

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. ARCHITETTURA, AMBIENTE E TERRITORIO

### OPERE DI RISANAMENTO ACUSTICO - 1° FASE DI ATTUAZIONE DEL PIANO REDATTO AI SENSI DEL D.M. AMBIENTE 29/11/2000

#### PROGETTO DEFINITIVO

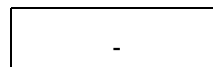
#### COMUNE DI CASCINA

CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031

#### BARRIERE ANTIRUMORE

Relazione di calcolo fondazioni metallica leggera

SCALA:



COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

D 1 4 Z 0 2 D 2 2 C L I F 0 1 0 0 0 0 5 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRA	Agosto 2018	M. Pintus	Agosto 2018	R. Sciacca	Agosto 2018	D. Ludovici Agosto 2018

ITALFERR S.p.A.  
Dott. Ing. Donato Ludovici  
Ordine degli Ingegneri di Roma  
n. 4163/9

File: : D14Z02D22CLIF0100005A

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 2 di 101

## INDICE

1.	PREMESSA .....	5
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	5
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	8
3.1	NORMATIVA E ISTRUZIONI .....	8
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA .....	9
4.1	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PER TRATTI.....	10
4.2	RISULTATI PROVE MASW .....	11
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI .....	12
5.1	CALCESTRUZZO .....	12
5.1.1	<i>Magrone</i> .....	12
5.1.2	<i>Calcestruzzo per opere in calcestruzzo armato portante</i> .....	12
5.1.3	<i>Micropali di fondazione C20/25</i> .....	14
5.2	ACCIAIO.....	15
5.2.1	<i>Acciaio per cemento armato</i> .....	15
5.2.2	<i>Acciaio da carpenteria metallica</i> .....	15
6.	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....	16
6.1	PESI PROPRI .....	16
6.1.1	<i>BARRIERA ML 7</i> .....	16
6.1.1	<i>BARRIERA ML 10</i> .....	17
6.2	CARICHI VARIABILI .....	18
6.2.1	<i>Carico del vento</i> .....	18
	<i>BARRIERA ML 7:</i> .....	20
	<i>BARRIERA ML10:</i> .....	21
6.2.2	<i>Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario</i> .....	23
	<i>BARRIERA ML 7:</i> .....	24
	<i>BARRIERA ML 10:</i> .....	25
6.3	AZIONE SISMICA .....	27

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 3 di 101

6.3.1	Vita nominale .....	27
6.3.2	Classe d'uso .....	28
6.3.3	Periodo di riferimento .....	29
6.3.4	Valutazione dei parametri di pericolosità sismica .....	29
6.3.5	Caratterizzazione sismica del terreno .....	30
	Categorie di Sottosuolo .....	30
	Condizioni topografiche.....	31
	Amplificazione Stratigrafica e Topografica.....	31
	Parametri sismici di calcolo .....	32
	Calcolo forza sismica alla base .....	36
	BARRIERA ML 7: .....	38
	BARRIERA ML 10: .....	39
7.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	40
7.1	COMBINAZIONI STATICHE .....	44
7.2	COMBINAZIONI SISMICHE .....	44
8.	VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI MICROPALI DI FONDAZIONE E CORDOLO DI TESTATA.....	45
8.1	CALCOLO SOLLECITAZIONI AGENTI SULLE FONDAZIONI.....	45
8.1.1	BARRIERA ML 7 .....	45
8.1.2	BARRIERA ML 10.....	47
8.1.3	ML 7 - Sollecitazioni agenti sul singolo micropalo.....	49
8.1.1	ML 10 - Sollecitazioni agenti sul singolo micropalo.....	51
8.2	PORTANZA VERTICALE .....	53
8.2.1	BARRIERA ML7.....	57
8.2.2	BARRIERA ML 10.....	57
8.2.3	Verifica capacità portante verticale .....	58
	BARRIERA ML 7 .....	59
	BARRIERA ML 10 .....	61
8.3	PORTANZA ORIZZONTALE .....	63
8.3.1	ML 7 - Verifica alla portanza trasversale .....	66
8.3.2	ML 10 - Verifica alla portanza trasversale .....	68

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 4 di 101

8.4	ML 7 - VERIFICHE STRUTTURALI TUBO MICROPALI.....	70
8.5	ML 10 - VERIFICHE STRUTTURALI TUBO MICROPALI.....	71
8.6	ML 7 - VERIFICA DI RESISTENZA SUOLA DI FONDAZIONE .....	72
8.6.1	Verifiche allo SLU .....	73
8.6.2	Verifiche allo SLE .....	77
8.6.3	Stato limite di formazione delle fessure.....	80
8.6.4	Verifica delle tensioni di esercizio.....	80
8.6.5	Verifica a punzonamento .....	82
8.6.6	Verifica in direzione trasversale con meccanismo tirante puntone.....	84
8.7	ML 10 - VERIFICA DI RESISTENZA SUOLA DI FONDAZIONE .....	86
8.7.1	Verifiche allo SLU .....	87
8.7.2	Verifiche allo SLE .....	91
8.7.3	Stato limite di formazione delle fessure.....	94
8.7.4	Verifica delle tensioni di esercizio.....	94
8.7.5	Verifica a punzonamento .....	96
8.7.6	Verifica in direzione trasversale con meccanismo tirante puntone.....	98
9.	CONCLUSIONI .....	101
9.1	BARRIERA ML7 .....	101
9.2	BARRIERA ML10.....	101

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	5 di 101

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si dimensionano le fondazioni delle barriere antirumore tipo metallica leggera **H7 e H10** e relativi muri di sostegno relativamente all'intervento di risanamento acustico della Regione Toscana, nel comune di Cascina.

Di seguito si illustrano le assunzioni strutturali di progetto prese a base di calcolo, la normativa di riferimento, i materiali utilizzati, la caratterizzazione geotecnica prevista, i carichi di progetto e le relative condizioni e combinazioni, lo schema strutturale adottato e le verifiche effettuate.

Le azioni applicate alla struttura seguono i criteri generali riportati nel D.M. 17/01/2008, “*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*” e le relative specifiche ferroviarie (cfr par. 3.1.2)

azioni permanenti (pesi propri, permanenti, etc.);

azioni sismiche;

azioni variabili da traffico ferroviario, ambientali, etc...

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione di calcolo ha per oggetto l'analisi e le verifiche geotecniche e strutturali delle opere di fondazione profonde delle barriere antirumore su rilevato tipo metallica leggera **ML7 e ML10**.

### ML 7

Le barriere sono costituite da un montante HEB240, posto ad un interasse di 2m, vincolato tramite tirafondi a un muro in calcestruzzo di dimensioni pari a 2.5mx0.5m.

Le dimensioni del cordolo di fondazione sono pari a 1.5mx0.8m.

### ML 10

Le barriere sono costituite da un montante HEB240, posto ad un interasse di 2m, vincolato tramite tirafondi a un muro in calcestruzzo di dimensioni pari a 2.5mx0.5m.

Le dimensioni del cordolo di fondazione sono pari a 1.5mx0.8m.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 6 di 101

Per ulteriori indicazioni si rimanda agli elaborati progettuali. Si riporta di seguito la sezione tipo di tali barriere.

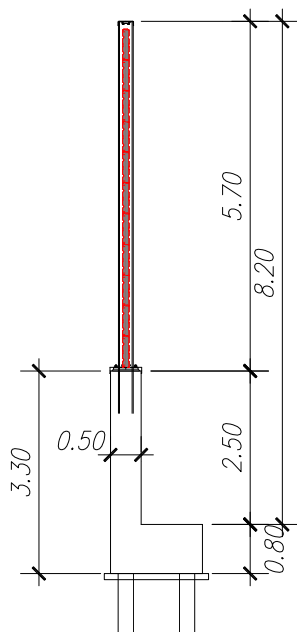


Figura 1: Sezione tipo barriera antirumore ML7 su rilevato

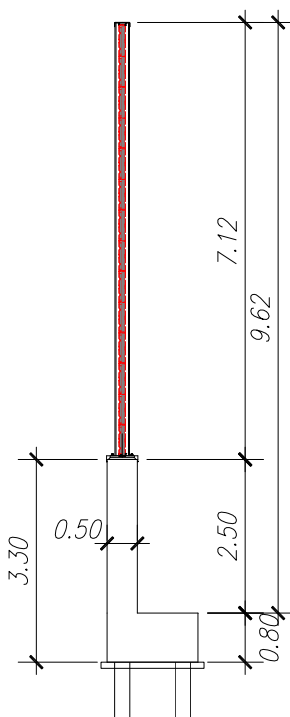


Figura 2: Sezione tipo barriera antirumore ML10 su rilevato

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b></p> <p><b>COMUNE DI CASCINA</b></p> <p><b>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</b></p>					
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b></p>	<p>COMMESSA D14Z</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D22</p>	<p>DOCUMENTO CLIF0100005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 101</p>

	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 8 di 101

### 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normativa e istruzioni

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

- *Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17.01.2008 (NTC-2008);*
- *Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;*
- *UNI EN 206-1/2006 – “Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;*
- *UNI 11104/2004 – “Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”;*
- *Norme UNI ENV 1991 ; UNI ENV 1992; UNI EN 1993; UNI EN 1997; UNI EN 1998;*
- *“ MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2105;*
- *“CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI”–RFI DTC SICS SP IFS 001B*



<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	9 di 101

#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Nell'ambito degli interventi di risanamento acustico nella regione Toscana (Fase di Attuazione del Piano redatto ai sensi del D.M. Ambiente 29/11/2000), e nello specifico nel comune di Cascina si riportano i risultati della campagna di indagini condotte ai fini delle verifiche strutturali. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica generale.



Figura 3: Ubicazione dell'area di intervento

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 10 di 101

Caratteristiche della falda

La falda si trova a una quota di 1,5 m di profondità.

#### 4.1 Parametri geotecnici caratteristici per tratti

Si riportano le caratteristiche relative al terreno considerato ai fini della verifica:

$$\gamma = 17 \text{ kN/mc}$$

Unità	Profondità	$c_u$ (kPa)	$\varphi'$ (°)
[-]	[m]		
1	0-2	92	30
2	2-6	105	28
3	6-10	62	22
4	>10	37	19

Tabella 1: Caratterizzazione geotecnica delle singole unità

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 11 di 101

#### 4.2 Risultati prove MASW

La determinazione del tipo di suolo, secondo normativa, può essere basata sulla stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,30}$  entro i primi 30 metri di profondità ovvero sul numero medio di colpi  $N_{SPT,30}$  ottenuti da prove penetrometriche dinamiche nei terreni ovvero sulla coesione non drenata media  $c_{u,30}$ .

L'analisi dell'assetto stratigrafico e dei valori di  $N_{spt}$  ha consentito di definire una categoria di sottosuolo come “D”, ovvero “Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina)”.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 12 di 101

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I materiali utilizzati nella realizzazione delle strutture in funzione della utilizzazione sono descritti in seguito.

### 5.1 Calcestruzzo

#### 5.1.1 Magrone

Classe di resistenza C12/15;  
contenuto min. cemento 150 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5.1.2 Calcestruzzo per opere in calcestruzzo armato portante

Per le strutture di fondazione si impiega calcestruzzo di classe C28/35:

Tensioni di progetto del calcestruzzo allo S.L.U. secondo D.M. 2008

Classe di esposizione	XC4
Rapporto acqua/cemento max	0,50
Dose minima cemento	320 kg/m <sup>3</sup>
Resistenza cubica caratteristica a compressione	35 MPa

Tabella 2: Caratteristiche del conglomerato di classe C28/35

Prendendo un calcestruzzo con  $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$  che appartiene alla classe C28/35 abbiamo:

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 0,83 \cdot 35 = 29,05 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza caratteristica a compressione;}$$

$$f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 29,05 \cdot 0,85 / 1,5 = 16,6 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza di calcolo a compressione del cls;}$$

La norma prevede che per classi di resistenza  $\leq C50/60$  la formulazione della resistenza caratteristica a trazione del cls sia la seguente:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,30 \cdot 29,05^{(2/3)} = 2,83 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza media a trazione del cls;}$$

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 2,83 = 1,98 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza caratteristica a trazione del cls;}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,98 / 1,5 = 1,32 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza di calcolo a trazione del cls.}$$

La tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo è pari a:

$$f_{bk} = 2,25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,98 = 4,45 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls;}$$

dove  $\eta = 1,0$  per barre di diametro inferiore a 32 mm

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c; \text{ con } \gamma_c = 1,5$$

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	13 di 101

$$f_{bd} = 4,45/1,5 = 2,96 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Resistenza di calcolo di aderenza del cls.}$$

Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,55 \cdot f_{ck} \quad \text{per combinazione caratteristica (rara)} ;$$

$$\sigma_c < 0,40 \cdot f_{ck} \quad \text{per combinazione quasi permanente.}$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

Nel caso di combinazione rara:

$$\sigma_c < 0,55 \cdot f_{ck} = 0,55 \cdot 29,05 = 15,98 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;}$$

Nel caso di combinazione quasi permanente:

$$\sigma_c < 0,40 \cdot f_{ck} = 0,40 \cdot 29,05 = 11,62 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm.}$$

Modulo elastico del calcestruzzo

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

dove

$$- \quad f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow f_{cm} = 29,05 + 8 = 37,05 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza media cilindrica a compressione del cls;}$$

$$- \quad E_{cm} = 22.000 \cdot [37,05/10]^{0,3} = 32.588,10 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Modulo elastico del cls.}$$

Per le strutture di fondazione si impiega calcestruzzo di classe **C32/40**:

Resistenza cubica a compressione	$R_{ck} 40,0 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica a compressione	$f_{ck} 0,83 \cdot R_{ck} = 33,2 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41,2 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli $\alpha_{cc}$ ( $t > 28 \text{ gg}$ )	$\alpha_{cc} = 0,85$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = (\alpha_{cc} \cdot f_{ck}) / \gamma_c = 18,8 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 3,1 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 2,2 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,4 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1,2 \cdot f_{ctm} = 3,7 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	$f_{cfk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 2,2 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3} = 33643 \text{ N/mm}^2$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 14 di 101

### 5.1.3 Micropali di fondazione C20/25

Il materiale posto in opera è C25/30. A favore di sicurezza i calcoli sono stati effettuati considerando un calcestruzzo C20/25 con le seguenti caratteristiche:

Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m <sup>3</sup>
Resistenza Cubica	$R_{ck} =$	25MPa
Resistenza Cilindrica	$f_{ck} =$	20.8MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.8MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	30200MPa

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 15 di 101

## 5.2 Acciaio

### 5.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

acciaio	B450C
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ ;
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ ;
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$ ;
modulo elastico	$E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2$ .

Tensioni di progetto dell'acciaio allo S.L.E.

Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11 del D.M.2008, la tensione massima,  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,50 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{tensione massima di esercizio per l'acciaio.}$$

### 5.2.2 Acciaio da carpenteria metallica

Si prescrive l'utilizzo di profilati in acciaio laminati a caldo S275:

Tensione di snervamento	$f_{yk} \leq 275 \text{ N/mm}^2$ ;
Tensione di rottura	$f_{tk} \leq 430 \text{ N/mm}^2$ ;
Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ;
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$ ;
Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23 \text{ N/m}^2$ ;
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (\text{per } T \text{ fino a } 100 ^\circ\text{C})$ ;
Densità	$\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$ .

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	16 di 101

## 6. ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Per la valutazione dei carichi permanenti e variabili, questi saranno desunti dalla relazione delle barriere antirumore del tipologico di RFI, dopodiché per i carichi variabili si effettuerà la verifica puntuale che le azioni da considerare sui nostri pannelli prescritte dalla normativa vigente per il sito in esame risultino uguali o minore a quelle considerate per il calcolo tipologico, ove tale condizioni non risultino soddisfatte si procederà alle opportune modifiche ed integrazioni.

### 6.1 Pesì Propri

Le azioni agenti in testa ai micropali di fondazione sono date dalla somma dei contributi delle azioni dei montanti verticali, dei pannelli della barriera e del cordolo di fondazione.

#### 6.1.1 BARRIERA ML 7

$H_{barriera} = 5.7m$

PP HEB240	0.832 kN/m
PP PA	0.5 kN/m <sup>2</sup>
PP PB	1 kN/m <sup>2</sup>

Dove:

$PP_{HEB240}$  = peso proprio del montante verticale;

$PP_{PA}$  = peso pannelli asciutti;

$PP_{PB}$  = peso pannelli bagnati.

Riferendosi all'interasse di 2m tra i montanti verticali della barriera ed all'altezza degli stessi ed assumendo un incremento del 20% peso proprio del montante per la presenza di piastrame e bulloneria, si hanno i seguenti carichi:

	N (KN)	Ecc_X (m)	M (KNm)
PP Barriera	5.69	0.5	2.85
PP PA	5.70	0.5	2.85
PP PB	11.40	0.5	5.70



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 17 di 101

PP muro	62.50	0.5	31.25
PP CORDOLO	60.00	0	0.00

Tabella 3: Tabella delle sollecitazioni a quota testa micropali

Muro:  $0.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 62.5\text{ kN}$

Cordolo di fondazione:  $1.5\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 60\text{ kN}$

### 6.1.1 BARRIERA ML 10

Hbarriera = 7.12m

PP HEB240	0.832 kN/m
PP PA	0.5 kN/m <sup>2</sup>
PP PB	1 kN/m <sup>2</sup>

Dove:

PP HEB240 = peso proprio del montante verticale;

PP<sub>PA</sub> = peso pannelli asciutti;

PP<sub>PA</sub> = peso pannelli bagnati.

Riferendosi all'interasse di 2m tra i montanti verticali della barriera ed all'altezza degli stessi ed assumendo un incremento del 20% peso proprio del montante per la presenza di piastrame e bulloneria, si hanno i seguenti carichi:

	N (KN)	Ecc_X (m)	M (KNm)
PP Barriera	7.11	0.5	3.55
PP PA	7.12	0.5	3.56
PP PB	14.24	0.5	7.12
PP muro	62.50	0.5	31.25
PP CORDOLO	60.00	0	0.00

Tabella 4: Tabella delle sollecitazioni a quota testa micropali

Muro:  $0.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 62.5\text{ kN}$

Cordolo di fondazione:  $1.5\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2.0\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 60\text{ kN}$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 18 di 101

## 6.2 Carichi variabili

### 6.2.1 Carico del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti dirette secondo due assi principali della struttura, tali azioni esercitano normalmente all'elemento di parete o di copertura, pressioni e depressioni  $p$  (indicate rispettivamente con segno positivo e negativo) di intensità calcolate con la seguente espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

- $q_b$  = pressione cinetica di riferimento;
- $c_e$  = coefficiente di esposizione;
- $c_p$  = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- $c_d$  = coefficiente dinamico.


ZONE 1,2,3,4,5						
						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Tabella 5: Definizione della categoria di esposizione

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	19 di 101

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Tabella 6: Schema per la definizione della categoria di esposizione – cfr. NTC18

Il valore di  $c_e$  può essere ricavato mediante la relazione:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
3	27	500	0.02
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			14
$T_R$ (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$\underline{v}_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])			27.000
$\alpha_R$ ( $T_R$ )			1.00073
$v_b$ ( $T_R$ ) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s])			27.020

$p$  (pressione del vento [N/mq]) =  $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$   
 $q_b$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])  
 $c_e$  (coefficiente di esposizione)  
 $c_p$  (coefficiente di forma)  
 $c_d$  (coefficiente dinamico)



#### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	456.29
--------------	--------

**RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI  
METALLICA LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	20 di 101

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa	mare	500m	750m		
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
	costa	mare	500m		
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
	mare	costa	
	1.5 km	0.5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Zona	Classe di rugosità	$a_s$ [m]
3	C	14

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Cat. Esposiz.	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]	$c_t$
III	0.2	0.1	5	1

**BARRIERA ML 7:**

$z$ [m]	$c_e$
$z \leq 5$	1.708
$z = 0$	1.708
$z = 8.2$	2.011

$q_b$	0.46	kN/mq	
$C_e$	2.011		Coefficiente di esposizione
$C_p$	3.4		Coefficiente di forma
$C_d$	1		Coefficiente dinamico
$p$	3.12	kN/mq	Pressione del vento

Calcolo azioni del vento ad intradosso cordolo di fondazione:

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	21 di 101

$$R_{\text{Vento}} = P_{\text{Vento}} \cdot 2m \cdot h_{\text{TOT}}$$

$$V_{\text{Vento}} = R_{\text{Vento}} \cdot \cos \alpha$$

$$N_{\text{Vento}} = R_{\text{Vento}} \cdot \sin \alpha$$

$$M_{\text{Vento}} = V_{\text{Vento}} \cdot e_v$$

L	2 m
$h_{\text{tot}}$	8.2 m
$R_{\text{vento}}$	51.2 kN

Angolo inclinazione 90 °

N	0.0 kN
V	51.2 kN
$e_N$	0 m
$e_v$	4.9 m
$M_N$	0 kN
$M_v$	250.67 kN
M	250.67 kN

$N_{\text{calcolo}}$	0.00	kN
$V_{\text{calcolo}}$	51.16	kN
$M_{\text{calcolo}}$	250.67	kN

Tabella 7: Tabella riassuntiva delle sollecitazioni dovute al vento per il modulo barriera all'intradosso del cordolo

Sarà cura dell'appaltatore valutare i differenti effetti locali della pressione del vento sui singoli elementi strutturali.

Si rimanda alla fase esecutiva la verifica degli ultimi due montanti e delle relative fondazioni.

#### BARRIERA ML10:

z [m]	$C_e$
$z \leq 5$	1.708
$z = 0$	1.708
$z = 9.62$	2.113

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	22 di 101

$q_b$	0.46	kN/mq	
$C_e$	2.113		Coefficiente di esposizione
$C_p$	3.4		Coefficiente di forma
$C_d$	1		Coefficiente dinamico
$p$	3.28	kN/mq	Pressione del vento

Calcolo azioni del vento ad intradosso cordolo di fondazione:

$$R_{Vento} = P_{Vento} \cdot 2m \cdot h_{TOT}$$

$$V_{Vento} = R_{Vento} \cdot \cos\alpha$$

$$N_{Vento} = R_{Vento} \cdot \sin\alpha$$

$$M_{Vento} = V_{Vento} \cdot e_v$$

L                      2 m

$h_{tot}$                 9.62 m

$R_{vento}$             63.1 kN

Angolo inclinazione        90 °

N                      0.0 kN

V                      63.1 kN

$e_N$                     0 m

$e_v$                     5.61 m

$M_N$                     0 kN

$M_v$                     353.78 kN

M                      353.78 kN

$N_{calcolo}$	0.00	kN
$V_{calcolo}$	63.06	kN
$M_{calcolo}$	353.78	kN

Tabella 8: Tabella riassuntiva delle sollecitazioni dovute al vento per il modulo barriera all'intradosso del cordolo

Sarà cura dell'appaltatore valutare i differenti effetti locali della pressione del vento sui singoli elementi strutturali.

Si rimanda alla fase esecutiva la verifica degli ultimi due montanti e delle relative fondazioni.

	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 23 di 101

### 6.2.2 Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

In accordo con quanto previsto nella “Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario” - RFI DTC-INC-PO SP IFS 001 A del 21.12.2011; si considera l’effetto aerodinamico associato al passaggio dei treni. Tali prescrizioni si riscontrano anche al punto 5.2 della NTC2008 relativo ai ponti ferroviari. Le azioni possono essere schematizzate mediante carichi equivalenti agenti nelle zone prossime alla testa ed alla coda del treno, il cui valore viene determinato con riferimento a due schemi, e deve essere utilizzato quello che meglio approssima la forma della pensilina, nel nostro caso la nostra pensilina si trova in una situazione intermedia tra le due descritte nello schema, pertanto calcoleremo il valore di pressione secondo entrambi gli schemi, ed applicheremo poi al modello di calcolo quello che induce una pressione maggiore:

Superfici multiple a fianco del binario sia verticali che orizzontali o inclinate (5.2.2.6.1 – NTC2008):

Il valore dell’azione  $\pm q_{4k}$  agente ortogonalmente alla superficie della barriera, viene valutato adottando una distanza fittizia  $a_g$  dal binario:

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g$$

dove le distanze  $\min a_g$  e  $\max a_g$  sono state determinate in base al grafico sottostante.

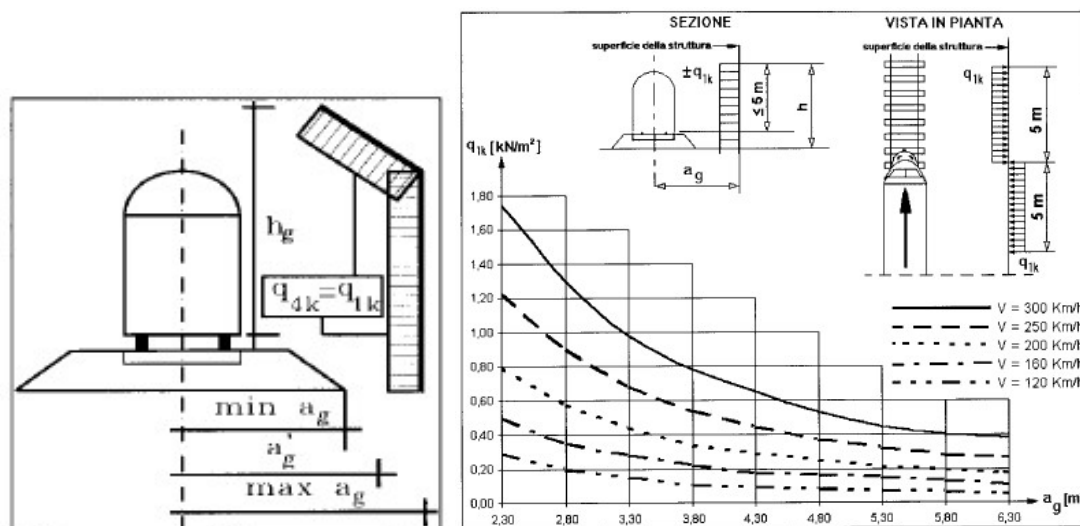


Figura 4: Grafico per la definizione della distanza min-max  $a_g$ , e valori caratteristici delle azioni  $q_{1k}$  su superfici verticali e parallele al binario

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 24 di 101

#### BARRIERA ML 7:

$$\min a_g = 2.9 \text{ m}; \quad \max a_g = 3.14 \text{ m};$$

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g = 3 \text{ m};$$

A tali valori di  $a_g'$  corrispondono i seguenti valori dell'azione  $q_{lk}$  prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata con velocità  $V = 150 \text{ km/h}$  e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli:

$$q_{lk} = 0,30 \text{ kN/m}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli.}$$

Il valore sarà però aumentato secondo quanto prescritto dalle "Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle Barriere AntiRumore":

$$\text{Vento} + P_{\text{aerod.}} \geq 1.50 \text{ kN/ m}^2 \text{ per tutte le verifiche.}$$

Nel modello di calcolo verranno pertanto considerate le seguenti azioni:

$$\text{Vento} \quad W = 3.12 \text{ kN/ m}^2$$

$$\text{S150} \quad \delta Q = 0,30 \text{ kN/ m}^2$$

Calcolo sollecitazioni dovute ai carichi aerodinamici ad intradosso fondazione.

$$R = \delta Q \cdot 2m \cdot h_{\text{TOT}}$$

$$V = R \cdot \cos \alpha$$

$$N = R \cdot \sin \alpha$$

$$M = V \cdot e_v$$

$$L \quad 2 \text{ m}$$

$$h_{\text{tot}} \quad 8.2 \text{ m}$$

$$R \quad 4.9 \text{ kN}$$

$$\text{Angolo inclinazione} \quad 90^\circ$$

$$N \quad 0.0 \text{ kN}$$

$$V \quad 4.9 \text{ kN}$$

$$e_N \quad 0 \text{ m}$$

$$e_v \quad 4.9 \text{ m}$$

$$M_N \quad 0 \text{ kN}$$

$$M_V \quad 24.11 \text{ kN}$$

$$M \quad 24.11 \text{ kN}$$



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 25 di 101

$N_{\text{calcolo}}$	0.00	kN
$V_{\text{calcolo}}$	4.92	kN
$M_{\text{calcolo}}$	24.11	kN

Tabella 9: Sollecitazioni dovute ai carichi aerodinamici S150 per il modulo di barriera

#### BARRIERA ML 10:

$$\min a_g = 3.49 \text{ m}; \quad \max a_g = 3.73 \text{ m};$$

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g = 3.59 \text{ m};$$

A tali valori di  $a_g'$  corrispondono i seguenti valori dell'azione  $q_{lk}$  prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata con velocità  $V = 150 \text{ km/h}$  e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli:

$$q_{lk} = 0,25 \text{ kN/m}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli.}$$

Il valore sarà però aumentato secondo quanto prescritto dalle “Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle Barriere AntiRumore”:

$$\text{Vento} + P_{\text{aerod.}} \geq 1.50 \text{ kN/ m}^2 \text{ per tutte le verifiche.}$$

Nel modello di calcolo verranno pertanto considerate le seguenti azioni:

$$\text{Vento} \quad W = 3.28 \text{ kN/ m}^2$$

$$\text{S150} \quad \delta Q = 0,25 \text{ kN/ m}^2$$

Calcolo sollecitazioni dovute ai carichi aerodinamici ad intradosso fondazione.

$$R = \delta Q \cdot 2m \cdot h_{\text{TOT}}$$

$$V = R \cdot \cos \alpha$$

$$N = R \cdot \sin \alpha$$

$$M = V \cdot e_v$$

$$L \quad 2 \text{ m}$$

$$h_{\text{tot}} \quad 9.62 \text{ m}$$

$$R \quad 4.8 \text{ kN}$$

$$\text{Angolo inclinazione} \quad 90^\circ$$

$$N \quad 0.0 \text{ kN}$$

$$V \quad 4.8 \text{ kN}$$

$$e_N \quad 0 \text{ m}$$

$$e_v \quad 5.61 \text{ m}$$

	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 26 di 101

$M_N$                     0 kN  
 $M_V$                     26.98 kN  
 $M$                         26.98 kN

$N_{\text{calcolo}}$	0.00	kN
$V_{\text{calcolo}}$	4.81	kN
$M_{\text{calcolo}}$	26.98	kN

*Tabella 10: Sollecitazioni dovute ai carichi aerodinamici S150 per il modulo di barriera*

	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 27 di 101

### 6.3 Azione Sismica

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2008), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 del D.M. 2008), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1 del D.M. 2008, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4 del D.M. 2008.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell’azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

#### 6.3.1 Vita nominale

La vita nominale di un’opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda al “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2105;

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	28 di 101

L'oggetto della presente relazione risulta essere un'opera nuova su infrastrutture ferroviarie esistenti a velocità convenzionale ( $v < 250$  km/h).

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale [ $V_N$ ] <sup>(1)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITA' CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ( $V < 250$ km/h)	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ( $V \geq 250$ Km/h)	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(2)</sup>
(1) - La medesima $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere. (2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI. (	

Tabella 11: Tabella Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione

Tenendo conto delle indicazioni precedenti le strutture di progetto avranno vita nominale  $V_N = 50$ .

### 6.3.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 29 di 101

comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per la definizione della Classe di uso da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria esistente si rimanda al punto 1.1.1 dell'Istruzione RFI " *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*" - RFI DTC-INC-PO SP IFS 001 A del 21.12.2011".

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C <sub>U</sub> ]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Tabella 12: Tabella Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione per l'infrastruttura ferroviaria

- Facendo riferimento al, “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI ” pag.151 di 431 – *Ponti e strutture - RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2015*, le strutture di progetto non ricadono in una linea del sistema di grande viabilità strategica pertanto nel progetto si considera una classe d'uso tipo II con coefficiente d'uso C<sub>U</sub>=1,0.

### 6.3.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V<sub>R</sub> che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V<sub>N</sub> per il coefficiente d'uso C<sub>U</sub> :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.00 = 50 \text{ anni (periodo di riferimento).}$$

### 6.3.4 Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

Fissata la vita di riferimento V<sub>R</sub>, i due parametri T<sub>R</sub> e P<sub>VR</sub> sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

	STATO LIMITE	P <sub>VR</sub> : probabilità di superamento nel periodo di riferimento
<b>SLE</b>	SLO - Stato Limite di Operatività	81%
	SLD - Stato Limite di Danno	63%
<b>SLU</b>	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%
	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%

Tabella 13: Probabilità di superamento P<sub>VR</sub> al variare dello stato limite considerato

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = -\frac{C_U \cdot V_N}{\ln(1 - P_{V_R})} \text{ da cui si ottiene la seguente Tab. 12:}$$

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	30 di 101

Stati limite		Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$ (anni)
SLE	SLO	30
	SLD	50
SLU	SLV	475
	SLC	975

Tabella 14: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati, il periodo  $T_R$  in corrispondenza dello stato limite ultimo SLV è pari a  $T_R = 475$  anni.

Le strutture di progetto avranno quindi i seguenti parametri sismici:

- vita nominale  $V_N = 50$ ;
- periodo di riferimento pari a  $V_R = 50$ ;
- il periodo  $T_R$  in corrispondenza dello SLV sarà pari a  $T_R = 475$  anni.

### 6.3.5 Caratterizzazione sismica del terreno

#### Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2008.

Come già illustrato, i terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di **Categoria D**.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 31 di 101

### Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 15: Classificazione topografie superfici

Le categorie topografiche appena definite si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come **T1**.

### Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2008 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente  $S = S_S \cdot S_T$  e di  $C_C$  in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle che sono riportate di seguito:

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 16: Tabella delle espressioni per  $S_S$  e  $C_C$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 32 di 101

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	S <sub>T</sub>
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 17: Tabella valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S<sub>T</sub>

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a  $S_T = 1$

I valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a  $S_s = 1,80$  e  $C_c = 2,374$

#### Parametri sismici di calcolo

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☐ Ricerca per coordinate
 

LONGITUDINE  
 10.632712.51433

LATITUDINE  
 43.662441.91779

☒ Ricerca per comune
 

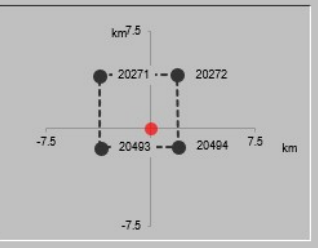
REGIONE  
 Toscana

PROVINCIA  
 Pisa

COMUNE  
 Pontedera

Elaborazioni grafiche  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri


Elaborazioni numeriche  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito
 

Reticolo di riferimento
 

Controllo sul reticolo  
☒ Sito esterno al reticolo  
☐ Interpolazione su 3 nodi  
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione  
 superficie rigata



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

Figura 5: Individuazione della pericolosità del sito (Fase 1)



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b></p> <p><b>COMUNE DI CASCINA</b></p> <p>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</p>					
	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b></p>					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	33 di 101	

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {  $SLO - P_{VR} = 81\%$    $SLD - P_{VR} = 63\%$    $SLV - P_{VR} = 10\%$    $SLC - P_{VR} = 5\%$

Stati limite ultimi - SLU {  $SLV - P_{VR} = 10\%$    $SLC - P_{VR} = 5\%$

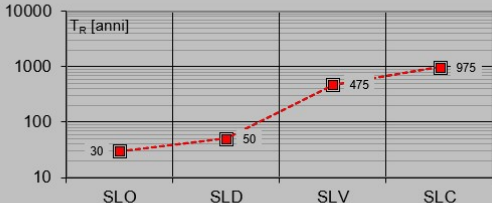
Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Strategia di progettazione



INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

Figura 6: Scelta della strategia di progettazione (Fase 2)

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **D** info  $S_S = 1.800$   $C_C = 2.374$  info

Categoria topografica **T1** info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info  
( $h$ =quota sito,  $H$ =altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☐ Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%)   $\eta = 1.000$  info

☒ Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$   Regol. in altezza **si** info

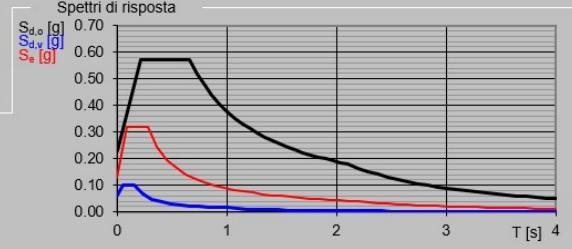
Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore  $q_v$    $\eta = 0.667$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Figura 7: Determinazione dell'azione di progetto (Fase 3)

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

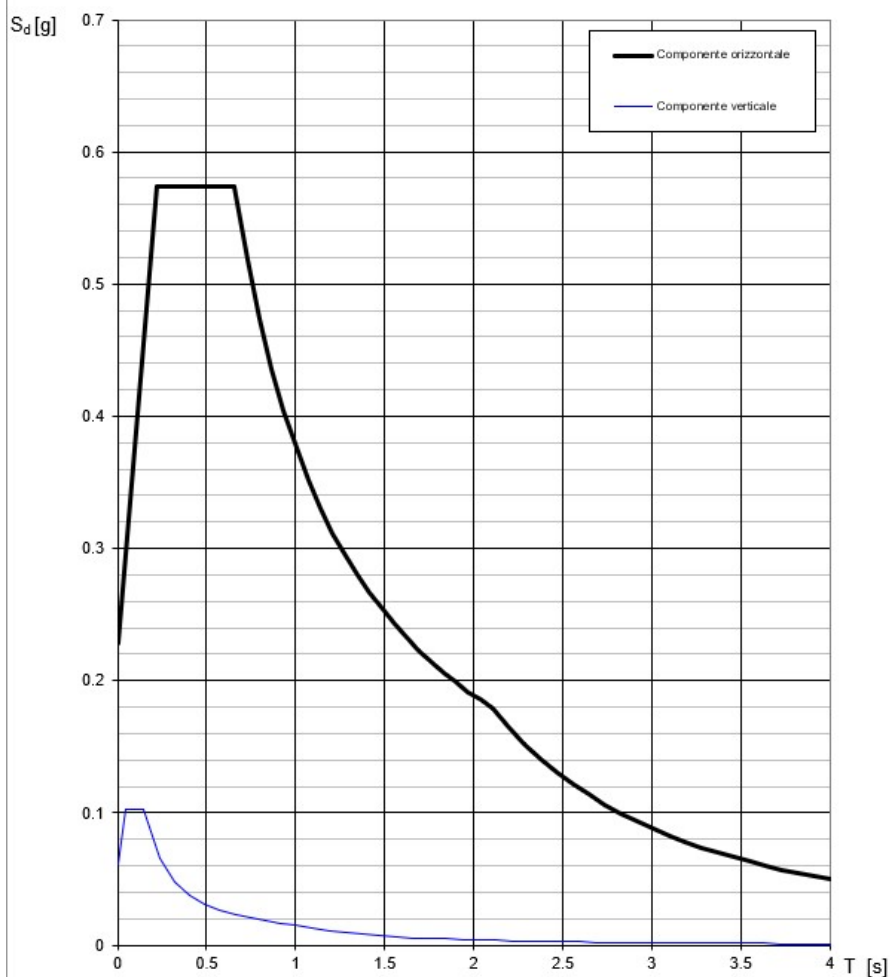


Figura 8: Spettro di progetto: grafico

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.127 g
$F_o$	2.509
$T_c$	0.277 s
$S_s$	1.800
$C_c$	2.374
$S_T$	1.000
$q$	1.000

#### Parametri dipendenti

$S$	1.800
$\eta$	1.000
$T_B$	0.219 s
$T_C$	0.658 s
$T_D$	2.108 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.228
$T_B \leftarrow$	0.219	0.573
$T_C \leftarrow$	0.658	0.573
	0.727	0.519
	0.796	0.474
	0.865	0.436
	0.934	0.404
	1.003	0.376
	1.072	0.352
	1.141	0.331
	1.210	0.312
	1.279	0.295
	1.348	0.280
	1.418	0.266
	1.487	0.254
	1.556	0.243
	1.625	0.232
	1.694	0.223
	1.763	0.214
	1.832	0.206
	1.901	0.199
	1.970	0.192
	2.039	0.185
$T_D \leftarrow$	2.108	0.179
	2.198	0.165
	2.288	0.152
	2.378	0.141
	2.468	0.131
	2.558	0.122
	2.648	0.113
	2.738	0.106
	2.829	0.099
	2.919	0.093
	3.009	0.088
	3.099	0.083
	3.189	0.078
	3.279	0.074
	3.369	0.070
	3.459	0.066
	3.549	0.063
	3.640	0.060
	3.730	0.057
	3.820	0.055
	3.910	0.052
	4.000	0.050

Figura 9: Spettro di progetto: valori

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	36 di 101

Avendo calcolato i parametri con cui determinare l'azione sismica che andrà ad assoggettare la nostra struttura, si esegue ora la valutazione della forza effettiva che il sisma induce sulle barriere.

#### Calcolo forza sismica alla base

Per la valutazione della forza alla base del manufatto, indotta dal moto sismico, si procede facendo riferimento a quanto prescritto dalle normative vigenti. Il periodo proprio della barriera è ripreso dalla documentazione del progetto del tipologico richiamato in precedenza, da cui si evince che il periodo della barriera vale:

$$T_{I,PB} = 2.453 \text{ s.}$$

I parametri dello spettro di risposta elastica sono di seguito riportati :

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_o$	$T_C^*$ (s)
SLV	475	0,127	2,509	0,277

Tabella 18: Parametri spettro di risposta in funzione di  $T_R$

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{con} \quad 0 \leq T < T_B;$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad \text{con} \quad T_B \leq T < T_C;$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \quad \text{con} \quad T_C \leq T < T_D;$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \quad \text{con} \quad T_D \leq T;$$

dove:

$T$  ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale;

$S = S_S \cdot S_T$ , coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, in cui i valori di  $S_S$ , coefficiente di amplificazione stratigrafica, e di  $S_T$ , coefficiente di amplificazione topografica sono riportati nelle tabelle presenti di seguito;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	37 di 101

fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, con  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_o$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

$T_C = C_C \cdot T_C^*$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro con  $C_T$  e  $C_C$  (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) definiti nelle tabelle del presente paragrafo dell'azione sismica;

$T_B = T_C / 3$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$   $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro,

espresso in secondi.

Si hanno pertanto i seguenti valori:

$\xi = 5 \%$ ;

$\eta = 1$ ;

$C_C = 2,374$ ;

$S = S_S \cdot S_T = 1,80 \cdot 1,00 = 1,80$ ;

$T_B = 0,219$  s;

$T_C = 0,658$  s;

$T_D = 2,108$  s.

Le componenti della forza sismica orizzontale legata alla massa della barriera è data dalla seguente formula

presente nel D.M.2008:  $F_{h,i} = S_e(T_i) \cdot W_i \cdot \frac{\lambda}{g}$ ,

dove:

$F_{ih,i}$  è la forza da applicare alla massa *i*-esima;

$W_i$  è il peso della massa *i*-esima;

$S_e(T_i)$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito in precedenza;

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se  $T_i < 2 \cdot T_C$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

$g$  è l'accelerazione di gravità terrestre (9,80665 m/s<sup>2</sup>).

Dalle formulazioni precedentemente riportate i valori delle ordinate dello in condizioni di pannelli asciutti e bagnati è pari:

$S_e = 0.574$  g.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 38 di 101

#### BARRIERA ML 7:

Il contributo del peso della barriera è distinto a seconda se i pannelli sono asciutti o bagnati e della tipologia di modulo; di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle forze statiche a quota testa micropali.

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
PP	128.19	0.00	34.10
PP P.Asc.	5.70	0.00	2.85
PP P.Bag.	11.40	0.00	5.70
VENTO	0.00	51.16	250.67
Azione aereodinamica	0.00	4.92	24.11

Tabella 19: Riepilogo forze statiche a quota testa micropali

Si riportano le sollecitazioni dovute ai carichi permanenti ed ai carichi variabili in condizioni sismiche (quest'ultime calcolate tenendo conto dei momenti di trasporto di ciascun carico elementare) a quota testa micropali:

					$S_e(T_{1,PA})$ (g)	0.574
<b>Forze sismiche a quota testa micropali - P.A.</b>						
Elementi	N (kN)	V (kN)	Braccio (m)	M (kNm)		
PP Barriera	5.69	3.26	6.15	20.07		
PP PA	5.70	3.27	6.15	20.11		
PP muro	62.50	35.85	2.05	73.49		
PP CORDOLO	60.00	34.41	0.4	13.77		
	<b>133.89</b>	<b>76.79</b>		<b>127.43</b>		

					$S_e(T_{1,PB})$ (g)	0.574
<b>Forze sismiche a quota testa micropali - P.B.</b>						
Elementi	N (kN)	V (kN)	Braccio (m)	M (kNm)		
PP Barriera	5.69	3.26	6.15	20.07		
PP PB	11.40	6.54	6.15	40.21		
PP muro	62.5	35.85	2.05	73.49		
PP CORDOLO	60	34.41	0.4	13.77		
	<b>139.59</b>	<b>80.06</b>		<b>147.54</b>		

Tabella 20: Sollecitazioni in condizioni sismiche

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 39 di 101

#### BARRIERA ML 10:

Il contributo del peso della barriera è distinto a seconda se i pannelli sono asciutti o bagnati e della tipologia di modulo; di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle forze statiche a quota testa micropali.

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
PP	129.61	0.00	34.80
PP P.Asc.	7.12	0.00	3.56
PP P.Bag.	14.24	0.00	7.12
VENTO	0.00	63.06	353.78
Azione aereodinamica	0.00	4.81	26.98

Tabella 21: Riepilogo forze statiche a quota testa micropali

Si riportano le sollecitazioni dovute ai carichi permanenti ed ai carichi variabili in condizioni sismiche (quest'ultime calcolate tenendo conto dei momenti di trasporto di ciascun carico elementare) a quota testa micropali:

				$S_e(T_{1,PA})$ (g)	0.574
<b>Forze sismiche a quota testa micropali - P.A.</b>					
Elementi	N (kN)	V (kN)	Braccio (m)	M (kNm)	
PP Barriera	7.11	4.08	6.86	27.97	
PP PA	7.12	4.08	6.86	28.01	
PP muro	62.50	35.85	2.05	73.49	
PP CORDOLO	60.00	34.41	0.4	13.77	
	<b>136.73</b>	<b>78.42</b>		<b>143.24</b>	

				$S_e(T_{1,PB})$ (g)	0.574
<b>Forze sismiche a quota testa micropali - P.B.</b>					
Elementi	N (kN)	V (kN)	Braccio (m)	M (kNm)	
PP Barriera	7.11	4.08	6.86	27.97	
PP PB	14.24	8.17	6.86	56.03	
PP muro	62.5	35.85	2.05	73.49	
PP CORDOLO	60	34.41	0.4	13.77	
	<b>143.85</b>	<b>82.51</b>		<b>171.25</b>	

Tabella 22: Sollecitazioni in condizioni sismiche

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	40 di 101

## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2008 al par.2.5.3:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots;$$

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

In base a quanto riportato al paragrafo precedente, non viene considerata nessuna combinazione sismica.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_F$ ,  $\gamma_M$  e  $\gamma_R$  (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2008 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito. In particolare si segnala che i pesi propri dei pannelli sono stati considerati come carichi permanenti non strutturali compiutamente definiti, quindi sono stati adottati gli stessi coefficienti validi per i carichi permanenti, mentre l'azione aerodinamica generata dal transito dei convogli è stata considerata come un carico variabile da traffico.

In riferimento al **MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI** - **RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2105** - §1.5.4.3.1 "Criteri di combinazione delle azioni" si considera che:

il valore della combinazione "vento + effetto aerodinamico" ( $p_{tot}$ ) sarà assunto pari a:

$$p_{vento} + p_{aerod} = p_{tot} \geq 1,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Nel caso in esame quindi l'azione del vento ed aerodinamica verranno considerate come un'unica azione variabile.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 41 di 101

**Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.

<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 42 di 101

**Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.**

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	F <sub>wk</sub>	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T <sub>k</sub>	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	$\gamma_R$	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	43 di 101

In totale sono state analizzate 8 combinazioni di tipo SLU, 4 di tipo GEO e 10 combinazioni di tipo SLE, per un totale di 22 combinazioni; i coefficienti adottati per ogni combinazione sono riportati nel seguito:

8 combinazioni SLU di tipo strutturale, per verificare il raggiungimento della resistenza dei pali e del cordolo di fondazione, utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1):

SLU1: Carichi permanenti sfavorevoli, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLU2: Carichi permanenti favorevoli, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLU3: Carichi permanenti sfavorevoli, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLU4: Carichi permanenti favorevoli, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLU5, SLU6, SLU7, SLU8 analoghe rispettivamente a SLU1, SLU2, SLU3, SLU4 ma con i coefficienti moltiplicativi unitari per i carichi permanenti;

4 combinazioni SLU di tipo geotecnico, per verificare il collasso per carico limite dei micropali nei confronti dei carichi assiali, utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M1+R2):

SLU9, SLU10, SLU11, SLU12 analoghe rispettivamente a SLU1, SLU2, SLU3, SLU4 ma con i coefficienti moltiplicativi A2 anziché A1;

4 combinazioni SLE di tipo rara:

SLE1: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLE2: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLE3: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLE4: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

4 combinazioni SLE di tipo frequente:

SLE5: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLE6: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLE7: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLE8: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

2 combinazioni SLE di tipo quasi permanente:

SLE9: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica assenti (moltiplicati per  $\psi_2=0$ );

SLE10: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica assenti (moltiplicati per  $\psi_2=0$ );

4 combinazioni SLU di tipo SISMICA:

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	44 di 101

SISMICA1-3: Carichi permanenti e sisma unitari, pannelli asciutti, (positivi e negativi);

SISMICA2-4: Carichi permanenti e sisma unitari, pannelli bagnati, (positivi e negativi).

## 7.1 Combinazioni statiche

		PP	P. Asc.	P. Bag.	Vento	Aereod.
App1-C1 (STR)	SLU 1	1.35	0	1.35	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 2	1.35	1.35	0	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 3	1.35	0	1.35	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 4	1.35	1.35	0	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 5	1	0	1	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 6	1	1	0	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 7	1	0	1	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 8	1	1	0	1.5	1.5
App1-C2 (GEO)	SLU 9	1	0	1	1.3	1.3
App1-C2 (GEO)	SLU 10	1	1	0	-1.3	-1.3
App1-C2 (GEO)	SLU 11	1	0	1	-1.3	-1.3
App1-C2 (GEO)	SLU 12	1	1	0	1.3	1.3
RARA	SLE 1	1	0	1	1	1
RARA	SLE 2	1	0	1	-1	-1
RARA	SLE 3	1	1	0	1	1
RARA	SLE 4	1	1	0	-1	-1
FREQ	SLE 5	1	0	1	0.5	0.5
FREQ	SLE 6	1	0	1	-0.5	-0.5
FREQ	SLE 7	1	1	0	-0.5	-0.5
FREQ	SLE 8	1	1	0	0.5	0.5
Q.PERM	SLE 9	1	0	1	0	0
Q.PERM	SLE 10	1	1	0	0	0

Tabella 23: Coefficienti moltiplicativi delle azioni nelle diverse combinazioni statiche

## 7.2 Combinazioni sismiche

Combo	PP	P.Asc.	P.Bagn.	Sisma PA	Sisma PB
Sismica 1	1	1	0	1	0
Sismica 2	1	0	1	0	1
Sismica 3	1	1	0	-1	0
Sismica 4	1	0	1	0	-1

Tabella 24: Coefficienti moltiplicativi delle azioni nelle diverse combinazioni sismiche

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 45 di 101

## 8. VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI MICROPALI DI FONDAZIONE E CORDOLO DI TESTATA

### 8.1 Calcolo sollecitazioni agenti sulle fondazioni

Le sollecitazioni agenti in testa ai micropali sono state calcolate partendo dalle sollecitazioni risultanti per le diverse azioni esaminate e considerando i contributi dovuti ai momenti di trasporto rispetto alla quota di testa dei micropali in posizione baricentrica. I pesi propri considerano il peso proprio del montante, del muro e del cordolo di fondazione.

#### 8.1.1 BARRIERA ML 7

Forze statiche a quota testa micropali

	N (KN)	V (KN)	M (KNm)
PP	128.19	0.00	34.10
PP P.Asc.	5.70	0.00	2.85
PP P.Bag.	11.40	0.00	5.70
VENTO	0.00	51.16	250.67
Azione aereodinamica	0.00	4.92	24.11

Tabella 25: Tabella riassuntiva delle forze statiche a quota testa micropali

A partire dai valori caratteristici indicati in Tabella, si riportano di seguito le sollecitazioni per ogni combinazione di carico precedentemente descritta:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A FOGLIO 46 di 101

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
SLU 1	188.45	84.12	465.89
SLU 2	180.75	-84.12	-362.29
SLU 3	188.45	-84.12	-358.44
SLU 4	180.75	84.12	462.04
SLU 5	139.59	84.12	451.96
SLU 6	133.89	-84.12	-375.22
SLU 7	139.59	-84.12	-372.37
SLU 8	133.89	84.12	449.11
SLU 9	139.59	72.90	397.00
SLU 10	133.89	-72.90	-320.26
SLU 11	139.59	-72.90	-317.41
SLU 12	133.89	72.90	394.15
SLE 1	139.59	56.08	314.57
SLE 2	139.59	-56.08	-234.98
SLE 3	133.89	56.08	311.72
SLE 4	133.89	-56.08	-237.83
SLE 5	139.59	28.04	177.18
SLE 6	139.59	-28.04	-97.59
SLE 7	133.89	-28.04	-100.44
SLE 8	133.89	28.04	174.33
SLE 9	139.59	0.00	39.80
SLE 10	133.89	0.00	36.95

Tabella 26: Sollecitazioni statiche nelle diverse combinazioni di carico

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
SISMA 1	133.89	76.79	164.38
SISMA 2	139.59	80.06	187.33
SISMA 3	139.59	-76.79	-90.49
SISMA 4	139.59	-80.06	-107.74

Tabella 27: Sollecitazioni sismiche nelle diverse combinazioni di carico

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	47 di 101

### 8.1.2 BARRIERA ML 10

Forze statiche a quota testa micropali

	N (KN)	V (KN)	M (KNm)
PP	129.61	0.00	34.80
PP P.Asc.	7.12	0.00	3.56
PP P.Bag.	14.24	0.00	7.12
VENTO	0.00	63.06	353.78
Azione aereodinamica	0.00	4.81	26.98

*Tabella 28: Tabella riassuntiva delle forze statiche a quota testa micropali*

A partire dai valori caratteristici indicati in Tabella, si riportano di seguito le sollecitazioni per ogni combinazione di carico precedentemente descritta:

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	48 di 101

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
SLU 1	194.20	101.81	627.74
SLU 2	184.58	-101.81	-519.35
SLU 3	194.20	-101.81	-514.54
SLU 4	184.58	101.81	622.93
SLU 5	143.85	101.81	613.06
SLU 6	136.73	-101.81	-532.77
SLU 7	143.85	-101.81	-529.21
SLU 8	136.73	101.81	609.50
SLU 9	143.85	88.23	536.91
SLU 10	136.73	-88.23	-456.62
SLU 11	143.85	-88.23	-453.06
SLU 12	136.73	88.23	533.35
SLE 1	143.85	67.87	422.68
SLE 2	143.85	-67.87	-338.84
SLE 3	136.73	67.87	419.12
SLE 4	136.73	-67.87	-342.40
SLE 5	143.85	33.94	232.30
SLE 6	143.85	-33.94	-148.46
SLE 7	136.73	-33.94	-152.02
SLE 8	136.73	33.94	228.74
SLE 9	143.85	0.00	41.92
SLE 10	136.73	0.00	38.36

Tabella 29: Sollecitazioni statiche nelle diverse combinazioni di carico

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
SISMA 1	136.73	78.42	181.60
SISMA 2	143.85	82.51	213.18
SISMA 3	143.85	-78.42	-104.87
SISMA 4	143.85	-82.51	-129.33

Tabella 30: Sollecitazioni sismiche nelle diverse combinazioni di carico



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 49 di 101

### 8.1.3 ML 7 - Sollecitazioni agenti sul singolo micropalo

Lo sforzo normale e il taglio agenti sui singoli micropali vengono calcolati in base al numero di micropali presente al di sotto di ogni montante e al loro interasse trasversale, secondo le seguenti formule:

$i_{\text{trav.}} \text{ [m]}$	1
$i_{\text{long.}} \text{ [m]}$	1.5
n. pali in trasversale su 2m	2
n. pali in longitudinale su 2m	$2\text{m}/1.5\text{m}=1.33$
$n_{\text{micropali}} \text{ su } 2\text{m}$	2.67

$$N_p = N/n_{\text{pali}} \pm N_m = N/n_{\text{pali}} \pm M/(1.33 \times i_{\text{trav.}})$$

$$V_p = V/n_{\text{pali}}$$

	<b>Np+ [kN]</b>	<b>Np- [kN]</b>	<b>Vp [kN]</b>
<b>SLU 1</b>	420.08	-278.75	31.54
<b>SLU 2</b>	-203.93	339.50	-31.54
<b>SLU 3</b>	-198.16	339.50	-31.54
<b>SLU 4</b>	414.31	-278.75	31.54
<b>SLU 5</b>	391.32	-286.62	31.54
<b>SLU 6</b>	-231.21	331.62	-31.54
<b>SLU 7</b>	-226.93	331.62	-31.54
<b>SLU 8</b>	387.04	-286.62	31.54
<b>SLU 9</b>	350.10	-245.41	27.34
<b>SLU 10</b>	-189.99	290.41	-27.34
<b>SLU 11</b>	-185.71	290.41	-27.34
<b>SLU 12</b>	345.83	-245.41	27.34
<b>SLE 1</b>	288.28	-183.58	21.03
<b>SLE 2</b>	-123.89	228.58	-21.03
<b>SLE 3</b>	284.00	-183.58	21.03
<b>SLE 4</b>	-128.16	228.58	-21.03
<b>SLE 5</b>	185.23	-80.54	10.51
<b>SLE 6</b>	-20.85	125.54	-10.51
<b>SLE 7</b>	-25.12	125.54	-10.51
<b>SLE 8</b>	180.96	-80.54	10.51
<b>SLE 9</b>	82.19	22.50	0.00
<b>SLE 10</b>	77.92	22.50	0.00

Tabella 31: Sollecitazioni agenti sui singoli micropali – condizioni statiche

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	50 di 101

	Np+ [kN]	Np- [kN]	Vp [kN]
<b>SISMA 1</b>	173.49	-73.07	28.80
<b>SISMA 2</b>	192.85	-88.15	30.02
<b>SISMA 3</b>	-15.52	120.21	-28.80
<b>SISMA 4</b>	-28.46	133.15	-30.02

Tabella 32: Sollecitazioni agenti sui singoli micropali – condizioni sismiche

Verranno analizzati i seguenti casi per le verifiche:

	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>420.08</b>	31.54	massima compressione SLU 1 per le verifiche strutturali e geotecniche
Np-	<b>-286.62</b>	31.54	massima trazione SLU 8 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp+	420.08	<b>31.54</b>	massimo taglio SLU 1 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp-	-203.93	<b>-31.54</b>	minimo taglio SLU 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>350.10</b>	27.34	massima compressione SLU 9 per le verifiche geotecniche in condizioni statiche
Np-	<b>-245.41</b>	27.34	massima trazione SLU 12 per le verifiche geotecniche in condizioni statiche
	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>192.85</b>	30.02	massima compressione SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
Np-	<b>-88.15</b>	30.02	massima trazione SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp+	192.85	<b>30.02</b>	massimo taglio SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp-	-28.46	<b>-30.02</b>	minimo taglio SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>288.28</b>	21.03	massima compressione SLE 1 per le verifiche strutturali
Np+	<b>185.23</b>	10.51	massima compressione SLE 5 per le verifiche strutturali
Np+	<b>82.19</b>	0.00	massima compressione SLE 9 per le verifiche strutturali

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 51 di 101

### 8.1.1 ML 10 - Sollecitazioni agenti sul singolo micropalo

Lo sforzo normale e il taglio agenti sui singoli micropali vengono calcolati in base al numero di micropali presente al di sotto di ogni montante e al loro interasse trasversale, secondo le seguenti formule:

$i_{\text{trav. [m]}}$	1
$i_{\text{long. [m]}}$	1.5
n. pali in trasversale su 2m	2
n. pali in longitudinale su 2m	$2\text{m}/1.5\text{m}=1.33$
$n_{\text{micropali su 2m}}$	2.67

$$N_p = N/n_{\text{pali}} \pm N_m = N/n_{\text{pali}} \pm M/(1.33 \times i_{\text{trav}})$$

$$V_p = V/n_{\text{pali}}$$

	<b>Np+ [kN]</b>	<b>Np- [kN]</b>	<b>Vp [kN]</b>
<b>SLU 1</b>	543.63	-397.98	38.18
<b>SLU 2</b>	-320.29	458.73	-38.18
<b>SLU 3</b>	-313.08	458.73	-38.18
<b>SLU 4</b>	536.42	-397.98	38.18
<b>SLU 5</b>	513.74	-405.85	38.18
<b>SLU 6</b>	-348.31	450.85	-38.18
<b>SLU 7</b>	-342.97	450.85	-38.18
<b>SLU 8</b>	508.40	-405.85	38.18
<b>SLU 9</b>	456.63	-348.74	33.09
<b>SLU 10</b>	-291.19	393.74	-33.09
<b>SLU 11</b>	-285.85	393.74	-33.09
<b>SLU 12</b>	451.29	-348.74	33.09
<b>SLE 1</b>	370.96	-263.07	25.45
<b>SLE 2</b>	-200.18	308.07	-25.45
<b>SLE 3</b>	365.62	-263.07	25.45
<b>SLE 4</b>	-205.52	308.07	-25.45
<b>SLE 5</b>	228.17	-120.28	12.73
<b>SLE 6</b>	-57.40	165.28	-12.73
<b>SLE 7</b>	-62.74	165.28	-12.73
<b>SLE 8</b>	222.83	-120.28	12.73
<b>SLE 9</b>	85.39	22.50	0.00
<b>SLE 10</b>	80.05	22.50	0.00

Tabella 33: Sollecitazioni agenti sui singoli micropali – condizioni statiche

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	52 di 101

	Np+ [kN]	Np- [kN]	Vp [kN]
<b>SISMA 1</b>	187.47	-84.93	29.41
<b>SISMA 2</b>	213.82	-105.94	30.94
<b>SISMA 3</b>	-24.71	132.60	-29.41
<b>SISMA 4</b>	-43.05	150.94	-30.94

Tabella 34: Sollecitazioni agenti sui singoli micropali – condizioni sismiche

Verranno analizzati i seguenti casi per le verifiche:

	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>543.63</b>	38.18	massima compressione SLU 1 per le verifiche strutturali e geotecniche
Np-	<b>-405.85</b>	38.18	massima trazione SLU 8 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp+	543.63	<b>38.18</b>	massimo taglio SLU 1 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp-	-320.29	<b>-38.18</b>	minimo taglio SLU 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>456.63</b>	33.09	massima compressione SLU 9 per le verifiche geotecniche in condizioni statiche
Np-	<b>-348.74</b>	33.09	massima trazione SLU 9 per le verifiche geotecniche in condizioni statiche
	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>213.82</b>	30.94	massima compressione SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
Np-	<b>-105.94</b>	30.94	massima trazione SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp+	213.82	<b>30.94</b>	massimo taglio SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
Vp-	-43.05	<b>-30.94</b>	minimo taglio SISMA 2 per le verifiche strutturali e geotecniche
	Np (KN)	Vp (KN)	
Np+	<b>370.96</b>	25.45	massima compressione SLE 1 per le verifiche strutturali
Np+	<b>228.17</b>	12.73	massima compressione SLE 5 per le verifiche strutturali
Np+	<b>85.39</b>	0.00	massima compressione SLE 9 per le verifiche strutturali

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 53 di 101

## 8.2 Portanza verticale

Il calcolo viene eseguito secondo il metodo messo a punto dall' *École Nationale des Ponts et Chaussées* da Bustamante e Doix, recepito nella gran parte delle normative e linee guida in Europa e negli Stati Uniti ( FHWA ) e basato sulla conoscenza dei valori del parametro  $N_{SPT}$  (numero di colpi) dei terreni attraversati.

Per la determinazione del carico limite, Bustamante e Doix fanno riferimento alla nota espressione:

$$Q_{lim} = P + S$$

dove con P viene indicata la resistenza totale alla punta, mentre con S quella laterale. La resistenza laterale S, a sua volta, è data da:

$$S = \pi \cdot \alpha \cdot d \cdot L \cdot s$$

dove  $d_s = \alpha \cdot d$  è il diametro equivalente del palo,  $L$  la lunghezza della zona iniettata,  $s$  la resistenza tangenziale unitaria all'interfaccia fra zona iniettata e terreno. Nel caso in esame il micropalo attraversa strati di terreno dalle caratteristiche diverse e la relazione per la determinazione di S risulta:

$$S = \pi \cdot \alpha \cdot d \sum L_i s_i$$

Si assume  $d_s = \alpha \cdot d$ , dove  $d$  è il diametro della perforazione e  $\alpha$  un coefficiente maggiorativo, il cui valore può essere determinato attraverso l'uso della tabella seguente (Viggiani, 1999). Come è possibile notare, Bustamante e Doix forniscono indicazioni ulteriori riguardanti la quantità minima di miscela iniettata.

Secondo tale metodo si calcola il diametro equivalente del palo attraverso il coefficiente  $\alpha$ , coefficiente dimensionale che tiene conto della tecnica di esecuzione dei micropali e del tipo di terreno (vedi tabella sotto).

Nel caso in esame viene adottata la tecnica IRS (IRS, injection ripetitive et selective), ma è comunque raccomandato di considerare che per i primi 4-5 m il palo venga considerato del tipo IGU, (IGU, injection globale unique).

Si trascura la resistenza alla punta del micropalo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 54 di 101

I valori  $N_{spt}$  utili al dimensionamento e verifica dei micropali vengono individuati a partire da correlazioni effettuate mediante l'utilizzo delle prove CPTU; si riporta una tabella con i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  per ogni strato:

Profondità [m]	$N_{spt}$
da 0,00 a 2,00	17
da 2,00 a 6,00	38
da 6,00 a 10,00	12
>10	23

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 55 di 101

Terreno	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	1,5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	1,5 Vs
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	1,5 Vs
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: (1,5 - 2)Vs; IGU: 1,5Vs
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: 2Vs; IGU: 1,5Vs
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: (2,5 - 3)Vs; IGU: (1,5 - 2)Vs
Marne	1,8	1,1 - 1,2	(1,5 - 2)Vs per strati compatti
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2	(2 - 6)Vs o più per strati fratturati
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(1,1 - 1,5)Vs per strati poco fratturati 2Vs o più per strati fratturati

Tabella 35: Tabella per la determinazione del coefficiente  $\alpha$

Oltre al coefficiente  $\alpha$ , il metodo di Bustamante e Doix contempla anche il calcolo della resistenza tangenziale  $s$  all'interfaccia palo-terreno in funzione sia della natura che delle caratteristiche del terreno, sia dalla tecnologia di infissione, vengono riportate di seguito la tabella che indica a quale curva bisogna fare riferimento nel nostro caso, sia il grafico nel quale entrando con il valore delle  $N_{SPT}$ , è possibile leggere il corrispettivo valore di  $s$ .

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG 1	SG 2
Limo e argilla	AL 1	AL 2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC 1	MC 2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R$ 1	$\geq R$ 2

Tabella 36: Tabella per la determinazione del tipo di iniezione

I valori della resistenza tangenziale unitaria  $s$ ; all'interfaccia fra tratto iniettato e terreno dipendono sia dalla natura e dalle caratteristiche del terreno sia dalla tecnologia, e sono forniti dai diagrammi contenuti nelle Figure sottostanti:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 56 di 101

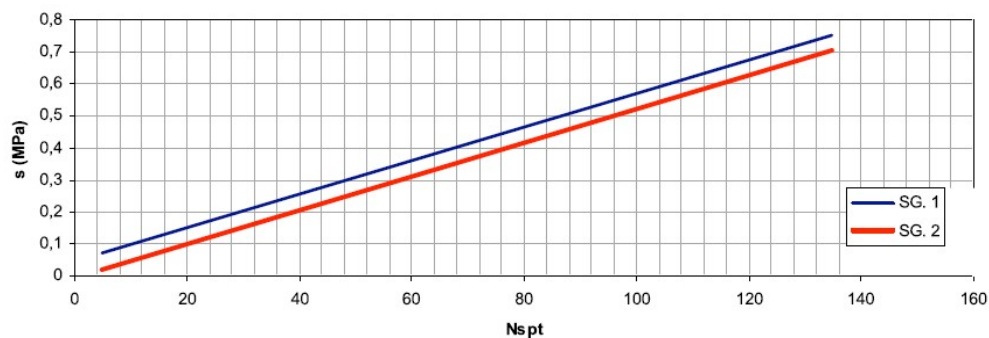


Figura 1. Abaco per la determinazione di  $s$  per Sabbie e Ghiaie  
(modificato rispetto a Viggiani, 1999)

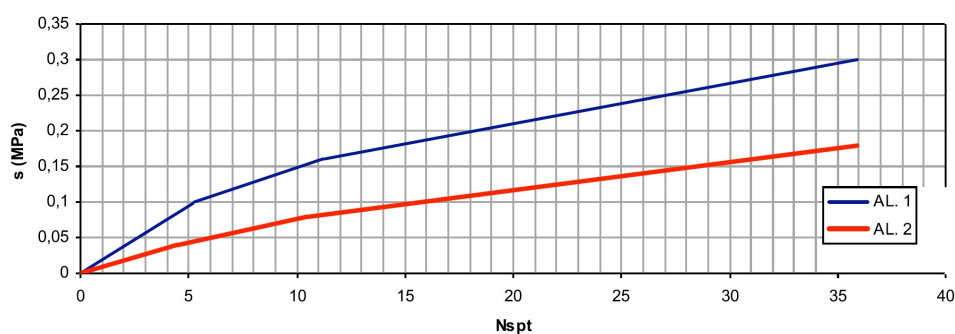


Figura 2. Abaco per la determinazione di  $s$  per Argille e Limi  
(modificato rispetto a Viggiani, 1999)

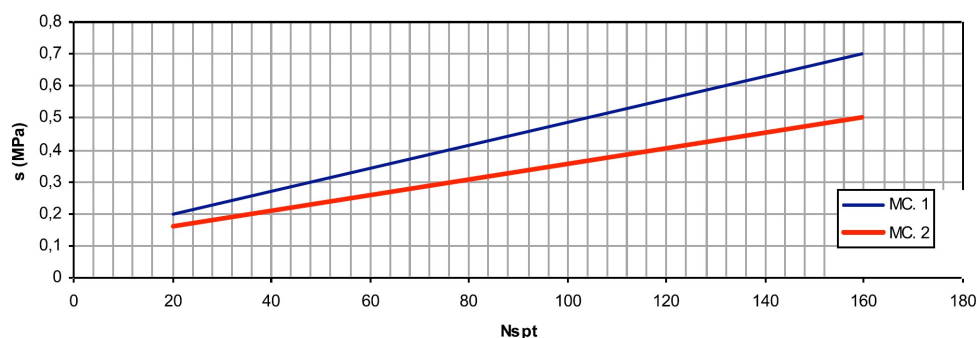


Figura 3. Abaco per la determinazione di  $s$  per Gessi, Marne e Marne Calcaree  
(modificato rispetto a Viggiani, 1999)



<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	57 di 101

### 8.2.1 BARRIERA ML7

La lunghezza complessiva del micropalo a partire dalla superficie di scavo è pari a **11,00 m**.

Si assume uno spessore medio di rilevato ferroviario pari a 2m. Conseguentemente la lunghezza del micropalo dal piano campagna è pari a 9m.

Ai fini della verifica della portanza si considera una lunghezza utile di 7,00 m, avendo assunto che i primi 2,00 m di terreno dal piano campagna siano caratterizzati da uno scarso stato di addensamento, trascurandone dunque il relativo contributo in termini di portanza verticale.

Si calcola **portanza laterale** del micropalo considerando quindi i valori in tabella:

Unità	Spessore [m]	Tipo di iniezione	Coeff $\alpha$	Curva di riferimento	Nspt	Resistenza tangenziale $s_i$ [MPa]	$d_s = \alpha d$ [m]	$Q_{si}$ [kN]
Argille e limi	2.00	-	-	-	-	-	-	0
Argille e limi	2.50	IGU	1.17	AL 2	36	0.18	0.292	400.68
Argille e limi	0.50	IGU	1.17	AL 2	10	0.08	0.292	36.53
Argille e limi	4.00	IRS	1.70	AL 1	10	0.15	0.425	791.02
<b><math>Q_L</math></b>								<b>1228.23</b>

A favore di sicurezza viene trascurata la **portanza di base**:

**Portanza di base**  $Q_b = 0\% Q_L$

**$Q_b$**  **0.00** kN

### 8.2.2 BARRIERA ML 10

La lunghezza complessiva del micropalo a partire dalla superficie di scavo è pari a **13,00 m**.

Si assume uno spessore medio di rilevato ferroviario pari a 2m. Conseguentemente la lunghezza del micropalo dal piano campagna è pari a 11m.

Ai fini della verifica della portanza si considera una lunghezza utile di 9,00 m, avendo assunto che i primi 2,00 m di terreno dal piano campagna siano caratterizzati da uno scarso stato di addensamento, trascurandone dunque il relativo contributo in termini di portanza verticale.

Si calcola **portanza laterale** del micropalo considerando quindi i valori in tabella:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 58 di 101

Unità	Spessore [m]	Tipo di iniezione	Coeff $\alpha$	Curva di riferimento	Nspt	Resistenza tangenziale $s_i$ [MPa]	$d_s = \alpha d$ [m]	$Q_{si}$ [kN]
Argille e limi	2.00	-	-	-	-	-	-	0
Argille e limi	2.50	IGU	1.17	AL 2	36	0.18	0.292	400.68
Argille e limi	0.50	IGU	1.17	AL 2	10	0.08	0.292	36.53
Argille e limi	5.00	IRS	1.70	AL 1	10	0.15	0.425	988.77
Argille e limi	1.00	IRS	1.70	AL 1	44	0.35	0.425	460.85
<b>Q<sub>L</sub></b>								<b>1886.83</b>

A favore di sicurezza viene trascurata la **portanza di base**:

**Portanza di base**  $Q_b = 0\% Q_L$

**Q<sub>b</sub>** **0.00** kN

### 8.2.3 Verifica capacità portante verticale

Sulla base dei parametri su definiti si procede alla determinazione della capacità portante mediante la formulazione analitica.

Il calcolo della capacità portante permette inoltre di determinare il valore caratteristico della resistenza caratteristica  $R_k$  del palo così come definito al par.6.4.3.1.1. delle NTC2008, tale valore è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate i fattori di correlazione  $\xi$  (vedi Tab.6,4,IV delle NTC2008 riportata nel seguito), in funzione del numero n di verticali di indagine.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (6.2.10)$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (6.2.11)$$

**Tabella 6.4.IV** – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 59 di 101

## BARRIERA ML 7

Si verifica di seguito il palo maggiormente sollecitato.

A partire dalle portanze di calcolo definite al § precedente si ottengono le portanze caratteristiche dividendo per i fattori di correzione  $\xi$  e quindi le portanze di progetto dividendo per i coefficienti  $\gamma_r$ .

### Portanze caratteristiche

$Q_k$  = Portanze di calcolo /  $\xi$

$\xi$ : fattore di correzione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

$\xi_3$	1.7	NTC2018 tab. 6.4.IV
$\xi_4$	1.7	NTC2018 tab. 6.4.IV
$Q_{L,k}$	<b>722.49</b>	kN Portanza laterale
$Q_{b,k}$	<b>0.00</b>	kN Portanza di base

### Portanze di progetto

$Q_d = Q_k / \gamma_r$

Ap1-Comb2: (A2+M1+R2)		Ap1-Comb1: (A1+M1+R1)		SISMA	
$\gamma_{r,1}$	1.7 (R2)	1 (R1)		1.35 (R3)	portanza di base
$\gamma_{r,2}$	1.45 (R2)	1 (R1)		1.15 (R3)	portanza laterale compressione
$\gamma_{r,3}$	1.6 (R2)	1 (R1)		1.25 (R3)	portanza laterale trazione

### Capacità portante totale

$Q_{d,TRAZIONE}$	<b>451.55</b>	kN	<b>722.486</b>	kN	<b>578</b>	kN	$Q_d = Q_{L,k} / \gamma_{r,3}$
$Q_{d,COMPRESSIONE}$	<b>498.27</b>	kN	<b>722.486</b>	kN	<b>628.2</b>	kN	$Q_d = Q_{L,k} / \gamma_{r,2} + Q_{b,k} / \gamma_{r,1}$

### AZIONI DI PROGETTO

Massima TRAZIONE	GEO	STR	SISMA
$N_T =$	245.41 kN	286.623 kN	88.15 kN
Massima COMPRESSIONE			
$N_C =$	350.10 kN	420.084 kN	192.8 kN

### VERIFICHE

Azione Progetto <= Capacità Portante

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 60 di 101

FS = Capacità Portante / Azione Progetto  $\geq 1$

GEO

$Q_{d, \text{TRAZIONE}} / N_T = 1.84 \geq 1$  SI

$Q_{d, \text{COMPRESSIONE}} / N_C = 1.42 \geq 1$  SI

STR

$Q_{d, \text{TRAZIONE}} / N_T = 2.52 \geq 1$  SI

$Q_{d, \text{COMPRESSIONE}} / N_C = 1.72 \geq 1$  SI

SISMICO

$Q_{d, \text{TRAZIONE}} / N_T = 6.56 \geq 1$  SI

$Q_{d, \text{COMPRESSIONE}} / N_C = 3.26 \geq 1$  SI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 61 di 101

## BARRIERA ML 10

Si verifica di seguito il palo maggiormente sollecitato.

A partire dalle portanze di calcolo definite al § precedente si ottengono le portanze caratteristiche dividendo per i fattori di correzione  $\xi$  e quindi le portanze di progetto dividendo per i coefficienti  $\gamma_r$ .

### Portanze caratteristiche

$Q_k$  = Portanze di calcolo /  $\xi$

$\xi$ : fattore di correzione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

$\xi_3$  1.7 NTC2018 tab. 6.4.IV

$\xi_4$  1.7 NTC2018 tab. 6.4.IV

$Q_{L,k}$	<b>1109.90</b>	kN	Portanza laterale
$Q_{b,k}$	<b>0.00</b>	kN	Portanza di base

### Portanze di progetto

$Q_d = Q_k / \gamma_r$

Ap1-Comb2: (A2+M1+R2)

Ap1-Comb1:  
(A1+M1+R1)

SISMA

$\gamma_{r,1}$	1.7 (R2)	1 (R1)	1.35 (R3)	portanza di base
$\gamma_{r,2}$	1.45 (R2)	1 (R1)	1.15 (R3)	portanza laterale compressione
$\gamma_{r,3}$	1.6 (R2)	1 (R1)	1.25 (R3)	portanza laterale trazione

### Capacità portante totale

$Q_{d,TRAZIONE}$	<b>693.69</b>	kN	<b>1109.9</b>	kN	<b>887.9</b>	kN	$Q_d = Q_{L,k} / \gamma_{r,3}$
$Q_{d,COMPRESSIONE}$	<b>765.45</b>	kN	<b>1109.9</b>	kN	<b>965.1</b>	kN	$Q_d = Q_{L,k} / \gamma_{r,2} + Q_{b,k} / \gamma_{r,1}$

### AZIONI DI PROGETTO

Massima	GEO	STR	SISMA
<b>TRAZIONE</b>			
$N_T =$	348.74 kN	405.854 kN	105.9 kN
Massima <b>COMPRESSIONE</b>			
$N_C =$	456.63 kN	543.626 kN	213.8 kN

### VERIFICHE

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 62 di 101

Azione Progetto  $\leq$  Capacità Portante

FS = Capacità Portante / Azione Progetto  $\geq 1$

GEO

$Q_{d, \text{TRAZIONE}} / N_T = 1.99 \geq 1$  SI

$Q_{d, \text{COMPRESSIONE}} / N_C = 1.68 \geq 1$  SI

STR

$Q_{d, \text{TRAZIONE}} / N_T = 2.73 \geq 1$  SI

$Q_{d, \text{COMPRESSIONE}} / N_C = 2.04 \geq 1$  SI

SISMICO

$Q_{d, \text{TRAZIONE}} / N_T = 8.38 \geq 1$  SI

$Q_{d, \text{COMPRESSIONE}} / N_C = 4.51 \geq 1$  SI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 63 di 101

### 8.3 Portanza orizzontale

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto ed il carico orizzontale occorrente per generare la plasticizzazione del palo.

Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto), mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio).

Sotto uno spostamento orizzontale, l'andamento delle pressioni sul terreno, lungo il palo, derivato teoricamente, è simile a quello riportato in figura 10 per terreni coesivi e incoerenti.

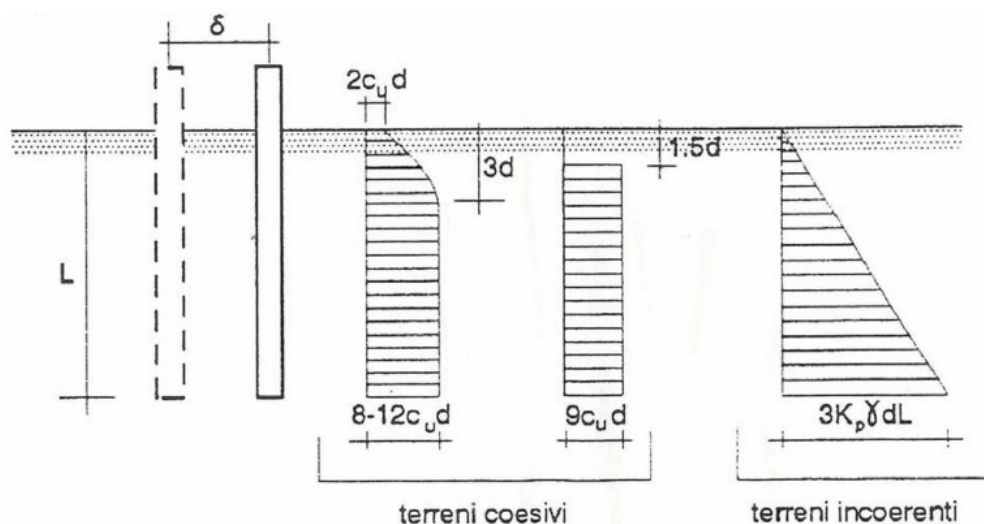


Figura 10: Palo soggetto ad uno spostamento: reazioni del terreno

Il problema è stato affrontato da Broms (1964) facendo le seguenti assunzioni:

nel caso di terreni coesivi, il diagramma è assunto costante con la profondità a partire dalla quota  $z = 1.5 d$  ( $d$ =diametro reso del palo);

nel caso di terreni incoerenti la resistenza del terreno è variabile linearmente con la profondità  $z$  secondo la relazione:

$$p_u(z) = 3 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot d \cdot z$$

$$k_p = (1 + \sin \varphi') / (1 - \sin \varphi')$$

coefficiente di spinta passiva

$$\gamma$$

peso specifico del terreno

terreno omogeneo e valutazione separata dei casi di rottura: rottura non drenata

(terreno coesivo  $c = c_u$  e  $\varphi' = 0$ ) o drenata (terreno incoerente  $c = c_u$  e  $\varphi' \neq 0$ )

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 64 di 101

la forma della sezione trasversale del palo è influente e il valore della pressione è determinato solo dalla dimensione  $d = D_p$  (diametro reso del palo);

il terreno presenta proprietà costanti con la profondità;

il comportamento all'interfaccia palo/terreno è rigido perfettamente plastico, ovvero la resistenza del terreno si mobilita completamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento e rimane costante all'aumentare dello spostamento

il comportamento flessionale del palo è di tipo rigido perfettamente plastico, ovvero le rotazioni elastiche del palo sono trascurabili sino a quando il momento  $M$  non perviene al valore  $M_y$  (di plasticizzazione).

Quando  $M=M_y$ , si forma nella sezione una cerniera plastica.

Nel caso del palo vincolato in testa ad una struttura che ne impedisce la rotazione (fondazione), Broms, identifica i meccanismi di rottura come indicati nella figure sottostanti e attraverso la risoluzione delle equazioni di equilibrio, fornisce le seguenti espressioni per il carico limite trasversale:

Terreni coesivi

Palo corto 
$$H_1 = 9 \cdot c_u \cdot d^2 \cdot \left( \frac{L}{d} - 1,5 \right)$$

Palo intermedio 
$$H_2 = -9 \cdot c_u \cdot d^2 \cdot \left( \frac{L}{d} - 1,5 \right) + 9 \cdot c_u \cdot d^2 \cdot \left( 2 \left( \frac{L}{d} \right) + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u \cdot d^3} + 4,5 \right)^{1/2}$$

Palo lungo 
$$H_3 = -13,5 \cdot c_u \cdot d^2 + c_u \cdot d^2 \cdot \left( 182,25 + 36 \frac{M_y}{c_u \cdot d^3} \right)^{1/2}$$

Terreni incoerenti

Palo corto 
$$H_1 = 1,5 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio 
$$H_2 = \frac{1}{2} \cdot k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo 
$$H_3 = k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \left[ \left( 3,676 \frac{M_y}{k_p \cdot \gamma \cdot d^4} \right)^2 \right]^{1/3}$$

Il carico limite trasversale (orizzontale) risulta:  $H_{lim} = \min\{H_1, H_2, H_3\}$



**RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI  
METALLICA LEGGERA**

COMMESSA

D14Z

LOTTO

02

CODIFICA

D22

DOCUMENTO

CLIF0100005

REV.

A

FOGLIO

65 di 101

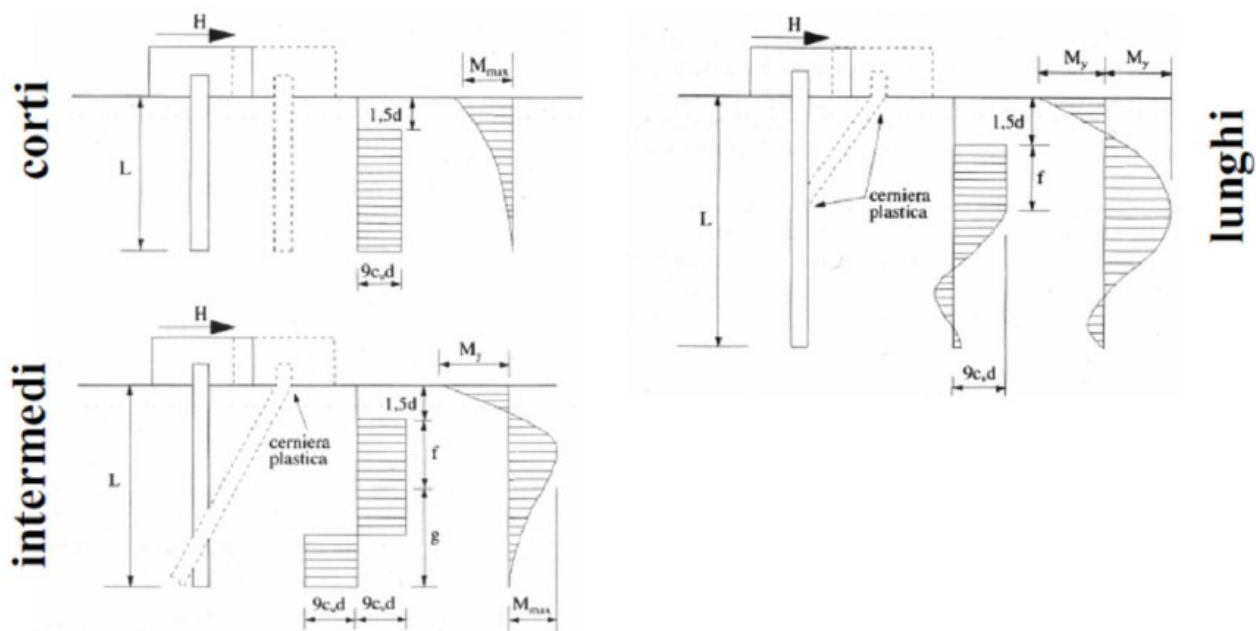


Figura 11: Carico limite trasversale: terreni coesivi

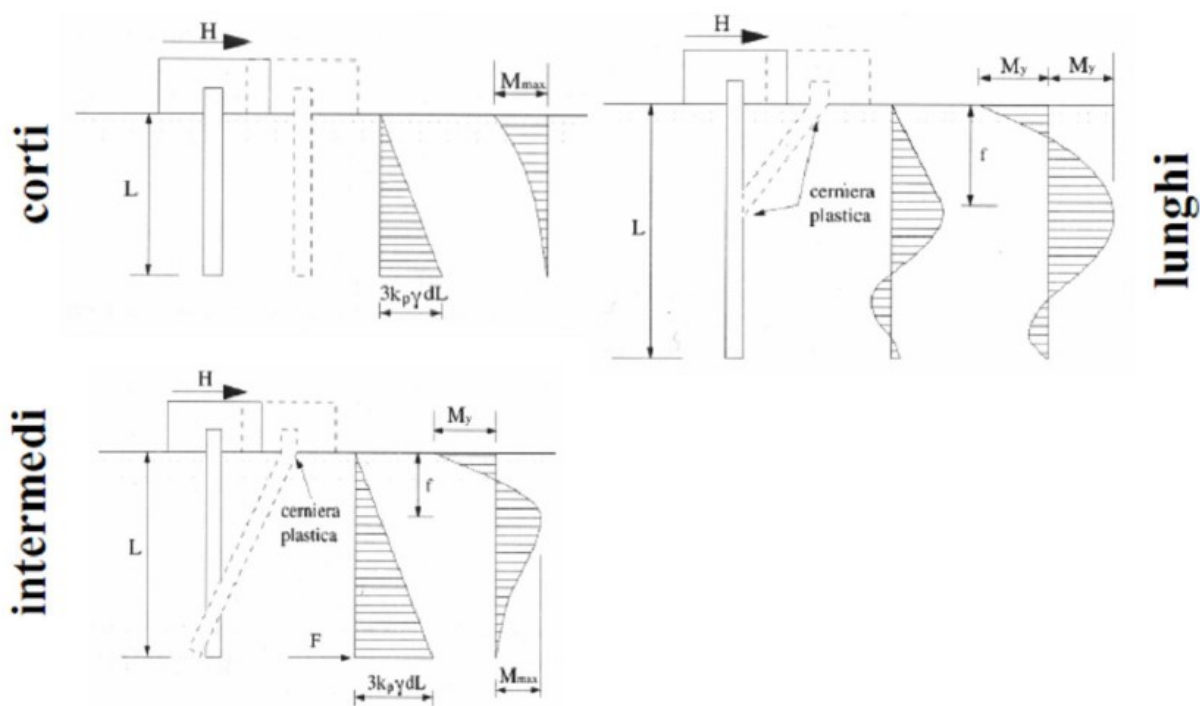


Figura 12: Carico limite trasversale: terreni incoerenti

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	66 di 101

### 8.3.1 ML 7 - Verifica alla portanza trasversale

Si esegue la verifica considerando lo strato di terreno in corrispondenza della testa del micropalo.

#### TERRENI COESIVI - ROTTURE NON DRENATE - PALI IMPEDITI DI RUOTARE IN TESTA

Caratteristiche terreno

A1-M1

$c_u$	76	KPa
$\gamma_{cu}$	1	M1
$c_u/\gamma_{cu}$	76	KPa

$L_{palo}$	9	m	Lunghezza del micropalo
$d_{palo}$	0.25	m	Diametro del micropalo

Tubo in acciaio

$\phi$	177.8	mm	Diametro tubo
$s$	10	mm	Spessore tubo
$f_{yk}$	275.0	MPa	Tensione di snervamento caratteristica
$f_{yd}$	261.9	MPa	Tensione di snervamento di progetto
$M_y$	73.83	kNm	Momento di plasticizzazione del palo

#### CALCOLO PORTANZA ORIZZONTALE

##### Portanze caratteristiche

$Q_k$  = Portanze di calcolo /  $\xi$

$\xi$ : fattore di correzione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

$\xi$  1.7 NTC2018 tab. 6.4.IV

##### Portanze di progetto

$H_d = H_k / \gamma_T$

per azioni statiche

$\gamma_T$  1.6 (R2) Approccio 1 - Comb 2: (A2+M1+**R2**)

$\gamma_T$  1 (R1) Approccio 1 - Comb 1: (A2+M1+**R1**)

per azioni sismiche

$\gamma_T$  1.3 (R3)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV.      FOGLIO A      67 di 101

	Portanza di calcolo H [kN]	Portanza caratteristica H <sub>k</sub> [kN]	Portanza di progetto Az. Statiche Comb2 H <sub>d</sub> [kN]	Portanza di progetto Az. Statiche Comb1 H <sub>d</sub> [kN]	Portanza di progetto Az. Sismiche H <sub>d</sub> [kN]
Palo corto	1474.88	867.57	542.23	867.57	667.4
Palo intermedio	715.05	420.62	262.89	420.62	323.6
Palo lungo	169.57	99.75	62.34	99.75	76.7
		H <sub>d,min</sub> =	<b>62.34</b>	<b>99.75</b>	<b>76.73</b>

### Verifiche

Azione Progetto <= Capacità Portante

FS = Capacità Portante / Azione Progetto >= 1

	V [kN]	FS		
Statico C2	27.34	<b>2.28</b>	>= 1	SI
Statico C1	31.54	<b>3.16</b>	>= 1	SI
Sismico	30.02	<b>2.56</b>	>= 1	SI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 68 di 101

### 8.3.2 ML 10 - Verifica alla portanza trasversale

Si esegue la verifica considerando lo strato di terreno in corrispondenza della testa del micropalo.

#### TERRENI COESIVI - ROTTURE NON DRENATE - PALI IMPEDITI DI RUOTARE IN TESTA

Caratteristiche terreno

A1-M1

$c_u$  76 KPa

$\gamma_{cu}$  1 M1

$c_u/\gamma_{cu}$  76 KPa

$L_{palo}$  11 m Lunghezza del micropalo

$d_{palo}$  0.25 m Diametro del micropalo

Tubo in acciaio

$\phi$  177.8 mm Diametro tubo

$s$  12.5 mm Spessore tubo

$f_{yk}$  275.0 MPa Tensione di snervamento caratteristica

$f_{yd}$  261.9 MPa Tensione di snervamento di progetto

$M_y$  89.62 kNm Momento di plasticizzazione del palo

#### CALCOLO PORTANZA ORIZZONTALE

##### Portanze caratteristiche

$Q_k$  = Portanze di calcolo /  $\xi$

$\xi$ : fattore di correzione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

$\xi$  1.7 NTC2018 tab. 6.4.IV

##### Portanze di progetto

$H_d = H_k / \gamma_T$

per azioni statiche

$\gamma_T$  1.6 (R2) Approccio 1 - Comb 2: (A2+M1+R2)

$\gamma_T$  1 (R1) Approccio 1 - Comb 1: (A2+M1+R1)

per azioni sismiche

$\gamma_T$  1.3 (R3)

**RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI  
METALLICA LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	69 di 101

	Portanza di calcolo H [kN]	Portanza caratteristica H <sub>k</sub> [kN]	Portanza di progetto Az. Statiche Comb2 H <sub>d</sub> [kN]	Portanza di progetto Az. Statiche Comb1 H <sub>d</sub> [kN]	Portanza di progetto Az. Sismiche H <sub>d</sub> [kN]
Palo corto	1816.88	1068.75	667.97	1068.75	822.1
Palo intermedio	856.30	503.70	314.82	503.70	387.5
Palo lungo	191.64	112.73	70.46	112.73	86.7
		H <sub>d,min</sub> =	<b>70.46</b>	<b>112.73</b>	<b>86.71</b>
		H <sub>d,min</sub> =	<b>70.46</b>	<b>112.73</b>	<b>86.71</b>

**Verifiche**

Azione Progetto <= Capacità Portante

FS = Capacità Portante / Azione Progetto >= 1

	V [kN]	FS		
Statico C2	33.09	<b>2.13</b>	>= 1	SI
Statico C1	38.18	<b>2.95</b>	>= 1	SI
Sismico	30.94	<b>2.80</b>	>= 1	SI

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 70 di 101

#### 8.4 ML 7 - Verifiche strutturali tubo micropali

Tubo in acciaio

$\phi$	177.8 mm	Diametro tubo
s	10 mm	Spessore tubo
$A_s$	5269 mm <sup>2</sup>	Area
$J_s$	18610379 mm <sup>4</sup>	Momento di inerzia
$W_s$	209341 mm <sup>3</sup>	Momento statico
$A_{s,t}$	2477 mm <sup>2</sup>	Area di taglio
$f_{yk}$	275.0 MPa	Tensione di snervamento caratteristica
$f_{yd}$	261.9 MPa	Tensione di snervamento di progetto
$E_s$	210000 MPa	Modulo elastico acciaio

Calcestruzzo

D	250 mm
$J_c$	191650391 mm <sup>4</sup>
$R_{ck}$	25 MPa
$E_c$	30200 MPa

$k_h$  0.010 N/mm<sup>3</sup>

$L_0$  1744.5 mm

$$L_0 = (4E_p J_p / K_h D)^{0.25}$$

Azioni di progetto - Verifiche

		$N_p$ [KN]	$V_p$ [KN]	$M_p = V_p \times L_0 / 2$ [kNm]	$\sigma = N/A + M/W$ [Mpa]	$\tau = V/A_t$ [Mpa]	$\sigma_{id}$ [Mpa]	$f_{yd}$ [Mpa]	
STR	Np+	420.08	31.54	27.5	211.2	12.7	212.3	< 261.9	VERIFICATO
STR	Np-	-286.62	31.54	27.5	185.8	12.7	187.1	< 261.9	VERIFICATO
STR	Vp+	420.08	31.54	27.5	211.2	12.7	212.3	< 261.9	VERIFICATO
STR	Vp-	-203.93	-31.54	-27.5	170.1	12.7	171.6	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Np+	192.85	30.02	26.2	161.7	12.1	163.1	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Np-	-88.15	30.02	26.2	141.8	12.1	143.4	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Vp+	192.85	30.02	26.2	161.7	12.1	163.1	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Vp-	-28.46	-30.02	-26.2	130.5	12.1	132.2	< 261.9	VERIFICATO

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 71 di 101

## 8.5 ML 10 - Verifiche strutturali tubo micropali

Tubo in acciaio

$\phi$	177.8 mm	Diametro tubo
s	12.5 mm	Spessore tubo
$A_s$	6488 mm <sup>2</sup>	Area
$J_s$	22286642 mm <sup>4</sup>	Momento di inerzia
$W_s$	250693 mm <sup>3</sup>	Momento statico
$A_{s,t}$	2999 mm <sup>2</sup>	Area di taglio
$f_{yk}$	275.0 MPa	Tensione di snervamento caratteristica
$f_{yd}$	261.9 MPa	Tensione di snervamento di progetto
$E_s$	210000 MPa	Modulo elastico acciaio

Calcestruzzo

D	250 mm
$J_c$	191650391 mm <sup>4</sup>
$R_{ck}$	25 MPa
$E_c$	30200 MPa

$k_h$  0.010 N/mm<sup>3</sup>

$L_0$  1744.5 mm

$$L_0 = (4E_p J_p / K_h D)^{0.25}$$

Azioni di progetto - Verifiche

		$N_p$ [KN]	$V_p$ [KN]	$M_p = V_p \times L_0 / 2$ [kNm]	$\sigma = N/A + M/W$ [Mpa]	$\tau = V/A_t$ [Mpa]	$\sigma_{id}$ [Mpa]	$f_{yd}$ [Mpa]	
STR	Np+	543.63	38.18	33.3	216.6	12.7	217.7	< 261.9	VERIFICATO
STR	Np-	-405.85	38.18	33.3	195.4	12.7	196.6	< 261.9	VERIFICATO
STR	Vp+	543.63	38.18	33.3	216.6	12.7	217.7	< 261.9	VERIFICATO
STR	Vp-	-320.29	-38.18	-33.3	182.2	12.7	183.5	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Np+	213.82	30.94	27.0	140.6	10.3	141.7	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Np-	-105.94	30.94	27.0	124.0	10.3	125.3	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Vp+	213.82	30.94	27.0	140.6	10.3	141.7	< 261.9	VERIFICATO
SISMA	Vp-	-43.05	-30.94	-27.0	114.3	10.3	115.7	< 261.9	VERIFICATO

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	72 di 101

## 8.6 ML 7 - Verifica di resistenza suola di fondazione

Si effettuano le seguenti verifiche della suola di fondazione:

Armatura longitudinale → Sezione trasversale verticale di dimensioni 150 x 80

Armature minime di normativa

Si procede al calcolo dell'area minima di acciaio prevista dalla normativa vigente (NTC'08):

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{cm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ e comunque non minore di } 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente:

$$A_{s,max} = 0,04 A_c$$

Quindi calcoliamo tali quantità:

$$A_{s,min}' = 0,26 \times 2,83/450 \times 1500 \times 750 = 1843 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min}'' = 0,0013 \times 1500 \times 750 = 1463 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 1843 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times 1500 \times 800 = 48000 \text{ mm}^2$$

Si dispone un'armatura superiore ed inferiore pari a:

$$10\emptyset 16 \quad 2011 \text{ mm}^2 = A_a \quad \text{superiori}$$

$$10\emptyset 16 \quad 2011 \text{ mm}^2 = A'a \quad \text{inferiori}$$

Dati della sezione

$$H = 80 \text{ cm} \quad B = 150 \text{ cm} \quad h' = 5 \text{ cm}$$



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 73 di 101

### 8.6.1 Verifiche allo SLU

Per la verifica della sezione trasversale si ricorre ad una modellazione in cui la fondazione viene schematizzata come una trave (*beam*) su più appoggi rappresentati dalle teste dei micropali; i medesimi appoggi vengono posti in modo eccentrico rispetto all'asse della fondazione utilizzando dei link rigidi che permettono di simulare l'effetto *rocking*; per determinare la sollecitazione flettente (che dimensiona le armature di forza della sezione trasversale) e quella tagliante (che dimensiona le staffe) si applica un carico uniformemente distribuito sulla travata (vedere figura); tale carico è stato determinato sommando i valori di sollecitazione agenti, in termini di sforzo normale, sui micropali interessati (n.2.67) diviso la lunghezza del tratto di fondazione considerata ( $L=2,0m$ ); nel caso di specie:

$$N_{pali} = 141.34 \text{ kN}$$

$$P = (N_{palo})/2m = 94.22 \text{ kN/ml}$$

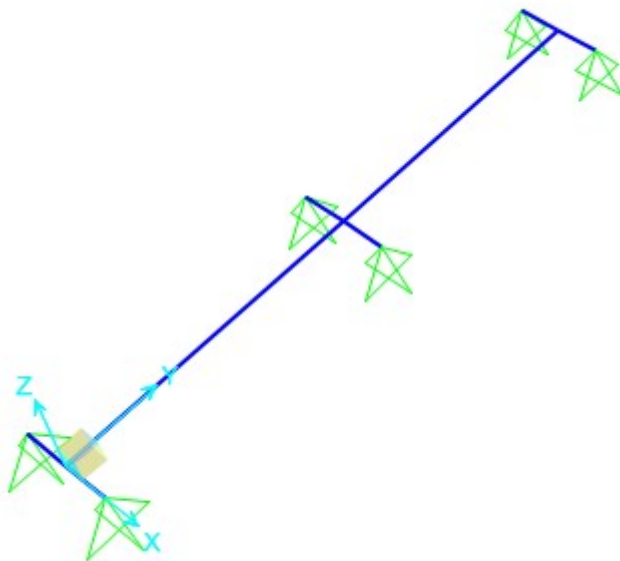


Figura 13: schematizzazione trave di fondazione

Il valore di  $N_{palo}$  considerato, tiene conto sia delle azioni verticali derivanti dal peso della barriera, e sia dalle azioni orizzontali derivanti dalle azioni del vento e dall'azione aerodinamica; ciò in quanto il medesimo valore è stato determinato a partire dalla combinazione delle azioni su descritte.

Quindi nonostante si tratti di una verifica a flessione semplice retta, si tiene implicitamente in conto anche dell'effetto delle azioni nel piano orizzontale (flessione deviata);

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	74 di 101

Diagrams for Frame Object 1 (150x80)

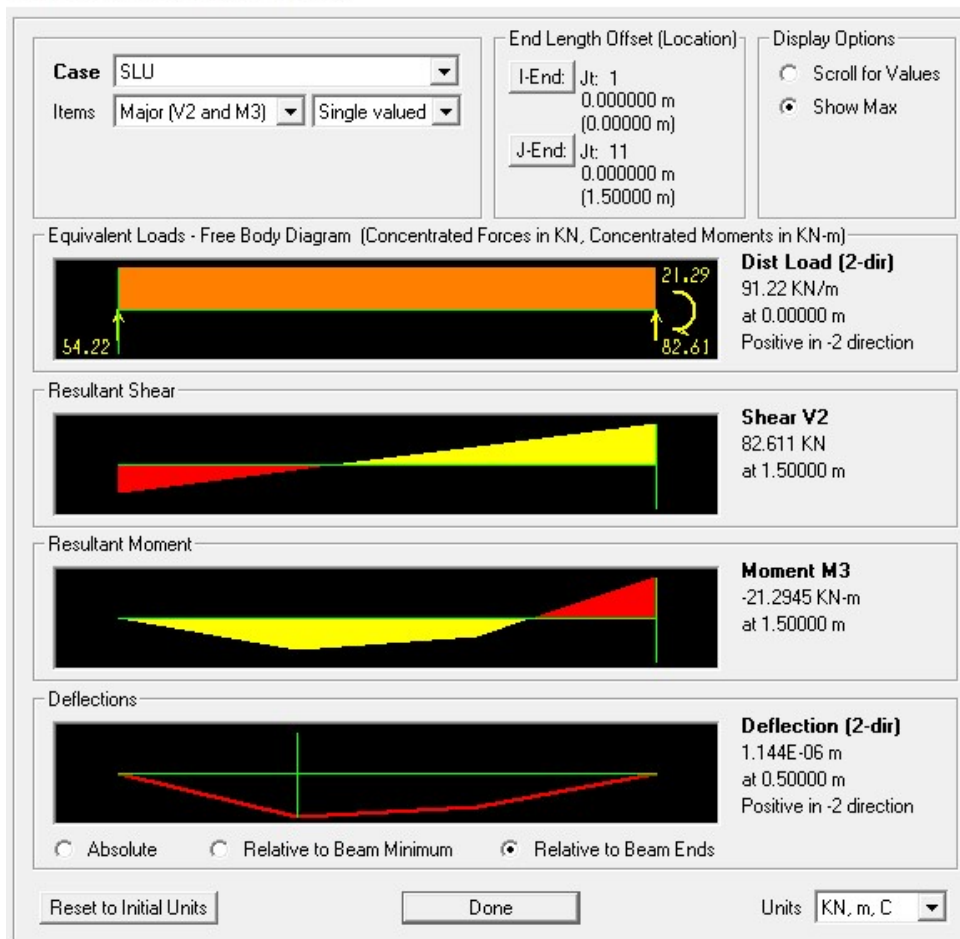


Figura 14: Sollecitazioni derivanti dal modello della fondazione

**RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI  
METALLICA LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	75 di 101

**Verifica a flessione**

Valori delle sollecitazioni:

$$M_{\max} = 21.3 \text{ kNm}$$

Armatura adottata:

10  $\phi$  16 sup

10  $\phi$  16 inf

**Titolo:** Suola Fondazione

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	150	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.11	5
2	20.11	75

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 21.3 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C28/35  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200,000 N/mm² f<sub>cd</sub> 15.87 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6667  
 τ<sub>c1</sub> 1.971

M<sub>xRd</sub> 578.2 kNm  
 σ<sub>c</sub> -15.87 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 53.13 ‰  
 d 75 cm  
 x 4.635 x/d 0.0618  
 ρ 0.7

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

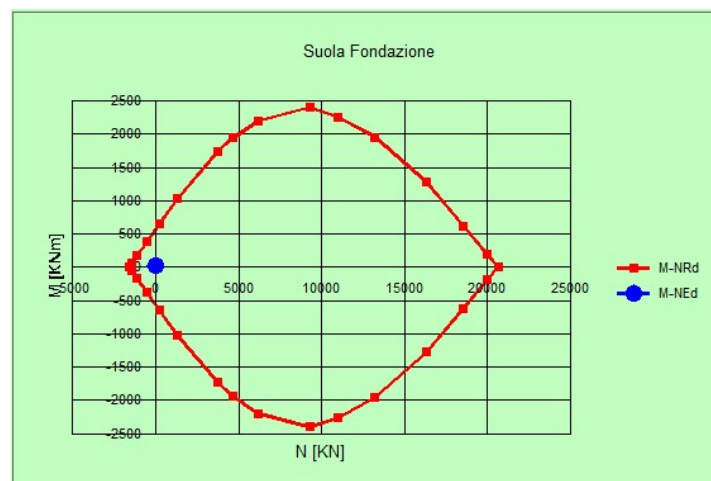


Figura 15: Verifica a flessione sezione fondazione

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	76 di 101

### Verifica a taglio

#### Sollecitazioni:

$V_{\max} = 83 \text{ kN}$       Taglio

#### Dati staffatura:

staffe  $\phi = 12 \text{ mm}$   
 numero di bracci  $n_{br} = 2$   
 passo  $s = 200 \text{ mm}$

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	12	[mm]
Numero di braccia	$n_b$	2	[-]
Passo delle staffe	$s$	200	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	226	[mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	$z$	675	[mm]
Cotangente di $\theta$	$\cot \theta$	1.00	[-]
		1.00	[-]
Cotangente di $\alpha$	$\cot \alpha$	0.00	[-]
Seno di $\alpha$	$\sin \alpha$	1.00	[-]
<b>Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)</b>	<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>298.72</b>	<b>[kN]</b>
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	8.23	[MPa]
<b>Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)</b>	<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>4166.86</b>	<b>[kN]</b>
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot \theta = 1$	$A_{sw, \max}$	3786.18	[mm]
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>298.72</b>	<b>[kN]</b>

$$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = z b f'_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot \theta^2)$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

$V_{Rd} > V_{\max}$       Verifica soddisfatta

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 77 di 101

### 8.6.2 Verifiche allo SLE

I valori di sollecitazione massimi per le combinazioni allo SLE sono le seguenti:

COMBINAZIONE RARA:

$$M = 16.3 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE:

$$M = 16.3 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE:

$$M = 16.3 \text{ kNm}$$

Al fine di assicurare la funzionalità e la durabilità delle strutture in c.a. è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni agenti ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Si distinguono i seguenti stati limite:

- a) Stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_t = f_{ctm} / 1,2$$

con:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,30 \cdot 29,05^{(2/3)} = 2.84 \text{ N/mm}^2$$

- b) Stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta il valore limite di apertura della fessura è pari ad uno dei seguenti valori:

$$W_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$W_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$W_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione dalla corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise secondo quanto riportato nella tabella seguente, estratta dalle NTC 2008:

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	78 di 101

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso di specie la condizione di riferimento è “aggressiva” propria di una classe di esposizione XC4.

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

- combinazione quasi permanente
- combinazione frequente

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Le armature sono classificate come “*armature poco sensibili*”.

#### stato limite di formazione delle fessure

Il valore di calcolo di apertura delle fessure  $W_K$  non deve superare i valori nominali  $W_1 = 0.2$  mm,  $W_2 = 0.3$  mm,  $W_3 = 0.4$  mm.

Il valore di calcolo è dato da:

$$W_K = 1.7 W_m$$

dove  $W_m$  rappresenta l’ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d’armatura  $\epsilon_{sm}$  per la media fra le fessure  $\Delta_m$ .

Per il calcolo delle grandezze descritte vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

Secondo la simbologia dell’EC2 l’ampiezza  $W_K$  vale:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 79 di 101

$$W_K = \beta S_{rm} \epsilon_{sm}$$

in cui:

$S_{rm}$ : interasse medio finale delle lesioni (fessurazione stabilizzata);

$\epsilon_{sm}$ : deformazione media delle barre di acciaio;

$\beta$ : coefficiente che trasforma l'ampiezza media delle lesioni nel valore di calcolo pari ad un valore compreso fra 1.30 ed 1.70 relativamente a spessori variabili fra 300 mm e 800 mm;

$\epsilon_{sm}$ : si calcola con la relazione:

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{ST} / \sigma_s)^2)$$

con:

$\sigma_s$ : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio);

$\sigma_{ST}$ : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio) considerando la condizione di carico che causa la prima fessurazione;

$\beta_1 = 1$  per barre ad aderenza migliorata;

$\beta_2$  coefficiente dipendente dalla durata del carico;

L'espressione di  $S_{rm}$  accolta dalla normativa italiana è la seguente:

$$S_{rm} = 2(c + s/10) + K_1 K_2 \phi / \rho_r$$

$c$ : copriferro

$s$ : interasse delle barre

$K_1$ : 0.40 (barre ad aderenza migliorata)

$K_2$ : 0.125 (flessione pura) – 0.25 (trazione pura)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 80 di 101

Il controllo dell'ampiezza delle lesioni consiste nell'accertare la validità della seguente disuguaglianza:

$$W_K < W_{lim}$$

in cui:

$W_K$ : è l'ampiezza di calcolo della lesione;

$W_{lim}$ : è il valore nominale limite dell'ampiezza dalla lesione che è specificato dalle norme in base alle condizioni ambientali;

### 8.6.3 Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = - 2.36 \text{ MPa.}$$

Comb. quasi permanente:  $\sigma_c = -0.1 \text{ MPa}$  (trazione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure:  
non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

Combinazione frequente:  $\sigma_c = -0.1 \text{ MPa}$  (trazione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure:  
non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

### 8.6.4 Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per la combinazione rara per cui deve risultare che:

$$\sigma_{c,max} < 0,6 \cdot f_{ck} = 17.43 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_{c,max} < 0,45 \cdot f_{ck} = 13.07 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha che:

$$M_{max} \text{ RARA:} \quad \sigma_c = 0.19 \text{ MPa}$$

$$M_{max} \text{ Q.PERM:} \quad \sigma_c = 0.19 \text{ MPa}$$



	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 81 di 101

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto  $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

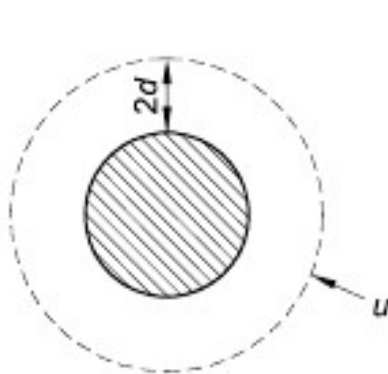
Inoltre per la combinazione rara deve risultare:

$$\sigma_{s,max} < 0,8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Risultando  $\sigma_{s,max} = 11.7 \text{ N/mm}^2$  la verifica risulta soddisfatta.

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 82 di 101

### 8.6.5 Verifica a punzonamento



altezza utile soletta in direzione y  $d_y = 750$  mm

altezza utile soletta in direzione z  $d_z = 750$  mm

altezza utile (effettiva) soletta:  $d \equiv d_{eff} = 0,5 \cdot (d_y + d_z) = 750$  mm

distanza 2d da are p rif. applic. forza:  $2d = 1500$  mm

perimetro di verifica di base:  $u_1 = 10205$  mm

### CALCOLO TAGLIO PUNZONAMENTO - UNI EN 1992-1-1:2005

(Par. 6.4.3 - "Calcolo del taglio-punzonamento")

$V_{Rd,c}$  è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra, priva di armature per il taglio punzonamento lungo la sezione di verifica considerata.

$V_{Rd,cs}$  è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra dotata di armature per il taglio punzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.

$V_{Rd,max}$  è il valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente lungo la sezione di verifica .

### VERIFICHE RACCOMANDATE

6.4.3 (2) - (a); (b); (c)

(b) L'armatura per il taglio-punzonamento non è necessaria se:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

(c) Se  $V_{Ed} > V_{Rd,c}$  per la sezione di verifica considerata, si raccomanda che sia disposta l'armatura per il taglio-punzonamento (determinando  $V_{Rd,cs}$ ), lungo la sezione di verifica considerata.

(a) lungo il perimetro del pilastro, o il perimetro dell'area caricata, si raccomanda che la massima tensione di taglio-punzonamento non sia superata:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

Tensione di punzonamento di progetto lungo il contorno del palo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 83 di 101

$$v_{ed} = \beta V_{ed} / (u_0 d)$$

$V_{ed}$	420.08	kN	
$u_0$	785	mm	Perimetro palo
$d$	750	mm	
$\beta$	1		
$v_{ed}$	0.71	MPa	

#### Massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento

$$V_{rd,max} = 0,5 f_{cd} v$$

$f_{cd}$	16.46	MPa	Rck350
$v$	0.5		
$V_{rd,max}$	4.12	MPa	

#### Verifica

$$v_{ed} = 0.71 \leq V_{rd,max} = 4.12$$

#### Tensione di punzonamento di progetto lungo il perimetro di verifica a distanza 2d

$$v_{ed} = \beta V_{ed} / (u_1 d)$$

$d$	750	mm
$u_1$	10205	mm
$v_{ed}$	0.05	MPa

#### Resistenza a punzonamento senza armatura a taglio-punzonamento

$$V_{rd,c} = C_{rd,c} * k * (100 * \rho_l f_{ck})^{1/3}$$

$C_{rd,c}=0,18/\gamma_c$	0.12	
$k=1+(200/d)^{1/2}$	1.52	
$\rho_l$	0.001088	< 0.02
$f_{ck}$	29.05	MPa
$V_{rd,c}$	0.27	MPa
$V_{rd,c} \text{ MIN} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$		
$V_{rd,c} \text{ MIN}$	0.35	MPa
$V_{rd,c}$	0.35	MPa

#### Verifica

$$v_{ed} = 0.05 \leq V_{rd,c} = 0.35$$

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	84 di 101

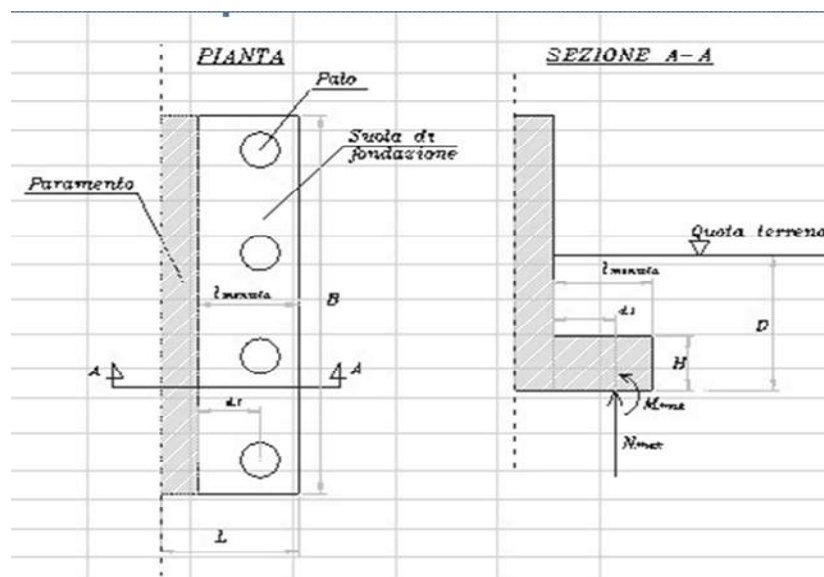
Essendo il valore di tensione di calcolo, indotto dalla reazione normale del palo, inferiore al valore di resistenza suggerito dall'Eurocodice, la verifica si ritiene soddisfatta, e non è necessaria armatura a punzonamento.

### 8.6.6 Verifica in direzione trasversale con meccanismo tirante puntone

Per la verifica in direzione trasversale si ricorre ad una sezione di larghezza unitaria 100x80cm; trattandosi di una fondazione tozza si ricorre al meccanismo di **tirante – puntone**.

Armature su entrambi i lembi:  $\phi 16/15$

#### Calcolo azioni



$L_{\text{mensola}}$	1 m	
$d_1$	0.75 m	distanza micropali dal setto
$i$	1.5 m	intersasse micropali

$N_p$	420.08 kN	$N_{\text{max}} \text{ pali}$
-------	-----------	-------------------------------

$M$	315.1 kNm	$= N_p \times d_1$
-----	-----------	--------------------

$T$	420.1 kN	$= N_p$
-----	----------	---------

A ml lineare di fondazione:

$M$	210.0 kNm/m
-----	-------------

$T$	280.1 kN/m
-----	------------

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 85 di 101

### Tirante-Puntone

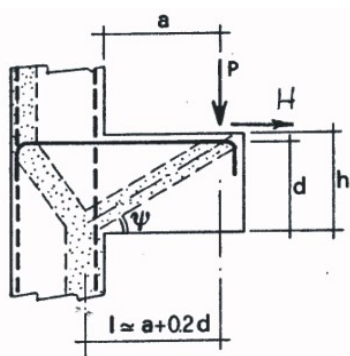


Figura 15: meccanismo di tirante-puntone

Le forze che entrano in gioco sono:

P	reazione vincolare del micropalo
H	azione tagliante orizzontale
$A_s \cdot f_{yd}$	forza resistenze di trazione
$R_s$	forza resistente risultante

Si verificano due meccanismi:

Resistenza dell'armatura a trazione (tirante)

$$R_s = [(A_s f_{yd} - H) \cdot 0,9d / L > P$$

Resistenza biella di calcestruzzo (puntone)

$$R_c = 0,4 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot c / (1 + \lambda^2) > R_s$$

P	420.08 kN	Reazione micropalo
H	31.5 kN	Azione tagliante orizzontale
Azioni a ml di fondazione		
P/ml	280.1 kN/m	
H/ml	21.0 kN/m	
$A_s$	1340 mm <sup>2</sup> /m	FI16/15
$f_{yd}$	391.3 MPa	
d	0.75 m	
a	0.75 m	
$l = a + 0.2d$	0.9 m	
$R_s$	393.2 kN/m	Resistenza tirante armatura = $(A_s \cdot f_{yd} - H) \cdot 0.9 \cdot d / L$
<b><math>R_s \geq P</math></b>	<b>OK</b>	<b>FS= 1.40</b>
$f_{cd}$	16.5 MPa	
$\lambda = L/d$	1.20	
b	1 m	
c	1.5	
$R_c$	3043.033 kN/m	Resistenza biella calcestruzzo = $0.4 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot c / (1 + \lambda^2)$
<b><math>R_c \geq R_s</math></b>	<b>OK</b>	<b>FS= 7.74</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 86 di 101

### 8.7 ML 10 - Verifica di resistenza suola di fondazione

Si effettuano le seguenti verifiche della suola di fondazione:

Armatura longitudinale → Sezione trasversale verticale di dimensioni 150 x 80

Armature minime di normativa

Si procede al calcolo dell'area minima di acciaio prevista dalla normativa vigente (NTC'08):

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{cm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ e comunque non minore di } 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente:

$$A_{s,max} = 0,04 A_c$$

Quindi calcoliamo tali quantità:

$$A_{s,min}' = 0,26 \times 2,83/450 \times 1500 \times 750 = 1843 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min}'' = 0,0013 \times 1500 \times 750 = 1463 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 1843 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times 1500 \times 800 = 48000 \text{ mm}^2$$

Si dispone un'armatura superiore ed inferiore pari a:

$$10\emptyset 16 \quad 2011 \text{ mm}^2 = A_a \quad \text{superiori}$$

$$10\emptyset 16 \quad 2011 \text{ mm}^2 = A'a \quad \text{inferiori}$$

Dati della sezione

$$H = 80 \text{ cm} \quad B = 150 \text{ cm} \quad h' = 5 \text{ cm}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 87 di 101

### 8.7.1 Verifiche allo SLU

Per la verifica della sezione trasversale si ricorre ad una modellazione in cui la fondazione viene schematizzata come una trave (*beam*) su più appoggi rappresentati dalle teste dei micropali; i medesimi appoggi vengono posti in modo eccentrico rispetto all'asse della fondazione utilizzando dei link rigidi che permettono di simulare l'effetto *rocking*; per determinare la sollecitazione flettente (che dimensiona le armature di forza della sezione trasversale) e quella tagliante (che dimensiona le staffe) si applica un carico uniformemente distribuito sulla travata (vedere figura); tale carico è stato determinato sommando i valori di sollecitazione agenti, in termini di sforzo normale, sui micropali interessati (n.2.67) diviso la lunghezza del tratto di fondazione considerata ( $L=2,0\text{m}$ ); nel caso di specie:

$$N_{\text{pali}} = 194.2 \text{ kN}$$

$$P = (N_{\text{palo}})/2\text{m} = 97.1 \text{ kN/ml}$$

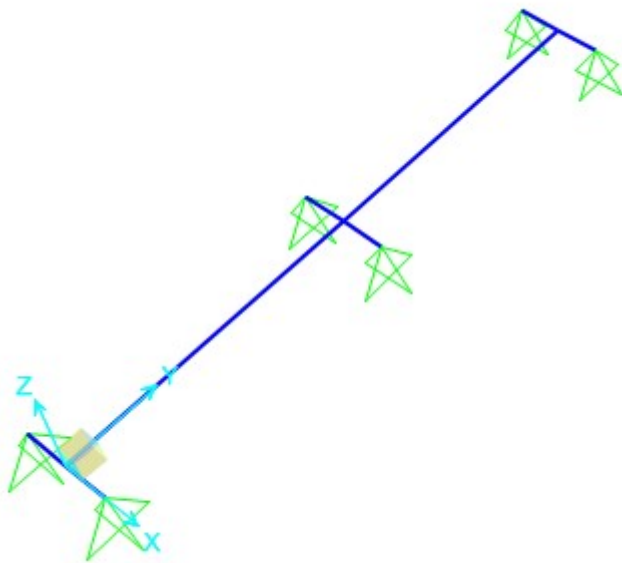


Figura 16: schematizzazione trave di fondazione

Il valore di  $N_{\text{palo}}$  considerato, tiene conto sia delle azioni verticali derivanti dal peso della barriera, e sia dalle azioni orizzontali derivanti dalle azioni del vento e dall'azione aerodinamica; ciò in quanto il medesimo valore è stato determinato a partire dalla combinazione delle azioni su descritte.

Quindi nonostante si tratti di una verifica a flessione semplice retta, si tiene implicitamente in conto anche dell'effetto delle azioni nel piano orizzontale (flessione deviata);

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	88 di 101

Diagrams for Frame Object 1 (150x80)

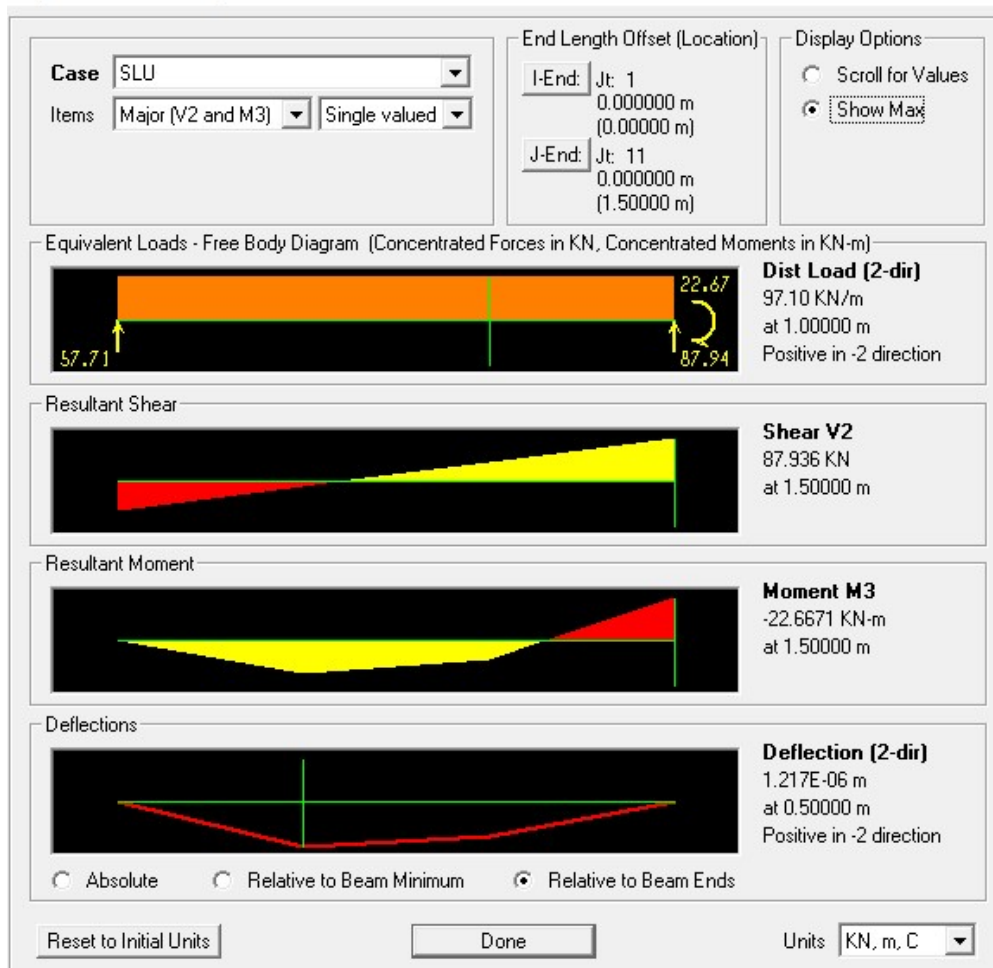


Figura 17: Sollecitazioni derivanti dal modello della fondazione



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b></p> <p>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</p>					
	<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b></p>					
<p>COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO</p> <p>D14Z 02 D22 CLIF0100005 A 89 di 101</p>						

### Verifica a flessione

Valori delle sollecitazioni:

$$M_{\max} = 22.7 \text{ kNm}$$

Armatura adottata:

10  $\phi$  16 sup

10  $\phi$  16 inf

**Titolo:** Suola Fondazione

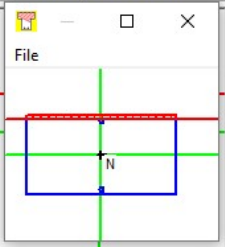
N° figure elementari  **Zoom** N° strati barre  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	150	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.11	5
2	20.11	75

**Tipo Sezione**

☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.



**Sollecitazioni**

S.L.U. **Metodo n**

N Ed  kN  
M xEd  kNm  
M yEd  kNm

**P.to applicazione N**

☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord. [cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

**B450C** **C28/35**

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   N/mm²  
 $E_s / E_c$    $f_{cc} / f_{cd}$   [?]  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   N/mm²  
 $\tau_{c1}$   N/mm²

**Metodo di calcolo**

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

☐ Precompresso

**Calcoli**

M<sub>xRd</sub>  kNm  
 $\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

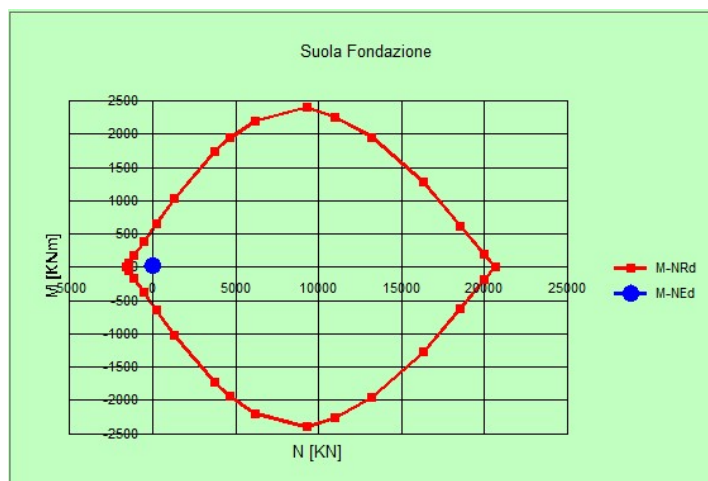


Figura 18: Verifica a flessione sezione fondazione

<div><div><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	90 di 101

### Verifica a taglio

#### Sollecitazioni:

$V_{\max} = 88 \text{ kN}$       Taglio

#### Dati staffatura:

staffe  $\phi = 12 \text{ mm}$   
 numero di bracci  $n_{br} = 2$   
 passo  $s = 200 \text{ mm}$

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	12	[mm]
Numero di braccia	$n_b$	2	[-]
Passo delle staffe	$s$	200	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	226	[mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	$z$	675	[mm]
Cotangente di $\theta$	$\cot \theta$	1.00	[-]
		1.00	[-]
Cotangente di $\alpha$	$\cot \alpha$	0.00	[-]
Seno di $\alpha$	$\sin \alpha$	1.00	[-]
<b>Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)</b>	<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>298.72</b>	<b>[kN]</b>
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	8.23	[MPa]
<b>Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)</b>	<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>4166.86</b>	<b>[kN]</b>
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot \theta = 1$	$A_{sw, \max}$	3786.18	[mm]
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>298.72</b>	<b>[kN]</b>

$$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = z b f'_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot \theta^2)$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

$V_{Rd} > V_{\max}$       Verifica soddisfatta

<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	91 di 101

### 8.7.2 Verifiche allo SLE

I valori di sollecitazione massimi per le combinazioni allo SLE sono le seguenti:

COMBINAZIONE RARA:

$$M = 16.8 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE:

$$M = 16.8 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE:

$$M = 16.8 \text{ kNm}$$

Al fine di assicurare la funzionalità e la durabilità delle strutture in c.a. è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni agenti ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Si distinguono i seguenti stati limite:

- c) Stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2$$

con:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,30 \cdot 29,05^{(2/3)} = 2.84 \text{ N/mm}^2$$

- d) Stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta il valore limite di apertura della fessura è pari ad uno dei seguenti valori:

$$W_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$W_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$W_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione dalla corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise secondo quanto riportato nella tabella seguente, estratta dalle NTC 2008:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 92 di 101

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso di specie la condizione di riferimento è “aggressiva” propria di una classe di esposizione XC4.

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

- combinazione quasi permanente
- combinazione frequente

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Le armature sono classificate come “*armature poco sensibili*”.

#### stato limite di formazione delle fessure

Il valore di calcolo di apertura delle fessure  $W_K$  non deve superare i valori nominali  $W_1 = 0.2$  mm,  $W_2 = 0.3$  mm,  $W_3 = 0.4$  mm.

Il valore di calcolo è dato da:

$$W_K = 1.7 W_m$$

dove  $W_m$  rappresenta l’ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d’armatura  $\epsilon_{sm}$  per la media fra le fessure  $\Delta_m$ .

Per il calcolo delle grandezze descritte vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

Secondo la simbologia dell’EC2 l’ampiezza  $W_K$  vale:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</p>					
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b></p>	<p>COMMESSA D14Z</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D22</p>	<p>DOCUMENTO CLIF0100005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 93 di 101</p>

$$W_K = \beta S_{rm} \epsilon_{sm}$$

in cui:

$S_{rm}$ : interasse medio finale delle lesioni (fessurazione stabilizzata);

$\epsilon_{sm}$ : deformazione media delle barre di acciaio;

$\beta$ : coefficiente che trasforma l'ampiezza media delle lesioni nel valore di calcolo pari ad un valore compreso fra 1.30 ed 1.70 relativamente a spessori variabili fra 300 mm e 800 mm;

$\epsilon_{sm}$ : si calcola con la relazione:

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{ST} / \sigma_s)^2)$$

con:

$\sigma_s$ : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio);

$\sigma_{ST}$ : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio) considerando la condizione di carico che causa la prima fessurazione;

$\beta_1 = 1$  per barre ad aderenza migliorata;

$\beta_2$  coefficiente dipendente dalla durata del carico;

L'espressione di  $S_{rm}$  accolta dalla normativa italiana è la seguente:

$$S_{rm} = 2(c + s/10) + K_1 K_2 \phi / \rho_r$$

c: copriferro

s: interasse delle barre

$K_1$ : 0.40 (barre ad aderenza migliorata)

$K_2$ : 0.125 (flessione pura) – 0.25 (trazione pura)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 94 di 101

Il controllo dell'ampiezza delle lesioni consiste nell'accertare la validità della seguente disuguaglianza:

$$W_K < W_{lim}$$

in cui:

$W_K$ : è l'ampiezza di calcolo della lesione;

$W_{lim}$ : è il valore nominale limite dell'ampiezza dalla lesione che è specificato dalle norme in base alle condizioni ambientali;

### 8.7.3 Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = - 2.36 \text{ MPa.}$$

Comb. quasi permanente:  $\sigma_c = -0.1 \text{ MPa}$  (trazione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure:  
non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

Combinazione frequente:  $\sigma_c = -0.1 \text{ MPa}$  (trazione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure:  
non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

### 8.7.4 Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per la combinazione rara per cui deve risultare che:

$$\sigma_{c,max} < 0,6 \cdot f_{ck} = 17.43 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_{c,max} < 0,45 \cdot f_{ck} = 13.07 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha che:

$$M_{max} \text{ RARA:} \quad \sigma_c = 0.19 \text{ MPa}$$

$$M_{max} \text{ Q.PERM:} \quad \sigma_c = 0.19 \text{ MPa}$$

	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> <b>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 95 di 101

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto  $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

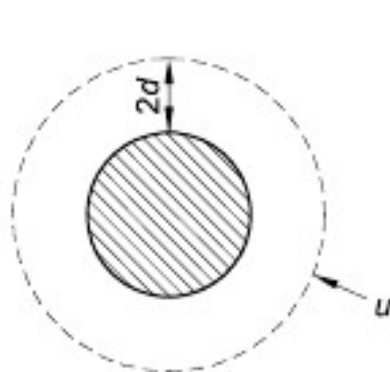
Inoltre per la combinazione rara deve risultare:

$$\sigma_{s,max} < 0,8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Risultando  $\sigma_{s,max} = 11.7 \text{ N/mm}^2$  la verifica risulta soddisfatta.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 96 di 101

### 8.7.5 Verifica a punzonamento



altezza utile soletta in direzione y  $d_y = 750$  mm

altezza utile soletta in direzione z  $d_z = 750$  mm

altezza utile (effettiva) soletta:  $d \equiv d_{eff} = 0,5 \cdot (d_y + d_z) = 750$  mm

distanza 2d da are p rif. applic. forza:  $2d = 1500$  mm

perimetro di verifica di base:  $u_1 = 10205$  mm

### CALCOLO TAGLIO PUNZONAMENTO - UNI EN 1992-1-1:2005

(Par. 6.4.3 - "Calcolo del taglio-punzonamento")

$V_{Rd,c}$  è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra, priva di armature per il taglio punzonamento lungo la sezione di verifica considerata.

$V_{Rd,cs}$  è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra dotata di armature per il taglio punzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.

$V_{Rd,max}$  è il valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente lungo la sezione di verifica .

### VERIFICHE RACCOMANDATE

6.4.3 (2) - (a); (b); (c)

(b) L'armatura per il taglio-punzonamento non è necessaria se:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

(c) Se  $V_{Ed} > V_{Rd,c}$  per la sezione di verifica considerata, si raccomanda che sia disposta l'armatura per il taglio-punzonamento (determinando  $V_{Rd,cs}$ ), lungo la sezione di verifica considerata.

(a) lungo il perimetro del pilastro, o il perimetro dell'area caricata, si raccomanda che la massima tensione di taglio-punzonamento non sia superata:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$



<div><div><b>ITALFERR</b></div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	97 di 101

#### Tensione di punzonamento di progetto lungo il contorno del palo

$$v_{ed} = \beta V_{ed} / (u_0 d)$$

$V_{ed}$	544	kN	
$u_0$	785	mm	Perimetro palo
$d$	750	mm	
$\beta$	1		
$v_{ed}$	0.92	MPa	

#### Massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento

$$V_{rd,max} = 0,5 f_{cd} v$$

$f_{cd}$	16.46	MPa	Rck350
$v$	0.5		
$V_{rd,max}$	4.12	MPa	

#### Verifica

$$v_{ed} = 0.92 \leq V_{rd,max} = 4.12$$

#### Tensione di punzonamento di progetto lungo il perimetro di verifica a distanza

##### 2d

$$v_{ed} = \beta V_{ed} / (u_1 d)$$

$d$	750	mm
$u_1$	10205	mm
$v_{ed}$	0.07	MPa

#### Resistenza a punzonamento senza armatura a taglio-punzonamento

$$V_{rd,c} = C_{rd,c} * k * (100 * \rho_l f_{ck})^{1/3}$$

$C_{rd,c}=0,18/\gamma_c$	0.12	
$k=1+(200/d)^{1/2}$	1.52	
$\rho_l$	0.001088	< 0.02
$f_{ck}$	29.05	MPa
$V_{rd,c}$	0.27	MPa
$V_{rd,c MIN} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$		
$V_{rd,c MIN}$	0.35	MPa
$V_{rd,c}$	0.35	MPa

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 98 di 101

Verifica

$$V_{ed} = 0.07 \leq V_{rd,c} = 0.35$$

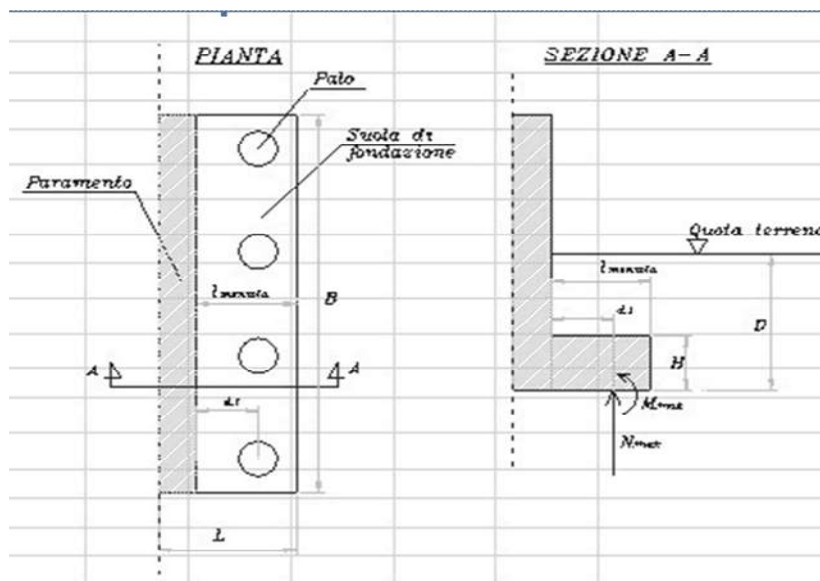
Essendo il valore di tensione di calcolo, indotto dalla reazione normale del palo, inferiore al valore di resistenza suggerito dall'Eurocodice, la verifica si ritiene soddisfatta e non è necessaria armatura a punzonamento.

### 8.7.6 Verifica in direzione trasversale con meccanismo tirante puntone

Per la verifica in direzione trasversale si ricorre ad una sezione di larghezza unitaria 100x80cm; trattandosi di una fondazione tozza si ricorre al meccanismo di **tirante – puntone**.

Armature su entrambi i lembi:  $\phi$  16/15

#### Calcolo azioni



$L_{\text{mensola}}$	1 m	
$d_1$	0.75 m	distanza micropali dal setto
$i$	1.5 m	intersasse micropali
$N_p$	544 kN	$N_{\text{max}} \text{ pali}$
$M$	408.0 kNm	$= N_p \times d_1$
$T$	544.0 kN	$= N_p$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI</b> <b>METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 99 di 101

A ml lineare di fondazione:

M 272.0 kNm/m

T 362.7 kN/m

### Tirante-Puntone

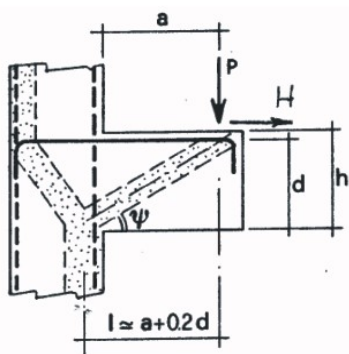


Figura 15: meccanismo di tirante-puntone

Le forze che entrano in gioco sono:

P reazione vincolare del micropalo

H azione tagliente orizzontale

$A_s \cdot f_{yd}$  forza resistenze di trazione

$R_s$  forza resistente risultante

Si verificano due meccanismi:

Resistenza dell'armatura a trazione (tirante)

$$R_s = [(A_s f_{yd} - H) \cdot 0,9d / L] > P$$

Resistenza biella di calcestruzzo (puntone)

$$R_c = 0,4 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot c / (1 + \lambda^2) > R_s$$

P 544 kN Reazione micropalo

H 38.2 kN Azione tagliente orizzontale

Azioni a ml di fondazione

P/ml 362.7 kN/m

H/ml 25.5 kN/m

$A_s$  1340 mm<sup>2</sup>/m FI16/15

$f_{yd}$  391.3 MPa

d 0.75 m

a 0.75 m

$l = a + 0.2d$  0.9 m

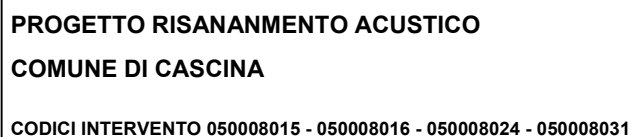
$R_s$  393.2 kN/m Resistenza tirante armatura =  $(A_s \cdot f_{yd} - H) \cdot 0.9 \cdot d / L$

**$R_s \geq P$  OK FS= 1.08**

$f_{cd}$  16.5 MPa

$\lambda = L/d$  1.20

b 1 m



COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100005	A	100 di 101

100

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</b> <b>COMUNE DI CASCINA</b> CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI METALLICA LEGGERA</b>	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100005	REV. A	FOGLIO 101 di 101

## 9. CONCLUSIONI

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura risulta rispondere a tutti i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza.

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo associata al confronto con verifiche di massima eseguite manualmente porta a confermare la validità dei risultati.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al § 9 del D.M. 17.01.2008.

Ai fini della verifica delle prestazioni il collaudatore farà riferimento ai valori di tensioni, deformazioni e spostamenti desumibili dalla presente relazione.

Dai calcoli eseguiti si determinano le seguenti caratteristiche dei micropali.

### 9.1 BARRIERA ML7

D = 25cm	diametro micropali
L = 11,0 m	lunghezza micropali
i = 1,50 m	interasse longitudinale
d = 1,00 m	interasse trasversale
tubolare 177.8x10 mm	armatura micropalo

### 9.2 BARRIERA ML10

D = 25cm	diametro micropali
L = 13,0 m	lunghezza micropali
i = 1,50 m	interasse longitudinale
d = 1,00 m	interasse trasversale
tubolare 177.8x12.5 mm	armatura micropalo