

**Raccordo Autostradale
tra l'Autostrada A4 e la Valtrompia
Predisposizione collegamento
Concesio - Lumezzane ad unica carreggiata
1° Lotto Funzionale**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

REDAZIONE
ATI:



IL PROGETTISTA

Responsabile dell'interazione tra le varie discipline specialistiche **Ing. Alessandro Aliotta**
Ord. Ingg. Genova N. 7995A

Direttore Tecnico **Prof. Ing. Andrea Del Grosso**
Ord. Ingg. Genova N. 3611

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Resp. Progettazione Stradale Ing. Lorenzo Ruffini
Resp. Progettazione Strutturale Ing. Andrea Tomarchio
Resp. Progettazione Gallerie Ing. Franz Pacher
Resp. Progettazione Geotecnica Ing. Alessio Bado
Resp. Progettazione Idraulica Ing. Alice Canepa
Geologo Dott. Roberto Pedone

PROTOCOLLO E DATA

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Giancarlo LUONGO

IL DIRETTORE DEI LAVORI

Ing. Giuseppe Zanframundo

ID. ELABORATO

Codice Commessa	Lotto	Fase	Capitolo	Paragrafo	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.
MICONV01148	LL01	PVT	00	0	R	ARCH	0024	0 0

SCALA

/

INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO E AMBIENTALI

RELAZIONE DI CALCOLO CORDOLI

02	-	-	-	-	-
01	-	-	-	-	-
00	Prima emissione	30/04/2020	M. Scolari	A. Aliotta	A. Del Grosso
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	3
1.1	ITER ATTUATIVO DEL PROGETTO	3
1.2	OGGETTO DELLA PRESENTE RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO	4
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.1	PROGETTO ESECUTIVO 2006.....	5
2.2	PERIZIA DI VARIANTE TECNICA 2019	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE	7
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	8
5.1	CALCESTRUZZO	8
5.2	ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO	8
5.3	ACCIAIO PER CARPENTERIE METALLICHE	8
6	IPOTESI DI CALCOLO.....	9
6.1	CRITERI DI VERIFICA	9
6.1.1	<i>VERIFICHE PER GLI ELEMENTI METALLICI</i>	<i>9</i>
6.1.2	<i>VERIFICHE DEL SISTEMA DI ANCORAGGIO.....</i>	<i>9</i>
6.1.3	<i>VERIFICHE PER GLI ELEMENTI IN CEMENTO ARMATO</i>	<i>10</i>
6.2	CARICHI ELEMENTARI	12
6.3	COMBINAZIONI DI CARICO DI PROGETTO	13
7	ANALISI E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	14
7.1	VERIFICA DEI MONTANTI – h = 5M	14
7.2	VERIFICA DI TIRAFONDI E PIASTRA DI ANCORAGGIO	14
7.3	VERIFICA DEI CORDOLI IN C.A.	15
7.4	VERIFICA DELLE FONDAZIONI SU PALI	17
7.4.1	<i>Fondazioni su pali – Metodologia di calcolo</i>	<i>17</i>
7.4.2	<i>Fondazioni su pali – Verifiche.....</i>	<i>19</i>

Indice delle Tabelle e delle Figure

TABELLA 2-1. STRALCIO ELENCO ELABORATI PE 2006	5
TABELLA 5-1. PARAMETRI DI PROGETTO DEL CALCESTRUZZO	8
TABELLA 5-2. PARAMETRI DI PROGETTO DELL'ACCIAIO DI ARMATURA.....	8
TABELLA 7.1: COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI.....	17
TABELLA 7.2: COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO.....	18
TABELLA 7.3: COEFFICIENTI γ_{R3} PER IL CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE (N.T.C. 2018, TAB. 6.4.II).	18
TABELLA 7.4: COEFFICIENTI ϵ RIDUTTIVI DELLA CAPACITÀ PORTANTE (N.T.C. 2018, TAB. 6.4.IV)	18
TABELLA 7.5: COEFFICIENTI E APPROCCIO DI NORMATIVA (N.T.C. 2018, TAB. 6.4.IV).....	18

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

1 PREMESSA

1.1 ITER ATTUATIVO DEL PROGETTO

In seguito a gara d'appalto ad evidenza europea l'Autostrada Brescia Verona Vicenza Padova S.p.A. ha affidato l'incarico per la redazione del progetto definitivo ed esecutivo all'ATI TECHNITAL S.p.A. (Mandataria) - SPEA Ingegneria Europea S.p.A. - SINA Società Iniziative Nazionali Autostradali S.p.A. - T.E.C.N.I.C. S.p.A. - ROCKSOIL S.p.A. Nel novembre 2000 è stata ultimata la predisposizione del progetto definitivo.

In data 1 febbraio 2001 è stata attivata la Valutazione di Impatto Ambientale a livello nazionale, conclusasi con l'emissione del Decreto Interministeriale n.° 7724 del 22 Ottobre 2002 che ha sancito la compatibilità ambientale dell'opera con prescrizioni.

Si trattava di un progetto articolato in cinque lotti; ed in particolare:

- Lotto 1: Ospitaletto-Concesio;
- Lotto 2: Brescia - Concesio;
- Lotto 3: Concesio- Villa Carcina;
- Lotto 4: Villa Carcina- Sarezzo;
- Lotto 5: Sarezzo-Lumezzane.

L'intero raccordo in progetto si estendeva per complessivi 35 km. circa e comprendeva sia il potenziamento e l'ampliamento di tratti di viabilità esistente (per 12 km circa) che la realizzazione di tratti autostradali su nuova sede (per 23 km circa). Per l'esercizio della nuova infrastruttura era stata prevista una sola barriera di esazione, ed in particolare a Concesio.

Il progetto definitivo è stato poi aggiornato in data Gennaio 2003 al fine di recepire le prescrizioni del Decreto VIA di pertinenza della progettazione definitiva. Considerato che il Raccordo Autostradale è contemplato dalla delibera CIPE del 21 Dicembre 2001 che individua le "infrastrutture strategiche di preminente interesse nazionale", in data 5 Giugno 2003 è stata chiesta l'approvazione del progetto definitivo secondo le procedure della Legge Obbiettivo.

In seguito a Conferenza dei Servizi, istruttoria tenutasi nelle date del 29 Luglio 2003 e dell'1 Settembre 2003, in data 27 maggio 2004 è intervenuta la delibera del CIPE che ha sancito, tra l'altro, la conclusiva approvazione del progetto definitivo, con prescrizioni, nonché la dichiarazione di pubblica utilità dell'opera.

E' stato quindi predisposto il progetto esecutivo, ultimato in data febbraio 2005, che prevedeva l'articolazione in 11 lotti attuativi.

- Lotto 1: Riqualficazione della SP 19 da Passirano a Gussago;
- Lotto 2: Riqualficazione della SP 19 da Gussago a Concesio;
- Lotto 3: Nuova galleria di Gussago;
- Lotto 4: Interventi sulla SP 45;
- Lotto 5: Galleria artificiale Caserma Papa;
- Lotto 6: Brescia-Concesio;
- Lotto 7: Interventi sull'alveo del Fiume Mella;
- Lotto 8: Concesio-Sarezzo;
- Lotto 9: Svincolo di Sarezzo;
- Lotto 10: Sarezzo-Lumezzane;
- Lotto 11: Completamento svincolo Villa Carcina/Sarezzo.

Successivamente è emersa la necessità di definire due stralci funzionali che contemplassero una ripartizione delle opere del progetto differente rispetto ai lotti precedentemente definiti.

Nel 2006 è risultato che i due stralci funzionali citati dovessero essere realizzati da ANAS S.p.A. in luogo del Concessionario Autostrada Brescia Verona Vicenza Padova S.p.A. determinando quindi una rimodulazione delle opere in funzione delle effettive disponibilità economiche. Sulla scorta di tale nuovo input è stato elaborato il progetto del 1° Lotto Funzionale, che si prefiggeva l'obiettivo di decongestionare il traffico della ex S.S. n. 345 nell'area compresa tra Concesio e Sarezzo e di ridurre le notevoli code ed i conseguenti disagi

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

che si registrano a Sarezzo in corrispondenza del crocevia per Lumezzane. Comunque non alterava quanto già elaborato a livello di progetto esecutivo delle versioni precedenti. Infatti tutti gli interventi che componevano il lotto funzionale erano ricompresi nel progetto esecutivo generale febbraio 2005.

Il 1° Lotto Funzionale era articolato essenzialmente nella realizzazione della tratta Concesio - Sarezzo e nel completamento della canna nord della galleria Villa Carcina. Esso era costituito da una parte del precedente progetto del *1° stralcio funzionale*, ed in particolare ne inglobava i tratti n. 1 (Concesio-Sarezzo), n. 2 (Svincolo di Sarezzo) e la parte terminale del n. 4 (Gussago-Concesio).

Ad ottobre 2018 l'ATI di progettisti composta da Rina Consulting, Amberg Engineering, Etacons, CDB, Land è stata incaricata da ANAS Coordinamento Territoriale Nord-Ovest di redigere una perizia di Variante Tecnica (PVT) che prevedesse il mantenimento di una sola carreggiata del 1° Lotto Funzionale recependo anche un nuovo svincolo di San Vigilio studiato dal Compartimento ANAS di Milano nel 2017 e inserendo anche il tratto di viabilità relativo alla Valgobbia in uscita dalla galleria Villa Carcina canna Nord fino a raggiungere una nuova rotatoria in progetto prevista sulla SP 3 prima dell'abitato di Lumezzane. Questo tratto della Valgobbia era stato sviluppato fino al livello di progettazione definitiva ed era stato approvato dal CIPE.

La realizzazione di una sola carreggiata comporta necessariamente l'apertura al traffico in una configurazione provvisoria propria di una strada tipo C1 ma mantenendo la medesima larghezza della carreggiata autostradale prevista nel progetto esecutivo del 2006. In questo modo in un futuro si potrà prevedere la realizzazione dell'altra carreggiata autostradale in modo da completare l'infrastruttura come da PE 2006.

1.2 OGGETTO DELLA PRESENTE RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

L'intervento ricade nell'ambito della realizzazione del raccordo autostradale tra l'Autostrada A4 e la Valtrompia. Le strutture di seguito calcolate sono costituite da montanti in acciaio aventi fondazione a plinto con micropali su rilevato stradale e trincea o cordoli in C.A. per tratti su opere d'arte (muri di sostegno ecc.). I montanti sorreggono pannelli fonoisolanti di legno o metallo con elementi trasparenti.

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Si riassume di seguito la documentazione di riferimento per il presente elaborato di progetto.

2.1 PROGETTO ESECUTIVO 2006

La tabella seguente riporta uno stralcio dell'elenco elaborati del Progetto Esecutivo 2006, con riferimento agli elaborati relativi all'opera in oggetto.

Tabella 2-1. Stralcio elenco elaborati PE 2006

OV-BA1200	Tratto 2 – Relazione descrittiva del dimensionamento delle barriere antirumore
OV-BA1204	Tratto 2 – Relazione di calcolo degli elementi strutturali delle barriere antirumore
OV-BA1105	Relazione di calcolo degli elementi strutturali delle barriere antirumore

2.2 PERIZIA DI VARIANTE TECNICA 2019

La tabella seguente riporta uno stralcio dell'elenco elaborati della presente Perizia di Variante Tecnica, con riferimento agli elaborati relativi all'opera in oggetto.

0000D_ARCH0019_00	Planimetria ubicazione barriere fonoassorbenti - Tavola 1/3
0000D_ARCH0020_00	Planimetria ubicazione barriere fonoassorbenti - Tavola 2/3
0000D_ARCH0021_00	Planimetria ubicazione barriere fonoassorbenti - Tavola 3/3
0000D_ARCH0022_00	Sezioni e dettagli barriere fonoassorbenti - Tavola 1/2
0000D_ARCH0023_00	Sezioni e dettagli barriere fonoassorbenti - Tavola 2/3

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi numeriche e le verifiche sono state effettuate con riferimento alla seguente Normativa e alle seguenti Raccomandazioni:

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – DECRETO 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”;
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – CIRCOLARE 21 gennaio 2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La presente relazione riguarda le verifiche condotte per il dimensionamento delle barriere fonoassorbenti distribuite lungo il tracciato stradale come mostrato negli elaborati grafici di riferimento.

Il dimensionamento ha riguardato i montanti strutturali delle barriere stesse, i tirafondi di ancoraggio e i cordoli di fondazione, secondo le modalità presentate nel seguito.

Per quanto riguarda i cordoli di fondazione, sono previste due differenti tipologie, per le sezioni in rilevato dei cordoli in C.A. su micropali come mostrato in Figura 4.1-a, mentre per quanto riguarda le sezioni a bordo muro è prevista la realizzazione di cordoli in C.A. come mostrato in Figura 4.1-b.

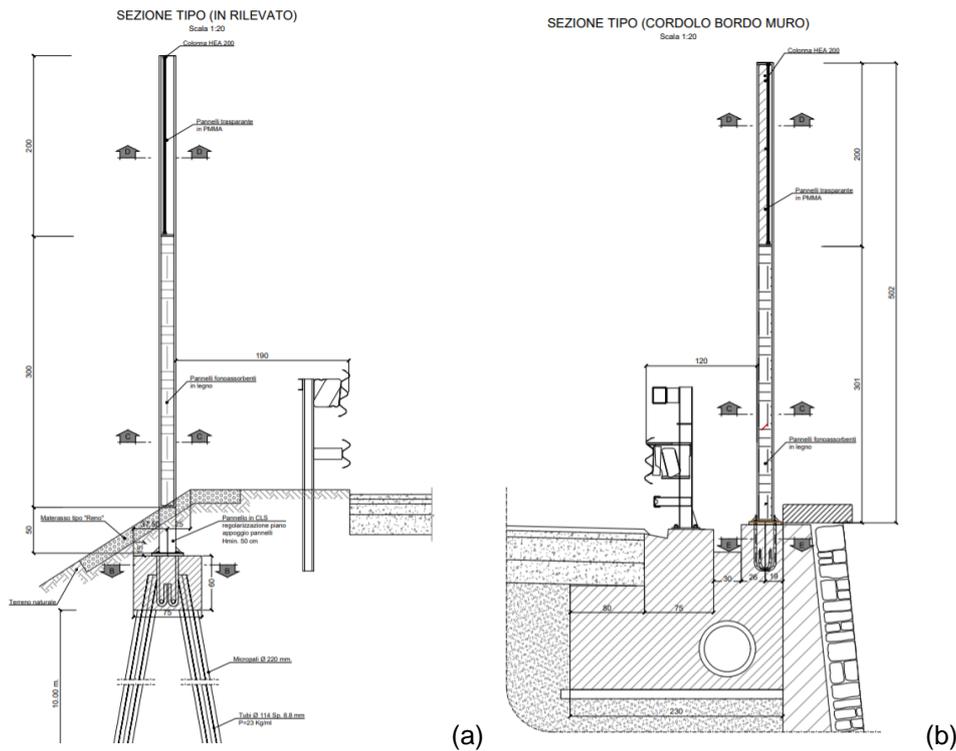


Figura 4.1 – Barriere fonoassorbenti – fondazioni: (a) fondazione su micropali, (b) cordolo in C.A.

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

5.1 CALCESTRUZZO

La seguente tabella riassume le principali caratteristiche del calcestruzzo previsto per la realizzazione dei cordoli.

Tabella 5-1. Parametri di progetto del calcestruzzo

Classe di resistenza D.M. 2018	C35/45
Resistenza a compressione (caratteristica) – f_{ck}	35 MPa
Resistenza a compressione di calcolo – f_{cd}	19.8 MPa
Modulo di Young di calcolo – E_c	34077 MPa
Coefficiente di Poisson di calcolo – ν	0.2

5.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

La seguente tabella riassume le principali caratteristiche dell'acciaio di armatura previsto per la realizzazione dei cordoli.

Tabella 5-2. Parametri di progetto dell'acciaio di armatura

Classe D.M. 2018	B450C
Resistenza a snervamento (caratteristica) – f_{yk}	450 MPa
Resistenza a snervamento di calcolo – f_{ck}	391.3 MPa
Modulo di Young – E_s	200000 MPa

5.3 ACCIAIO PER CARPENTERIE METALLICHE

Per i profili metallici si è adottato un acciaio di classe S355 con le seguenti caratteristiche:

- ✓ $f_{yk} = 355$ MPa; Resistenza caratteristica dell'acciaio;
- ✓ $E = 210000$ MPa Modulo elastico.

Si precisa che il coefficiente parziale di sicurezza γ_M è pari a 1.05 (NTC2018 par.4.3.3).

Dadi	Classe 8 S	UNI EN 3740/4 (10/85)
Bullonerie	Classe 8.8	UNI EN 20898/1 (12/91)

6 IPOTESI DI CALCOLO

6.1 CRITERI DI VERIFICA

6.1.1 VERIFICHE PER GLI ELEMENTI METALLICI

6.1.1.1 Resistenza a flessione della sezione in acciaio e verifica

Il momento resistenze della sezione è stato valutato con la seguente espressione:

$$M_{Rd} \geq W_{pl} \cdot f_{yd}$$

dove con W_{pl} è il modulo resistente plastico della sezione (sezione di classe 1).

Per la verifica di resistenza è stato controllato che:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

dove M_{Ed} indica il valore del momento sollecitante.

6.1.1.2 Resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti e verifica

Per la verifica a taglio la resistenza è stata posta pari a quella dell'anima del profilo in acciaio:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

dove A_v è pari all'area dell'anima del profilo.

Per la verifica di resistenza è stato controllato che:

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

dove V_{Ed} indica il valore dello sforzo di taglio sollecitante.

6.1.2 VERIFICHE DEL SISTEMA DI ANCORAGGIO

Per quanto riguarda le verifiche sui tirafondi sono state effettuate le verifiche a trazione-taglio sui bulloni.

La verifica a taglio-trazione dei tirafondi è stata effettuata in accordo a quanto prescritto nel paragrafo 4.2.8.1.1 delle NTC2018. Essendo nel caso di presenza combinata di trazione e taglio, è stata adottato il seguente criterio:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1 \\ \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \end{array} \right.$$

Dove con $F_{v,Ed}$ e $F_{t,Ed}$ sono rispettivamente le sollecitazioni di taglio e trazione agenti sul bullone mentre con $F_{v,Rd}$ e $F_{t,Rd}$ rappresentano rispettivamente le resistenze di taglio e trazione.

La **resistenza di calcolo a taglio** dei bulloni $F_{v,Rd}$, è stata assunta pari al minimo tra la resistenza a trazione del tirafondo stesso $F_{v,Rdbul}$ e la resistenza a rifollamento della piastra $F_{b,Rd}$, calcolate come:

$$F_{v,Rdbul} = 0.6 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}$$

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

$$F_{v,Rd} = \min \{ F_{v,Rdbul}; F_{b,Rd} \}$$

dove:

- d è il diametro nominale del gambo del bullone;
- t è lo spessore della piastra collegata;

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

- γ_{M2} è il coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni (pari a 1.25);
- f_{tk} è la resistenza a rottura della piastra collegata;
- $\alpha = \min\{e_1/(3 d_0); f_{tb}/f_{tk}; 1\}$;
- $k = \min\{2.8 e_2/d_0 - 1.7; 2.5\}$;
- f_{tb} è la resistenza a rottura del materiale utilizzato per realizzare il bullone;
- d_0 è il diametro nominale del foro di alloggiamento del bullone;
- e_1 è la distanza del foro dal lembo esterno della piastra in direzione parallela all'azione del carico;
- e_2 è la distanza del foro dal lembo esterno della piastra in direzione ortogonale all'azione del carico.

La **resistenza di calcolo a trazione** $F_{t,Rd}$ degli elementi di connessione è stata assunta pari al minimo tra la resistenza a trazione del tirafondo stesso $F_{t,Rd\ bul}$ e la resistenza a punzonamento della piastra $B_{p,Rd}$.

$$F_{t,Rd\ bul} = 0.9 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}$$

$$B_{p,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{tk} / \gamma_{M2}$$

$$F_{t,Rd} = \min\{F_{t,Rd\ bul}; B_{p,Rd}\}$$

dove:

- f_{tbk} indica la resistenza a rottura del bullone;
- $\gamma_{M2} = 1.25$ è il coefficiente di sicurezza per la verifica della resistenza delle unioni;
- d_m è il minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone (a favore di sicurezza si considera il diametro del bullone);
- t_p è lo spessore della piastra;
- f_{tk} è la tensione di rottura dell'acciaio della piastra.

6.1.3 VERIFICHE PER GLI ELEMENTI IN CEMENTO ARMATO

6.1.3.1 Calcolo della resistenza a sforzo normale e flessione e verifica della sezione in c.a. (SLU)

La valutazione della resistenza (STR) delle sezioni di elementi monodimensionali nei confronti di sforzo normale e flessione si valuta, coerentemente con quanto riportato al paragrafo 4.1.2.3.4.2 delle NTC 2018, facendo ricorso alle seguenti ipotesi:

- ✓ conservazione delle sezioni piane;
- ✓ perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- ✓ rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- ✓ rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Per quanto riguarda i modelli costitutivi dei materiali è stato adottato per l'acciaio un legame bilineare associato ad un comportamento elastico perfettamente plastico mentre si è scelto un diagramma con andamento parabola-rettangolo per il calcestruzzo come permesso dalla Normativa di riferimento.

Fissate tali ipotesi la verifica allo SLU della sezione presso inflessa si pone controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

Dove M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente allo sforzo normale agente (N_{Ed}) e M_{Ed} è il momento sollecitante la sezione.

6.1.3.2 Calcolo della resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti e verifica

dell'elemento (SLU)

La resistenza a taglio V_{Rd} dell'elemento (STR) si valuta sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio. Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola:

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

La resistenza a "taglio compressione" si pone invece:

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

La resistenza a taglio dell'elemento è la minore di quelle definite:

$$V_{Rd} = \text{MIN} (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

La verifica di resistenza si pone:

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

dove V_{Ed} indica il valore dello sforzo di taglio sollecitante.

Per maggiori chiarimenti circa i simboli adoperati si faccia riferimento alle NTC 2018 al paragrafo 4.1.2.3.5. ed al paragrafo 7.4.4.5.1.

6.1.3.3 Calcolo della resistenza nei confronti delle sollecitazioni torcenti e verifica dell'elemento (SLU)

La sezione risulta verificata a torsione se è rispettata la seguente relazione:

$$T_{Ed} \leq T_{Rd}$$

dove:

- T_{Ed} è il momento torcente agente;
- T_{Rd} è il momento torcente resistente.

Il momento torcente resistente è pari a $T_{Rd} = \min \{T_{Rcd}; T_{Rsd}; T_{Rld}\}$, ovvero è dato dal minimo dei seguenti tre meccanismi di rottura differenti:

- Resistenza lato calcestruzzo:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\cotg\theta}{1 + \cotg^2\theta}$$

- Resistenza lato staffe:

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

- Resistenza lato armatura longitudinale:

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

dove:

- $t = A_c / u \geq 2c$, spessore della sezione cava equivalente;
- A_c , area della sezione;
- u , perimetro della sezione;
- $A = (B - 2 \cdot t/2) \cdot (H - 2 \cdot t/2)$, area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;
- $u_m = 2[(B - 2 \cdot t/2) + (H - 2 \cdot t/2)]$, perimetro medio del nucleo resistente;

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

- $f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$, resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima;
- A_s , area delle staffe impiegate per la verifica a torsione;
- s , passo delle staffe impiegate per la verifica a torsione;
- ΣAl , area complessiva delle barre longitudinali impiegate per la verifica a torsione.

6.1.3.4 Calcolo della resistenza nei confronti delle sollecitazioni torcenti e taglianti combinate (SLU)

Nel caso di membrature soggette a sollecitazioni combinate di taglio e torsione è necessario verificare l'ulteriore condizione relativa alla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo.

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} \leq 1$$

In cui i valori resistenti T_{Rcd} e V_{Rcd} sono determinati assumendo lo stesso valore per l'angolo θ di inclinazione delle bielle compresse di calcestruzzo per le verifiche a taglio e torsione.

6.2 CARICHI ELEMENTARI

I carichi agenti sulla struttura sono i seguenti:

Peso proprio

Il peso proprio delle barriere fonoassorbenti è stato assunto pari a 440 kg/m in accordo a quanto definito nel P.E.2006

Azione del vento

Si riportano in seguito i valori assunti per il calcolo dell'azione del vento, calcolato considerando un tempo di ritorno pari a 100 anni.

Zona 1 (Lombardia)

- $v_{b,0}=25\text{m/s}$
- $a_0=1000\text{m}$
- $k_s=0.4$

$a_s \approx 200 \div 400\text{m slm}$ ($<a_0=1000\text{m}$)

Considerando la classe di rugosità B (aree urbane non di classe A, suburbane, industriali e boschive) e una distanza dalla costa $>30\text{km}$, viene definita la classe di esposizione IV in accordo alle NTC2018, con i seguenti parametri:

- $k_r=0.22$
- $z_0=0.3\text{m}$
- $z_{\min}=8\text{m}$

Sono stati considerati i seguenti coefficienti:

Coefficiente di altitudine: $c_a=1$ ($a_s < a_0$)

Coefficiente di ritorno: $c_r=0.75 (1-0.2 \ln(-\ln(1-1/T_R)))^{0.5}=1.04$

Coefficiente di forma: $c_p = 1.2$

Coefficiente dinamico: $c_d = 1.0$

Coefficiente di topografia: $c_t = 1.0$

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

Il calcolo del coefficiente di esposizione è stato condotto considerando una quota massima, rispetto al p.c. di 13m.

Coefficiente di esposizione: $c_e(z=13m) = K_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 1.96$

La velocità di riferimento v_r è calcolata come: $v_r = v_{b,0} \cdot C_r = 25.98$

La pressione cinetica di riferimento q_r è calcolata come: $q_r = 0.5 \cdot \rho \cdot v_r^2 = 421.86 \text{ N/m}^2$

La pressione del vento, infine, viene calcolata come: $p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 994 \text{ N/m}^2$

6.3 COMBINAZIONI DI CARICO DI PROGETTO

Per il dimensionamento delle opere sono state considerate le combinazioni di calcolo più gravose previste dalla Normativa di riferimento. In particolare sono state assunte:

- ✓ Combinazione Fondamentale (SLU): $\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2} + \dots$

I coefficienti moltiplicativi γ_G e γ_Q sono stati assunti rispettivamente pari a 1.3 (per il peso proprio della barriera) e 1.5 (per il vento)

7 ANALISI E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

7.1 VERIFICA DEI MONTANTI – H = 5M

Le verifiche sono condotte in accordo al paragrafo 6.1.1.

Per i montanti si è scelto un profilo HE200A avente le seguenti caratteristiche:

- $A=5383 \text{ mm}^2$
- $A_v=1808 \text{ mm}^2$
- $W_{pl}=429500 \text{ mm}^3$

Ne derivano pertanto le seguenti resistenze:

- $V_{Rd}=353 \text{ kN}$
- $M_{Rd}=145 \text{ kNm}$

Per quanto riguarda le sollecitazioni, considerando un interasse dei montanti pari a 3m e una altezza degli stessi pari a 5m, ne derivano le seguenti sollecitazioni alla base:

- $V_{Ed}=23 \text{ kN}$
- $M_{Ed}=56 \text{ kNm}$

Le verifiche dei montanti risultano pertanto soddisfatte.

7.2 VERIFICA DI TIRAFONDI E PIASTRA DI ANCORAGGIO

Sulla base dello schema della piastra di ancoraggio riportato in Figura 7.1, sono state condotte le verifiche in accordo alla metodologia riportata al paragrafo 6.1.2.

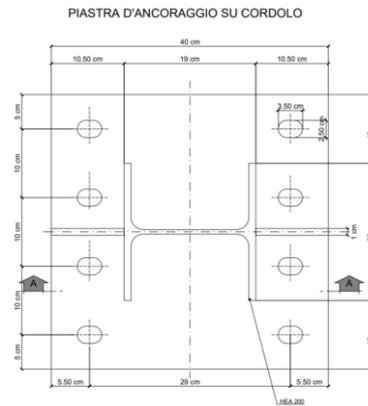


Figura 7.1 – Barriere fonoassorbenti – dettaglio piastra di ancoraggio

Considerando bulloni M24 classe 8.8 con le seguenti caratteristiche:

- $A_{res} = 353 \text{ mm}^2$
- $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$
- $f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$

Ne derivano le seguenti resistenze:

- $F_{v,Rd \text{ bul}} = 135 \text{ kN}$
- $F_{t,Rd \text{ bul}} = 203 \text{ kN}$

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

Considerando la piastra di ancoraggio avente le caratteristiche geometriche riportate in Figura 7.1 e uno spessore pari a 20mm, ne derivano le seguenti resistenze:

- $F_{b,Rd} = 374 \text{ kN}$
- $B_{p,Rd} = 369 \text{ kN}$

Assumendo come resistenza globale il valore minimo tra la rottura lato bullone e la rottura lato piastra ne derivano i seguenti valori:

- $F_{v,Rd} = 135 \text{ kN}$
- $F_{t,Rd} = 203 \text{ kN}$

Per quanto riguarda le azioni sollecitanti, considerando le sollecitazioni derivanti dalla base del montante ($V_{Ed}=23\text{kN}$, $N_{Ed}=17\text{kN}$ e $M_{Ed}=56\text{kNm}$) è possibile calcolare la massima sollecitazione su ogni bullone considerando lo schema riportato in Figura 7.1.

- $F_{v,Ed} = 3 \text{ kN}$
- $F_{t,Ed} = 46 \text{ kN}$

le verifiche sui tirafondi e sulle piastre di ancoraggio risultano pertanto soddisfatte:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} = 0.18 < 1 \\ \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 0.23 < 1 \end{array} \right.$$

7.3 VERIFICA DEI CORDOLI IN C.A.

Sono state condotte le verifiche, in accordo alla metodologia riportata al paragrafo 6.1.3, sulle due tipologie di cordolo riportate in Figura 7.2.

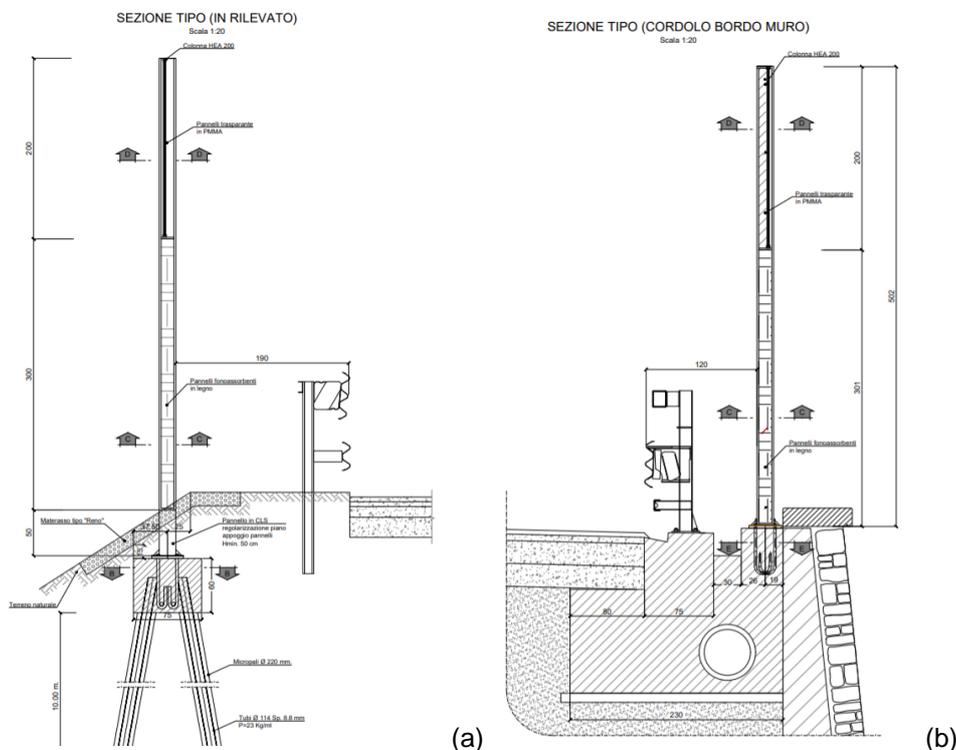


Figura 7.2 – Barriere fonoassorbenti – fondazioni: (a) fondazione su micropali, (b) cordolo in C.A.

Per quanto riguarda la **fondazione su micropali**, è caratterizzato da una sezioni in calcestruzzo (C35/40) avente base pari a 75cm e altezza pari a 60cm. Ne derivano le seguenti resistenze lato calcestruzzo:

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

- $T_{Rcd} = 417 \text{ kNm}$ ($\cotg\theta=1$), 288 kNm ($\cotg\theta=2.5$)
- $V_{Rcd} = 1808 \text{ kN}$ ($\cotg\theta=1$), 1246 kN ($\cotg\theta=2.5$)

Lo stesso cordolo presenta staffe caratterizzate da $\phi 12/20$, pertanto ne derivano le seguenti resistenze lato staffe:

- $T_{Rsd} = 223 \text{ kNm}$ ($\cotg\theta=1$), 558 kNm ($\cotg\theta=2.5$)
- $V_{Rsd} = 268 \text{ kN}$ ($\cotg\theta=1$), 671 kN ($\cotg\theta=2.5$)

Per quanto riguarda le armature longitudinali sono caratterizzate da $\phi 16$ disposti come in Figura 7.2. Ne deriva una resistenza lato armatura longitudinale pari a:

- $T_{Rld} = 263 \text{ kNm}$ ($\cotg\theta=1$), 105 kNm ($\cotg\theta=2.5$)

Per quanto riguarda le azioni sollecitanti, si sono considerate le sollecitazioni derivate alla base del montante, pertanto:

- $T_{Ed} = 56 \text{ kNm}$
- $V_{Ed} = 22 \text{ kN}$

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte essendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 0.08 < 1 \\ \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = 0.53 < 1 \\ \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} = 0.14 < 1 \end{array} \right.$$

Per quanto riguarda il **cordolo in C.A.**, è caratterizzato da una sezioni in calcestruzzo (C35/40) avente base pari a 230cm e altezza pari a 180cm. Ne derivano le seguenti resistenze lato calcestruzzo:

- $T_{Rcd} = 11640 \text{ kNm}$ ($\cotg\theta=1$), 8027 kNm ($\cotg\theta=2.5$)
- $V_{Rcd} = 16640 \text{ kN}$ ($\cotg\theta=1$), 11470 kN ($\cotg\theta=2.5$)

Lo stesso cordolo presenta staffe caratterizzate da $\phi 12/20$, pertanto ne derivano le seguenti resistenze lato staffe:

- $T_{Rsd} = 2055 \text{ kNm}$ ($\cotg\theta=1$), 5137 kNm ($\cotg\theta=2.5$)
- $V_{Rsd} = 824 \text{ kN}$ ($\cotg\theta=1$), 2059 kN ($\cotg\theta=2.5$)

Per quanto riguarda le armature longitudinali sono caratterizzate da $\phi 16$ disposti come in Figura 7.2. Ne deriva una resistenza lato armatura longitudinale pari a:

- $T_{Rld} = 1211 \text{ kNm}$ ($\cotg\theta=1$), 484 kNm ($\cotg\theta=2.5$)

Per quanto riguarda le azioni sollecitanti, considerando la presenza delle barriere di sicurezza sul presente cordolo, si sono considerate le sollecitazioni derivate dall'urto sulla barriera di sicurezza (100 kN ad una altezza di 1m), essendo le stesse più gravose rispetto a quelle derivanti dalle barriere fonoassorbenti:

- $T_{Ed} = 100 \text{ kNm}$
- $V_{Ed} = 100 \text{ kN}$

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte essendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 0.12 < 1 \\ \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = 0.20 < 1 \\ \frac{V_{Ed}}{V_{Rcd}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} = 0.01 < 1 \end{array} \right.$$

7.4 VERIFICA DELLE FONDAZIONI SU PALI

7.4.1 Fondazioni su pali – Metodologia di calcolo

Le verifiche delle fondazioni profonde su pali sono eseguite in accordo al capitolo 6.4 delle N.T.C. 2018 e al capitolo 7.11.5 per l'analisi in condizioni sismiche.

Le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, quando pertinenti:

1. SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
- stabilità globale;

2. SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza dei pali;
- raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali,

accertando che il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni E_d sia inferiore al valore di progetto delle resistenze R_d per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II NTC 2008 per le azioni e i parametri geotecnici, e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali. Nel caso in esame tale verifica non risulta rilevante in quanto sono presenti opere di sostegno specifiche, che sono analizzate negli elaborati specialistici dedicati.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.II NTC 2008, in accordo all'Approccio 2: Combinazione A1+M1+R3.

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

Le verifiche SLU sopra riportate sono state eseguite sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche SLV. Le verifiche in condizioni definitive sono state eseguite considerando una vita utile dell'opera di 50 anni.

La verifica di capacità portante verticale viene eseguita mediante fogli excel validati. Nel caso in esame i pali sono eseguiti con iniezione in pressione e pertanto vengono calcolati mediante la metodologia di Bustamante & Doix, considerando una tensione τ di 70 kPa e un fattore α pari a 1.1.

Tali verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI delle NTC 2018.

Si riportano di seguito le tabelle di normativa considerate per il calcolo dei pali.

Tabella 7.1: Coefficienti parziali per le azioni

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

Tabella 7.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 7.3: Coefficienti γ_{R3} per il calcolo della capacità portante (N.T.C. 2018, Tab. 6.4.II).

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Si è verificato che $F_{cd} < R_{cd}$

dove:

F_{cd} = carico assiale di compressione o di trazione assunto in progetto nelle verifiche allo stato limite ultimo;

R_{cd} = capacità portante di progetto allo stato limite ultimo nei confronti dei carichi assiali.

Sono stati applicati i coefficienti correttivi identificati ξ da normativa per un modello geotecnico caratterizzato da un numero di verticali d'indagine disponibili maggiore o pari a 5.

Tabella 7.4: Coefficienti ξ riduttivi della capacità portante (N.T.C. 2018, Tab. 6.4.IV)

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Per il calcolo del carico limite orizzontale è stato considerato il capitolo 6.4.3.1.2 delle NTC 2018, con riferimento ai fattori di resistenza γ_R riportati nella tabella 6.4.VI.

Tabella 7.5: Coefficienti e approccio di normativa (N.T.C. 2018, Tab. 6.4.IV)

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

La determinazione del carico limite orizzontale viene eseguita mediante il software LPile 6, sviluppato da Ensoft.

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

7.4.2 Fondazioni su pali – Verifiche

Si riporta di seguito la verifica delle fondazioni su micropali della barriera FOA. Si considera il carico trasmesso da un singolo montante, caratterizzato da un interasse di 3.0 m, e si considera la trasmissione delle azioni a solamente due pali di fondazione, con approccio cautelativo (in 3 m sono disponibili 2.5 pali infatti).

Si considerano le seguenti azioni massime SLU trasmesse dalla barriera a estradosso cordolo:

- $N = 17 \text{ kN}$;
- $V = 22 \text{ kN}$;
- $M = 56 \text{ kN/m}$.

Si considera un peso aggiuntivo di 3 m di cordolo pari a 33.75 kN.

Si esegue la distribuzione delle azioni nell'ipotesi di plinto rigido, mediante foglio excel validato, in funzione dei bracci di ciascun micropalo.

Si riporta di seguito la geometria dei carichi e dei pali considerata, nell'ipotesi di 2 pali collaboranti.

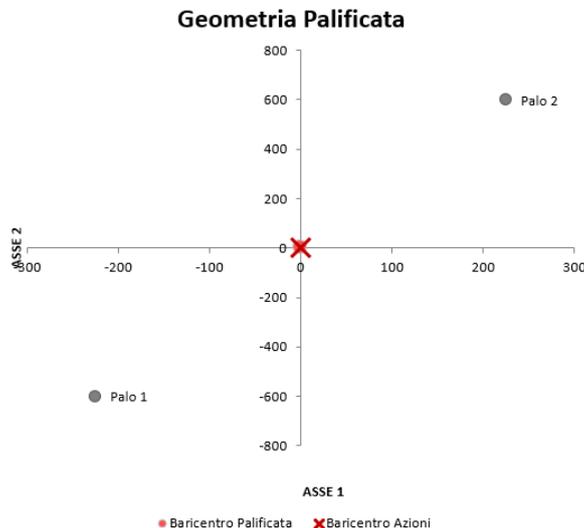


Figura 7.3– Layout carichi e fondazioni per determinazione azioni sui pali

Si ottengono le seguenti azioni massime:

$N_{\max} (\text{compr.}) = 94 \text{ kN}$

$N_{\min} (\text{traz.}) = 21 \text{ kN}$

$V_{\max} = 11 \text{ kN}$.

Si riporta di seguito la curva di capacità portante dei pali D220 mm di lunghezza 10 m. Si fa riferimento a una condizione stratigrafica generica cautelativa. Il palo è infatti realizzato in parte su rilevato (angolo di attrito 35°) e in parte sul terreno naturale che, con la sola esclusione dello strato più superficiale afferente all'unità A (28° - 30°), appartiene all'unità B dalle buone caratteristiche meccaniche (36° - 38°). Si considera pertanto una stratigrafia costituita da un unico strato avente angolo di attrito 32° .

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

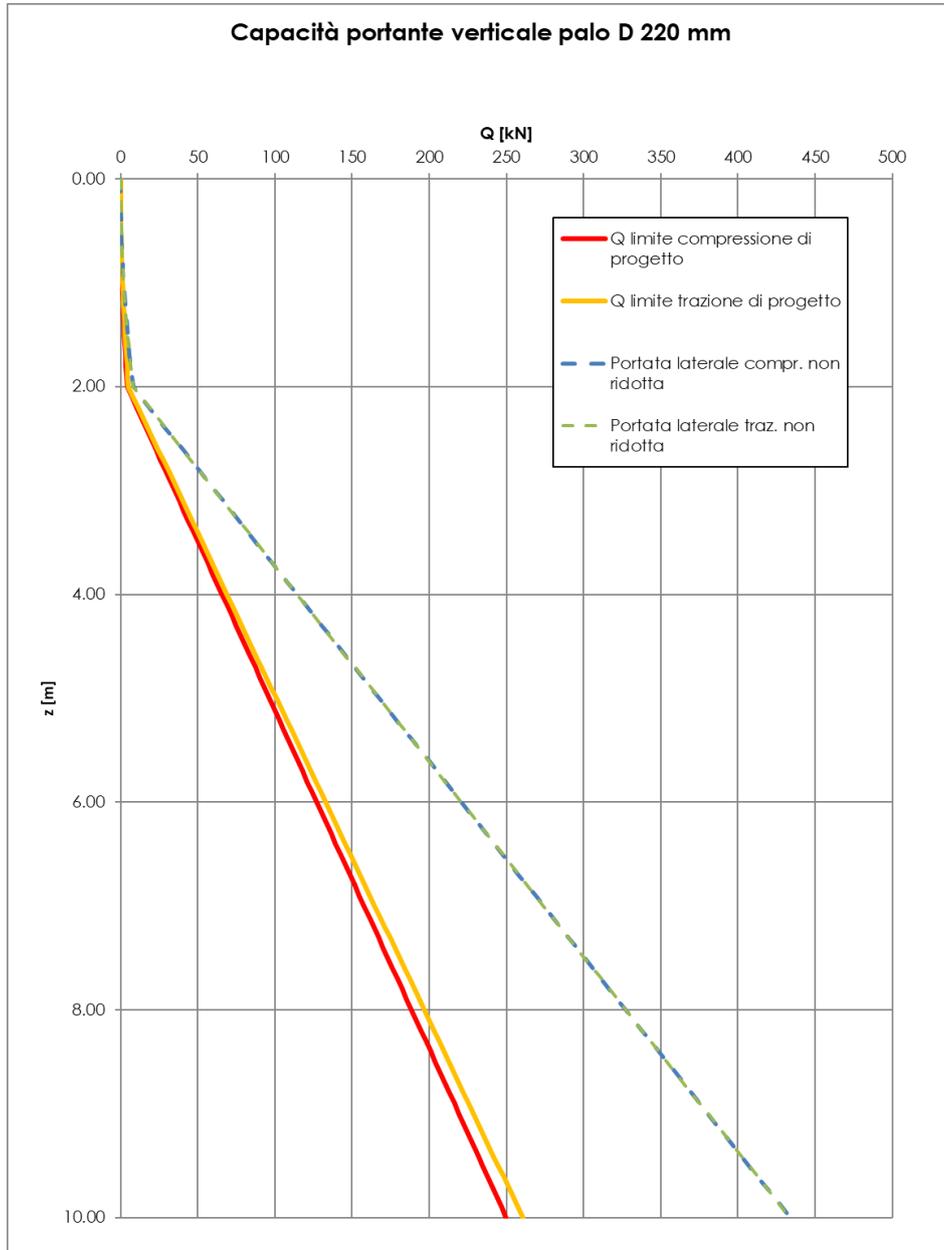


Figura 7.4: Capacità portante micropali spalla

Si riportano di seguito i valori di capacità portante di progetto ottenuti, già ridotti dei fattori riduttivi previsti dalla normativa e un fattore ζ di 1.5.

Capacità portante di progetto	
$Q_{d,compr}$ (kN)	250
$Q_{d,traz}$ (kN)	261

Figura 7.5: Verifica capacità portante spalla

La verifica di capacità portante risulta soddisfatta sia a compressione sia a trazione.

Si riporta di seguito la curva del carico limite orizzontale D220, armato con tubolare D114 mm spessore 8.8 mm, determinata mediante il software L-Pile 6. Si considerano le caratteristiche geometriche del palo, compresa l'inclinazione e una condizione di testa palo impedita di ruotare. Si ottengono due curve del carico limite, in funzione della direzione della forza orizzontale rispetto all'inclinazione del palo.

RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

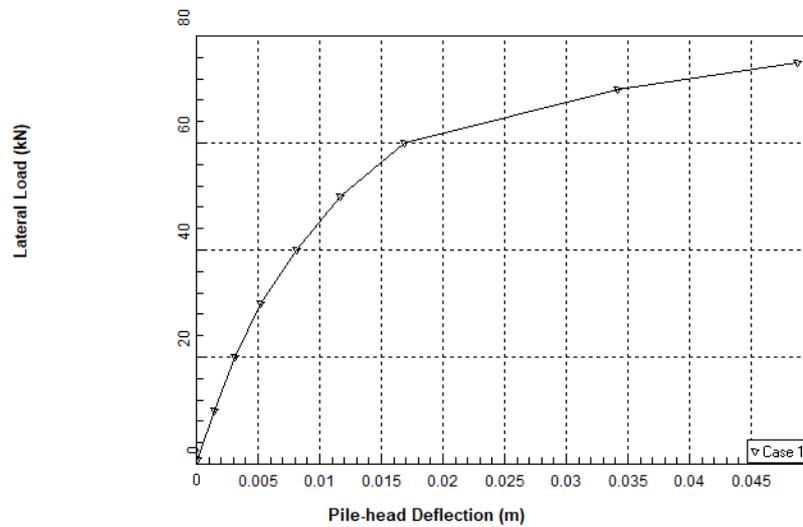


Figura 7.6: Carico limite orizzontale palo - trazione

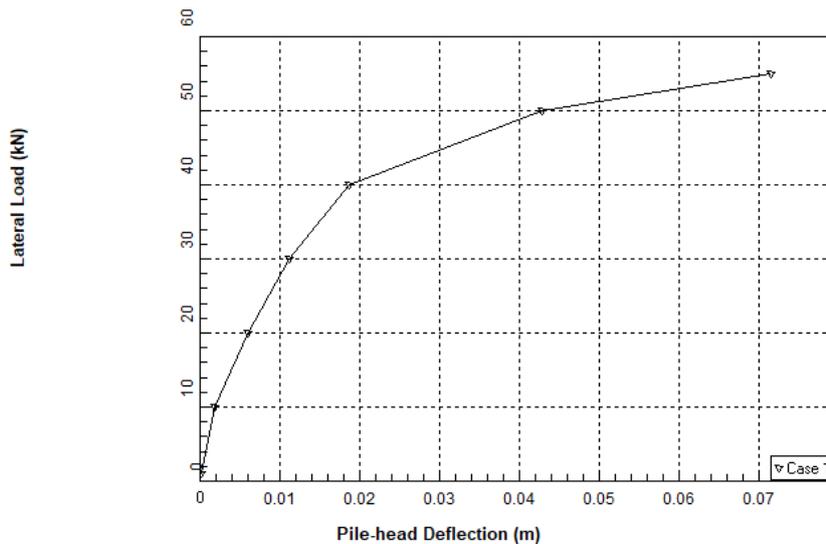


Figura 7.7: Carico limite orizzontale palo - compressione

Il carico limite orizzontale minimo tra le due condizioni risulta pari a 55 kN. Considerati i fattori riduttivi richiesti da normativa, si ottiene un carico limite orizzontale pari a 28 kN, superiore al massimo taglio di 11 kN e la verifica è soddisfatta.

Si determina il massimo momento agente lungo il fusto del micropalo, mediante il software LPile, per una azione orizzontale di 11 kN applicata in testa. Si ottiene un momento massimo pari a 7 kNm in condizioni SLU, come visibile nella figura seguente.

**RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE**

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

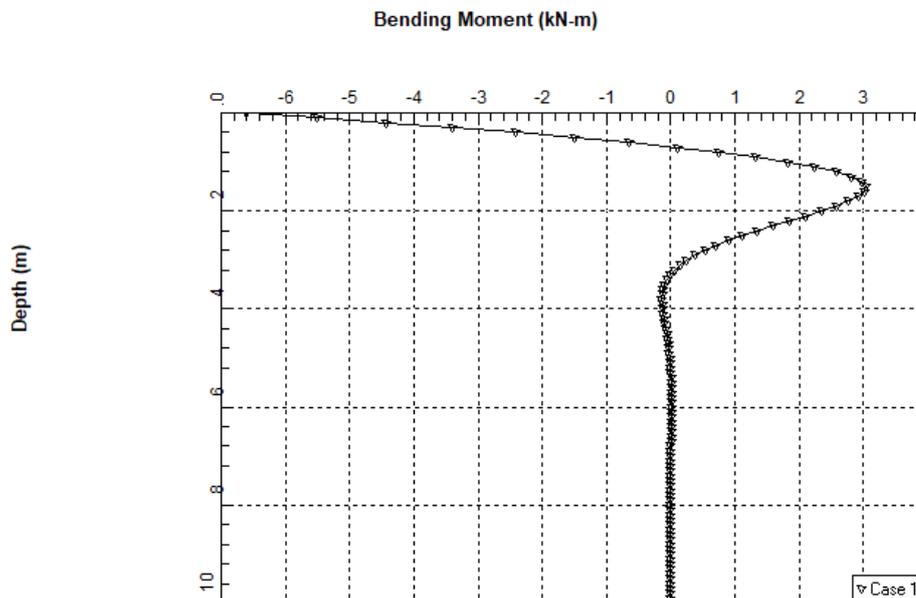


Figura 7.8: Momento massimo micropali pila

Si riporta di seguito la verifica strutturale del palo D220 mm, sottoposto al massimo momento flettente. La verifica è eseguita in accordo alle NTC 2018, da cui si evince un momento resistente di 75 kNm e un taglio resistente di 760 kN. La verifica è pertanto soddisfatta.

NTC 2018 - 4.2 Costruzioni di ACCIAIO - Verifica di SEZIONI TUBOLARI COMPATTE (CLASSE 1 o 2) con il METODO PLASTICO

Materiale			Azioni di calcolo		1	2
Acciaio	classe	S 355 -	Azione assiale	n_s kN/m	0.00	0.00
Coefficiente di sicurezza	γ_{M0}	1.05 -	Taglio	v_s kN/m	99.00	19.90
Tensione di snervamento	f_{yk}	355 MPa	Momento	m_s kNm/m	101.00	32.70
Tensione di calcolo	f_{yd}	338 MPa	Combinazioni di carico		1	2
Sezione (UNI EN 10219-2:2006)			Coefficiente di sicurezza	γ -	1	1
Diametro esterno	D	114 mm	Interasse	i m	1	1
Spessore ($s \leq 40$ mm)	s	8.8 mm	Azioni di progetto		1	2
Diametro interno	d	96.4 mm	Azione assiale	N_{sd} kN	0.00	0.00
Momento d'inerzia	I	6.48E-05 m ⁴	Taglio	V_{sd} kN	99.00	19.90
Area sezione trasversale	A	2.91E-03 m ²	Momento	M_{sd} kNm	101.00	32.70
Modulo resistente a flessione	W_{pl}	9.76E-05 m ³	Effetto delle azioni combinate (N, V, M)		1	2
Modulo resistente a taglio	$A_v = 2A/\pi$	1.85E-03 m ²	$[(2 \cdot V_{sd}/V_{pl,Rd}) - 1]^2$	ρ -	0.000	0.000
Area resistente a taglio	$A^*_v = A$	2.91E-03 m ²	$N_{s,d}/[A \cdot (1 - \rho \cdot a_v) \cdot f_{yd}]$	n -	0.000	0.000
A^*_v/A	a_v	1.000 -	Momento resistente ridotto	$M_{pl,Rd,V,N}$ kN-m	33	33
Azioni resistenti elementari			Verifiche		1	2
Azione assiale resistente	$N_{pl,Rd}$	983 kN	Azione assiale	$N_{s,d} \leq N_{pl,Rd}$	O.K.	O.K.
Taglio resistente	$V_{pl,Rd}$	361 kN	Taglio	$V_{s,d} \leq V_{pl,Rd}$	O.K.	O.K.
Momento resistente	$M_{pl,Rd}$	33 kN-m	Presso(Tenso)-Flessione	$M_{s,d} \leq M_{pl,Rd,V,N}$	NO	O.K.

Figura 7.9: Verifica pressoflessione palo – SLU/SLV

Per quanto riguarda gli spostamenti orizzontali, si riporta di seguito il calcolo dello spostamento orizzontale mediante Lpile, dovuto a una azione orizzontale SLE di 11 kN.

RACCORDO AUTOSTRADALE TRA L'AUTOSTRADA A4 E LA VALTROMPIA
PREDISPOSIZIONE COLLEGAMENTO CONCESIO – LUMEZZANE
AD UNICA CARREGGIATA
1° LOTTO FUNZIONALE

PERIZIA DI VARIANTE TECNICA

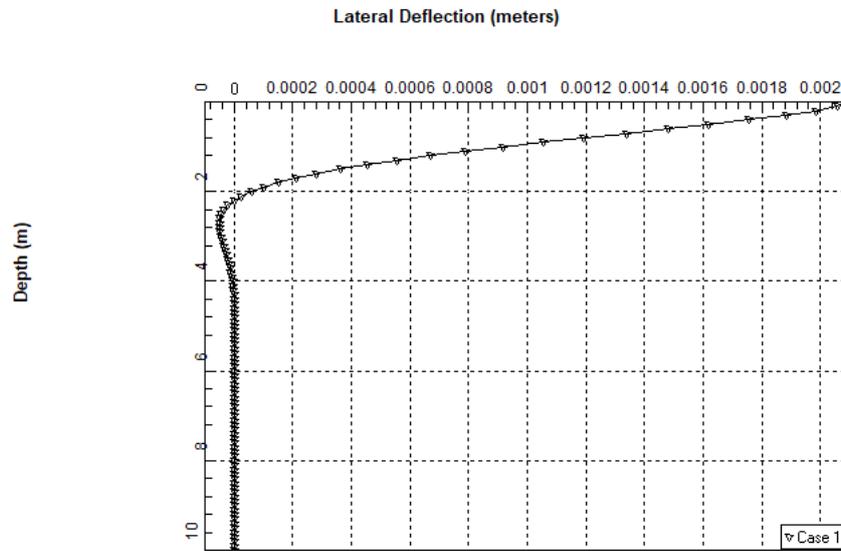


Figura 7.10: Spostamenti orizzontali micropalo

Il massimo spostamento orizzontale del micropalo è pari a 2.0 mm e si considera accettabile.