



# Advanced Base Plate

## Premesse tecniche

**Avviso legale:**

*Si precisa che il presente manuale, inclusi i singoli capitoli, serve solo a scopo informativo.*

*Hilti Corporation si riserva il diritto di modificare in qualsiasi momento e senza preavviso i contenuti qui descritti. Hilti Corporation e/o qualsiasi altra società del gruppo Hilti non avrà alcun obbligo di garanzia o responsabilità di alcun tipo in relazione al contenuto del presente manuale, salvo quanto espressamente indicato e approvato nel contratto di abbonamento individuale applicabile al rispettivo servizio cloud Hilti.*



## Sommario

1	Introduzione .....	3
1.1	Metodo degli elementi finiti basato sui componenti .....	4
1.2	Piastre di base rigide: problemi odierni di progettazione delle piastre di base .....	5
1.3	Design Advanced Base Plate di base in PROFIS Engineering .....	8
1.3.1	Rigida .....	8
1.3.2	Flessibile .....	10
2	Design flessibile: Componenti CBFEM .....	12
2.1	Modello materiale per l'acciaio .....	12
2.1.1	Modello di piastra .....	13
2.1.2	Convergenza delle maglie .....	14
2.2	Ancoranti .....	15
2.2.1	Ancoranti distanziati .....	16
2.3	Blocco di calcestruzzo .....	18
2.3.1	Modello di progettazione .....	18
2.3.2	Rigidità alla deformazione .....	18
2.4	Saldature .....	18
2.4.1	Connessione diretta di piastre .....	19
2.4.2	Saldatura con redistribuzione plastica delle sollecitazioni .....	19
2.4.3	Materiale in acciaio e lacerazione lamellare .....	19
2.5	Punto di applicazione dei carichi di taglio .....	20
2.6	Annessi Nazionali dell'Eurocodice considerati in sede progettuale .....	21
2.7	Applicazione del CBFEM in caso di progettazione sismica .....	23
3	Progettazione CBFEM: Verifica dei componenti in conformità all'Eurocodice .....	25
3.1	Verifiche degli ancoranti .....	25
3.1.1	Combinazioni di carico statico .....	25
3.1.2	Combinazioni di carichi sismici .....	26
3.2	Piastra di base .....	29
3.3	Profilo .....	32
3.4	Rinforzi .....	33



3.5	Blocco di calcestruzzo .....	33
3.5.1	Sensibilità delle maglie .....	35
3.6	Saldature.....	36
3.6.1	Nessuna saldatura .....	36
3.6.2	Saldature di raccordo.....	36
3.6.3	Saldature di testa.....	37
3.7	Deformazioni .....	38
3.8	Dettagli.....	39
4	Il design Advanced Base Plate offre la flessibilità di scegliere la soluzione giusta di cui si ha bisogno. 40	
4.1	Solo progettazione dell'ancorante. Selezionare rigida.....	40
4.2	Design di connessione piena. Selezionare flessibile, inclusi ancoranti, piastra di base, saldatura, rinforzi e calcestruzzo.....	40
5	Soluzione proposta per valutare se la piastra di base può essere considerata "quasi rigida" secondo una valutazione ingegneristica.....	41
5.1	Valutazione ingegneristica per definire un comportamento di piastre di base "quasi rigide".	41
5.1.1	Forze di ancoraggio.....	43
5.1.2	Sollecitazioni del calcestruzzo .....	44
5.1.3	Deformazione .....	44
5.2	Raccomandazione Hilti per la valutazione ingegneristica.....	44
6	Conclusioni .....	45
	Limitazione della responsabilità .....	46
	Figure.....	48
	Tabella .....	50
	Referenze .....	51

## 1 Introduzione

Ogni struttura deve essere collegata a terra tramite una fondazione. Queste fondazioni sono nella maggior parte dei casi realizzate in calcestruzzo. Per trasferire i carichi che agiscono sulla struttura è necessario collegare gli elementi strutturali in acciaio (travi, colonne, ...) alle fondazioni in calcestruzzo. Una delle soluzioni più diffuse consiste nel fissare il componente strutturale in acciaio saldato ad una piastra di base con ancoranti alla fondazione. Tutti gli elementi rilevanti di questa connessione devono essere progettati per i carichi presenti.

Gli elementi a barra sono preferiti dagli ingegneri quando si progettano strutture in acciaio. Tuttavia, ci sono molti punti della struttura in cui la teoria degli elementi non è valida, ad esempio, piastra di base, connessioni di ancoranti, giunti saldati. In questi punti, l'analisi strutturale richiede un'attenzione particolare. Il comportamento non è lineare e le non linearità devono essere rispettate, ad esempio, resa del materiale di piastre o profili, piastra di base e blocco di calcestruzzo, azioni unilaterali di ancoranti, saldature.

La piastra di base e gli ancoranti devono essere progettati all'intersezione tra progettazione dell'acciaio, progettazione degli ancoranti e linee guida per la progettazione del calcestruzzo. Le ipotesi progettuali per la connessione piena non devono essere in contraddizione tra loro. L'esempio principale di una connessione acciaio-calcestruzzo è il comportamento presunto della piastra di base. I codici di progettazione, ad es. EN 1993-1-8 [1], e la letteratura tecnica offrono metodi di soluzione ingegneristica. La loro caratteristica generale è la derivazione per forme strutturali tipiche e carichi semplici. L'approccio si basa sul metodo dei componenti.

Negli ultimi anni la progettazione basata sugli elementi finiti (FEM) ha rivoluzionato l'ingegneria strutturale. Al giorno d'oggi la maggior parte degli ingegneri ha accesso a potenti pacchetti software FEM. Poiché il termine "piastra di base rigida" può significare tutto e nulla, ci sono molti progettisti che modellano le loro piastre di base, il calcestruzzo e gli ancoranti in soluzioni FEM (a volte anche con un software FEM non lineare che utilizza la progettazione plastica secondo l'Eurocodice 3). Molto probabilmente non sono a conoscenza del fatto che le linee guida per la progettazione degli ancoranti si basano sull'ipotesi di una piastra di base rigida.

Il presente documento ha lo scopo di fornire indicazioni e ulteriori particolari sulla soluzione Advanced Base Plate del software PROFIS Engineering di Hilti.

## 1.1 Metodo degli elementi finiti basato sui componenti

Il comportamento reale delle connessioni acciaio-calcestruzzo non può essere risolto con semplici equazioni di travi. Il metodo dei componenti (CM, Component Method) 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 ogni componente - vedere la figura seguente.

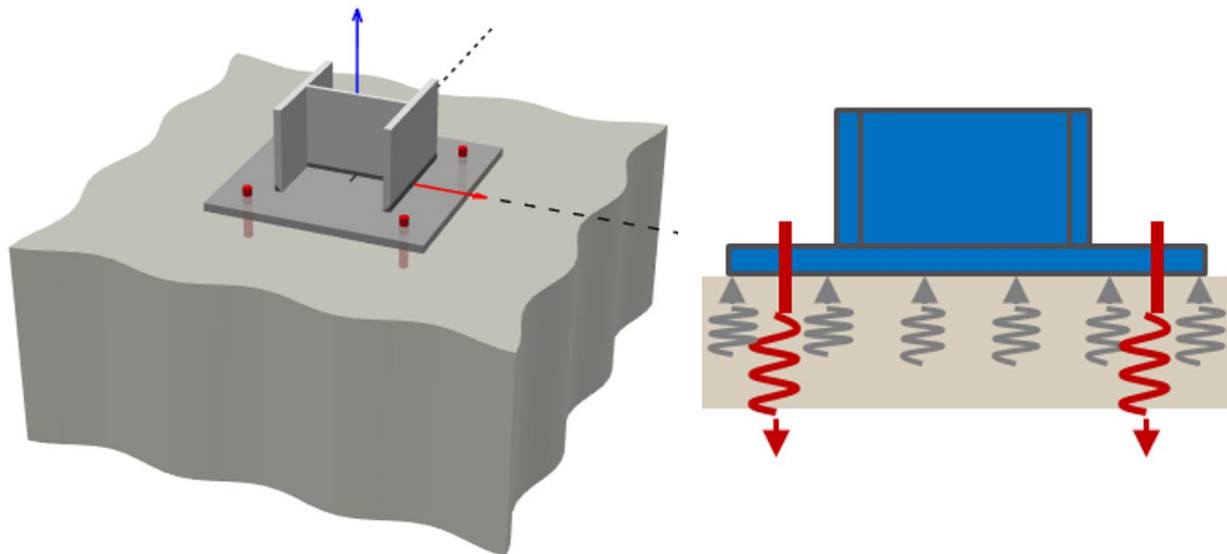


Figura 1. Ancoraggi modellati da molle in connessione acciaio-calcestruzzo

Il calcestruzzo è modellato con molla di compressione, l'ancorante è modellato con molla di trazione e l'acciaio è definito da elementi a guscio. Le proprietà meccaniche dei singoli componenti sono definite da EN 1992 per il calcestruzzo, EN 1993 per l'acciaio e dai dati tecnici Hilti basati su prove di laboratorio per gli ancoranti.

La resistenza di ogni componente viene verificata separatamente utilizzando le equazioni corrispondenti del codice (maggiori informazioni sono fornite più avanti in questo documento).

Il metodo utilizzato da *PROFIS Engineering* per simulare il comportamento reale della piastra di base è il metodo degli elementi finiti basato su componenti (CBFEM) che è:

- Abbastanza generale da essere utilizzabile per la maggior parte delle connessioni nella pratica ingegneristica.
- Abbastanza semplice e veloce nella pratica quotidiana da fornire risultati in un tempo paragonabile ai metodi e agli strumenti attuali.

- Abbastanza completo da fornire all'ingegnere strutturale informazioni chiare sul comportamento delle connessioni, le sollecitazioni, le deformazioni e le riserve dei singoli componenti e sulla sicurezza ed affidabilità complessive.

Il CBFEM si basa sull'idea che si dovrebbero conservare molte delle parti utili e verificate del CM. Il punto debole del CM, ossia la sua generalità nell'analisi delle sollecitazioni dei singoli componenti, è stato sostituito dalla modellazione e dall'analisi con il metodo degli elementi finiti (FEM). La connessione è suddivisa in componenti principali: profilo, rinforzi, saldature, piastra, calcestruzzo e ancoranti.

Questo metodo è stato dimostrato da un processo di verifica e convalida di casi di riferimento, sia numerici che sperimentali, fonte [2].

## 1.2 Piastre di base rigide: problemi odierni di progettazione delle piastre di base

I presupposti della piastra di base rigide delle linee guida ETAG/EN/ACI non sono di solito la cosa più importante per gli ingegneri. Tuttavia, le linee guida per l'ancoraggio sono valide espressamente solo per le piastre di base rigide.

Non esiste una definizione chiara su quando una piastra di base possa essere considerata rigida

L'attuale software di progettazione dà una soluzione alla distribuzione del carico sugli ancoranti, ma le ipotesi alla base di questi calcoli non sono affatto trasparenti, dando una sensazione di "scatola nera".

I principali effetti che influenzano la piastra di base non 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.

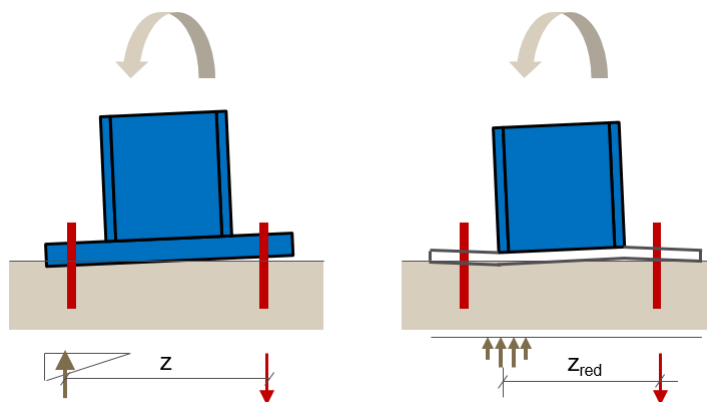


Figura 2. Riduzione del braccio di leva interno per piastre di base non rigide

- 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 tensione).

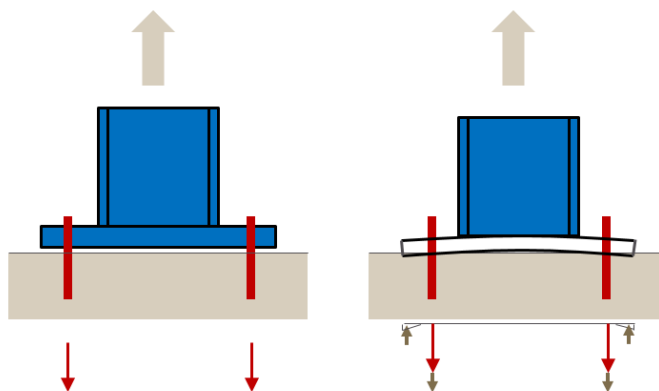


Figura 3. Aumento delle forze di ancoraggio a causa dell'effetto leva

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

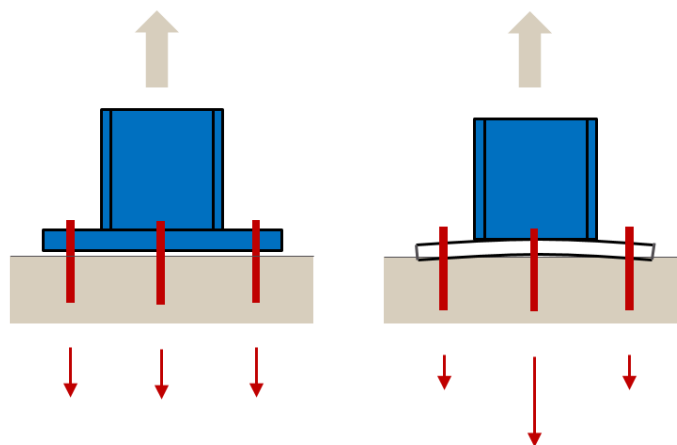


Figura 4. Aumento delle forze di ancoraggio dovuto alla diversa distribuzione del carico per le piastre di base non rigide

- 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.

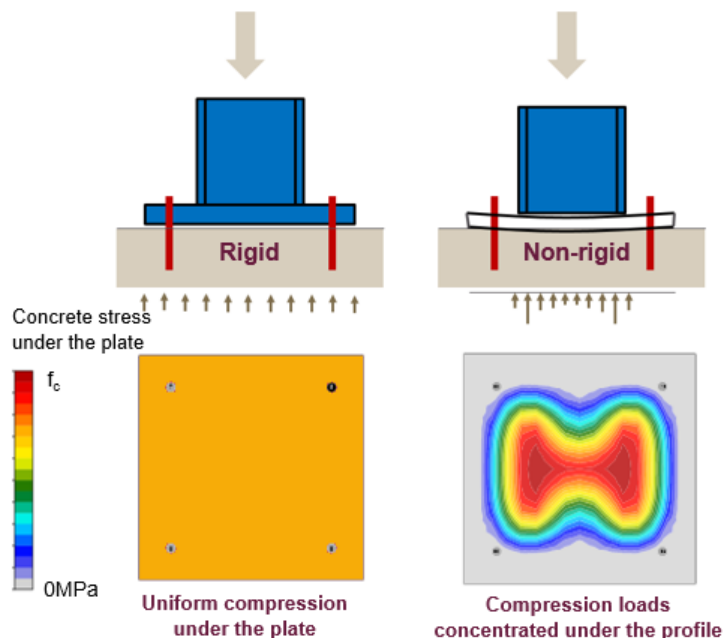


Figura 5. Diversa distribuzione delle sollecitazioni del calcestruzzo.

- Considerazioni su SLS. Per le travi a sbalzo una piastra di base non rigida creerà più spostamento perché c'è più rotazione nella piastra di base.

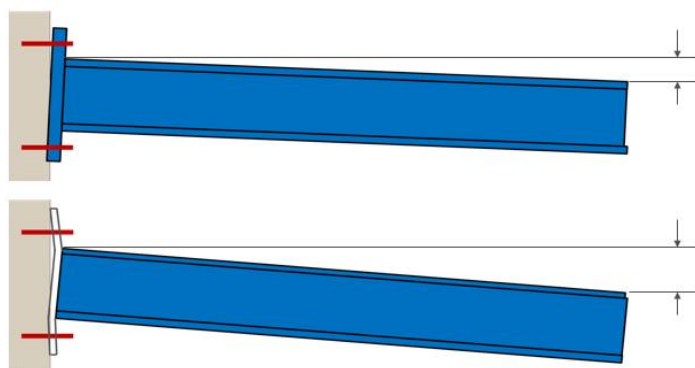


Figura 6. Spostamento della trave a sbalzo in caso di piastra di base rigida e non rigida

A seconda del carico e della geometria, interverranno uno o più di questi effetti che andranno a modificare le forze di ancoraggio nella connessione. Vedere l'esempio successivo che presenta una piastra di base rigida e flessibile.

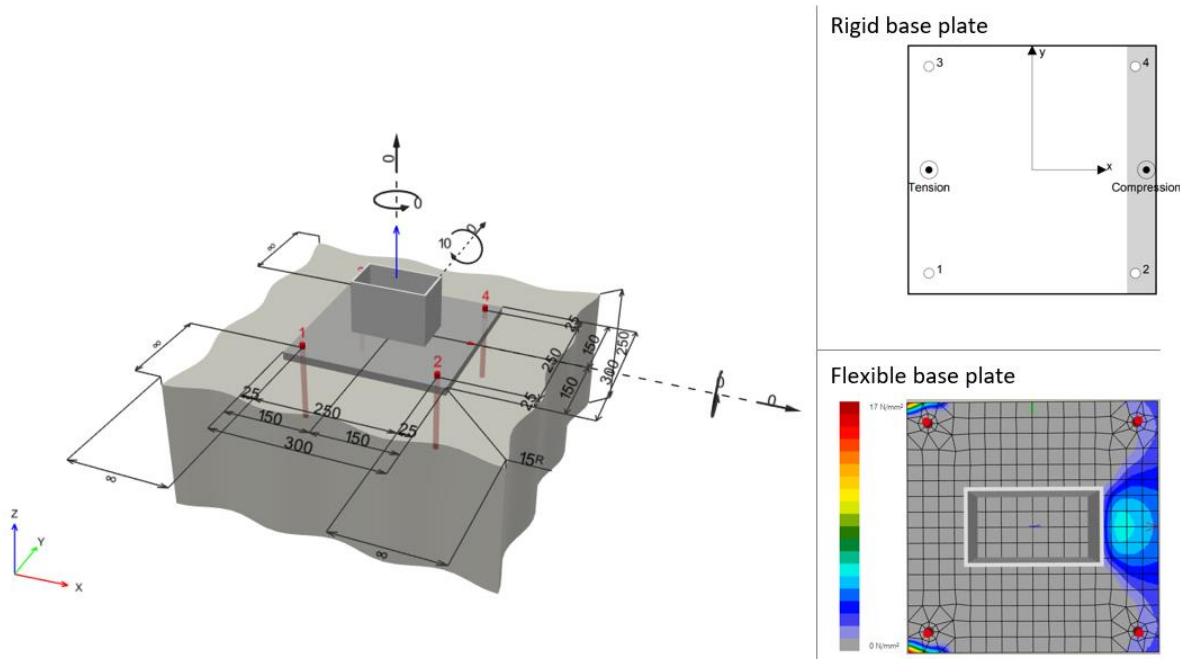


Figura 7. Esempio di confronto tra rigida e flessibile

In questo esempio, la riduzione del braccio di leva e le forze di leva portano a forze di ancoraggio più elevate. Questo non è un approccio teorico - anche nei test fisici si osserva questo comportamento.

### 1.3 Design Advanced Base Plate di base in PROFIS Engineering

Dopo aver osservato la mancanza di dettagli nelle connessioni acciaio-calcestruzzo, sono stati sviluppati metodi alternativi con risultati più accurati e più vicini alla realtà. Nella figura seguente sono mostrati i diversi metodi di calcolo.



Figura 8. Opzioni di progettazione della piastra di base per la determinazione della distribuzione del carico agli ancoranti

#### 1.3.1 Rigida

PROFIS Anchor e PROFIS Engineering con la selezione del rigido derivano le forze di ancoraggio agenti sui singoli dispositivi di fissaggio da un carico applicato. Le ipotesi per le opzioni di progettazione rigida basate sulle attuali linee guida per la progettazione degli ancoranti ([3], [4], [5], [6], [7] e [8]) sono:

- Nessuna deformazione della piastra (le superfici piane restano 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 ( $A_s$ ) e il modulo di elasticità del dispositivo di fissaggio ( $E_s$ ).
- La rigidità del calcestruzzo è caratterizzata dal suo modulo di elasticità.

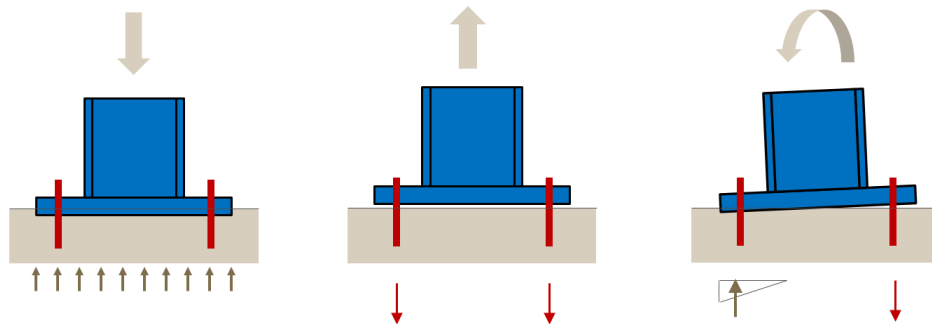


Figura 9. Comportamento della piastra di base rigida

Nella prima fase (1 nella Figura 10 sotto), il metodo della piastra di base rigida calcola le forze di ancoraggio e le sollecitazioni del calcestruzzo risultanti, ipotizzando elementi rigidi. Poi (fase 2 nella Figura 10 sotto), li trasforma in vettori di carico e li applica alla piastra di base, per determinare i momenti della piastra. Dai momenti della piastra lo spessore viene calcolato utilizzando il limite di snervamento della piastra di base (fase 3 nella Figura 10 sotto).

Alla fine, l'utente è responsabile di verificare se l'ipotesi di una piastra di base rigida è stata soddisfatta (fase 4 nella Figura 10 sotto). Purtroppo, questa fase non si svolge sempre correttamente.

## FIRST STEP OF THE BASEPLATE DESIGN IS DONE WITH THE ASSUMPTION OF A RIGID BASEPLATE

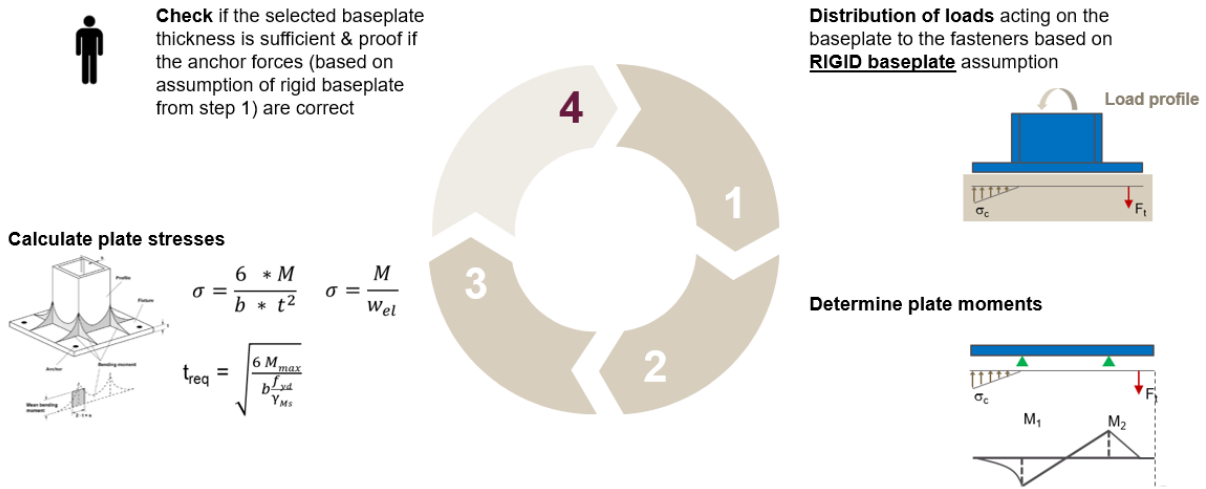


Figura 10. Fasi compiute in caso di progettazione rigida

### 1.3.2 Flessibile

Il comportamento effettivo delle piastre di base può essere rigido o non rigido. Tuttavia, i codici degli ancoranti richiedono che la piastra di base sia rigida.

Qui di seguito sono illustrati due esempi limite di una piastra senza deformazioni (rigida), e un caso con deformazioni (non rigida). Tuttavia, attualmente non esiste una definizione chiara di piastra di base rigida.

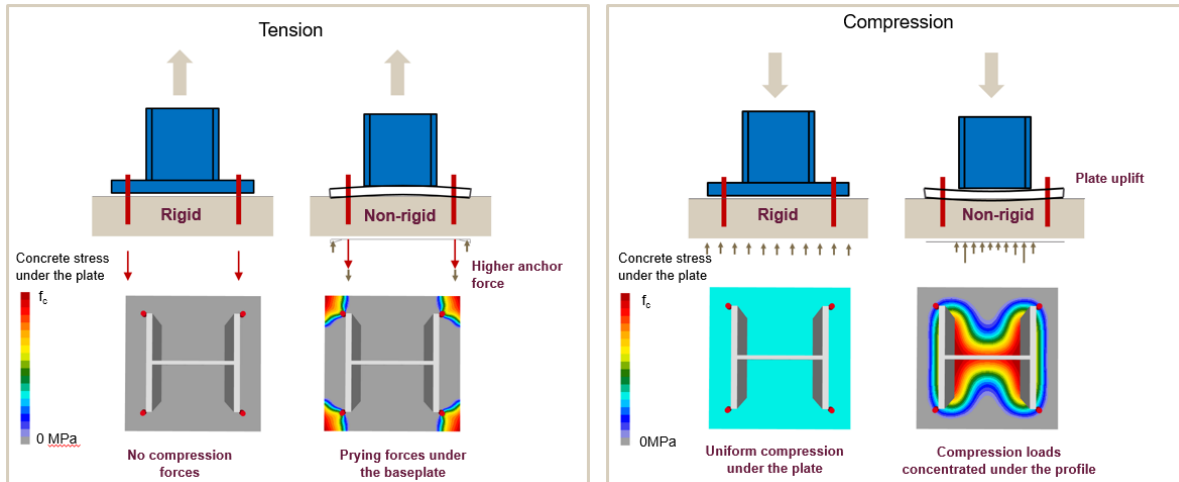


Figura 11. Due esempi di confronto tra piastre di base non rigide

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).

Poi il design flessibile basato sul metodo dei componenti, secondo il metodo dei componenti, considera che il design di connessione piena è spiegato nei capitoli seguenti.

Inoltre, *PROFIS* aiuta gli utenti a risolvere la piastra di base rigida, controllando quanto sia vicina a una situazione rigida.

## 2 Design flessibile: Componenti CBFEM

Il FEM è un metodo generale utilizzato comunemente per l'analisi strutturale. L'uso del FEM per la modellazione di connessioni di qualsiasi forma sembra essere ideale (Virdi 1999 [9]).

È necessaria un'analisi elasto-plastica, in quanto l'acciaio normalmente cede nella struttura. Infatti, i risultati dell'analisi lineare sono inutili per progettare connessioni quando si applicano carichi elevati.

I modelli FEM sono utilizzati per scopi di ricerca sul comportamento delle connessioni, in base ai quali vengono applicati solitamente elementi spaziali e valori misurati delle proprietà dei materiali.

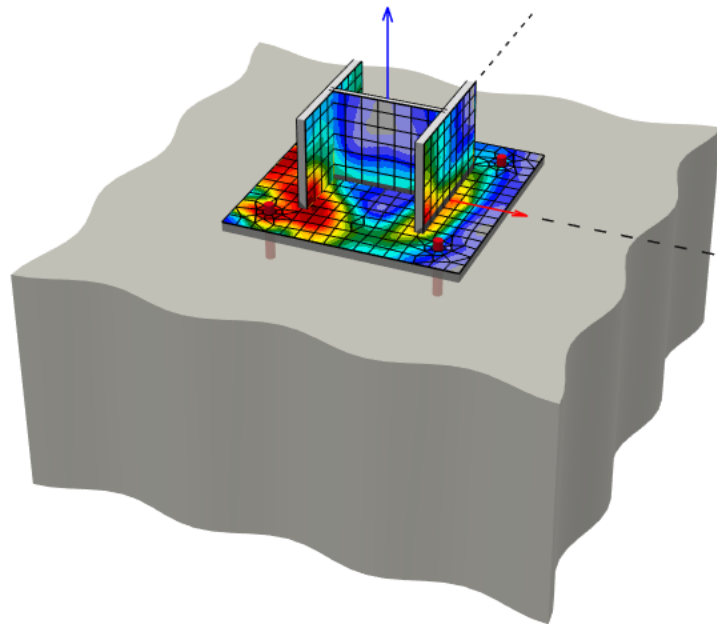


Figura 12. Modello FEM di connessione per la ricerca. Utilizza elementi 3D spaziali sia per le piastre che per gli ancoranti

I dispositivi di fissaggio - ancoranti e saldature - sono i più difficili dal punto di vista del modello di analisi. La modellazione di tali elementi nei programmi FEM in generale è difficile perché i programmi non offrono le proprietà richieste. Pertanto, è stato necessario sviluppare componenti FEM speciali per modellare il comportamento delle saldature e degli ancoranti nella connessione.

Nel caso di connessioni, l'analisi geometrica non lineare non è necessaria a meno che le piastre non siano molto sottili. La sottigliezza della piastra può essere determinata mediante l'analisi degli autovalori (instabilità). L'analisi geometrica non lineare non è implementata nel software.

### 2.1 Modello materiale per l'acciaio

I più comuni diagrammi dei materiali utilizzati nella modellazione ad elementi finiti dell'acciaio strutturale sono il modello plastico o elastico ideale con incrudimento e il diagramma sforzo-deformazione reale.

In *PROFIS Engineering* di Hilti le piastre sono modellate con materiale plastico-elastico con una pendenza nominale del piano di snervamento secondo EN 1993-1-5 [10], All. C, parte C.6. Il comportamento del materiale si basa sul criterio di snervamento di von Mises. Si presume che sia elastico prima di raggiungere il limite di snervamento,  $f_y$ .

Il criterio dello stato limite ultimo per le regioni non suscettibili all'instabilità sta raggiungendo il valore limite della deformazione della membrana principale. Il valore del 5% è raccomandato da EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

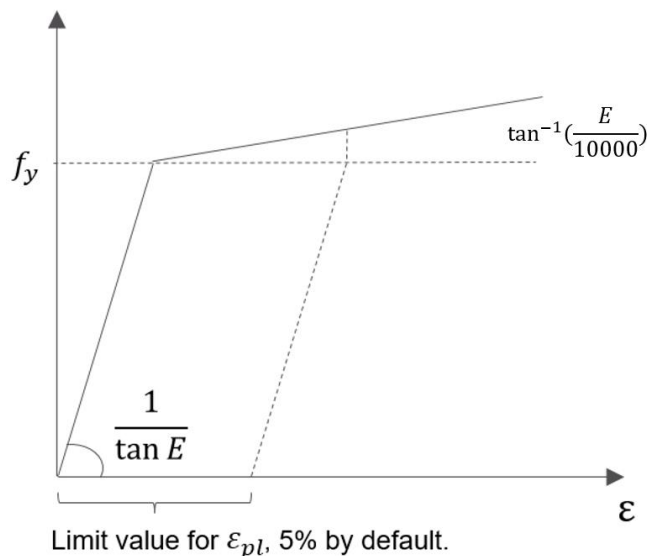


Figura 13. Schemi dei materiali dell'acciaio in modelli numerici

Il valore limite della deformazione plastica è spesso oggetto di dibattito. Infatti, il carico finale ha una bassa sensibilità al valore limite della deformazione plastica quando si usa il modello plastico ideale, [11].

### 2.1.1 Modello di piastra

Gli elementi a guscio sono raccomandati per la modellazione di piastre in FEA di connessione strutturale. Vengono applicati elementi a guscio quadrangolari a quattro nodi con nodi agli angoli. In ogni nodo si considerano sei gradi di libertà: 3 traslazioni ( $u_x, u_y, u_z$ ) e 3 rotazioni ( $\phi_x, \phi_y, \phi_z$ ).

Si considerano le rotazioni perpendicolari al piano dell'elemento. Si fornisce una formulazione completa in 3D dell'elemento. Nella formulazione del comportamento flessionale di un elemento basato sull'ipotesi di Mindlin si considerano le deformazioni di taglio fuori piano. Si applicano gli elementi MITC4, vedere Dvorkin (1984) [12]. Il guscio è diviso in cinque strati di integrazione attraverso lo spessore della piastra in ogni punto di integrazione e il comportamento plastico viene analizzato in ogni punto. Si chiama integrazione Gauss-Lobatto. Lo stadio plastico-elastico non lineare del materiale viene analizzato in ogni strato in base alle deformazioni note.

## 2.1.2 Convergenza delle maglie

Ci sono alcuni criteri per la generazione delle maglie nel modello di connessione. Per le geometrie complesse, l'utente dovrebbe eseguire l'analisi della sensibilità che tiene conto della discretizzazione delle maglie. In generale, l'aumento delle dimensioni delle maglie porta a tempi di calcolo più rapidi, ma a risultati meno accurati, mentre le dimensioni delle maglie più piccole portano a calcoli più lenti, ma a risultati più accurati.

Tutte le piastre di una connessione acciaio-calcestruzzo hanno una divisione comune in elementi. La dimensione degli elementi finiti generati è limitata. La dimensione minima dell'elemento è impostata su 10 mm e la dimensione massima dell'elemento su 50 mm (può essere modificata dall'utente nelle impostazioni avanzate). Le maglie su flange e anime sono indipendenti l'una dall'altra. Il numero di default di elementi finiti è impostato su 8 elementi di grandi dimensioni del profilo, come mostrato nella figura seguente. L'utente può modificare i valori predefiniti nelle impostazioni avanzate, [11].

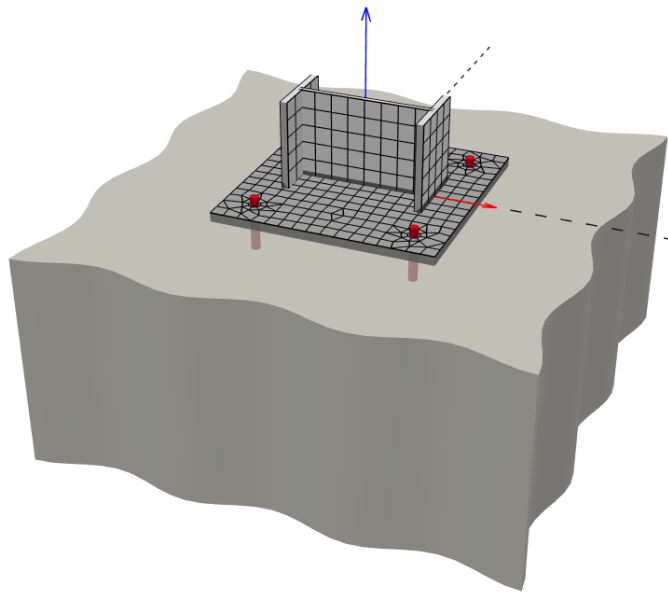


Figura 14. La maglia su una colonna e piastra di base con vincoli tra l'anima e la flangia.

La relazione tra la maglia del profilo e la maglia della lamiera è definita come segue:

$$\text{mesh in largest side of base plate} = 2 \cdot \text{number of profile mesh elements}$$

Quindi, la dimensione predefinita degli elementi finiti è impostata su 16 elementi come mostrato in figura.

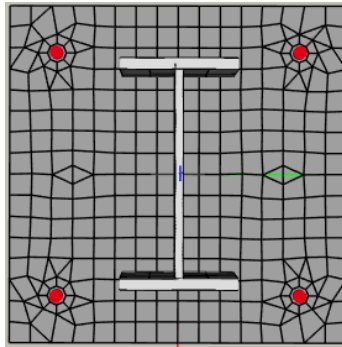


Figura 15. La maglia su una piastra di base con 16 elementi lungo la sua larghezza

L'esempio seguente di connessione tra calcestruzzo e piastra di base mostra l'influenza delle dimensioni delle maglie sulla sollecitazione della piastra di base. Viene caricata da un momento flettente come mostrato nella figura seguente, il numero degli elementi finiti lungo l'altezza della sezione trasversale varia da 8 a 40 (con conseguente divisione della dimensione maggiore della piastra di un fattore da 16 a 80) e i risultati vengono confrontati. Si raccomanda di suddividere la lunghezza della piastra di base in 16 elementi (evidenziati in rosso nel grafico successivo) in quanto elementi più piccoli rallentano solo il calcolo ma non migliorano la precisione. È responsabilità dell'utente definire la dimensione delle maglie per l'applicazione in questione.

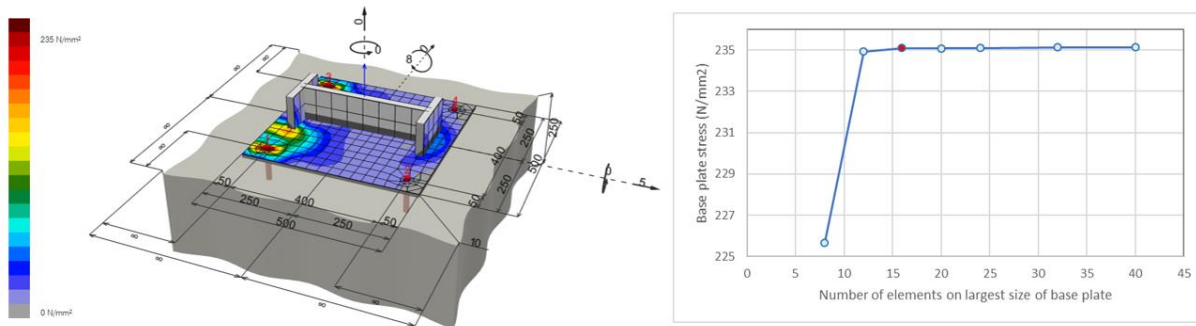


Figura 16. Influenza delle dimensioni delle maglie della piastra di base sollecitazione

## 2.2 Ancoranti

Le proprietà dei materiali degli ancoranti si basano sulla ricerca sperimentale Hilti per la valutazione del prodotto. La rigidità dell'ancorante è una caratteristica specifica del prodotto che varia a seconda del prodotto selezionato, delle condizioni di carico, del diametro, del materiale e della profondità di posa.

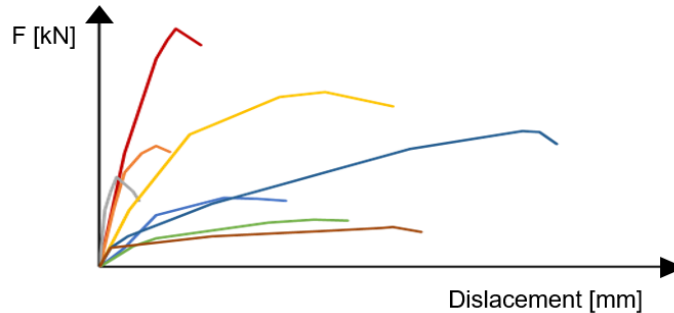


Figura 17. Spostamento schematico del carico

## 2.2.1 Ancoranti distanziati

Il modello CBFEM descritto in questo documento è adatto per dispositivi di fissaggio con piastra di base su calcestruzzo e con distanziale in caso di boiacca sotto la piastra. La boiacca deve avere almeno la stessa resistenza del materiale di base in calcestruzzo.

Si presume che la boiacca possa resistere alle sollecitazioni di compressione mentre la tensione di trazione viene trasmessa agli ancoranti. La distribuzione interna del carico è determinata dal modello ad elementi finiti.

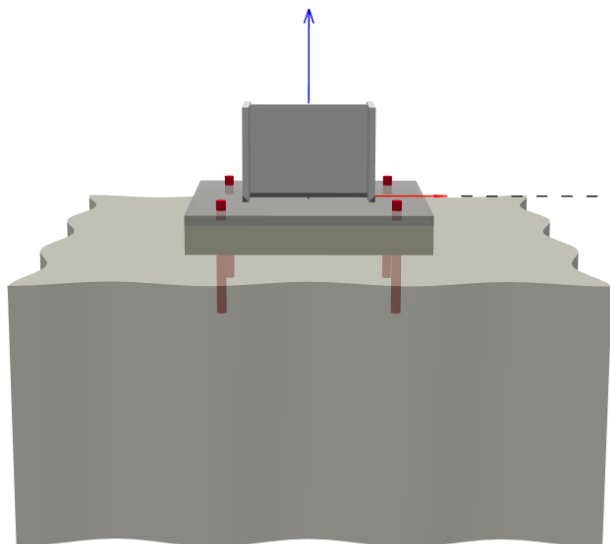
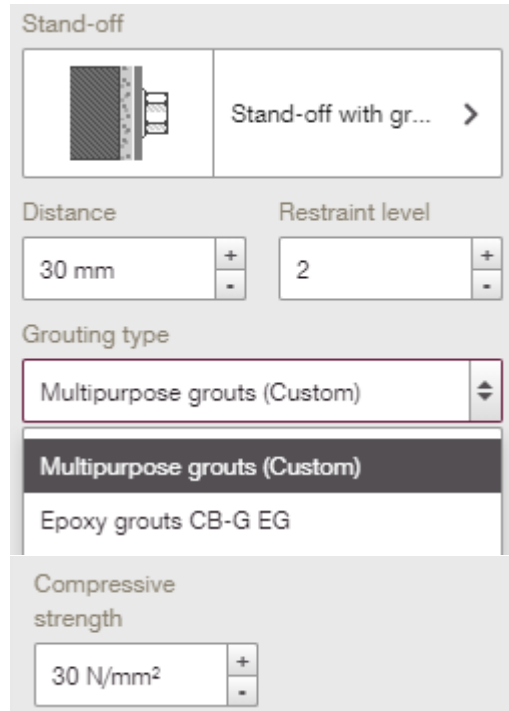


Figura 18. Ancoranti distanziati con boiacca

Gli utenti PROFIS devono selezionare, in questo caso, distanziale con boiacca.

Se la resistenza alla compressione della boiaccia è inferiore a quella del calcestruzzo sottostante, PROFIS presuppone prudentemente che la boiaccia non possa trasmettere forze di compressione al calcestruzzo.



**Stand-off**

Stand-off with gr... >

Distance: 30 mm

Restraint level: 2

Grouting type: Multipurpose grouts (Custom)

Compressive strength: 30 N/mm²

Figura 19: Scelta del distanziale con boiaccia

Le verifiche di resistenza all'ancorante prodotte da PROFIS Engineering considerano l'aumento del carico di taglio dovuto al braccio di leva del carico di taglio, come da esempio di calcolo riportato di seguito.

**1.4.1 Steel failure (with lever arm)**

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,s}^M = \frac{V_{Rk,s}^M}{\gamma_{M,s,b}} \quad \text{ETAG 001 Annex C, Table 5.2.3.1}$$

$$V_{Rk,s}^M = \frac{\alpha_M \cdot M_{Rk,s}}{l} \quad \text{ETAG 001 Annex C, Eq. (5.5)}$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \cdot \left(1 - \frac{N_{Sd}}{N_{Rd,s}}\right) \quad \text{ETAG 001 Annex C, Eq. (5.5a)}$$

$$l = e_c + \frac{t}{2} + a_s \quad \text{ETAG 001 Annex C, Eq. (4.2)}$$

$l$ [mm]	$\alpha_M$				
40.0	2.00				
$N_{Sd} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}$	$M_{Rk,s}^0$ [kNm]	$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s})$ [kNm]		
0.078	0.924	0.092	0.085		
$V_{Rk,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / l$ [kN]		$\gamma_{M,s,b,V}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	$V_{Sd}$ [kN]	
4.251		1.500	2.834	1.256	

Figura 20: Esempio di resistenza al taglio in acciaio dell'ancorante Hilti con braccio di leva

## 2.3 Blocco di calcestruzzo

### 2.3.1 Modello di progettazione

In CBFEM, è conveniente semplificare il blocco di calcestruzzo come elementi di contatto 2D. La connessione tra il calcestruzzo e la piastra di base resiste solo in compressione. La compressione viene trasferita tramite il modello del sottosuolo Winkler-Pasternak che rappresenta le deformazioni del blocco di calcestruzzo. La forza di trazione tra la piastra di base e il blocco in calcestruzzo viene trasmessa dai bulloni di ancoraggio, [11].

### 2.3.2 Rigidity alla deformazione

La rigidità del blocco di calcestruzzo può essere prevista per la progettazione delle basi delle colonne come emisfero elastico. Un modello di sottosuolo Winkler-Pasternak è comunemente usato per un calcolo semplificato delle fondazioni. La rigidità del sottosuolo viene determinata utilizzando il modulo di elasticità del calcestruzzo e l'altezza effettiva di un sottosuolo come, [11]:

$$k = \frac{E_c}{(a_1 + \nu) \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{ref}}}} \left( \frac{1}{\frac{h}{a_2} + a_3} + a_4 \right)$$

dove:

- $k$  – rigidità del sottosuolo di calcestruzzo in compressione
- $E_c$  – modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  – coefficiente di Poisson del blocco di calcestruzzo
- $A_{eff}$  – superficie effettiva in compressione
- $A_{ref} = 10 \text{ m}^2$  – superficie di riferimento
- $d$  – lato corto della piastra di base rettangolare
- $a_1 = 1.65$ ;  $a_2 = 0.5$ ;  $a_3 = 0.3$ ;  $a_4 = 1.0$  – coefficienti

Le unità SI devono essere utilizzate nella formula, l'unità risultante è N/m<sup>3</sup>.

## 2.4 Saldature

Esistono diverse opzioni per il trattamento delle saldature in modelli numerici. È possibile utilizzare diverse descrizioni delle maglie, diverse variabili cinetiche e cinematiche e modelli costitutivi. Solitamente si utilizzano i diversi tipi di modelli geometrici 2D e 3D e quindi elementi finiti con la loro applicabilità per diversi livelli di precisione. Il modello materiale più frequentemente utilizzato è il comune modello di plasticità indipendente dalla velocità, basato sul criterio di snervamento di von Mises. Sono descritti due approcci che vengono utilizzati per le saldature, [11].

## 2.4.1 Connessione diretta di piastre

Questa prima opzione di modello di saldatura tra le piastre è la connessione rigida mediante collegamenti tra le maglie delle piastre connesse. La connessione è chiamata vincolo multipunto (MPC) e mette in relazione i nodi di elementi finiti di un bordo della piastra con un'altra piastra. I nodi di elementi finiti non sono connessi direttamente. Il vantaggio di questo approccio è la possibilità di collegare maglie con densità diverse. Il vincolo permette di modellare la superficie mediana delle lastre collegate con l'offset che rispetta lo spessore reale della lastra. Questo tipo di connessione viene utilizzata per saldature di testa a piena penetrazione, [11].

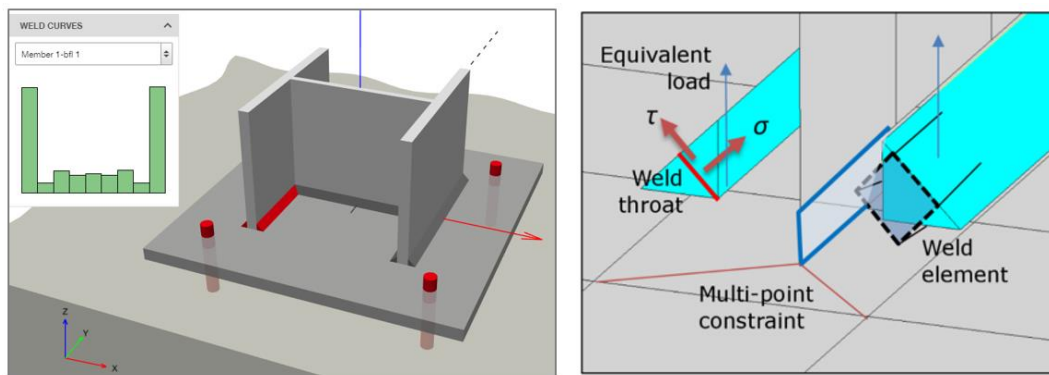


Figura 21. Vincolo tra elemento di saldatura e nodi di maglia, fonte [11]

## 2.4.2 Saldatura con redistribuzione plastica delle sollecitazioni

La distribuzione del carico nella saldatura è derivata dall'MPC, quindi le sollecitazioni sono calcolate nella sezione della gola. Questo è importante per la distribuzione delle sollecitazioni nella piastra sotto la saldatura e per la modellazione di T-stub. Questo modello non rispetta la rigidità della saldatura e la distribuzione delle sollecitazioni è conservativa. I picchi di sollecitazione che compaiono all'estremità dei bordi della piastra, negli angoli e negli arrotondamenti, controllano la resistenza per l'intera lunghezza della saldatura. Per esprimere il comportamento di saldatura viene applicato un modello di saldatura migliorato. Tra le piastre viene aggiunto uno speciale elemento elastoplastico. L'elemento rispetta lo spessore, la posizione e l'orientamento della gola di saldatura. Il solido di saldatura equivalente viene inserito con le dimensioni di saldatura corrispondenti. Si applica l'analisi non lineare del materiale e si considera il comportamento elastoplastico in un solido di saldatura equivalente. [11].

## 2.4.3 Materiale in acciaio e lacerazione lamellare

PROFIS Engineering esegue la verifica della connessione in termini progettuali. La lacerazione lamellare è legata alla scelta dei materiali dell'acciaio strutturale - a seconda della saldatura, può essere necessario un valore 'Z' più elevato per i componenti coinvolti (profilo, piastra e rinforzi).

PROFIS Engineering non tiene conto del valore Z dell'acciaio per prevenire lo strappo lamellare.

Gli utenti possono inserire la resistenza allo snervamento e la resistenza a rottura dell'acciaio principale da altre informazioni dell'acciaio strutturale come 'Z'. Per definire appieno le caratteristiche dell'acciaio sarebbero necessarie maggiori informazioni, ad esempio l'immagine successiva.

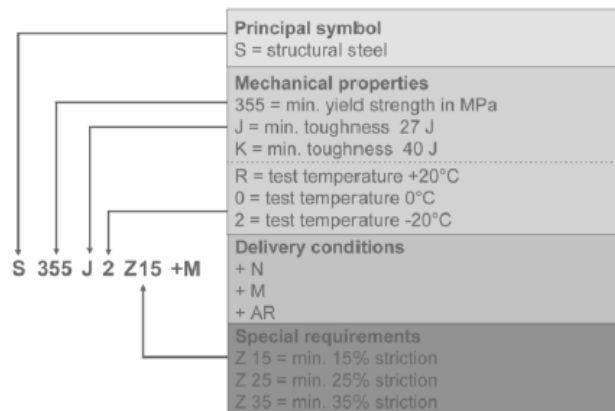


Figura 22. Designazione del tipo di acciaio secondo la norma EN 10025 (2004). Fonte: La scelta giusta dell'acciaio [13]

## 2.5 Punto di applicazione dei carichi di taglio

Il carico di taglio sulla piastra di base viene trasferito agli ancoranti secondo EN1992-4 par. 6.2.2.3.

Si considera che i dispositivi di fissaggio agiscano senza braccio di leva, se tutte le condizioni sotto riportate sono soddisfatte:

- Il fissaggio è realizzato in acciaio ed è in contatto con il dispositivo di fissaggio per una lunghezza di  $0.5t_{fix}$ .
- Utilizzare una malta livellante con spessore  $t_{grout} \leq 0.5d$  sotto almeno le dimensioni piene del fissaggio su una superficie di calcestruzzo grezzo come strato intermedio. La resistenza della malta deve essere quella del calcestruzzo di base, in ogni caso non inferiore a  $30\text{N/mm}^2$ .

Se le condizioni di cui sopra non sono soddisfatte, si presume che la forza di taglio sui dispositivi di fissaggio agisca con braccio di leva. Il punto di carico applicato per taglio con braccio di leva è il centro della piastra.

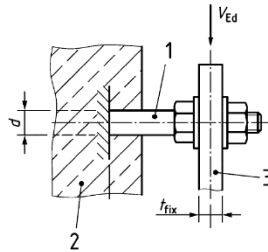


Figura 23: Punto di carico applicato per taglio con braccio di leva

## 2.6 Annessi Nazionali dell'Eurocodice considerati in sede progettuale

Gli annessi nazionali di EC3 e EC2 influenzano i valori predefiniti di Advanced Base Plate (ABP) per  $\gamma_{M0}$ ,  $\gamma_{M1}$ ,  $\gamma_{M2}$  e fattore di calcestruzzo  $\alpha_{cc}$ .

La maggior parte dei paesi europei ha pubblicato un annesso nazionale che fornisce indicazioni agli ingegneri per quanto riguarda quali fattori di sicurezza devono essere utilizzati per la progettazione. I valori predefiniti in PROFIS Engineering sono conformi all'annesso nazionale per ogni regione utilizzata nella progettazione.

Tuttavia, l'utente può anche modificare questi valori nelle impostazioni avanzate (controllare l'immagine qui sotto).



Steel calculation method and parameters ^

- EN based
- AISC and LRFD based

Steel safety factor gamma M0	Steel safety factor gamma M1	Steel safety factor gamma M2
1	1.1	1.25

Advanced baseplate calculation settings ^

Analysis and checks

View steel stress / strain results:

- ULS steel stress / strain
- Maximum steel stress / strain

Concrete block

Joint coefficient B <sub>j</sub>	Effective area (influence of mesh size)	Load distribution angle of concrete block	$\alpha_{cc}$
0.67	0.1	33.7 °	0.85

Figura 24. Impostazioni avanzate per modificare i fattori di sicurezza

## 2.7 Applicazione del CBFEM in caso di progettazione sismica

Gli edifici in acciaio resistente ai terremoti devono essere progettati in conformità con uno dei seguenti comportamenti dissipativi:

- Basso comportamento dissipativo (concetto a)
- Medio o alto comportamento dissipativo (concetto b)

Tabella 1: requisiti relativi alla classe di sezione trasversale degli elementi dissipativi in funzione della classe di duttilità (media e alta) e riferimento al fattore di comportamento  $q$  (Tabella 6.3, EN1998-1).

Criterio di progettazione	Classe di duttilità strutturale	Campo dei valori di riferimento per fattore di comportamento $q$
Concetto a) Basso comportamento sismico dissipativo	DCL	$\leq 1.5-2$
Concetto b) Comportamento sismico dissipativo	DCM	$\leq 4$
	DCH	Limitato solo dai valori di EN1998 tabella 6.2

Inserire carichi sismici come Load Type in PROFIS Engineering per dimostrare combinazioni di carichi sismici.



Figura 25: Selezione delle combinazioni di carichi sismici

Il valore di  $q$  deve essere determinato dall'utente al di fuori di PROFIS. In base al valore di  $q$  e Tabella 1, si deve scegliere il design elastico o di capacità.

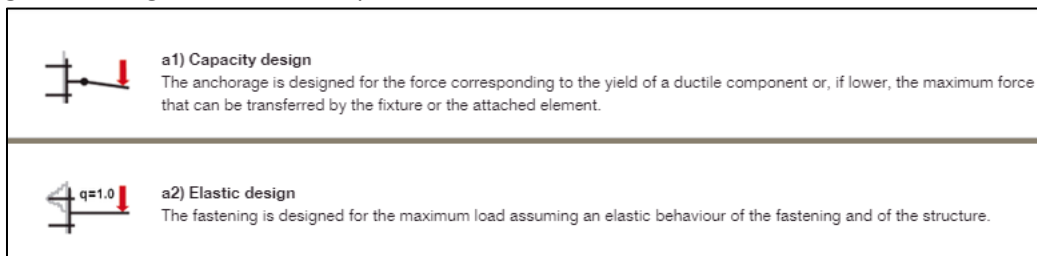


Figura 26: Capacità e design elastico

Il progetto CBFEM descritto in questo documento è applicabile al concetto a), e la resistenza degli elementi e delle connessioni deve essere valutata in conformità alla norma EN 1993 senza ulteriori requisiti (sezione 6.1.2(4) della norma EN 1998-1).

In questo caso, PROFIS Engineering procede alla progettazione della connessione per combinazioni di carichi sismici, come descritto di seguito.

Tabella 2: Particolari CBFEM in caso di sismica (DCL,  $q < 1.5-2$ )

Componente	Definizione di distribuzione del carico	Definizione di resistenza
Acciaio	2.1 Modello materiale per l'acciaio	3.3 Profilo 3.2 Piastra di base 3.4 Rinforzi
Ancoranti	2.2 Ancoranti	3.1 Verifiche degli ancoranti
Blocco di calcestruzzo	2.3 Blocco di calcestruzzo	3.5 Blocco di calcestruzzo
Saldature	2.4 Saldature	3.6 Saldature

L'applicazione del CBFEM in caso di progettazione sismica è stata indagata e valutata da Hilti, [14].

### 3 Progettazione CBFEM: Verifica dei componenti in conformità all'Eurocodice

Il metodo CBFEM abbina i vantaggi del metodo generale degli elementi finiti (FEM) e del metodo dei componenti (CM) menzionati nella norma EN1993-1-8 [1]. Le sollecitazioni e le forze interne derivate dal modello CBFEM sono utilizzate nei controlli di tutti i componenti. I singoli componenti sono controllati secondo Eurocodice EN 1993-1-8 [1]. In generale, tutti i materiali in acciaio devono essere più larghi di 4 mm, il limite previsto per essere pienamente conformi alla norma EN1993-1-1 [15] ed EN1993-1-8 [1].

PROFIS calcola il dimensionamento a livello della connessione. Le sezioni critiche per la progettazione, cioè l'instabilità, non sono determinate nella verifica della connessione, proprio perché PROFIS dovrebbe conoscere meglio la struttura circostante e non solo il nodo.

#### 3.1 Verifiche degli ancoranti




##### 3.1.1 Combinazioni di carico statico

L'utente può scegliere di eseguire la progettazione degli ancoranti secondo i seguenti codici di progettazione europei:

- Eurocodice 2-4.
- ETAG 001 Allegato C.
- EOTA TR029.
- Bollettino *fib* 58.

Le verifiche vengono eseguite secondo le linee guida selezionate dall'utente per le modalità di cedimento dell'acciaio e del calcestruzzo.

Tabella 3: Verifiche necessarie per i dispositivi di fissaggio in trazione, sia gettati in opera che post-installati

	Modo di cedimento	Dispositivo di fissaggio singolo	Gruppo di dispositivi di fissaggio	
			Dispositivi di fissaggio sottoposti a carico principale	Gruppo
1 	Cedimento dell'acciaio del dispositivo di fissaggio	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
2 	Rottura conica del calcestruzzo	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$
3 	Cedimento del dispositivo di fissaggio per estrazione	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	







	<b>Cedimento combinato per estrazione e cedimento del calcestruzzo</b>	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$
	<b>Cedimento da frattura del calcestruzzo</b>	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$

Tabella 4: Verifiche necessarie per i dispositivi di fissaggio, sia gettati in opera che post-installati, con carico di taglio

	Modo di cedimento	Dispositivo di fissaggio singolo	Gruppo di dispositivi di fissaggio	
			Dispositivi di fissaggio sottoposti a carico principale	Gruppo
	<b>Cedimento dell'acciaio del dispositivo di fissaggio senza braccio di leva</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
	<b>Cedimento dell'acciaio del dispositivo di fissaggio con braccio di leva</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}}$	
	<b>Rottura da scalzamento del calcestruzzo</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$
	<b>Cedimento per rottura del bordo del calcestruzzo</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$

### 3.1.2 Combinazioni di carichi sismici

In base a EN1992-4/EOTA TR045, la resistenza di progetto di un dispositivo di fissaggio in caso di carico sismico deve essere effettuata secondo la modalità di cedimento, secondo:

$$R_{d,eq} = \frac{R_{k,eq}}{\gamma_{M,eq}}$$

Dove:



$$R_{k,eq} = \alpha_{gap} \alpha_{eq} R_{k,eq}^0$$

$\gamma_{M,eq}$  indica i fattori di sicurezza relativi alla modalità di cedimento sismico

E:

$R_{k,eq}^0$  è la resistenza caratteristica di base per una determinata modalità di cedimento

$\alpha_{gap}$  è definito nell'ETA del prodotto

$\alpha_{eq}$  è definito nelle tabelle seguenti

Tabella 5: Fattori di riduzione per  $\alpha_{eq}$  in trazione, come da EN1992-4










	Modo di cedimento	Dispositivo di fissaggio singolo	Gruppo di dispositivi di fissaggio
1 	<b>Cedimento dell'acciaio del dispositivo di fissaggio</b>	1	1
2 	<b>Rottura conica del calcestruzzo</b> Dispositivo di fissaggio gettato in opera e dispositivo di fissaggio sottosquadro Tutti gli altri	1 0,85	0,85 0,75
3 	<b>Cedimento del dispositivo di fissaggio per estrazione</b>	1	0,85
4 	<b>Cedimento combinato per estrazione e cedimento del calcestruzzo</b>	1	0,85
5 	<b>Cedimento da frattura del calcestruzzo</b>	1	0,85

Tabella 6: Fattori di riduzione per  $\alpha_{eq}$  a taglio, come da EN1992-4

	Modo di cedimento	Dispositivo di fissaggio singolo	Gruppo di dispositivi di fissaggio
1 	<b>Cedimento dell'acciaio del dispositivo di fissaggio senza braccio di leva</b>	1	0,85
2 	<b>Cedimento dell'acciaio del dispositivo di fissaggio con braccio di leva</b>	1	0,85

<b>3</b> 	<b>Rottura da scalzamento del calcestruzzo</b> Dispositivo di fissaggio gettato in opera e dispositivo di fissaggio sottosquadro Tutti gli altri	<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">0,85</p>	<p style="text-align: center;">0,85</p> <p style="text-align: center;">0,75</p>
<b>4</b> 	<b>Cedimento per rottura del bordo del calcestruzzo</b>	<p style="text-align: center;">1</p>	<p style="text-align: center;">0,85</p>

### 3.2 Piastra di base

La sollecitazione equivalente risultante (criterio di Von Mises) e la deformazione plastica sono calcolate sulle piastre come da modello FEM illustrato nel capitolo 2.

#### Sollecitazione

L'utilizzo del criterio di Von Mises è indicato anche per determinare il livello massimo di sollecitazione nella sezione trasversale.

$$\sigma_{Ed,eq} \leq f_{yd} \text{ EN 1993-1-6 [16], par. 6.2}$$

*PROFIS Engineering* e la norma EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1 consente una sollecitazione leggermente superiore rispetto a  $f_{yd}$ , perché il livello di sollecitazione da snervamento dell'acciaio non è costante al 100%. Durante questa fase si verifica un piccolissimo incremento della sollecitazione.

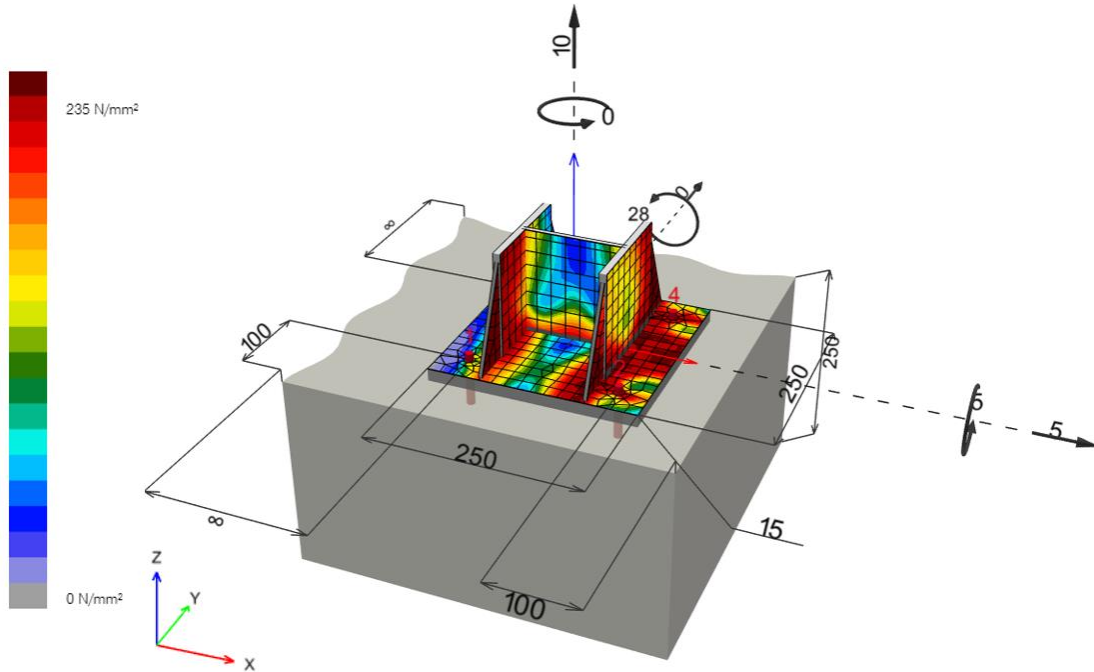


Figura 27. Esempio di sollecitazione dell'acciaio

## Deformazioni

I criteri di stato limite ultimo per gli elementi strutturali rivestiti devono verificare le principali deformazioni della membrana rispetto a un valore limite di deformazione ( $\varepsilon$ ).

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{lim} \text{ come da EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1}$$

Dove  $\varepsilon_{lim}$  è definito dall'utente. *PROFIS Engineering* presenta un valore predefinito di  $\varepsilon_{lim}$ , considerando un valore massimo del 5% EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

L'ingegnere è responsabile di controllare i limiti di deformazione massimi, e se esistono regolamenti nazionali per  $\varepsilon_{lim}$  in mercati specifici. Queste informazioni dovrebbero essere nell'Annesso Nazionale per EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

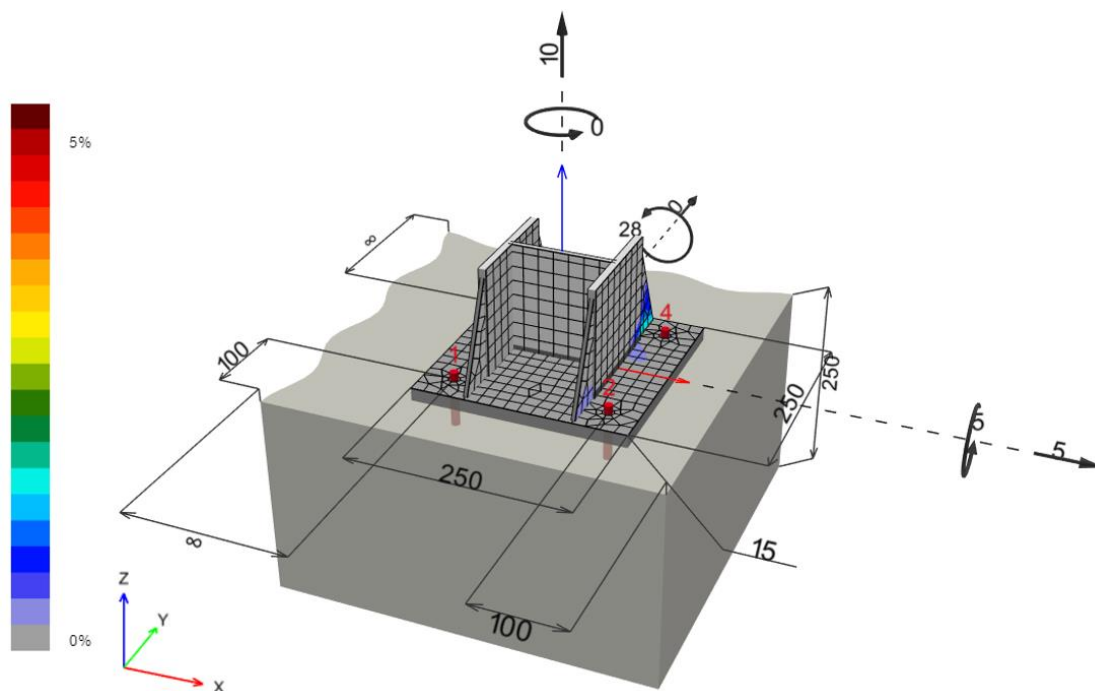


Figura 28. Esempio di deformazione plastica

Poiché gli elementi della piastra sono divisi in 5 strati, il comportamento elastico/plastico viene esaminato in ciascuno strato separatamente. Il programma esegue una verifica del livello di sollecitazione e della deformazione plastica equivalente: il risultato del calcolo fa riferimento alla verifica più critica tra i 5 strati.

Il criterio limite è costituito dal 5%, come suggerito nell'Eurocodice EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1. Il calcolo della connessione non sostituisce il calcolo dell'acciaio per sezioni trasversali critiche che dovrà essere effettuato al di fuori di PROFIS Engineering.

Part	Load combination	Material	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_{M0}$	$\epsilon_{lim}$ [%]	$\sigma_{Ed}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_{Pl}$ [%]	Status
Plate	Combination 1	S 235	235.00	1.00	5.00	235.20	0.10	OK
Profile	Combination 1	S 235	235.00	1.00	5.00	235.55	0.26	OK

Figura 29. Deformazione plastica e tensione equivalente

Il metodo CBFEM può portare a una sollecitazione maggiore dell'acciaio rispetto alla resistenza allo snervamento. Il motivo è la leggera inclinazione (1) del ramo plastica del grafico sollecitazione-deformazione che viene utilizzato per migliorare la stabilità del calcolo di interazione.

Questo non è un problema nella progettazione pratica. A carichi superiori, la deformazione plastica equivalente aumenta e la connessione cede quando supera il limite di deformazione plastica.

### 3.3 Profilo

Una parte del profilo viene modellata per garantire che la distribuzione delle sollecitazioni nel profilo sia “regolata” per essere trasferita alle saldature. Tuttavia, il software non sostituisce la verifica sulla sovrastruttura perché non effettua alcuna valutazione di instabilità o stabilità. Ma sta controllando le sollecitazioni e la deformazione in una certa sezione del profilo.

#### Deformazioni

I criteri di stato limite ultimo per gli elementi strutturali rivestiti devono verificare le principali deformazioni della membrana rispetto a un valore limite di deformazione ( $\varepsilon$ ).

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{lim} \text{ come da EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1}$$

Dove  $\varepsilon_{lim}$  è definito dall'utente. *PROFIS Engineering* presenta un valore predefinito di  $\varepsilon_{lim}$ , considerando un valore massimo del 5% EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

L'ingegnere è responsabile di controllare i limiti di deformazione massimi, e se esistono regolamenti nazionali per  $\varepsilon_{lim}$  in mercati specifici. Queste informazioni dovrebbero essere nell'Annesso Nazionale per EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

#### Sollecitazione

L'utilizzo del criterio di Von Mises è indicato anche per determinare il livello massimo di sollecitazione nella sezione trasversale.

$$\sigma_{Ed,eq} \leq f_{yd} \text{ EN 1993-1-6 [16], par. 6.2}$$

Sia *PROFIS Engineering* e la norma EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1 consente una sollecitazione leggermente superiore rispetto a  $f_{yd}$ . Ciò accade perché il livello di sollecitazione da snervamento dell'acciaio non è costante al 100%. Durante questa fase si verifica un piccolissimo incremento della sollecitazione.

### 3.4 Rinforzi

Se i componenti del profilo e della piastra sono simili, *PROFIS Engineering* controlla la sollecitazione equivalente (o criterio di Von Mises) e la deformazione plastica per i rinforzi. Questo controllo non sostituisce la progettazione del telaio necessaria per le strutture in acciaio (compreso il controllo dell'instabilità per i rinforzi).

#### Deformazioni

I criteri di stato limite ultimo per gli elementi strutturali rivestiti devono verificare le principali deformazioni della membrana rispetto a un valore limite di deformazione ( $\varepsilon$ ).

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{lim} \text{ come da EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1}$$

Dove  $\varepsilon_{lim}$  è definito dall'utente. *PROFIS Engineering* presenta un valore predefinito di  $\varepsilon_{lim}$ , considerando un valore massimo del 5% EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

L'ingegnere è responsabile di controllare i limiti di deformazione massimi, e se esistono regolamenti nazionali per  $\varepsilon_{lim}$  in mercati specifici. Queste informazioni dovrebbero essere nell'Annesso Nazionale per EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1.

#### Sollecitazione

L'utilizzo del criterio di Von Mises è indicato anche per determinare il livello massimo di sollecitazione nella sezione trasversale.

$$\sigma_{Ed,eq} \leq f_{yd} \text{ EN 1993-1-6 [16], par. 6.2}$$

*PROFIS Engineering* e la norma EN 1993-1-5 [10], All. C, Parte C.8 Nota 1 consente una sollecitazione leggermente superiore rispetto a  $f_{yd}$ , perché il livello di sollecitazione da snervamento dell'acciaio non è costante al 100%. Durante questa fase si verifica un piccolissimo incremento della sollecitazione.

### 3.5 Blocco di calcestruzzo

La resistenza del calcestruzzo in compressione 3D viene determinata in base alla EN 1993-1-8 [1] calcolando la resistenza di carico di progetto del calcestruzzo nella connessione,  $f_{jd}$ , sotto la superficie effettiva,  $A_{eff}$ , della piastra di base. La resistenza di carico di progetto del giunto,  $f_{jd}$ , viene valutato in base a Cl. 6.2.5 in EN 1993-1-8 [1] e Cl. 6.7 in EN 1992-1-1. Lo spessore e la qualità della boiaccia è introdotta dal coefficiente di connessione,  $\beta_{jd}$ . Per una qualità della boiaccia uguale o migliore alla qualità del blocco di calcestruzzo, si prevede  $\beta_{jd} = 1.0$ . Si stima che la superficie effettiva,  $A_{eff,cm}$  sotto la piastra di base sia della forma della sezione trasversale della colonna aumentata della larghezza di supporto aggiuntivo,  $c$ .

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_i\gamma_{M0}}}$$

dove  $t$  è lo spessore della piastra di base,  $f_y$  è la resistenza a snervamento della piastra di base e  $\gamma_{M0}$  è il coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio.

La superficie effettiva viene calcolata mediante iterazione fino a quando la differenza tra le larghezze di supporto aggiuntive dell'iterazione attuale e precedente  $|c_i - c_{i-1}|$  è inferiore a 1 mm.

La superficie dove il calcestruzzo è in compressione deriva dai risultati di FEA. Questa superficie in compressione,  $A_{eff,FEM}$ , consente di determinare la posizione dell'asse neutrale.

L'intersezione della superficie in compressione,  $A_{eff,FEM}$ , e della superficie effettiva,  $A_{eff,cm}$ , consente di valutare la resistenza per una base di colonna sottoposta a carico generale con una colonna di forma qualsiasi e un rinforzo qualsiasi ed è etichettata  $A_{eff}$ . La sollecitazione media  $\sigma$  sulla superficie effettiva,  $A_{eff}$ , viene calcolata come la forza di compressione divisa per la superficie effettiva. Il componente viene controllato nelle sollecitazioni  $\sigma \leq f_{jd}$

Resistenza del calcestruzzo a compressione concentrata:

$$f_{jd} = \beta_j k_j \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Sollecitazione media sotto la piastra di base:

$$\sigma = \frac{N}{A_{eff}}$$

Utilizzo in compressione [%]:

$$Ut = \frac{\sigma}{f_{jd}}$$

dove:

- $f_{ck}$  – resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo
- $\beta_j = 0.67$  – fattore di qualità di boiacca editabile in Code setup
- $k_j$  – fattore di concentrazione
- $\gamma_c$  – fattore di sicurezza per il calcestruzzo
- $A_{eff}$  – superficie effettiva sulla quale è distribuita la forza normale della colonna  $N$

Variables						
N [kN]	$A_{eff}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\beta_j$	$k_j$	$\alpha_{cc}$	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_c$
62.225	3,133	0.67	3.00	0.85	25.00	1.50
Results						
$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{jd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Utilization [%]		Status		
19.86	28.47	70		OK		

Figura 30. Sollecitazione da contatto nel calcestruzzo

### 3.5.1 Sensibilità delle maglie

Questa procedura di valutazione della resistenza del calcestruzzo in compressione è indipendente dalla maglia della piastra di base, come si può vedere dalle figure seguenti. Ciò risulta dall'esempio del calcestruzzo nella valutazione della compressione secondo EC.

Sono stati studiati due casi: carico per pura compressione di 1200 kN e carico per combinazione di forza di compressione 1200 kN e momento flettente 90 kN.

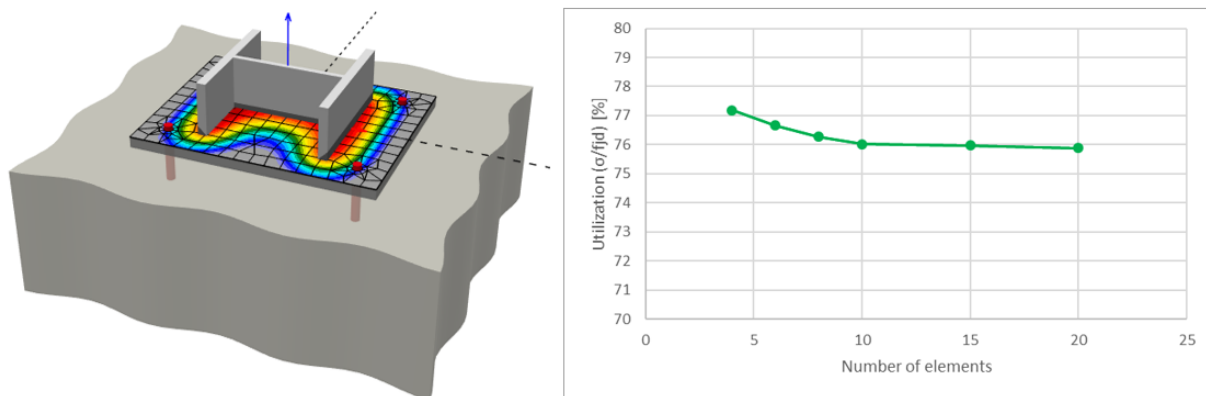


Figura 31. Influenza del numero di elementi sulla previsione della resistenza del calcestruzzo in compressione in caso di compressione pura

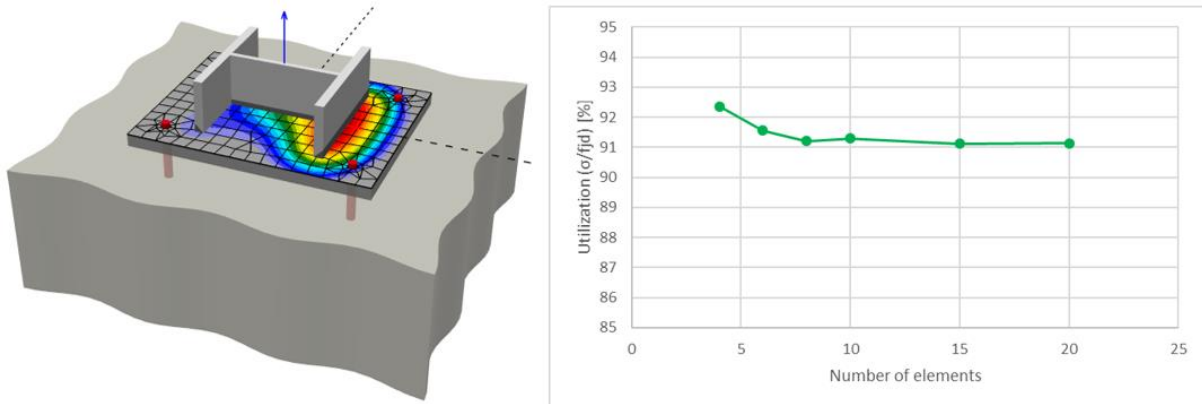


Figura 32. Influenza del numero di elementi sulla previsione della resistenza del calcestruzzo in compressione in caso di compressione e flessione

### 3.6 Saldature

Sono disponibili tre opzioni di saldatura, considerando i materiali di saldatura secondo la norma EN 1991-1 [17]. L'utente può scegliere di modellare la connessione tra profilo / rinforzi e piastra.

#### 3.6.1 Nessuna saldatura

Se i componenti in acciaio non sono saldati insieme, si presume che non ci sia trasferimento di carichi tra di essi. Pertanto, la saldatura non è modellata - gli elementi non condividono nodi.

#### 3.6.2 Saldature di raccordo

Tutti i carichi vengono trasferiti attraverso la saldatura. La saldatura di raccordo è modellata come un elemento di saldatura speciale che ha una sezione trasversale equivalente a quella della saldatura.

#### Resistenza di progetto

La sollecitazione plastica nella saldatura è limitata al 5% come nella piastra (EN1993-1-5 [10], All. C, Par. C.8, Nota 1). La sollecitazione nella sezione di gola di una saldatura di raccordo viene calcolata in base alla EN 1993-1-8 [1], Cl. 4.5.3. usando il metodo direzionale. Le sollecitazioni sono calcolate dalle sollecitazioni nell'elemento di saldatura. Il momento flettente intorno all'asse longitudinale della saldatura non viene preso in considerazione.

$$\sigma_{\omega,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

$$\sigma_{\omega,Rd} = \frac{f_u}{\beta_{\omega}\gamma_{M2}}$$

## Utilizzo della saldatura

$$U_t = \min \left\{ \frac{\sigma_{\omega,Ed}}{\sigma_{\omega,Rd}}, \frac{\sigma_{\perp}}{0.9f_u/\gamma_{M2}} \right\}$$

dove:

- $\beta_{\omega}$  – fattore di correlazione (EN 1993-1-8 [1] – Tabella 4.1)
- $f_u$  – resistenza ultima, scelta come valore inferiore dei due materiali di base connessi
- $\gamma_{M2}$  – fattore di sicurezza (EN 1993-1-8 [1]; editabile in Code setup)

La sollecitazione plastica nella saldatura è limitata al 5% come nella piastra (EN1993-1-5 [10], All. C, Par. C.8, Nota 1). La sollecitazione nella sezione di gola di una saldatura di raccordo viene calcolata in base alla EN 1993-1-8 [1]. Le sollecitazioni sono calcolate dalle sollecitazioni nell'elemento di saldatura. Il momento flettente intorno all'asse longitudinale della saldatura non viene preso in considerazione.

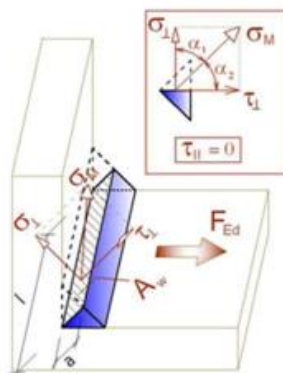


Figura 33. Decomposizione dei carichi di saldatura, fonte [11]

Tutti i valori necessari per il controllo sono riportati nelle tabelle.  $U_t$  è l'utilizzo dell'elemento maggiormente sollecitato. Poiché si utilizza la redistribuzione plastica della sollecitazione nella saldatura, questo è l'utilizzo decisivo.  $U_{tc}$  fornisce informazioni sull'utilizzo lungo la saldatura. Si tratta del rapporto tra la sollecitazione reale su tutti gli elementi della saldatura e la resistenza di progetto della sollecitazione dell'intera lunghezza della saldatura, [11].

### 3.6.3 Saldature di testa

L'utente può scegliere le saldature di testa che corrispondono a piena penetrazione.

Secondo Eurocodice 3-1-8, par. 4.7.1 per le saldature di testa a piena penetrazione la progettazione viene verificata implicitamente dalla resistenza dell'elemento più debole nella connessione.

## 3.7 Deformazioni

PROFIS Engineering calcola e fornisce le deformazioni in ogni punto della connessione, compresa la posizione degli ancoranti. Poiché gli ancoranti sono uniti alla piastra, la deformazione sulla piastra è uguale alla deformazione sugli ancoranti.

Il controllo delle deformazioni può essere effettuato includendo i carichi SLS e verificando gli spostamenti. Se un utente vuole calcolare le deformazioni sotto la combinazione di carico SLS, dovrà inserire la combinazione di carico SLS in PROFIS Engineering e controllare questi spostamenti.

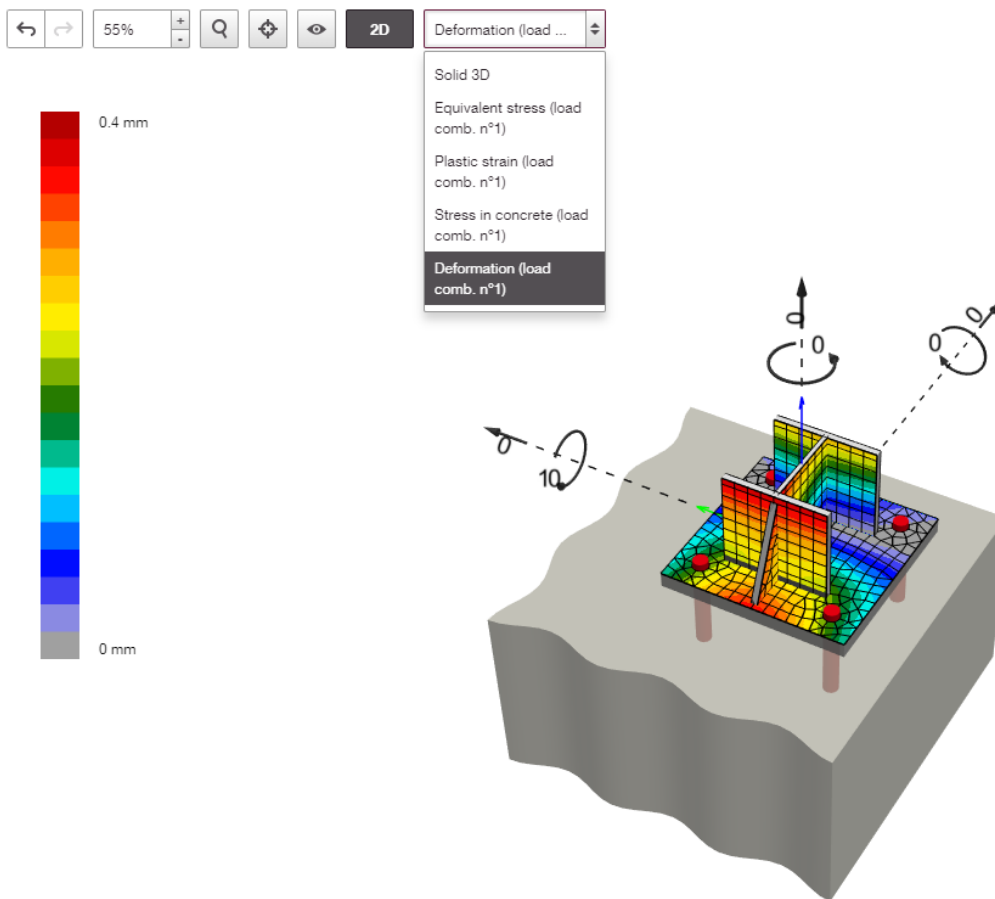


Figura 34. Deformazione



### 3.8 Dettagli

I controlli di dettaglio della distanza minima tra gli ancoraggi sono sempre effettuati.

Gli ETA Hilti degli ancoranti prescrivono dimensioni da:

- Distanza minima tra ancoranti
- Distanza minima tra ancoranti e bordo di calcestruzzo

Queste opzioni non possono essere modificate dall'utente. Le distanze minime garantiscono che l'ancorante Hilti sia in grado di resistere ai carichi, comprese le modalità di cedimento relative al calcestruzzo (ad es. rottura del bordo del calcestruzzo).

Le impostazioni del programma prescrivono dimensioni da:

- Distanza minima tra ancorante e bordo della piastra
- Distanza minima tra ancoranti e profilo

I valori di default per la distanza minima finale sono conformi alla norma EN 1993-1-8 [1], tabella 3.3.

## 4 Il design Advanced Base Plate offre la flessibilità di scegliere la soluzione giusta di cui si ha bisogno.

A seconda del progetto che si vuole calcolare, il modulo Advanced Base Plate offre la libertà di scegliere il metodo giusto.

### 4.1 Solo progettazione dell'ancorante. Selezionare rigida

Selezionare rigida per la progettazione degli ancoranti, risparmiando tempo sui calcoli con miglioramenti come le interfacce software della struttura, l'usabilità, ecc. Ma è necessario assicurarsi che la piastra di base si comporti come una piastra rigida.

### 4.2 Design di connessione piena. Selezionare flessibile, inclusi ancoranti, piastra di base, saldatura, rinforzi e calcestruzzo

Ci sono tre opzioni per un design di connessione piena:

- a) Selezionare flessibile con rigidità verificata della piastra di base, nel caso in cui si vogliono applicare rigorosamente le regole dell'Eurocodice. Questa è l'opzione giusta se si vuole evitare "di tirare a indovinare" per la soluzione della piastra di base. Tuttavia, si potrebbe ottenere uno spostamento trascurabile della piastra di base rispetto allo spostamento degli ancoranti. Oppure utilizzare Advanced Base Plate ottenendo una deviazione dello 0%, e questo potrebbe portare a spessori antieconomici della piastra di base.
- b) Selezionare flessibile e ottimizzare la piastra di base con una deviazione massima della rigidità del 10%. Migliorare la progettazione della connessione con una valutazione ingegneristica supportata da test approfonditi, fornendo all'ingegnere di verifica un rapporto di progettazione completo per l'intera connessione.
- c) Selezionare flessibile e ottimizzare la piastra di base secondo la valutazione dell'ingegnere. Con un solo clic è possibile completare la progettazione della connessione e iterare rapidamente per trovare la soluzione più adatta. Considerando che le formule di progettazione degli ancoranti sono valide solo se la piastra di base può essere considerata rigida.

## 5 Soluzione proposta per valutare se la piastra di base può essere considerata “quasi rigida” secondo una valutazione ingegneristica.

La piastra di base rigida costituisce un approccio teorico. Nella vita reale nessun elemento è completamente rigido: se lo si carica a sufficienza la piastra di base si deforma. Le piastre di base “quasi rigide” si comportano in modo simile alle piastre di base rigide, riconoscendone il comportamento reale. Se il comportamento è molto simile, è possibile applicare le linee guida per la progettazione degli ancoranti tramite valutazione ingegneristica.

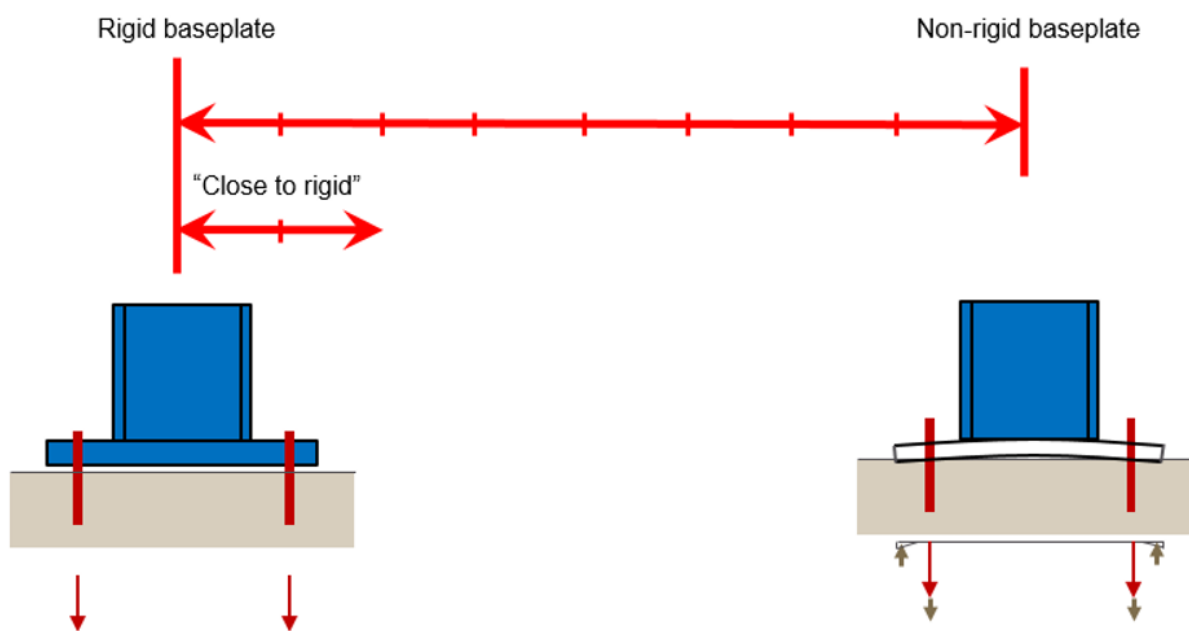


Figura 35. Definizione di piastre di base “quasi rigide”

### 5.1 Valutazione ingegneristica per definire un comportamento di piastre di base “quasi rigide”.

Mentre in precedenza non era stata effettuata alcuna verifica dell'effettiva rigidità della piastra di base, questa viene eseguita alla fine del processo di calcolo (Figura 36. Finestra di comparazione rigida e flessibile). I carichi degli ancoranti calcolati secondo la teoria dell'elasticità vengono confrontati con i carichi degli ancoranti tenendo conto delle condizioni di equilibrio e compatibilità sulla base di ipotesi realistiche del comportamento carico-spostamento e delle curve sollecitazione-deformazione dei singoli componenti e ipotizzando una piastra di base rigida. Confrontando i carichi degli ancoranti di entrambi i metodi, è possibile determinare il gap tra teoria (piastra di base rigida) e pratica all'interno di un software.

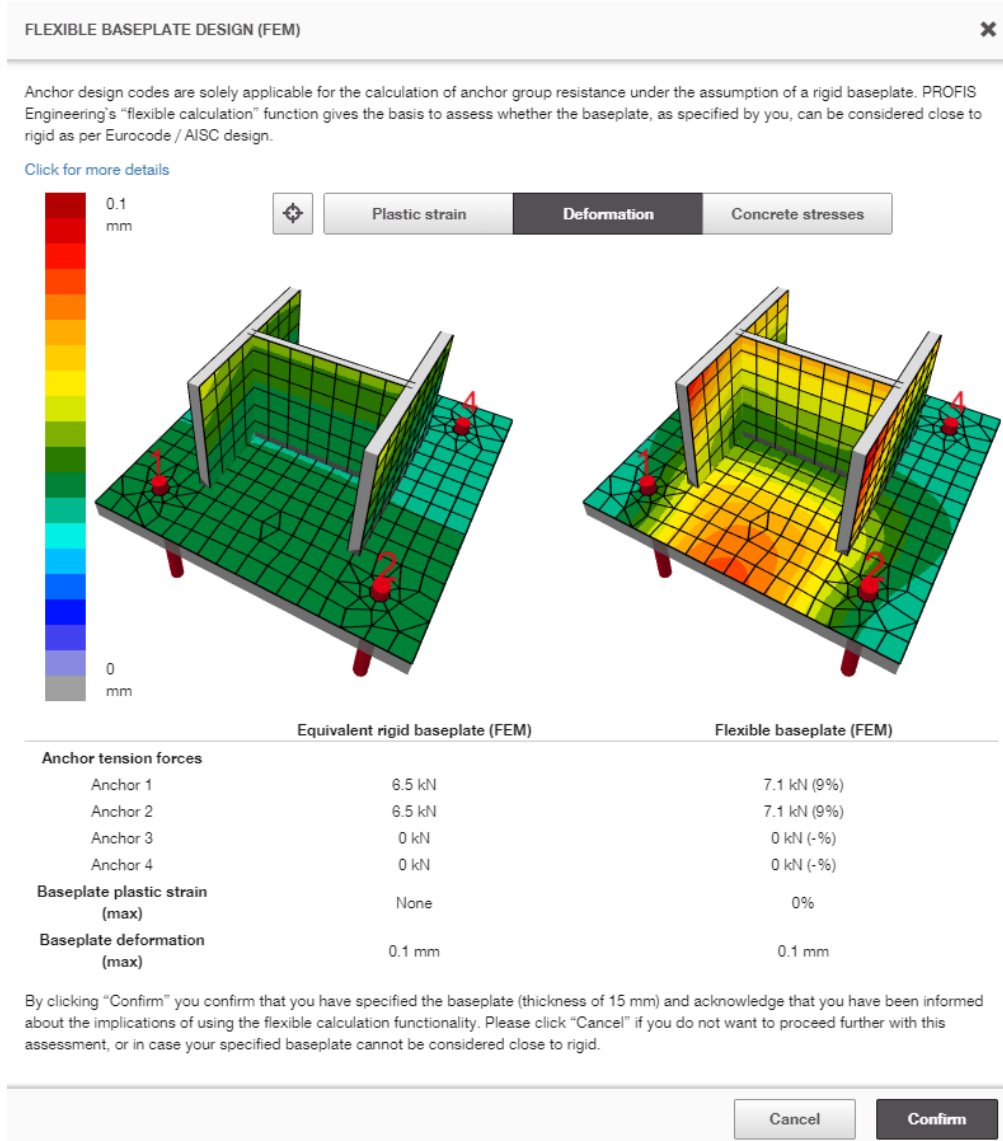


Figura 36. Finestra di comparazione rigida e flessibile

Figura 37. Aumento delle forze di ancoraggio associate ad una piastra di base flessibile., da [18], mostra carichi di cedimento medi determinati in via sperimentale di gruppi di ancoranti ( $N_{u,test}$ ) correlati al carico di cedimento calcolato tenendo conto della teoria dell'elasticità ( $N_{u,E-theory}$ ) in funzione dell'ancorante del gruppo con il massimo carico in base a ipotesi non lineari, correlati al valore calcolato dell'ancorante con il carico maggiore, determinato sulla base della teoria dell'elasticità. Questi test considerano i gruppi di ancoranti con un numero di ancoranti compreso tra quattro e nove sotto flessione uniassiale e biassiale in calcestruzzo non fessurato. Nei test, sono stati utilizzati tirafondi gettati in opera e ancoranti post-installati.

Figura 37 è stata scelta per stimare in che misura una deviazione dell'ancorante maggiormente caricato di un gruppo rispetto al calcolo secondo la teoria dell'elasticità influisce sulla capacità di carico del gruppo nel suo complesso. Sulla base dei valori di prova disponibili, con una deviazione dei carichi dell'ancorante maggiormente caricato di un gruppo di circa il 10% - 15%, tra le ipotesi della piastra di base rigida e realistica, il carico medio di cedimento del fissaggio del gruppo corrisponde al carico medio di cedimento del gruppo calcolato secondo la teoria dell'elasticità. Ciò significa che in caso di una deviazione di circa il 10% - 15% dei carichi degli ancoranti tra la piastra rigida e la piastra flessibile, nelle prove non è stato possibile osservare alcuna influenza negativa sulla capacità di carico.

Il confronto tra la piastra di base rigida e quella realistica in combinazione con le indagini di cui sopra dovrebbe aiutare il progettista ad effettuare una valutazione dello spessore della piastra di base esistente che non sia in contrasto con le linee guida applicabili.

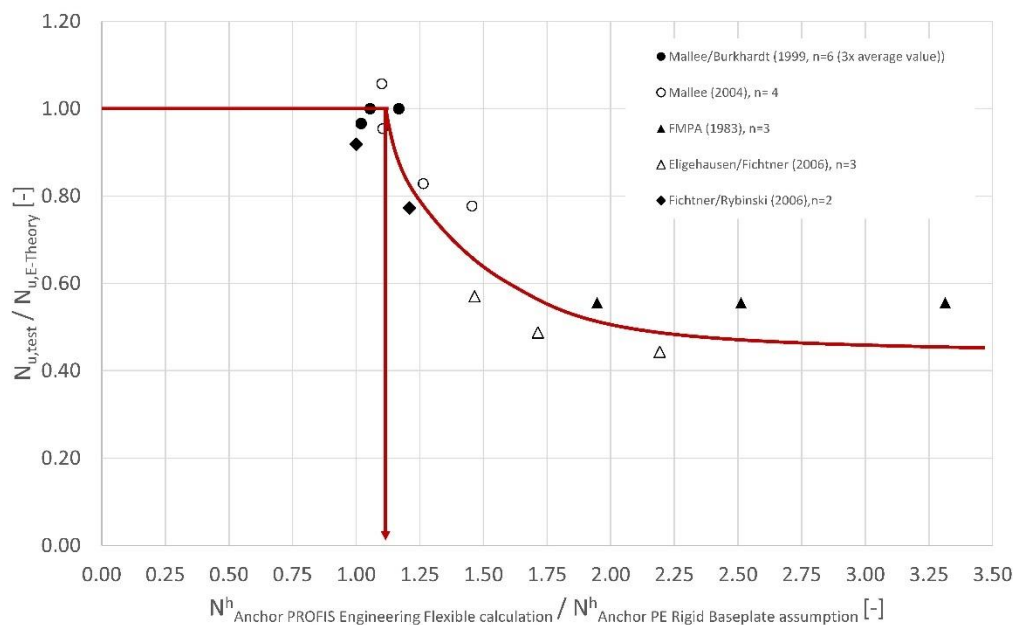


Figura 37. Aumento delle forze di ancoraggio associate ad una piastra di base flessibile.

Se per altre considerazioni tecniche dovesse essere indicato andare oltre il valore del 10% qui proposto, si richiede di applicare la propria valutazione ingegneristica.

Osservando i parametri che influenzano le piastre di base non rigide (vedi capitolo 1.3)), i seguenti parametri sono importanti per definire se una piastra di base può essere considerata "quasi rigida".

### 5.1.1 Forze di ancoraggio

I tre effetti seguenti comporteranno un aumento delle forze di ancoraggio:

- Riduzione del braccio interno della leva, Figura 2.

- Effetti di leva, Figura 3.
- Diversa distribuzione del carico nei gruppi di ancoranti, Figura 4.

Se le forze di ancoraggio sono simili ai risultati della piastra di base rigida si può supporre che la piastra si comporti in modo molto simile rispetto ad una piastra rigida - in questo caso la piastra può essere considerata “quasi rigida”.

Alcune pubblicazioni su questo punto per essere in grado di esprimere una valutazione ingegneristica sono: Mallée/Burkhardt [19], Fichtner [20].

I risultati della forza di ancoraggio di una piastra di base rigida o non rigida saranno accettati in base alla valutazione ingegneristica dell'ingegnere che sta progettando.

#### 5.1.2 Sollecitazioni del calcestruzzo

La EN 1993-1-8 [1] stabilisce come valutare le sollecitazioni del calcestruzzo sulla base del modello T-stub, valido anche per le piastre di base non rigide. Pertanto, è sufficiente un controllo delle sollecitazioni del calcestruzzo provenienti dal nostro calcolo FEM “quasi rigido”.

#### 5.1.3 Deformazione

Spetta all'ingegnere e/o al proprietario decidere quale deformazione in stato limite di manutenzione sarà accettabile.

### 5.2 Raccomandazione Hilti per la valutazione ingegneristica

Sulla base delle informazioni sopra riportate, l'ingegnere deve decidere caso per caso se la piastra di base può essere considerata “quasi rigida” per garantire che il campo di applicazione delle linee guida per la progettazione degli ancoranti corrisponda almeno alla valutazione ingegneristica.

Poiché non esiste una regola generale applicabile a tutti i casi, Hilti non fornisce una raccomandazione sull'entità accettabile della deviazione dalla piastra di base rigida.



## 6 Conclusioni

Le ipotesi utilizzate per la progettazione sono di responsabilità dell'ingegnere. Diverse limitazioni nelle linee guida per la progettazione degli ancoranti e dell'acciaio strutturale richiedono l'introduzione della piastra di base "quasi rigida" per avere una soluzione sicura per la progettazione degli ancoranti. Questa piastra di base si comporterà in modo molto simile alla piastra di base rigida prescritta dalle linee guida per la progettazione degli ancoranti in base a valutazione ingegneristica.

Questo documento tecnico di base mostra i principali fattori che influenzano l'ingegnere nel valutare se una piastra di base è conforme alle linee guida per la progettazione degli ancoranti. La letteratura riassuntiva dovrebbe aiutare l'ingegnere a esprimere questa valutazione ingegneristica.

## Limitazione della responsabilità

*Durante l'utilizzo dei Servizi, il Cliente è tenuto, ai sensi dell'articolo 6 del Contratto, a rispettare al meglio i seguenti Regolamenti ed è l'unico responsabile dell'attuazione delle misure di mitigazione richieste utilizzando al meglio i suoi sforzi per evitare ogni potenziale uso scorretto:*

### **Generalmente applicabile a tutti i Servizi:**

*Tutte le informazioni e i dati contenuti nei Servizi riguardano esclusivamente l'utilizzo di prodotti Hilti e sono basati sui principi, sulle formule e sui regolamenti di sicurezza in conformità con le indicazioni tecniche e le istruzioni operative, di montaggio e assemblaggio ecc. di Hilti che devono essere rispettate in modo rigoroso. Il portafoglio prodotti di Hilti da usare in relazione ai Servizi può variare da paese a paese. Tutte le cifre contenute nei Servizi sono valori medi e pertanto si devono condurre test specifici prima di usare il prodotto Hilti in questione. I risultati dei calcoli eseguiti per mezzo dei Servizi sono basati essenzialmente sui dati inseriti dal Cliente. Di conseguenza, quest'ultimo è l'unico responsabile dell'assenza di errori, della completezza e della rilevanza dei dati da lui inseriti. Inoltre, il Cliente ha la responsabilità di sottoporre i risultati del calcolo a un esperto per la relativa verifica e approvazione, soprattutto per quanto concerne la conformità con le norme e i permessi applicabili, prima di usarli per la struttura specifica del Cliente. Il Software funge soltanto da ausilio per interpretare norme e permessi senza alcuna garanzia in termini di assenza di errori, correttezza e rilevanza dei risultati o idoneità per una specifica applicazione. Il Cliente deve adottare tutte le misure ragionevoli e necessarie per impedire o limitare i danni causati dai Servizi. Tutti i risultati dei calcoli e i disegni sono raccomandazioni e devono essere confermati da un progettista professionista e/o da un ingegnere strutturale per garantire che i risultati dei calcoli e i disegni siano idonei e adeguati alle specifiche di progetto e alla giurisdizione specifica del Cliente. Inoltre, la sezione "AVVERTIMENTI" in ognuno dei rapporti generati dai Servizi costituisce parte integrante dell'ipotesi di calcolo. Il Cliente deve rispettarli in modo rigoroso e deve garantire che essi vengano esaminati da uno specialista prima del loro utilizzo.*

### **Advanced Base Plate Design:**

- *L'utilizzo di Advanced Baseplate Design con PROFIS Engineering- Applicazione desktop richiede una connessione internet attiva*
- *Piastra di base realistica / sollecitazioni / deformazioni / deformazione / prove di progetto secondo EN1993*
- *Calcolo della saldatura secondo EN1993-1-8*
- *Calcolo dei rinforzi secondo EN1993*
- *Controllo della portata del calcestruzzo secondo EN1992*
- *Calcolo degli ancoranti secondo ETAG/ TR 029*
- *I dati sulla rigidità dell'ancoraggio si basano su approfonditi test condotti da Hilti e sulla valutazione ingegneristica di Hilti.*



- *Utilizzando la funzionalità di calcolo realistico di PROFIS Engineering si può agire al di fuori dei codici di progettazione applicabili e la piastra di base specificata potrebbe non comportarsi in modo rigido. Si prega di far convalidare i risultati da un progettista e/o ingegnere strutturale professionista per garantire l'idoneità e l'adeguatezza ai requisiti specifici della propria giurisdizione e del progetto.*

## Figure

Figura 1. Ancoraggi modellati da molle in connessione acciaio-calcestruzzo.....	4
Figura 2. Riduzione del braccio di leva interno per piastre di base non rigide .....	5
Figura 3. Aumento delle forze di ancoraggio a causa dell'effetto leva .....	6
Figura 4. Aumento delle forze di ancoraggio dovuto alla diversa distribuzione del carico per le piastre di base non rigide .....	6
Figura 5. Diversa distribuzione delle sollecitazioni del calcestruzzo.....	7
Figura 6. Spostamento della trave a sbalzo in caso di piastra di base rigida e non rigida .....	7
Figura 7. Esempio di confronto tra rigida e flessibile .....	8
Figura 8. Opzioni di progettazione della piastra di base per la determinazione della distribuzione del carico agli ancoranti .....	8
Figura 9. Comportamento della piastra di base rigida .....	9
Figura 10. Fasi compiute in caso di progettazione rigida .....	10
Figura 11. Due esempi di confronto tra piastre di base non rigide.....	11
Figura 12. Modello FEM di connessione per la ricerca. Utilizza elementi 3D spaziali sia per le piastre che per gli ancoranti .....	12
Figura 13. Schemi dei materiali dell'acciaio in modelli numerici .....	13
Figura 14. La maglia su una colonna e piastra di base con vincoli tra l'anima e la flangia. ....	14
Figura 15. La maglia su una piastra di base con 16 elementi lungo la sua larghezza.....	15
Figura 16. Influenza delle dimensioni delle maglie della piastra di base sollecitazione .....	15
Figura 17. Spostamento schematico del carico.....	16
Figura 18. Ancoranti distanziati con boiacca.....	16
Figura 19: Scelta del distanziale con boiacca .....	17
Figura 20: Esempio di resistenza al taglio in acciaio dell'ancorante Hilti con braccio di leva.....	17
Figura 21. Vincolo tra elemento di saldatura e nodi di maglia, fonte [11] .....	19
Figura 22. Designazione del tipo di acciaio secondo la norma EN 10025 (2004). Fonte: La scelta giusta dell'acciaio [13] .....	20
Figura 23: Punto di carico applicato per taglio con braccio di leva.....	21
Figura 24. Impostazioni avanzate per modificare i fattori di sicurezza.....	22
Figura 25: Selezione delle combinazioni di carichi sismici .....	23
Figura 26: Capacità e design elastico .....	23
Figura 27. Esempio di sollecitazione dell'acciaio.....	30
Figura 28. Esempio di deformazione plastica.....	31
Figura 29. Deformazione plastica e tensione equivalente .....	31
Figura 30. Sollecitazione da contatto nel calcestruzzo .....	35
Figura 31. Influenza del numero di elementi sulla previsione della resistenza del calcestruzzo in compressione in caso di compressione pura .....	35
Figura 32. Influenza del numero di elementi sulla previsione della resistenza del calcestruzzo in compressione in caso di compressione e flessione.....	36
Figura 33. Decomposizione dei carichi di saldatura, fonte [11] .....	37



Figura 34. Deformazione ..... 38  
Figura 35. Definizione di piastre di base “quasi rigide” ..... 41  
Figura 36. Finestra di comparazione rigida e flessibile ..... 42  
Figura 37. Aumento delle forze di ancoraggio associate ad una piastra di base flessibile. .... 43



## Tabella

Tabella 1: requisiti relativi alla classe di sezione trasversale degli elementi dissipativi in funzione della classe di duttilità (media e alta) e riferimento al fattore di comportamento $q$ (Tabella 6.3, EN1998-1) ...	23
Tabella 2: Particolari CBFEM in caso di sismica (DCL, $q < 1.5-2$ ) .....	24
Tabella 3: Verifiche necessarie per i dispositivi di fissaggio in trazione, sia gettati in opera che post-installati .....	25
Tabella 4: Verifiche necessarie per i dispositivi di fissaggio, sia gettati in opera che post-installati, con carico di taglio .....	26
Tabella 5: Fattori di riduzione per $\alpha_{eq}$ in trazione, come da EN1992-4 .....	28
Tabella 6: Fattori di riduzione per $\alpha_{eq}$ a taglio, come da EN1992-4 .....	28

## Referenze

- [1] Technical Committee CEN/TC 250, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*, 2009.
- [2] Wald F.m Sabatka L., Bajer M., Barnat J., Gödrich L., Holomek J., Kabelac J., Kocha M., Kolaja D., Kral P., Kurejkova M., Vild M., *Benchmark cases for advanced design of structural steel connections*, Prague, September, 2016.
- [3] Technical Committee CEN/TC 250, *FprEN 1992-4 Design of concrete structures - Part 4: Design of Anchorage for use in concrete*, 2015.
- [4] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), *ETAG 001, Annex C: Design methods for anchorages (3rd amendment)*, Brussels, 2010.
- [5] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), *TR 029*, Brussels: EOTA, 2010.
- [6] American Concrete Institute Comitee, *ACI 318-11: Building code requirements for structural concrete*, 2011.
- [7] American Concrete Institute Comitee, *ACI 318-14: Building code requirements for structural concrete*.
- [8] American Concrete Intitute Comitee, *ACI 318-08: Building code requirements for structural concrete*, 2008.
- [9] *Numerical Simulation of Semi Rigid Connection by the Finite Element Method, Report of Working Group 6 Numerical*, Brussels Luxembourg, 1999.
- [10] Technical Committee CEN/TC 250, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Desing of steel structures*, 2006.
- [11] IDEA StatiCa, *General theoretical background*;  
[https://resources.ideastatica.com/Content/02\\_Steel/Theoretical\\_background/1\\_General.htm](https://resources.ideastatica.com/Content/02_Steel/Theoretical_background/1_General.htm),  
Version used 10/2018.
- [12] Dvorkin E. N. and Bathe K. J., *Mechanics Based Four Node Shell Element for General Nonlinear Analysis*, 1984.
- [13] Oliver Hechler, Georges Axmann & Boris Donnay, *The right choice of steel - according to the Eurocode*, 2015.

- [14] *Hilti investigations and assessments for the use of CBFEM method under seismic loading*, Schaan: Not published, 2019.
- [15] Technical Committee, *Eurocode 3: Design of steel structure - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, 2005.
- [16] Technical Committee CEN/TC 250, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of shell structures*, 2009.
- [17] Technical Committee CEN/TC 250, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings*, 2009.
- [18] M. Fitz, J. Appl e O. Geibig, : *Wirklichkeitsnahe und vollständige Bemessung von Ankerplatten einschließlich der Befestigungsmittel – neue Bemessungssoftware auf Basis wirklichkeitsnaher Annahmen*, Stahlbau, 2018.
- [19] R. Mallée e F. Burkhardt, *Befestigung von Ankerplatten mit Dübeln*, Beton- und Stahlbetonbau 94, Heft 12, S. 502-511, Ernst & Sohn Verlag, 1999.
- [20] S. Fichtner, *Untersuchungen zum Tragverhalten von Gruppenbefestigungen unter Berücksichtigung der Ankerplattendicke und einer Mörtelschicht*, Dissertation Universität Stuttgart, 2011.
- [21] American institute of steel construction, *ANSI/AISC 360-16: Specification for structural steel buildings*, 2010.
- [22] American Institute of Steel Construction, *Steel Design Guide: Base Palte and Anchor Rod Design*, 2006.