

Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino dell'opera:
Ponte sulla SP27 Castroncello - Km 11+900 località Montecchio Vecchio
La Colmata - Comune di Castiglion Fiorentino (CUP: 127H21005060001)

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Luca Pigolotti

IL PROGETTISTA:

Ing. Umberto Rosatella

IL PROGETTISTA E

DL ARCHITETTONICO:

Arch. Renato Comerlati



DATA:

08/2026



ALE CONSULTING S.r.l. unico socio
40033 Casalecchio di Reno (BO)
03012 Anagni (FR)
61159 Genova (GE)
37020 Dolcè (VR)
C.F./P.Iva 02392500605
Tel: +39 051 573578
Sito: www.aleconsulting.it

F - DISPOSITIVI DI RITENUTA STRADALE

OGGETTO ELABORATO:

**RELAZIONE DI CALCOLO E VERIFICA
ANCORAGGIO**

NUMERO PROGRESSIVO:

F002

SCALA:

-

CODICE ELABORATO:

BAR.02

COMMESSA INTERNA:

21.22.PR.CSP

CODICE CIG:

926146852B

REVISIONE:

02

N°

DATA

00

12/2023

01

04/2026

SOMMARIO

1.	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA LUNGO LA S.P. 27	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3.	METODO DI CALCOLO.....	5
3.1	CONVENZIONI GENERALI.....	6
4.	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI delle nuove fondazioni	7
5.	CRITERIO DI VERIFICA DELL'ANCORAGGIO DELLA BARRIERA AL CORDOLO	11
5.1	AZIONE DERIVANTE DALL'URTO	12
5.2	MATERIALI COSTITUENTI IL SISTEMA DI ANCORAGGIO	12
5.2.1	CALCESTRUZZO.....	13
5.2.2	ACCIAIO PER C.A. PER LE NUOVE STRUTTURE	13
5.2.3	BARRE FILETTATE DI ANCORAGGIO DEL MONTANTE DELLA BARRIERA H2BP400	13
5.2.4	RESINA PER ANCORAGGI	13
5.3	VERIFICA DELL'ANCORAGGIO.....	15
5.4	CARATTERISTICHE SISTEMA DI ANCORAGGIO	17
5.4.1	GEOMETRIA ANCORAGGIO.....	17
5.4.2	PARAMETRI DI CALCOLO A TRAZIONE	18
5.4.3	PARAMETRI DI CALCOLO A TAGLIO	18
5.5	FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA	19
5.6	AZIONI DI PROGETTO	20
5.6.1	TRAZIONE.....	20
5.6.2	TAGLIO.....	20
5.7	VERIFICHE PER CARICO DI TRAZIONE (PARAGRAFO 7.2.1 - EN 1992-4:2018)	21
5.7.1	ROTTURA DELL'ACCIAIO: $N_{RD,S} = N_{RK,S}/\gamma_{MS}$ DA CONFRONTARE CON N^H_{SD}	21
5.7.2	ROTTURA DEL CONO DI CALCESTRUZZO: $N_{RD,C} = N_{RK,C}/\gamma_{MC}$ DA CONFRONTARE CON N^G_{SD}	21

5.7.3	ROTTURA COMBINATA CONICA E PER SFILAMENTO: $N_{RD,P}=N_{RK,P}/\gamma_{MP}$ DA CONFRONTARE CON N_{SD}^G	23
5.7.4	ROTTURA PER FESSURAZIONE: $N_{RD,SP}= N_{RK,SP}/\gamma_{MSP}$ DA CONFRONTARE CON N_{SD}^G	25
5.8	VERIFICA PER CARICHI DI TAGLIO (PARAGRAFO 7.2.2 - EN 1992-4:2018)	28
5.8.1	ROTTURA DELL'ACCIAIO (SENZA BRACCIO DI LEVA): $V_{RD,S} = V_{RK,S}/\gamma_{MS}$ DA CONFRONTARE CON V_{SD}^H	29
5.8.2	ROTTURA PER PRYOUT (ADESIONE): $V_{RD,CP} = V_{RK,CP}/\gamma_{MC}$ DA CONFRONTARE CON V_{SD}^G ...	29
5.8.3	ROTTURA DEL BORDO DEL CALCESTRUZZO: $V_{RD,C}=V_{RK,P}/\gamma_{MC}$ DA CONFRONTARE CON V_{SD}^G	31
5.9	VERIFICA PER AZIONI COMBinate DI TRAZIONE E TAGLIO (PARAGRAFO 7.4.2 - EN 1992-4:2018)	34
6.	CONCLUSIONI	35

1. PREMESSA

Nel presente elaborato, che insieme agli altri fa parte del progetto definitivo ed esecutivo del *"ponte sulla S.P.27 Castroncello, Km 11+900, Località Montecchio Vecchio La Colmata, Comune di Castiglion Fiorentino"*, sarà eseguita la *"Verifica dell'ancoraggio della barriera H2 boro ponte alle nuove fondazioni in calcestruzzo, siano esse su impalcato, su muri d'ala e su terreno"*.

Sono escluse dal presente elaborato tutte le verifiche statiche degli impalcati, delle travi di sostegno, delle spalle e dei muri d'ala e di tutte le altre parti strutturali per le quali si rimanda agli altri elaborati facenti parte del progetto.

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA LUNGO LA S.P. 27

Il ponte oggetto di intervento si trova al Km 11+900 della SP 27 Castroncello in località Montecchio Vecchio La Colmata, nel Comune di Castiglion Fiorentino, come opera di attraversamento del torrente Montecchio Vecchio.

Ha una lunghezza totale di 11,00 m ed una larghezza impalcato di 6,00 m. La struttura è costituita da uno scatolare ad una campata con struttura interamente in calcestruzzo armato ordinario. La categoria di strada, in accordo al DM del 05.11.2001, è una F2 ovvero una locale extraurbana.

Le verifiche e i calcoli oggetto del presente elaborato saranno condotte nel rispetto del seguente quadro normativo.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le relative verifiche saranno eseguite in accordo alle disposizioni normative ed ai riferimenti tecnici di seguito indicati.

- A1 D.M. 17/01/2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (indicate in seguito "NTC18");
- A2 Circolare n°7 del 21.01.2019 _ "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D M. del 17.01.2018".
- A3 UNI EN 1991-2: Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti come emendato dal documento di applicazione nazionale pubblicato in G.U. 27 marzo 2013 decreto ministeriale 31/07/2012 con entrata in vigore dopo 90 gg dalla pubblicazione (25 giugno 2013);
- A4 Eurocodice 2 – 1992-4:2018 – Design of Concrete Structures – Part 4: Design of fastenings for concrete.

Sono stati consultati, inoltre, i seguenti documenti e impiegato il software indicato:

- A4 Quaderni tecnici per la salvaguardia delle infrastrutture–ANAS Vol. VI–Dispositivi di ritenuta stradale marzo 2019.
- A5 Manuale della protezione dei margini stradali 1° agosto 2012 - Prof. Mariano Perneti – Seconda Università di Napoli.
- A6 Software per la verifica di sezioni presso-inflesse “VCA SLU” del Prof. Piero Gelfi – versione Nov. 2021.
- A7 Crash test report e manuale di installazione della barriera IMEVA H2BP300.

3. METODO DI CALCOLO

In generale, il metodo di verifica dell'affidabilità di una struttura si basa, in generale, sulla definizione degli stati limite. Gli stati limite devono essere verificati rispetto a situazioni significative di progetto; l'EN 1990 (EC0) individua le seguenti situazioni di progetto:

- persistenti (condizioni di uso normale);
- transitorie (in fase esecutiva o di riparazione);
- accidentali (condizioni eccezionali di impegno);
- sismiche.

Nel caso in esame, la situazione di progetto da considerare è quella accidentale o eccezionale, in quanto, oltre al peso proprio, la sola altra azione che impegna la struttura è derivante dagli effetti provocati dall'urto tra un veicolo e la barriera.

Nelle situazioni eccezionali le verifiche sono condotte nei soli confronti degli stati limite ultimi e la combinazione delle azioni definita combinazione eccezionale è la seguente:

$$F_d = G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} \dots$$

Dove:

G_1 rappresenta il peso proprio degli elementi strutturali;

G_2 rappresenta il peso proprio degli elementi non strutturali;

P l'eventuale presenza di presollecitazioni;

A_d azioni che si verificano solo eccezionalmente;

Q_{ki} rappresenta la i -esima azione variabile;

γ_{G1} è il coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;

γ_{G2} è il coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;

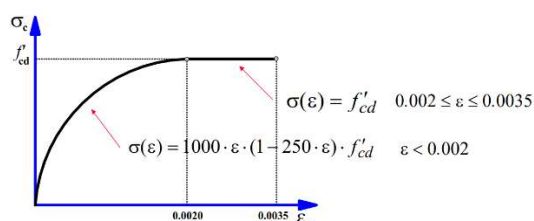
γ_{Qi} è il coefficiente parziale delle azioni variabili;

ψ_{2i} rappresenta il coefficiente percentuale del valore quasi permanente dell'azione variabile;

Note le azioni elementari di progetto applicate all'interno di combinazioni di carico di progetto, si determinano le sollecitazioni a cui la struttura stessa è sottoposta. Queste sollecitazioni devono essere confrontate con le resistenze per la valutazione della sicurezza rispetto ad un generico stato limite e, deve risultare, $E_d \leq R_d$.

Dove, con E_d , si è indicata la sollecitazione di progetto e con R_d la resistenza di progetto della sezione. Il metodo con cui sono ricavate è il metodo classico dell'analisi elastica lineare. Per analisi di questo tipo il comportamento meccanico della struttura si basa su una risposta elastica lineare del materiale che viene definito, essenzialmente, mediante il modulo elastico ed il modulo di Poisson.

Per quanto riguarda il calcestruzzo, questo, si considera non reagente a trazione, pertanto, il legame costitutivo assunto del tipo parabola – rettangolo ne descrive il comportamento a compressione.



La resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo f_{cd} è:

$$f_{c,d} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

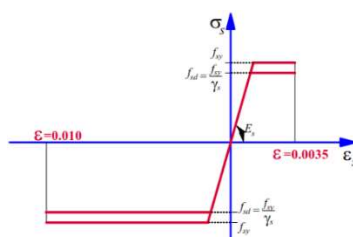
Dove:

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata ed è pari a 0.85;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni;

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo che, per azioni eccezionali, è pari a 1.

Per quanto riguarda l'acciaio invece, si utilizza il legame costitutivo elastico perfettamente plastico a duttilità infinita.



La resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio $f_{y,k}$ è:

$$f_{y,d} = f_{y,k} / \gamma_s$$

Dove:

$f_{y,k}$ è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;

γ_s è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio che, per azioni eccezionali, è pari a 1.

3.1 CONVENZIONI GENERALI

Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

Lunghezze: m, cm, mm

Forze-coppie: kN, kN*m

Tensioni: MPa, N/mm²

4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DELLE NUOVE FONDAZIONI

Per la scelta della classe di calcestruzzo e del copriferro minimo di progetto si è proceduto, in primo luogo, alla individuazione della classe di esposizione ambientale relativa alle opere in progetto, ai sensi di quanto indicato dalla norma UNI 11104.

Condizioni ambientali e classe di progetto del calcestruzzo.

Per la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture e per il mantenimento dei livelli di sicurezza durante la vita utile dell'opera è fondamentale il concetto di durabilità.

La **durabilità** richiama due concetti:

- 1 La **Vita Nominale**;
- 2 Il **Degrado**: deve essere oggetto di valutazione con riferimento alle condizioni ambientali; esso è alla base delle scelte progettuali in termini di:
 - Materiali;
 - Dettagli costruttivi;
 - Dimensioni delle strutture;
 - Misure di Protezione.

Fondamentale è la conoscenza dell'ambiente in cui è inserita l'opera da realizzare che consente di ricavare la classe di esposizione del calcestruzzo e dell'acciaio. A partire dalla classe di esposizione si definiscono i materiali da impiegare.

A) Determinazione della classe di esposizione

A seguito delle indagini di laboratorio in sito è emerso che il degrado del calcestruzzo è dovuto, ad una elevata carbonatazione per cui si stabilisce una classe di esposizione **XC4**.

2 Corrosione indotta da carbonatazione		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2

Inoltre, come detto in premessa, la opera sovrappasso il torrente Montecchio Vecchio.

Pertanto, la zona circostante i territori attraversati dal torrente, quindi anche le strutture del ponte si possono considerare soggette ad una moderata saturazione d'acqua. Per cui il calcestruzzo si considera anche soggetto ad una classe di esposizione **XF2**.

5 Attacco di cicli gelo/disgelo		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e ad agenti antigelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo Superfici di calcestruzzo esposte direttamente ad agenti antigelo e al gelo Zone di strutture marine soggette a spruzzi ed esposte al gelo

Classi di esposizione secondo norma UNI EN 1992-1-1:2005

In funzione della classe di esposizione, secondo quanto indicato nella seguente Tabella 4.1.III del DM 17.01.2018, si configurano delle condizioni ambientali **"aggressive"**.

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 4.1.III – Circolare n. 7 del 21.01.2019

B) Determinazione della classe di resistenza del calcestruzzo e del copriferro nominale

La determinazione della classe di resistenza minima da assegnare al conglomerato, è stata eseguita tenendo conto di quanto riportato nella tabella 4.1.III del D.M. 17.01.2018, di quanto riportato nel Prospetto 4 delle UNI 11104 per le classi di esposizione, oltre che dei valori minimi di copriferro da prevedere in funzione del tipo di ambiente e del tipo di elemento strutturale secondo le indicazioni di cui alla Tabella C4.1.IV della Circolare n 7 del 2019_NTC oltre che delle eventuali riduzioni o maggiorazioni.

prospetto 4 Valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione														
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura			Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione			Corrosione delle armature indotta da cloruri			Attacco da cicli di gelo/disgelo			Ambiente aggressivo per attacco chimico		
							Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti					
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55
Minima classe di resistenza ^{a)}	C12/15	C25/30	C28/35	C32/40	C32/40	C32/40	C35/45	C28/35	C32/40	C35/45	32/40	32/40	25/30	28/35	35/45
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300	320	340	340	340	360	320	340	360	320	320	340	320	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 ^{b)}		
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo			È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati ^{b)}

^{a)} Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.
^{b)} Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.
Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

Prospetto 4 - UNI – 11104 - Classe di resistenza minima del calcestruzzo per classi di esposizione

Il **copriferro nominale** di progetto è dato da: **C_{nom} = C_{min} + ΔC_{dev}** nella quale:

- ✓ c_{nom} è il valore nominale di progetto;
 - ✓ c_{min} è il valore minimo del copriferro funzione di:
 - (aderenza delle armature $c_{min,b}$; protezione contro la corrosione $c_{min,dur}$; resistenza al fuoco);
 - ✓ Δc_{dev} è la tolleranza di esecuzione di norma pari a 10 mm, ma se in cantiere si prevedono controlli di qualità che comportano la misura dei copriferri, può assumersi $\Delta c_{dev} = 5$ mm.
- Pertanto, il valore del copriferro minimo è dato da: $c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$ dove:
- ✓ $c_{min,b}$ è il copriferro minimo necessario per l'aderenza delle armature (EN1992-1-1) pari al diametro della barra.
 - ✓ $c_{min,dur}$ è il copriferro minimo correlato alle condizioni ambientali (durabilità).
 - ✓ 10 mm è il minimo assoluto.

Se la dimensione dell'inerte è più grande di 32 mm, il valore di $c_{min,b}$ deve essere maggiorato di 5 mm.

Copriferro minimo necessario per l'aderenza delle armature $c_{min,b}$ = diametro staffe (si ipotizzano staffe $\varnothing$ 12 mm)

Copriferro minimo correlato alle condizioni ambientali (durabilità) $c_{min,dur}$

Le condizioni ambientali individuate (Vedi Tab. C.4.1.III) corrispondono ad un ambiente aggressivo per cui, secondo quanto indicato in tabella C.4.1.IV seguente deve risultare $C_{min} = C30/37$ e $C_0 = C40/50$.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

c_{min}	C_0	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 4.1.IV – Circolare n. 7 del 21.01.2019

Si sceglie di impiegare un **calcestruzzo di classe C35/45** quindi $C_{min} \leq C35/45 \leq C_0$, considerando che la fondazione è assimilabile ad una piastra si ricava che **$c_{min,dur} = 30$ mm.**

Pertanto, c_{nom} si ricava come segue:

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) = \max (12; 30; 10) = 30 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm};$$

$$c_{nom} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

Qui di seguito si riepilogano le principali caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio.

Calcestruzzo

Classe di resistenza	Classe	C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	45,00	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck}$	f_{ck}	37,35	N/mm ²
Tensione ultima di aderenza (buona aderenza): $f_{bd} = (2,25 \cdot f_{ctk,5\%}) / \gamma_c$	f_{bd}	5,28	N/mm ²
Tensione di progetto a compressione: $a_{cc} \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot f_{cd}$	f_{cd}	32,00	N/mm ²
Modulo elastico tangente $E_c = 22.000 \cdot (f_{cm}/10)^{1/3}$	E_c	36.415,12	N/mm ²

Acciaio per c.a.

Acciaio B450C	tipo	B450C	
Tensione di snervamento	f_{yk}	450,00	N/mm ²
Tensione di snervamento	f_{tk}	540,00	N/mm ²

5. CRITERIO DI VERIFICA DELL'ANCORAGGIO DELLA BARRIERA AL CORDOLO

Al paragrafo 5.1.3.10 **"Azioni sui parapetti e urto di veicolo in svio: q8"** del D.M. 17/01/2018 (NTC2018) si prescrive che le barriere di sicurezza stradali e gli elementi strutturali ai quali sono collegate devono essere dimensionate in funzione della classe di contenimento richiesta per l'impiego specifico dalle norme nazionali applicabili.

Nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera stessa e disposto nella posizione più gravosa (come motivato nella relazione di calcolo strutturale Elab. STR01 tale carico non produce effetti).

Tale sistema di forze orizzontali potrà essere valutato dal progettista, alternativamente, sulla base:

1. Delle risultanze sperimentali ottenute nel corso di prove d'urto al vero, su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, mediante l'utilizzo di strumentazione idonea a registrare l'evoluzione degli effetti dinamici;
2. Del riconoscimento di equivalenza tra il sistema di forze e le azioni trasmesse alla struttura, a causa di urti su barriere

della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, laddove tale equivalenza risulti da valutazioni teoriche e/o modellazioni numerico-sperimentali;

3 In assenza di risultanze sperimentali il sistema di forze orizzontali può essere determinato con riferimento alla resistenza caratteristica degli elementi strutturali principali coinvolti nel meccanismo d'insieme della barriera e deve essere applicato ad una quota h , misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h_1 e h_2 , dove $h_1 = (\text{altezza della barriera} - 0,10\text{m})$ e $h_2 = 1,00$ m. Nel dimensionamento degli elementi strutturali ai quali è collegata la barriera si deve tener conto della eventuale sovrapposizione delle zone di diffusione di tale sistema di forze, in funzione della geometria della barriera e delle sue condizioni di vincolo.

Le forze orizzontali così determinate devono essere amplificate di un fattore pari a 1,50.

Il coefficiente parziale di sicurezza per la combinazione di carico agli SLU per l'urto di veicolo in svio deve essere assunto unitario.

5.1 AZIONE DERIVANTE DALL'URTO

La barriera da bordo ponte prevista nel presente progetto, è la H2BP400 di produzione IMEVA. Nello schema di figura se ne riporta la vista d'assieme dalla quale si evincono anche le azioni trasmesse alla fondazione durante l'urto.

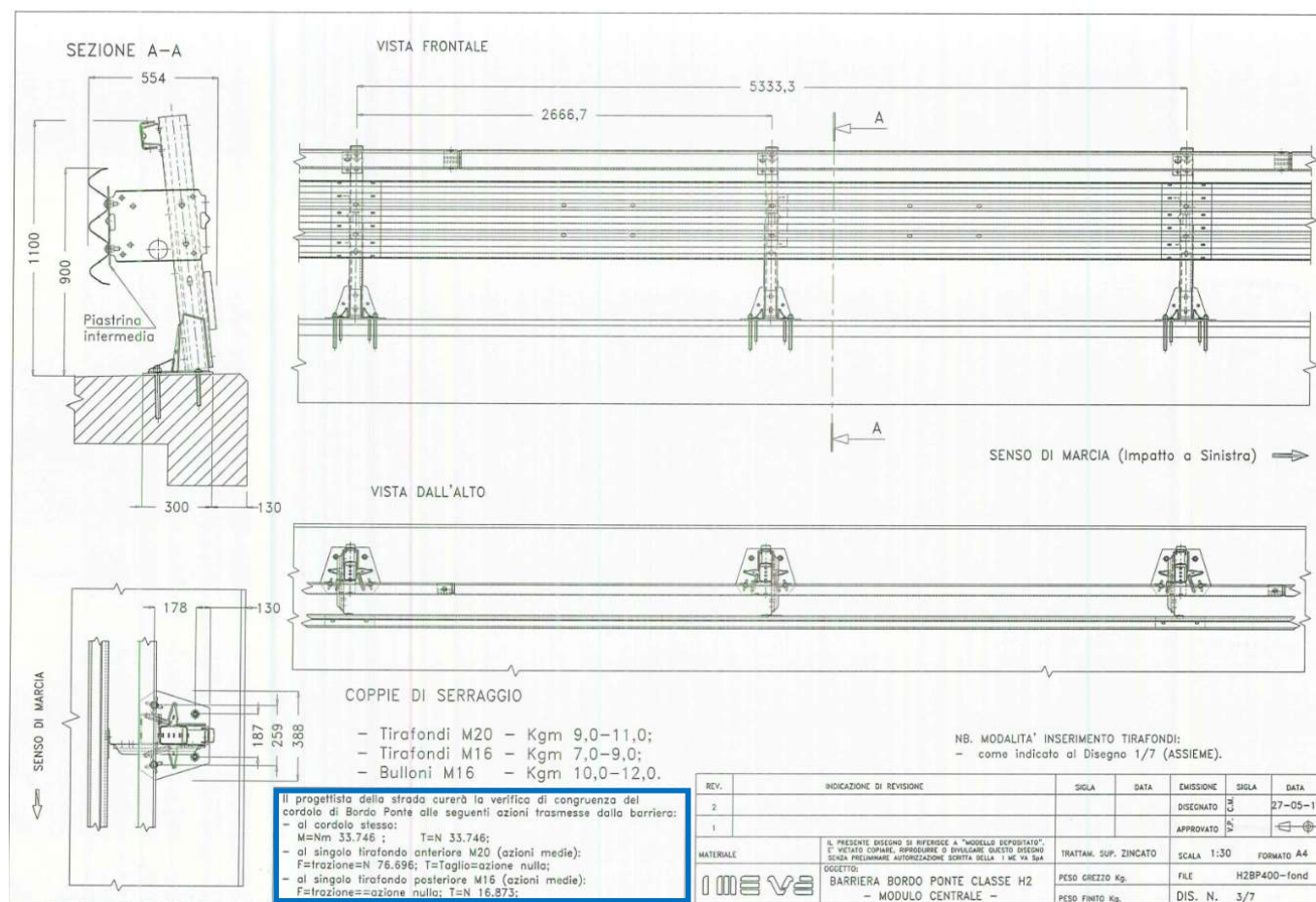


Figura 5.1 – Vista d'assieme della barriera H2BP400

Le azioni che il singolo montante trasferisce alla fondazione sono pari a:

Momento: $M = 33,75 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 Taglio: $T = 33,75 \text{ kN}$
 Trazione su ciascun ancorante M20 anteriore $N = 77,00 \text{ kN}$

Per le parti strutturali in c.a. si assumono quali valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali quelli di seguito indicati.

5.2 MATERIALI COSTITUENTI IL SISTEMA DI ANCORAGGIO

I materiali che costituiscono il sistema di ancoraggio sono i seguenti:

5.2.1 CALCESTRUZZO

Classe di resistenza	Classe	C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	45,00	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione: $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck}$	f_{ck}	37,35	N/mm ²
Tensione ultima di aderenza (buona aderenza): $f_{bd} =$	f_{bd}	5,28	N/mm ²
Tensione di progetto a compressione: $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot f_{ck}$	f_{cd}	32,00	N/mm ²
Modulo elastico tangente $E_c = 22.000 \cdot (f_{cm}/10)^{1/3}$	E_c	36.415,12	N/mm ²

5.2.2 ACCIAIO PER C.A. PER LE NUOVE STRUTTURE

Per l'acciaio si assume il legame costitutivo elastico - perfettamente plastico a duttilità illimitata

Acciaio B450C	tipo	B450C	
Tensione di snervamento	f_{yk}	450,00	N/mm ²
Tensione di snervamento	F_{tk}	540,00	N/mm ²
Modulo elastico tangente	E_s	210.000,00	N/mm ²

5.2.3 BARRE FILETTATE DI ANCORAGGIO DEL MONTANTE DELLA

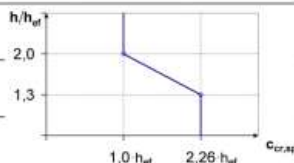
Acciaio delle barre	Classe	8.8	
Tensione di snervamento	f_{yb}	640,00	N/mm ²
Tensione di rottura a trazione	f_{tb}	800,00	N/mm ²
Diametro nominale tirafondi anteriori	$d_{nom.}$	20,00	mm
Area resistente	A_{res}	245,00	mm ²
Profondità di ancoraggio	h_{eff}	190,00	mm
Diametro nominale tirafondi posteriori	$d_{nom.}$	16,00	mm
Area resistente	A_{res}	157,00	mm ²
Profondità di ancoraggio	h_{eff}	130,00	mm

5.2.4 RESINA PER ANCORAGGI

Per l'ancoraggio delle barre filettate M20, nel manuale di installazione della barriera, viene indicato l'impiego della resina HILTI HIT-HY 200-A (o similare). Pertanto, per i calcoli eseguiti nella presente relazione, si è presa in considerazione tale tipo di resina caratterizzata da una tensione ultima di adesione, $\tau_{Ruk} \geq 18 \text{ N/mm}^2$ (vedi tabella C1 estratta dall' ETA n. 11/0493).

Tabella C1: Valori caratteristici di resistenza dell'acciaio per barra filettata, HIT-V-... e AM 8.8 sotto carichi di trazione nel calcestruzzo

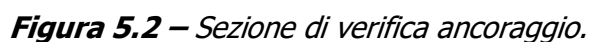
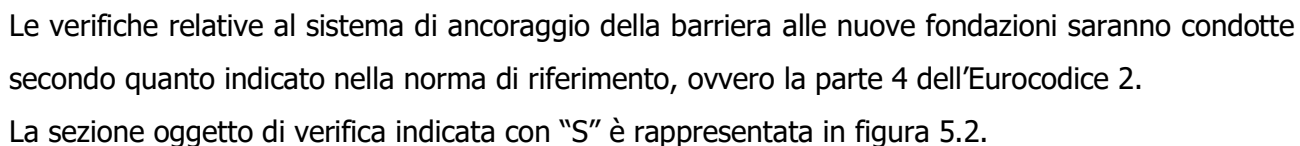
HIT-HY 200-A con barra filettata, HIT-V-..., AM 8.8			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Fattore di sicurezza dell'installazione γ_2			[-]		1,0					
Cedimento dell'acciaio										
Resistenza caratteristica dell'acciaio $N_{Rk,s}$			[kN]		$A_s \cdot f_{uk}$					
Fattore di sicurezza parziale qualità 5.8 $\gamma_{Ms,N^{1)}}$			[-]		1,5					
Fattore di sicurezza parziale qualità 8.8 $\gamma_{Ms,N^{1)}}$			[-]		1,5					
Fattore di sicurezza parziale HIT-V-R $\gamma_{Ms,N^{1)}}$			[-]		1,86				2,86	
Fattore di sicurezza parziale HIT-V-HCR $\gamma_{Ms,N^{1)}}$			[-]		1,5				2,1	
Estrazione combinata e rottura del cono di calcestruzzo										
Resistenza di adesione caratteristica nel calcestruzzo non fessurato C20/25										
Intervallo di temperatura I: 40 °C/24 °C $\tau_{Rk,ucr}$			[N/mm²]		18					
Intervallo di temperatura II: 80 °C/50 °C $\tau_{Rk,ucr}$			[N/mm²]		15					
Intervallo di temperatura III: 120 °C/72 °C $\tau_{Rk,ucr}$			[N/mm²]		13					
Resistenza di adesione caratteristica nel calcestruzzo fessurato C20/25										
Intervallo di temperatura I: 40 °C/24 °C $\tau_{Rk,cr}$			[N/mm²]		7,5		8,5		9,0	
Intervallo di temperatura II: 80 °C/50 °C $\tau_{Rk,cr}$			[N/mm²]		6,0		7,0		7,5	
Intervallo di temperatura III: 120 °C/72 °C $\tau_{Rk,cr}$			[N/mm²]		5,5		6,0		6,5	
Fattori di incremento per τ_{Rk} nel calcestruzzo ψ_c			C30/37		1,04					
			C40/45		1,07					
			C50/60		1,1					
Rottura dovuta a fessurazione										
Distanza dal bordo $c_{cr,sp}$ [mm] per			$h / h_{ef} \geq 2,0$		$1,0 \cdot h_{ef}$					
			$2,0 > h / h_{ef} > 1,3$		$4,6 h_{ef} - 1,8 h$					
			$h / h_{ef} \leq 1,3$		$2,26 h_{ef}$					
Interasse $s_{cr,sp}$			[mm]		$2 \cdot c_{cr,sp}$					



¹⁾ In assenza di regolamenti nazionali.

Tabella C1 estratta dal documento ETA-11/0493 della resina – Barre filettate.

La barriera H2BP400 sarà installata su cordoli di larghezza minima pari a 60 cm e altezza minima pari a 54 cm. In figura si rappresentano le varie tipologie di installazione della barriera per la opera lungo la SP 27.



La verifica viene condotta in accordo all'EC2 EN 1992-4:2018 "*Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete*". Il metodo prevede che le azioni di progetto S_d , non eccedano il valore resistente di progetto R_d .

Tutti i coefficienti parziali di sicurezza possono essere assunti pari ad 1,0 poiché le azioni esterne sono di tipo eccezionale. Occorre dimostrare che la disequazione $R_d \geq S_d$ è soddisfatta per tutte le direzioni di carico (trazione e taglio) così come per tutti i tipi di cedimento (rottura dell'acciaio, sfilamento e rottura del calcestruzzo ecc.). Nel caso in cui uno o più meccanismi sugli inghisaggi non fossero verificati, questi verranno trasferiti ed affidati ad armature integrative, che dovranno essere presenti all'interno dei coni di rottura.

Nel caso di carico combinato di trazione e taglio devono essere soddisfatte le seguenti condizioni (con $\alpha = 1$):

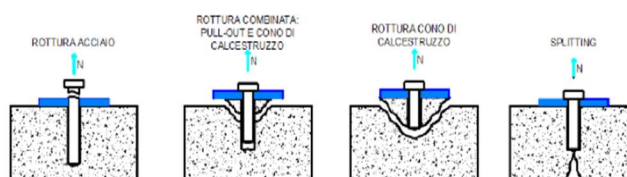
$$\begin{aligned}\beta_N &\leq 1 \\ \beta_V &\leq 1 \\ (\beta_N)^\alpha + (\beta_V)^\alpha &\leq 1,2\end{aligned}$$

β_N e β_V sono il rapporto tra azione e resistenza di progetto per carichi, rispettivamente, di trazione e taglio.

Verifica per carichi di trazione

In caso di sollecitazione di trazione le modalità contemplate dalla normativa sono le seguenti:

- ✓ Rottura dell'acciaio;
- ✓ Rottura del cono di calcestruzzo;
- ✓ Rottura combinata: pull-out (sfilamento) e cono di rottura del calcestruzzo;
- ✓ Rottura per splitting (fessurazione).



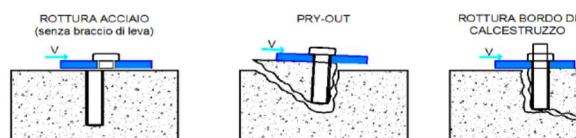
Le verifiche di sicurezza vanno eseguite secondo quanto indicato nella seguente tabella.

Riepilogo delle verifiche da eseguire	Ancoranti in gruppo
Rottura della barra d'ancoraggio	$N^h_{Sd} \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$
Rottura combinata per sfilamento ancorante e rottura conica del cls	$N^g_{Sd} \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$
Rottura conica del calcestruzzo	$N^g_{Sd} \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
Rottura per splitting del cls	$N^g_{Sd} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$

Verifica per carichi di taglio

In caso di sollecitazione di taglio le modalità sono le seguenti:

- ✓ Rottura acciaio:
- ✓ Rottura per pry-out (lato opposto al carico);
- ✓ Rottura del bordo di calcestruzzo.



Le verifiche di sicurezza vanno eseguite secondo quanto indicato nella seguente tabella.

Riepilogo delle verifiche da eseguire	Ancoranti in gruppo
Rottura acciaio senza braccio di leva	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$
Resistenza a rottura per pryout	$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
Rottura del bordo di cls	$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$

5.4 CARATTERISTICHE SISTEMA DI ANCORAGGIO

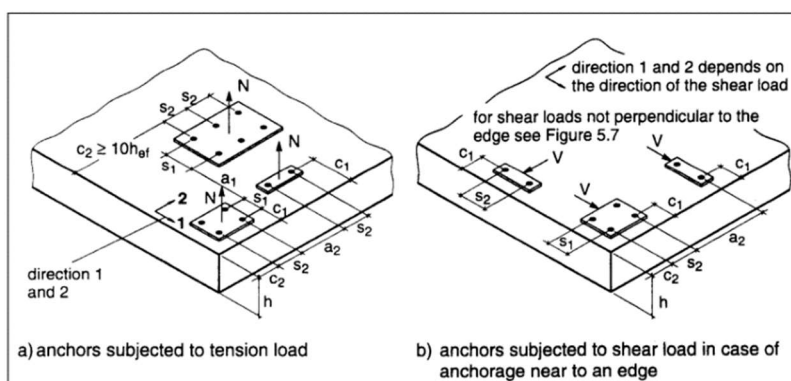
La geometria dell'ancoraggio oggetto di verifica è rappresentata in figura 5.3.

5.4.1 GEOMETRIA ANCORAGGIO

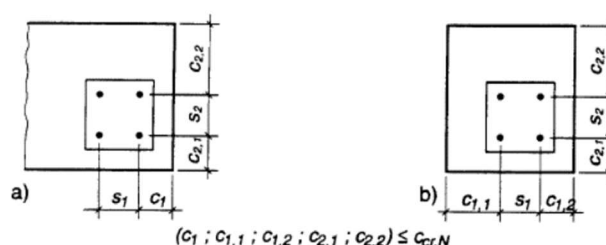
Diametro nominale ancoranti anteriori	$d_{nom,a}$	20,00 mm
Diametro nominale ancoranti posteriori	$d_{nom,p}$	16,00 mm
Diametro del foro anteriore	$d_{0,ant.}$	24,00 mm
Diametro del foro posteriore	$d_{0,post.}$	18,00 mm
Area resistente ancorante anteriore	$A_{s,ant.}$	245,00 mm ²
Area resistente ancorante posteriore	$A_{s,post.}$	157,00 mm ²
Lunghezza effettiva di ancoraggio in opera degli ancoranti anteriori	$h_{eff. ant.}$	190,00 mm
Lunghezza effettiva di ancoraggio in opera degli ancoranti posteriori	$h_{eff. post.}$	130,00 mm
Altezza cordolo	H	550,00 mm
Larghezza cordolo	B	600,00 mm

Nota: Gli assi 1 e 2 sono scelti nel modo seguente:

Nel caso di ancoranti vicino ad un bordo caricato a taglio, c_1 è la distanza dal bordo in direzione del taglio. La direzione 2 è perpendicolare alla 1.



Legenda dei simboli



Legenda dei simboli - ancoraggi con più bordi

5.4.2 PARAMETRI DI CALCOLO A TRAZIONE

Parametri di calcolo secondo l'asse 1

Numero di file di ancoranti tesi secondo l'asse 1	$n_{file,1}$	2
Numero ancoranti tesi per ogni fila	$n_{anc,1}$	1
Minor distanza dal bordo secondo l'asse 1	$c_{1,1,N}$	282,00 mm
Interasse degli ancoranti secondo l'asse 1	s_1	176,00 mm
Minor distanza dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente) o altro ancorante	$c_{1,2,N}$	318,00 mm

Parametri di calcolo secondo l'asse 2

Numero file di ancoranti tesi secondo all'asse 2	$n_{file,2}$	1
Numero ancoranti tesi per ogni fila	$n_{anc,2}$	2
Minor distanza dal bordo secondo l'asse 2	$c_{2,1,N}$	2.410,0 mm
Interasse degli ancoranti secondo l'asse 2	s_2	259,00 mm
Minor distanza dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente) o altro ancorante	$c_{2,2,N}$	2.410,0 mm

5.4.3 PARAMETRI DI CALCOLO A TAGLIO

Parametri di calcolo secondo l'asse 1 (parallelo alla direzione del taglio)

Numero di file di ancoranti parallele all'asse 1	$n_{file,1}$	1^a fila	2^a fila
Numero ancoranti caricati a taglio per ogni fila	$n_{anc,1}$	2	2
Minor distanza dal bordo secondo l'asse 1 (nella direzione del taglio)	$c_{1,1,V}$	242,00	242,00 mm
Interasse degli ancoranti secondo l'asse 1	s_1	176,00	176,00 mm
Minor distanza dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente) o altro ancorante	$c_{1,2,V}$	282,00	282,00 mm

Parametri di calcolo secondo l'asse 2 (perpendicolare alla direzione del taglio)

		1^a fila	2^a fila
Numero di file di ancoranti parallele all'asse 2	$n_{file,2}$	1	2
Numero ancoranti caricati a taglio per ogni fila	$n_{anc,2}$	2	1
Minor distanza dal bordo secondo l'asse 2 (nella direzione perpendicolare al taglio)	$c_{2,1,V}$	2.410,0	2.410,00 mm
Interasse degli ancoranti anteriori secondo l'asse 2	$s_{2,a}$	258,00	258,00 mm
Interasse degli ancoranti posteriori secondo l'asse 2	$s_{2,p}$	187,00	187,00 mm
Minor distanza dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente) o altro ancorante	$c_{2,2,V}$	2.480,0	2.480,00 mm

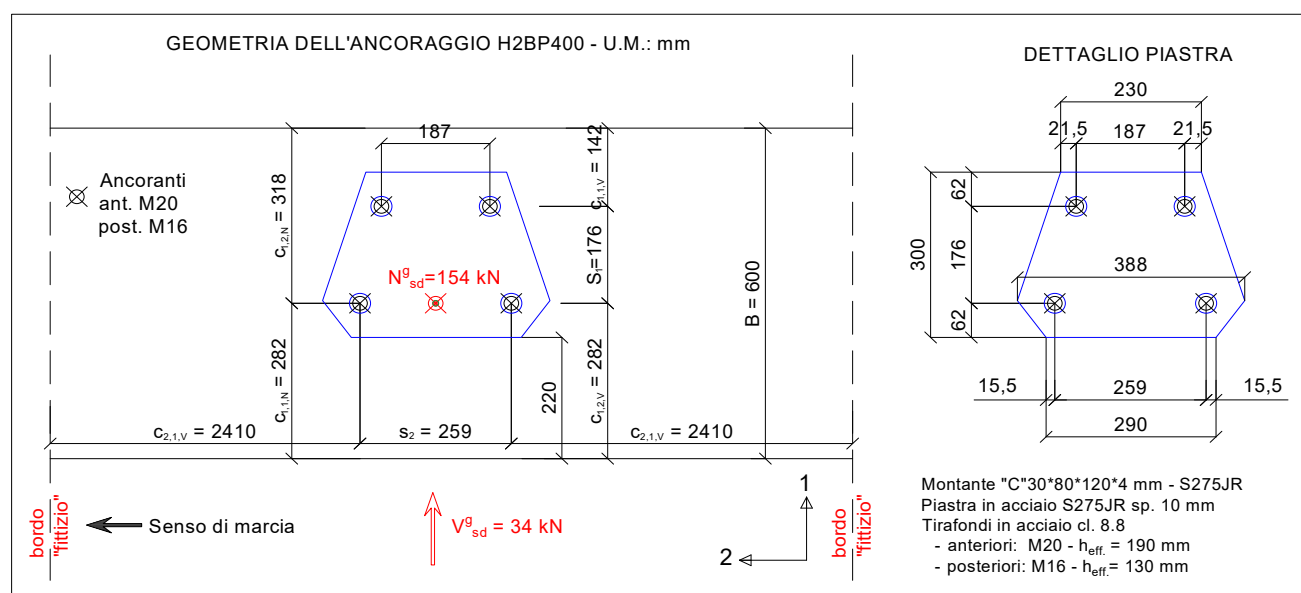


Figura 5.3 - Geometria dell'ancoraggio

5.5 FATTORI PARZIALI DI SICUREZZA

Dipendono dai materiali con cui è realizzato l'ancoraggio. Nel caso in esame i materiali hanno le seguenti caratteristiche.

Acciaio dell'ancorante

Classe acciaio	cl.	8.8
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	640,00 N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f_{uk}	800,00 N/mm ²

Calcestruzzo di supporto

Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	35,00	N/mm ²
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	45,00	N/mm ²

Ancorante chimico

Tensione di rottura di adesione in cls non fessurato di classe C20/25	$\tau_{Rk,ucr,25}$	18,00	N/mm ²
--	--------------------	-------	-------------------

Calcestruzzo fessurato? (S/N)

N

Calcestruzzo armato (secondo EN 1192-4:2018 - punto 5 par. 7.2.1.4 - Concrete cone failure)? (S/N)

S

Calcestruzzo armato (secondo EN 1192-4:2018 - punto b.2 par. 7.2.1.7 -Splitting failure)? (S/N)

S

Azione eccezionale? (S/N)

s

Fattore parziale di sicurezza per rottura dell'acciaio: $1,05/(f_{uk}/f_{yk}) \geq 1,4$

γ_{MS} 1,00

Fattore parziale di sicurezza per rottura conica del cls: $\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst}$

$\gamma_{inst} = 1,00$ per ancoranti soggetti a taglio; $\gamma_{inst} \geq 1,00$ per ancoranti tesi

γ_c 1,00

γ_{Mc} 1,00

Fattore parziale di sicurezza per pull-out e rottura combinata pull-out e conica: γ_{Mp}

γ_{Mp} 1,00

$M_n = \gamma_{Mc}$

Fattore parziale di sicurezza per la fessurazione: $\gamma_{Msp} = \gamma_{Mc}$

γ_{Msp} 1,00

Fattori parziali di sicurezza per taglio

Fattore parziale di sicurezza per rottura dell'acciaio con e senza braccio di leva

Per $f_{uk} \leq 800$ N/mm² e $f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8$ si ha: $\gamma_{MS} = 1,00 \cdot f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$

γ_{MS} 1,00

Per $f_{uk} > 800$ N/mm² e $f_{yk}/f_{uk} > 0,8$ si ha: $\gamma_{MS} = 1,30$

γ_{MS} 1,00

Fattore parziale di sicurezza per pry-out e rottura del bordo del cls: $\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst}$

$\gamma_{inst} = 1,00$ per ancoranti soggetti a taglio; $\gamma_{inst} \geq 1,00$ per ancoranti tesi

γ_{Mc} 1,00

5.6 AZIONI DI PROGETTO

5.6.1 TRAZIONE

Numero totale di ancoranti tesi

n 2

Sforzo di trazione agente sull'ancorante più sollecitato

N^h_s 77,00 kN

Sforzo di trazione complessivo (sul gruppo di ancoranti)

N^g_s 154,00 kN

5.6.2 TAGLIO

Sforzo di taglio complessivo (sul gruppo di ancoranti)

V^g_s 34,00 kN

Sforzo di taglio sull'ancorante più prossimo al bordo

V^h_s 17,00 kN

Numero totale di ancoranti da considerare sollecitati a taglio

a) Per la verifica a rottura dell'acciaio e a rottura per pry-out.

n_V 4

b) Per la verifica a rottura del bordo del calcestruzzo

n_V 2

5.7 VERIFICHE PER CARICO DI TRAZIONE (PARAGRAFO 7.2.1 - EN 1992-4:2018)

5.7.1 ROTTURA DELL'ACCIAIO: $N_{RD,S} = N_{RK,S}/\gamma_{MS}$ DA CONFRONTARE CON

$$N_{RK,S} = A_s \cdot f_{uk}$$

$N_{RK,S}$ (kN)	γ_{MS}	$N_{RD,S}$ (kN)	N_{Sd}^h (kN)	β_N (%)
196,00	1,00	196,00	77,00	39,29%

5.7.2 ROTTURA DEL CONO DI CALCESTRUZZO: $N_{RD,C} = N_{RK,C}/\gamma_{MC}$ DA CONFRONTARE CON N_{SD}^G

$$N_{RK,C} = N_{RK,c}^0 \cdot (A_{c,N}/A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N}$$

dove:

$$N_{RK,c}^0 = k_1 \cdot R_{ck}^{0,5} \cdot h_{ef}^{1,5}$$

Valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante
($k_1 = 7,7$ per ancoranti in cls fessurato; 11 per ancoranti in cls non fessurato).

h_{ef}

Profondità efficace di ancoraggio

$$A_{c,N}/A_{c,N}^0$$

Effetto geometrico della distanza dal bordo, dell'interasse e dello spessore del supporto

dove:

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$

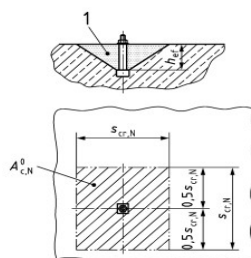
Area cono di cls di un ancorante singolo senza effetti di interasse e distanza dai bordi proiettata sulla superficie superiore del blocco in calcestruzzo.

$$s_{cr,N} = 2 \cdot c_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}$$

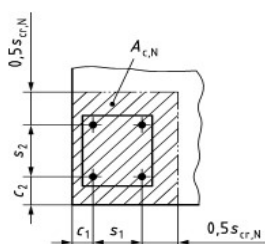
Interasse per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica senza effetti di interasse.

$$c_{cr,N} = s_{cr,N}/2 = 1,5 \cdot h_{ef}$$

Distanza minima dal bordo senza effetti di bordo.



$A_{c,N} = L_1 \cdot L_2$ E' limitata dalla sovrapposizione di coni di cemento di elementi di fissaggio adiacenti ($s \leq s_{cr,N}$) così come dai bordi dell'elemento in calcestruzzo ($c \leq c_{cr,N}$)

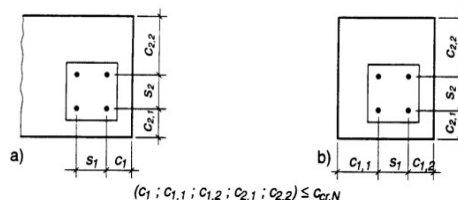


Key

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

if c_1 and $c_2 \leq c_{cr,N}$

s_1 and $s_2 \leq s_{cr,N}$



$$(c_1; c_{1,1}; c_{1,2}; c_{2,1}; c_{2,2}) \leq c_{cr,N}$$

Esempi di aree efficaci di coni ideali di cls per differenti posizioni degli ancoranti.

Parametri di calcolo secondo l'asse 1

Distanza efficace dal bordo	$\min(c_{1,1}; c_{cr,N})$	282,00	mm
Interasse efficace secondo l'asse 1	$\min(s_1; s_{cr,N})$	176,00	mm
Distanza efficace dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente)	$\min(c_{1,2}; 0,5 \cdot s_{cr,N})$	285,00	mm

Lato della superficie conica secondo all'asse 1: $L_1 = [c_1 + (n_{anc,1} - 1) \cdot s_1 + 0,5 \cdot s_{cr,N}]$

L₁ 567,00 mm

Parametri di calcolo secondo l'asse 2

Distanza efficace dal bordo

$\min(c_{2,1}; c_{cr,N})$ 285,00 mm

Interasse efficace secondo l'asse 2

$\min(s_2; s_{cr,N})$ 259,00 mm

Distanza efficace dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente)

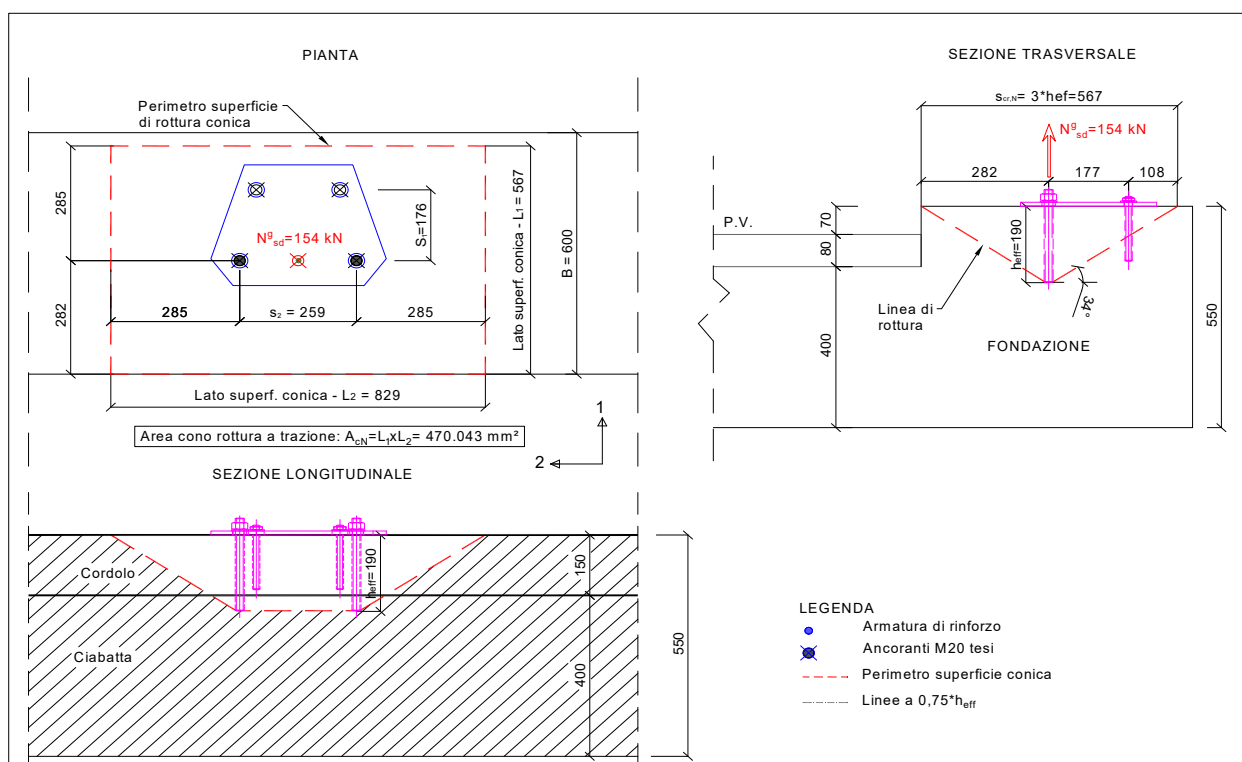
$\min(c_{2,2}; 0,5 \cdot s_{cr,N})$ 285,00 mm

Lato della superficie conica secondo all'asse 2: $L_2 = [c_2 + (n_{anc,2} - 1) \cdot s_2 + 0,5 \cdot s_{cr,Np}]$

L₂ 829,00 mm

Area superficie conica effettiva: $A_{c,N} = L_1 \cdot L_2$

A_{c,N} 470.043,0 mm²



$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot c_{min} / c_{cr,N} \leq 1$$

Effetto della distribuzione non uniforme delle sollecitazioni nel cls dovuta alla vicinanza al bordo. Per ancoraggi limitati da più bordi si considera la distanza minore, c_{min}

$$\psi_{re,N} = 0,5 + h_{eff} / 200 \leq 1$$

Effetto dell'armatura

Il fattore $\psi_{re,N}$ si applica quando $h_{eff} < 100$ mm e tiene conto dell'effetto della "densità" delle armature di rinforzo tra cui è installato il dispositivo di fissaggio.

Il fattore $\psi_{re,N}$ può essere assunto pari ad 1, indipendentemente dalla profondità di ancoraggio, se si verifica una delle due condizioni seguenti:

- Nell'area dell'ancoraggio è presente un'armatura con interasse ≥ 150 mm (qualsiasi diametro)
- Nell'area dell'ancoraggio è presente un'armatura con barre di diametro ≤ 10 mm ed interasse ≥ 100 mm.

Le condizioni a) o b) devono essere soddisfatte per entrambe le direzioni in caso di rinforzo in due direzioni.

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

Effetto di gruppo quando per ancoranti soggetti a carichi di trazione diversi.

e_N è l'eccentricità della risultante del carico di trazione agente sugli ancoraggi tesi.

Se esistono eccentricità in due direzioni si deve determinare $\psi_{ec,N}$ per ogni direzione ed il prodotto di entrambi i fattori va inserito nella relazione precedente.

Eccentricità in direzione 1 (parallelamente alla dir. 1) e_{N1} 0,00

Eccentricità in direzione 2 (parallelamente alla dir. 2) e_{N2} 0,00

$\psi_{ec,N1}$ 1,00

$\psi_{ec,N2}$ 1,00

$A_{c,N}$ (mm ²)	$A^0_{c,N}$ (mm ²)	$s_{cr,N}$ (mm)	$c_{cr,N}$ (mm)	$c_{min,N}$ (mm)
470.043,00	324.900,00	570,00	285,00	282,00
k_1	$N^0_{Rk,c}$ (kN)	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{ec,N}$
11,00	170,43	0,997	1,00	1,00
$N_{Rk,c}$ (kN)	γ_{Mc}	$N_{Rd,c}$ (kN)	N^0_{Sd} (kN)	β_N (%)
245,794	1,000	245,794	154,00	62,66%

La verifica a rottura conica per trazione è soddisfatta.

5.7.3 ROTTURA COMBINATA CONICA E PER SFILAMENTO: $N_{RD,P} = N_{Rk,P}/\gamma_{MP}$ DA CONFRONTARE CON

Se la profondità di ancoraggio è maggiore, può verificarsi una rottura combinata costituita da un cono di calcestruzzo superficiale e da uno scorrimento al di sotto del cono che può avvenire all'interfaccia resina/calcestruzzo, all'interfaccia barra/resina oppure mista.

$$N_{Rk,p} = N^0_{Rk,p} * (A_{p,N}/A^0_{p,N}) * \psi_{s,Np} * \psi_{re,Np} * \psi_{ec,Np} * \psi_{g,Np}$$

dove:

$$N^0_{Rk,p} = \psi_{sus} * \pi * d * h_{eff} * \tau_{Rk}$$

Resistenza caratteristica del legame adesivo-cls

$$\psi_{sus} = 1 \text{ per } \alpha_{sus} \leq \psi^0_{sus}$$

ψ_{sus}

$$\psi_{sus} = \psi^0_{sus} + 1 - \alpha_{sus} \text{ per } \alpha_{sus} > \psi^0_{sus}$$

il valore di ψ^0_{sus} è definito nelle ETA del prodotto. Se l'ETA non indica un valore la EN1992-4 consiglia di applicare un fattore di riduzione pari a 0,6.

α_{sus}

descrive il rapporto tra il carico sostenuto e il carico totale. Sia i carichi permanenti che la componente permanente dei carichi variabili è considerata carica sostenuta.

Nel caso in esame non essendo presenti carichi permanenti $\alpha_{sus} = 0$, di conseguenza

$$\psi_{sus} = 1$$

τ_{Rk}

Tensione di adesione caratteristica: $\tau_{Rk} = \tau_{Rk,cr,25}$ (CLS fessurato); $\tau_{Rk} = \tau_{Rk,uor,25}$ (CLS non fessurato)

h_{eff}

Profondità efficace di ancoraggio

$$A_{p,N}/A^0_{p,N}$$

Effetto geometrico della distanza dal bordo, dell'interasse e dello spessore del supporto.

dove:

$$A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} * s_{cr,Np}$$

Area cono di cls di un ancorante singolo senza effetti di interasse e distanza dai bordi, proiettata sulla superficie superiore del blocco in calcestruzzo.

$$s_{cr,Np} = 7,3 * d * (\psi_{sus} * \tau_{Rk})^{0,5} \leq 3 * h_{ef}$$

Interasse per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica senza effetti di interasse.

$$\tau_{Rk}$$

Tensione caratteristica di adesione di progetto al cls non fessurato: $\tau_{Rk,ucr,25}$

$$c_{cr,Np} = s_{cr,Np} / 2$$

Distanza minima dal bordo senza effetti di bordo.

$$A_{p,N} = L_1 * L_2$$

Area effettiva del cono; è limitata dalla sovrapposizione di aree di ancoraggi adiacenti ($s < s_{cr,Np}$) nonché dai bordi dell'elemento in calcestruzzo ($c < c_{cr,Np}$)

Parametri di calcolo secondo l'asse 1

Distanza efficace dal bordo	$\min(c_{1,1}; c_{cr,Np})$	282,00	mm
Interasse efficace secondo l'asse 1	$\min(s_1; s_{cr,Np})$	176,00	mm
Distanza efficace dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente)	$\min(c_{1,2}; 0,5 * s_{cr,Np})$	285,00	mm
Lato della superficie conica parallelo all'asse 1: $L_1 = [c_1 + (n_{anc,1} - 1) * s_1 + 0,5 * s_{cr,Np}]$	L₁	567,00	mm

Parametri di calcolo secondo l'asse 2

Distanza efficace dal bordo	$\min(c_{2,1}; c_{cr,Np})$	285,00	mm
Interasse efficace secondo l'asse 2	$\min(s_2; s_{cr,Np})$	259,00	mm
Distanza efficace dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente)	$\min(c_{2,2}; 0,5 * s_{cr,Np})$	285,00	mm
Lato della superficie conica parallelo all'asse 2: $L_2 = [c_2 + (n_{anc,2} - 1) * s_2 + 0,5 * s_{cr,Np}]$	L₂	829,00	mm
Area superficie conica effettiva: $A_{p,N} = L_1 * L_2$	A_{p,N}	470.043,00	mm²

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 * c_{min} / c_{cr,Np} \leq 1$$

Effetto della distribuzione non uniforme delle sollecitazioni nel cls dovuta alla vicinanza al bordo.

Per ancoraggi con diverse distanze dal bordo si considera la distanza minore, c_{min}

$$\psi_{re,Np} = 0,5 + h_{ef} / 200 \leq 1$$

Effetto dell'armatura. Vale quanto già detto per la modalità di rottura conica.

$$\psi_{ec,Np} = 1 / (1 + 2e_N / s_{cr,Np}) \leq 1$$

Effetto di gruppo quando per ancoranti soggetti a carichi di trazione diversi; e_N è l'eccentricità della risultante del carico di trazione agente sugli ancoraggi tesi.

Se esistono eccentricità in due direzioni si deve determinare $\psi_{ec,N}$ per ogni direzione ed il prodotto di entrambi i fattori va inserito nella relazione precedente.

Eccentricità in direzione 1 (parallelamente alla dir. 1) e_{N1} 0,00

Eccentricità in direzione 2 (parallelamente alla dir. 2) e_{N2} 0,00

$$\psi_{ec,N1} = 1$$

$$\psi_{ec,N2} = 1$$

$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s/s_{cr,Np})^{0,5} * (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1$; Effetto della superficie di rottura degli ancoranti in gruppo

dove:

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n}-1) * [\tau_{Rk} / \tau_{Rk,c}]^{1,5} \geq 0$$

τ_{Rk} Tensione di adesione caratteristica resina/cls per CLS non fessurato: $\tau_{Rk} = \tau_{Rk,ucr,25}$

n Numero totale di ancoranti tesi.

$\tau_{Rk,c} = k_3 * \sqrt{(h_{eff} * f_{ck}) / (\pi * d_{nom})}$ Tensione caratteristica acciaio/cls; d_{nom} è il diametro dell'ancorante

h_{eff} Profondità efficace di ancoraggio

k_3 $k_3 = 7,7$ per cls fessurato e $11,0$ per cls non fessurato

s Interasse tra gli ancoranti tesi. Nel caso di gruppi di ancoranti tesi con $s_1 \neq s_2$, s è il valore medio tra gli interassi di tutti gli ancoranti tesi.

$A_{p,N} (mm^2)$	$A_{p,N}^0 (mm^2)$	$\tau_{Rk,ucr,25} (N/mm^2)$	$s_{cr,Np} (mm)$	$c_{cr,Np} (mm)$	$c_{min} (mm)$
470.043,00	324.900,00	18,00	570,00	285,00	282,00
n_N	k_3	$h_{eff} (mm)$	$\tau_{Rk,c}$	ψ_{sus}	$\tau_{Rk} (N/mm^2)$
2	11,00	190,00	14,27	1,00	18,00
$\psi_{g,Np}^0$	s	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
1,276	259,00	1,090	1,00	0,997	1,00
$N_{Rk,p}^0 (kN)$	γ_{Mp}	$N_{Rk,p} (kN)$	$N_{Rd,p}$	$N_{sd}^0 (kN)$	$\beta_N (%)$
214,88	1,000	337,76	337,76	154,00	45,60%

La verifica a rottura combinata conica del cls e per sfilamento è soddisfatta.

5.7.4 ROTTURA PER FESSURAZIONE: $N_{RD,SP} = N_{RK,SP} / \gamma_{MSP}$ DA CONFRONTARE CON N_{SD}^0

Per evitare la fessurazione durante l'installazione è necessario che $c \geq c_{min}$, $s \geq s_{min}$ e $h \geq h_{min}$, dove c_{min} , s_{min} e h_{min} sono dati nella certificazione ETA del prodotto. La resistenza caratteristica a rottura per fessurazione dovuta al carico agente viene presa in considerazione rispettando le

a) La distanza caratteristica dal bordo $c_{cr,sp}$ è desumibile dal documento ETA dell'ancorante e l'interasse caratteristico tra gli ancoranti è $s_{cr,sp} = 2 * c_{cr,sp}$.

b) Non è richiesta alcuna verifica se almeno una delle due condizioni seguenti sono rispettate:

b.1) la distanza dal bordo in tutte le direzioni è $>$ di $1,0 * c_{r,sp}$ per ancorante singolo, e di $1,2 * c_{r,sp}$ per ancoranti in gruppo e se, inoltre, lo spessore dell'elemento in cls realizzato h , è maggiore di h_{min} con h_{min} desumibile dal documento ETA dell'ancorante oppure, in generale, $h_{min} = c_{cr,sp}$

b.2) È presente un'armatura di rinforzo che limita l'apertura delle fessure a $w_k = 0,3$ mm tenendo conto delle forze di fessurazione in accordo al punto 7.2.7 dell'EC2-PARTE 4 e la resistenza alla rottura conica ed estrazione combinata e rottura del calcestruzzo sono state ricavate per

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 * (A_{c,N} / A_{c,N}^0) * \psi_{s,N} * \psi_{re,N} * \psi_{ec,N} * \psi_{h,sp} =$$

Dove i valori $N_{Rk,C}^0$, $A_{c,N}$, $A_{c,N}^0$, $\psi_{s,N}$, $\psi_{re,N}$, ed $\psi_{ec,N}$ sono calcolati così come per la rottura del cono di calcestruzzo sostituendo ai valori di $c_{cr,N}$ e $s_{cr,N}$ i valori rispettivamente $c_{cr,sp}$ e $s_{cr,sp}$ ricavati dalla certificazione ETA del prodotto in funzione della profondità di ancoraggio.

Mentre $\psi_{h,sp}$ è un fattore che considera l'influenza dello spessore reale dell'elemento di calcestruzzo sulla resistenza alla fessurazione degli ancoranti ed è calcolato come:

$\psi_{h,sp} = (h/2 \cdot h_{min})^{2/3}$	Effetto dello spessore del materiale base.
$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot R_{ck}^{0,5} \cdot h_{ef}^{1,5}$	Valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante ($k_1 = 7,7$ in cls fessurato; $k_1 = 11$ in cls non fessurato).
h_{eff}	Profondità efficace di ancoraggio
$A_{c,N}/A_{c,N}^0$	Effetto geometrico della distanza dal bordo, dell'interasse e dello spessore del supporto.
dove:	
$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp}$	Area cono di cls di un ancorante singolo, senza effetti di interasse e distanza dai bordi, proiettata sulla superficie superiore del blocco di calcestruzzo.
$s_{cr,sp}$	Interasse per garantire la trasmissione della resistenza caratteristica senza effetti di
$c_{cr,sp}$	Distanza minima dal bordo senza effetti di bordo.

Si riporta la tabella C1 estratta dall' ETA n. 11_0493 della resina Hilti-HY-200A nella quale vengono fornite le indicazioni per il calcolo di $c_{cr,sp}$ e $s_{cr,ps}$

Rottura dovuta a fessurazione		
Distanza dal bordo $c_{cr,sp}$ [mm] per	$h / h_{ef} \geq 2,0$	$1,0 \cdot h_{ef}$
	$2,0 > h / h_{ef} > 1,3$	$4,6 h_{ef} - 1,8 h$
	$h / h_{ef} \leq 1,3$	$2,26 h_{ef}$



Verifica del rispetto della condizione b)

h	550,00	Spessore realizzato dell'elemento di cls.
h_{eff}	190,00	Profondità efficace di ancoraggio.
h/h_{eff}	2,89	Rapporto tra spessore elemento in cls e profondità effettiva ancorante.
h_{min}	238,00	$h_{min} = h_{eff} + 2 \cdot d_1$
$c_{cr,sp}$	190,00	Essendo $h/h_{eff} > 2$, risulta $c_{cr,sp} = h_{eff}$ (si veda la Tabella C1 della resina HILTI)
$s_{cr,sp}$	380,00	$s_{cr,sp} = 2 \cdot c_{cr,sp}$
c_{min}	282,00	Minor distanza dal bordo in tutte le direzioni.

Controllo della necessità o meno di eseguire la verifica

Rispetto della condizione b1)	no
Rispetto della condizione b2)	no

Verifica necessaria

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp} \quad 144.400,00$$

$A_{c,N} = L_1 \cdot L_2$ Area effettiva del cono; è limitata dalla sovrapposizione di aree di ancoraggi adiacenti ($s < s_{cr,sp}$) nonché dai bordi dell'elemento in calcestruzzo ($c < c_{cr,sp}$)

Parametri di calcolo secondo l'asse 1

Distanza efficace dal bordo	$\min(c_{1,1}; c_{cr,sp})$	190,00	mm
Interasse efficace secondo l'asse 1	$\min(s_1; s_{cr,sp})$	176,00	mm
Distanza efficace dall'altro bordo (opposto e parallelo al recedente)	$\min(c_{1,2}; 0,5 \cdot s_{cr,sp})$	190,00	mm
Lato della superficie conica secondo l'asse 1: $L_1 = [c_1 + (n_{anc,1} - 1) \cdot s_1 + 0,5 \cdot s_{cr,Np}]$	L_1	380,00	mm

Parametri di calcolo secondo l'asse 2

Distanza efficace dal bordo	$\min(c_{2,1}; c_{cr,sp})$	190,00	mm
Interasse efficace secondo l'asse 2	$\min(s_2; s_{cr,sp})$	259,00	mm
Distanza efficace dall'altro bordo (opposto e parallelo al precedente)	$\min(c_{2,2}; 0,5 \cdot s_{cr,sp})$	190,00	mm
Lato della superficie conica secondo l'asse 2: $L_2 = [c_2 + (n_{anc,2} - 1) \cdot s_2 + 0,5 \cdot s_{cr,Np}]$	L_2	639,00	mm

Area superficie conica effettiva: $A_{c,N} = L_1 \cdot L_2$ **$A_{c,N}$** **242.820,00 mm²**

$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \cdot c_{min}/c_{cr,sp} \leq 1$ Effetto della distribuzione non uniforme delle sollecitazioni nel cls dovuta alla vicinanza al bordo.

Per ancoraggi con diverse distanze dal bordo si considera la distanza minore, c_{min}

$\psi_{re,N} = 0,5 + h_{eff}/200 \leq 1$ Effetto dell'armatura. Vale quanto già detto per la modalità di rottura conica.

$\psi_{ec,N} = 1/(1 + 2e_N/s_{cr,N}) \leq 1$ Effetto di gruppo per ancoranti soggetti a carichi di trazione diversi.

Vale quanto già detto per la modalità di rottura conica.

$\psi_{h,sp} = (h/h_{min})^{2/3}$ Effetto dello spessore del materiale base; con $1 \leq \psi_{h,sp} \leq (2 \cdot h_{eff}/h_{min})^{2/3}$

$\psi_{h,sp}$ 1,366

$A_{c,N}$ (mm²)	$A^0_{c,N}$ (mm²)	$c_{cr,sp}$ (mm)	$s_{cr,sp}$ (mm)	c_{min} (mm)	
242.820,00	144.400,00	190,00	380,00	282,00	
k_1	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{ec,N}$	$\psi_{h,sp}$	
11,00	0,984	1,000	1,000	1,366	
$N^0_{Rk,c}$ (kN)	$N_{Rk,sp}$ (kN)	γ_{Msp}	$N_{Rd,sp}$ (kN)	N^0_{Sd} (kN)	β_N (%)
170,43	391,51	1,00	391,51	154,01	39,34%

Report esito verifiche a trazione	Tipo di controllo	Valori sollecitanti	Valori resistenti	Valori adimensionalizzati	Verifica
Rottura acciaio	$N^h_{Sd} \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	77,00	196,00	0,393	ok
Rottura conica del cls	$N^0_{Sd} \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$	154,01	245,79	0,627	ok

Rottura combinata per sfilamento ancorante e cono del calcestruzzo.	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	154,01	337,77	0,456	ok
Rottura per splitting del cls	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$	154,01	391,51	0,393	ok

5.8 VERIFICA PER CARICHI DI TAGLIO (PARAGRAFO 7.2.2 - EN 1992-4:2018)

Solo fissaggi senza gioco dei fori o gioco nella direzione del carico di taglio secondo i valori in tabella sono coperti dalla norma EN.

1	external diameter of fastener d^a or d_{nom}^b	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	> 30
2	diameter d_f of clearance hole in the fixture	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33	$d + 3$ or $d_{nom} + 3$

^a If bolt bears against the fixture.
^b If sleeve bears against the fixture.

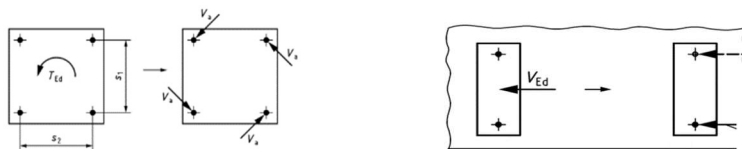
Hole clearance

Distribuzione del carico di taglio

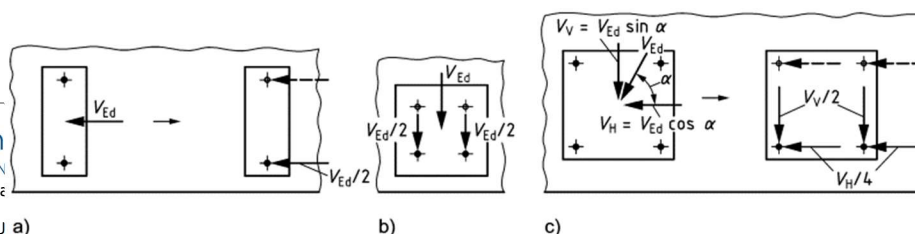
1) La distribuzione del carico di taglio sugli ancoranti dipende dall'efficacia degli stessi nel resistere ai carichi di taglio che è, ad esempio, influenzata dal gioco del foro e dalla distanza dal bordo. Si distinguono i seguenti casi.

a) Tutti i dispositivi di fissaggio sono considerati efficaci nell'assorbire il taglio in ciascuno dei seguenti casi:

- 1) Tutti gli ancoranti sono caricati a taglio se la distanza dal bordo $c_i \geq \max(10 \cdot h_{eff}; 60 \cdot d_{nom})$
- 2) Per la verifica della rottura dell'acciaio e della rottura per pry-out.
- 3) Se il fissaggio è caricato da un momento torcente o da un carico di taglio parallelo al bordo.



b) Qualora la distanza dal bordo c_i sia $< \max(10 \cdot h_{eff}; 60 \cdot d_{nom})$ si presume che solo i dispositivi di fissaggio più vicini al bordo caricato a taglio siano efficaci per la verifica a rottura del bordo di calcestruzzo.



Determination of shear loads for verification of concrete edge failure; only the forces in the fasteners closest to the edge (solid lines) is considered.

2) Un elemento di fissaggio non è considerato resistente ai carichi di taglio se il foro è asolato nella direzione del carico di taglio.

5.8.1 ROTTURA DELL'ACCIAIO (SENZA BRACCIO DI LEVA): $V_{RD,S} = V_{RK,S}/\gamma_{MS}$ DA CONFRONTARE CON V_{SD}^H

Per tale verifica si considerano caricati a taglio tutti gli ancoranti (caso a.2) A vantaggio di sicurezza si considerano che gli ancoranti siano tutti e 4 di diametro 16 mm.

$$V_{RK,S} = k_6 \cdot A_s \cdot f_{uk}$$

Resistenza caratteristica a rottura dell'ancorante in acciaio

$k_6 = 0,60$ per $f_{uk} \leq 500 \text{ N/mm}^2$ e pari a $0,50$ per $500 \text{ N/mm}^2 < f_{uk} \leq 1000 \text{ N/mm}^2$

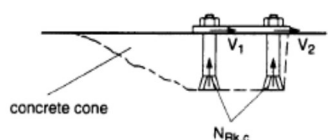
f_{uk} , tensione caratteristica allo S.L.U. dell'acciaio;

A_{res} = area resistente ancorante.

k_6	$V_{RK,S} \text{ (kN)}$	γ_{MS}	$V_{RD,S} \text{ (kN)}$	$V_{SD}^H \text{ (kN)}$	$\beta_N \text{ (%)}$
0,50	62,80	1,00	62,80	17,00	27,07%

5.8.2 ROTTURA PER PRYOUT (ADESIONE): $V_{RD,CP} = V_{RK,CP}/\gamma_{MC}$ DA CONFRONTARE CON V_{SD}^G

Per tale verifica si considera ogni ancorante caricato a taglio (**caso a.2**).



$$V_{RK,CP} = k_8 \cdot \min(N_{RK,C}; N_{RK,P})$$

dove: $k_8 = 1$ per $h_{ef} < 60 \text{ mm}$ e $k_8 = 2$ per $h_{ef} > 60 \text{ mm}$

Tiene conto del cedimento sotto carico di trazione con rottura del cono di calcestruzzo.

Con lo stesso significato dei simboli già chiarito in precedenza, si procede con il calcolo di entrambe le resistenze a rottura per trazione considerando le superfici coniche generate dagli ancoranti caricati a taglio.

$$N_{RK,C} = N_{RK,C}^0 \cdot (A_{c,N}/A_{c,N}^0) \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{e,N} \cdot \psi_{ec,N}$$

$$N_{RK,P} = N_{RK,P}^0 \cdot (A_{p,N}/A_{p,N}^0) \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{g,Np}$$

	$N_{RK,C}$	$N_{RK,P}$	
C_{cr}	285,00	285,00	mm

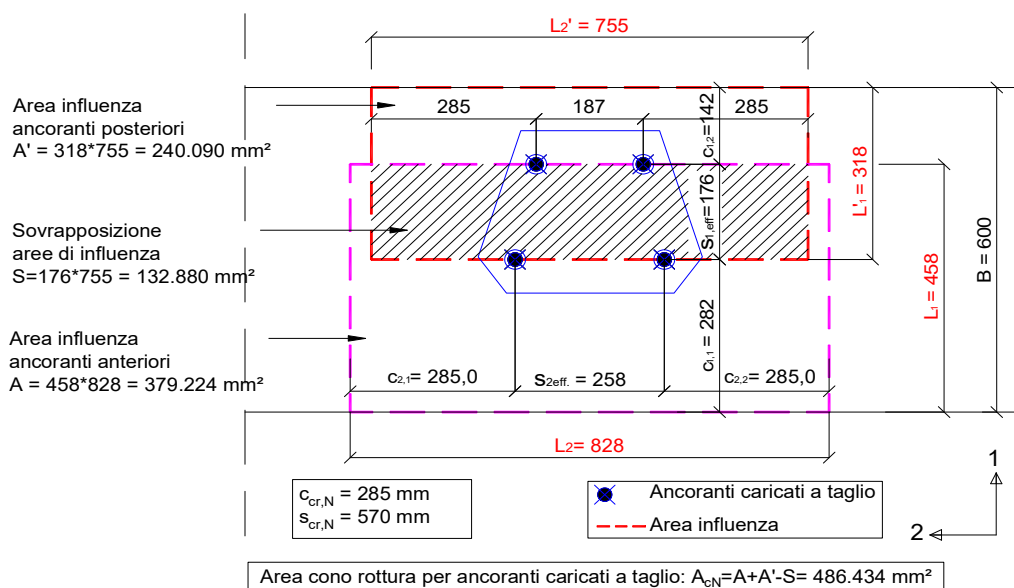
$$A^0_c = s_{cr} * s_{cr}$$

s_{cr}	570,00	570,00	mm
A^0_c	324.900,00	324.900,00	mm ²

Calcolo dell'area della superficie di influenza a ottura per pryout: A_N

Parametri limite

$C_{1,1}$	282,00	mm
$C_{1,2}$	242,00	mm
$S_{1,eff.}$	176,00	mm
$C_{2,1} = C_{2,2}$	285,00	mm
$S_{2,eff.,ant.}$	258,00	mm
$S_{2,eff.,post.}$	187,00	mm



Geometria aree di influenza (da disegno)

Lunghezza lungo l'asse 1 della superficie di competenza dei tirafondi anteriori	L1	458,00	mm
Lunghezza lungo l'asse 2 della superficie di competenza dei tirafondi anteriori	L2	828,00	mm
Lunghezza lungo l'asse 1 della superficie di competenza del tirafondo posteriore	L1'	318,00	mm
Lunghezza lungo l'asse 2 della superficie di competenza del tirafondo posteriore	L2'	755,00	mm
A detrarre zona di sovrapposizione	S	132.880,00	mm ²

$A_N = L_1 * L_2 + L'_1 * L'_2 - S$	486.434,00	486.434,00	mm ²
N^0_{Rk}	170,434	147,848	kN
ψ_s	0,997	0,910	
ψ_{re}	1,000	1,000	
ψ_{ec}	1,000	1,000	

$$\psi_s = 0,7 + 0,3 * C_{min} / C_{cr} \leq 1; \text{ con } C_{min} = C_{min,V}$$

$$\psi_{re} = 0,5 + h_{ef} / 200 \leq 1$$

$$\psi_{ec} = 1 / (1 + 2e_N / s_{cr}) \leq 1$$

Effetto della superficie di rottura degli ancoranti caricati a taglio in gruppo: $\psi_{g,Np}$ (solo se la rottura è combinata: pull out e cono CLS)

n_v = numero totale di ancoranti soggetti a taglio

k_4 = 2,3 per cls fessurato e 3,2 per cls non fessurato

$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n}-1) \cdot [d_{nom} \cdot \tau_{RK} / k \cdot \sqrt{(h_{ef} \cdot R_{ck})}]^{1,5} \geq 0$

s , per ancoranti con diversi interassi, s = media (s_1 ; s_2)

$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s/s_{cr,Np})^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1$

n_v	4,00	4,00
k_4	N.A.	3,20
$\psi_{g,Np}^0$	N.A.	0,84
s_{med}	N.A.	217,50
$\psi_{g,Np}$	N.A.	1,00
N_{Rk}	254,365	320,696

kN

$N_{Rk,min} = 293,85$ kN il che implica che il cedimento avviene per rottura conica

A_N (mm ²)	A_N^0 (mm ²)	$c_{cr,N}$ (mm)	$s_{cr,N}$ (mm)	k_8	ψ_s	ψ_{re}
486.434,00	324.900,00	285,00	570,00	2,00	0,997	1,000
ψ_{ec}	$N_{Rk,min}$ (kN)	$V_{Rk,cp}$ (kN)	γ_{Mc}	$V_{Rd,p}$ (kN)	V_{sd} (kN)	β_v (%)
1,000	254,365	508,730	1,000	508,730	34,000	6,68%

5.8.3 ROTTURA DEL BORDO DEL CALCESTRUZZO: $V_{RD,C} = V_{RK,P} / \gamma_{Mc}$ DA CONFRONTARE CON V_{SD}^G

Per tale verifica si considerano caricati a taglio solo gli ancoranti posti in condizioni più sfavorevoli.

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,v} / A_{c,v}^0) \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{\alpha,v} \cdot \psi_{ec,v} \cdot \psi_{re,v}$$

dove:

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_{ef}^\beta \cdot f_{ck}^{0,5} \cdot c_1^{1,5}$$

Valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante posto in cls fessurato caricato perpendicolarmente al bordo

k_9

$k_9 = 1,7$ per calcestruzzo fessurato; $k_9 = 2,4$ per calcestruzzo non fessurato

$c_{1,v}$

Distanza dal bordo per il quale si effettua la verifica

l_{eff}

Per ancoranti a sezione trasversale uniforme $l_{eff} = h_{eff}$

$l_{eff} \leq 12 \cdot d_{nom}$ per $d_{nom} \leq 24$ mm; $l_{eff} \leq \max(8 \cdot d_{nom}; 300 \text{ mm})$ per $d_{nom} > 24$ mm

d_{nom}

I valori di l_{eff} e d_{nom} sono indicati nell'ETA dell'ancorante.

$$\alpha = 0,1 \cdot (l_{eff} / c_1)^{0,5}$$

Coefficiente

$$\beta = 0,1 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0,2}$$

Coefficiente

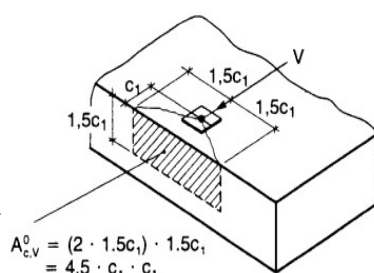
$$A_{c,v} / A_{c,v}^0$$

Effetto geometrico della distanza dal bordo, dell'interasse e dello spessore del supporto

con:

$$A_{c,v}^0 = 1,5 \cdot c_1 \cdot 3 \cdot c_1 = 4,5 \cdot c_1^2$$

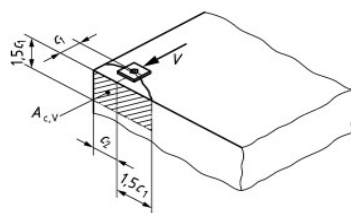
Area cono di cls di un ancorante singolo senza effetti di interasse e di bordi paralleli alla direzione del carico, proiettata sulla superficie laterale del cls



Area $A_{c,v}^0$ del cono ideale per un ancorante singolo

$A_{c,v}$ Area effettiva del cono di cls dell'ancorante proiettata sulla superficie laterale del calcestruzzo.

L'area è limitata dalla sovrapposizione dei coni di cls di ancoranti adiacenti ($s < 3 \cdot c_1$), dai bordi paralleli alla direzione del carico di taglio ($c_2 < 1,5 \cdot c_1$) e dallo spessore del blocco dell'elemento ($h < 1,5 \cdot c_1$). Affinché ancoranti adiacenti non influenzino la resistenza dell'ancorante deve essere l'interasse $s_1 > 3 \cdot c_1$

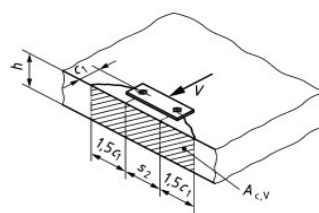


$$A_{c,v} = 1,5 c_1 (1,5 c_1 + c_2)$$

$$h \geq 1,5 c_1$$

$$c_2 \leq 1,5 c_1$$

a) Single fastener at a corner



$$A_{c,v} = (2 \cdot 1,5 c_1 + s_2) \cdot h$$

$$h < 1,5 c_1$$

$$s_2 \leq 3 c_1$$

b) Group of fasteners at an edge in a thin concrete member

Esempi di area effettiva del cono ideale di cls per diverse distribuzioni degli ancoranti caricati a taglio.

I valori minimi di c_1 , c_2 , ed s per il calcolo della superficie laterale vanno confrontati con quelli minimi, funzione del tipo di ancorante. Di seguito si riportano i valori minimi dei parametri suddetti affinché essi non influenzino l'area del cono di cls.

Ancoranti caricati a taglio

n_v 2

Distanza dal bordo secondo l'asse 1

$c_{1,v}$ 242,00 mm

Distanza dal bordo 2 (se $c_{2,v} > 1,5 \cdot c_{1,v}$ allora $c_{2,v,eff.} = 1,5 \cdot c_{1,v}$)

$c_{2,v,eff.}$ 363,00 mm

Interasse degli ancoranti in direzione 2 (se $s_2 > 3 \cdot c_1$, allora $s_{2,eff.} = 3 \cdot c_1$)

$s_{2,eff.}$ 187,00 mm

Larghezza base piramide proiettata sulla superficie laterale del cls:

$$L_2 = (n_{anc} - 1) \cdot s_2 + 2 \cdot 1,5 \cdot c_1$$

L_2 913,00 mm

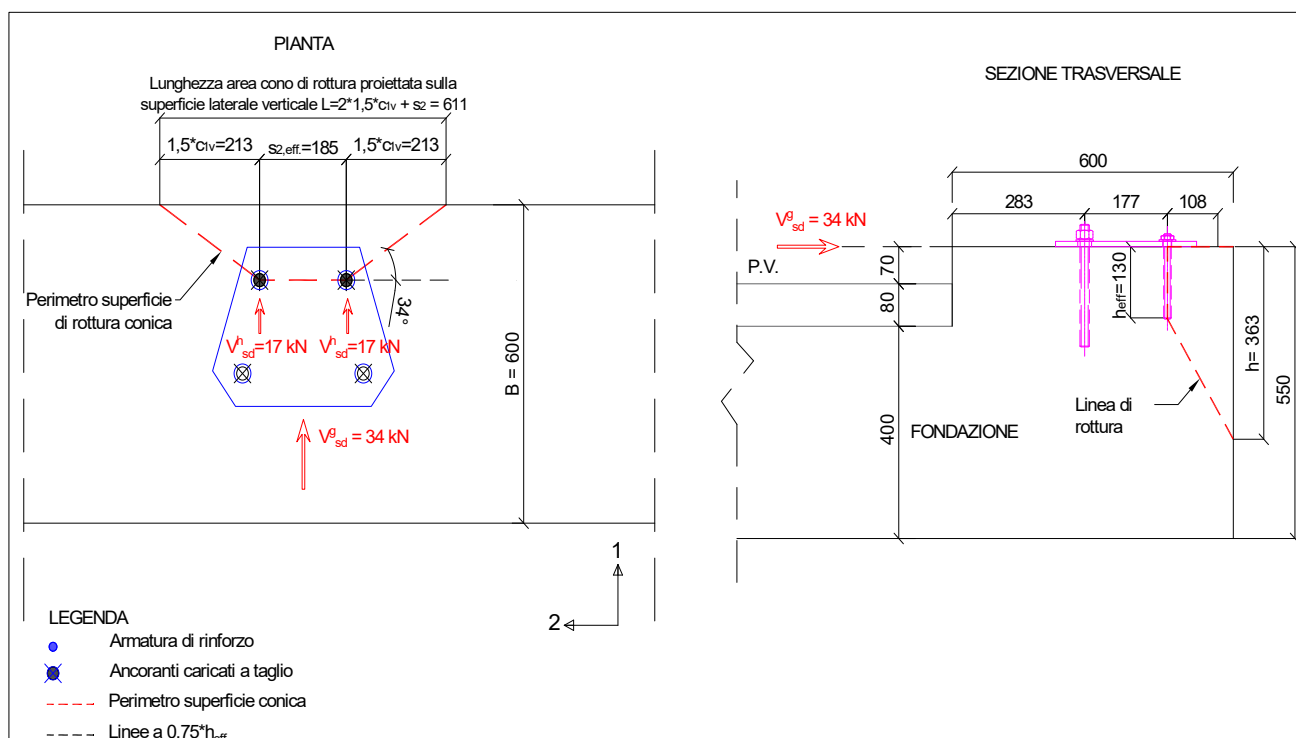
Altezza base piramide sulla superficie laterale del blocco di cls:

(se $h > 1,5 \cdot c_1$; $h = 1,5 \cdot c_1$)

h 363,00 mm

Area superficie conica effettiva: $A_{c,v} = h \cdot L_2$

$A_{c,v}$ 331.419,00 mm²



$$\psi_{s,v} = 0,7 + 0,3 \cdot c_2 / 1,5 \cdot c_1 \leq 1$$

Influenza sulla resistenza a taglio causata dalla distribuzione delle sollecitazioni nel cls dovuta alla presenza di altri bordi.

Per ancoraggi con due bordi paralleli alla direzione del taglio (ad es. in un elemento stretto) bisognerà considerare la distanza dal bordo più piccola.

$$\psi_{h,v} = (1,5 \cdot c_1 / h)^{1/2} \geq 1$$

Tiene conto del fatto che la resistenza a taglio non diminuisce in proporzione allo spessore h dell'elemento come ipotizzato nel rapporto $A_{c,v} / A^0_{c,v}$

$$\psi_{\alpha,v} = \{1 / [(\cos \alpha_v)^2 + (\sin \alpha_v / 2,5)^2]\}^{0,5} \text{ con } \alpha_v \leq 90^\circ$$

Tiene conto dell'angolo α_v tra carico applicato V_{sd} e direzione perpendicolare al bordo per il quale si esegue la verifica.

Dove α_v è l'angolo tra il carico applicato V_{sd} e la direzione perpendicolare al bordo libero di calcestruzzo.

$$\alpha_v = 0,00$$

$$\psi_{ec,v} = 1 / (1 + 2 \cdot e_v / 3 \cdot c_1) \leq 1$$

Effetto di gruppo quando i singoli ancoranti sono soggetti a carichi di taglio di diversa intensità.

Nel caso di gruppi di ancoraggio con differenti livelli di forze di taglio agenti sui singoli ancoranti del gruppo deve essere ricavata l'eccentricità del risultante dello sforzo di taglio rispetto al baricentro degli ancoranti.

$$e_v = 0,0 \text{ mm}$$

$$\psi_{re,v}$$

Effetto dell'armatura posta sul bordo uguale a 1,00 per ancoraggi in cls non fessurato e in cls fessurato senza armatura di bordo o staffe.

$l_{ef} \text{ (mm)}$	$d_{nom} \text{ (mm)}$	$c_{1,v} \text{ (mm)}$	k_9	α	β
192,00	16,00	242,00	2,40	0,089	0,058

$A^0_{c,v}$ (mm ²)	$A_{c,v}$ (mm ²)	$\Psi_{s,v}$	$\Psi_{h,v}$	$\Psi_{\alpha,v}$	$\Psi_{ec,v}$	$\Psi_{re,v}$
263.538,00	331.419,00	1,000	1,000	1,00	1,000	1,00
$V^0_{RK,c}$ (kN)	γ_{Mc}	$V_{RK,c}$ (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN)	V^a_{Sd} (kN)	β_N (%)	
92,864	1,000	116,78	116,78	34,00	29,11%	

Riepilogo esito verifiche a taglio	Tipo di controllo	Valori sollecitanti	Valori resistenti	Valori adimensionalizzati	Verifica
Rottura acciaio senza braccio leva	$V^h_{Sd} \leq V_{RK,s}/\gamma_{Ms}$	17,00	62,80	0,271	ok
Rottura per pryout	$V^a_{Sd} \leq V_{RK,c}/\gamma_{Mc}$	34,00	508,73	0,067	ok
Rottura bordo di cls	$V^a_{Sd} \leq V_{RK,c}/\gamma_{Mc}$	34,00	116,78	0,291	ok

5.9 VERIFICA PER AZIONI COMBinate DI TRAZIONE E TAGLIO (PARAGRAFO 7.4.2 - EN 1992-4:2018)

Nel caso in cui sia presente sia trazione che taglio oltre alle verifiche singole, viste in precedenza, è necessario effettuare anche una verifica combinata a trazione-taglio. Tale verifica può essere eseguita nei due seguenti modi equivalenti.

MODO 1) Controllando che sia soddisfatta la seguente equazione: $\beta^{\alpha_N} + \beta^{\alpha_V} \leq 1$

MODO 2) Controllando che siano soddisfatte le seguenti equazioni:

1) $\beta_N + \beta_V \leq 1,2$

2) $\beta_{N,max}$ e $\beta_{V,max} \leq 1$

dove:

β_N, β_V sono i rapporti maggiori tra l'azione di progetto e la resistenza di progetto rispettivamente per trazione e per taglio per le differenti modalità di rottura;

$\alpha = 2$ se N_{Rd} e V_{Rd} sono governate dalla rottura dell'acciaio $\alpha = 1,5$ in tutti gli altri casi;

Nel caso in esame N_{Rd} e V_{Rd} non sono governate dalla rottura dell'acciaio quindi $\alpha = 1,5$.

MODO 1)	$\beta^{\alpha_N} + \beta^{\alpha_V} \leq 1$	con $\alpha = 1,5$
$\beta^{\alpha_{N,max}} =$	0,496	
$\beta^{\alpha_{V,max}} =$	0,157	
$\beta^{\alpha_N} + \beta^{\alpha_V} =$	0,653	Verifica soddisfatta

MODO 2)

1) $\beta_N + \beta_V \leq 1,2$

2) $\beta_{N,max}$ e $\beta_{V,max} \leq 1$

$\beta_{N,max} =$ 0,627 **Verifica soddisfatta**

$\beta_{V,max} =$ 0,291 **Verifica soddisfatta**

$\beta_N + \beta_V =$

0,765

Verifica soddisfatta

6. CONCLUSIONI

Come reso evidente dai calcoli sopra riportati, la barriera H2BP400, installata secondo lo schema grafico rappresentato in figura 5.3 soddisfa tutti i requisiti delle norme e garantisce in sito un comportamento analogo a quanto riscontrato in fase di crash test.