

S.S.131 DI "CARLO FELICE"
Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici 2° stralcio
dal km 108+300 al km 158+000

PROGETTO ESECUTIVO

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it

Mandante



Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi - Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Nicola D'Alessandro - Delta Ingegneria srl
Ordine Ing. di Agrigento n. A995

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanatica - Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Diego Ceccherelli
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore Frasca

PROTOCOLLO

DATA



OPERE D'ARTE MINORI

Cavalcavia esistente svincolo di Paulilatino al km 120+000 - CV01 su V01

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

T00CV01STRRE01A

LOPLSQ E 1901

CODICE ELAB. **T00CV01STRRE01**

A

.

D

C

B

A

Emissione

Marzo 2020

Ing.D. D'ALESSANDRO

Ing. M. CARLINO

Ing.N. D'ALESSANDRO

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

Indice

1. Premessa	2
2. Documentazione e normative di riferimento	2
3. Inquadramento opera	3
4. Caratteristiche meccaniche dei materiali	5
5. Azioni.....	8
6. Verifiche della connessione del cordolo alla soletta.....	9
6.1 Verifiche per la modalità di rottura a trazione (o ribaltamento)	9
6.2 Verifiche per la modalità di rottura a taglio (o scorrimento)	14
7. Verifiche di resistenza del cordolo	18
7.1 Verifiche a taglio	18
7.2 Verifiche a torsione	19
8. Risultati delle verifiche	20
8.1 Verifica di connessione del cordolo alla soletta.....	20
8.2 Verifiche di resistenza del cordolo.....	25

1. Premessa

L'oggetto della presente relazione è il dimensionamento delle opere connesse all'intervento di sostituzione delle barriere di sicurezza sull'impalcato del cavalcavia esistente di Paulilatino, nell'ambito del Progetto Esecutivo di "Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131 — Risoluzione dei nodi critici — 2° stralcio dal km 108+300 al km 158+000".

Per la sostituzione delle barriere di sicurezza esistenti con nuove barriere si prevede la demolizione dei cordoli laterali esistenti e la successiva conseguente realizzazione di nuovi cordoli.

Pertanto nella presente relazione sono riportate le verifiche strutturali dei nuovi cordoli per la condizione eccezionale di urto di veicolo in svio.

2. Documentazione e normative di riferimento

D.M. 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (nel seguito indicate come "NTC 2018");

Circolare 21 gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP., Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018 (nel seguito indicate come "CNTC 2019");

Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti, aprile 2020 (nel seguito indicate come "Linee Guida CSLP");

Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Servizio Tecnico Centrale, settembre 2017;

fib Model Code for Concrete Structures 2010, © 2013 fédération internationale du béton / International Federation for Structural Concrete (fib);

UNI EN 206:2016, Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità, Commissione Tecnica UNI Cemento, malte, calcestruzzi e cemento armato, Dicembre 2016;

UNI 11104, Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;

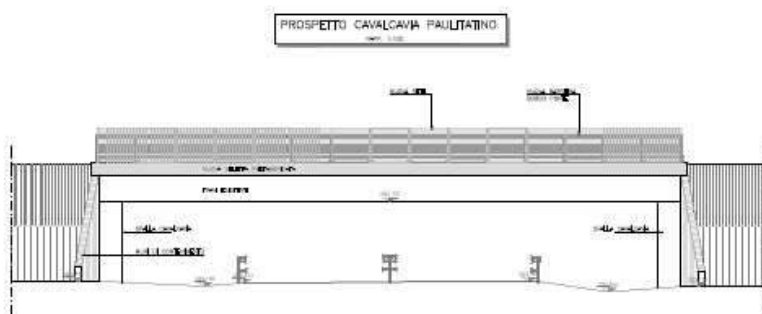
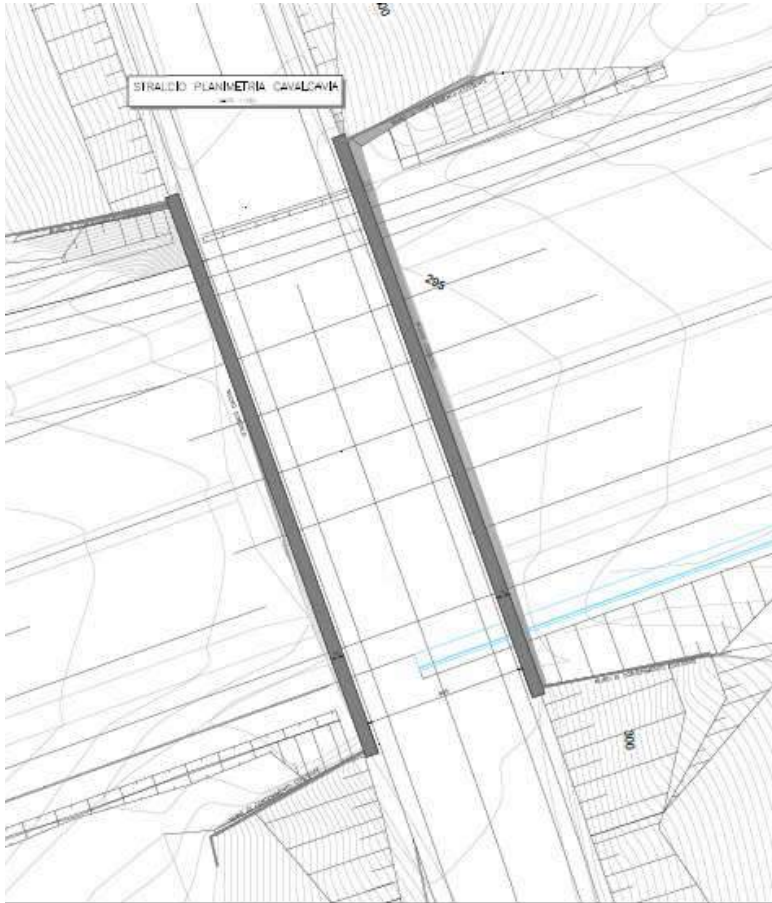
UNI EN 1992-1-1:2015, Eurocodice 2, Progettazione delle strutture di calcestruzzo, Regole generali e regole per gli edifici, Commissione Tecnica UNI Ingegneria strutturale, Aprile 2015;

UNI EN 1992-4, Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 4: Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo;

Quaderno tecnico n.1, Valutazione delle caratteristiche meccaniche del Calcestruzzo, ANAS S.p.a.;

Quaderno tecnico n.2, Valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'Acciaio, ANAS S.p.a.

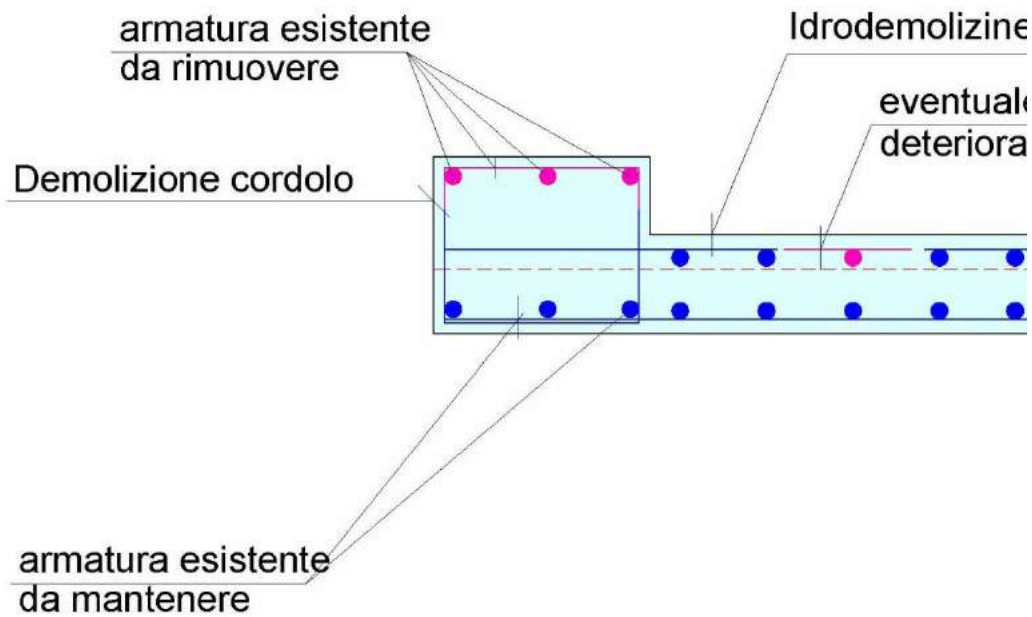
3. Inquadramento opera



Stralcio planimetrici e prospetto impalacato

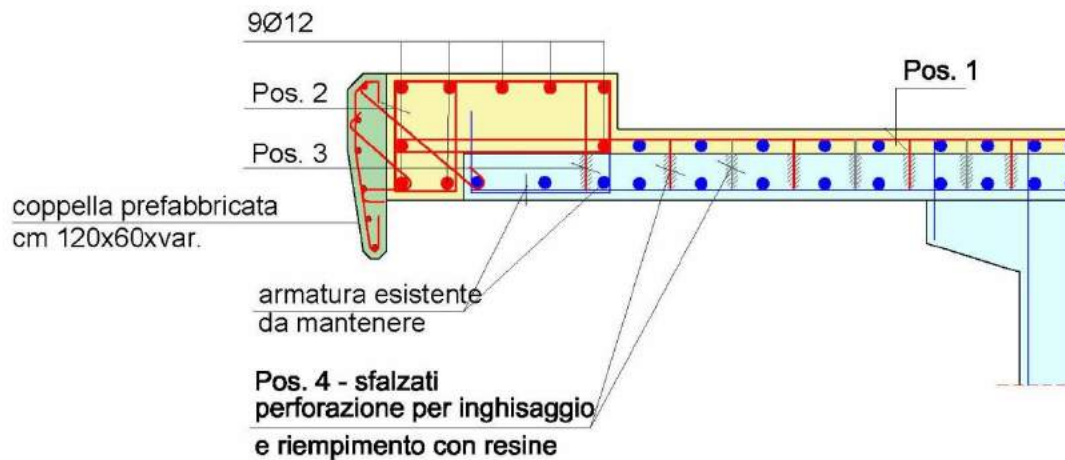
STATO DI FATTO

Particolare cordolo interno -



STATO DI PROGETTO

Particolare - scala 1:25



4. Caratteristiche meccaniche dei materiali

Nel seguente capitolo si riportano le caratteristiche meccaniche dei materiali (calcestruzzo e dell'acciaio) da utilizzare per le verifiche del cordolo.

Caratterizzazione meccanica dei materiali della struttura esistente

Per il calcestruzzo presente nella soletta, in funzione delle informazioni acquisite sulla geometria e sui dettagli costruttivi, nonché sulle proprietà del materiale, si determina il livello di conoscenza ed il relativo fattore di confidenza in accordo con quanto riportato nella tabella seguente. Per il caso in esame si è assunto il livello di conoscenza LC3, sulla base di quanto indicato dalla CNTC 2019. Il corrispondente fattore di confidenza FC è pari a 1,35.

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3	alternativa rilievo completo ex-novo	Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

Fig. 4.1– Livelli di conoscenza e relativi fattori di confidenza (tabella C8.5.IV secondo CNTC2019).

In accordo a quanto riportato al §8.5.4.2 delle CNTC2019, il fattore di confidenza deve essere applicato ai valori medi delle resistenze dei materiali ottenuti dai campioni di prove distruttive e non distruttive, per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l'intervallo di confidenza considerato.

Per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali, in accordo a quanto riportato al C.8.5.3.2 della CNTC 2019, per il calcestruzzo si deve fare riferimento alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, redatto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Dato il rapporto H/D si lega la resistenza determinata sperimentalmente alla resistenza cubica del calcestruzzo posto in opera (cfr. Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, CSLLPP Settembre 2017, §3.2).

Per determinare la resistenza di calcolo del calcestruzzo è possibile utilizzare la relazione presente al §6.3.4 delle Linee Guida CSLP:

$$f_d = \min\left(\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC}\right)$$

Progetto Esecutivo

Al fine di determinare la resistenza di calcolo cilindrica del calcestruzzo in opera si adotta il coefficiente parziale di sicurezza γ_M pari a 1.5 per il meccanismo di resistenza a taglio un meccanismo di tipo fragile (cfr. §8.7.2 NTC2018) o pari a 1 nel caso di azioni eccezionali (cfr. §4.1.4 NTC2018).

Si riportano di seguito i risultati ottenuti a partire dalle prove di carotaggio ed alle conseguenti prove di compressione su carote prelevate in situ.

In mancanza di dati specifici si è assunto una resistenza del calcestruzzo equivalente alla classe R20/25. Tale valore è da ritenersi cautelativo ed adeguato alle tipologie di cls impiegate all'epoca

Caratteristiche calcestruzzo in opera da prove

n. prova	ID carota	Ubicazione	D _{max} aggregato [mm]	D _{provino} [mm]	H _{provino} [mm]	H/D	Ac [mm ²]	diametro Provino ok?	H/D Provino ok?	armature incluse	f _c o R _c [MPa]	F _d	f _{c,ite} [MPa]
1	C1 1C		14	104,2	104,8	1	8528	SI	SI		25,00	1,060	22,41

Caratterizzazione del cls in opera

cfr. Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, CSLPP 09/2017, §3.2 e §3.3

n. determinazioni:	1	numero di carote prelevate
f _{m,ls} [MPa]:	22,41	resistenza media cilindrica misurata in situ
LC:	LC1	livello di conoscenza (§ C8.5.4.2 NTC2018 tab C8.5.IV)
FC:	1,35	fattore di confidenza (§ C8.5.4.2 NTC2018 tab C8.5.IV)
α _{ce} :	1	coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata §4.1.2.1.1.1 NTC2018
γ _c :	1	coefficiente parziale di sicurezza (§4.1.4 NTC2018)
f _{cd} [MPa]:	16,60	resistenza a compressione cilindrica di calcolo
Classe equivalente:	C20/25	classe equivalente sulla base dei risultati delle prove in situ

Nel caso dell'acciaio, la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene, in generale, mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della tensione di snervamento, della resistenza a rottura e dell'allungamento, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova conformi a quanto richiesto per le nuove costruzioni nella normativa all'epoca di costruzione.

Così come per il calcestruzzo, per determinare la resistenza di calcolo dell'acciaio in opera è possibile utilizzare la relazione presente al §6.3.4 delle Linee Guida CSLP:

$$f_d = \min\left(\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC}\right)$$

Caratterizzazione meccanica dei materiali per parti di nuova realizzazione

Calcestruzzo ed acciaio per cordoli

Nel seguente paragrafo si riportano le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e degli acciai in barre per il nuovo getto.

Caratteristiche del calcestruzzo nuovo

Classe di resistenza :	C32/40	conforme alla UNI EN 206: 2016 e UNI 11104: 2016
Classe di esposizione a carbonatazione :	XC4	Ambiente ciclicamente asciutto e bagnato
Classe di esposizione a cloruri :	-	
Classe di esposizione a gelo/disgelo :	-	
Classe di esposizione ad attacco chimico :	-	
Classe di consistenza :	S4	Abbassamento al cono da 160 a 210 mm
Dimensione massima dell'aggregato :	20 mm	
Copriferro nominale :	30 mm	

Classe di resistenza	R_{ck} [MPa]	f_{ck} [MPa]	f_{cm} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	$f_{ctk(5\%)}$ [MPa]	$f_{ctk(95\%)}$ [MPa]	E_{cm} [MPa]	f_{cd} [MPa]	f_{td} [MPa]
C32/40	40	33,20	41,20	3,10	2,17	4,03	33643	28,22	2,17

Calcolo del copriferro minimo per calcestruzzo nuovo

ϕ [mm]:	20	diametro barra
tipo barra:	Singola	
$c_{min,b}$ [mm]	20	copriferro minimo dovuto al requisito dell'aderenza (cfr. prospetto 4.2 UNI EN 1992-1-1)
Cl. strutt.	S3	classe strutturale di riferimento (cfr. prospetto 4.3N UNI EN 1992-1-1)
Cl. esp.	XC4	classe di esposizione
$c_{min,dur}$ [mm]	25	copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali (cfr. prospetto 4.4N UNI EN 1992-1-1)
$\Delta c_{dur,g}$ [mm]	0	marginale di sicurezza (cfr. Appendice Nazionale alla UNI EN 1992-1-1)
$\Delta c_{dur,st}$ [mm]	0	rid. del copriferro minimo quando si utilizza acciaio inossidabile (cfr. annex Nazionale alla UNI EN 1992-1-1)
$\Delta c_{dur,add}$ [mm]	0	riduzione del copriferro quando si ricorre a protezione aggiuntiva (cfr. annex Nazionale alla UNI EN 1992-1-1)
c_{min} [mm]	25	copriferro minimo
Δc_{dev1} [mm]	10	scostamento accettato (cfr. §4.4.1.3 (3) UNI EN 1992-1-1 ed appendice nazionale)
Δc_{dev2} [mm]	5	riduzione dello scost. per misura del copriferro (cfr. §4.4.1.3 (3) UNI EN 1992-1-1 ed appendice nazionale)
Δc_{dev3} [mm]	0	rid. dello scost. per misur. accurata e monitoraggio (cfr. §4.4.1.3 (3) UNI EN 1992-1-1 ed annex nazionale)
Δc_{dev} [mm]	5	scostamento effettivo
c_{nom} [mm]	30	copriferro nominale

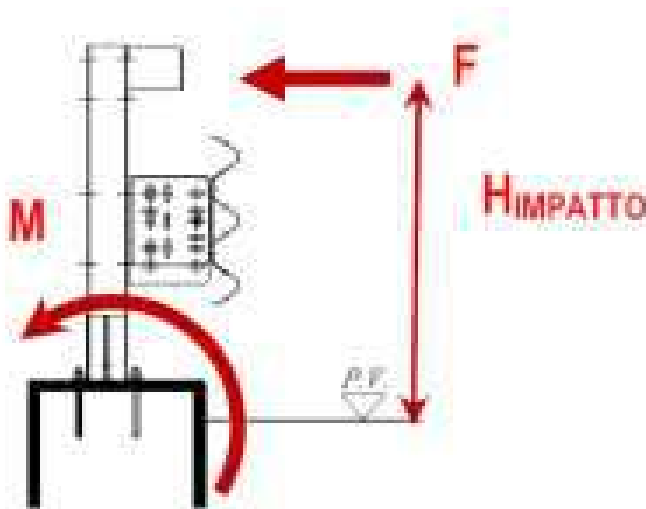
Caratteristiche dell'acciaio in barre

Tipologia : **B450C** conforme alla UNI EN 10080

Tipologia	$f_{y,nom}$ [MPa]	$f_{t,nom}$ [MPa]	$(f_t/f_y)_k$	$(f_t/f_y)_k$	E_y [GPa]	f_{yd} [MPa]
B450C	450	540	1,15	1,35	200	391,3

5. Azioni

Le sollecitazioni gravanti sul cordolo sono legate principalmente agli effetti dell'urto del veicolo in svio, quindi con la combinazione di carico legata alla seguente schematizzazione statica equivalente:



Schema di calcolo delle azioni.

Per il caso in esame la forza di impatto considerata è pari a 100 kN. Trattandosi di azione eccezionale si adotta un coefficiente $\gamma=1$. L'altezza di impatto considerata per il caso in esame è stata posta pari a 1,00 m dall'estradosso del cordolo (piastra inclusa), corrispondente ad un'altezza massima della barriera di 1,10 m in accordo a quanto riportato al §5.1.3.10 delle NTC18. Tale dimensione è stata assunta con riferimento ad una barriera tipo; si raccomanda, pertanto, l'installazione di una barriera che non ecceda tale dimensione. Qualora tale prescrizione non sia verificata, i risultati ottenuti dalla presente dovranno essere confermati da nuove verifiche in funzione della nuova geometria scelta.

6. Verifiche della connessione del cordolo alla soletta

Gli ancoraggi tra cordolo e strutture esistenti si effettuano mediante inghisaggio delle armature di connessione mediante ancorante chimico, di resistenza nei riguardi di ogni possibile meccanismo di rottura sufficiente a soddisfare le azioni sollecitanti nella più sfavorevole delle combinazioni fra loro.

Nel caso in esame il tabulato seguente, riporta le azioni di calcolo per condizione eccezionale di urto di veicolo in svio, risultata dimensionante per tutto il sistema di connessione cordolo-sbalzo.

La verifica degli ancoraggi è eseguita nei confronti delle sollecitazioni di taglio e di trazione, considerate singolarmente ed in combinazione.

Le azioni di progetto S_d non devono superare il valore R_d , da valutarsi assumendo i coefficienti parziali di sicurezza unitari per la presenza di azioni eccezionali.

$$S_d = S_k \cdot \gamma_F$$

In cui S_k è il valore caratteristico della sollecitazione agente e γ_F è il coefficiente parziale di sicurezza per i carichi.

Il valore di progetto della resistenza è definito come:

$$R_d = R_k \cdot \gamma_M$$

In cui R_k è il valore caratteristico della resistenza γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza.

Le relazioni di cui sopra vanno declinate per ognuno dei meccanismi di rottura possibili, tra quelli presentati nello specchio sinottico.

6.1 Verifiche per la modalità di rottura a trazione (o ribaltamento)

Il ribaltamento del cordolo a seguito del distacco dalla soletta per effetto del momento torcente generato dall'urto del veicolo in svio è inibito mediante appositi connettori.

Lo schema di riferimento per il progetto del dispositivo antiribaltamento è illustrato nella figura seguente.

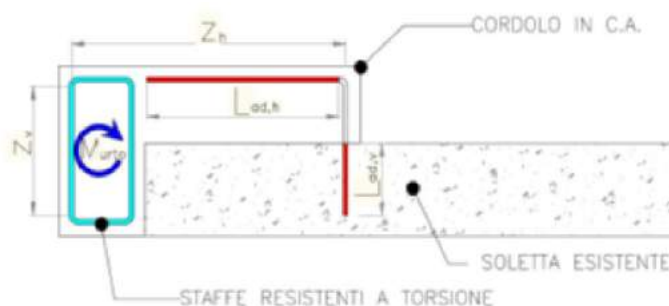


Fig. 6.1- Schema di riferimento della disposizione dei connettori

Per effetto delle sollecitazioni di trazione nei connettori possono verificarsi quattro differenti meccanismi di rottura:

Rottura del connettore (rottura lato acciaio): si verifica in presenza di un elevato stato tensionale associato ad un sottodimensionamento del diametro del connettore;

Rottura conica del calcestruzzo: si verifica in presenza di un elevato stato tensionale associato ad un adeguato dimensionamento del connettore ed una congrua resistenza della matrice di calcestruzzo;

Rottura per sfilamento o estrazione (rottura lato calcestruzzo): si verifica quando a seguito di errori nella posa in opera del connettore ovvero in presenza di conglomerato di cattiva qualità;

Rottura per splitting (rottura lato calcestruzzo): si verifica quando lo spessore della matrice cementizia risulta insufficiente ovvero in presenza di conglomerato di cattiva qualità.

Di seguito si riporta la Tabella 7.1 della norma UNI 1992-4 in cui sono mostrate le verifiche nel caso di modalità di rottura a trazione.

	Modalità di rottura	Singolo ancorante	Gruppo di ancoranti	
			Ancorante più caricato	Gruppo
1	Rottura dell'acciaio dell'ancorante	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
2	Rottura del cono di calcestruzzo	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^b \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
3	Rottura per sfilamento dell'ancorante ^{a)}	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	$N_{Ed}^h < N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	
4	Rottura combinata per sfilamento e rottura del calcestruzzo ^{b)}	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$		$N_{Ed}^b \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$
5	rottura per splitting (spacco) del calcestruzzo	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$		$N_{Ed}^b \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$
6	Rottura per blow-out del calcestruzzo ^{c)}	$N_{Ed} \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^b \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$
7	Rottura dell'acciaio dell'armatura	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	
8	Rottura dell'ancoraggio dell'armatura	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$	

a) Non richiesto per ancoranti chimici post-inseriti.
b) Non richiesto per ancoranti meccanici muniti di testa e post-inseriti.
c) Per casi che richiedono la verifica vedere punto 7.2.1.8 (1).

Fig. 6.2- Verifiche richieste per ancoranti in trazione (da UNI 1992-4, Tabella 7.1)

Rottura dell'acciaio dell'ancorante

In accordo a quanto riportato al §7.2.1.3 della norma UNI 1992-4 la resistenza caratteristica di un ancorante in caso di rottura dell'acciaio $N_{Rk,s}$ è indicata nella pertinente specifica tecnica di prodotto europea. La resistenza caratteristica da considerare per valutare il valore di rottura dell'ancorante è basata su f_{yk} .

Rottura del cono di calcestruzzo

In accordo a quanto riportato al §7.2.1.3 della norma UNI 1992-4 la resistenza di un ancorante nel caso di rottura di un cono di calcestruzzo deve essere ottenuta tramite la seguente relazione:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

Il valore $N_{Rk,c}^0$ della resistenza caratteristica di un singolo ancorante posato nel calcestruzzo e non influenzato da ancoranti adiacenti o dai bordi dell'elemento di calcestruzzo è pari a:

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

con

$k_1 = k_{cr,N}$ per calcestruzzo fessurato

$k_1 = k_{ucr,N}$ per calcestruzzo non fessurato

I valori di $k_{cr,N}$ e $k_{ucr,N}$ sono indicati nella corrispondente Specifica tecnica di prodotto europea. In assenza di indicazioni precise, i valori indicativi di $k_{cr,N}$ e $k_{ucr,N}$ sono, rispettivamente, pari a 7,7 e 11,0 per ancoranti post-inseriti e 8,9 e 12,7 per ancoranti a piolo gettati in opera.

Il rapporto $A_{c,N}/A_{c,N}^0$ rappresenta l'effetto geometrico dell'interasse assiale e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica.

L'area di proiezione di riferimento $A_{c,N}^0$, così come mostrato nella figura seguente, è pari a:

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

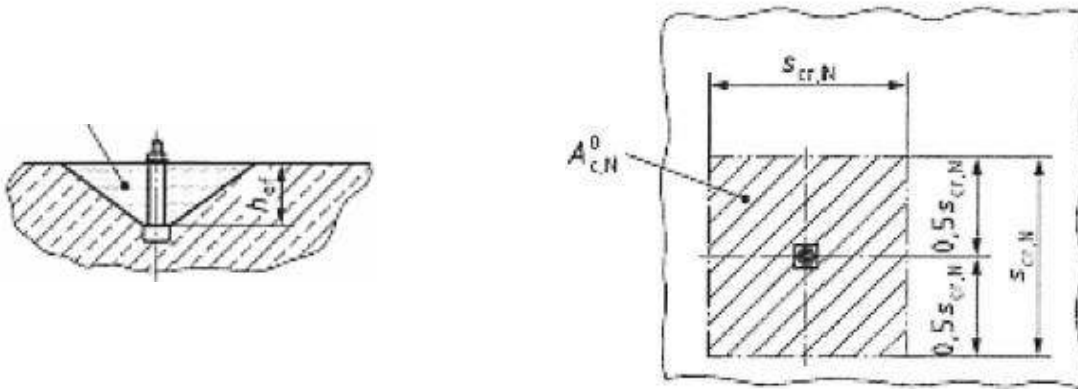


Fig. 6.3– Cono in calcestruzzo idealizzato e area $A_{c,N}^0$ del cono di calcestruzzo di un singolo ancorante (da UNI 1992-4)

Il valore dell'area di proiezione effettiva $A_{c,N}$ è determinabile tramite la figura seguente. Essa deve essere limitata dalla sovrapposizione dei coni di calcestruzzo degli ancoranti adiacenti ($s \leq s_{cr,N}$) e dai bordi dell'elemento di calcestruzzo ($c \leq c_{cr,N}$). Il valore di $c_{cr,N}$ è indicato nella Specifica tecnica di prodotto europea e $s_{cr,N} = 2 c_{cr,N}$. Inoltre, in accordo a quanto riportato nella norma UNI 1992-4, per ancoranti muniti di testa e post-inseriti, in base all'esperienza corrente $s_{cr,N} = 2c_{cr,N} = 3 h_{ef}$, con h_{ef} l'affondamento effettivo.

Il valore $\psi_{s,N}$ tiene conto della distorsione della distribuzione delle sollecitazioni nel calcestruzzo a causa della vicinanza di un bordo dell'elemento in calcestruzzo. Il suo valore può essere determinato come:

Progetto Esecutivo

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1$$

In questo caso c è la distanza minima dal bordo.

Il fattore di spalling della parete esterna, $\psi_{re,N}$, si applica quando h_{ef} è minore di 100 mm, ed è pari a:

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$$

Il fattore $\psi_{ec,N}$ tiene conto di un effetto di gruppo quando diversi carichi di trazione agiscono sui singoli ancoranti di gruppo, ed è pari a:

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

Il fattore $\Psi_{M,N}$ tiene conto dell'effetto di una forza di compressione tra l'elemento di collegamento e calcestruzzo nei casi di momenti flettenti con o senza forza assiale.

Il coefficiente $\Psi_{M,N}$ assume valore pari a 1 nei seguenti casi:

Fissaggi con una distanza dal bordo $c < 1.5h_{ef}$;

Fissaggi con $c \geq 1.5h_{ef}$ caricato mediante un momento flettente e una forza di trazione con $C_{Ed} / N_{Ed} < 0.8$, dove C_{Ed} è la forza di compressione risultante tra elemento di collegamento e calcestruzzo e N_{Ed} è la forza di trazione risultante degli ancoranti sottoposti a trazione; oppure

Fissaggi con $z / h_{ef} < 1.5$

In tutti gli altri casi il fattore $\Psi_{M,N}$ assume il seguente valore:

$$\psi_{M,N} = 2 - \frac{z}{1.5 h_{ef}} \geq 1$$

Rottura per sfilamento dell'ancorante

In accordo al §7.2.1.5 della norma UNI 1992-4, la resistenza caratteristica in caso di rottura per sfilamento $N_{Rk,p}$ di ancoranti meccanici e muniti di testa post-inseriti è indicata nella pertinente Specifica tecnica di prodotto europea.

Rottura del calcestruzzo combinata con sfilamento nel caso di ancoranti chimici post-inseriti

In accordo a quanto riportato al §7.2.1.6 della norma UNI 1992-4 la resistenza caratteristica di un ancorante, di un gruppo di ancoranti e degli ancoranti sottoposti a trazione di un gruppo di ancoranti in caso di rottura di un cono di calcestruzzo deve essere ottenuta tramite la seguente relazione:

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,Np}$$

La resistenza caratteristica di un singolo ancorante chimico $N_{Rk,p}^0$, non influenzato da ancoranti chimici adiacenti o dai bordi dell'elemento di calcestruzzo è calcolata come:

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef}$$

dove:

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

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

ψ_{sus}^0 è il fattore dipendente dal prodotto che tiene conto dell'influenza del carico sostenuto sulla forza di aderenza. Il suo valore può essere reperito nella Specifica tecnica di prodotto europea. Nel caso in cui nella Specifica tecnica non sia riportato alcun valore, è possibile porre $\psi_{sus}^0=0.6$.

α_{sus} è il rapporto tra il valore delle azioni sostenute (che comprende le azioni permanenti e la componente permanente delle azioni variabili) e il valore delle azioni totali sostenute allo SLU.

$\tau_{Rk} = \tau_{Rk,cr}$ per calcestruzzo fessurato;

$\tau_{Rk} = \tau_{Rk,ucr}$ per calcestruzzo non fessurato.

I valori di $\tau_{Rk,cr}$ e $\tau_{Rk,ucr}$ sono indicati nella Specifica tecnica di prodotto europea.

Il rapporto $A_{p,N}/A_{p,N}^0$ rappresenta l'effetto geometrico dell'interasse assiale e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica.

L'area di proiezione di riferimento $A_{p,N}^0$ così come mostrato nella figura seguente è pari a:

$A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np}$ è l'area di influenza dell'incollaggio di riferimento di un singolo ancorante;

$A_{p,N}$ è l'area di influenza effettiva, limitata dalla sovrapposizione delle aree degli ancoranti adiacenti ($s \leq s_{cr,Np}$) e dai bordi dell'elemento di calcestruzzo ($c \leq c_{cr,Np}$).

L'interasse caratteristico $s_{cr,Np}$ per assicurare la trasmissione della resistenza caratteristica del singolo ancorante è pari:

$$s_{cr,Np} = 7.3d \cdot (\psi_{sus} \tau_{Rk})^{0.5} \leq 3h_{ef}$$

Il valore di τ_{Rk} da considerare nel calcolo di $s_{cr,Np}$ è quello riferito a $\tau_{Rk,ucr}$ per calcestruzzo non fessurato C20/25.

La distanza dal bordo caratteristica per assicurare la trasmissione della resistenza caratteristica di un singolo ancorante chimico sotto carico di trazione in caso di rottura combinata del calcestruzzo e sfilamento, $c_{cr,Np}$, è pari a:

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

Il coefficiente $\psi_{g,Np}$ tiene conto di un effetto di gruppo per ancoranti chimici a distanza ravvicinata, ed è pari a:

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0.5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1$$

dove:

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}} \right)^{1.5} \geq 1$$

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}}$$

Il valore del coefficiente k_3 è pari a 7,7 per calcestruzzo fessurato e 11,0 per calcestruzzo non fessurato.

Il coefficiente $\psi_{s,Np}$ tiene conto della distorsione della distribuzione delle sollecitazioni nel calcestruzzo a causa della vicinanza di un bordo dell'elemento in calcestruzzo. Per fissaggi con varie distanze dal bordo, si deve inserire la distanza minima dal bordo c nella seguente relazione:

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1$$

Il calcolo del fattore $\psi_{re,N}$ è uguale al caso della rottura conica.

Il fattore $\psi_{ec,Np}$ tiene conto di un effetto di gruppo quando diversi carichi di trazione agiscono sui singoli ancoranti di gruppo, ed è pari a:

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

Rottura per splitting del calcestruzzo

La rottura per splitting del calcestruzzo durante l'installazione è evitata rispettando i valori minimi di distanza dal bordo c_{min} , di interasse s_{min} , di spessore dell'elemento h_{min} e i requisiti per l'armatura indicati nella pertinente Specifica tecnica di prodotto europea.

Non è richiesta alcuna verifica se è soddisfatta almeno una delle condizioni seguenti:

La distanza dal bordo in tutte le direzioni è $c \geq 1.0 c_{cr,sp}$ per singoli ancoranti e $c \geq 1.2 c_{cr,sp}$ per gruppi di ancoranti e lo spessore dell'elemento è $h \geq h_{min}$ in entrambi i casi, con h_{min} corrispondente a $c_{cr,sp}$.

Le resistenze caratteristiche per la rottura del cono di calcestruzzo e la rottura per sfilamento (ancoranti meccanici muniti di testa e post-inseriti) o la rottura combinata del calcestruzzo e sfilamento (di ancoranti chimici) sono calcolate per il calcestruzzo fessurato e l'armatura resiste alle forze di splitting limitando l'ampiezza della fessura a $w_k \leq 0.3$ mm.

Rottura per blow-out del calcestruzzo

La verifica della rottura per blow-out del calcestruzzo è richiesta nel caso di ancoranti a piolo e per gli ancoranti meccanici sottosquadro post-inseriti.

6.2 Verifiche per la modalità di rottura a taglio (o scorrimento)

Lo scorrimento del cordolo a seguito del distacco dalla soletta per effetto dell'urto del veicolo in svio è inibito dai connettori che, in tale condizione di carico, esibiscono la loro resistenza "a taglio".

Per effetto delle sollecitazioni di taglio nei connettori possono verificarsi quattro differenti meccanismi di rottura:

Rottura a taglio puro (rottura lato acciaio): si verifica per tranciamento del connettore;

Rottura a taglio e flessione (rottura lato acciaio): si verifica in presenza di azioni eccentriche per flessione e tranciamento del connettore;

Rottura del bordo (rottura lato calcestruzzo): si verifica quando la distanza del connettore dal bordo del manufatto in cui è inserito è insufficiente, ovvero in presenza di conglomerato di cattiva qualità;
Rottura per pry-out (rottura lato calcestruzzo): si verifica quando il connettore scelto è inadeguato (elevata rigidità rispetto alla matrice) ovvero in presenza di conglomerato di cattiva qualità.

Di seguito si riporta la Tabella 7.2 della norma UNI EN 1992-4 in cui sono mostrate le verifiche nel caso di modalità di rottura a taglio.

	Modalità di rottura	Singolo ancorante	Gruppo di ancoranti	
			Ancorante più caricato	Gruppo
1	Rottura dell'acciaio dell'ancorante senza braccio di leva	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
2	Rottura dell'acciaio dell'ancorante con braccio di leva	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}}$	
3	Rottura per pry-out del calcestruzzo	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^a \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$ a)
4	Rottura del bordo di calcestruzzo	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^a \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
5	Rottura dell'acciaio dell'armatura supplementare ^{b)}	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	
6	Rottura dell'ancoraggio dell'armatura supplementare ^{b)}	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$	

a) Per le eccezioni, vedere punto 7.2.2.4 (4).
b) La forza di trazione che agisce sull'armatura è calcolata da V_{Ed} secondo la formula (6.6).

Fig. 6.4– Verifiche richieste per ancoranti per taglio (da UNI 1992-4, Tabella 7.2)

Rottura per taglio senza carico di leva

In accordo a quanto riportato al §7.2.2.3 della norma UNI EN 1992-4, la resistenza caratteristica di un ancorante in caso di rottura dell'acciaio $V_{Rk,s}^0$ è indicata nella pertinente Specifica tecnica di prodotto europea.

Tuttavia per un singolo ancorante realizzato in acciaio al carbonio senza inserto nella sezione sottoposta a taglio (barra filettata) e senza riduzione significativa della sezione trasversale lungo la sua lunghezza totale $V_{Rk,s}^0$ può essere calcolata come segue:

$$V_{Rk,s}^0 = k_6 \cdot A_s \cdot f_{uk}$$

Dove:

$k_6=0.6$ per $f_{uk} \leq 500$ N/mm²

$k_6=0.5$ per 500 N/mm² < $f_{uk} \leq 1000$ N/mm²

Per ancoranti con un rapporto $h_{ef}/d < 5$ e una classe di resistenza a compressione del calcestruzzo < C20/25, la resistenza caratteristica $V_{Rk,s}^0$ dovrebbe essere moltiplicata per un fattore di 0.8.

Rottura per pry-out del calcestruzzo

Gli ancoranti possono rompersi a causa di una rottura per pry-out del calcestruzzo sul lato opposto alla direzione di carico. Può verificarsi anche una rottura per sfilamento a causa di una forza di trazione introdotta negli ancoranti mediante il carico di taglio. La forza di trazione è causata dall'eccentricità tra la forza di taglio applicata e la risultante della resistenza del calcestruzzo.

La resistenza meccanica $V_{Rk,cp}$ può essere calcolata secondo la relazione:

per fissaggi senza armatura supplementare:

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot N_{Rk,c}$$

per fissaggi con armatura supplementare:

$$V_{Rk,cp} = 0.75 \cdot k_8 \cdot N_{Rk,c}$$

dove:

k_8 è un fattore da prendere dalla pertinente Specifica tecnica di prodotto europea;

$N_{Rk,c}$ è determinato secondo il p.to 7.2.1.4 della norma UNI 1992-4 per un singolo ancorante o per tutti gli ancoranti in un gruppo caricati a taglio.

Rottura del bordo di calcestruzzo

In accordo a quanto riportato al §7.2.2.5 della norma UNI EN 1992-4, la resistenza caratteristica di un gruppo di ancoranti $V_{Rk,c}$ o di un gruppo di ancoranti caricati verso il bordo è pari a:

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

Per tale verifica si utilizzano solo gli ancoranti più vicini al bordo di calcestruzzo. Il valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante caricato perpendicolarmente al bordo è pari a:

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5}$$

con:

$k_9 = 1.7$ per calcestruzzo fessurato;

$k_9 = 2.4$ per calcestruzzo non fessurato;

$$\alpha = 0.1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0.5};$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0.2};$$

$l_f = h_{ef}$ in caso di diametro uniforme del gambo dell'ancorante munito di testa e di un diametro uniforme dell'ancorante post-inserito:

$\leq 12 d_{nom}$ in caso di $d_{nom} \leq 24$ mm

$\leq \max\{8 d_{nom}; 300 \text{ mm}\}$ in caso di $d_{nom} > 24$ mm

Progetto Esecutivo

I valori di d_{nom} e l_f sono indicati nella pertinente Specifica tecnica di prodotto europea.

Il rapporto $A_{c,V}/A_{c,V}^0$ tiene conto dell'effetto geometrico dell'interasse e di ulteriori distanze dai bordi e dell'effetto dello spessore dell'elemento di calcestruzzo sulla resistenza caratteristica.

In questo caso $A_{c,V}^0$ è l'area di proiezione di riferimento e, in accordo alla figura seguente, è pari a:

$$A_{c,V} = 4.5 \cdot c_1^2$$

dove:

$A_{c,V}$ è l'area del corpo di rottura di calcestruzzo idealizzato, limitata dai coni di calcestruzzo sovrapposti degli ancoranti adiacenti ($s \leq 3 c_1$), nonché dai bordi paralleli alla direzione di carico assunta ($c_2 \leq 1.5 c_1$) e dallo spessore dell'elemento ($h < 1.5 c_1$).

RTI di progettazione:



Mandataria

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it



Mandante

Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

7. Verifiche di resistenza del cordolo

Il cordolo è stato progettato per:

Sollecitazioni torsionali per effetto del momento indotto dall'urto;

Verifica della tensione tangenziale agente su calcestruzzi gettati in tempi diversi in accordo alla norma UNI EN 1992-1-1;

Verifica allo *shear friction* in accordo al Model Code 2010.

In accordo a quanto riportato nelle NTC 2018, la verifica a torsione di elementi strutturali dotati di armatura trasversale è condotta secondo quanto riportato al §4.1.2.3.6. Per tale verifica l'altezza di calcolo del momento torcente è stata posta pari a 1,25 m (distanza tra l'altezza della forza di urto e la linea mediana del cordolo).

7.1 Verifiche a taglio

Secondo le NTC2018 la resistenza a taglio di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata in conformità alla schematizzazione a traliccio ideale i cui elementi resistenti sono le armature trasversali e longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. La verifica di resistenza (SLU) si considera soddisfatta se:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

In cui:

V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente;

V_{Rd} è la resistenza di calcolo a taglio della trave, calcolata come valore minimo di V_{Rsd} e V_{Rcd} ;

V_{Rsd} è la resistenza a "taglio trazione" calcolabile come segue:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$$

V_{Rcd} è la resistenza a "taglio compressione" calcolabile come segue:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(ctg\alpha + ctg\theta)}{(1 + ctg^2)}$$

Nelle precedenti relazioni:

A_{sw} : area armatura trasversale;

b_w : larghezza minima della sezione;

s : interasse armature trasversali;

α : angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

θ : inclinazione dei puntoni in calcestruzzo, tale che $1.0 \leq \cot\theta \leq 2.5$;

f_{yd} : resistenza di calcolo allo snervamento dell'acciaio;

- f'_{cd} : resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima, calcolabile come $0.5f_{cd}$;
 f_{cd} resistenza di calcolo a compressione calcolabile come $\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c$;
 d altezza utile della sezione;
 α_c coefficiente maggiorativo (unitario per membrature non compresse, quali il cordolo).

7.2 Verifiche a torsione

Secondo le NTC2018 la verifica a torsione di elementi strutturali dotati di armatura trasversale si considera soddisfatta se:

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

In cui

T_{Ed} è il valore di calcolo del momento torcente agente;

T_{Rd} è la resistenza a torsione della trave, calcolabile come $\min(T_{Rsd}, T_{Rld}, T_{Rcd})$;

T_{Rsd} è la resistenza di calcolo a torsione determinata dalla presenza delle staffe, calcolabile come:

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

T_{Rld} è la resistenza di calcolo a torsione determinata dalla presenza dell'armatura longitudinale, calcolabile come:

$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_l}{u_m} \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

T_{Rcd} è la resistenza di calcolo a torsione determinata dalla presenza del calcestruzzo, calcolabile come:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \frac{ctg\theta}{(1 + ctg2\theta)}$$

Nelle precedenti relazioni:

- A area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;
 A_s area armatura trasversale;
 s interasse armature trasversali;
 f_{yd} resistenza di calcolo allo snervamento dell'acciaio;
 θ inclinazione dei puntoni in calcestruzzo, tale che $0.4 \leq \cot\theta \leq 2.5$;
 A_l area armatura di parete;
 u_m perimetro medio del nucleo resistente;
 t spessore della sezione cava;

(per sezioni piene $t=A_c/u$ dove A_c è l'area della sezione ed u è il suo perimetro, con t pari ad almeno il doppio della distanza tra il bordo ed il centro dell'armatura longitudinale);

- f'_{cd} : resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima, calcolabile come $0.5f_{cd}$;
 f_{cd} resistenza di calcolo a compressione calcolabile come $\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c$.

8. Risultati delle verifiche

Nel seguente capitolo si riportano i risultati delle verifiche condotte sulla connessione del cordolo alla soletta e sulle verifiche di resistenza del cordolo.

8.1 Verifica di connessione del cordolo alla soletta

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche condotte sulla connessione del cordolo alla soletta.

Verifica cordolo esistente

Caratteristiche dei materiali, geometria del cordolo, armature disposte e definizione delle azioni

Caratteristiche del calcestruzzo soletta esistente

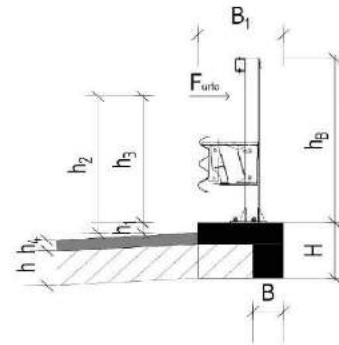
f_{cd} [MPa] 16,60 resistenza cilindrica al valore caratteristico

Caratteristiche del calcestruzzo cordolo

classe C32/40 classe di resistenza del calcestruzzo
 f_{ck} [MPa] 33,20 resistenza cilindrica al valore caratteristico
 f_{cd} [MPa] 28,22 resistenza cilindrica al valore di calcolo
 f_{ctk} [MPa] 2,17 resistenza caratteristica a trazione
 η_1 1,00 coefficiente che tiene conto delle condizioni di aderenza (cfr 4.1.2.1.1.4 NTC2018)
 η_2 1,00 coefficiente che tiene conto del diametro delle barre (cfr 4.1.2.1.1.4 NTC2018)
 f_{sk} [MPa] 4,88 resistenza tangenziale di aderenza caratteristica
 f_{sd} [MPa] 4,88 resistenza tangenziale di aderenza di calcolo

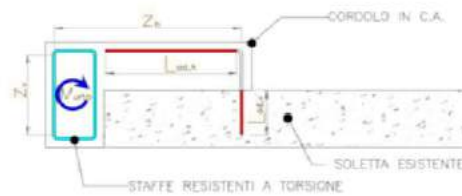
Geometria del cordolo

B [cm] 25 larghezza inferiore cordolo
 B_1 [cm] 75 larghezza superiore cordolo
H [cm] 41 altezza cordolo
 h_B [cm] 100 altezza totale della barriera
 h_1 [cm] 7 quota estradosso cordolo rispetto al piano strada
 h_2 [cm] 97 distanza tra punto di applicazione e piano strada
 h_3 [cm] 90 distanza tra punto di applicazione ed estradosso cordolo
 h_4 [cm] 11 distanza piano strada esistente-soletta esistente
h [cm] 20 altezza soletta esistente
i [cm] 150 interasse montanti
 c_{nasa} [mm] 30 copriferro adottato
b [cm] 27 larghezza piastra di base della barriera
d [cm] 32 distanza armatura di ancoraggio dal baricentro della piastra
 $L_{diff,v}$ [cm] 63 lunghezza di diffusione verticale dei carichi
 $L_{diff,h}$ [cm] 127 lunghezza di diffusione orizzontale dei carichi



Caratteristiche delle armature ancorate

Tipologia Post-inseriti tipologia ancoraggi
 ϕ [mm] 16 diametro dell'armatura di ancoraggio
p [cm] 20 passo dell'armatura di ancoraggio
c [cm] 4,3 copriferro di calcolo delle staffe
 Z_h [cm] 66,4 dimensione caratteristica (v. figura)
 Z_v [cm] 32,4 dimensione caratteristica (v. figura)
 $L_{ad,v}$ [cm] 20 lunghezza di ancoraggio barra post-installata
Verifica I_{anc} OK
 $L_{ad,h}$ [cm] 62 lunghezza di ancoraggio dentro il cordolo
n 6,35 numero di barre riferita alla lunghezza di diffusione orizzontale delle azioni



Azioni di progetto

critero: Assunzione per la forza di impatto del valore caratteristico indicato del quaderno ANAS
 F_k [kN] 100,0 Forza di impatto valore caratteristico
coeff. F 1 Coeff. ampl. da UNI EN 1991-2 p.to 4.7.3.3. (2)
F [kN] 100,0 Forza di impatto valore caratteristico amplificato cfr 4.7.3.3 (2) UNI EN 1991-2
A 1 coefficiente di amplificazione dei carichi
 V_{Ed} [kN] 100,0 sforzo di taglio agente
 T_{Ed} [kNm] 110,5 momento torcente agente
 N_{lito} [kN] 166,4 sforzo di trazione sull'armatura di ancoraggio provocato dal momento torcente
 N_{Ed} [kN] 26,2 sforzo di trazione agente sulla singola barra
 V_{Ed} [kN] 15,7 sforzo di taglio sulla singola barra

F_k [kN] = 100

Verifica dell'ancoraggio in trazione

Verifica a trazione dell'armatura di ancoraggio (§7.2.1.3 UNI EN 1992-4)

$N_{Rk,s}$ [kN]	108,57	resistenza caratteristica a trazione per rottura dell'acciaio
γ_{Ms}	1,26	coefficiente di sicurezza parziale per rottura a trazione dell'acciaio
$N_{Rd,s}$ [kN]	86,17	resistenza di calcolo a trazione per rottura dell'acciaio
$FS=R_d/E_d$	3,29	

Rottura del cono di calcestruzzo (§7.2.1.4 UNI EN 1992-4)

h_{ef} [cm]	20	affondamento effettivo
$s_{cr,N}$ [cm]	60	interasse minimo necessario al pieno sviluppo della resistenza a trazione
Coni interferenti		
$s_{cr,d}$ [cm]	20	interasse longitudinale di calcolo
$c_{cr,N}$ [cm]	30	distanza minima dal bordo per il corretto sviluppo del meccanismo di pull-out
c_1 [cm]	65	distanza dell'ancoraggio dal bordo della soletta esistente
Ancoraggio lontano dal bordo		

Calcestruzzo fessurato

k_1	7,7	coefficiente §7.2.1.4(2)
$N_{Rk,c}^0$ [kN]	88,73	resistenza caratteristica del singolo ancorante posato nel calcestruzzo
$A_{c,N}^0$ [cm ²]	3600,00	area di proiezione di riferimento
$A_{c,N}$ [cm ²]	1200,00	area di proiezione effettiva
$A_{c,N}/A_{c,N}^0$	0,33	
$\psi_{s,N}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti di bordo
$\psi_{re,N}$	1,00	coefficiente che tiene conto della presenza di armatura nella soletta esistente
$\psi_{ec,N}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti dell'eccentricità del carico
$\psi_{m,N}$	1,00	coefficiente che tiene conto di una forza di compressione dovuta al momento flettente nella soletta
$N_{Rk,c}$ [kN]	29,58	resistenza a trazione caratteristica in caso di rottura del cono di calcestruzzo
γ_{Mc}	1,00	coefficiente di sicurezza parziale per rottura del cono di calcestruzzo
$N_{Rd,c}$ [kN]	29,58	resistenza a trazione di calcolo in caso di rottura del cono di calcestruzzo
$FS=R_d/E_d$	1,13	

Rottura per splitting (§7.2.1.7 UNI EN 1992-4)

h_{min} [cm]	30,0	spessore minimo dell'elemento assunto pari a $c_{cr,sp}$ secondo p.to 7.2.1.7(2) b) 1)
$c_{cr,sp}$ [cm]	30	assunto pari a $c_{cr,N}$ come indicato dal quaderno di progettazione ANAS
$s_{cr,sp}$ [cm]	60,0	assunto pari a $s_{cr,sp}$ come indicato dal quaderno di progettazione ANAS
$\psi_{h,sp}$	2,00	coefficiente che tiene conto dell'influenza dello spessore soletta sulla resistenza a fessurazione degli ancoranti
$N_{Rk,sp}$ [kN]	59,16	resistenza a trazione caratteristica dell'ancoraggio in caso di rottura per splitting del calcestruzzo
γ_{Msp}	1,00	coefficiente di sicurezza parziale in caso di rottura per splitting del calcestruzzo
$N_{Rd,sp}$ [kN]	59,16	resistenza a trazione di calcolo dell'ancoraggio in caso di rottura per splitting del calcestruzzo
$FS=R_d/E_d$	2,26	

Rottura combinata sfilamento/cono di calcestruzzo (§7.2.1.6 UNI EN 1992-4)

Calcestruzzo	fessurato	
τ_{Rk} [MPa]	8,00	res. di adesione da reperire nella specifica tecnica di prodotto europea (secondo §7.2.1.6 (2) UNI EN 1992-4)
α_{SUS}	0,00	rapporto tra il valore delle azioni sostenute e il valore delle azioni totali considerate allo SLU
ψ_{SUS}^0	0,60	se non indicato nella specifica tecnica di prodotto europea (secondo §7.2.1.6 (2) UNI EN 1992-4)
ψ_{SUS}	1,00	
$N_{FR,d}^0$ [kN]	80,42	resistenza caratteristica in caso di rottura per sfilamento senza effetti di bordo e di gruppo
$s_{cr,Np}$ [cm]	33,0	interasse minimo necessario al pieno sviluppo della resistenza a trazione della singola armatura
Coni interferenti		
$s_{cr,Nd}$ [cm]	20,0	interasse di calcolo
$c_{cr,Np}$ [cm]	16,5	distanza minima dal bordo per il corretto meccanismo di pull-out
Ancoraggio lontano dal bordo		
$A_{o,N}$ [cm ²]	1091,38	area di calcestruzzo di un ancorante che non tiene conto degli effetti di bordo e di interasse
$A_{p,N}^0$ [cm ²]	660,72	area effettiva di calcestruzzo di un ancorante
$A_{o,N}/A_{p,N}^0$	0,61	coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'interasse e della distanza dal bordo sulla res. caratteristica
$\psi_{s,Np}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti di bordo
$\psi_{ec,Nd}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti dell'eccentricità del carico
$\psi_{re,Np}$	1,00	coefficiente che tiene conto della presenza di armatura nella soletta esistente
k_B	7,7	coefficiente (secondo §7.2.1.6 (4) UNI EN 1992-4)
$\tau_{Rk,c}$ [MPa]	8,83	resistenza caratteristica di adesione (secondo §7.2.1.6 (4) UNI EN 1992-4)
n	1	numero di ancoranti che lavorano in gruppo
$\psi_{d,Nd}^0$	1,00	coefficiente (secondo §7.2.1.6 (4) UNI EN 1992-4)
$\psi_{g,Np}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti di gruppo
$N_{FR,d}$ [kN]	48,69	resistenza a trazione caratteristica in caso di rottura combinata sfilamento/cono di rottura
$\gamma_{M,p}$	1,00	coefficiente di sicurezza parziale per rottura combinata pull-out/cono del calcestruzzo
$N_{Rd,p}$ [kN]	48,69	resistenza a trazione di calcolo in caso di rottura combinata sfilamento/cono di rottura
$FS=R_d/E_d$	1,86	

Verifica dell'ancoraggio a taglio-scorrimento

Rottura dell'acciaio per taglio senza braccio di leva (§7.2.2.3.1 UNI EN 1992-4)

k_B	0,5	
$V_{FR,s}$ [kN]	54,29	resistenza a taglio caratteristica senza braccio di leva in caso di rottura dell'acciaio
$\gamma_{M,s}$	1,30	coefficiente di sicurezza parziale per rottura a taglio dell'acciaio
$V_{Rd,s}$ [kN]	41,76	resistenza a taglio di calcolo senza braccio di leva in caso di rottura dell'acciaio
$FS=R_d/E_d$	2,65	

Rottura per pryout del calcestruzzo (§7.2.2.4 UNI EN 1992-4)

k_B	2	coefficiente ricavato dal relativo documento ETA
$V_{FR,cp}$ [kN]	59,16	resistenza a taglio caratteristica in caso di rottura per pryout del calcestruzzo
$\gamma_{M,c}$	1,00	coefficiente di sicurezza parziale in caso di rottura per pryout del calcestruzzo
$V_{Rd,cp}$ [kN]	59,16	resistenza a taglio di calcolo in caso di rottura per pryout del calcestruzzo
$FS=R_d/E_d$	3,76	

Progetto Esecutivo

Rottura del bordo di calcestruzzo (§7.2.2.5 UNI EN 1992-4)

Calcestruzzo	fessurato	
k_g	1,7	coefficiente
d_{nom} [mm]	18	di diametro del foro per l'inserimento della barra con ancorante (da reperire nella specifica europea)
l_r [mm]	200	lunghezza di riferimento (secondo §7.2.2.5 (6) UNI EN 1992-4)
α	0,06	coefficiente esponenziale in relazione alla lunghezza di riferimento
β	0,05	coefficiente esponenziale in relazione al diametro nominale
$V_{Rk,d}^0$ [kN]	174,50	resistenza a taglio in caso di rottura del bordo di calcestruzzo in assenza di effetti di bordo e di gruppo
$A_{c,v}^0$ [cm ²]	19012,50	area di calcestruzzo di un ancorante che non tiene conto degli effetti di bordo e di interesse
c_2 [cm]	97,5	distanza dell'armatura di ancoraggio dal bordo parallelo alla direzione di carico
$A_{c,v}$ [cm ²]	3900,00	area effettiva di calcestruzzo che tiene conto degli effetti di bordo e di interesse
$h \leq 1,5c_1$	verifica	
$s \leq 3c_1$	verifica	
$A_{c,v}/A_{c,v}^0$	0,21	coeff. che tiene conto dell'effetto dell'interesse e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica
$\Psi_{s,v}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti di bordo
$\Psi_{h,v}$	1,00	coeff. che tiene conto che la res. a taglio non diminuisce proporzionalmente allo spessore dell'elemento
$\Psi_{ec,v}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti dell'eccentricità del carico
α [°]	0	angolo tra il carico applicato V_{sd} e la direzione perpendicolare all'estremo libero dell'elemento di cls
$\Psi_{\alpha,v}$	1,00	coeff. che tiene conto che la res. a taglio non diminuisce proporzionalmente allo spessore dell'elemento
$\Psi_{re,v}$	1,00	coeff. che considera la posizione dell'ancorante in calcestruzzo fessurato o non fessurato
$V_{Rk,d}$ [kN]	35,80	resistenza a taglio caratteristica in caso di rottura del bordo di calcestruzzo
η_{Msc}	1,00	coefficiente di sicurezza parziale in caso di rottura del bordo di calcestruzzo
$V_{Rd,d}$ [kN]	35,80	resistenza a taglio di progetto in caso di rottura del bordo di calcestruzzo
$FS=R_d/E_d$	2,27	

Verifica combinata taglio-trazione

Secondo §7.2.3.1 Uni EN 1992-4 - prospetto 7.3

$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}}\right)^2 \leq 1$	0,235 resistenza per rottura dell'acciaio
$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,t}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,t}}\right)^{1,5} \leq 1$	0,971 resistenza in caso di rottura del cono di calcestruzzo
$\left(\frac{V_{Ed}}{N_{Rd,t}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,t}}\right)^{1,5} \leq 1$	0,432 resistenza dell'ancoraggio in caso di rottura per splitting del calcestruzzo

Riepilogo delle verifiche secondo UNI EN 1992-4

Tipologia di modalità	Modalità di rottura	$FS=R_d/E_d$
a trazione	Verifica a trazione dell'armatura di ancoraggio (§7.2.1.3 UNI EN 1992-4)	3,29
	Rottura del cono di calcestruzzo (§7.2.1.4 UNI EN 1992-4)	1,13
	Rottura per splitting (§7.2.1.7 UNI EN 1992-4)	2,26
	Rottura combinata sfilamento/cono di calcestruzzo (§7.2.1.6 UNI EN 1992-4)	1,86
a taglio	Rottura acciaio per taglio senza braccio di leva (§7.2.2.3.1 UNI EN 1992-4)	2,65
	Rottura per pryout del calcestruzzo (§7.2.2.4 UNI EN 1992-4) Rottura del bordo di calcestruzzo (§7.2.2.5 UNI EN 1992-4)	3,76 2,27
taglio-trazione	Resistenza per rottura dell'acciaio	0,23
	Resistenza in caso di rottura del cono di calcestruzzo	0,97
	Resistenza dell'ancoraggio in caso di rottura per splitting del calcestruzzo	0,43

8.2 Verifiche di resistenza del cordolo

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche condotte sul cordolo in calcestruzzo.

Lato dx - Verifica di connessione del cordolo alla soletta

A seguire sono riportati i risultati delle verifiche condotte sulla connessione del cordolo alla soletta.

RTI di progettazione:



Mandataria

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it



Mandante

Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

Caratteristiche dei materiali, geometria del cordolo, armature disposte e definizione delle azioni

Caratteristiche del calcestruzzo soletta esistente

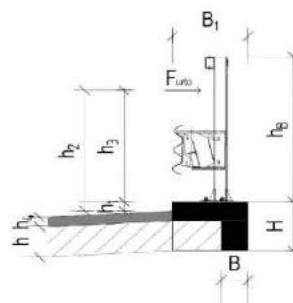
f_{cd} [MPa] 30,96 resistenza cilindrica al valore caratteristico

Caratteristiche del calcestruzzo cordolo

classe C35/45 classe di resistenza del calcestruzzo
 f_{ik} [MPa] 37,35 resistenza cilindrica al valore caratteristico
 f_{cd} [MPa] 31,75 resistenza cilindrica al valore di calcolo
 f_{ctk} [MPa] 2,35 resistenza caratteristica a trazione
 η_1 1,00 coefficiente che tiene conto delle condizioni di aderenza (cfr 4.1.2.1.1.4 NTC2018)
 η_2 1,00 coefficiente che tiene conto del diametro delle barre (cfr 4.1.2.1.1.4 NTC2018)
 f_{tk} [MPa] 5,28 resistenza tangenziale di aderenza caratteristica
 f_{td} [MPa] 5,28 resistenza tangenziale di aderenza di calcolo

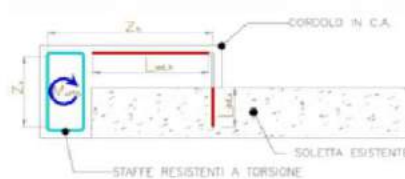
Geometria del cordolo

B [cm] 30 larghezza inferiore cordolo
 B_1 [cm] 70 larghezza superiore cordolo
 H [cm] 50 altezza cordolo
 h_B [cm] 150 altezza totale della barriera
 h_1 [cm] 1 quota estradosso cordolo rispetto al piano strada
 h_2 [cm] 100 distanza tra punto di applicazione e piano strada
 h_3 [cm] 99 distanza tra punto di applicazione ed estradosso cordolo
 h_4 [cm] 25 distanza piano strada esistente-soletta esistente
 h [cm] 20 altezza soletta esistente
 i [cm] 125 interasse montanti
 c_{assa} [mm] 30 copriferro a dattolo
 b [cm] 30 larghezza piastra di base della barriera
 d [cm] 30 distanza armatura di ancoraggio dal baricentro della piastra
 $L_{diff,v}$ [cm] 82 lunghezza di diffusione verticale dei carichi
 $L_{diff,h}$ [cm] 125 lunghezza di diffusione orizzontale dei carichi



Caratteristiche delle armature ancorate

Tipologia Post-inseriti tipologia ancoraggi
 \varnothing [mm] 20 diametro dell'armatura di ancoraggio
 p [cm] 30 passo dell'armatura di ancoraggio
 c [cm] 6,0 copriferro di calcolo delle staffe
 Z_x [cm] 58,0 dimensione caratteristica (v. figura)
 Z_y [cm] 38,0 dimensione caratteristica (v. figura)
 $L_{ad,v}$ [cm] 18 lunghezza di ancoraggio barra post-installata
 Verifica I_{anc} OK
 $L_{ad,h}$ [cm] 49 lunghezza di ancoraggio dentro il cordolo
 n 4,17 numero di barre riferita alla lunghezza di diffusione orizzontale delle azioni



Azioni di progetto

critero: Assunzione per la forza di impatto del valore caratteristico indicato del quaderno ANAS F_u [kN] = 100
 F_k [kN] 100,0 Forza di impatto valore caratteristico
 coeff. F 1 Coeff. ampl. da UNI EN 1991-2 p.to 4.7.3.3. (2)
 F [kN] 100,0 Forza di impatto valore caratteristico amplificato cfr 4.7.3.3 (2) UNI EN 1991-2
 A 1 coefficiente di amplificazione dei carichi
 V_{Ed} [kN] 100,0 sforzo di taglio agente
 T_{Ed} [kNm] 124,0 momento torcente agente
 N_{sdo} [kN] 213,8 sforzo di trazione sull'armatura di ancoraggio provocato dal momento torcente
 N_{Ed} [kN] 51,3 sforzo di trazione agente sulla singola barra
 V_{Ed} [kN] 24,0 sforzo di taglio sulla singola barra

Verifica dell'ancoraggio in trazione

Verifica a trazione dell'armatura di ancoraggio (§7.2.1.3 UNI EN 1992-4)

$N_{Rd,s}$ [kN] 169,65 resistenza caratteristica a trazione per rottura dell'acciaio
 $\gamma_{R,s}$ 1,26 coefficiente di sicurezza parziale per rottura a trazione dell'acciaio
 $N_{Rd,s}$ [kN] 134,64 resistenza di calcolo a trazione per rottura dell'acciaio
 $FS=R_d/E_d$ 2,62

Progetto Esecutivo

$V_{Rk,s}$ [kN]	84,82	resistenza a taglio caratteristica senza braccio di leva in caso di rottura dell'acciaio
γ_{Me}	1,30	coefficiente di sicurezza parziale per rottura a taglio dell'acciaio
$V_{Rd,s}$ [kN]	65,25	resistenza a taglio di calcolo senza braccio di leva in caso di rottura dell'acciaio
$FS=R_d/E_d$	2,72	

Rottura per pryout del calcestruzzo (§7.2.2.4 UNI EN 1992-4)

k_g	2	coefficiente ricavato dal relativo documento ETA
$V_{Rk,op}$ [kN]	114,96	resistenza a taglio caratteristica in caso di rottura per pryout del calcestruzzo
γ_{Me}	1,00	coefficiente di sicurezza parziale in caso di rottura per pryout del calcestruzzo
$V_{Rd,op}$ [kN]	114,96	resistenza a taglio di calcolo in caso di rottura per pryout del calcestruzzo
$FS=R_d/E_d$	4,79	

Rottura del bordo di calcestruzzo (§7.2.2.5 UNI EN 1992-4)

Calcestruzzo	fessurato	
k_g	1,7	coefficiente
d_{nom} [mm]	22	di diametro del foro per l'inserimento della barra con ancorante (da reperire nella specifica europea)
l_r [mm]	180	lunghezza di riferimento (secondo §7.2.2.5 (6) UNI EN 1992-4)
α	0,05	coefficiente esponenziale in relazione alla lunghezza di riferimento
β	0,05	coefficiente esponenziale in relazione al diametro nominale
$V_{Rk,c}$ [kN]	240,11	resistenza a taglio in caso di rottura del bordo di calcestruzzo in assenza di effetti di bordo e di gruppo
$A_{c,v}^0$ [cm ²]	19012,50	area di calcestruzzo di un ancorante che non tiene conto degli effetti di bordo e di interesse
c_2 [cm]	97,5	distanza dell'armatura di ancoraggio dal bordo parallelo alla direzione di carico
$A_{c,v}$ [cm ²]	3900,00	area effettiva di calcestruzzo che tiene conto degli effetti di bordo e di interesse
$h \leq 1,5 c_1$	verifica	
$s \leq c_1$	verifica	
$A_{c,v}/A_{c,v}^0$	0,21	coeff. che tiene conto dell'effetto dell'interasse e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica
$\psi_{s,v}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti di bordo
$\psi_{h,v}$	1,00	coeff. che tiene conto che la res. a taglio non diminuisce proporzionalmente allo spessore dell'elemento
$\psi_{ec,v}$	1,00	coefficiente che tiene conto degli effetti dell'eccentricità del carico
α [°]	0	angolo tra il carico applicato V_{sd} e la direzione perpendicolare all'estremo libero dell'elemento di calcestruzzo
$\psi_{\alpha,v}$	1,00	coeff. che tiene conto che la res. a taglio non diminuisce proporzionalmente allo spessore dell'elemento
$\psi_{re,v}$	1,00	coeff. che considera la posizione dell'ancorante in calcestruzzo fessurato o non fessurato
$V_{Rk,c}$ [kN]	49,25	resistenza a taglio caratteristica in caso di rottura del bordo di calcestruzzo
γ_{Me}	1,00	coefficiente di sicurezza parziale in caso di rottura del bordo di calcestruzzo
$V_{Rd,c}$ [kN]	49,25	resistenza a taglio di progetto in caso di rottura del bordo di calcestruzzo
$FS=R_d/E_d$	2,05	

Verifica combinata taglio-trazione

Secondo §7.2.3.1 Uni EN 1992-4 - prospetto 7.3

$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}}\right)^2 \leq 1$	0,281 resistenza per rottura dell'acciaio
$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,c}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}}\right)^{1,5} \leq 1$	0,939 resistenza in caso di rottura del cono di calcestruzzo
$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,v}}\right)^{1,5} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,v}}\right)^{1,5} \leq 1$	0,394 resistenza dell'ancoraggio in caso di rottura per splitting del calcestruzzo

Riepilogo delle verifiche secondo UNI EN 1992-4

Tipologia di modalità	Modalità di rottura	$FS=R_d/E_d$
a trazione	Verifica a trazione dell'armatura di ancoraggio (§7.2.1.3 UNI EN 1992-4)	2,62
	Rottura del cono di calcestruzzo (§7.2.1.4 UNI EN 1992-4)	1,12
	Rottura per splitting (§7.2.1.7 UNI EN 1992-4)	2,24
	Rottura combinata sfilamento/cono di calcestruzzo (§7.2.1.6 UNI EN 1992-4)	1,28
a taglio	Rottura acciaio per taglio senza braccio di leva (§7.2.2.3.1 UNI EN 1992-4)	2,72
	Rottura per pryout del calcestruzzo (§7.2.2.4 UNI EN 1992-4)	4,79
	Rottura del bordo di calcestruzzo (§7.2.2.5 UNI EN 1992-4)	2,05

Verifiche di resistenza del cordolo

VERIFICA A TAGLIO DEL CORDOLO SUL PIANO ORIZZONTALE

Il taglio agente vale:

H= 100 kNm Valore di progetto forza totale
Ved= 50 kNm (=0,5*H)

VERIFICA A TAGLIO (CONFIGURAZIONE SENZA STAFFE)

bw= 250 mm Larghezza della sezione rettangolare
h= 410 mm Altezza sezione
d= 374 mm Altezza utile
Asl= 45,24 mm² Area armatura longitudinale tesa
ρ1= 0,00048 Rapporto geometrico di armatura longitudinale
k= 1,731
Vmin 0,285 MPa
σcp= 0,488 MPa Tensione tangenziale resistente
VRd= 21,879 Taglio resistente
Ved= 50,000 Taglio di progetto agente
FS= 0,438 non ver FS=Vrd/Ved

VERIFICA A TAGLIO (CONFIGURAZIONE CON STAFFE)

s= 100,000 mm Interasse staffe
Asw= 226,200 mm² Area armatura trasversale disponibile per il taglio
α= 90,000 Inclinazione delle staffe rispetto all'asse dell'elemento
ctgϑ= 1,000
τ= 0,802 MPa Tensione tangenziale al baricentro
σt= -0,802 MPa Tensione principale di trazione al baricentro
ctgϑ1= 1,000 τ/στ
ctgϑ= 1,000
ϑ= 45,000 DEG
αc= 1,000 Coefficiente maggiorativo per elementi compressi
VRsd= 86 kN
f_{cd}= 16 MPa Resistenza a compressione del cls ridotta
VRcd= 1346 kN
VRd= 86
Ved= 50
1,713 **Fs_taglio**

VERIFICA A TORSIONE DEL CORDOLO

Ai sensi del par 6.3.1 dello EC2 la resistenza torsionale della sezione a L può essere calcolata come la somma delle resistenze torsionali dei singoli elementi rettangolari che lo compongono

$$f_{ctd} = 32 \text{ Mpa}$$

$$f_{yd} = 450 \text{ Mpa}$$

Geometria della sezione

Rettangolo 1

h=	410 mm	Altezza della sezione rettangolare
b=	250 mm	Larghezza della sezione rettangolare
c=	50 mm	Copriferro
d=	354	Altezza utile della sezione $h-c-\phi/2$

Rettangolo 2

h=	500 mm	Altezza della sezione rettangolare
b=	180 mm	Larghezza della sezione rettangolare
c=	50 mm	Copriferro
d=	444	Altezza utile della sezione $h-c-\phi/2$

Calcolo a torsione del cordolo

Armatura trasversale che viene dedicata alla sola torsione

s=	100 mm	Passo staffe
As(1 ϕ)_torsione=	113,1 mm ²	Area di un braccio disponib per la torsione
Ac1=	90000 mm ²	Area rettangolo 2
u1=	1360 mm	Perimetro rettangolo 1
t1=	66 mm	Spessore della sezione cava ideale
um1=	1095 mm	Perimetro medio del nucleo resistente
A1=	63203 mm ²	Area racchiusa dalla fibra media del prof

Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza torsionale vale

$$T1_{Rsd} = 64,33 \text{ kN/m} \quad \text{NTC2018 [4.1.36]}$$

Resistenza del cls nel meccanismo combinato taglio-torsione

La resistenza di progetto a torsione pura, ovvero non penalizzata dalla presenza del taglio, calcolata con riferimento alle bielle compresse del cls vale:

$$T1_{Rcd_pura} = 268 \text{ kN/m}$$

La resistenza di progetto a torsione, tenendo conto della presenza del taglio, calcolata con riferimento alla rottura delle bielle compresse del cls vale:

$$TRcd = 258 \text{ kN/m}$$

Resistenza dell'armatura longitudinale nel meccanismo di torsione pura

$$Sa1 = 1131 \text{ mm}^2$$

Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza per torsione pura vale:

$$T_{rd} = 58,74 \text{ kNm}$$

Calcolo del momento torcente resistente di progetto

$$T_{rd} = 58,74 \text{ kNm} \quad \min (T_{rsd}; TRcd; TRld)$$

Verifica a torsione del cordolo

Il centro di taglio della sezione a L è individuato dal punto di intersezione degli assi mediani dei rettangoli che la compongono. I bracci di leva e le forze che generano la torsione valgono:

H=	100 kN	Valore di progetto forza totale
bl=	1,11 m	Braccio di leva con il centro di taglio
Tedi=	111 kNm	Momento torcente

Il momento torcente agente vale:

Ted=	55,5 kNm	
Trd/Ted=	1,06 VER	Fs_torsione

VERIFICA STAFFE

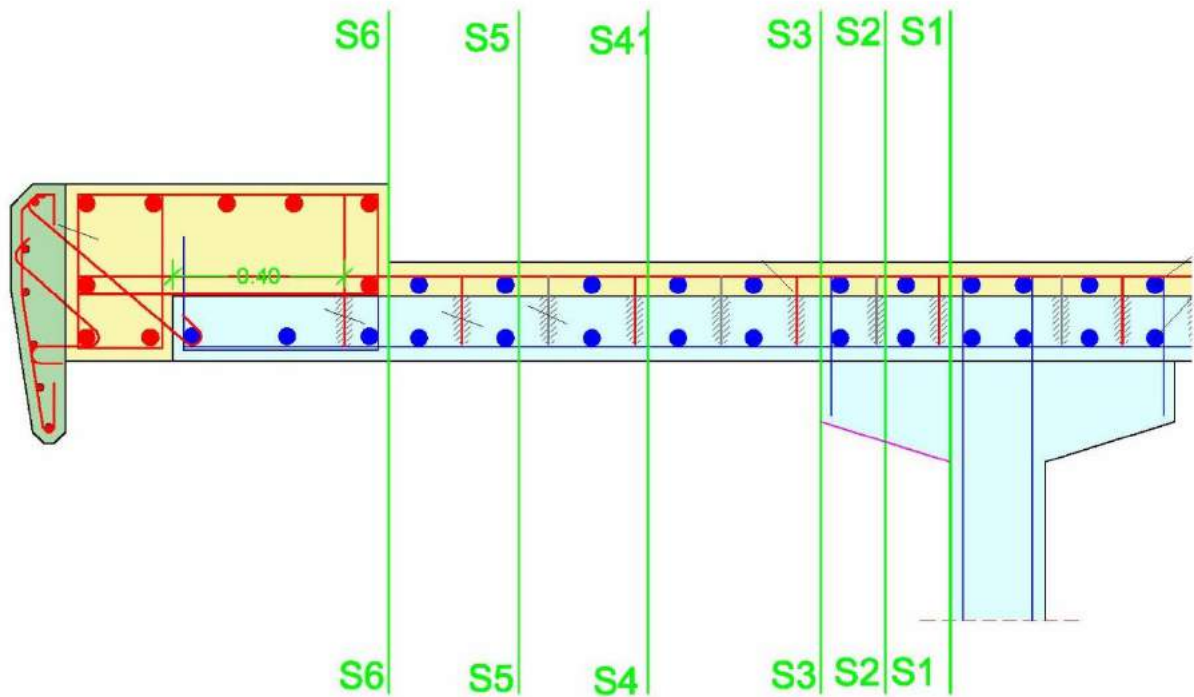
Verifica staffe (braccia orizzontali)

T _{eg} =	100 kN	Azione di taglio agente in soletta
B _{min} =	0,18 m	Larghezza minima superficie di rottura
dt=	0,36 m	Max distanza dei tasselli dal bordo cordolo
B _{max} =	0,90 m	Larghezza massima superficie di rottura
n _{st, cord} =	9 m	Numero staffe nel cordolo
A _{arm, l} =	1017,9 mm ²	Area staffe
T _R =	458 kN	Resistenza di calcolo
T _R /Tag=	4,58	Coefficiente di sicurezza

Verifica staffe (pull-out, braccia verticali)

i _{anc, T} =	0,23 m	Braccio forze interne
p _{st, cord} =	0,93 m	Distanza forza applicata - piastra di ancoraggio
T _d =	404 kN	Trazione dei tirafondi della barriera
B _{diff} =	0,68 m	Larghezza diffus sup di rottura
p _{st} =	10 cm	Passo staffe cordolo
n _{st} =	6,8	Num staffe sup di rottura
n _{st, tot} =	13,6	Num braccia totale
A _{arm, l} =	1523,2 mm ²	Area barre
T _r =	685,44 kN	Resistenza di calcolo
Tr/Ta=	1,70 >1 OK	Coeff di sicurezza

Verifica dell'armatura della soletta



Progetto Esecutivo

largh sup cordolo	0,75	m
largh inf cordolo	0,25	m
altezza cordolo	0,41	m
spessore soletta	0,23	m
sviluppo soletta	1,00	m
sviluppo soletta zona trave	0,30	m
spess minimo trave	0,14	m
spess max trave	0,23	m
altezza pavimentazione	0,11	m
interasse paletti	1,25	m
svio	100	kN

Sezione S1	a [m]	b [m]	γ [nN/m ³]	T [kN/m]	br [m]	M [kNm]	N [kN]
Barriera stradale				1,00	1,68	1,68	
Veletta	0,57	0,044	25	0,63	2,07	1,30	
Cordolo 1	0,25	0,41	25	2,56	1,93	4,93	
Cordolo2	0,50	0,18	25	2,25	1,55	3,49	
Soletta	1,30	0,23	25	7,48	0,65	4,86	
Pavimentazione	1,30	0,11	24	3,43	0,65	2,23	
Trave cap car rettang	0,30	0,09	25	0,68	0,15	0,10	
Trave cap car triang	0,30	0,045	25	0,34	0,10	0,03	
Impronta mezzo				85,11	1,00	85,11	
Svio					1,14	90,80	80,00
				103,47		194,53	80,00

Progetto Esecutivo

Sezione S2	a [m]	b [m]	γ [nN/m ³]	T [kN/m]	br [m]	M [kNm]	N [kN]
Barriera stradale				1,00	1,53	1,53	
Veletta	0,57	0,044	25	0,63	1,92	1,21	
Cordolo 1	0,25	0,41	25	2,56	1,78	4,55	
Cordolo2	0,50	0,18	25	2,25	1,40	3,15	
Soletta	1,15	0,23	25	6,61	0,58	3,80	
Pavimentazione	1,15	0,11	24	3,04	0,58	1,75	
Trave cap car rettang	0,15	0,22	25	0,83	0,08	0,06	
Trave cap car triang	0,15	0,025	25	0,09	0,05	0,00	
Impronta mezzo				97,56	0,85	82,93	
Svio					1,14	90,80	80,00
TOTALE				114,57		189,77	80,00

Sezione S3	a [m]	b [m]	γ [nN/m ³]	T [kN/m]	br [m]	M [kNm]	N [kN]
Barriera stradale				1,00	1,38	1,38	
Veletta	0,57	0,044	25	0,63	1,77	1,11	
Cordolo 1	0,25	0,41	25	2,56	1,63	4,16	
Cordolo2	0,50	0,18	25	2,25	1,25	2,81	
Soletta	1,00	0,23	25	5,75	0,50	2,88	
Pavimentazione	1,00	0,11	24	2,64	0,50	1,32	
Trave cap car rettang	0,00	0,00	25	0,00	0,00	0,00	
Trave cap car triang	0,00	0	25	0,00	0,00	0,00	
Impronta mezzo				114,29	0,70	80,00	
Svio					1,14	90,80	80,00
TOTALE				129,12		184,46	80,00

Progetto Esecutivo

Sezione S4	a [m]	b [m]	γ [nN/m ³]	T [kN/m]	br [m]	M [kNm]	N [kN]
Barriera stradale				1,00	0,98	0,98	
Veletta	0,57	0,044	25	0,63	1,37	0,86	
Cordolo 1	0,25	0,41	25	2,56	1,23	3,14	
Cordolo2	0,50	0,18	25	2,25	0,85	1,91	
Soletta	0,60	0,23	25	3,45	0,30	1,04	
Pavimentazione	0,60	0,11	24	1,58	0,30	0,48	
Trave cap car rettang	0,00	0,00	25	0,00	0,00	0,00	
Trave cap car triang	0,00	0	25	0,00	0,00	0,00	
Impronta mezzo				210,53	0,30	63,16	
Svio					1,14	90,80	80,00
TOTALE				222,00		162,35	80,00

Sezione S5	a [m]	b [m]	γ [nN/m ³]	T [kN/m]	br [m]	M [kNm]	N [kN]
Barriera stradale				1,00	0,68	0,68	
Veletta	0,57	0,044	25	0,63	1,07	0,67	
Cordolo 1	0,25	0,41	25	2,56	0,93	2,37	
Cordolo2	0,50	0,18	25	2,25	0,55	1,24	
Soletta	0,30	0,23	25	1,73	0,15	0,26	
Pavimentazione	0,30	0,11	24	0,79	0,15	0,12	
Trave cap car rettang	0,00	0,00	25	0,00	0,00	0,00	
Trave cap car triang	0,00	0	25	0,00	0,00	0,00	
Impronta mezzo				153,85	0,15	23,08	
Svio					1,14	90,80	80,00
TOTALE				162,80		119,21	80,00

Progetto Esecutivo

Sezione S6	a [m]	b [m]	γ [nN/m ³]	T [kN/m]	br [m]	M [kNm]	N [kN]
Barriera stradale				1,00	0,38	0,38	
Veletta	0,57	0,044	25	0,63	0,77	0,48	
Cordolo 1	0,25	0,41	25	2,56	0,63	1,60	
Cordolo2	0,50	0,18	25	2,25	0,25	0,56	
Soletta	0,00	0,23	25	0,00	0,00	0,00	
Pavimentazione	0,00	0,11	24	0,00	0,00	0,00	
Trave cap car rettang	0,00	0,00	25	0,00	0,00	0,00	
Trave cap car triang	0,00	0	25	0,00	0,00	0,00	
Impronta mezzo				0,00	0,00	0,00	
Svio					1,14	151,33	133,33
TOTALE				6,44		154,36	133,33

VERIFICA SEZIONE S1

VERIFICA S.L.U (modalità verifica)

Unita' di misura delle forze: kN
 Unita' di misura delle lunghezze: m
 Tensioni espresse in: N/mm²
 Normativa: NTC-2018
 Versione: Edifici esistenti
 Tipologia: No minimi
 Rcm: 25.0
 fym: 450.0
 FC: 1.35

DATI GEOMETRICI, ARMATURE E SOLLECITAZIONI

Sezione tipo: Rettangolare piena
 Base: 1.000
 Altezza: 0.460

Armature superiori
 num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
 14 20.0 5.0

Armature inferiori
 num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
 2 6.0 5.0

Sforzo normale N: 80.000
 Momento flettente: -194.530
 Taglio: 103.470

VERIFICA MECCANISMI POTENZIALMENTE DUTTILI

fcdm: -15.4
 fydm: 333.3

Metodo di calcolo IR s.l.u. proporzionale a N, Mx, My
 Indice di resistenza allo s.l.u.: 0.39
 Campo di rottura della sezione: 3

Progetto Esecutivo

Sollecitazioni resistenti
Sforzo normale: 206.095
Momento flettente: -501.250

Distanza asse neutro
dal bordo compresso: 0.100

	Calcestruzzo		Acciaio	
	Tensioni	deformazioni(%)	Tensioni	deformazioni(%)
bordo superiore: Allungamento		1.26	333.33	1.09
bordo inferiore:	-15.37	-0.35	-333.33	-0.17

RISULTATI VERIFICA MECCANISMI FRAGILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd): 352.594
Indice di resistenza: 0.29

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd): 977.874
ctg(θ): 2.50
Indice di resistenza: 0.11

VERIFICA SEZIONE S2

VERIFICA S.L.U (modalità verifica)

Unita' di misura delle forze: kN
Unita' di misura delle lunghezze: m
Tensioni espresse in: N/mm²
Normativa: NTC-2018
Versione: Edifici esistenti
Tipologia: No minimi
Rcm: 25.0
fym: 450.0
FC: 1.35

DATI GEOMETRICI, ARMATURE E SOLLECITAZIONI

Sezione tipo: Rettangolare piena
Base: 1.000
Altezza: 0.420

Armature superiori
num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
14 20.0 5.0

Armature inferiori
num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
2 6.0 5.0

Sforzo normale N: 80.000
Momento flettente: -189.770
Taglio: 114.570

VERIFICA MECCANISMI POTENZIALMENTE DUTTILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Progetto Esecutivo

Metodo di calcolo IR s.l.u. proporzionale a N, Mx, My
Indice di resistenza allo s.l.u.: 0.42
Campo di rottura della sezione: 3

Sollecitazioni resistenti
Sforzo normale: 189.179
Momento flettente: -448.868

Distanza asse neutro
dal bordo compresso: 0.101

	Calcestruzzo		Acciaio	
	Tensioni	deformazioni (%)	Tensioni	deformazioni (%)
bordo superiore: Allungamento	1.10		333.33	0.93
bordo inferiore:	-15.37	-0.35	-333.33	-0.18

RISULTATI VERIFICA MECCANISMI FRAGILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd): 336.402
Indice di resistenza: 0.34

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd): 882.471
ctg(θ): 2.50
Indice di resistenza: 0.13

VERIFICA SEZIONE S3

VERIFICA S.L.U (modalità verifica)

Unita' di misura delle forze: kN
Unita' di misura delle lunghezze: m
Tensioni espresse in: N/mm²
Normativa: NTC-2018
Versione: Edifici esistenti
Tipologia: No minimi
Rcm: 25.0
fym: 450.0
FC: 1.35

DATI GEOMETRICI, ARMATURE E SOLLECITAZIONI

Sezione tipo: Rettangolare piena
Base: 1.000
Altezza: 0.230

Armature superiori
num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
14 20.0 5.0

Armature inferiori
num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)

Sforzo normale N: 80.000
Momento flettente: -184.460
Taglio: 129.120

VERIFICA MECCANISMI POTENZIALMENTE DUTTILI

fcdm: -15.4

Progetto Esecutivo

fydm: 333.3

Metodo di calcolo IR s.l.u. proporzionale a N, Mx, My
Indice di resistenza allo s.l.u.: 0.96
Campo di rottura della sezione: 3

Sollecitazioni resistenti
Sforzo normale: 82.898
Momento flettente: -191.191

Distanza asse neutro
dal bordo compresso: 0.110

	Calcestruzzo		Acciaio	
	Tensioni	deformazioni (%)	Tensioni	deformazioni (%)
bordo superiore: Allungamento		0.38	333.33	0.22
bordo inferiore:	-15.37	-0.35	-333.33	-0.19

RISULTATI VERIFICA MECCANISMI FRAGILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd): 224.349
Indice di resistenza: 0.58

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd): 429.310
ctg (θ): 2.50
Indice di resistenza: 0.30

VERIFICA SEZIONE S4

VERIFICA S.L.U (modalità verifica)

Unita' di misura delle forze: kN
Unita' di misura delle lunghezze: m
Tensioni espresse in: N/mm²
Normativa: NTC-2018
Versione: Edifici esistenti
Tipologia: No minimi
Rcm: 25.0
fym: 450.0
FC: 1.35

DATI GEOMETRICI, ARMATURE E SOLLECITAZIONI

Sezione tipo: Rettangolare piena
Base: 1.000
Altezza: 0.230

Armature superiori
num. barre φ (mm) copriferro (cm)
14 20.0 5.0

Armature inferiori
num. barre φ (mm) copriferro (cm)
Sforzo normale N: 80.000
Momento flettente: -162.350
Taglio: 222.000

Progetto Esecutivo

VERIFICA MECCANISMI POTENZIALMENTE DUTILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Metodo di calcolo IR s.l.u. proporzionale a N, Mx, My
Indice di resistenza allo s.l.u.: 0.85
Campo di rottura della sezione: 3

Sollecitazioni resistenti
Sforzo normale: 94.058
Momento flettente: -190.921

Distanza asse neutro
dal bordo compresso: 0.109

	Calcestruzzo		Acciaio	
	Tensioni	deformazioni (%)	Tensioni	deformazioni (%)
bordo superiore: Allungamento		0.39	333.33	0.23
bordo inferiore:	-15.37	-0.35	-333.33	-0.19

RISULTATI VERIFICA MECCANISMI FRAGILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd): 224.349
Indice di resistenza: 0.99

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd): 429.310
ctg(θ): 2.50
Indice di resistenza: 0.52

VERIFICA SEZIONE S5

VERIFICA S.L.U (modalità verifica)

Unita' di misura delle forze: kN
Unita' di misura delle lunghezze: m
Tensioni espresse in: N/mm²
Normativa: NTC-2018
Versione: Edifici esistenti
Tipologia: No minimi
Rcm: 25.0
fym: 450.0
FC: 1.35

DATI GEOMETRICI, ARMATURE E SOLLECITAZIONI

Sezione tipo: Rettangolare piena
Base: 1.000
Altezza: 0.230

Armature superiori
num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
14 20.0 5.0

Armature inferiori
num. barre ϕ (mm) copriferro (cm)
2 6.0 5.0

Sforzo normale N: 80.000
Momento flettente: -119.210

Progetto Esecutivo

Taglio: 162.800

VERIFICA MECCANISMI POTENZIALMENTE DUTTILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Metodo di calcolo IR s.l.u. proporzionale a N, Mx, My
Indice di resistenza allo s.l.u.: 0.63
Campo di rottura della sezione: 3

Sollecitazioni resistenti
Sforzo normale: 127.523
Momento flettente: -190.063

Distanza asse neutro
dal bordo compresso: 0.106

	Calcestruzzo		Acciaio	
	Tensioni	deformazioni (%)	Tensioni	deformazioni (%)
bordo superiore:	Allungamento	0.41	333.33	0.24
bordo inferiore:	-15.37	-0.35	-333.33	-0.19

RISULTATI VERIFICA MECCANISMI FRAGILI

fcdm: -15.4
fydm: 333.3

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd): 224.349
Indice di resistenza: 0.73

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd): 429.310
ctg(θ): 2.50
Indice di resistenza: 0.38

VERIFICA SEZIONE S5

VERIFICA S.L.U (modalità verifica)

Unita' di misura delle forze: kN
Unita' di misura delle lunghezze: m
Tensioni espresse in: N/mm²
Normativa: NTC-2018
Versione: Edifici esistenti
Tipologia: No minimi
Rcm: 25.0
fym: 450.0
FC: 1.35

DATI GEOMETRICI, ARMATURE E SOLLECITAZIONI

Sezione tipo: Rettangolare piena
Base: 1.000
Altezza: 0.230

Armature superiori
num. barre φ (mm) copriferro (cm)
14 20.0 5.0

Armature inferiori

Progetto Esecutivo

num. barre	ϕ (mm)	copriferro (cm)
2	6.0	5.0

Sforzo normale N:	133.330
Momento flettente:	-154.360
Taglio:	6.440

VERIFICA MECCANISMI POTENZIALMENTE DUTTILI

fcdm:	-15.4
fydm:	333.3

Metodo di calcolo IR s.l.u. proporzionale a N, Mx, My	
Indice di resistenza allo s.l.u.:	0.82
Campo di rottura della sezione:	3

Sollecitazioni resistenti	
Sforzo normale:	163.275
Momento flettente:	-189.063

Distanza asse neutro dal bordo compresso:	0.103
---	-------

	Calcestruzzo		Acciaio	
	Tensioni	deformazioni (%)	Tensioni	deformazioni (%)
bordo superiore:	Allungamento	0.43	333.33	0.26
bordo inferiore:	-15.37	-0.35	-333.33	-0.18

RISULTATI VERIFICA MECCANISMI FRAGILI

fcdm:	-15.4
fydm:	333.3

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd):	224.349
Indice di resistenza:	0.03

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd):	429.310
ctg(θ):	2.50
Indice di resistenza:	0.02