



REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA



PROVINCIA DI PORDENONE

COMUNE DI SAN GIORGIO DELLA RICHINVELDA

OGGETTO:

**MESSA IN SICUREZZA DELLE BARRIERE STRADALI IN
VIA R. FORTI E VIA DEL SOLE
PROGETTO ESECUTIVO**

COMMITTENTE:

COMUNE DI SAN GIORGIO DELLA RICHINVELDA

Via Richinvelda 15 - 33095 San Giorgio della Richinvelda

Responsabile Area Servizi Tecnici e Manutentivi Arch. CARLO ZILLI

TECNICO INCARICATO:

PROGETTISTA

ING. FABIO URBAN

VIA IPPOLITO NIEVO, 12 - 33033 CODROIPO (UD)

C.F. RBN FBA 75B14 L483X - P.IVA 02340620307

E-MAIL FABIO.URBAN@LIBERO.IT

CEL. 328 9598723



ELABORATO:

PE RLS 02

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Con giudizio motivato di accettabilità dei risultati

DATA: LUGLIO 2026

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

INDICE

1.	Illustrazione dell'opera	5
1.1	Committente	5
1.2	Ubicazione geografica e topografica	5
1.3	Stato di fatto e Analisi storico critica	5
1.4	Descrizione degli interventi	6
2.	Elenco normative di riferimento per la progettazione	8
2.1	Normativa di riferimento	8
3.	Criteri di verifica adottati	10
3.1	Criteri di analisi della sicurezza	10
3.2	Metodi di analisi e verifica delle strutture	10
3.3	Definizione delle azioni	11
3.4	Combinazione delle azioni	11
3.5	Metodologie di progetto e verifica delle membrature strutturali	12
4.	Materiali	14
4.1	Caratteristiche meccaniche dei materiali nuovi	14
4.2	Caratteristiche meccaniche dei materiali esistenti	15
4.3	Barriere di sicurezza	15
5.	Carichi di progetto	16
5.1	Analisi carichi gravitazionali	16
5.2	Carichi mobili stradali	16
5.3	Azioni della neve e vento	17
5.4	Azioni dovute al sisma	17
5.5	Azioni dovute agli urti	18
6.	Analisi e verifiche	20
6.1	Criteri di analisi strutturale e modellazione	20
6.2	Verifica ancoraggi della barriera	21

6.3	Verifica cordolo in c.a.	29
7.	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati	31

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

1. Illustrazione dell'opera

1.1 Committente

COMUNE DI SAN GIORGIO DELLA RICHINVELDA

Via Richinvelda 15 - 33095 San Giorgio della Richinvelda

Responsabile Area Servizi Tecnici e Manutentivi Arch. CARLO ZILLI

1.2 Ubicazione geografica e topografica

Gli interventi in progetto interessano due distinti attraversamenti di corsi d'acqua ubicati nel territorio comunale di San Giorgio della Richinvelda, nei seguenti punti:

1. Attraversamento del Rio Lino, lungo via Forti, in corrispondenza dell'intersezione con via Rio Lino, alle coordinate geografiche 46.057010 N, 12.839959 E (Figura 1).
2. Attraversamento del Rio Brentella, lungo via del Sole, nella frazione di Domanins, alle coordinate geografiche 46.021328 N, 12.819707 E (Figura 2).

Le quote altimetriche dell'area risultano sostanzialmente costanti.

1.3 Stato di fatto e Analisi storico critica

L'intervento riguarda due attraversamenti stradali di modesta luce ubicati lungo via Forti, in corrispondenza del Rio Lino, e lungo via del Sole, in corrispondenza del Rio Brentella. Entrambi i manufatti presentano parapetti/barriere metallici ormai giunti al termine della propria vita utile, caratterizzati da un avanzato stato di degrado e, in alcuni tratti, da gravi danneggiamenti dovuti ad urti conseguenti ad incidenti stradali.

Attraversamento sul Rio Lino – Via Forti

Il ponticello è costituito da una soletta in calcestruzzo armato di spessore stimato pari a circa 40÷50 cm, sulla quale è presente la sovrastruttura stradale costituita dal pacchetto di pavimentazione bituminosa, dello spessore complessivo di circa 15 cm tra binder e strato di usura.

Le protezioni laterali esistenti sono realizzate con elementi tubolari a sezione cava e montanti in profilo IPE 100. Tali manufatti presentano un diffuso stato di degrado dovuto all'esposizione agli agenti atmosferici e al naturale invecchiamento dei materiali, essendo installati da oltre trent'anni.

In particolare, il parapetto posto sul lato di valle del corso d'acqua (lato est) risulta gravemente danneggiato a seguito di un

incidente stradale che ha provocato deformazioni permanenti tali da renderne impossibile il ripristino mediante semplice manutenzione. A tutela della circolazione, il tratto maggiormente compromesso è stato temporaneamente delimitato mediante elementi tipo New Jersey.

Le protezioni esistenti risultano inoltre prive di idonei elementi terminali di raccordo, configurazione che rappresenta un ulteriore elemento di criticità sotto il profilo della sicurezza stradale.

Dal punto di vista costruttivo, i parapetti del lato ovest sono ancorati ad un cordolo in calcestruzzo armato posto in sommità del manufatto, mentre quelli del lato est risultano fissati lateralmente all'impalcato.

Su entrambi i lati del ponticello è inoltre presente una fascia erbosa adiacente alla carreggiata che rende più onerose le operazioni di manutenzione.

Attraversamento sul Rio Brentella – Via del Sole

Il secondo manufatto presenta caratteristiche costruttive analoghe per quanto riguarda la funzione dell'attraversamento, mentre la pavimentazione risulta in massetto di calcestruzzo.

Le protezioni laterali sono costituite da parapetti metallici di concezione più leggera rispetto a quelli presenti in via Forti, realizzati mediante elementi in piatti metallici e profili laminati a T e ad L.

Anche in questo caso i parapetti evidenziano un marcato stato di degrado dovuto alla prolungata esposizione agli agenti atmosferici e risultano localmente danneggiati a seguito di urti veicolari. Le caratteristiche geometriche e costruttive delle protezioni non risultano inoltre conformi agli attuali standard di sicurezza previsti per le barriere stradali.

1.4 Descrizione degli interventi

L'intervento progettuale prevede il ripristino delle condizioni di sicurezza dei dispositivi di ritenuta esistenti mediante la demolizione e ricostruzione dei cordoli laterali di ancoraggio e la sostituzione delle barriere stradali, conformemente alla normativa tecnica vigente.

Le opere previste possono essere suddivise nelle seguenti categorie principali:

- rimozione delle barriere stradali e dei cordoli in calcestruzzo esistenti, danneggiati a seguito di incidenti stradali;
- ricostruzione dei cordoli laterali in conglomerato cementizio armato, opportunamente dimensionati per l'ancoraggio delle nuove barriere;
- installazione delle nuove barriere di sicurezza certificate, complete di terminali, elementi di raccordo e accessori.

Le barriere previste dal progetto appartengono a due differenti tipologie:

- barriere bordo ponte, installate in corrispondenza dei ponticelli;
- barriere bordo laterale, installate nei tratti stradali di raccordo esterni ai manufatti.

Le barriere bordo ponte costituiscono dispositivi di ritenuta ancorati rigidamente ai nuovi cordoli in calcestruzzo armato realizzati in aderenza alle strutture esistenti dei ponticelli. Per tali dispositivi è pertanto prevista la verifica degli elementi di ancoraggio e dei nuovi cordoli di supporto, affinché siano garantite le prestazioni richieste dalla classe di contenimento

adottata.

Le barriere bordo laterale sono invece installate mediante infissione dei montanti nel terreno e la loro capacità prestazionale è garantita dalla marcatura CE e dalle prove di crash-test previste dalla norma UNI EN 1317. Trattandosi di sistemi certificati, non risultano necessarie specifiche verifiche strutturali locali, essendo le prestazioni già validate mediante prove sperimentali. Per i tratti in corrispondenza dei ponticelli è prevista l'installazione di una barriera tipo SAF3STAR 231b H2-W3-B, o altra avente caratteristiche prestazionali equivalenti, dispositivo monolaterale deformabile per bordo ponte certificato secondo la norma UNI EN 1317-5 e classificato in livello di contenimento H2.

Nei tratti esterni ai manufatti saranno invece installate barriere tipo SAF3STAR 241b H2-W4-A, o altra avente prestazioni equivalenti, anch'esse conformi alla normativa europea vigente.

La scelta della classe di contenimento è stata effettuata in conformità ai criteri stabiliti dal Decreto Ministeriale 21 giugno 2004, tenendo conto della classificazione funzionale delle strade interessate, delle caratteristiche plano-altimetriche, della presenza dei ponticelli e dei livelli di traffico.

Le opere riguardano infatti due strade comunali extraurbane a doppio senso di circolazione, caratterizzate da traffico locale con modesti volumi veicolari ma interessate dalla presenza di attraversamenti idraulici che determinano condizioni di maggiore esposizione al rischio in caso di svio del veicolo. In considerazione di tali caratteristiche, nonché in applicazione dei criteri previsti dal citato decreto ministeriale, è stata adottata per i tratti in corrispondenza dei ponticelli una barriera di sicurezza con classe di contenimento H2, idonea alla protezione dei bordi ponte.

Le tabelle riportate nei paragrafi successivi illustrano le classi minime di contenimento previste dalla normativa in funzione della categoria della strada, del traffico giornaliero medio e della tipologia di installazione della barriera.

Ai sensi del § 8.4 del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), l'intervento è classificabile come intervento locale.

Le opere previste sono infatti limitate alla sostituzione dei dispositivi di ritenuta stradale esistenti e alla ricostruzione dei cordoli di ancoraggio delle barriere bordo ponte, senza modificare lo schema resistente, il comportamento globale o la capacità portante dei ponticelli esistenti.

Nel corso dei sopralluoghi non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto, degrado strutturale o carenze tali da richiedere interventi di consolidamento delle strutture in calcestruzzo armato dei manufatti, che risultano nel complesso in buono stato di conservazione.

L'intervento non comporta variazioni significative delle azioni permanenti agenti sulle strutture né modifiche apprezzabili delle masse sismiche o delle pressioni trasmesse al terreno; le variazioni introdotte risultano ampiamente contenute entro i limiti previsti dalla normativa tecnica e non alterano il comportamento statico e dinamico originario dei ponticelli.

L'intervento risulta pertanto pienamente riconducibile alla definizione di intervento locale prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, in quanto finalizzato esclusivamente al ripristino delle condizioni di sicurezza e della funzionalità delle opere esistenti, senza incremento delle sollecitazioni strutturali né modifica del comportamento globale dei manufatti.

2. Elenco normative di riferimento per la progettazione

2.1 Normativa di riferimento

La progettazione delle opere strutturali è stata sviluppata nel rispetto della normativa nazionale e regionale vigente alla data di redazione del progetto, con particolare riferimento alla disciplina delle costruzioni, delle opere stradali e dei dispositivi di ritenuta.

Sono stati assunti come riferimento i seguenti provvedimenti legislativi e normativi.

Normativa generale sulle costruzioni

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni» (NTC 2018);
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- Legge Regionale Friuli Venezia Giulia 11 agosto 2009, n. 16 e successive modifiche ed integrazioni – Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio;
- Legge Regionale Friuli Venezia Giulia 5 aprile 2024, n. 2;
- Decreto del Presidente della Regione Friuli Venezia Giulia 13 dicembre 2024, n. 0165/Pres., recante il regolamento di attuazione della L.R. 16/2009 relativamente ai procedimenti autorizzativi, di vigilanza ed alla classificazione degli interventi strutturali.

Normativa relativa alle opere stradali

- Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285 e s.m.i. – Nuovo Codice della Strada;
- Decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495 e s.m.i. – Regolamento di esecuzione ed attuazione del Nuovo Codice della Strada;
- Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade;
- Decreto Ministeriale 18 febbraio 1992, n. 223 – Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza;
- Decreto Ministeriale 21 giugno 2004 – Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere di sicurezza stradali;
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 62032 del 21 luglio 2010 – Uniforme applicazione delle norme in materia di dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali;
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 28 giugno 2011 – Disposizioni sull'impiego dei dispositivi di ritenuta stradale.

Norme europee

- UNI EN 1317 (serie completa) – Dispositivi di ritenuta stradali;
- UNI EN 1990 – Eurocodice: basi di calcolo delle strutture;
- UNI EN 1991 – Eurocodice 1: azioni sulle strutture;

- UNI EN 1992 – Eurocodice 2: progettazione delle strutture in calcestruzzo;
- UNI EN 1993 – Eurocodice 3: progettazione delle strutture in acciaio;
- UNI EN 1997 – Eurocodice 7: progettazione geotecnica;
- UNI EN 1998 – Eurocodice 8: progettazione in zona sismica.

Norme sui materiali

- UNI EN 206;
- UNI 11104;
- UNI EN 10025;
- UNI EN ISO 898-1;
- UNI EN ISO 3506;
- Valutazioni Tecniche Europee (ETA) relative ai sistemi di ancoraggio impiegati.

Per quanto non espressamente disciplinato dalle norme sopra richiamate, sono state adottate le istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, le Linee Guida del Ministero delle Infrastrutture e le prescrizioni riportate nella documentazione tecnica dei produttori dei dispositivi impiegati.

In caso di necessità si fa riferimento ad altri documenti di comprovata validità, espressamente citati nel corso della relazione.

3. Criteri di verifica adottati

3.1 Criteri di analisi della sicurezza

I livelli di sicurezza e le prestazioni richiesti sono quelli ordinari previsti dalle Norme di Riferimento, più esplicitamente:

- va garantita la sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU), quali crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali;
- va garantita la sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE), per garantire le prestazioni nelle condizioni di esercizio;
- va garantita la robustezza, per evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti azioni eccezionali, quali incendio, esplosioni, urti ed impatti;
- va garantita la durabilità, cioè la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, affinché i livelli di sicurezza vengano garantiti durante tutta la vita dell'opera.

Essendo l'intervento limitato alla sostituzione della barriera di sicurezza ed alla realizzazione del relativo banchettone, le verifiche riguardano esclusivamente gli elementi strutturali in sostituzione e rinforzo, senza modificare il comportamento resistente del ponticello esistente.

Le verifiche sono state pertanto sviluppate con riferimento:

- alla verifica degli ancoraggi della barriera;
- alla resistenza del banchettone in calcestruzzo armato;
- alla verifica degli ancoraggi tra banchettone e struttura esistente del ponticello;

Il manufatto esistente in muratura non viene interessato da incrementi significativi delle sollecitazioni rispetto alle attuali condizioni.

3.2 Metodi di analisi e verifica delle strutture

Il metodo di analisi e verifica delle strutture e delle fondazioni, è il metodo semi-probabilistico agli stati limite, per come questo è inteso dalle normative di riferimento.

Le strutture sono state studiate con modelli a comportamento elastico lineare, salvo diversa specifica.

Per l'analisi e la verifica delle strutture in esame sono stati utilizzati sia metodi di calcolo manuale che codici di calcolo con elaborazione dei dati eseguita da calcolatore elettronico. I metodi di calcolo manuale saranno descritti in fase di esposizione delle analisi o verifiche.

Relativamente all'uso di codici di calcolo elaborati con calcolatore elettronico, si precisa che sono stati costruiti diversi modelli numerici, relativi sia a costruzioni complete che a sottosistemi strutturali, al fine di fornire un'analisi accurata di ciascun elemento strutturale.

Le unità di misura utilizzate nei modelli sono il kN oppure il daN per le forze e il m oppure il cm per le lunghezze.

Nei successivi capitoli saranno meglio descritti la definizione dei modelli numerici, il comportamento degli orizzontamenti, gli effetti della fessurazione del c.a., la distribuzione effettiva ed aggiuntiva delle masse e l'interazione terreno-struttura.

3.3 Definizione delle azioni

Le calcolazioni sono eseguite assumendo le strutture soggette alle seguenti azioni:

Azioni permanenti (G):

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G_1)
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2)

Azioni variabili (Q):

- carico residenziale su solai di calpestio, scale e balconi (Q_A)
- carico neve sulla copertura (a quota < 1000 m s.l.m.)

Azioni sismiche (E):

- azione inerziale dei manufatti e dei carichi variabili

Azioni eccezionali:

- azioni dovute a urti.

3.4 Combinazione delle azioni

Le azioni sollecitanti di calcolo sono determinate secondo le seguenti formulazioni delle combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale, impiegata per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2}$$

Combinazione caratteristica (rara), impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}$$

Combinazione frequente, impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$$

Combinazione quasi permanente (SLE), impiegata per le verifiche agli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$$

Combinazione sismica, impiegata per le verifiche agli SLU e SLE connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$$

Combinazione eccezionale, impiegata per le verifiche agli SLU connessi all'azione dovuta ad urti A_d :

$$G_1 + G_2 + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$$

L'approccio progettuale adottato è finalizzato a garantire adeguati livelli di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), tenendo conto delle particolari condizioni di esercizio dell'opera e delle azioni eccezionali derivanti dall'urto dei veicoli contro il sistema di ritenuta.

3.5 Metodologie di progetto e verifica delle membrature strutturali

Verifiche di sicurezza agli SLU

Si riportano prima le verifiche relative al comportamento globale delle strutture e successivamente le verifiche dei singoli elementi o sottosistemi strutturali.

Per le opere in esame si escludono fenomeni di instabilità globale e di perdita di equilibrio. Si escludono inoltre significativi effetti del secondo ordine e pertanto si ritiene sufficiente la analisi strutturale eseguita in campo elastico lineare come specificato in precedenza.

Le verifiche globali significative per la costruzione in progetto sono le seguenti:

- Spostamenti e deformazioni in presenza delle azioni sismiche agli SLD e SLV;
- Cedimenti e deformazioni delle fondazioni.

Le verifiche dei singoli elementi, siano essi in calcestruzzo armato, in acciaio o in legno, sono state eseguite utilizzando il codice di calcolo adottato per l'analisi. L'affidabilità e la rispondenza dello stesso codice di calcolo rispetto alla normativa di riferimento sono stati accertati dello scrivente.

Le verifiche sono condotte con riferimento ai metodi e alle formulazioni del capitolo 4 del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018). Per la progettazione sismica si è applicato il capitolo 7 della stessa normativa e per le verifiche riguardanti le strutture esistenti si è fatto riferimento al capitolo 8. Maggiori istruzioni, in particolare per gli interventi su edifici esistenti, sono prese dalla Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019. Qualora necessario si è fatto riferimento alle norme UNI ENV 1996 (Eurocodice 6) per la progettazione delle strutture in muratura e UNI ENV 1998 (Eurocodice 8) per la progettazione sismica.

Nella relazione si riportano alcuni diagrammi di sollecitazione degli elementi strutturali ed alcune sintesi delle verifiche.

Verifiche di sicurezza agli SLE

Per le membrature in calcestruzzo armato si eseguono le verifiche della fessurazione, delle tensioni di esercizio (calcestruzzo e acciaio di armatura) e delle deformazioni.

Per le membrature in acciaio e in legno si eseguono le verifiche di deformazione e spostamento: per le travi si analizzano gli abbassamenti e per i pilastri si controllano gli spostamenti in sommità.

Per ciascuna delle verifiche si fa riferimento alla combinazione di carico SLE e ai valori limite stabiliti al capitolo 4 del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

I risultati sono illustrati con tabulati numerici o con rappresentazioni grafiche a mappe di colore.

Verifiche di robustezza

Le verifiche di robustezza servono ad evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti azioni eccezionali, quali incendio, esplosioni, urti ed impatti.

Nel caso specifico non vi sono specifiche richieste di normative o della committenza riguardo all'incendio, alle esplosioni e agli urti.

Verifiche di durabilità

Allo scopo di garantire la durabilità delle strutture in oggetto, cioè la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, affinché i livelli di sicurezza vengano garantiti durante tutta la vita dell'opera, si ritiene sufficiente che vengano rispettate le prescrizioni sui materiali e quelle per l'esecuzione contenute nella Relazione sui materiali e negli elaborati grafici, e vengano applicate le modalità d'uso, controllo e manutenzione riportate nel Piano di manutenzione delle strutture allegato al presente progetto.

4. Materiali

4.1 Caratteristiche meccaniche dei materiali nuovi

I materiali impiegati per la realizzazione delle opere strutturali sono conformi alle prescrizioni del Capitolo 11 del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e dovranno essere accompagnati dalla documentazione attestante la marcatura CE, dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP), nonché dai certificati di controllo previsti dalla normativa vigente.

La Direzione Lavori provvederà ad effettuare i controlli di accettazione previsti dal Capitolo 11 delle NTC 2018, verificando la rispondenza dei materiali alle caratteristiche progettuali.

Tutti i materiali dovranno essere posti in opera nel rispetto delle prescrizioni dei produttori e delle pertinenti norme UNI ed EN applicabili.

CALCESTRUZZO

Classe C32/40 per strutture di fondazione in classe di esposizione XC4

	R_{ck}	f_{ck}	f_{cd}	f_{ctm}	f_{ctk}	f_{ctd}	E
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
C32/40	40,0	32,0	18,1	3,0	2,1	1,3	33346

ACCIAIO PER C.A.

B450C

f_{tk}	f_{yk}	f_{yd}	E
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
540	450	391	210000

ACCIAIO PER CARPENTERIA

S355

f_{tk}	f_{yk}	f_{yd}	E
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
360	235	224	210000
430	275	262	210001
510	355	338	210002

BULLONERIA

Bulloni ad alta resistenza Classe 8.8

	f_{yb}	f_{yd}	f_{tb}
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
8.8	649	519	800

4.2 Caratteristiche meccaniche dei materiali esistenti

CALCESTRUZZO	C1
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC1
$f_{cm}=$	30 MPa
$f_{ck}=$	22 MPa
$E_c=$	27955 MPa
$FC=$	1,35
$\gamma_M=$	1,50
$\alpha_{cc}=$	1,00
$f_{cd}=$	14,81 MPa

ACCIAIO C.A.	A1
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC1
	FeB44k
$f_{ym}=$	530 MPa
$E_s=$	206000 MPa
$LC=$	2
$FC=$	1,35
$\gamma_M=$	1,15
$f_{yd}=$	341 MPa

4.3 Barriere di sicurezza

Per i tratti in corrispondenza dei ponticelli è prevista l'installazione di una barriera tipo SAF3STAR 231b H2-W3-B, o altra avente caratteristiche prestazionali equivalenti, dispositivo monolaterale deformabile per bordo ponte certificato secondo la norma UNI EN 1317-5 e classificato in livello di contenimento H2.

Nei tratti esterni ai manufatti saranno invece installate barriere tipo SAF3STAR 241b H2-W4-A, o altra avente prestazioni equivalenti, anch'esse conformi alla normativa europea vigente.

Le verifiche sviluppate nella presente relazione riguardano esclusivamente gli elementi di ancoraggio della barriera bordo ponte, mentre le prestazioni della barriera metallica risultano garantite dalla certificazione del produttore e dalle prove sperimentali di crash-test previste dalla normativa europea.

5. Carichi di progetto

Le azioni considerate nella progettazione sono state individuate conformemente ai criteri stabiliti dal Capitolo 3 e dal Capitolo 5 del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

Sono state prese in esame tutte le azioni significative ai fini del dimensionamento del supporto della barriera di sicurezza, valutandone gli effetti nelle combinazioni di carico previste dalla normativa.

Le azioni di maggiore rilevanza risultano costituite dai carichi permanenti, dai sovraccarichi mobili stradali e dalle azioni eccezionali conseguenti all'urto contro la barriera di sicurezza.

I carichi permanenti comprendono il peso proprio delle strutture in calcestruzzo armato, il peso della barriera metallica e degli elementi di ancoraggio.

Ai fini delle verifiche sono stati assunti i seguenti pesi specifici:

- Calcestruzzo armato: 25,0 kN/m³;
- Acciaio: 78,5 kN/m³;
- Pavimentazione bituminosa: 24,0 kN/m³;
- Terreno di riempimento: 18,5 kN/m³.

Il peso proprio della barriera è stato desunto dalla documentazione tecnica del produttore ed è stato considerato nella modellazione strutturale quale carico permanente distribuito.

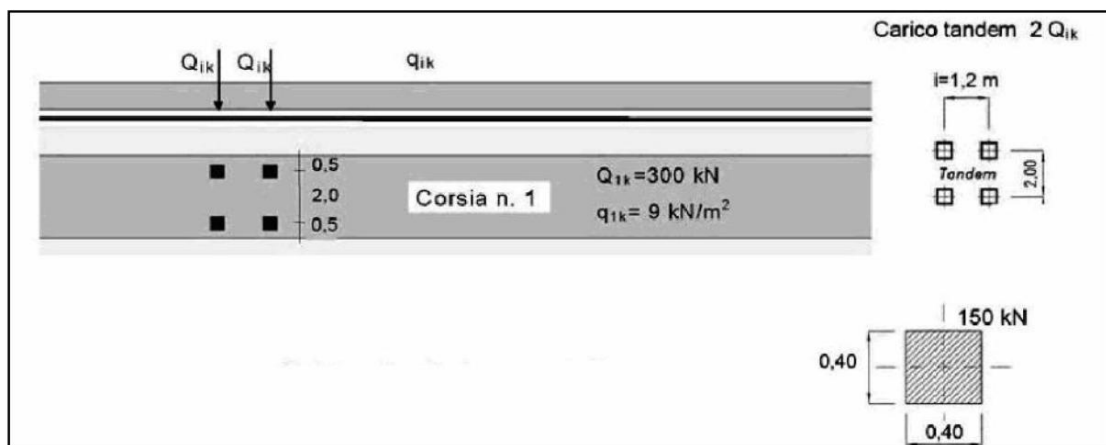
5.1 Analisi carichi gravitazionali

Dovuti al peso proprio dei materiali.

5.2 Carichi mobili stradali

Si considera quanto riportato al punto §5.1.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Con riferimento al §5.1.3.3.5 del D.M. 17/01/2018 il carico stradale può essere assunto come da schema di carico 1 relativo ad un mezzo convenzionale a due assi da 600kN.



Schema di carico 1

L'impronta di carico di 150kN può essere estesa considerando un angolo di diffusione di 45 gradi fino al livello della soletta di copertura dello scatolare, come da §5.1.3.3.6. A ciò si aggiunge il carico distribuito di 9kN/mq.

5.3 Azioni della neve e vento

Le azioni dovute alla neve, al vento ed alle variazioni termiche non risultano determinanti ai fini del dimensionamento della struttura in progetto. Le verifiche preliminari hanno infatti evidenziato come gli effetti prodotti dai carichi mobili stradali e dalle azioni eccezionali derivanti dall'urto contro la barriera risultino ampiamente prevalenti rispetto alle azioni climatiche.

Per tale motivo, in accordo con quanto consentito dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, tali azioni non sono state considerate nelle verifiche finali in quanto non rappresentano le condizioni di carico più gravose.

5.4 Azioni dovute al sisma

L'azione sismica è stata determinata secondo quanto previsto dal Capitolo 3 e dal Capitolo 7 del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

I parametri di pericolosità sismica sono stati desunti dal reticolo di riferimento nazionale predisposto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), utilizzando le coordinate geografiche del sito oggetto di intervento.

Ai fini delle verifiche sono stati assunti:

- Vita nominale $V_N = 50$ anni;
- Classe d'Uso IV;
- Coefficiente d'uso $C_U = 2,0$;
- Periodo di riferimento $V_R = 100$ anni.

Il terreno di fondazione, sulla base della documentazione geologica disponibile e delle caratteristiche litostratigrafiche dell'area, è stato classificato come **Categoria B**, costituita da rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da valori della velocità equivalente delle onde di taglio compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

La configurazione morfologica del sito è riconducibile alla **Categoria Topografica T1**, non essendo presenti pendii o irregolarità morfologiche significative in grado di produrre amplificazioni topografiche dell'azione sismica.

Di seguito si riportano i parametri sismici di interesse.

Località **Via Forti - Via Rio Lino**
Coordinate **(46.056979, 12.83996, 102.912392) WGS84**

Tabella parametri di riferimento per l'azione sismica

SL	T_R	a_g/g	F_0	T_c^*	S_s	T_B	T_C
SLO	60	0,108	2,458	0,267	1,2	0,127	0,382
SLD	101	0,2826	2,439	0,289	1,200	0,136	0,407
SLV	949	0,3746	2,459	0,349	1,122	0,158	0,474

Località **Via del Sole**
Coordinate **(46.02128, 12.819698, 69.607086) WGS84**

Tabella parametri di riferimento per l'azione sismica

SL	T _R	a _g /g	F ₀	T [*] _c	S _s	T _B	T _C
SLO	60	0,0771	2,451	0,271	1,2	0,129	0,38
SLD	101	0,099	2,446	0,29	1,200	0,136	0,409
SLV	949	0,2549	2,499	0,349	1,145	0,158	0,474

5.5 Azioni dovute agli urti

L'intervento prevede la sostituzione delle barriere di sicurezza stradali esistenti sui due ponticelli con l'installazione di nuovi dispositivi di ritenuta conformi alla normativa vigente, completi di nuovi cordoli in calcestruzzo armato destinati all'ancoraggio dei montanti.

L'azione predominante ai fini del dimensionamento del sistema di ancoraggio e dei nuovi cordoli è costituita dall'urto accidentale di un veicolo contro la barriera di sicurezza.

Ai sensi del § 3.6.3.3.2 e del § 5.1.3.10 del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018), l'urto del veicolo costituisce un'azione eccezionale e, in assenza di specifiche indicazioni, può essere rappresentato mediante una forza orizzontale statica equivalente pari a 100 kN, applicata ad un'altezza di 0,80 m dal piano viabile. Tale azione deve essere combinata con le altre azioni secondo quanto previsto dal § 2.5.3 delle NTC 2018, assumendo coefficienti parziali unitari per le azioni permanenti.

Il § 5.1.3.10 delle NTC 2018 richiama inoltre la normativa specifica relativa alla classificazione delle barriere di sicurezza stradali, demandando alle prove sperimentali di certificazione la determinazione delle prestazioni dei dispositivi e delle azioni trasmesse alle strutture di supporto.

In conseguenza dell'urto di un veicolo, il dispositivo di ritenuta è progettato per dissipare l'energia dell'impatto mediante deformazioni plastiche controllate dei propri elementi metallici. Le azioni trasmesse ai montanti e, conseguentemente, ai cordoli di ancoraggio sono riportate nella documentazione tecnica del produttore e costituiscono il riferimento per il dimensionamento delle opere strutturali di supporto.

La barriera di sicurezza prevista nel presente intervento, modello **SAF3STAR 231b H2-W3-B**, è stata certificata mediante prove d'urto in scala reale (crash test) per la classe di contenimento **H2**, eseguite su un supporto in calcestruzzo armato caratterizzato da elevata rigidità e resistenza, tale da non costituire l'elemento dissipativo del sistema.

Il corretto funzionamento della barriera presuppone infatti che l'energia dell'urto venga assorbita attraverso la deformazione plastica controllata del dispositivo di ritenuta, mentre il cordolo di supporto mantenga la propria integrità strutturale, evitando fenomeni di rottura o di danneggiamento che possano compromettere l'efficacia del sistema.

Per tale motivo le verifiche strutturali vengono distinte in:

- verifica locale della connessione tra montante della barriera e cordolo in calcestruzzo armato, comprendente la piastra di base ed i relativi tirafondi ad ancoraggio chimico;

- verifica del cordolo di supporto, finalizzata ad accertarne la capacità resistente nei confronti delle massime azioni trasmesse dalla barriera durante l'urto.

Verifica locale della connessione – Azione eccezionale d'urto A

Per la verifica locale della connessione vengono assunte le massime sollecitazioni che il singolo montante è in grado di trasmettere alla piastra di base nella condizione di plasticizzazione del palo a sezione C.

Tali valori, indicati nel seguito come **Azione Eccezionale d'Urto A**, sono desunti dalla documentazione tecnica del produttore e rappresentano le azioni corrispondenti al corretto funzionamento del dispositivo di ritenuta. La verifica è finalizzata a garantire che il montante possa sviluppare il proprio meccanismo plastico senza che si verifichino fenomeni di sfilamento dei tirafondi o di collasso locale dell'ancoraggio.

Le azioni di progetto assunte risultano pari a:

- $M_{Ed} = 37,5 \text{ kNm}$;
- $V_{Ed} = 37,5 \text{ kN}$.

Tali valori sono già determinati tenendo conto delle caratteristiche resistenti del montante e comprendono il fattore di sovrarresistenza previsto dal § 7.5.1 delle NTC 2018; essi possono pertanto essere impiegati direttamente per le verifiche locali della piastra di base e dei tirafondi senza ulteriori incrementi.

Verifica del cordolo di supporto – Azione eccezionale d'urto B

Per la verifica globale del cordolo in calcestruzzo armato vengono invece assunte le massime azioni trasmesse dal dispositivo di ritenuta durante le prove di crash test.

Tali valori, indicati nel seguito come **Azione Eccezionale d'Urto B**, risultano superiori a quelli utilizzati per la verifica della connessione, in quanto il cordolo non deve costituire l'elemento dissipativo del sistema, ma deve conservare la propria integrità strutturale anche nelle condizioni di urto previste dalla certificazione della barriera. Le azioni B vengono pertanto impiegate per il dimensionamento del cordolo di supporto, in conformità a quanto previsto dal § 5.1.3.10 delle NTC 2018 e dalla Circolare 21 gennaio 2019 n. 7.

Tali valori risultano:

- $M_{Ed} = 100 \times 0,80 = 80 \text{ kNm}$;
- $V_{Ed} = 100 \text{ kN}$.

L'impiego di due distinti livelli di azione risulta pertanto coerente con la filosofia di funzionamento della barriera certificata: la connessione è verificata rispetto alle sollecitazioni corrispondenti alla plasticizzazione del montante, mentre il cordolo di supporto è verificato nei confronti delle massime azioni trasmesse dal dispositivo durante il crash test, dovendo mantenere la propria capacità resistente affinché il sistema di ritenuta possa sviluppare correttamente il proprio meccanismo dissipativo.

6. Analisi e verifiche

6.1 Criteri di analisi strutturale e modellazione

Ai fini delle verifiche strutturali, i nuovi cordoli in calcestruzzo armato previsti per l'ancoraggio delle barriere di sicurezza sono stati modellati come elementi strutturali solidalmente collegati all'impalcato esistente dei ponticelli mediante barre di ripresa ad aderenza migliorata, ancorate con sistema a fissaggio chimico. La modellazione tiene conto delle caratteristiche geometriche del cordolo, delle proprietà meccaniche dei materiali impiegati e delle azioni trasmesse dal dispositivo di ritenuta nelle condizioni di esercizio e di urto eccezionale.

Le verifiche sono state sviluppate assumendo le azioni derivanti dalla documentazione tecnica della barriera di sicurezza certificata e facendo riferimento ai due livelli di sollecitazione illustrati nel capitolo precedente, distinguendo le verifiche locali della connessione da quelle globali del cordolo in calcestruzzo armato.

Gli ancoraggi della barriera sono stati verificati nei confronti delle azioni di trazione, taglio e della loro combinazione mediante il software di calcolo messo a disposizione dalla ditta **Fischer**, specifico per la progettazione dei sistemi di ancoraggio.

Le verifiche sono state eseguite in conformità alle prescrizioni contenute nelle Valutazioni Tecniche Europee (ETA) del sistema di fissaggio adottato, verificando tutti i possibili meccanismi di collasso previsti dalla normativa, quali:

- resistenza dell'acciaio degli ancoranti;
- rottura del calcestruzzo per estrazione e cono di calcestruzzo;
- rottura per fessurazione e distanze dai bordi;
- resistenza a taglio del calcestruzzo;
- resistenza per aderenza del sistema di ancoraggio chimico;
- verifiche nelle condizioni di azioni combinate di trazione e taglio.

Per quanto riguarda il cordolo in calcestruzzo armato, le verifiche sono state eseguite agli Stati Limite Ultimi, con riferimento alle massime azioni trasmesse dalla barriera durante l'urto, al fine di accertarne la capacità resistente nei confronti delle sollecitazioni flettenti e taglianti, garantendo il mantenimento dell'integrità strutturale del supporto.

Nel seguito della presente relazione sono riportati i risultati delle verifiche relative:

- agli ancoraggi della barriera di sicurezza;
- al cordolo in calcestruzzo armato di supporto.

6.2 Verifica ancoraggi della barriera

La verifica dei tirafondi di ogni montante della barriera viene condotto mediante il programma C-FIX della ditta FISCHER. Le azioni sollecitanti, come descritto ai paragrafi precedenti (Azione Eccezionale d'Urto A), risultano pari a circa: $M_{Ed} = 37.5 \text{ kNm}$; $V_{Ed} = 37.5 \text{ kN}$.

Specifiche di progettazione

Ancorante

Sistema di ancoranti	Sistema a iniezione fischer FIS EM Plus con barra filettata FIS A oppure RG M
Resina a iniezione	FIS EM Plus 390 S
Elemento di fissaggio	FIS A M 20 x 245 8.8, Acciaio zincato, Classe di resistenza 8.8
Profondità di ancoraggio	183 mm
Dati di progettazione	ETA-17/0979 (12.02.2026)



Unità di misura

Geometria	mm
Valori di progetto delle azioni	kN, kNm

Dati di Input

Metodo di progettazione	EN 1992-4
Supporto di ancoraggio	Calcestruzzo normale, C35/45, EN 206
Condizione del calcestruzzo	Non fessurato, Foro asciutto
Armatura	Armatura normale o nessuna armatura, Nessun armatura di bordo, Con armatura per il controllo dello splitting del calcestruzzo
Range di temperatura	24 °C Temperatura nel lungo periodo, 40 °C Temperatura nel breve periodo
Metodo di foratura	Foratura a rotopercussione
Tipo di installazione	Installazione passante
Spazio anulare	Riempito
Tipo di azione	Statico o quasi statico
Vita utile	50 anni
Attacco	Classe acciaio S275
Posizionamento piastra di base	Piastra di base installata a filo sul materiale di base
Geometria della piastra di base	250 mm x 300 mm x 20 mm
Tipo di profilo	Profilo cavo rettangolare formato a caldo (120x60x8)

Azioni di progetto incluso il fattore parziale di sicurezza sulle azioni

Caso	N _{Ed} kN	V _{Ed,x} kN	V _{Ed,y} kN	M _{Ed,x} kNm	M _{Ed,y} kNm	M _{Ed,z} kNm	Tipo di azione	Nome
1	0,00	0,00	-37,75	37,75	0,00	0,00	Statico o quasi statico	

Caso decisivo 1

Forze risultanti sull'ancorante

Ancorant e n°	Carico di trazione kN	Azione di taglio kN	Azione di taglio x kN	Azione di taglio y kN
1	79,27	9,44	0,00	-9,44
2	79,27	9,44	0,00	-9,44
3	0,00	9,44	0,00	-9,44
4	0,00	9,44	0,00	-9,44
Risultante di trazione delle azioni		158,54 kN, Posizione X/Y (0 / 110)		
Risultante di compressione delle azioni		158,54 kN, Posizione X/Y (0 / -128)		

Resistenza ai carichi di trazione

Verifica	Carico kN	Capacità kN	Sfruttamento β_N %
Rottura dell'acciaio dell'ancorante *	79,27	130,67	60,67
Rottura combinata	158,54	177,71	89,21
Rottura del cono di calcestruzzo	158,54	159,31	99,52

* Ancorante più sfavorevole

Rottura dell'acciaio dell'ancorante



$$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$$

$N_{Rk,s}$ kN	γ_{Ms}	$N_{Rd,s}$ kN	N_{Ed} kN	β_{Ns} %
196,00	1,50	130,67	79,27	60,67

Ancorante n°	$\beta_{N,s}$ %	Gruppo N°	Beta decisivo
1	60,67	1	$\beta_{N,s1}$
2	60,67	2	$\beta_{N,s2}$
3	0,00	3	$\beta_{N,s3}$
4	0,00	4	$\beta_{N,s4}$

Rottura combinata



$$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,N} \quad (7.14)$$

$$N_{Rk,p} = 203,54kN \cdot \frac{394.731mm^2}{301.401mm^2} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 266,57kN$$

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \cdot \psi_c = 1,00 \cdot \pi \cdot 20mm \cdot 183mm \cdot 16,70N/mm^2 \cdot 1,06 = 203,54kN$$

$$\psi_{sus} = 1,00$$

$$\alpha_{sus} = 0,00 \leq \psi_{sus}^0 = 1,00$$

$$s_{cr,Np} = \min(7,3 \cdot d \cdot (\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk,ucr})^{0,5}; 3 \cdot h_{ef}) \quad (7.15)$$

$$s_{cr,Np} = \min(7,3 \cdot 20mm \cdot (1,00 \cdot 16,70N/mm^2)^{0,5}); 3 \cdot 183mm) = 549mm$$

$$c_{cr,Np} = \frac{s_{cr,Np}}{2} = \frac{549mm}{2} = 275mm \quad (7.16)$$

$$\psi_{s,Np} = \min\left(1; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}}\right) = \min\left(1; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{\infty mm}{275mm}\right) = 1,00 \leq 1 \quad (7.2)$$

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \sqrt{\frac{s}{s_{cr,Np}}} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) = 1,00 - \sqrt{\frac{170mm}{549mm}} \cdot (1,00 - 1) = 1,00 \geq 1 \quad (7.17)$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left(\frac{\tau_{Rk}}{\tau_{Rk,c}}\right)^{1,5} \quad (7.18)$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{4} - (\sqrt{4} - 1) \cdot \left(\frac{17,70N/mm^2}{14,01N/mm^2}\right)^{1,5} = 1,00 \geq 1$$

$$\tau_{Rk,c} = \frac{k_3}{\pi \cdot d} \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck}} = \frac{11,0}{\pi \cdot 20mm} \cdot \sqrt{183mm \cdot 35,00N/mm^2} = 14,01N/mm^2 \quad (7.19)$$

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_N}{s_{cr,Np}}} \Rightarrow \psi_{ec,Npx} \cdot \psi_{ec,Npy} = 1,00 \cdot 1,00 = 1,00 \leq 1 \quad (7.21)$$

$$\psi_{ec,Npx} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{0,00mm}{549mm}\right)} = 1,00 \leq 1 \quad \psi_{ec,Npy} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{0,00mm}{549mm}\right)} = 1,00 \leq 1$$

$$\psi_{re,N} = 1,00$$

N_{Rk,p} kN	ψ_c	γ_{Mp}	N_{Rd,p} kN	N_{Ed} kN	β_{Np} %
266,57	1,06	1,50	177,71	158,54	89,21

Rottura del cono di calcestruzzo



$$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} \quad (7.1)$$

$$N_{Rk,c} = 161,10kN \cdot \frac{394.731mm^2}{301.401mm^2} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,13 = 238,96kN$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 11,0 \cdot \sqrt{35,00N/mm^2} \cdot (183mm)^{1,5} = 161,10kN \quad (7.2)$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 549mm \cdot 549mm = 301.401mm^2 \quad (7.3)$$

$$\psi_{s,N} = \min \left(1; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \right) = \min \left(1; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{\infty mm}{275mm} \right) = 1,00 \leq 1 \quad (7.4)$$

$$\psi_{re,N} = 1,00 \quad (7.5)$$

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{e_N}{s_{cr,N}} \right)} \Rightarrow \psi_{ec,Nx} \cdot \psi_{ec,Ny} = 1,00 \cdot 1,00 = 1,00 \quad (7.6)$$

$$\psi_{ec,Nx} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{0mm}{549mm} \right)} \leq 1 \quad \psi_{ec,Ny} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{0mm}{549mm} \right)} \leq 1$$

$$\psi_{M,N} = 2 - \frac{z}{1,5 \cdot h_{ef}} = 2 - \frac{238mm}{1,5 \cdot 183mm} = 1,13 \geq 1 \quad (7.7)$$

N_{Rk,c} kN	γ_{Mc}	N_{Rd,c} kN	N_{Ed} kN	β_{N,c} %
238,96	1,50	159,31	158,54	99,52

Salvare con nome

Verifica	Carico kN	Capacità kN	Sfruttamento β_v %
Rottura dell'acciaio senza braccio di leva *	9,44	78,40	12,04
Rottura per pry-out del calcestruzzo	37,75	394,05	9,58

* Ancorante più sfavorevole

Rottura dell'acciaio senza braccio di leva



$$V_{Ed,M} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms,M}}$$

$$V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 = 1,0 \cdot 98,00kN = 98,00kN \quad (7.35)$$

$V_{Rk,s}$ kN	γ_{Ms}	$V_{Rd,s}$ kN	V_{Ed} kN	β_{Vs} %
98,00	1,25	78,40	9,44	12,04

Ancorante n°	$\beta_{V,s}$ %	Gruppo N°	Beta decisivo
1	12,04	1	$\beta_{V,s1}$
2	12,04	2	$\beta_{V,s2}$
3	12,04	3	$\beta_{V,s3}$
4	12,04	4	$\beta_{V,s4}$

Rottura per pry-out del calcestruzzo



$$V_{Ed,M} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp,M}}{\gamma_{Mcp,M}}$$

$$V_{Rk,cp} = k_8 \cdot N_{Rk,c} = 2,0 \cdot 295,54kN = 591,08kN \quad (7.39a)$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N} \quad (7.1)$$

$$N_{Rk,c} = 161,10kN \cdot \frac{552.911mm^2}{301.401mm^2} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 295,54kN$$

$$N_{Rk,c}^0 = 11,0 \cdot \sqrt{35,00N/mm^2} \cdot (183mm)^{1,5} = 161,10kN \quad (7.2)$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 549mm \cdot 549mm = 301.401mm^2$$

$$\psi_{s,N} = \min \left(1; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \right) = \min \left(1; 0,7 + 0,3 \cdot \frac{\infty mm}{275mm} \right) = 1,00 \leq 1 \quad (7.4)$$

$$\psi_{re,N} = 1,00 \quad (7.5)$$

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{e_N}{s_{cr,N}}\right)} \Rightarrow \psi_{ec,Nx} \cdot \psi_{ec,Ny} = 1,00 \cdot 1,00 = 1,00 \quad (7.6)$$

$$\psi_{ec,Nx} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{0mm}{549mm}\right)} \leq 1 \quad \psi_{ec,Ny} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \left(\frac{0mm}{549mm}\right)} \leq 1$$

V_{Rk,cp} kN	V_{Mc}	V_{Rd,cp} kN	V_{Ed} kN	β_{v,cp} %
591,08	1,50	394,05	37,75	9,58

Sfruttamento per azioni di trazione e di taglio

Azioni di trazione	Sfruttamento β_N %
Rottura dell'acciaio dell'ancorante *	60,67
Rottura del cono di calcestruzzo	99,52
Rottura combinata	89,21

* Ancorante più sfavorevole

Carico di taglio	Sfruttamento β_v %
Rottura dell'acciaio senza braccio di leva *	12,04
Rottura per pry-out del calcestruzzo	9,58

Resistenza per carichi combinati di trazione e taglio

Interazione acciaio

Sfruttamento decisivo per azione di trazione $\beta_{N,s} = 0,61 \leq 1$

Sfruttamento decisivo per azione di taglio $\beta_{V,s} = 0,12 \leq 1$

Sfruttamento decisivo per interazione azioni di trazione e di taglio $\beta_N^2 + \beta_V^2 = \beta_{N,s;1}^2 + \beta_{V,s;1}^2 = 0,38 \leq 1$

Interazione calcestruzzo

Sfruttamento decisivo per azione di trazione $\beta_{N,c} = 1,00 \leq 1$

Sfruttamento decisivo per azione di taglio $\beta_{V,cp} = 0,10 \leq 1$

Sfruttamento decisivo per interazione azioni di trazione e di taglio $(\beta_N + \beta_V) / 1,2 = (\beta_{N,c;1} + \beta_{V,cp;1}) / 1,2 = 0,91 \leq 1$

Verifica soddisfatta



6.3 Verifica cordolo in c.a.

La verifica del collegamento tra cordolo e basamento viene condotta in forma semplificata. Le azioni sollecitanti, come descritto ai paragrafi precedenti (Azione Eccezionale d'Urto B), risultano: $M_{Ed} = 100 \text{ kNm}$; $V_{Ed} = 120 \text{ kN}$.

CONNESSIONE CORDOLO BASE

Si considera a favore di sicurezza che la giunzione avvenga con le sole barre filettate $\phi 16$, 6+6

REAZIONE MASSIMA

$M = 80 \text{ kNm}$
 $V = 100,00 \text{ kN}$

La combinazione di sforzi è contrastata da 6+6 barre iniettate con resina f16.

Verifica ancoraggio barre

$f_{ctk} = 1,37 \text{ MPa}$
 $f_{bk} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot f_{ctk} = 2,2 \text{ MPa}$
 $f_{bd} = f_{bk} / 1,5 = 1,4 \text{ MPa}$
 $M = 80,0 \text{ kNm}$
 $z = 0,45 \text{ m}$
 $n = 6,0$
 $F_t = M / z n = 29,6 \text{ kN}$
 $L_{anc} = 300,0 \text{ mm}$
 $d = 24,0 \text{ mm}$
 $A_{anc} = 22608,0 \text{ mm}^2$
 $R_t = f_{bd} \cdot A_{anc} = 32,5 \text{ kN}$
 $F_t / R_t = 0,91 < 1 \text{ VERIFICA OK}$

Verifica a taglio barre lato cls

Vintzeleou e Tassios

(con presenza di armature trasversali di confinamento del cls)

$D_R = 1,3 d_b^2 (f_{cd} f_{yd})^{0,5}$
 $d = 16 \text{ mm}$
 $f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$
 $f_{yd} = 391 \text{ MPa}$
 $D_1 = 26,9 \text{ kN}$
 $R_v = 26,9 \text{ kN}$
 $H = 100,0 \text{ kN}$
 $n = 12,0$
 $F_v = H / n = 8,3 \text{ kN}$
 $F_v / R = 0,31 < 1 \text{ VERIFICA OK}$

(a favore di sicurezza)

Verifica combinata

$$(F_t/R_t)^2 + (F_v/R_v)^2 =$$

0,93 < 1 VERIFICA OK

7. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

Ai sensi del § 10.2.1 del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, il sottoscritto progettista esprime il seguente giudizio motivato di accettabilità dei risultati ottenuti mediante le elaborazioni numeriche effettuate.

Le verifiche strutturali sono state eseguite mediante procedure di calcolo conformi alle Norme Tecniche per le Costruzioni, utilizzando il software di progettazione degli ancoraggi fornito dalla ditta **Fischer** per la verifica dei sistemi di fissaggio e fogli di calcolo sviluppati in ambiente **Microsoft Excel** per il dimensionamento e la verifica del cordolo in calcestruzzo armato.

Le verifiche degli ancoraggi sono state condotte in conformità alle Valutazioni Tecniche Europee (ETA) del sistema di fissaggio adottato, verificando tutti i meccanismi di collasso previsti dalle normative di riferimento, mentre il dimensionamento del cordolo è stato sviluppato mediante procedure di calcolo analitiche, applicando le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni e della relativa Circolare applicativa.

Codroipo, Luglio 2026

II PROGETTISTA DELLE STRUTTURE

Ing. Fabio Urban

Ordine degli ingegneri di Udine

Pos. N. 2351

Documento firmato digitalmente