



European Organisation for Technical Approvals
Organizzazione Europea per il Benestare Tecnico
Organisation Européenne pour l'Agrément Technique

ETAG No 001

Edizione 1997

LINEA GUIDA
PER IL BENESTARE TECNICO EUROPEO

DI

**ANCORANTI METALLICI
DA UTILIZZARE NEL CALCESTRUZZO**

Allegato C: METODI DI PROGETTAZIONE DEGLI ANCORAGGI
Aggiornamento Ottobre 2001

ALLEGATO C
Metodi di progettazione degli ancoraggi

Introduzione

1 Scopo

- 1.1 Tipologie di ancoranti, gruppi di ancoranti e numero di ancoranti
- 1.2 Elemento in calcestruzzo
- 1.3 Tipologia e direzione del carico
- 1.4 Classe di sicurezza

2 Terminologia e simboli

- 2.1 Legenda
- 2.2 Azioni e resistenze
- 2.3 Calcestruzzo e acciaio
- 2.4 Valori caratteristici degli ancoranti

3 Progettazione e concetto di sicurezza

- 3.1 Generalità
- 3.2 Stato limite ultimo
 - 3.2.1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni
 - 3.2.2 Resistenza di progetto
 - 3.2.3 Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza
 - 3.2.3.1 Cedimento per rottura del cono di calcestruzzo, per fessurazione e per sfilamento dell'ancorante
 - 3.2.3.2 Rottura dell'acciaio
- 3.3 Stato limite di servizio

4 Analisi statica

- 4.1 Calcestruzzo non fessurato e fessurato
- 4.2 Carichi agenti sugli ancoranti
 - 4.2.1 Carichi di trazione
 - 4.2.2 Carichi di taglio
 - 4.2.2.1 Distribuzione dei carichi di taglio
 - 4.2.2.2 Carico di taglio senza braccio di leva
 - 4.2.2.3 Carico di taglio con braccio di leva

5 Stato limite ultimo

- 5.1.1 Generalità
- 5.2 Metodo di progettazione A
 - 5.2.1 Generalità
 - 5.2.2 Resistenza a carichi di trazione
 - 5.2.2.1 Verifiche richieste
 - 5.2.2.2 Rottura dell'acciaio
 - 5.2.2.3 Cedimento per sfilamento
 - 5.2.2.4 Rottura del cono di calcestruzzo
 - 5.2.2.5 Rottura per fessurazione dovuta all'installazione dell'ancorante
 - 5.2.2.6 Rottura per fessurazione dovuta al carico
 - 5.2.3 Resistenza a carichi di taglio
 - 5.2.3.1 Verifiche richieste
 - 5.2.3.2 Rottura dell'acciaio
 - 5.2.3.3 Rottura per pryout / scalzamento del calcestruzzo
 - 5.2.3.4 Rottura del bordo di calcestruzzo
 - 5.2.4 Resistenza a carichi combinati trazione-taglio
- 5.3 Metodo di progettazione B
- 5.4 Metodo di progettazione C

6 Stato limite di servizio

- 6.1 Spostamenti
- 6.2 Carico di taglio con cambio di verso

7 Prove aggiuntive per assicurare la resistenza caratteristica dell'elemento di calcestruzzo

- 7.1 Generalità
- 7.2 Resistenza a taglio del provino di calcestruzzo
- 7.3 Resistenza a forze di fessurazione

INTRODUZIONE

I metodi di progettazione degli ancoraggi devono essere utilizzati in relazione alla sicurezza e ai criteri di progettazione individuati tra le finalità del Benestare Tecnico Europeo (ETA) degli ancoranti.

I metodi di progettazione riportati nell'Allegato C sono basati sull'ipotesi che siano state effettuate le prove richieste per la valutazione delle condizioni ammissibili di servizio, riportate nella Prima Parte e nelle Parti seguenti.

Pertanto, la rispondenza all'Allegato C è un pre-requisito all'accertamento e alla valutazione degli ancoranti.

L'uso di altri metodi di progettazione richiederà la riconsiderazione delle prove necessarie.

I Benestare Tecnico Europeo (ETA) per gli ancoranti riportano solamente i valori caratteristici dei diversi ancoranti approvati. La progettazione degli ancoraggi (ad esempio la disposizione degli ancoranti in un gruppo, l'effetto dei bordi o degli spigoli dell'elemento in calcestruzzo sulla resistenza caratteristica), deve essere eseguita secondo i metodi descritti dal Capitolo 3 al Capitolo 5 della presente Linea Guida, tenendo conto dei relativi valori caratteristici degli ancoranti.

Il Capitolo 7 individua ulteriori prove valide per tutti i tipi di ancoranti che servono a garantire la resistenza caratteristica dell'elemento di calcestruzzo (supporto).

I metodi di progettazione sono validi per tutti i tipi di ancoranti. In ogni caso le equazioni fornite di seguito sono valide solamente per gli ancoranti che hanno comportamenti conformi all'esperienza consolidata (vedere Allegato B). Se i valori per la resistenza caratteristica, l'interasse tra gli ancoranti, la distanza dal bordo e i coefficienti parziali di sicurezza ricavati con i metodi di progettazione differiscono da quelli riportati nel Benestare Tecnico Europeo (ETA), prevalgono i valori riportati in quest'ultimo. In assenza di normative nazionali si possono utilizzare i coefficienti parziali di sicurezza dati nel presente allegato.

1 Scopo e campo di applicazione

1.1 Tipologie di ancoranti, gruppi di ancoranti e numero di ancoranti

I metodi di progettazione seguenti si applicano alla progettazione di ancoraggi in calcestruzzo realizzati con l'utilizzo di ancoranti approvati che soddisfano i requisiti della presente Linea Guida. I valori caratteristici di questi ancoranti sono riportati nel relativo documento ETA.

I metodi di progettazione sono validi per ancoranti singoli e per gruppi di ancoranti. Nel caso di un gruppo di ancoranti i carichi sono applicati ai singoli ancoranti del gruppo tramite un elemento da fissare rigido. In un gruppo di ancoranti devono essere utilizzati soltanto ancoranti dello stesso tipo, grandezza e lunghezza.

I metodi di progettazione si riferiscono ad ancoranti singoli e ai gruppi di ancoranti riportati nelle Figure 1.1 e 1.2. Altre disposizioni di ancoranti, come ad esempio a triangolo o a cerchio, sono altresì ammessi; comunque in questi casi l'estensione di questi metodi dovrebbe essere realizzata tramite conoscenze di tipo ingegneristico. La Figura 1.1 è valida solo se la distanza dal bordo in tutte le direzioni è maggiore o uguale a $10 h_{ef}$.

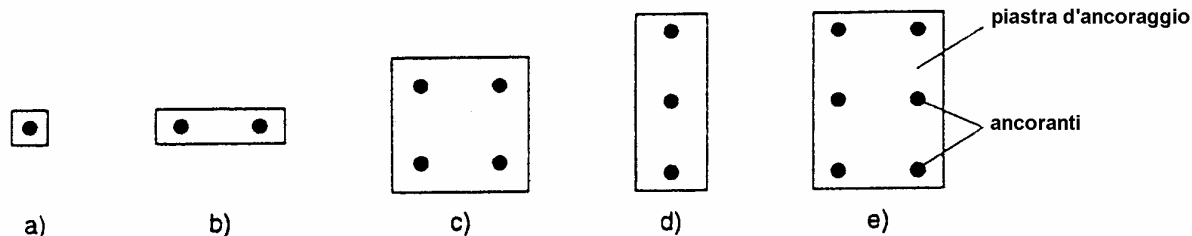


Figura 1.1 Geometrie di ancoraggi situati lontano dai bordi ($c \geq 10 h_{ef}$) cui fanno riferimento i metodi di progettazione

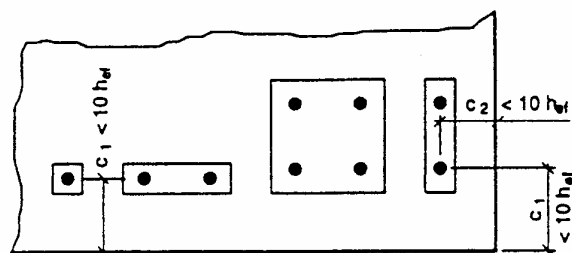


Figura 1.2 Geometrie di ancoraggi situati vicino ad un bordo ($c < 10 h_{ef}$) cui fanno riferimento i metodi di progettazione

1.2 Elemento in calcestruzzo

L'elemento in calcestruzzo deve essere costituito da calcestruzzo normale ed avere una classe di resistenza minima C20/25 e massima C50/60 valutata in base alla norma europea EN 206 [8] e dovrà essere soggetto principalmente a carichi statici. Il calcestruzzo potrà essere fessurato o non fessurato. In generale, per semplificare, si presume che il calcestruzzo sia fessurato; in caso contrario dovrà essere dimostrato che il calcestruzzo non è fessurato (vedere punto 4.1).

1.3 Tipologia e direzione del carico

I metodi di progettazione si applicano agli ancoranti soggetti a carichi statici o quasi statici e non ad ancoranti soggetti a carichi d'urto o sismici o di compressione.

1.4 Classe di sicurezza

Gli ancoraggi realizzati in accordo ai presenti metodi di progettazione sono ancoraggi la cui rottura potrebbe causare rischi alla vita umana e/o avere conseguenze economiche considerevoli.

2 Terminologia e simboli

Si elencano di seguito i termini e la simbologia più frequentemente utilizzati nelle metodologie progettuali. Ulteriori descrizioni sono riportate nel testo.

2.1 Indici

S	=	azione
R	=	resistenza
M	=	materiale
k	=	valore caratteristico
d	=	valore di progetto
s	=	acciaio
c	=	calcestruzzo

cp	=	pryout del calcestruzzo (scalzamento)
p	=	sfilamento
sp	=	fessurazione
u	=	ultimo
y	=	snervamento

2.2 Azioni e resistenze

F	=	sollecitazione generica (forza risultante)
N	=	sollecitazione normale (positiva: trazione; negativa: compressione)
V	=	sollecitazione a taglio
M	=	momento

$F_{Sk} (N_{Sk}; V_{Sk}; M_{Sk}; M_{T,Sk}) =$ Valore caratteristico delle azioni agenti su un singolo ancorante o sul fissaggio di un gruppo di ancoranti (carico normale, taglio, momento flettente, momento torcente)

$F_{Sd} (N_{Sd}; V_{Sd}; M_{Sd}; M_{T,Sd}) =$ Valore di progetto delle azioni agenti su un singolo ancorante o sull'elemento da fissare di un gruppo di ancoranti (carico normale, taglio, momento flettente, momento torcente).

$N_{Sd}^h (V_{Sd}^h) =$ Valore di progetto del carico di trazione (taglio) agente sull'ancorante più sollecitato di un gruppo di ancoranti, calcolato in base a quanto riportato in 4.2.

$N_{Sd}^g (V_{Sd}^g) =$ Valore di progetto della somma (risultante) dei carichi di trazione che agiscono sugli ancoranti sollecitati a trazione (o a taglio) di un gruppo, calcolato in base a quanto riportato in 4.2.

$F_{Rk} (N_{Rk}; V_{Rk}) =$ Valore caratteristico della resistenza di un ancorante singolo o di un gruppo di ancoranti (sollecitazione normale, sollecitazione di taglio)

$F_{Rd} (N_{Rd}; V_{Rd}) =$ Valore di progetto della resistenza di un ancorante singolo o di un gruppo di ancoranti (sollecitazione normale, sollecitazione di taglio)

2.3 Calcestruzzo e acciaio

$f_{ck, cubo} =$ Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo misurata
SU
cubi di lato 150 mm (valore della classe di resistenza del calcestruzzo secondo EN 206 [8])

$f_{yk} =$ Resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio
(valore nominale)

$f_{uk} =$ Resistenza caratteristica allo stato limite ultimo dell'acciaio
(valore nominale)

$A_s =$ Sezione trasversale di acciaio sollecitato

$W_{el} =$ Modulo elastico della sezione trasversale sollecitata di acciaio ($\pi d^3/32$ per una sezione rotonda di diametro d)

2.4 Valori caratteristici degli ancoranti

$a =$	Interasse fra ancoranti esterni a gruppi adiacenti o tra singoli ancoranti
$a_1 =$	Interasse fra ancoranti esterni a gruppi adiacenti o tra singoli ancoranti in direzione 1
$a_2 =$	Interasse fra ancoranti esterni a gruppi adiacenti o tra singoli ancoranti in direzione 2
$b =$	Larghezza dell'elemento in calcestruzzo
$c =$	Distanza dal bordo
$c_1 =$	Distanza dal bordo in direzione 1; nel caso di ancoranti vicini ad un bordo caricato a taglio, c_1 è la distanza dal bordo in direzione del carico di taglio (vedi figura 2.1 b e figura 5.7)
$c_2 =$	Distanza dal bordo in direzione 2; la direzione 2 è perpendicolare alla direzione 1
$c_{cr} =$	Distanza dal bordo necessaria per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica (metodi di progettazione B e C)
$c_{cr, N} =$	Distanza dal bordo necessaria per garantire la trasmissione della resistenza a trazione caratteristica di un singolo ancorante, senza effetti di interasse o distanza dal bordo nel caso di cedimento per rottura del cono di calcestruzzo (metodo di progettazione A)
$c_{cr, sp} =$	Distanza dal bordo necessaria per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica a trazione di un ancorante singolo senza effetti di interasse o distanza dal bordo nel caso di cedimento per fessurazione (metodo di progettazione A)
$c_{min} =$	Distanza minima tollerata dal bordo
$d =$	Diametro del corpo dell'ancorante o della barra filettata
$d_{nom} =$	Diametro esterno dell'ancorante
$d_o =$	Diametro del foro
$h =$	Spessore dell'elemento in calcestruzzo
$h_{ef} =$	Profondità effettiva di ancoraggio
$h_{min} =$	Spessore minimo dell'elemento in calcestruzzo
$l_f =$	Lunghezza effettiva dell'ancorante sottoposto a sollecitazione di taglio. Per ancoranti a sezione trasversale uniforme lungo la loro lunghezza, il valore di h_{ef} deve essere usato come effettiva profondità dell'ancoraggio mentre per ancoranti con diversi manicotti e variazioni della sezione trasversale, ad esempio, sarà valida la

sola lunghezza dalla superficie del calcestruzzo al manicotto principale.

$s =$	Interasse tra ancoranti di un gruppo
$s_1 =$	Interasse tra ancoranti di un gruppo nella direzione 1
$s_2 =$	Interasse tra ancoranti di un gruppo nella direzione 2
$s_{cr} =$	Interasse necessario per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica (metodi di progettazione B e C)
$s_{cr, N} =$	Interasse necessario per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica a trazione di un singolo ancorante, senza effetti di interasse o distanza dal bordo nel caso di cedimento per rottura del cono di calcestruzzo (metodo di progettazione A)
$s_{cr, sp} =$	Interasse necessario per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica a trazione di un singolo ancorante, senza effetti di interasse o distanza dal bordo nel caso di cedimento per fessurazione (metodo di progettazione A)
$s_{min} =$	Minimo interasse consentito

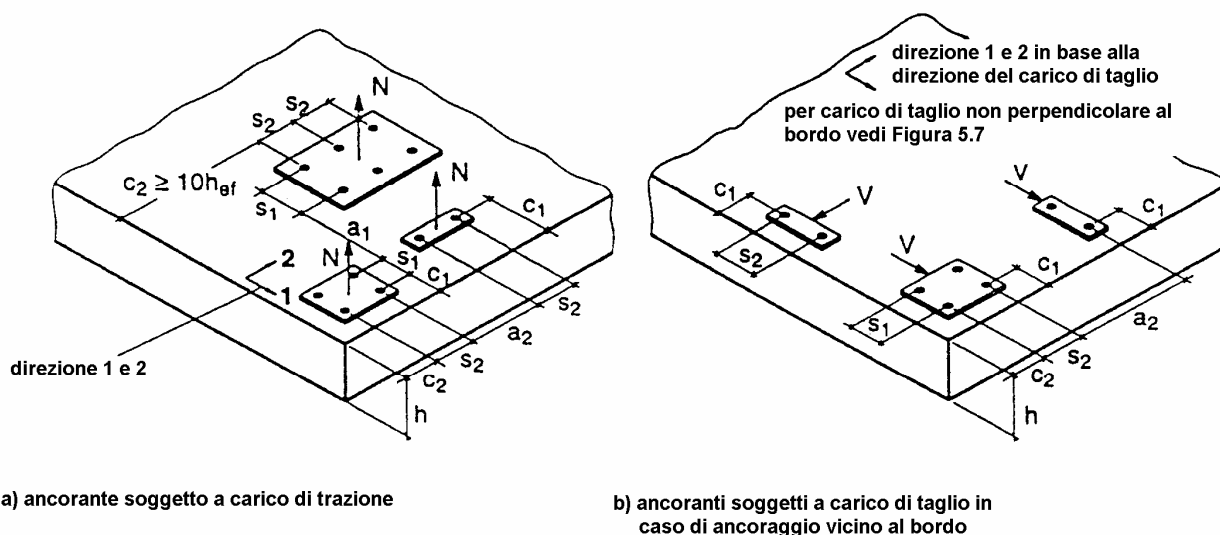


Figura 2.1 Elemento in calcestruzzo, interasse dell'ancorante e distanza dal bordo.

3 Progettazione e concetto di sicurezza

3.1 Generalità

Per la progettazione degli ancoraggi si dovrà applicare il concetto dei coefficienti parziali di sicurezza.

Dovrà essere dimostrato che il valore delle azioni di progetto S_d , non eccedano il valore della resistenza di progetto R_d .

$$S_d \leq R_d \quad (3.1)$$

$S_d =$ valore dell'azione di progetto
 $R_d =$ valore della resistenza di progetto

In assenza di normative nazionali le azioni di progetto allo stato limite ultimo o di servizio dovranno essere calcolate in accordo all' Eurocodice 2[1] o all'Eurocodice 3[14].

Nel caso più semplice (carico permanente e un solo carico variabile agente in una direzione) dovranno essere applicate le seguenti equazioni:

$$S_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k \quad (3.2)$$

$G_k(Q_k)$ = valore caratteristico di una azione permanente (variabile)
 $\gamma_G(\gamma_Q)$ = coefficiente parziale di sicurezza per azioni permanenti (variabili)

La resistenza di progetto è calcolata nel seguente modo:

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (3.3)$$

R_k = resistenza caratteristica di un ancorante singolo o di un gruppo di ancoranti
 γ_M = coefficiente parziale di sicurezza per il materiale

3.2 Stato limite ultimo

3.2.1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni

I coefficienti parziali di sicurezza per le azioni dipendono dal tipo di carico e saranno definiti dalle normative nazionali, o, in assenza di queste, da Eurocodice 2 [1] o Eurocodice 3 [14]. Nell'equazione (3.2) il coefficiente parziale di sicurezza secondo [1] è $\gamma_G = 1,35$ per azioni permanenti e $\gamma_Q = 1,5$ per azioni variabili.

3.2.2 Resistenza di progetto

La resistenza di progetto è calcolata secondo l'equazione (3.3). Nel metodo di progetto A la resistenza caratteristica deve essere calcolata per tutte le direzioni di carico e tutti i modi di rottura.

Nei metodi di progettazione B e C, viene data una sola resistenza caratteristica per tutte le direzioni di carico e tutti i modi di rottura.

3.2.3 Coefficienti di sicurezza parziale per la resistenza

In assenza di normative nazionali, possono essere usati i seguenti coefficienti parziali di sicurezza.

Comunque il valore di γ_2 non potrà essere cambiato perché descrive una caratteristica degli ancoranti.

3.2.3.1 Cedimento per rottura del cono di calcestruzzo, per fessurazione e per sfilamento dell'ancorante

I coefficienti parziali di sicurezza per la rottura del cono di calcestruzzo (γ_{Mc}), la fessurazione (γ_{Msp}) e lo sfilamento dell'ancorante (γ_{Mp}) sono definiti nel relativo documento ETA.

Essi sono validi solo se dopo l'installazione le dimensioni reali dell'effettiva profondità dell'ancorante, dell'interasse e della distanza dal bordo non sono inferiori ai valori di progetto (è permessa solo una tolleranza positiva).

In accordo ad esperienze consolidate, per gli ancoranti il coefficiente parziale di sicurezza γ_{Mc} è determinato da:

$$\gamma_{Mc} = \gamma_c * \gamma_1 * \gamma_2$$

γ_c = coefficiente parziale di sicurezza per cls sottoposto a compressione = 1,5

- $\gamma_1 =$ coefficiente parziale di sicurezza che tiene conto della distribuzione della resistenza a trazione in cls di cantiere prodotto e stoccato con tecniche abituali = 1,2
- $\gamma_2 =$ coefficiente parziale di sicurezza che tiene conto dell'installazione in sicurezza di un sistema di ancoranti. Il coefficiente parziale di sicurezza γ_2 è valutato tramite delle prove che determinano la sicurezza dell'installazione, vedi Prima Parte, paragrafo 6.1.2.2.2

Carico di trazione

- $\gamma_2 =$ 1,0 per sistemi con alti valori di sicurezza nell'installazione
 $=$ 1,2 per sistemi con normali valori di sicurezza nell'installazione
 $=$ 1,4 per sistemi con un basso ma ancora accettabile valore di sicurezza nell'installazione

Taglio

- $\gamma_2 =$ 1,0

Per coefficienti di sicurezza parziale γ_{Msp} e γ_{Mp} può essere utilizzato il valore di γ_{Mc} .

3.2.3.2 Cedimento dell'acciaio

I coefficienti di sicurezza parziale γ_{Ms} per rottura dell'acciaio sono riportati nel relativo documento ETA.

In accordo ad esperienze consolidate, per gli ancoranti i coefficienti di sicurezza parziale γ_{Ms} sono determinati in funzione del tipo di carico, come indicato di seguito :

Carico a trazione :

$$\gamma_{Ms} = \frac{1,2}{f_{yk} / f_{uk}} \geq 1,4 \quad (3.5a)$$

Sollecitazione a taglio dell'ancorante con e senza braccio di leva:

$$\gamma_{Ms} = \frac{1,0}{f_{yk} / f_{uk}} \geq 1,25 \quad (3.5b)$$

$$\gamma_{Ms} = 1,5 \quad \begin{array}{l} \text{e} \quad f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \\ \quad f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \\ \text{o} \quad f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \\ \quad f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{array} \quad (3.5c)$$

3.3 Stato limite di servizio

Nello stato limite di servizio dovrà essere dimostrato che gli spostamenti che avvengono sotto le azioni caratteristiche non siano maggiori dello spostamento ammissibile. Per gli spostamenti caratteristici vedi punto 6. Lo spostamento ammissibile dipende dall'applicazione e dovrebbe essere valutato dal progettista.

In questa verifica i coefficienti di sicurezza parziale sulle azioni e sulle resistenze possono essere posti uguali a 1.0.

4 Analisi statica

4.1 Calcestruzzo non fessurato e fessurato

Il calcestruzzo nella zona di ancoraggio può essere fessurato o non fessurato. La condizione del calcestruzzo deve essere valutata dal progettista sulla base delle normative nazionali o delle autorità competenti negli stati membri.

In assenza di normative nazionali, può essere utilizzato il seguente approccio, in accordo alle prescrizioni dell' EC 2 [2]:

Il calcestruzzo potrà essere assunto come non fessurato se è provato che in condizioni di servizio gli ancoranti vengano posizionati per l'intera profondità dell'ancoraggio in calcestruzzo non fessurato.

Questa assunzione può essere considerata soddisfatta se viene verificata l'Equazione (4.1):

$$\sigma_L + \sigma_R \leq 0^* \quad (4.1)$$

σ_L = tensioni nel calcestruzzo indotte da carichi esterni inclusi i carichi degli ancoranti

σ_R = tensioni nel calcestruzzo causate da deformazioni intrinseche (per es. ritiro del calcestruzzo) o estrinseche (per es. spostamento di vincoli, o variazioni di temperatura). Se nessuna analisi dettagliata è stata effettuata, allora deve essere assunto $\sigma_R = 3 \text{ N/mm}^2$ in accordo all'EC 2 [1].

Le tensioni σ_L e σ_R devono essere calcolate assumendo che il calcestruzzo sia non fessurato (stato 1). Per elementi di calcestruzzo piani che trasmettono carichi in due direzioni (ad es. piastre, muri) l'Equazione 4.1 deve essere soddisfatta in entrambe le direzioni.

(*) Le autorità negli Stati membri possono modificare questo valore alle loro specifiche condizioni.

4.2 Carichi agenti sugli ancoranti

Nell'analisi statica, i carichi e i momenti considerati sono quelli agenti sull'elemento da fissare. Per progettare gli ancoraggi saranno calcolati i carichi agenti su ogni ancorante, considerando i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni secondo quanto riportato nel paragrafo 3.2.1 per lo stato limite ultimo e in accordo con quanto riportato nel paragrafo 3.3. per lo stato limite di servizio.

Nel caso di ancoranti singoli normalmente i carichi agenti sull'ancorante sono uguali ai carichi agenti sull'elemento da fissare. Nel caso di ancoranti in gruppo i carichi, i momenti flettenti e torcenti agenti sull'elemento da fissare devono essere ripartiti come forze di trazione e di taglio agenti sui singoli ancoranti del gruppo. Tale ripartizione deve essere calcolata in accordo con la teoria dell'elasticità.

4.2.1 Carichi di trazione

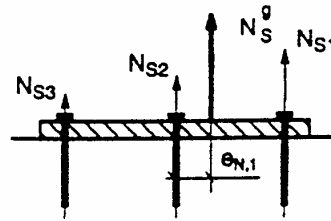
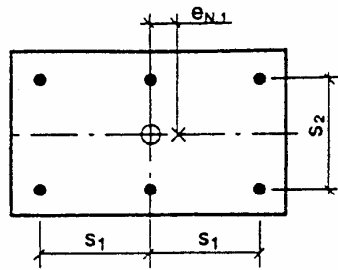
In generale, i carichi di trazione agenti su ogni ancorante dovuti a carichi e a momenti flettenti agenti sull'elemento da fissare saranno calcolati in accordo con la teoria dell'elasticità utilizzando le seguenti ipotesi:

- a) La piastra di ancoraggio non si deforma sotto le azioni di progetto. Per garantire la validità di questa ipotesi la piastra di ancoraggio dovrà essere sufficientemente rigida e la sua progettazione dovrà essere eseguita in accordo alle norme tecniche per le strutture in acciaio in campo elastico.

- b) La rigidezza di tutti gli ancoranti è uguale e corrisponde al modulo di elasticità dell'acciaio. Il modulo di elasticità del calcestruzzo è dato in EC 2 [1]. Per semplificare, può essere assunto pari a $E_c=30000 \text{ N/mm}^2$.
- c) Nella zona compressa sotto l'elemento da fissare, gli ancoranti non contribuiscono alla trasmissione di forze normali (vedi figura 4.1b).

Se in casi speciali la piastra di ancoraggio non è sufficientemente rigida, allora dovrebbe essere presa in considerazione la flessione della piastra quando si calcolano i carichi agenti sugli ancoranti.

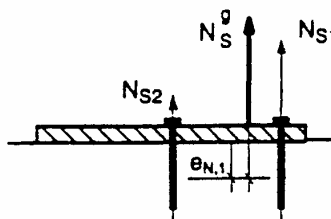
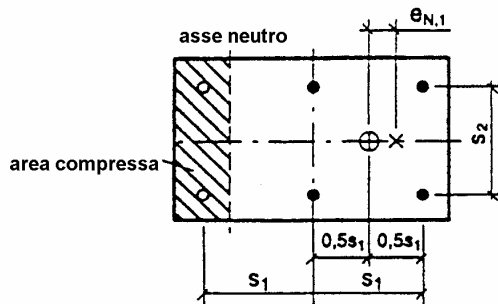
Nel caso di gruppi di ancoranti con diversi valori di forze di trazione N_{Si} agenti sul singolo ancorante del gruppo, l'eccentricità e_N della forza di trazione N^g_s del gruppo dovrà essere calcolata (vedi figura 4.1) per consentire una più accurata valutazione della resistenza del gruppo di ancoranti.



$$N_s^g = \sum N_{s_i}$$

$$N_{s_1} = N_s^h$$

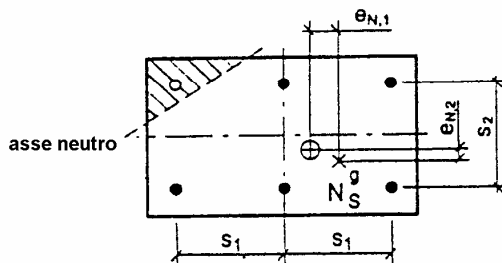
a) eccentricità in una direzione, tutti gli ancoranti sono caricati da un carico di trazione



$$N_s^g = \sum N_{s_i}$$

$$N_{s_1} = N_s^h$$

b) eccentricità in una direzione, solo una parte del gruppo di ancoranti è caricato da una forza di trazione



c) eccentricità in due direzioni, solo una parte degli ancoranti del gruppo sono caricati da una forza di trazione

● ancoranti soggetti a trazione

⊕ centro di gravità degli ancoranti soggetti a trazione

× punto di applicazione della risultante delle forze di trazione degli ancoranti soggetti a trazione

Figura 4.1 Esempio di ancoraggi soggetti a carico di trazione eccentrico N_s^g

Se gli ancoranti sottoposti a trazione non sono disposti a rettangolo, per ragioni di semplicità il gruppo di ancoranti sottoposti a trazione può essere risolto come un gruppo di aspetto rettangolare (questo significa che il centro di gravità degli ancoranti sottoposti a trazione può essere assunto al centro degli assi in figura 4.1c)

4.2.2 Carichi di taglio.

4.2.2.1 Distribuzione dei carichi di taglio.

Per la distribuzione dei carichi di taglio e dei momenti torcenti agenti sull'elemento da fissare di un gruppo di ancoranti saranno distinti i seguenti casi:

- a) Tutti gli ancoranti sono caricati a taglio se il foro dell'elemento da fissare non è maggiore di quello indicato in Tabella 4.1 e la distanza dal bordo è maggiore di $10h_{ef}$ (vedi Fig.4.2 a-c)

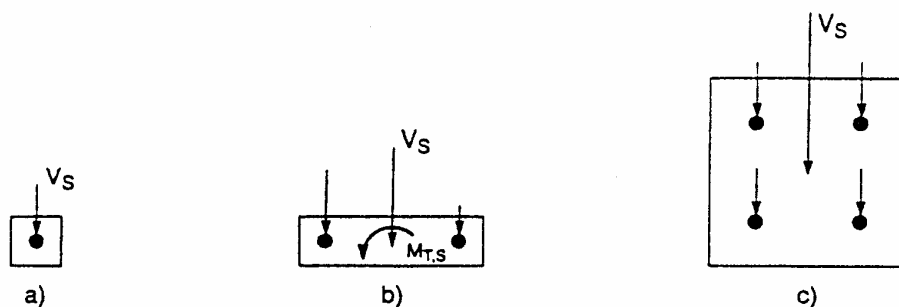


Figura 4.2 Esempio di distribuzione dei carichi, quando tutti gli ancoranti vengono sottoposti a carichi di taglio

- b) Qualora la distanza dal bordo sia minore di $10 h_{ef}$ (indipendentemente dalla dimensione del foro) (vedi Fig. 4.3 a-c) o la dimensione del foro dell'elemento da fissare sia maggiore del valore fissato in tabella 4.1 (indipendentemente dalla distanza dal bordo) (vedere Figura 4.4 a e b) si considererà il carico di taglio agente solo sugli ancoranti posti in condizioni più sfavorevoli.

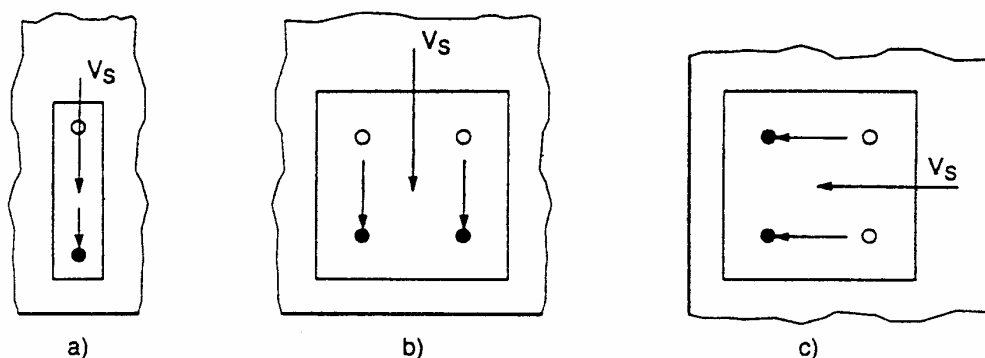


Figura 4.3 Esempio di distribuzione dei carichi per ancoranti vicini al bordo.

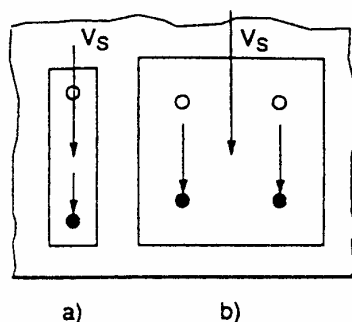


Figura 4.4 Esempio di distribuzione del carico se la dimensione del foro dell'elemento da fissare è maggiore del valore dato nella Tabella 4.1

- c) Fori asolati in direzione del carico di taglio impediscono agli ancoranti di assorbire i carichi di taglio. Questo può essere favorevole nel caso di ancoranti vicini al bordo (vedi Fig. 4.5).

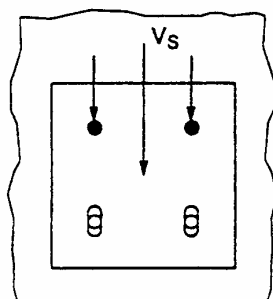


Figura 4.5 Esempio di distribuzione dei carichi per ancoraggi con fori asolati

Tabella 4.1 Diametro del foro nell'elemento da fissare

Diametro esterno $d^{1)}$ o $d_{nom}^{2)}$ (mm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
Diametro d_f del foro nell'elemento da fissare (mm)	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33
1) Se l'elemento è fissato con una barra/vite.												
2) Se l'elemento è fissato con un manicotto.												

Nel caso di ancoranti in gruppo sollecitati da differenti carichi di taglio V_{si} agenti sui singoli ancoranti, si può calcolare l'eccentricità e_v della forza di taglio V_s^g agente sul gruppo (vedi Fig.4.6) per consentire una più accurata valutazione della resistenza del gruppo di ancoranti.

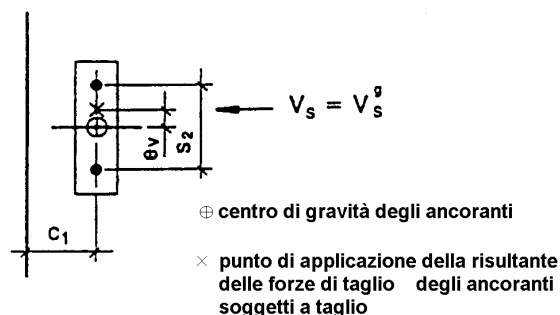


Figura 4.6 Esempio di un ancoraggio soggetto a carico di taglio eccentrico

4.2.2.2 Carichi di taglio senza braccio di leva

Si può assumere che i carichi di taglio agiscano sugli ancoranti senza braccio di leva se entrambe le seguenti condizioni sono soddisfatte:

- a) L'elemento da fissare deve essere di metallo e nell'area dell'ancoraggio deve essere fissato direttamente al calcestruzzo senza uno strato intermedio o con uno strato di malta di livellamento di spessore ≤ 3 mm
- b) L'elemento da fissare deve essere a contatto con l'ancorante per l'intero spessore.

4.2.2.3 Carichi di taglio con braccio di leva

Se le condizioni a) e b) di 4.2.2.2 non sono soddisfatte il braccio di leva deve essere calcolato in accordo all'equazione (4.2) (vedi Figura 4.7)

$$l = a_3 + e_1 \quad (4.2)$$

con

e_1 = distanza tra carico di taglio e la superficie del calcestruzzo

$a_3 = 0,5 d$

$a_3 = 0$ se la rondella e il dado sono direttamente fissati alla superficie del calcestruzzo (vedi Figura 4.7b)

d = diametro nominale del corpo dell'ancorante o diametro del filetto (v. Fig. 4.7a)

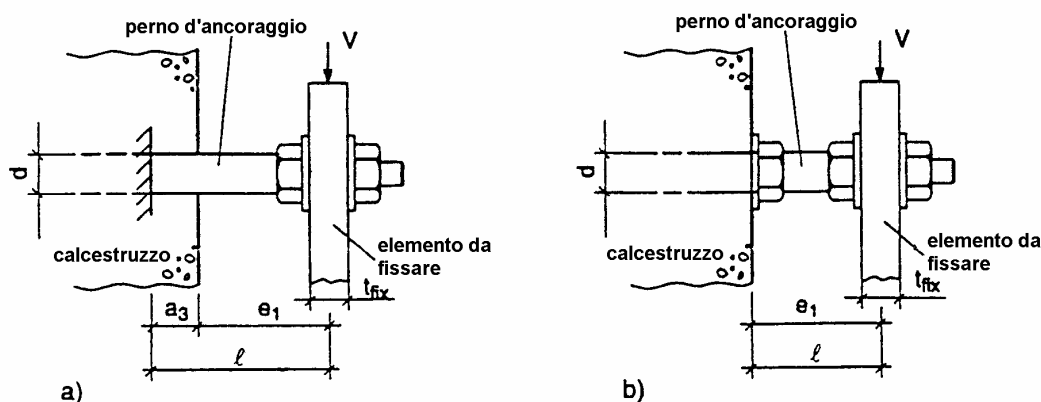


Figura 4.7 Definizione di braccio di leva

Il momento flettente di progetto agente sull'ancorante è calcolato in accordo all'equazione (4.3)

$$M_{Sd} = V_{sd} \frac{l}{\alpha_M} \quad (4.3)$$

Il valore α_M dipende dal grado di vincolo dell'ancorante nel lato dell'elemento da fissare in questione e deve essere stabilito in accordo alla buona pratica ingegneristica.

Se il fissaggio può ruotare liberamente (vedi Fig.4.8a) bisogna assumere che non ci siano vincoli ($\alpha_M = 1.0$). In questo caso si è sempre a vantaggio di sicurezza.

Se il fissaggio non può ruotare (vedi Fig.4.8b) e l'effettivo foro nell'elemento da fissare è più piccolo dei valori dati nella Tabella 4.1 oppure se l'ancorante è assicurato all'elemento da fissare con dado e rondella (vedi Fig.4.7) bisogna assumere vincolo incastro ($\alpha_M = 2.0$).

Se l'ancorante viene assunto vincolato il fissaggio dovrà essere in grado di contrastare il relativo momento di vincolo.



Fig.4.8 Fissaggio senza (a) e con (b) vincoli

5 Stato limite ultimo

5.1 Generalità

Per la progettazione di ancoraggi allo stato limite ultimo, sono a disposizione tre differenti metodi di progettazione. La relazione tra i metodi di progettazione e le prove richieste per le condizioni ammissibili di servizio è data nella Tabella 5.1. Al Paragrafo 5.2 è descritto il metodo di progettazione A; al Paragrafo 5.3 e 5.4 sono trattati i metodi semplificati B e C. Il metodo di progettazione da applicare è dato nel documento ETA corrispondente all'ancorante prescelto.

In base all'equazione (3.1) bisogna dimostrare che il valore di progetto della sollecitazione è uguale o minore del valore di progetto della resistenza. I valori caratteristici dell'ancorante da usare per il calcolo della resistenza allo stato limite ultimo sono indicati nel relativo documento ETA.

L'interasse, la distanza dal bordo così come lo spessore dell'elemento di calcestruzzo non devono essere al di sotto dei valori minimi fissati.

L'interasse tra un ancorante esterno di gruppi adiacenti o la distanza tra singoli ancoranti deve essere rispettivamente $>s_{cr,N}$ (metodo di progettazione A) o s_{cr} (metodo di progettazione B e C).

Tabella 5.1 Relazione tra i metodi di progettazione e le prove richieste per le condizioni ammissibili di servizio.

Metodo di progettazione	Calcestruzzo fessurato e non fessurato	Solo calcestruzzo non fessurato	Resistenza caratteristica per		Prove in accordo con Allegato B Opzione
			Solo 20/25	C C20/25÷C50/60	
A	x			x	1
	x		x		2
		x		x	7
		x	x		8
B	x			x	3
	x		x		4
		x		x	9
		x	x		10
C	x			x	5
	x		x		6

		X		X	11
		X	X		12

5.2 Metodo di progettazione A

5.2.1 Generalità

Col metodo di progettazione A bisogna dimostrare che l'Equazione (3.1) è soddisfatta per tutte le direzioni di carico (trazione, taglio) così come per tutti i tipi di cedimento (rottura dell'acciaio, sfilamento e rottura del calcestruzzo).

Nel caso di carico combinato trazione-taglio (carico obliquo) deve essere soddisfatta la condizione d'interazione riportata nel paragrafo 5.2.4.

Per le opzioni 2 e 8 (vedi Parte Prima tabella 5.3), $f_{ck,cubo} = 25 \text{ N/mm}^2$ deve essere inserito nelle Equazioni (5.2a) e (5.7a).

5.2.2 Resistenza a carichi di trazione

5.2.2.1 Verifiche richieste

	Ancorante singolo	Gruppo di ancoranti	
Rottura dell'acciaio	$N_{Sd} \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$N^h_{Sd} \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Cedimento per sfilamento	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	$N^h_{Sd} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	
Rottura del cono del calcestruzzo	$N_{Sd} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$N^g_{Sd} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
Rottura per fessurazione	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$		$N^g_{Sd} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$

5.2.2.2 Rottura dell'acciaio

La resistenza caratteristica di un ancorante nel caso di rottura dell'acciaio, $N_{Rk,s}$ è indicata nel relativo documento ETA.

Il valore di $N_{Rk,s}$ è ottenuto dall'equazione (5.1)

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} \text{ [N]} \quad (5.1)$$

5.2.2.3 Cedimento per sfilamento

La resistenza caratteristica nel caso di cedimento per sfilamento, $N_{Rk,p}$ deve essere ricavata nel relativo documento ETA.

5.2.2.4 Rottura del cono di calcestruzzo

La resistenza caratteristica di un ancorante o di un gruppo di ancoranti in caso di rottura del cono di calcestruzzo è data dall'equazione:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ucr,N} \quad [N] \quad (5.2)$$

In base ad esperienza consolidata, i differenti fattori dell'equazione (5.2) per ancoranti sono riportati di seguito:

- a) il valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante posto in calcestruzzo fessurato è dato dalla formula:

$$N_{Rk,c}^0 = 7,2 \cdot \sqrt{f_{ck, \text{cubo}}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad [N] \quad (5.2a)$$

$f_{ck, \text{cubo}} [N/mm^2]; h_{ef} [mm]$

- b) L'effetto geometrico dell'interasse e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica è definito dal valore $A_{c,N} / A_{c,N}^0$ dove :

$A_{c,N}^0 =$ area di calcestruzzo di un ancorante singolo senza effetti di interassi e distanza dal bordo sulla superficie del calcestruzzo, schematizzando il cono di calcestruzzo come una piramide con un'altezza uguale ad h_{ef} e una base uguale a $s_{cr,N}$ (vedi Fig. 5.1).

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad (5.2b)$$

$A_{c,N} =$ area effettiva del cono di calcestruzzo di un ancorante sulla superficie del calcestruzzo. E' definito dalla sovrapposizione dei coni di calcestruzzo di gruppi adiacenti ($s \leq s_{cr,N}$) così come dall'effetto di bordo dell'elemento di calcestruzzo ($c \leq c_{cr,N}$). Esempi per il calcolo di $A_{c,N}$ sono dati nella Figura 5.2.

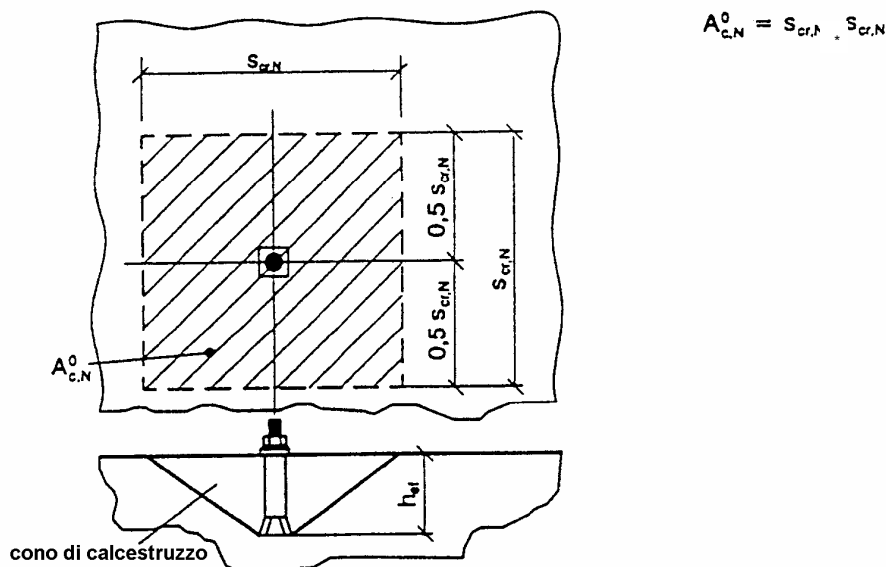
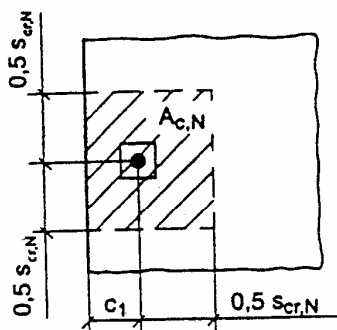


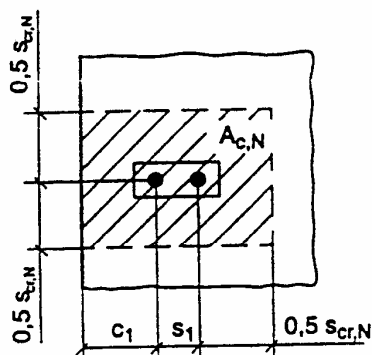
Figura 5.1 Cono ideale di rottura del calcestruzzo e superficie di base $A_{c,N}^0$ del cono di calcestruzzo di un singolo ancorante.



$$A_{c,N} = (c_1 + 0,5 s_{cr,N}) \cdot s_{cr,N}$$

if: $c_1 \leq c_{cr,N}$

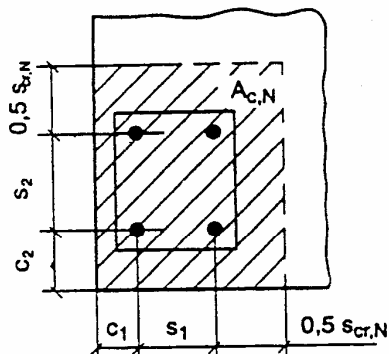
a) ancorante singolo al bordo dell'elemento di calcestruzzo



$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0,5 s_{cr,N}) \cdot s_{cr,N}$$

if: $c_1 \leq c_{cr,N}$
 $s_1 \leq s_{cr,N}$

b) gruppo di due ancoranti al bordo dell'elemento di calcestruzzo



$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0,5 s_{cr,N}) \cdot (c_2 + s_2 + 0,5 s_{cr,N})$$

if: $c_1 ; c_2 \leq c_{cr,N}$
 $s_1 ; s_2 \leq s_{cr,N}$

c) gruppo di quattro ancoranti all'angolo dell'elemento di calcestruzzo

Figura 5.2 Esempi di aree effettive $A_{c,N}$ di coni ideali di rottura del calcestruzzo per differenti posizioni degli ancoranti in caso di carico di trazione assiale.

- c) Il fattore $\psi_{s,N}$ considera la distribuzione non uniforme delle sollecitazioni nel calcestruzzo dovuta alla vicinanza ai bordi dell'elemento di calcestruzzo. Per ancoraggi con diverse distanze dal bordo (ancoraggi in un angolo dell'elemento in calcestruzzo o in un elemento stretto), nell'equazione (5.2c) sarà inserita la distanza dal bordo 'c' minore.

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \quad (5.2c)$$

- d) Il fattore $\psi_{re,N}$, considera l'effetto dell'armatura

$$\psi_{re, N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \quad (5.2d)$$

h_{ef} [mm]

Se nell'area degli ancoraggi c'è una armatura con interasse ≥ 150 mm (qualsiasi diametro) o con diametro ≤ 10 mm ed interasse ≥ 100 mm si potrà applicare un fattore $\psi_{re, N} = 1.0$ indipendentemente dalla profondità dell'ancoraggio.

e) Il fattore $\psi_{ec, N}$ considera l'effetto di gruppo quando diversi carichi di trazione agiscono sui singoli ancoranti di un gruppo

$$\psi_{ec, N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr, N}} \leq 1 \quad (5.2e)$$

e_N = eccentricità della risultante del carico di trazione agente sugli ancoranti tesi (vedi 4.2.1). Dove esista un'eccentricità in due direzioni, $\psi_{ec, N}$ deve essere determinata separatamente per ogni direzione ed il prodotto di entrambi i fattori deve essere inserito nell'Equazione (5.2).

Per semplicità potrà essere assunto $\psi_{ec, N} = 1,0$, se l'ancorante più sollecitato è verificato con l'Equazione (3.1) ($N_{Sd}^h \leq N_{Rk, c}^h / \gamma_{Mc}$) e la resistenza di questo ancorante viene assunta pari a

$$N_{Rk, c}^h = N_{Rk, c} / n \quad (5.2f)$$

con n = numero di ancoranti tesi

f) Il fattore $\psi_{ucr, N}$ considera la posizione dell'ancorante in calcestruzzo fessurato o non fessurato

$$\psi_{ucr, N} = 1,0 \text{ per ancoraggi in calcestruzzo fessurato} \quad (5.2g_1)$$

$$\psi_{ucr, N} = 1,4 \text{ per ancoraggi in calcestruzzo non fessurato} \quad (5.2g_2)$$

Il fattore $\psi_{ucr, N} = 1,4$ può essere utilizzato solo se è provato - come descritto in 4.1 - che il calcestruzzo dove è posto l'ancorante non è fessurato.

g) I valori $s_{cr, N}$ e $c_{cr, N}$ sono riportati nel relativo documento ETA.

In base ad esperienza consolidata, per gli ancoraggi si considera $s_{cr, N} = 2 c_{cr, N} = 3 h_{ef}$

Casi speciali

Per ancoraggi posizionati vicini a tre o più bordi e con una distanza dal bordo $c_{max} \leq c_{cr, N}$ (c_{max} = massima distanza dal bordo) (vedi figura 5.3) il calcolo eseguito in base all'equazione 5.2 porta a risultati che sono a vantaggio della sicurezza.

Risultati più precisi sono ottenuti se nell'Equazione (5.2a) viene inserito un valore di h'_{ef} calcolato con la formula seguente:

$$h'_{ef} = \frac{c_{max}}{c_{cr, N}} \cdot h_{ef}$$

e se per la determinazione di $A_{c, N}^0$ e $A_{c, N}$ in base alle Figg.5.1 e 5.2 così come nelle equazioni (5.2b), (5.2c) e (5.2e), al posto di $s_{cr, N}$ o $c_{cr, N}$ vengono utilizzati i valori:

$$s'_{cr, N} = c_{max} / c_{cr, N} \cdot s_{cr, N}$$

$$c'_{cr, N} = c_{max}$$

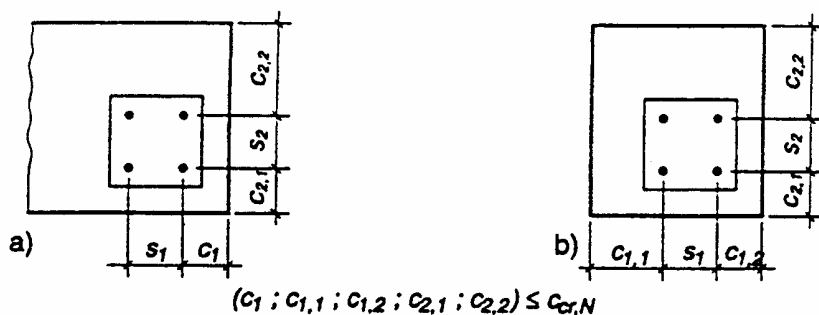


Figura 5.3 Esempi di ancoraggi in elementi di calcestruzzo dove si possono usare h'_{ef} , $s'_{cr,N}$ e $c'_{cr,N}$.

5.2.2.5 Rottura per fessurazione dovuta all'installazione dell'ancorante

La rottura per fessurazione durante la fase di installazione dell'ancorante viene evitata se vengono rispettati i valori minimi di distanze dal bordo c_{min} , interassi s_{min} , spessore dell'elemento h_{min} e armature indicati nel relativo documento ETA.

5.2.2.6 Rottura per fessurazione dovuta al carico

- Si può assumere che la rottura per fessurazione non avvenga se la distanza dal bordo in tutte le direzioni è $c \geq 1,5 c_{cr,sp}$ e lo spessore del materiale base sia $h \geq 2 h_{ef}$.
- Per ancoranti idonei per calcestruzzo fessurato, i calcoli della resistenza caratteristica per rottura per fessurazione possono essere omessi se le due condizioni seguenti vengono soddisfatte:
 - è presente un'armatura che limita la larghezza delle fessure a $w_k \sim 0,3$ mm tenendo conto della forza di fessurazione in accordo al Paragrafo 7.3
 - le resistenze caratteristiche per rottura del cono di calcestruzzo e per la cedimento per sfilamento vengono calcolate per calcestruzzo fessurato

Se le condizioni a) o b) non sono soddisfatte, la resistenza caratteristica di rottura per fessurazione di un singolo ancorante o di un gruppo di ancoranti deve essere calcolata in base all'Equazione (5.3).

$$N_{RK,sp} = N_{RK,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ucr,N} \cdot \psi_{h,sp} [N] \quad (5.3)$$

con $N_{RK,c}^0$, $\psi_{s,N}$, $\psi_{re,N}$, $\psi_{ec,N}$, $\psi_{ucr,N}$, come dalle Equazioni (5.2a) fino a (5.2g) e $A_{c,N}$, $A_{c,N}^0$, come definito al punto 5.2.2.4b, con i valori di $c_{cr,N}$ e $s_{cr,N}$ sostituiti da $c_{cr,sp}$ e $s_{cr,sp}$.

$\psi_{h,sp}$ = fattore da considerare per l'influenza dello spessore reale, h , del materiale base sulla resistenza a fessurazione per gli ancoranti, in base all'esperienza consolidata.

$$\psi_{h,sp} = \left[\frac{h}{2h_{ef}} \right]^{2/3} \leq 1,5 \quad (5.3a)$$

Se la distanza dal bordo di un ancorante è minore del valore $c_{cr,sp}$ si dovrebbe prevedere un'apposita armatura longitudinale lungo il bordo dell'elemento in calcestruzzo.

5.2.3 Resistenza a carichi di taglio

5.2.3.1 Verifiche richieste

	Ancorante singolo	Gruppo di ancoranti	
Rottura dell'acciaio, senza braccio di leva	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Rottura dell'acciaio, con braccio di leva	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Rottura per pryout del calcestruzzo	$V_{Sd} \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$
Rottura del bordo del calcestruzzo	$V_{Sd} \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Msc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$

5.2.3.2 Rottura dell'acciaio

a) Carico di taglio senza braccio di leva

La resistenza caratteristica di un ancorante nel caso di rottura dell'acciaio, $V_{Rk,s}$ deve essere ricavata dal relativo documento ETA.

In base all'esperienza consolidata, il valore $V_{Rk,s}$ per gli ancoranti è dato dall'Equazione (5.4)

$$V_{Rk,s} = 0,5 \cdot A_s \cdot f_{uk} \quad [N] \quad (5.4)$$

L'equazione (5.4) non è valida per ancoranti con una sezione fortemente ridotta lungo la lunghezza dell'ancorante (ad esempio nel caso di perno di ancoranti ad espansione)

Nel caso di gruppi di ancoranti, se l'ancorante è di acciaio con bassa duttilità (allungamento a rottura $A_5 \leq 8\%$), la resistenza caratteristica a taglio riportata nel documento ETA deve essere moltiplicata per un fattore 0,8.

b) Carico di taglio con braccio di leva

La resistenza caratteristica di un ancorante $V_{Rk,s}$ è dato dall'Equazione (5.5)

$$V_{Rk,s} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} \quad [N] \quad (5.5)$$

dove α_M = vedi 4.2.2.3

= braccio di leva in accordo all'equazione (4.2)

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Sd}/N_{Rd,s}) \quad [Nm] \quad (5.5a)$$

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$$

$N_{Rk,s}$, γ_{Ms} devono essere ricavati dal relativo documento ETA

$M_{Rk,s}^0$ = resistenza caratteristica a flessione di un singolo ancorante

La resistenza caratteristica a flessione $M_{Rk,s}^0$ deve essere ricavata dal relativo documento ETA.

In base all'esperienza consolidata, il valore di $M_{Rk,s}^0$ per ancoranti è dato dall'equazione (5.5b)

$$M_{Rk,s}^0 = 1,2 \cdot W_{el} \cdot f_{uk} \quad [Nm] \quad (5.5b)$$

L'equazione (5.5b) deve essere usata solo se l'ancorante non ha una significativa riduzione della sezione lungo la lunghezza del perno.

5.2.3.3 Rottura per pryout / scalzamento del calcestruzzo

Gli ancoraggi realizzati con ancoranti corti e rigidi possono cedere per rottura del calcestruzzo nel lato opposto al verso del carico (vedi figura 5.4). La resistenza caratteristica corrispondente $V_{Rk,cp}$ può essere calcolata con l'equazione (5.6).

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c} \quad (5.6)$$

dove k = fattore che deve essere ricavato dal relativo documento ETA
 $N_{Rk,c}$ in accordo alla 5.2.2.4 determinato per gli ancoranti caricati a taglio

In base all'esperienza consolidata, per ancoranti che cedono sotto carico di trazione con rottura del cono di calcestruzzo, i seguenti valori di k sono a vantaggio di sicurezza:

$$k = 1 \quad h_{ef} < 60 \text{ mm} \quad (5.6a)$$

$$k = 2 \quad h_{ef} \geq 60 \text{ mm} \quad (5.6b)$$

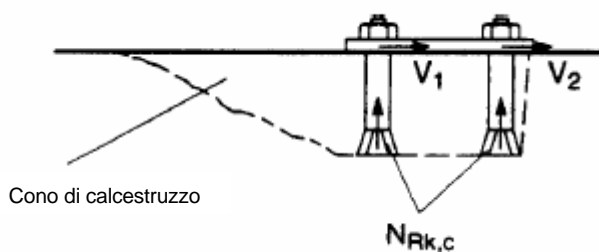


Figura 5.4 Rottura per pryout / scalzamento del calcestruzzo nel lato opposto al verso del carico

5.2.3.4 Rottura del bordo di calcestruzzo

Per gli ancoraggi indicati in Figura 1.1 con distanza dal bordo in tutte le direzioni $c \geq 10 h_{ef}$, si può omettere il controllo della resistenza caratteristica a rottura del bordo di calcestruzzo.

La resistenza caratteristica per un ancorante o un gruppo di ancoranti nel caso di rottura del bordo di calcestruzzo è data dalla seguente equazione:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \psi_{s,V} \psi_{h,V} \psi_{\alpha,V} \psi_{ec,V} \psi_{ucr,V} \quad [N] \quad (5.7)$$

In base ad esperienza consolidata, i fattori dell'equazione (5.7) per ancoranti sono dati di seguito:

- a) il valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante posto in calcestruzzo fessurato e caricato perpendicolarmente al bordo, è dato dalla formula:

$$V_{Rk,c}^0 = 0,45 \cdot \sqrt{d_{nom}} \cdot (l_f / d_{nom})^{0,2} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5} \quad [N] \quad (5.7a)$$

$$d_{nom}, l_f, c_1 \text{ [mm]}, f_{ck,cube} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

- b) l'effetto geometrico dell'interasse, delle distanze da altri eventuali bordi e dello spessore dell'elemento di calcestruzzo sulla resistenza caratteristica è definito dal rapporto $A_{c,V} / A_{c,V}^0$

dove

$A_{c,V}^0 =$ area di base del cono di calcestruzzo di un singolo ancorante sulla superficie laterale del calcestruzzo, non influenzata da bordi paralleli alla direzione di carico stabilita, dallo spessore del calcestruzzo o da ancoranti adiacenti, ipotizzando la zona di rottura come un tronco di piramide con altezza uguale a c_1 e base uguale a $1,5 c_1$ e $3 c_1$ (Figura 5.5)

$$A_{c,V}^0 = 4,5 c_1^2 \quad (5.7b)$$

$A_{c,V} =$ area effettiva della base del cono di calcestruzzo dell'ancorante sulla superficie laterale del calcestruzzo. L'area è limitata dalla sovrapposizione dei coni di calcestruzzo di ancoranti adiacenti ($s \leq 3 c_1$) così come dai bordi paralleli alla direzione di carico stabilita ($c_2 \leq 1,5 c_1$) e dallo spessore dell'elemento ($h \leq 1,5 c_1$). Esempi per il calcolo di $A_{c,V}$ sono dati nella Figura 5.6.

Per il calcolo di $A_{c,V}^0$ e $A_{c,V}$ si assume che i carichi di taglio siano applicati perpendicolarmente al bordo dell'elemento di calcestruzzo.

Per ancoraggi posti in un angolo, deve essere calcolata la resistenza di entrambi i bordi e si deve considerare il valore più basso (vedi Figura 5.7).

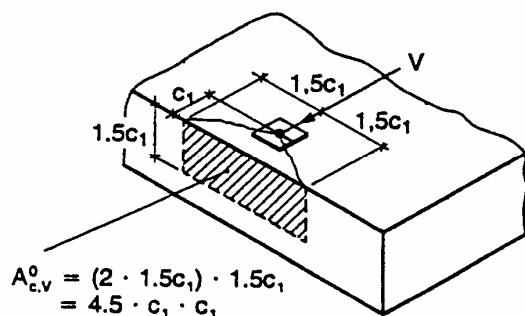
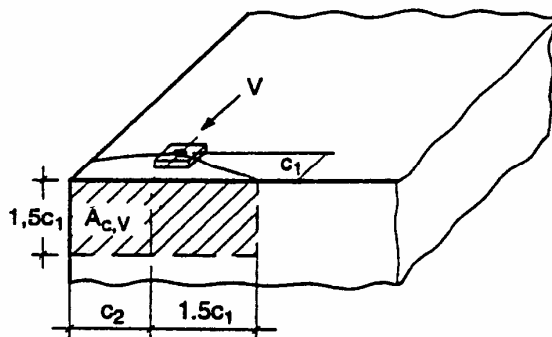


Figura 5.5 Cono di calcestruzzo ideale e area $A_{c,V}^0$ della base del cono di calcestruzzo per un ancorante singolo

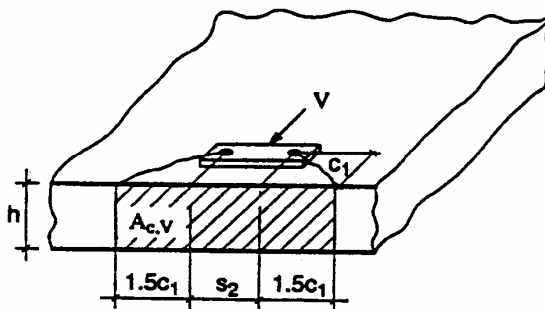


$$A_{c,v} = 1.5c_1 (1.5c_1 + c_2)$$

$$h > 1.5c_1$$

$$c_2 \leq 1.5c_1$$

a) ancorante singolo in angolo

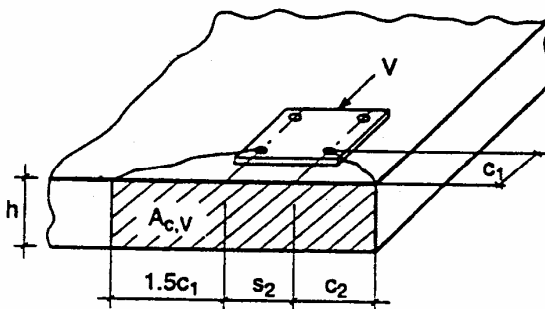


$$A_{c,v} = (2 \cdot 1.5c_1 + s_2) \cdot h$$

$$h \leq 1.5c_1$$

$$s_2 \leq 3c_1$$

b) gruppo di ancoranti al bordo in un elemento sottile di calcestruzzo



$$A_{c,v} = (1.5c_1 + s_2 + c_2) \cdot h$$

$$h \leq 1.5c_1$$

$$s_2 \leq 3c_1$$

$$c_2 \leq 1.5c_1$$

c) gruppo di ancoranti in un angolo di un elemento sottile di calcestruzzo

Figura 5.6 Esempi di aree effettive del cono ideale del calcestruzzo per diverse distribuzioni di ancoranti caricati a taglio.

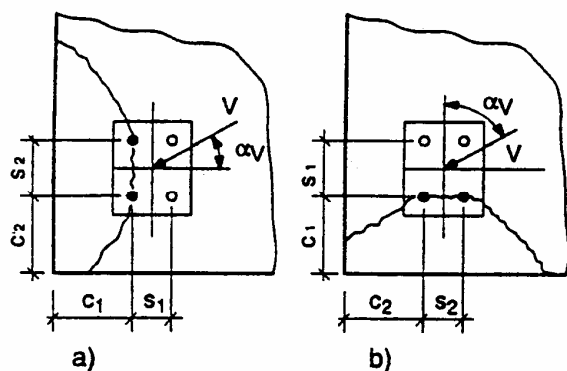


Figura 5.7 Esempio di un gruppo di ancoranti in un angolo sotto carico di taglio, dove la resistenza dovrà essere calcolata per entrambi i bordi.

- c) Il fattore $\psi_{s,V}$ considera l'influenza sulla resistenza a taglio della distribuzione delle sollecitazioni nel calcestruzzo per la vicinanza degli ancoranti ad ulteriori bordi dell'elemento di calcestruzzo. Per ancoraggi con due bordi paralleli alla direzione assunta dal carico (ad esempio in un elemento stretto) nell'Equazione (5.7c) bisognerà inserire la distanza dal bordo minore.

$$\psi_{s,V} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{1,5 c_1} \leq 1 \quad (5.7c)$$

- d) Il fattore $\psi_{h,V}$ considera il fatto che la resistenza a taglio non diminuisce proporzionalmente allo spessore dell'elemento come ipotizzato nel rapporto $A_{c,V} / A_{c,V}^0$.

$$\psi_{h,V} = \left[\frac{1,5 c_1}{h} \right]^{1/3} \geq 1 \quad (5.7d)$$

- e) Il fattore $\psi_{\alpha,V}$ considera l'angolo α_v tra il carico applicato V_{sd} e la direzione perpendicolare all'estremo libero dell'elemento di calcestruzzo (vedi Figura 5.8)

$$\begin{aligned} \psi_{\alpha,V} &= 1,0 && \text{per } 0^\circ \leq \alpha_v \leq 55^\circ && \text{area 1} \\ \psi_{\alpha,V} &= \frac{1}{\cos \alpha + 0,5 * \sin \alpha_v} && \text{per } 55^\circ < \alpha_v \leq 90^\circ && \text{area 2} \\ \psi_{\alpha,V} &= 2,0 && \text{per } 90^\circ < \alpha_v \leq 180^\circ && \text{area 3} \end{aligned} \quad (5.7e)$$

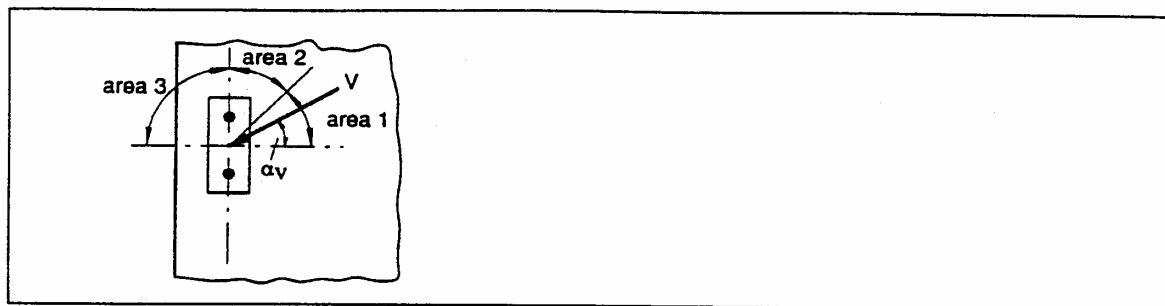


Figura 5.8 Definizione di angolo α_v

- f) Il fattore $\psi_{ec,V}$ considera l'effetto di gruppo quando differenti carichi di taglio agiscono sui singoli ancoranti del gruppo.

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2e_V / (3c_1)} \leq 1 \quad (5.7f)$$

e_V = eccentricità del carico di taglio risultante agente sugli ancoranti (vedi 4.2.2)

Per semplicità si può assumere un fattore $\psi_{ec,V} = 1,0$, se l'ancorante più sollecitato è valutato in accordo all'equazione (3.1) ($V_{Sd}^h \leq V_{Rk,c}^h / \gamma_{Mc}$) e la resistenza di quest'ancorante è calcolata con la formula:

$$V_{Rk,c}^h = N_{Rk,c} / n \quad (5.7g)$$

con n = numero di ancoranti sottoposti a taglio

- g) Il fattore $\psi_{ucr,V}$ considera l'effetto del posizionamento degli ancoraggi in calcestruzzo fessurato o non fessurato o del tipo di armatura presente.

$\psi_{ucr,V} = 1,0$ ancoraggi in calcestruzzo fessurato senza armatura di bordo o staffe

$\psi_{ucr,V} = 1,2$ ancoraggi in calcestruzzo fessurato con armatura di bordo rettilinea (≥ 12 mm)

$\psi_{ucr,V} = 1,4$ ancoraggi in calcestruzzo fessurato con armatura di bordo e staffe con interasse ristretto ($a \leq 100$ mm), ancoraggi in calcestruzzo non fessurato (condizione verificata secondo il paragrafo 4.1)

Casi speciali

Per ancoraggi in elementi di calcestruzzo piccoli e sottili, con $c_{2,max} \leq 1,5 c_1$ ($c_{2,max}$ = maggiore delle due distanze dai bordi paralle alla direzione del carico) e $h \leq 1,5 c_1$ (vedi figura 5.9), il calcolo in accordo all'equazione (5.7) porta a risultati che sono a vantaggio della sicurezza.

Risultati più precisi sono ottenuti se nelle equazioni da (5.7a) a (5.7f) così come nella determinazione delle aree $A_{c,V}^0$ e $A_{c,V}$ in accordo alle Figg. 5.5 e 5.6, la distanza dal bordo c_1 è sostituita dal valore c'_1 , dove c'_1 è il maggiore dei due valori $c_{max} / 1,5$ e $h / 1,5$.

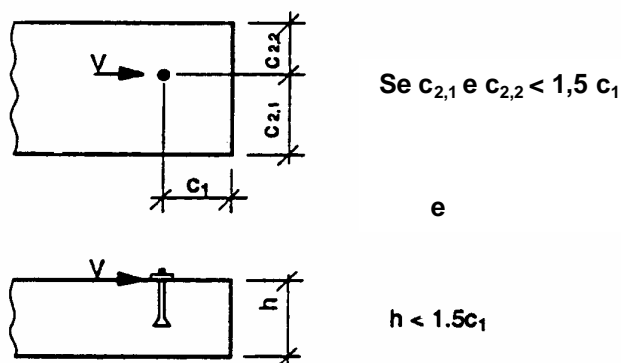


Figura 5.9 Esempio di ancoraggio in un elemento piccolo e sottile dove può essere usato c'_1

5.2.4 Resistenza a carichi combinati trazione-taglio

Nel caso di carichi combinati di trazione-taglio devono essere soddisfatte le seguenti equazioni (vedi Fig.5.10):

$$\beta_N \leq 1 \quad (5.8a)$$

$$\beta_V \leq 1 \quad (5.8b)$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2 \quad (5.8c)$$

dove

β_N (β_V) rapporto tra azione di progetto e resistenza di progetto per carichi a trazione (taglio).

Nell'equazione (5.8) deve essere adottato il valore più grande tra β_N e β_V per le differenti modalità di rottura (vedi 5.2.2.1 e 5.2.3.1).

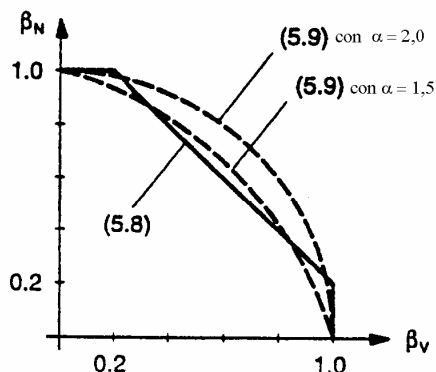


Figura 5.10 Diagramma d'interazione per carichi combinati trazione-taglio

In generale, le equazioni da (5.8a) a (5.8c) forniscono risultati a favore della sicurezza. Risultati più accurati sono ottenuti utilizzando l'Equazione (5.9).

$$(\beta_N)^\alpha + (\beta_V)^\alpha \leq 1 \quad (5.9)$$

con:

β_N, β_V vedi Equazione (5.8)
 $\alpha = 2,0$ se N_{Rd} e V_{Rd} dipendono dal cedimento dell'acciaio.
 $\alpha = 1,5$ per tutte le altre modalità di rottura.

5.3 Metodo di progettazione B

Il metodo di progettazione B è basato su un approccio semplificato in cui il valore di progetto della resistenza caratteristica è considerato indipendente dalla direzione di carico e dal tipo di cedimento.

Nel caso di gruppi di ancoranti bisogna dimostrare che l'Equazione (3.1) sia soddisfatta per l'ancorante maggiormente sollecitato.

La resistenza di progetto F_{Rd}^0 può essere usata senza modifiche se l'interasse s_{cr} e la distanza dal bordo c_{cr} sono rispettati. F_{Rd}^0 , s_{cr} e c_{cr} sono riportate nel relativo documento ETA.

La resistenza di progetto deve essere calcolata in base all'equazione (5.10) se i valori effettivi dell'interasse e della distanza dal bordo sono più piccoli dei valori s_{cr} e c_{cr} e più grandi o uguali a s_{min} e c_{min} riportati nell'ETA.

$$F_{Rd} = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_c}{A_c^0} \cdot \psi_s \cdot \psi_{re} \cdot \psi_{ucr} \cdot F_{Rd}^0 \quad [N] \quad (5.10)$$

n = numero di ancoranti caricati

L'effetto dell'interasse e della distanza dal bordo è preso in considerazione dai fattori A_c / A_c^0 e ψ_s . Il fattore A_c / A_c^0 deve essere calcolato in base a quanto riportato al punto b del paragrafo 5.2.2.4 e il fattore ψ_s in base a quanto riportato al punto c del paragrafo 5.2.2.4 sostituendo $s_{cr,N}$ e $c_{cr,N}$ con s_{cr} e c_{cr} . L'effetto della presenza di armatura ravvicinata e del calcestruzzo non fessurato è tenuto in considerazione tramite i fattori ψ_{re} e ψ_{ucr} . Il fattore ψ_{re} è calcolato in base a quanto riportato nel punto d del paragrafo 5.2.2.4 e il fattore ψ_{ucr} in base al punto f del paragrafo 5.2.2.4.

Nel caso di carico di taglio con braccio di leva la resistenza caratteristica dell'ancorante deve essere calcolata in base all'Equazione (5.5), sostituendo $N_{Rd,s}$ con F_{Rd}^0 nell'Equazione (5.5a). Deve essere utilizzato il più piccolo tra il valore F_{Rd} ricavato dall'Equazione (5.10) e il valore $V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$ ricavato dall'Equazione (5.5).

5.4 Metodo di progettazione C

Il metodo di progettazione C è basato su un approccio semplificato in cui è fornito un solo valore per la resistenza di progetto F_{Rd} , indipendentemente dalla direzione di carico e dalla modalità di cedimento. Gli effettivi interassi e le distanze dal bordo devono essere uguali o maggiori dei valori s_{cr} e c_{cr} . F_{Rd} , s_{cr} e c_{cr} sono riportati nel relativo documento ETA.

Nel caso di carico di taglio con braccio di leva, la resistenza caratteristica dell'ancorante deve essere calcolata in base all'Equazione (5.5) sostituendo $N_{Rd,s}$ con F_{Rd} nell'Equazione (5.5a).

Deve essere utilizzato il valore più piccolo tra F_{Rd} e $V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$ ricavato in base all'Equazione (5.5).

6 Stato limite di servizio

6.1 Spostamenti

Lo spostamento caratteristico dell'ancorante sotto carichi definiti di trazione e taglio deve essere ricavato dal relativo documento ETA. Si può ipotizzare che gli spostamenti siano una funzione lineare del carico applicato.

Nel caso di carico combinato trazione-taglio, gli spostamenti per la componente a trazione e a taglio del carico risultante devono essere sommati geometricamente.

Nel caso di carichi di taglio, deve essere presa in considerazione l'influenza dell'effettivo foro presente nell'elemento da fissare sullo spostamento previsto dell'intero ancoraggio.

6.2 Carico di taglio con cambio di verso

Se i carichi di taglio agenti sull'ancorante cambiano il loro verso molte volte, si devono prendere misure appropriate per evitare la rottura a fatica dell'acciaio dell'ancorante (per esempio il carico di taglio dovrebbe essere trasferito tramite attrito tra il fissaggio e il calcestruzzo, ad esempio attraverso una sufficiente forza di pretensionamento).

I carichi di taglio con cambio di verso possono verificarsi per variazioni di temperature negli elementi da fissare (ad esempio elementi di facciate).

Quindi, questi elementi da fissare o saranno ancorati in modo tale che non nascano significativi carichi di taglio nell'ancorante dovuti ai vincoli imposti alle deformazioni dell'elemento fissato, o nel caso di azione di taglio con braccio di leva (installazione distanziata), le sollecitazioni dovute a flessioni causate da variazioni di temperatura dovranno essere minori di 100 N/mm^2 nell'ancorante più sollecitato, $\Delta\sigma = \max \sigma - \min \sigma$, allo stato limite di servizio.

7 Prove aggiuntive per verificare la resistenza caratteristica dell'elemento di calcestruzzo

7.1 Generalità

La verifica di trasmissione locale dei carichi dall'ancorante all'elemento in calcestruzzo è definita utilizzando i metodi di progettazione descritti in questo documento.

La trasmissione dei carichi dell'ancorante al supporto in calcestruzzo deve essere dimostrata per lo stato limite ultimo e per lo stato limite di servizio; per questo motivo, le normali verifiche devono essere condotte tenendo conto delle azioni indotte dagli ancoranti. Per queste verifiche si devono considerare le indicazioni aggiuntive date in 7.2 e 7.3.

Se la distanza dal bordo di un ancorante è minore del valore caratteristico della distanza dal bordo rispettivamente $c_{cr,N}$ (metodo di progettazione A) o c_{cr} (metodo di progettazione B e C), allora un'armatura longitudinale di diametro almeno 6 mm deve essere posta lungo il bordo dell'elemento in corrispondenza della profondità di ancoraggio.

Nel caso di lastre o travi prefabbricate completate con uno spessore di calcestruzzo gettato in opera, i carichi degli ancoranti possono essere trasmessi al calcestruzzo dell'elemento prefabbricato solo se il calcestruzzo prefabbricato e quello gettato in opera sono collegati attraverso apposita armatura a taglio. Se l'armatura a taglio tra l'elemento prefabbricato e il calcestruzzo gettato in opera non fosse presente, gli ancoranti dovrebbero essere fissati con profondità di ancoraggio h_{ef} nel calcestruzzo gettato in opera. Altrimenti possono essere ancorati negli elementi di calcestruzzo prefabbricato solo i carichi relativi a controsoffitti sospesi o costruzioni similari con un carico massimo di $1,0 \text{ kN/m}^2$.

7.2 Resistenza a taglio dell'elemento in calcestruzzo

In generale le forze di taglio $V_{Sd,a}$ causate dai carichi degli ancoranti non devono essere maggiori del valore

$$V_{Sd,a} = 0,4 V_{Rd1} \quad (7.1)$$

con:

V_{Rd1} = resistenza a taglio in base all'Eurocodice 2 [1].

Quando si calcola $V_{Sd,a}$ i carichi dell'ancorante devono essere definiti come carichi concentrati con un'ampiezza di applicazione del carico $t_1 = s_{t1} + 2 h_{ef}$ e $t_2 = s_{t2} + 2 h_{ef}$, con s_{t1} (s_{t2}) interasse tra l'ancorante più esterno del gruppo in direzione 1 (2). La larghezza attiva al di sopra della quale la forza di taglio è trasmessa dovrebbe essere calcolata in base alla teoria dell'elasticità.

L'equazione 7.1 può essere omessa se una delle seguenti condizioni è soddisfatta:

- a) La forza di taglio V_{Sd} indotta al supporto dalle azioni di progetto compresi i carichi degli ancoranti è:

$$V_{Sd} \leq 0,8 V_{Rd1} \quad (7.2)$$

- b) sotto le azioni caratteristiche, la forza di trazione risultante, N_{Sk} , degli elementi fissati sottoposti a trazione, è $N_{Sk} \leq 30 \text{ kN}$ e la distanza, a , tra gli ancoranti più esterni del gruppo adiacente o tra gli ancoranti esterni di un gruppo e i singoli ancoranti soddisfa l'Equazione 7.3.

$$a \geq 200 \cdot \sqrt{N_{Sk}} \quad a [\text{mm}]; \quad N_{Sk} [\text{kN}] \quad (7.3)$$

- c) i carichi degli ancoranti sono contrastati da una staffa, che racchiude l'armatura a trazione ed è ancorata alla parte opposta dell'elemento di calcestruzzo. La sua distanza da un ancorante singolo o dall'ancorante più esterno di un gruppo dovrebbe essere minore di h_{ef}

Se sotto le azioni caratteristiche, la forza di trazione risultante, N_{Sk} , degli elementi fissati sottoposti a trazione è $N_{Sk} \geq 60 \text{ kN}$, la profondità di fissaggio degli ancoranti dovrebbe essere $h_{ef} \geq 0,8 h$ oppure dovrebbero essere previste delle staffe in accordo al punto c).

Le verifiche necessarie per soddisfare i requisiti di resistenza al taglio dall'elemento di calcestruzzo sono elencati nella tabella 7.1.

Tabella 7.1 Verifiche necessarie per soddisfare i requisiti di resistenza al taglio dall'elemento di calcestruzzo

Valore calcolato della forza di taglio dell'elemento di calcestruzzo dovuta ai carichi dell'ancorante	Interasse tra singoli ancoranti e gruppi di ancoranti	N _{sk} [kN]	Verifica della forza di taglio calcolata, risultante dai carichi dell'ancorante
V _{Sd} ≤ 0,8 · V _{Rd1}	a ≥ s _{cr,N} ¹⁾ (s _{cr}) ²⁾	≤60	Non richiesta
V _{Sd} > 0,8 V _{Rd1}	a ≥ s _{cr,N} ¹⁾ (s _{cr}) ²⁾ e _____ a ≥ 200 √N _{Sk}	≤30	Non richiesta
	a ≥ s _{cr,N} ¹⁾ (s _{cr}) ²⁾	≤60	Richiesta: V _{Sd,a} ≤ 0,4 V _{Rd1} o staffe o h _{ef} ≥ 0,8 h
		>60	Non richiesta, ma staffe o h _{ef} ≥ 0,8 h
1) Metodo di progettazione A 2) Metodi di progettazione B e C			

7.3 Resistenza a forze di fessurazione

In generale, le forze di fessurazione causate dagli ancoranti devono essere prese in considerazione durante la progettazione dell'elemento. Queste possono non essere considerate se una delle seguenti condizioni è soddisfatta:

- a) l'area di distribuzione del carico è nella zona compressa dell'elemento di calcestruzzo
- b) la componente di trazione N_{Sk} dei carichi caratteristici agenti sull'ancoraggio (singolo ancorante o gruppo di ancoranti) è minore di 10 kN
- c) la componente di trazione N_{Sk} non è maggiore di 30 kN. In aggiunta per fissaggi su solai e pareti, un'armatura concentrata in entrambe le direzioni è presente nella zona dell'ancoraggio. La sezione resistente dell'armatura trasversale dovrebbe essere almeno il 60% di quella longitudinale richiesta per le azioni dovute ai carichi degli ancoranti.

Se il carico caratteristico di trazione agente sull'ancoraggio è $N_{Sk} \geq 30$ kN e gli ancoranti sono posizionati nella zona sollecitata a trazione dell'elemento di calcestruzzo, le forze di fessurazione devono essere contrastate da armatura. Come prima indicazione, in base ad esperienza consolidata, per gli ancoranti il rapporto tra le forze di fessurazione $F_{Sp,k}$ e il carico caratteristico a trazione N_{Sk} o N_{Rd} (ancoranti a controllo di spostamento), può essere assunto pari a:

$F_{Sp,k} = 1,5 N_{Sk}$	ancoranti ad espansione a controllo di coppia (Parte 2)
$F_{Sp,k} = 1,0 N_{Sk}$	ancoranti sottosquadro (Parte 3)
$F_{Sp,k} = 2,0 N_{Sk}$	ancoranti ad espansione a controllo di deformazione (Parte 4)
$F_{Sp,k} = 0,5 N_{Sk}$	ancoranti chimici (Parte 5).