

INDICE

1. GENERALITA'	4
1.1. OGGETTO E SCOPO	4
1.2. TIPOLOGIE DI BARRIERE	4
1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
1.4. INQUADRAMENTO SISMICO.....	7
1.5. SOFTWARE DI CALCOLO.....	7
2. MATERIALI.....	8
3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO E STRATIGRAFICO.....	9
3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI DETTAGLIO	9
3.2. LIVELLO DELLA FALDA.....	9
4. ANALISI DEI CARICHI.....	10
4.1. PESI PROPRI E CARICHI PERMANENTI.....	10
4.2. PRESSIONE DEL VENTO	10
4.3. PRESSIONE DINAMICA VEICOLARE	13
4.4. CARICHI DA NEVE.....	13
4.5. SPINTA DELLA TERRA	15
4.6. AZIONE SISMICA	15
4.7. CARICHI "CARATTERSITICI" A BASE MONTANTE	15
4.7.1. TIPO 1 – FOA H = 300.....	16
4.7.2. TIPO 2 – FOA H = 400.....	17
4.7.3. TIPO 3 – FOA H = 500.....	18
4.7.4. TIPO 4 – FOA H = 600.....	19
4.8. COMBINAZIONI DI CARICO	20
4.9. CARICHI "DI DESIGN" IN TESTA PALO	20
4.9.1. TIPO 1 – FOA H = 300.....	20
4.9.2. TIPO 2 – FOA H = 400.....	21
4.9.3. TIPO 3 – FOA H = 500.....	21
4.9.4. TIPO 4 – FOA H = 600.....	21
5. CRITERI DI VERIFICA	22
5.1. GENERALITA'	22
5.2. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI.....	22

5.2.1. PORTATA LIMITE DEL SINGOLO PALO NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI	22
5.2.2. ATTRITO LATERALE LIMITE.....	22
5.2.3. PORTATA CRITICA DI BASE.....	23
5.2.4. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE.....	23
5.3. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ORIZZONTALI	24
5.3.1. PORTATA LIMITE DEL PALO SINGOLO NEI CONFRONTI DEI CARICHI ORIZZONTALI.....	24
5.3.2. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE.....	26
6. VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE FONDAZIONI PROPRIE – RISULTATI	27
6.1. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO	27
6.2. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI.....	28
6.3. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ORIZZONTALI	30
6.3.1. TIPO 1 – FOA H = 300.....	30
6.3.2. TIPO 2 – FOA H = 400.....	31
6.3.3. TIPO 3 – FOA H = 500.....	31
6.3.4. TIPO 4 – FOA H = 600.....	32
6.4. DEFORMAZIONE IN ESERCIZIO	32

1. GENERALITA'

1.1. OGGETTO E SCOPO

La presente relazione documenta le analisi e le verifiche geotecniche delle barriere fonoassorbenti (di seguito FOA) installate su fondazione propria (cordolo in c.a. su pali) previste nell'ambito del progetto definitivo per la realizzazione della "Complanare Nord" lungo l'autostrada A14 Bologna–Bari–Taranto "Adriatica", nel tratto compreso tra *Bologna San Lazzaro* e la località "Ponte Rizzoli". Per le barriere di tipo "integrato" si rimanda ai prodotti commerciali.

1.2. TIPOLOGIE DI BARRIERE

Le barriere in progetto sono state raggruppate sulla base dei seguenti criteri:

- Numero progressivo di intervento
- Lunghezza dell'intervento
- Pk di inizio e fine dell'intervento
- Lunghezza delle FOA che compongono l'i-esimo intervento
- Altezza delle FOA
- Suddivisione in interventi elementari ad identificare i tratti "di bordo" ed i tratti "correnti"
- Lunghezza di ciascun intervento elementare
- Tipologia di installazione dell'intervento elementare
- Tipologia di fondazione dell'intervento elementare

Sulla base di quanto sopra elencato, si riporta in tabella n.1.1 il prospetto di sintesi con le caratteristiche delle FOA in progetto.

BARRIERE FONOASSORBENTI NORD								
ID	Pk inizio	Pk fine	Lbarriera	Hbarriera	intervento elementare	L intervento elementare	Installazione	Fondazione
FO-00N	00+187.84	00+039.50	145.0	3.0	integrata	55.0	bordo opera	Muro MS02
					bordo	12.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	66.0	ciglio rilevato	propria (scavalco tombino T006-B)
					bordo	12.0	ciglio rilevato	propria
FO-01N	22+945.40	23+101.40	161.0	5.0	bordo	20.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	89.0	ciglio rilevato	propria
					bordo	20.0	ciglio rilevato	propria
					integrata	32.0	bordo opera	Sottovia ST001
FO-02N	23+182.22	23+431.23	254.0	5.0	bordo	20.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	103.0	ciglio rilevato	propria
					bordo	20.0	ciglio rilevato	propria
					integrata	111.0	bordo opera	Viadotto V1003
FO-03N	00+091.68	24+876.58	207.5	6.0	bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	118.5	ciglio rilevato	propria (scavalco tombino T002-I, T002)
					corrente	8.5	bordo opera	Tombino T003
					corrente	32.5	ciglio rilevato	propria
FO-04N	25+166.84	25+352.84	186.0	4.0	bordo	16.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	7.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	6.0	bordo opera	Tombino T005
					corrente	141.0	ciglio rilevato	propria
FO-05N	25+561.04	25+693.04	134.5	6.0	bordo	16.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	7.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	86.5	ciglio rilevato	propria
					bordo	10.5	ciglio rilevato	propria
FO-06N	26+280.74	26+378.74	98.0	3.0	bordo	9.0	ciglio rilevato	propria
					bordo	8.0	bordo opera	Tombino T007
	26+378.74	26+579.74	203.0	6.0	corrente	7.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	86.5	ciglio rilevato	propria
FO-07N	26+731.34	27+014.87	283.5	6.0	bordo	10.5	ciglio rilevato	propria
					bordo	8.0	bordo opera	Tombino T014
					corrente	10.0	bordo opera	Tombino T014
					corrente	142.5	ciglio rilevato	propria
					corrente	16.0	bordo opera	Sottovia S001
					corrente	67.0	ciglio rilevato	propria
FO-08N	27+102.96	27+231.96	129.0	6.0	bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	81.0	ciglio rilevato	propria
					bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
FO-09N	27+421.17	27+842.79	421.5	6.0	bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	148.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	20.0	bordo opera	Tombino T018
					corrente	205.5	ciglio rilevato	propria
FO-10N	28+671.14	28+869.07	200.0	6.0	bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	126.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	12.0	bordo opera	Tombino T024
					corrente	14.0	ciglio rilevato	propria
FO-02S	22+891.72	22+981.30	90.0	6.0	bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	42.0	ciglio rilevato	propria
					bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
FO-03S	00+119.84	00+280.92	155.0	6.0	bordo	24.0	ciglio rilevato	propria
					corrente	107.0	ciglio rilevato	propria (T012-B e TB001)
					bordo	24.0	ciglio rilevato	propria

Tabella n.1.1 – Caratteristiche FOA

In tabella n.1.2 sono elencate le tipologie di FOA per classi di altezza indicando anche le caratteristiche dei montanti (tipologia profilato “ad H” in commercio) ed il rispettivo interasse.

TIPO FOA	H FOA (cm)	MONTANTI DI BORDO	NONTANTI CORRENTI	INTERASSE (m)
1	300	HEA160	HEA160	3.0
2	400	HEA200	HEA180	3.0
3	500	HEA240	HEA200	3.0
4	600	HEA280	HEA240	3.0

Tabella n.1.2 – Caratteristiche FOA – Classi di altezza e montanti

Per quanto concerne le caratteristiche delle barriere antirumore si prevede un tipologico standard basato sull'utilizzo di pannelli fonoassorbenti in alluminio alleggeriti dall'inserimento di specchiature in materiale trasparente.

Per tutti gli interventi si adotteranno barriere con pannelli modulari di altezza 0.50 m, in alluminio forato preverniciato con interposto materiale isolante. Tali pannelli sono sormontati da lastre trasparenti fonoisolanti.

In figura n.1.1 sono illustrati a titolo di esempio il prospetto e la sezione tipologica della FOA H=400cm.

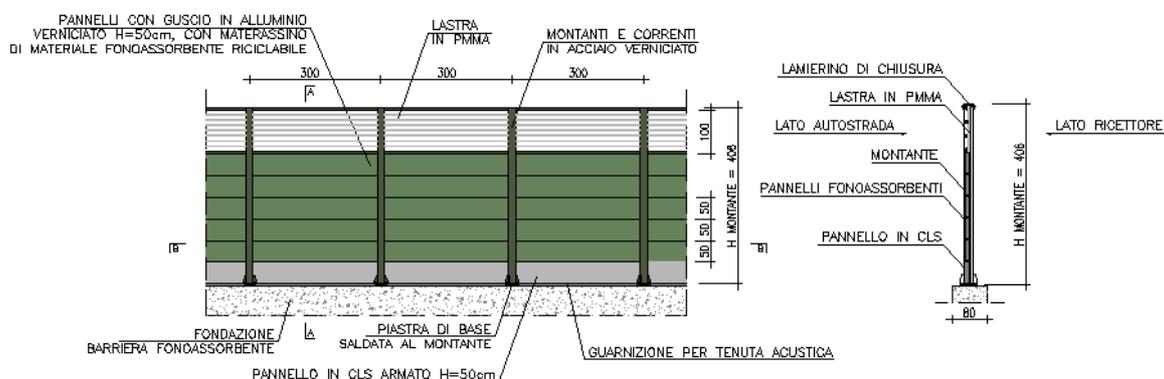


Figura n.1.1 – Prospetto e sezione tipologica (FOA H=400)

1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi e le verifiche di seguito documentate sono state svolte nel rispetto della Normativa vigente di seguito richiamata:

- D.M. 14/01/2008 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” - GU n°29 del 4/2/2008 (di seguito indicata con la sigla “NTC”)
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “*Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"*” - Gazzetta Ufficiale del 26.02.2009 n. 47, supplemento ordinario n. 27.
- CNR DT 207/2008 “*Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*”.
- UNI EN 1794-1 “*Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Prestazioni meccaniche e requisiti di stabilità*”

1.4. INQUADRAMENTO SISMICO

Si richiama di seguito l'inquadramento sismico del sito di intervento.

Vita nominale:	50anni
Classe d'uso:	IV → $C_u = 2.0$
Vita di riferimento:	100anni
Accelerazione massima su suolo tipo A:	$a_g = 0.227g$
Categoria topografica:	T1
Tipo di suolo:	C (Zona omogenea 1) D (Resto del tracciato)
Coeff. di amplificazione topografica S_T :	1.00
Coeff. di amplificazione stratigrafica S_S :	1.37 (suolo tipo C) 1.57 (suolo tipo D)
Accelerazione massima al sito:	$a_{max} = 0.35g$ (suolo tipo D) $a_{max} = 0.30g$ (suolo tipo C)

1.5. SOFTWARE DI CALCOLO

Per l'elaborazione dei dati di input/output per l'analisi e la verifica dei montanti e dei sistemi di ancoraggio si è fatto ricorso a fogli elettronici appositamente implementati.

2. MATERIALI

Calcestruzzo per fondazioni

- Classe di resistenza minima: C28/35
- Classe di esposizione: XC2
- Copriferro: 40m

Calcestruzzo per pali

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- Copriferro: 60m

Montanti, piastre e irrigidimenti

- Tipo: S275J0 (UNI-EN 10025-1÷6)
- Tensione di snervamento f_y : 275MPa
- Tensione di rottura f_t : 430MPa

Tirafondi e dadi

- Classe tirafondi: 8.8 (UNI EN 898 parte I)
- Classe dadi: 8.8 (UNI EN 20898 parte II)

Rosette

- Classe: C50 (UNI EN 10083-2)

Saldature

- Ad arco con elettrodi rivestiti tipo E44 di classe 4B secondo UNI 5132

Zincatura

- A caldo secondo UNI-EN ISO 1461 di tutte le parti metalliche

Note bulloni e tirafondi

- Montati con rosetta (UNI 6592) e con dado e controdado

3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO E STRATIGRAFICO

Rimandando alla Relazione Geotecnica per maggiori dettagli si può osservare che le barriere fonoassorbenti in progetto (FOA) sono distribuite lungo l'intero tracciato, ad interessare tutte le "zone omogenee" identificate ai fini della caratterizzazione geotecnica.

Ai fini delle analisi di seguito documentate si fa riferimento alle caratteristiche della formazione 1 che costituisce la coltre più superficiale (5-10m) lungo l'asse interessato dai lavori.

3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI DETTAGLIO

Sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica (alla quale si rimanda per i dettagli) si considerano i seguenti set di parametri geotecnici.

RILEVATO

γ = peso di volume	= 20kN/mc
c' = coesione efficace	= 0kPa
ϕ' = angolo di resistenza al taglio	= 35°

FORMAZIONE 1

γ = peso di volume	= 19kN/mc
c' = coesione efficace	= 0kPa
ϕ' = angolo di resistenza al taglio	= 28°
N_{SPT}	= 15colpi/30cm

3.2. LIVELLO DELLA FALDA

Si assume un livello della falda a 1m da p.c. locale.

4. ANALISI DEI CARICHI

4.1. PESI PROPRI E CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio è costituito dal peso dei montanti, dei pannelli fonoassorbenti, di quelli fonoisolanti trasparenti e degli elementi di connessione.

Di seguito si riportano i pesi impiegati nel calcolo delle sollecitazioni.

PP pannello alluminio:	0.50kN/m ²
PP pannello trasparente:	0.50kN/m ²
PP pannello cls:	25.0 kN/m ³ x 0.15 m = 3.75kN/m ²

4.2. PRESSIONE DEL VENTO

In accordo a quanto previsto dalle NTC (paragrafo n.3.3) per il sito di intervento si considera quanto segue:

Zona:	2	(tabella n.3.3.I)
Velocità di riferimento del vento:	$v_b = v_{b,o} = 25\text{m/s}$	(tabella n.3.3.I)
Pressione cinetica di riferimento:	$q_b = \frac{1}{2} (\rho v_b^2) = 391\text{N/m}^2$	(§ 3.3.6)
Classe di rugosità:	C	(tabella n.3.3.I)
Categoria di esposizione:	III	(figura n.3.3.2)
k_r :	0.20	(tabella n.3.3.II)
z_0 [m]:	0.10	(tabella n.3.3.II)
z_{min} [m]:	5	(tabella n.3.3.II)
coefficiente topografico (c_t):	1.00	(§ 3.3.7)
coefficiente dinamico (c_d):	1.00	(§ 3.3.8)

Il coefficiente di esposizione (c_e) è stato calcolato in accordo a quanto riportato al paragrafo n.3.3.7 delle NTC in funzione dell'altezza totale (H_{tot}) data dalla somma tra l'altezza del rilevato (H_{rii}) stradale (assunta costante pari a 5m) e l'altezza delle FOA (H_{FOA}).

I valori della pressione dinamica del vento (p) così ottenuti sono riassunti in tabella n.4.1.

TIPO FOA	H FOA (cm)	H _{ril} (m)	H _{FOA} (m)	H _{tot} (m)	C _e (–)	p (N/m ²)
1	300	5.0	3.00	8.00	2.00	779
2	400	5.0	4.00	9.00	2.07	809
3	500	5.0	5.00	10.00	2.14	835
4	600	5.0	6.00	11.00	2.20	859

Tabella n.4.1 – Coefficienti di esposizione e pressione dinamica del vento

I valori di pressione riportati in tabella n.4.1 devono poi essere amplificati mediante opportuni “coefficienti di pressione (c_p) per tenere conto delle zone di depressione che si formano sul lato sottovento delle barriere, in particolare nelle zone di bordo come illustrato nella seguente figura n.4.1 e nella tabella n.4.2 (cfr. CNR-DT 207/2008).

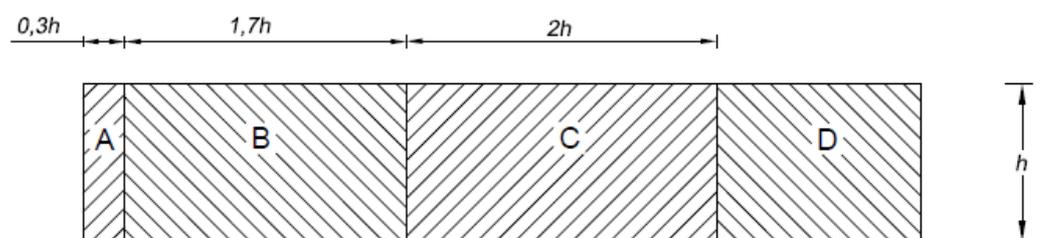


Figura n.4.1 – Suddivisione in aree omogenee (CNR-DT 207/2008)

ϕ	Chiusura laterale	l/h	A	B	C	D
1,0	no	<3	2,3	1,4	1,2	1,2
		5	2,9	1,8	1,4	
		>10	3,4	2,1	1,7	
0,8	si	tutti	2,1	1,8	1,4	1,2
	si/no	tutti	1,2			

Tabella n.4.2 – Coefficienti di pressione complessiva (CNR-DT 207/2008)

Nel caso specifico in studio si distinguono i montanti “di bordo” ed i montanti “correnti” cui sono assegnati i seguenti coefficienti di pressione (si fa riferimento cautelativamente all’ipotesi di barriera “indefinita” – $l/h > 10$):

montanti “di bordo”: $c_p = 2.1$ (area omogenea B)

montanti “correnti”: $c_p = 1.2$ (area omogenea D)

I rispettivi valori della pressione del vento agente sui montanti “di bordo” e sui montanti “correnti” sono quindi calcolati in accordo alla seguente espressione:

$$p_{\text{bordo}} = p \cdot C_{p\text{-bordo}}$$

$$p_{\text{correnti}} = p \cdot C_{p\text{-correnti}}$$

ottenendo quanto riassunto in tabella n.4.3.

TIPO FOA	H FOA (cm)	p (N/m²)	p_{bordo} (N/m²)	p_{correnti} (N/m²)
1	300	779	1'637	935
2	400	809	1'698	970
3	500	835	1'754	1'002
4	600	859	1'805	1'031

Tabella n.4.3 – Pressione dinamica del vento su montanti di bordo e correnti

4.3. PRESSIONE DINAMICA VEICOLARE

Si determina il valore del carico in oggetto in base alle disposizioni presenti nella UNI EN 1794-1 § A.2.2. A causa del passaggio dei veicoli in adiacenza alle barriere fonoassorbenti, si genera su di esse una pressione dinamica ortogonale al loro piano.

La tipologia di traffico relativa è la seguente:

- Traffico di veicoli all'aria aperta, alla distanza di 3 m dal dispositivo per la riduzione del rumore

Per la tipologia di traffico riportata, la pressione dinamica di riferimento è pari a:

$$q(v) = 0.800\text{kN/m}^2$$

Per quanto riguarda il carico del vento e la pressione dinamica dovuta ai veicoli, si può assumere che essi non agiscano simultaneamente.

4.4. CARICHI DA NEVE

Si determina il valore del carico in oggetto in base alle disposizioni presenti nella UNI EN 1794-1 § E. In aree dove spazzare la neve è una comune operazione di manutenzione invernale, una barriera per il rumore potrebbe essere danneggiata da neve e ghiaccio sollevati dallo spazzaneve. Il carico causato dalla neve sollevata viene definito come "carico dinamico causato dalla rimozione della neve". Il volume e l'altezza del carico dipendono dalla velocità e dal tipo di spazzaneve, e dalla distanza della barriera per il rumore dal margine della strada.

Il carico dinamico causato dalla pulizia dalla neve è un carico orizzontale transitorio perpendicolare alla barriera, deve essere assunto in modo da essere distribuito uniformemente su un'area di 2.00m x 2.00m e la forza risultante deve essere localizzata circa 1.50m al di sopra del livello stradale, come mostrato nella figura n.4.2.

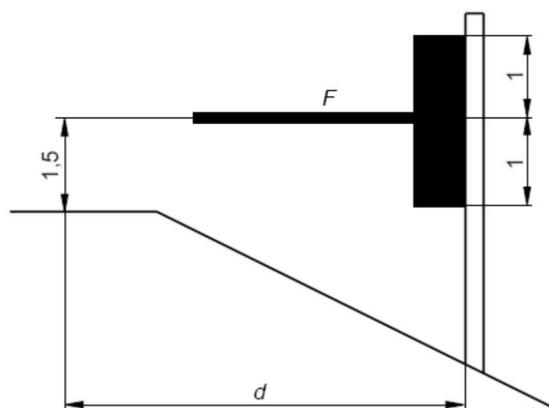


Figura n.4.2 - Schema di carico dinamico da rimozione neve – quote in [m]

Il valore della forza risultante deve essere ottenuto dalla figura n.4.3.

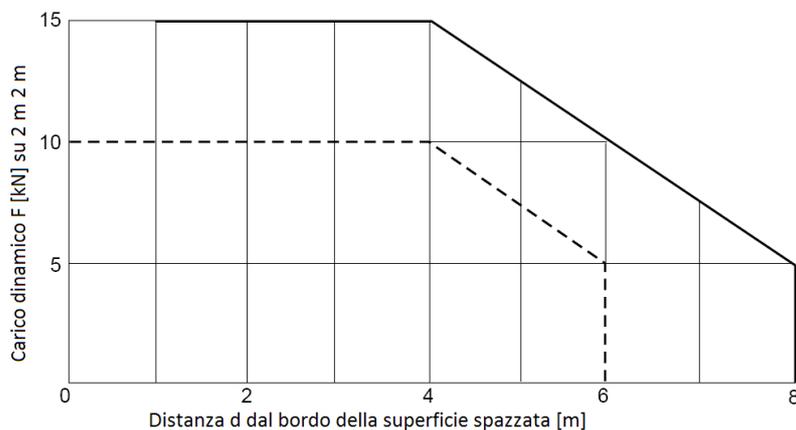


Figura n.4.3 - Magnitudo del carico dinamico causato dalla rimozione della neve

Data la dimensione dell'area di carico (2.00m x 2.00m) e il particolare schema statico delle barriere fonoassorbenti (pannelli "infilati" nei montanti di acciaio con $i = 3.00$ m), in via cautelativa si applica una magnitudo del carico dinamico causato dalla rimozione della neve F pari a 15kN ad un solo montante per volta.

Le sollecitazioni sul singolo montante sono quindi pari a:

$V =$ azione orizzontale da rimozione neve = 15kN

$M =$ momento flettente da rimozione neve = 22.5kNm

Anche in questo caso si assume che il carico dinamico causato dalla rimozione della neve non agisca simultaneamente al carico del vento.

4.5. SPINTA DELLA TERRA

La spinta della terra sul cordolo in c.a. (h=1.30m) viene calcolata in accordo alla seguente espressione:

$$S = 0.5 \gamma h^2 K_a$$

Dove:

γ = peso di volume del terreno = 20kN/m³

h = altezza cordolo

K_a = coefficiente di spinta attiva = $(1 - \text{sen}\phi') / (1 + \text{sen}\phi')$

ϕ' = angolo di resistenza al taglio del terreno

A titolo cautelativo la spinta della terra viene calcolata considerando l'angolo di resistenza al taglio del terreno naturale in sito, pari a 28°.

4.6. AZIONE SISMICA

L'azione sismica risulta inferiore al valore dell'azione del vento caratteristica, pertanto nelle combinazioni di calcolo e nelle successive verifiche non verrà considerata la combinazione sismica in quanto non dimensionante.

4.7. CARICHI "CARATTERISTICI" A BASE MONTANTE

Nei prospetti di seguito riportati è illustrato, per ciascuna FOA presa in esame, il dettaglio dei carichi elementari (valori "caratteristici") agenti alla base dei montanti "di bordo" (celle rosse a destra) e dei montanti "correnti" (celle rosse a sinistra).

Fa eccezione la spinta della terra i cui carichi sono da intendersi già applicati in testa palo.

4.7.1. TIPO 1 – FOA H = 300

DATI DI INPUT					
Altezza FOA tratto verticale =	3.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
Inclinazione tratto a sbalzo =	45.00	°			
Interasse montanti =	3.00	m			
	corrente			bordo	
Peso montante tratto verticale =	30.40	kg/ml	HEA160	30.40	kg/ml HEA160
Peso montante tratto a sbalzo =	30.40	kg/ml	HEA160	30.40	kg/ml HEA160
CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO FOA					
Peso pannelli CLS =	3.75	kN/mq		3.75	kN/mq
Peso pannelli ALL/VETRO =	0.50	kN/mq		0.50	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	3.00	m		3.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
Altezza pannello CLS =	0.50	m		0.50	m
Peso montante tratto verticale =	0.30	kN/m		0.30	kN/m
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m		3.00	m
Peso montante tratto a sbalzo =	0.30	kN/m		0.30	kN/m
Interasse montante tratto a sbalzo =	3.00	m		3.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
N = carico verticale =	3.43	kN/m	10.29 kN	3.43	kN/m 10.29 kN
M = momento flettente =	0.00	kNm/m	0.00 kNm	0.00	kNm/m 0.00 kNm
CARICHI DOVUTI A VENTO SU FOA					
	corrente			bordo	
Pressione vento corrente =	0.78	kN/mq		0.78	kN/mq
Coefficiente di pressione =	1.20	kN/mq		2.10	kN/mq
Pressione vento zona bordo =	0.93	kN/mq		1.64	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	3.00	m		3.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
V = carico orizzontale =	2.80	kN/m	8.41 kN	4.91	kN/m 14.72 kN
M = momento flettente =	4.21	kNm/m	12.62 kNm	7.36	kNm/m 22.08 kNm
CARICHI DOVUTI A PRESSIONE DINAMICA VEICOLI					
Pressione dinamica =	0.80	kN/mq	(distanza veicolo 3m, velocità > 120km/h)		
Altezza FOA tratto verticale =	3.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
V = carico orizzontale =	2.40	kN/m	7.20 kN		
M = momento flettente =	3.60	kNm/m	10.80 kNm		
CARICHI DOVUTI A RIMOZIONE NEVE					
Carico dinamico da rimozione neve =	15.00	N			
Altezza carico da piano strada =	1.50	m			
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m			
Inclinazione copertura =	45.00	°			
Coefficiente di forma =	0.40	30-alfa<60			
Carico da neve caratteristico =	1.50	kN/mq	(zona I - Mediterranea - as < 200mslm)		
Coefficiente di esposizione =	1.00				
Coefficiente termico =	1.00				
Carico da neve =	0.60	kN/mq			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00 kN		
V = carico orizzontale =	5.00	kN/m	15.00 kNm		
M = momento flettente =	7.50	kNm/m	22.50 kNm		
CARICHI DOVUTI A SPINTA DELLA TERRA					
Peso di volume terreno =	20.00	kN/mc			
Altezza di spinta =	1.30	m			
Angolo d'attrito terreno =	28.00	°			
Coefficiente di spinta =	0.36				
Spinta della terra =	6.10	kN/mq			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00 kN		
V = carico orizzontale =	6.10	kN/m	18.30 kNm		
M = momento flettente =	2.64	kNm/m	7.93 kNm		

4.7.2. TIPO 2 – FOA H = 400

DATI DI INPUT					
Altezza FOA tratto verticale =	4.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
Inclinazione tratto a sbalzo =	45.00	°			
Interasse montanti =	3.00	m			
	corrente			bordo	
Peso montante tratto verticale =	35.50	kg/ml	HEA180	42.30	kg/ml HEA200
Peso montante tratto a sbalzo =	35.50	kg/ml	HEA180	42.30	kg/ml HEA200
CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO FOA					
Peso pannelli CLS =	3.75	kN/mq		3.75	kN/mq
Peso pannelli ALL/VETRO =	0.50	kN/mq		0.50	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	4.00	m		4.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
Altezza pannello CLS =	0.50	m		0.50	m
Peso montante tratto verticale =	0.36	kN/m		0.42	kN/m
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m		3.00	m
Peso montante tratto a sbalzo =	0.36	kN/m		0.42	kN/m
Interasse montante tratto a sbalzo =	3.00	m		3.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
N = carico verticale =	4.10	kN/m	12.30 kN	4.19	kN/m 12.57 kN
M = momento flettente =	0.00	kNm/m	0.00 kNm	0.00	kNm/m 0.00 kNm
CARICHI DOVUTI A VENTO SU FOA					
	corrente			bordo	
Pressione vento corrente =	0.81	kN/mq		0.81	kN/mq
Coefficiente di pressione =	1.20	kN/mq		2.10	kN/mq
Pressione vento zona bordo =	0.97	kN/mq		1.70	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	4.00	m		4.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
V = carico orizzontale =	3.88	kN/m	11.65 kN	6.80	kN/m 20.39 kN
M = momento flettente =	7.77	kNm/m	23.30 kNm	13.59	kNm/m 40.77 kNm
CARICHI DOVUTI A PRESSIONE DINAMICA VEICOLI					
Pressione dinamica =	0.80	kN/mq	(distanza veicolo 3m, velocità > 120km/h)		
Altezza FOA tratto verticale =	4.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
V = carico orizzontale =	3.20	kN/m	9.60 kN		
M = momento flettente =	6.40	kNm/m	19.20 kNm		
CARICHI DOVUTI A RIMOZIONE NEVE					
Carico dinamico da rimozione neve =	15.00	N			
Altezza carico da piano strada =	1.50	m			
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m			
Inclinazione copertura =	45.00	°			
Coefficiente di forma =	0.40	30-alfa-60			
Carico da neve caratteristico =	1.50	kN/mq	(zona I - Mediterranea - as < 200mslm)		
Coefficiente di esposizione =	1.00				
Coefficiente termico =	1.00				
Carico da neve =	0.60	kN/mq			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00 kN		
V = carico orizzontale =	5.00	kN/m	15.00 kNm		
M = momento flettente =	7.50	kNm/m	22.50 kNm		
CARICHI DOVUTI A SPINTA DELLA TERRA					
Peso di volume terreno =	20.00	kN/mc			
Altezza di spinta =	1.30	m			
Angolo d'attrito terreno =	28.00	°			
Coefficiente di spinta =	0.36				
Spinta della terra =	6.10	kN/mq			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00 kN		
V = carico orizzontale =	6.10	kN/m	18.30 kNm		
M = momento flettente =	2.64	kNm/m	7.93 kNm		

4.7.3. TIPO 3 – FOA H = 500

DATI DI INPUT					
Altezza FOA tratto verticale =	5.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
Inclinazione tratto a sbalzo =	45.00	°			
Interasse montanti =	3.00	m			
	corrente			bordo	
Peso montante tratto verticale =	42.30	kg/ml	HEA200	60.30	kg/ml HEA240
Peso montante tratto a sbalzo =	42.30	kg/ml	HEA200	60.30	kg/ml HEA240
CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO FOA					
Peso pannelli CLS =	3.75	kN/mq		3.75	kN/mq
Peso pannelli ALL/VETRO =	0.50	kN/mq		0.50	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	5.00	m		5.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
Altezza pannello CLS =	0.50	m		0.50	m
Peso montante tratto verticale =	0.42	kN/m		0.60	kN/m
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m		3.00	m
Peso montante tratto a sbalzo =	0.42	kN/m		0.60	kN/m
Interasse montante tratto a sbalzo =	3.00	m		3.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
N = carico verticale =	4.83	kN/m	14.49 kN	5.13	kN/m 15.39 kN
M = momento flettente =	0.00	kNm/m	0.00 kNm	0.00	kNm/m 0.00 kNm
CARICHI DOVUTI A VENTO SU FOA					
	corrente			bordo	
Pressione vento corrente =	0.84	kN/mq		0.84	kN/mq
Coefficiente di pressione =	1.20	kN/mq		2.10	kN/mq
Pressione vento zona bordo =	1.00	kN/mq		1.75	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	5.00	m		5.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
V = carico orizzontale =	5.01	kN/m	15.03 kN	8.77	kN/m 26.30 kN
M = momento flettente =	12.53	kNm/m	37.58 kNm	21.92	kNm/m 65.76 kNm
CARICHI DOVUTI A PRESSIONE DINAMICA VEICOLI					
Pressione dinamica =	0.80	kN/mq	(distanza veicolo 3m, velocità > 120km/h)		
Altezza FOA tratto verticale =	5.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
V = carico orizzontale =	4.00	kN/m	12.00 kN		
M = momento flettente =	10.00	kNm/m	30.00 kNm		
CARICHI DOVUTI A RIMOZIONE NEVE					
Carico dinamico da rimozione neve =	15.00	N			
Altezza carico da piano strada =	1.50	m			
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m			
Inclinazione copertura =	45.00	°			
Coefficiente di forma =	0.40	30-alfa<60			
Carico da neve caratteristico =	1.50	kN/mq	(zona I - Mediterranea - as < 200mslm)		
Coefficiente di esposizione =	1.00				
Coefficiente termico =	1.00				
Carico da neve =	0.60	kN/mq			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00 kN		
V = carico orizzontale =	5.00	kN/m	15.00 kNm		
M = momento flettente =	7.50	kNm/m	22.50 kNm		
CARICHI DOVUTI A SPINTA DELLA TERRA					
Peso di volume terreno =	20.00	kN/mc			
Altezza di spinta =	1.30	m			
Angolo d'attrito terreno =	28.00	°			
Coefficiente di spinta =	0.36				
Spinta della terra =	6.10	kN/mq			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00 kN		
V = carico orizzontale =	6.10	kN/m	18.30 kNm		
M = momento flettente =	2.64	kNm/m	7.93 kNm		

4.7.4. TIPO 4 – FOA H = 600

DATI DI INPUT					
Altezza FOA tratto verticale =	6.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
Inclinazione tratto a sbalzo =	45.00	°			
Interasse montanti =	3.00	m			
	corrente			bordo	
Peso montante tratto verticale =	60.30	kg/ml	HEA240	76.40	kg/ml HEA280
Peso montante tratto a sbalzo =	60.30	kg/ml	HEA240	76.40	kg/ml HEA280
CARICHI DOVUTI A PESO PROPRIO FOA					
Peso pannelli CLS =	3.75	kN/mq		3.75	kN/mq
Peso pannelli ALL/VETRO =	0.50	kN/mq		0.50	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	6.00	m		6.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
Altezza pannello CLS =	0.50	m		0.50	m
Peso montante tratto verticale =	0.60	kN/m		0.76	kN/m
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m		3.00	m
Peso montante tratto a sbalzo =	0.60	kN/m		0.76	kN/m
Interasse montante tratto a sbalzo =	3.00	m		3.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
N = carico verticale =	5.83	kN/m	17.49	6.15	kN/m 18.46
M = momento flettente =	0.00	kNm/m	0.00	0.00	kNm/m 0.00
CARICHI DOVUTI A VENTO SU FOA					
	corrente			bordo	
Pressione vento corrente =	0.86	kN/mq		0.86	kN/mq
Coefficiente di pressione =	1.20	kN/mq		2.10	kN/mq
Pressione vento zona bordo =	1.03	kN/mq		1.80	kN/mq
Altezza FOA tratto verticale =	6.00	m		6.00	m
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m		0.00	m
	corrente			bordo	
	a ml	a montante		a ml	a montante
V = carico orizzontale =	6.18	kN/m	18.55	10.82	kN/m 32.47
M = momento flettente =	18.55	kNm/m	55.66	32.47	kNm/m 97.41
CARICHI DOVUTI A PRESSIONE DINAMICA VEICOLI					
Pressione dinamica =	0.80	kN/mq	(distanza veicolo 3m, velocità > 120km/h)		
Altezza FOA tratto verticale =	6.00	m			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
V = carico orizzontale =	4.80	kN/m	14.40		
M = momento flettente =	14.40	kNm/m	43.20		
CARICHI DOVUTI A RIMOZIONE NEVE					
Carico dinamico da rimozione neve =	15.00	N			
Altezza carico da piano strada =	1.50	m			
Interasse montante tratto verticale =	3.00	m			
Inclinazione copertura =	45.00	°			
Coefficiente di forma =	0.40	30<alfa<60			
Carico da neve caratteristico =	1.50	kN/mq	(zona I - Mediterranea - as < 200mslm)		
Coefficiente di esposizione =	1.00				
Coefficiente termico =	1.00				
Carico da neve =	0.60	kN/mq			
Lunghezza FOA tratto a sbalzo =	0.00	m			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00		
V = carico orizzontale =	5.00	kN/m	15.00		
M = momento flettente =	7.50	kNm/m	22.50		
CARICHI DOVUTI A SPINTA DELLA TERRA					
Peso di volume terreno =	20.00	kN/mc			
Altezza di spinta =	1.30	m			
Angolo d'attrito terreno =	28.00	°			
Coefficiente di spinta =	0.36				
Spinta della terra =	6.10	kN/mq			
	a ml	a montante			
N = carico verticale =	0.00	kN/m	0.00		
V = carico orizzontale =	6.10	kN/m	18.30		
M = momento flettente =	2.64	kNm/m	7.93		

4.8. COMBINAZIONI DI CARICO

In accordo a quanto riportato nei paragrafi precedenti si considerano i seguenti carichi elementari:

G_1 = peso proprio pannelli fonoassorbenti + montanti

G_2 = peso proprio del cordolo di collegamento pali

G_3 = spinta della terra

$Q_{k,1}$ = azione caratteristica dovuta alla pressione del vento

$Q_{k,2}$ = azione caratteristica dovuta alla pressione dinamica dei veicoli

$Q_{k,3}$ = azione caratteristica dovuta ai carichi da neve

Ai fini delle verifiche di seguito documentate tali carichi vengono combinati come di seguito descritto (carichi accidentali non contemporanei):

Stati limite tipo SLU-GEO: $E_d = 1.0(G_1 + G_2 + G_3) + 1.3[\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})]$

Stati limite tipo SLU-STR: $E_d = 1.3(G_1 + G_2 + G_3) + 1.5[\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})]$

Stati limite tipo SLE: $E_d = 1.0(G_1 + G_2 + G_3) + 1.0[\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})]$

4.9. CARICHI “DI DESIGN” IN TESTA PALO

Nei prospetti di seguito illustrati è riportato il dettaglio dei carichi “di design” allo SLU/SLE (N = azione assiale, V = azione di taglio, M = azione flettente) agenti in testa palo combinati in accordo a quanto riportato al paragrafo precedente, relativi ai montanti “correnti” (a sinistra) e relativi ai montanti “di bordo” (a destra).

4.9.1. TIPO 1 – FOA H = 300

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO CORRENTE					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N kN	V kN	h_v (m)	$M_{montanti}$ kNm	M kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	10.29				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3	18.30	0.43			7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$	8.41	1.30	12.62	23.55	
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$	7.20	1.30	10.80	20.16	
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})$	88.29	37.80			62.47
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})$	114.78	46.29			73.23
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})$	88.29	33.30			49.87

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO DI BORDO					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N kN	V kN	h_v (m)	$M_{montanti}$ kNm	M kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	10.29				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3	18.30	0.43			7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$	14.72	1.30	22.08	41.22	
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$	7.20	1.30	10.80	20.16	
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})$	88.29	37.80			62.47
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})$	114.78	46.29			73.23
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1}, Q_{k,2}, Q_{k,3})$	88.29	33.30			49.87

4.9.2. TIPO 2 – FOA H = 400

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO CORRENTE					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N	V	h_v	$M_{montante}$	M
	kN	kN	(m)	kNm	kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	12.30				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3		18.30	0.43		7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$		11.65	1.30	23.30	38.45
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$		9.60	1.30	19.20	31.68
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	90.30	37.80			62.47
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	117.39	46.29			73.23
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	90.30	33.30			49.87

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO DI BORDO					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N	V	h_v	$M_{montante}$	M
	kN	kN	(m)	kNm	kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	12.57				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3		18.30	0.43		7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$		20.39	1.30	40.77	67.28
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$		9.60	1.30	19.20	31.68
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	90.57	44.81			95.33
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	117.74	54.38			111.15
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	90.57	38.69			75.15

4.9.3. TIPO 3 – FOA H = 500

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO CORRENTE					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N	V	h_v	$M_{montante}$	M
	kN	kN	(m)	kNm	kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	14.49				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3		18.30	0.43		7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$		15.03	1.30	37.58	57.12
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$		12.00	1.30	30.00	45.60
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	92.49	37.84			82.12
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	120.24	46.34			95.91
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	92.49	33.33			64.99

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO DI BORDO					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N	V	h_v	$M_{montante}$	M
	kN	kN	(m)	kNm	kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	15.39				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3		18.30	0.43		7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$		26.30	1.30	65.76	99.95
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$		12.00	1.30	30.00	45.60
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	93.39	52.49			137.80
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	121.41	63.24			160.15
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	93.39	44.60			107.82

4.9.4. TIPO 4 – FOA H = 600

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO CORRENTE					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N	V	h_v	$M_{montante}$	M
	kN	kN	(m)	kNm	kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	17.49				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3		18.30	0.43		7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$		18.55	1.30	55.66	79.78
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$		14.40	1.30	43.20	61.92
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	95.49	42.42			111.58
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	124.14	51.62			129.89
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	95.49	36.85			87.64

VERIFICA TENSIONALE E DEFORMATIVA DEL MONTANTE - TRATTO DI BORDO					
Azioni in sommità palo di fondazione barriera	N	V	h_v	$M_{montante}$	M
	kN	kN	(m)	kNm	kNm
Peso proprio pannelli + montante, G_1	18.46				0.00
Peso proprio cordolo di testa dim. 0.8x1.3m, G_2	78.00				0.00
Spinta della terra, G_3		18.30	0.43		7.87
Pressione vento, $Q_{k,1}$		32.47	1.30	97.41	139.62
Pressione dinamica dei veicoli, $Q_{k,2}$		14.40	1.30	43.20	61.92
Sgombero neve, $Q_{k,3}$	0.00	15.00	1.30	22.50	42.00
Combinazione SLU-GEO - $1.0*(G_1+G_2)+1.30*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	96.46	60.51			189.38
Combinazione SLU-STR - $1.3*(G_1+G_2)+1.50*\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	125.40	72.50			219.66
Combinazione SLE - $G_1+G_2+\max(Q_{k,1};Q_{k,2};Q_{k,3})$	96.46	50.77			147.49

5. CRITERI DI VERIFICA

5.1. GENERALITA'

In accordo a quanto previsto dalla Normativa vigente e con riferimento all'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M1+R2) si illustrano i seguenti criteri di verifica:

- Verifica di capacità portante dei pali di fondazione rispetto ai carichi verticali
- Verifica di capacità portante dei pali dei pali di fondazione rispetto ai carichi orizzontali

5.2. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI

5.2.1. Portata limite del singolo palo nei confronti dei carichi verticali

Il carico limite viene del terreno calcolato con metodo analitico come segue:

$$Q_{lim} = Q_{lim-s} + Q_{lim-b} - \Delta W$$

dove:

Q_{lim} = carico limite del palo

Q_{lim-b} = carico limite di base = $\pi \cdot (D^2/4) \cdot q_b$

D = diametro del palo

q_b = carico limite unitario di base

Q_{lim-s} = carico laterale limite = $\pi \cdot D \cdot \sum_i (q_{s-i} \cdot h_i)$

q_{s-i} = attrito laterale limite

h_i = altezza del concio ⁱesimo in cui viene suddiviso il palo

L = lunghezza del palo = $\sum_i (h_i)$

ΔW = differenza tra il peso del palo ed il peso del terreno

5.2.2. Attrito laterale limite

La stima dell'attrito laterale limite per pali tipo CFA può essere condotta facendo riferimento alla seguente correlazione proposta da Coleman & Acement (2002):

$$q_{s-i} = \beta \sigma'_v \leq 200 \text{kPa}$$

dove:

$\sigma'_v =$ tensione verticale efficace in sito

$\beta = 2.27z^{-0.67}$ per terreni limoso-argillosi (formazione "A")

$10.72z^{-1.30}$ per terreni sabbiosi (rilevato)

$0.20 \leq \beta \leq 2.50$

$z =$ profondità

5.2.3. Portata critica di base

Per il calcolo della portata critica di base si è fatto riferimento alla correlazione proposta da Beretzanzev (1965):

$$q_b = N^*_q \sigma'_v \leq 800\text{kPa}$$

dove:

$\sigma'_v =$ tensione verticale efficace in sito

$N^*_q = 20$ per terreni sabbiosi (rilevato)

8 per terreni sabbiosi (formazione "A")

5.2.4. Verifica di capacità portante

In accordo a quanto riportato al paragrafo n.4.1 si verifica che vale quanto segue:

$$N_d \leq R_d = R_k / \gamma_{R2}$$

Dove:

$N_d =$ azione assiale di design calcolata in accordo al set di coefficienti parziali sulle azioni "A2"

$R_d =$ resistenza di design del terreno

$R_k =$ resistenza "caratteristica" del terreno

$\gamma_{R2} =$ coefficiente globale sulla resistenza di calcolo come da tabella n.5.1

		Pali ad elica
Base	γ_b	1.60
Laterale compressione	γ_s	1.45
Laterale trazione	γ_{st}	1.60
Totale (solo prove di carico)	γ_t	1.55

Tabella n.5.1 – Da tabella n.6.4.II NTC

La resistenza caratteristica è data dalla relazione:

$$R_k = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{medio}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \text{ (tabella n.5.2)}$$

	N° 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

Tabella n.5.2 – fattori di correlazione per approccio analitico (tabella 6.4.IV NTC)

Nel caso specifico in studio si considera quanto segue:

$$\xi = \xi_4 = 1.34$$

5.3. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ORIZZONTALI

5.3.1. Portata limite del palo singolo nei confronti dei carichi orizzontali

Per la verifica ai carichi trasversali del palo singolo si fa riferimento alla teoria di Broms (1965) in base alla quale per il carico limite orizzontale risulta funzione del tipo di terreno, del vincolo in testa e dalla geometria del palo.

Si osserva infatti che per pali relativamente corti e rigidi il valore del carico limite orizzontale dipende solo dalle caratteristiche geometriche del palo e dalla resistenza del terreno, mentre per pali relativamente lunghi il valore limite del carico orizzontale dipende anche dalle caratteristiche di

resistenza del palo, in quanto la rottura avviene con formazione di una cerniera plastica nel palo (cfr. figura n.5.1).

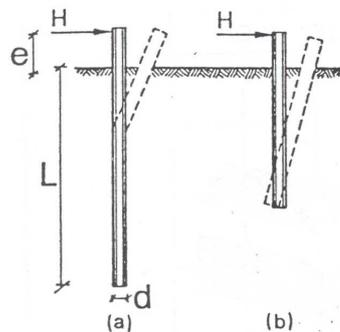


Fig. 13 - MECCANISMI DI ROTTURA PER PALI SOLLECITATI LATERALMENTE CON ROTAZIONE LIBERA IN TESTA (BROMS, 1965)

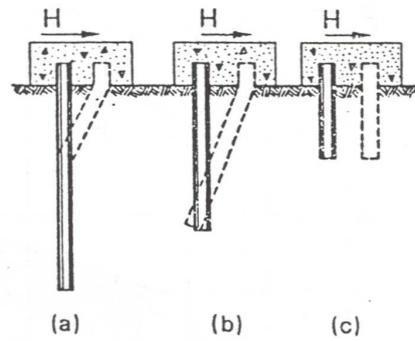


Fig. 14 - MECCANISMI DI ROTTURA PER PALI SOLLECITATI LATERALMENTE IN TESTA (BROMS, 1965)

Figura n.5.1 – Meccanismi di rottura per pali caricati lateralmente

Nel caso specifico in studio (palo “lungo” libero di ruotare in terreno granulare) il carico limite (H_{ult}) è dato dalla seguente espressione:

$$H_{ult} = K_p \gamma d^3 \cdot [1.838 M_p / (K_p \gamma d^4)]^{2/3}$$

Dove:

γ = peso di volume efficace del terreno

d = diametro del palo

M_p = momento plastico del palo

K_p = coefficiente di spinta passiva del terreno

L’installazione dei cordoli di fondazione delle FOA è prevista in sommità a scarpate aventi pendenza pari a 7:4 (orizz:vert). In questi casi il coefficiente di spinta passiva viene pertanto calcolato mediante la seguente espressione:

$$K_{p-w} = \frac{\cos(\omega) + \sqrt{\cos(\omega)^2 - \cos(\phi)^2}}{\cos(\omega) - \sqrt{\cos(\omega)^2 - \cos(\phi)^2}}$$

Dove:

ϕ = angolo di resistenza al taglio del terreno

ω = inclinazione del piano campagna rispetto all’orizzontale

5.3.2. Verifica di capacità portante

In accordo a quanto riportato al paragrafo n.5.1 si verifica che vale quanto segue:

$$H_d \leq R_d = R_{tr,k} / \gamma_{R2}$$

Dove:

H_d = azione orizzontale di design calcolata in accordo al set di coefficienti parziali sulle azioni "A2"

R_d = resistenza di design del terreno ai carichi orizzontali

$R_{tr,k}$ = resistenza limite "caratteristica" del terreno ai carichi orizzontali

γ_{R2} = coefficiente globale sulla resistenza di calcolo = 1.6 (cfr. tabella n.6.4.VI – NTC)

La resistenza caratteristica è data dalla relazione:

$$R_k = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{medio}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \text{ (tabella n.5.3)}$$

	N° 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

Tabella n.5.3 – fattori di correlazione per approccio analitico (tabella 6.4.IV NTC)

Nel caso specifico in studio si considera quanto segue:

$$\xi = \xi_4 = 1.34$$

6. VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE FONDAZIONI PROPRIE – RISULTATI

6.1. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

Per il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione (pali CFA D=600mm) nei confronti dei carichi verticali si fa riferimento alle due seguenti stratigrafie tipo (con “z” si intende la profondità da testa palo):

STRATIGRAFIA TIPO 1 (fondazione propria FOA in trincea):

z > 0.0m: Terreno naturale in sito (formazione 1)
falda: a quota testa palo (circa 1m da p.c. locale)

STRATIGRAFIA TIPO 2 (fondazione propria FOA in rilevato):

z = 0.0÷5.0m: Rilevato
z > 5.0m: Terreno naturale in sito (formazione “1”)
falda: 5m da testa palo (circa 1m da p.c. locale)

Ai fini delle analisi di seguito documentate si considerano i seguenti set di parametri geotecnici “caratteristici”:

RILEVATO

γ = peso di volume = 20kN/mc
 c' = coesione efficace = 0kPa
 ϕ' = angolo di resistenza al taglio = 35°

FORMAZIONE 1

γ = peso di volume = 19kN/mc
 c' = coesione efficace = 0kPa
 ϕ' = angolo di resistenza al taglio = 28°

Si precisa che ai fini delle verifiche di capacità portante nei confronti dei carichi orizzontali si considera soltanto lo strato più superficiale di terreno, che di fatto governa la resistenza ultima del palo.

6.2. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI VERTICALI

Sulla base delle azioni in testa palo di cui al capitolo n.4.9 e dei criteri di verifica illustrati al paragrafo n.5.2, nella figura n.6.1 di cui al seguito sono illustrate in forma grafica e tabellare le curve di capacità portante dei pali di fondazione del cordolo su cui sono installate le FOA.

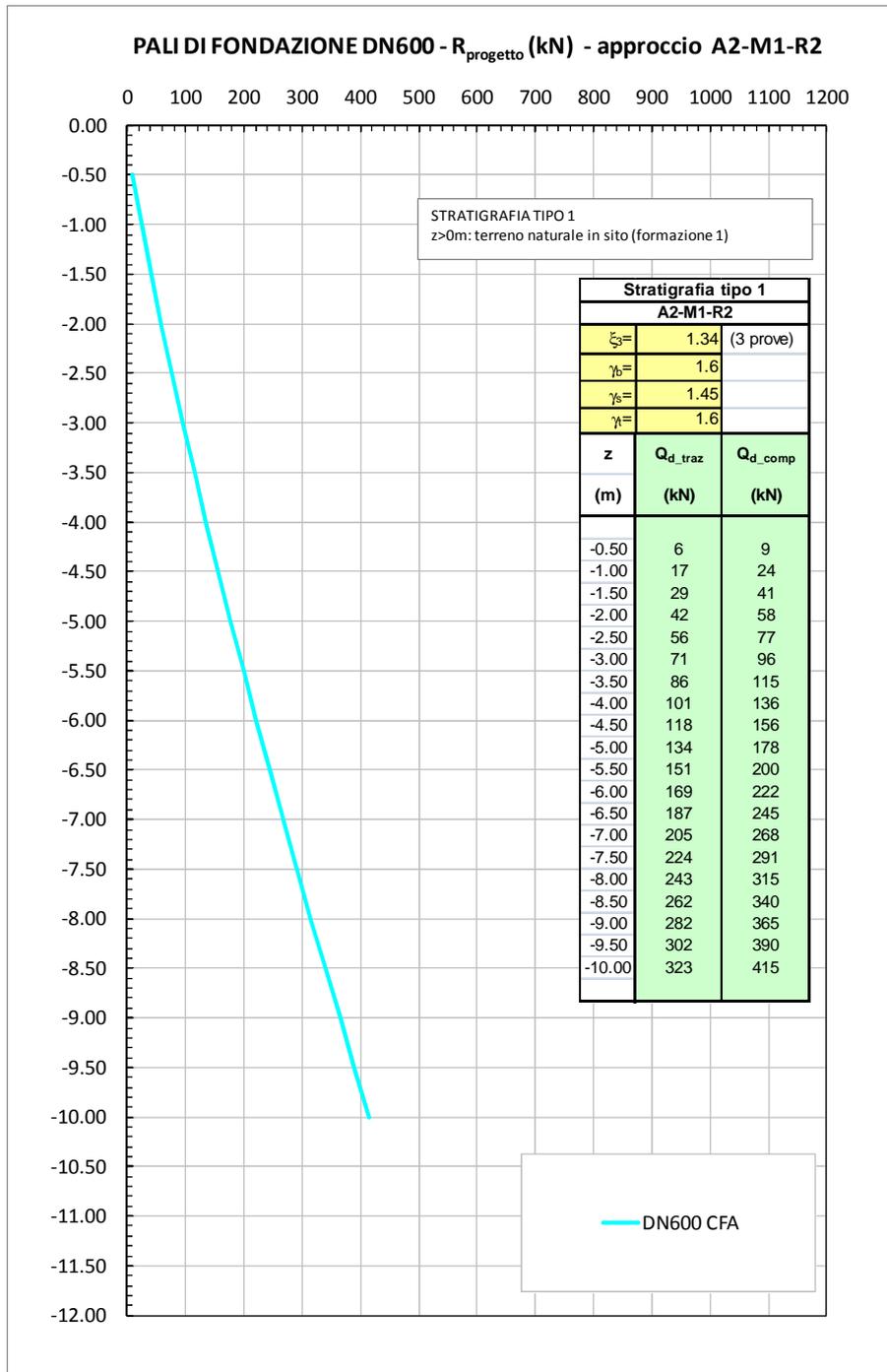


Figura n.6.1 – Curva di capacità portante pali di fondazione CFA D=600mm

Si verifica che nel caso più gravoso (palo realizzato interamente nel terreno naturale) la capacità portante di un palo $D=600\text{mm}$ $L=6.0\text{m}$ è pari a 222kN e risulta pertanto superiore al carico assiale massimo agente sul singolo palo pari a circa 125kN (cfr. paragrafo n.4.9.4 – FOA $H=6.00\text{m}$).

6.3. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ORIZZONTALI

Sulla base delle azioni in testa palo di cui al capitolo n.4.9 e dei criteri di verifica illustrati al paragrafo n.5.3, si riporta nei paragrafi di cui al seguito il dettaglio delle verifiche di capacità portante della fondazione propria delle FOA nei confronti dei carichi orizzontali.

Si precisa quanto segue:

1. Per le fondazioni proprie delle FOA installate su ciglio trincea si tiene conto della scarpata a valle mediante un coefficiente di spinta passiva (k_{p-incl}) pari al 50% del valore relativo a p.c . orizzontale ($k_{p-orizz}$).
2. Le verifiche sono state svolte considerando un momento di plasticizzazione del palo (M_p) pari a 300kNm.

6.3.1. TIPO 1 – FOA H = 300

FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO TRINCEA		FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO RILEVATO	
$\phi' =$	28°	$\phi' =$	35°
$\omega =$		$\omega =$	26.5°
$\text{sen}(\phi) =$	--	$\text{sen}(\phi) =$	0.574
$k_{p-orizz} =$	2.77	$k_{p-orizz} =$	3.69
$k_{p-incl} =$	1.39	$k_{p-incl} =$	2.35
$k_{p-incl} / k_{p-orizz} =$	0.50	$k_{p-incl} / k_{p-orizz} =$	0.64
$\gamma =$	9 kN/m ³	$\gamma =$	19 kN/m ³
$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m	$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m
$L =$	6.0 m	$L =$	6.0 m
$e =$	0.0 m	$e =$	0.0 m
$M_p =$	300 kNm	$M_p =$	300 kNm
$H_{ult} =$	132 kN	$H_{ult} =$	201 kN
$\xi_{st} =$	1.34	$\xi_{st} =$	1.34
$\gamma_R =$	1.6	$\gamma_R =$	1.6
$R_d =$	61 kN	$R_d =$	94 kN
$H_{d-corrente} =$	38 kN	$H_{d-corrente} =$	38 kN
$H_{d-bordo} =$	38 kN	$H_{d-bordo} =$	38 kN
$H_{d-corrente} / R_d =$	0.62 OK	$H_{d-corrente} / R_d =$	0.40 OK
$H_{d-bordo} / R_d =$	0.62 OK	$H_{d-bordo} / R_d =$	0.40 OK

6.3.2. TIPO 2 – FOA H = 400

FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO TRINCEA		FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO RILEVATO	
$\phi' =$	28 °	$\phi' =$	35 °
$\omega =$		$\omega =$	26.5 °
$\text{sen}(\phi) =$	--	$\text{sen}(\phi) =$	0.574 --
$k_{p\text{-orizz}} =$	2.77 --	$k_{p\text{-orizz}} =$	3.69 --
$k_{p\text{-incl}} =$	1.39 --	$k_{p\text{-incl}} =$	2.35 --
$k_{p\text{-incl}} / k_{p\text{-orizz}} =$	0.50 --	$k_{p\text{-incl}} / k_{p\text{-orizz}} =$	0.64 --
$\gamma =$	9 kN/m ³	$\gamma =$	19 kN/m ³
$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m	$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m
$L =$	6.0 m	$L =$	6.0 m
$e =$	0.0 m	$e =$	0.0 m
$M_p =$	300 kNm	$M_p =$	300 kNm
$H_{\text{ult}} =$	132 kN	$H_{\text{ult}} =$	201 kN
$\xi_{st} =$	1.34 --	$\xi_{st} =$	1.34 --
$\gamma_R =$	1.6 --	$\gamma_R =$	1.6 --
$R_d =$	61 kN	$R_d =$	94 kN
$H_{d\text{-corrente}} =$	38 kN	$H_{d\text{-corrente}} =$	38 kN
$H_{d\text{-bordo}} =$	45 kN	$H_{d\text{-bordo}} =$	45 kN
$H_{d\text{-corrente}} / R_d =$	0.62 OK	$H_{d\text{-corrente}} / R_d =$	0.40 OK
$H_{d\text{-bordo}} / R_d =$	0.73 OK	$H_{d\text{-bordo}} / R_d =$	0.48 OK

6.3.3. TIPO 3 – FOA H = 500

FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO TRINCEA		FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO RILEVATO	
$\phi' =$	28 °	$\phi' =$	35 °
$\omega =$		$\omega =$	26.5 °
$\text{sen}(\phi) =$	--	$\text{sen}(\phi) =$	0.574 --
$k_{p\text{-orizz}} =$	2.77 --	$k_{p\text{-orizz}} =$	3.69 --
$k_{p\text{-incl}} =$	1.39 --	$k_{p\text{-incl}} =$	2.35 --
$k_{p\text{-incl}} / k_{p\text{-orizz}} =$	0.50 --	$k_{p\text{-incl}} / k_{p\text{-orizz}} =$	0.64 --
$\gamma =$	9 kN/m ³	$\gamma =$	19 kN/m ³
$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m	$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m
$L =$	6.0 m	$L =$	6.0 m
$e =$	0.0 m	$e =$	0.0 m
$M_p =$	300 kNm	$M_p =$	300 kNm
$H_{\text{ult}} =$	132 kN	$H_{\text{ult}} =$	201 kN
$\xi_{st} =$	1.34 --	$\xi_{st} =$	1.34 --
$\gamma_R =$	1.6 --	$\gamma_R =$	1.6 --
$R_d =$	61 kN	$R_d =$	94 kN
$H_{d\text{-corrente}} =$	38 kN	$H_{d\text{-corrente}} =$	38 kN
$H_{d\text{-bordo}} =$	52 kN	$H_{d\text{-bordo}} =$	52 kN
$H_{d\text{-corrente}} / R_d =$	0.62 OK	$H_{d\text{-corrente}} / R_d =$	0.40 OK
$H_{d\text{-bordo}} / R_d =$	0.85 OK	$H_{d\text{-bordo}} / R_d =$	0.56 OK

6.3.4. TIPO 4 – FOA H = 600

FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO TRINCEA		FONDAZIONE PROPRIA CIGLIO RILEVATO	
$\phi' =$	28 °	$\phi' =$	35 °
$\omega =$		$\omega =$	26.5 °
$\text{sen}(\phi) =$	--	$\text{sen}(\phi) =$	0.574 --
$k_{p\text{-orizz}} =$	2.77 --	$k_{p\text{-orizz}} =$	3.69 --
$k_{p\text{-incl}} =$	1.39 --	$k_{p\text{-incl}} =$	2.35 --
$k_{p\text{-incl}} / k_{p\text{-orizz}} =$	0.50 --	$k_{p\text{-incl}} / k_{p\text{-orizz}} =$	0.64 --
$\gamma =$	9 kN/m ³	$\gamma =$	19 kN/m ³
$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m	$D_{\text{perforazione}} =$	0.6 m
$L =$	6.0 m	$L =$	6.0 m
$e =$	0.0 m	$e =$	0.0 m
$M_p =$	300 kNm	$M_p =$	300 kNm
$H_{\text{ult}} =$	132 kN	$H_{\text{ult}} =$	201 kN
$\xi_{st} =$	1.34 --	$\xi_{st} =$	1.34 --
$\gamma_R =$	1.6 --	$\gamma_R =$	1.6 --
$R_d =$	61 kN	$R_d =$	94 kN
$H_{d\text{-corrente}} =$	42 kN	$H_{d\text{-corrente}} =$	42 kN
$H_{d\text{-bordo}} =$	61 kN	$H_{d\text{-bordo}} =$	61 kN
$H_{d\text{-corrente}} / R_d =$	0.69 OK	$H_{d\text{-corrente}} / R_d =$	0.45 OK
$H_{d\text{-bordo}} / R_d =$	0.99 OK	$H_{d\text{-bordo}} / R_d =$	0.64 OK

6.4. DEFORMAZIONE IN ESERCIZIO

Per la verifica di deformazione in esercizio dei montanti si rimanda alla “*Relazione di calcolo strutturale*”. La deformazione massima ammissibile è stata calcolata con riferimento allo schema statico di una mensola soggetta ad un carico uniforme, verificando la seguente condizione:

$$\Delta x_{adm} = \frac{H}{150}$$

Dove:

H = altezza della barriera fonoassorbente

Δx_{adm} = freccia elastica del montante