza di progetto la minore fra la resistenza a trazione degli ancoraggi stessi di cui al §3.6 e la resistenza all'aderenza di progetto all'interfaccia calcestruzzo-tirafondi in accordo all'Eurocodice 2 parte 1-1.

Nota: per quanto riguarda la verifica degli ancoranti, le linee guida per la loro progettazione (norme EN) si basano sull'ipotesi di una piastra di base rigida ed è molto importante che questa ipotesi venga garantita ai fini dell'affidabilità del modello di calcolo.

Blocco di calcestruzzo

La resistenza del calcestruzzo in compressione viene determinata in accordo all'Eurocodice 2.

L'area efficace della piastra in compressione è legata al valore dello sbalzo ***c*** che si ottiene dalla resistenza a flessione della flangia soggetta alle pressioni del calcestruzzo uniformemente distribuite f_{jd}, che rappresenta la resistenza di contatto del giunto, calcolando la resistenza di carico di progetto del calcestruzzo nella connessione sotto la superficie effettiva A_{eff} della piastra di base.

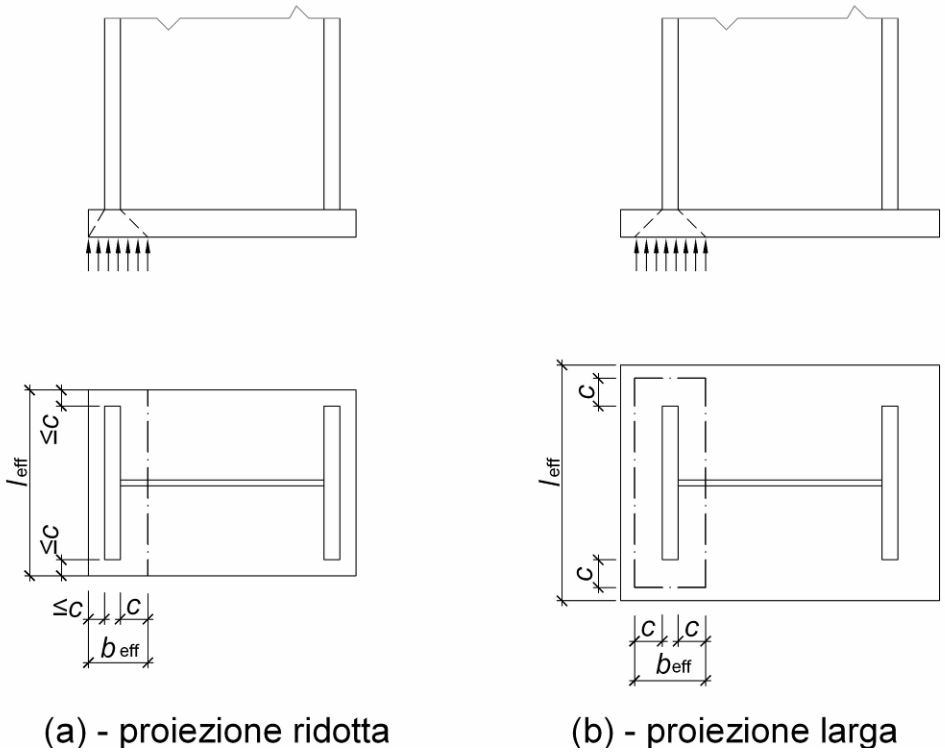

Fig. 12 – Area di un elemento T (T-stub) equivalente sollecitato a compressione (UNI EN 1993-1-8 – Figura 6.4)

La resistenza di carico di progetto del giunto f_{jd} viene valutata in base al § 6.2.5 della EN 1993-1-8 e al §6.7 della EN 1992-1-1.

Contenuti a cura di Fondazione Promozione Acciaio – Riproduzione riservata.

Riferimenti normativi e bibliografici:

[1] D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;

[2] ETAG 001 – Guideline for European Technical Approval of metal anchors for use in concrete

[3] UNI EN 1992-4:2018 [3] – Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 4: Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo;

[4] UNI EN 1993-1-8:2005 [4] – Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti;

[5] Comprehensive base plate and anchor design based on realistic behavior – new design software based on realistic assumpsions – Mario Fitz, Jorg Appl, Oliver Geibig – Stahlbau 87 (2018), Issue 12 (Reprint).

Credits fotografici:
Fig. Copertina: © Scaffsystem;
Fig. 1: © EFFEVI;
Fig. 2/3/4/5/6/7/8/9/10/11b/11c: © HILTI;
Fig. 11a: Ing. Andrea Barocci;
Fig.12: UNI EN 1993-1-8, Figura 6.4;
Ultimo aggiornamento: Ottobre 2021