

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. Energia e impianti di trazione elettrica

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

LINEA DI CONTATTO

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

SCALA:

-

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

I N 1 M 1 1 D 1 8 C L L C 0 3 0 0 0 0 4 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	M. Colombo <i>M. Colombo</i>	Novembre 2021	A. Sperduto <i>A. Sperduto</i>	Novembre 2021	L. Barchi <i>L. Barchi</i>	Novembre 2021	G. Guidi Buffarini <i>G. Guidi Buffarini</i>

ITALFERR S.p.A.
U.O. Energia e Impianti
Ing. Guido Buffarini
Ordine Ingegneri Provincia di Brescia
n° 17872

File: IN1M00D18CLLC0103004A

n. Elab.: X



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	2 di 55


INDICE

1.	PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO	4
1.1	IPOTESI DI CALCOLO.....	4
1.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	4
1.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
1.4	PARAMETRI GEOTECNICI	7
1.5	DESCRIZIONE DEI MATERIALI.....	7
1.5.1	Opere in calcestruzzo armato.....	8
2	CALCOLO AZIONI SUI SOSTEGNI.....	10
2.1	PESO PROPRIO ELEMENTI STRUTTURALI	10
2.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI VERTICALI	10
2.3	SOVRACCARICHI PERMANENTI ORIZZONTALI	10
2.4	TABELLA PESI E TIRI SUI CONDUTTORI	10
2.5	SOVRACCARICHI VARIABILI	12
2.5.1	Azione del ghiaccio.....	13
2.5.2	Azione del vento.....	13
2.5.3	Vento trasversale (ai binari).....	15
1.1.1.1	Vento in assenza di ghiaccio	15
1.1.1.2	Vento in presenza di ghiaccio	17
2.5.4	Azione Sismica.....	17
2.5.4.1	Vita nominale	19
2.5.4.2	Classe d'uso	19
2.5.4.3	Azioni di Progetto	19
2.5.4.4	Amplificazione stratigrafica.....	22
2.5.4.5	Condizioni topografiche.....	22
2.5.4.6	Classe di duttilità	22
2.5.4.7	Regolarità	22
2.5.4.8	Tipologia strutturale e fattore di struttura	23
2.5.4.9	Spettri di risposta	24
1.1.1.3	2.5.4.11Calcolo coefficienti di spinta attiva e passiva in fase sismica	25
2.5.5	Azione Aerodinamica.....	26

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	3 di 55

2.6	CARICHI ECCEZIONALI	27
2.6.1	<i>Rottura dei conduttori</i>	27
2.6.2	<i>Sostituzione dei fili di contatto</i>	29
3	COMBINAZIONI DI CARICO	30
4	CRITERI DI VERIFICA DEI SOSTEGNI	33
4.1	VERIFICHE DI RESISTENZA DEL SOSTEGNO.....	33
4.2	VERIFICHE A TAGLIO	33
4.3	VERIFICHE A PRESSO-FLESSIONE RETTA (COMBINAZIONI STR-SISMA)	34
4.4	VERIFICHE DI STABILITÀ DEL PALO E DELLE TRALICCIATURE	34
4.5	CALCOLO DELLO STRAPIOMBO.....	40
5	CRITERI DI VERIFICA FONDAZIONI.....	41
5.1	VERIFICHE DI PORTANZA DELLA FONDAZIONE	41
5.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE.....	41
5.3	CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE.....	44
5.4	VERIFICA A RIBALTAMENTO (EQU-M2-R2).....	47
5.5	VERIFICA A SCORRIMENTO (APPROCCIO 2-A1-M1-R3)	49
5.6	VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI	50
5.6.1	<i>Limiti Normativi</i>	50
6	METODO DI CALCOLO	50
6.1	SCHEMA DI CARICO GENERALE.....	51
7	DESCRIZIONE SOSTEGNI.....	52
7.1	SOSTEGNO S84N	52
8	VERIFICA ARMATURE BLOCCHI DI FONDAZIONI	54
9	ALLEGATO.....	54
10	CONCLUSIONI.....	54

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	4 di 55

1. PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO

Nel presente documento sono riportati i calcoli di verifica del sostegno numero S84n e relativo blocco di fondazione dello scalo di Brescia, realizzato nella fase di realizzazione 2, impiegato in configurazioni di carico fuori standard (illustrato ai paragrafo 7 della presente relazione di calcolo) nell'ambito del progetto definitivo del potenziamento infrastrutturale dello Scalo di Brescia

1.1 Ipotesi di calcolo

I calcoli sono impostati prendendo come riferimento le condizioni di carico in base a quanto prescritto dalle norme in vigore e dalle specifiche tecniche:

In base a quanto prescritto nella norma EN 50119 i carichi saranno determinati in funzione delle seguenti condizioni:

- A1 = Temperatura di riferimento -20°C - senza ghiaccio e vento;
- A2 = Temperatura di riferimento +5°C - senza ghiaccio e vento;
- B = Temperatura di riferimento +5°C - senza ghiaccio e con vento;
- C = Temperatura di riferimento -5°C - con ghiaccio e senza vento;
- D = Temperatura di riferimento -5°C - con ghiaccio e 50% vento.

Per le verifica dei blocchi di fondazione, si farà riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 e circolare applicativa n.7 del 2019.

1.2 Normative di riferimento

Le opere contemplate dal presente progetto saranno conformi alla legislazione e alla normativa vigenti. Di seguito sono elencate le principali leggi e norme.

- **D.M. del 17 Gennaio 2018:** Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018);
- **Circolare 21/01/2018, N.7 C.S.LL.PP.** - "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- **CEI EN 50119:2010-05** - "Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Linee aeree di contatto per trazione elettrica";
- **RFI DMAIMTE SP IFS 006** - "Procedimento di calcolo di verifica dei pali della linea di contatto in stazione e di piena linea";
- **Norma Tecnica RFI TE 019:** "Fornitura di filo tondo e sagomato per le linee aeree di contatto";
- **Norma Tecnica RFI TE 025:** "Fornitura di corde di rame e lega di rame per le linee aeree di contatto";
- **Norma Tecnica RFI TE 118:** "Costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3 Kv";



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	5 di 55

- **Dis. E66013:** “Sostegni LSU”;
- **Dis. E64865:** “Tirafondi per sostegni LSU di piena linea allo scoperto e stazione”
- **Dis. E64866:** “Blocchi di fondazione e relative armature per sostegni tipo “LSU” di piena linea”
- **Standard costruttivi RFI** per le linee di trazione elettrica.
- **Capitolato Tecnico T.E. ed. 2014** “Capitolato tecnico per la costruzione delle linee aeree di contatto e di alimentazione a 3 kV cc”
- **Norma CEI - EN50119 Ed. 05/2010:** “Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane. Impianti fissi – Linee aeree di contatto per la trazione elettrica”;
- **Norma CEI – 11-4 Ed. 01/2011:** “Norme tecniche per la costruzione di linee elettriche aeree esterne”;
- **Norma CEI - EN50423-1 Ed. 07/2005:** “Linee elettriche a tensione maggiore di 1 kV fino a 45 kV – Parte 1: Prescrizioni Generali e Specifiche Comuni”
- **Norma CEI - EN50423-3 Ed. 07/2005:** “Linee elettriche a tensione maggiore di 1 kV fino a 45 kV – Parte 3: Raccolta degli aspetti normativi nazionali”
- **EC2:** Eurocodice 2: “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”;
- **Norma UNI EN 1993-1-1 (Eurocodice 3):** “Progettazione delle strutture di acciaio”;
- **Specifica Tecnica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A:** “ Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	6 di 55

1.3 Documenti di riferimento

I documenti elencati nella Tabella 1 - *Documenti di riferimento*



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	7 di 55

sono da considerarsi parti integrante della presente relazione di calcolo, ed hanno lo scopo di fornire un maggiore dettaglio nelle verifiche descritte.

Codice	Descrizione
IN1M00D18P8LC0100003A	Scalo Merci di Brescia-Piano di Elettrificazione Stato di fatto
IN1M00D18P8LC0100004A	Scalo Merci di Brescia-Piano di Elettrificazione Fase 1
IN1M00D18P8LC0100005A	Scalo Merci di Brescia-Piano di Elettrificazione Fase 2
IN1M00D18P8LC0100006A	Scalo Merci di Brescia-Piano di Elettrificazione Fase 3
IN1M00D18P8LC0100007A	Scalo Merci di Brescia-Piano di Elettrificazione Fase 4
IN1M00D18P8LC0100002A	Scalo Merci di Brescia-Planimetria Circuito di Terra e protezione fase Finale
IN1M00D18P8LC0100001A	Scalo Merci di Brescia-Piano di Elettrificazione fase Finale

Tabella 1 - Documenti di riferimento

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	8 di 55

1.4 Parametri Geotecnici



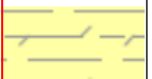


Di seguito si riportano i parametri geotecnici utilizzati per i calcoli di verifica considerando i parametri meccanici di seguito descritti:

Peso di volume naturale $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito terreno $\phi' = 33^\circ$

Coesione drenata $c' = 0$

Parametri geotecnici di progetto

Parametri	Rilevato esistente R	Unità aa-G(S)	Unità aa-A(L)	Unità fg-S(L)	Unità fg-A(L)
					
γ (kN/m ³)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
ϕ (°)	35	33	26	31	26
c' (kPa)	0	0	0	0	0
c_u (kPa)	-	-	100	-	75
E' (MPa)	30	40	15	75	15
k_w (MN/m ³)		8	3	15	3
k (m/s)	$k=10^{-5}$	$k=10^{-5} \div 10^{-4}$	$k=10^{-8} \div 10^{-7}$	$k=10^{-6} \div 10^{-5}$	$k=10^{-8} \div 10^{-7}$

L'altezza di falda assunta in progetto, riportata nel profilo geotecnico, è impostata a 118 m.s.l.m., quindi con profondità dal piano campagna di circa 12-15 m

1.5 Descrizione dei materiali

E' previsto l'utilizzo dei seguenti materiali dei quali di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche:

1.5.1 Opere in calcestruzzo armato

Per i calcestruzzi si fa riferimento alle normative UNI EN 206-1 (Specificazione, prestazione, produzione e conformità) e UNI 11104 (Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1).

- Struttura in fondazione

Classe di resistenza:	C25/30 (Rck300)
Classe di esposizione:	XC2
Resistenza caratteristica cubica:	Rck = 30 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica:	fck = 25 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica media:	fcm = fck + 8 = 33 N/mm ²
Resistenza media a trazione semplice:	fctm = 0.30 fck ^{2/3} = 2.56 N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione:	fcfm = 1.2 fctm = 3.08 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%):	fctk = 0.7 fctm = 1.79 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%):	fctk = 1.3 fctm = 3.33 N/mm ²

Modulo di elasticità longitudinale	Ecm = 22.000 [fcm/10] ^{0.3} = 31476 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν = 0.1
Coeff. espansione termica lineare	α = 10 x 10 ⁻⁶ per °C ⁻¹
Densità	ρ = 2500 kg/m ³

Coefficiente sicurezza SLU	γ _C = 1,50
Resistenza di calcolo a compressione SLU	fcd = 0,85 fck / γ _C = 14.17 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) SLU	fctd = 0.7 fctk / γ _C = 1.20 N/mm ²

Coefficiente sicurezza SLE	γ _C = 1,00
combinazione rara	σ _{c,ad} = 0,60 fck = 15.00 N/mm ²
combinazione quasi permanente	σ _{c,ad} = 0,45 fck = 11.25 N/mm ²



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	10 di 55

- Acciaio per calcestruzzo armato

Acciaio per calcestruzzo armato tipo B 450 C secondo DM 14.01.2018 avente le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} > 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} > 540 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$
Rapporto	$1,15 < (f_t/f_y)_k < 1,35$ (frattile 10%)
Rapporto	$(f_y/f_y, \text{nom})_k < 1,25$ (frattile 10%)
Allungamento	$(A_{gt})_k > 7,5\%$ (frattile 10%)

Coefficiente sicurezza SLU $\gamma_s = 1,15$

Resistenza di calcolo SLU $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,30 \text{ N/mm}^2$

Tensione di calcolo SLE $\sigma_{y,ad} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$

Le rispondenza dei materiali ai requisiti richiesti sarà valutata mediante le prescritte prove di accettazione.



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	11 di 55

2 CALCOLO AZIONI SUI SOSTEGNI

In quanto segue si riporta l'analisi dei carichi agenti sulle strutture in oggetto, tale analisi è svolta per determinare i valori da inserire sullo schema di calcolo del modello della struttura.

2.1 Peso proprio elementi strutturali

I pesi dei materiali utilizzati per le strutture portanti sono conformi alle NTC 2018 e alle specifiche tecniche RFI (vedi normative di riferimento).

2.2 Sovraccarichi permanenti verticali

Tali carichi sono costituiti dalle forze dovute al peso dei conduttori ormeggiati con relativa pendinatura, oltre al peso degli accessori di ormeggio ed i contrappesi per la regolazione del tiro nei fili di contatto.

2.3 Sovraccarichi permanenti orizzontali

Come azioni orizzontali longitudinali rispetto ai binari, si considerano i tiri delle condutture ormeggiate alle temperature di riferimento in accordo con la norma CEI EN 50119.

2.4 Tabella Pesi e Tiri sui conduttori

Di seguito si riporta la tabella dei pesi e dei tiri agenti sui conduttori che saranno impiegati per la realizzazione della L.d.C., per le condizioni di carico considerate, in accordo con il par. 6.3 della CEI EN 50119:

CONDIZIONE A1 (-20°)											
TIPO LINEA	N CP	S CP	P. LINEA	P CP	D CP	T CP	N FC	S FC	P FC	D FC	T FC
440CPR	2	120	4,078	1,07	0,014	1125	2	100	0,869	0,0118	1000
220CPF	1	120	2,139	1,07	0,014	1530	1	100	0,869	0,0118	750
320CPF	1	120	3,008	1,07	0,014	1954	2	100	0,869	0,0118	750
Corda di Terra	0	0	0,585	0	0	0	2	170	0,585	0,0159	800

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	12 di 55

CONDIZIONE A2 (+5°)

TIPO LINEA	N CP	S CP	P. LINEA	P CP	D CP	T CP (+5°)	N FC	S FC	P FC	D FC	T FC
440CPR	2	120	4,078	1,07	0,014	1125	2	100	0,869	0,0118	1000
220CPF	1	120	2,139	1,07	0,014	1180	1	100	0,869	0,0118	750
320CPF	1	120	3,008	1,07	0,014	1750	2	100	0,869	0,0118	750
Corda di Terra	0	0	0,585	0	0	0	2	170	0,585	0,0159	500

CONDIZIONE B (+5°)+VENTO

TIPO LINEA	N CP	S CP	P. LINEA	P CP	D CP	T CP	N FC	S FC	P FC	D FC	T FC
440CPR	2	120	4,078	1,07	0,014	1125	2	100	0,869	0,0118	1000
220CPF	1	120	2,139	1,07	0,014	1031	1	100	1,869	0,0118	750
320CPF	1	120	3,008	1,07	0,014	1750	2	100	0,869	0,0118	750
Corda di Terra	0	0	0,585	0	0	0	2	170	0,585	0,0159	700

CONDIZIONE C (-5°)+GHIACCIO

TIPO LINEA	N CP	S CP	P. LINEA	P CP	Deq CP	T CP	N FC	S FC	P FC	Deq FC	T FC
440CPR	2	120	6,878	1,77	0,0344	1125	2	100	1,569	0,0336	1000
220CPF	1	120	3,539	1,77	0,0344	1350	1	100	1,569	0,0336	750
320CPF	1	120	5,108	1,77	0,034442635	1450	2	100	1,569	0,0336	750
Corda di Terra	0	0	1,285	0	0	0	2	170	1,285	0,0357	800

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	13 di 55

CONDIZIONE D (-5°)+GHIACCIO+50%VENTO

TIPO LINEA	N CP	S CP	P. LINEA	P CP	D CP	T CP	N FC	S FC	P FC	D FC	T FC
	440CPR	2	120	6,878	1,77	0,0344	1125	2	100	1,569	0,0336
220CPF	1	120	3,539	1,77	0,0344	1450	1	100	1,569	0,0336	750
320CPF	1	120	5,108	1,77	0,0344	1750	2	100	1,569	0,0336	750
Corda di Terra	0	0	1,285	0	0	0	2	170	1,285	0,0357	800

Dove:

Ncp è il numero di corde portanti

Scp è la superficie delle corde portanti in mm²

P.linea è il peso della Linea di contatto (Corda Portante+Filo di contatto) in daN/m

P CP è il peso unitario della Corda Portante in daN/m

D CP è il diametro della Corda Portante in m

T CP è il tiro della Corda Portante in daN

N FC è il numero dei Fili di contatto

S FC è la superficie dei Fili di Contatto in mm²

P FC è il peso dei fili di contatto in daN/m

D FC è il diametro dei Fili di Contatto in m

T FC è il tiro dei Fili di Contatto in daN

2.5 Sovraccarichi variabili

Tra le azioni variabili rientrano le azioni accidentali dovute alla possibile manutenzione, le variazioni termiche, l'azione del ghiaccio, che viene considerato come un sovraccarico verticale agente sui conduttori, l'azione della neve e l'azione del vento, che viene considerato sia agente in direzione longitudinale (parallelo ai binari) che trasversale (ortogonale ai binari).

Di seguito si riportano i riferimenti normativi che hanno condotto all'analisi dei carichi inseriti nei calcoli.

	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	14 di 55

2.5.1 Azione del ghiaccio

Per quanto attiene ai carichi da ghiaccio sui conduttori, dal paragrafo 6.2.5 della normativa CEI EN 50119 risulta:

“I carichi del ghiaccio si determinano per accumulo dovuto a brina, deposito di neve/ghiaccio e neve bagnata sui conduttori delle linee aeree di contatto. I carichi caratteristici del ghiaccio g_{IK} dipendono dal clima e dalle condizioni locali, per es. dall’altitudine, dalla vicinanza di laghi e dall’esposizione al vento. Le definizioni per i carichi del ghiaccio sono date nella EN 50125-2. I carichi dovuti al ghiaccio devono essere fissati nella specifica dell’acquirente.

Qualora richiesto nella specifica dell’acquirente, deve essere considerato l’effetto del ghiaccio sulle strutture”.

Di conseguenza, prendendo in considerazione il paragrafo della norma CEI EN 50125-2, risulta:

“Ove applicabile il carico della neve e del ghiaccio deve essere considerato fino a +5° C.

I carichi del ghiaccio sui conduttori dovrebbero essere specificati come indicato nella Tabella seguente.

Classe Class	Carico del ghiaccio Iceload N/m
I 0 (nessun ghiaccio_ no ice)	0
I 1 (bassa_low)	3,5
I 2 (medio_medium)	7
I 3 (pesante_heavy)	15

Questi valori sono validi per conduttori con diametro usuale tra 10 mm e 20 mm”.

Considerando quindi, una classe media (I2), il carico a metro lineare del ghiaccio sui conduttori sarà pari a 7N/m.

2.5.2 Azione del vento

Dal paragrafo 6.2.4.2 della normativa CEI EN 50119 risulta:

La pressione dinamica del vento q_K misurata in N/m^2 agente sugli elementi di linea aerea di contatto deve essere determinata mediante la seguente formula:

$$q_K = \frac{1}{2} G_q \times G_f \times \rho \times V_R^2$$

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	15 di 55

dove

- G_q è il fattore di risposta alle raffiche di vento così come definito nella ENV 1991-2-4:1995. Per le linee aeree di contatto di altezza pari a circa 10 m, G_q deve essere 2,05;
- G_t è il fattore caratteristico del terreno che tiene in considerazione la protezione delle linee, Per esempio nelle trincee, negli attraversamenti delle città e delle foreste. Negli spazi aperti G_t deve essere 1,0; per i siti protetti i fattori G_t possono essere definiti nella specifica del cliente;
- VR è la velocità di riferimento del vento in m/s ad un'altezza di 10 m al di sopra del terreno, mediata su un intervallo di 10 minuti, con un periodo di ritorno in accordo con 6.2.4.1;
- ρ è la densità dell'aria, pari a 1,225 kg/m³ a 15 °C e 600 m di altitudine. La densità dell'aria per altri valori di temperatura ed altitudine può essere calcolata mediante l'equazione:

$$\rho = 1,225 \times \left(\frac{288}{T} \right) \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H}$$

dove

- T è la temperature assoluta in K;
- H è l'altitudine in m.

Di conseguenza, è stato preso come riferimento il DM 17/01/18 e la relativa Circolare Ministeriale del 2019 per il calcolo della velocità di riferimento del vento.

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500m$$

- $v_{b,0}$, a_0 , k_a sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame,
- a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione".

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA IN1M	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0103 004	REV. A	FOGLIO 16 di 55

Tabella 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Nel caso in esame siamo nella Regione Lombardia, $as = 135$ m e $vb=25$ m/s, la pressione dinamica del vento risulterà:

$$q_k = 0.5 \times 2.05 \times 1.0 \times 1.225 \times 25^2 = 785 \text{ N/m}^2 = 78.5 \text{ daN/m}^2$$

2.5.3 Vento trasversale (ai binari)

1.1.1.1 Vento in assenza di ghiaccio

La pressione del vento sui conduttori è regolamentata dalla Norma CEI EN 50119 (§6.2.4.3):

La pressione del vento sui conduttori determina forze trasversali alla direzione della linea. La forza agente su un sostegno per effetto dell'azione del vento sulle due campate adiacenti deve essere determinata mediante la formula:

$$Q_{WC} = q_K \times G_C \times d \times C_C \times \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos^2 \Phi$$

Dove:

- q_K è la pressione dinamica caratteristica del vento (fare riferimento a 6.2.4.2);
- G_C è il fattore di risposta strutturale dei conduttori che tiene in considerazione la risposta dei conduttori mobili al carico del vento. Il fattore G_C dovrebbe essere determinato sulla base dell'esperienza nazionale. Un valore ampiamente accettato sarebbe $G_C = 0,75$;
- d è il diametro del conduttore;
- C_C è il coefficiente di resistenza del conduttore. Si raccomanda il valore 1,0; altri valori possono essere forniti nella specifica del cliente;
- L_1, L_2 sono le lunghezze delle due campate adiacenti;

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	17 di 55

- Φ è l'angolo d'incidenza della direzione critica del vento rispetto alla perpendicolare al conduttore. In generale si assume Φ pari a zero.

Qualora conduttori doppi siano tesati parallelamente, può essere operata una riduzione del carico del vento sul conduttore sottovento, ammontando tale carico all'80% del carico relativo al conduttore sopravvento se il distanziamento tra gli assi dei due conduttori è inferiore a cinque volte il diametro.

Per il calcolo del vento agente sui sostegni (nel caso in esame i sostegni sono solo del tipo LSU) si farà riferimento al al par. 6.2.4.7 della CEI EN 50119. Che fornisce la seguente relazione:

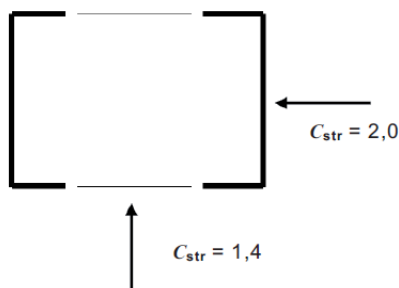
$$Q_{W\text{ str}} = q_K \times G_{\text{str}} \times C_{\text{str}} \times A_{\text{str}}$$

dove

- q_K è la pressione dinamica caratteristica del vento (fare riferimento a 6.2.4.2);
- G_k è il fattore di risonanza strutturale di una struttura. Valore tipico 1,0
- C_{str} è il coefficiente di resistenza dipendente dalla forma e dalla rugosità della superficie della struttura. I valori da utilizzare sono riportati nella tabella seguente. Nel caso in esame si prenderanno, rispettivamente, i valori 2,0 per il vento trasversale al binario e 1,4 per quello longitudinale

Tabella 13 – Valori raccomandati per il fattore C_{str} di diversi tipi di strutture

Tipo di struttura	C_{str}
Strutture tubolari in acciaio e calcestruzzo con sezione trasversale circolare	0,7
Strutture tubolari in acciaio con sezione trasversale dodecanale	0,85
Strutture tubolari in acciaio e calcestruzzo con sezione trasversale esagonale ed ottagonale	1,0
Strutture tubolari in acciaio e calcestruzzo con sezione trasversale quadrata o rettangolare	1,4
Profilato a doppia C con sezione trasversale quadrata o rettangolare	Vedi Fig. 4
Profilati ad H	1,4



- Astr è l'area proiettata della struttura.

1.1.1.2 Vento in presenza di ghiaccio

La presenza contemporanea dell'azione del vento e di quella del ghiaccio è regolamentata dalla Norma CEI 50119 (§6.2.6):

Qualora per il progetto degli impianti e delle strutture della linea aerea di contatto siano prese in considerazione le azioni combinate dei carichi del ghiaccio e del vento, si può assumere il 50% del carico del vento, conformemente a 6.2.4, come agente sulle strutture e sulle apparecchiature senza ghiaccio e sui conduttori coperti da ghiaccio in accordo con 6.2.5. Un valore alternativo può essere fissato nella specifica dell'acquirente. La forza peso unitaria ρ_i del ghiaccio può essere estratta da norme appropriate ed il coefficiente di resistenza aerodinamica può essere scelto pari a 1,0.

Se definito nella specifica dell'acquirente, si deve considerare un incremento del diametro dell'accumulo di ghiaccio. Il diametro equivalente D_1 in metri dell'accumulo di ghiaccio deve essere calcolato mediante la formula:

$$D_1 = \sqrt{d^2 + \frac{4 \times g_{IK}}{\pi \times \rho_1}}$$

dove

- d è il diametro del conduttore senza ghiaccio misurato in metri;
- g_{IK} è il carico caratteristico del ghiaccio misurato in N/m.

Per quanto concerne invece il carico sul sostegno, basterà dimezzare i carichi da vento trasversale.

2.5.4 **Azione Sismica**

I valori dei parametri ag , F_0 e TC^* , relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento, sono forniti nelle tabelle riportate in all [B] delle NTC18, in funzione di prefissati valori del periodo di ritorno TR .

L'accelerazione al sito ag è espressa in $g/10$, F_0 è adimensionale, TC^* è espresso in secondi.



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	19 di 55

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a latitudine e longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine.

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	20 di 55

2.5.4.1 Vita nominale

La vita nominale della struttura in questione, essendo questa una struttura provvisoria, è prevista in:

$$VN = 50 \text{ anni.}$$

2.5.4.2 Classe d'uso

La Classe d'Uso dei manufatti è prevista in:

Classe II:

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Per la struttura in questione si ha:

$$VR (\text{Periodo di Riferimento}) = VN (\text{Vita Nominale}) \times CU (\text{coefficiente d'uso})$$

Per $CU = 1$ abbiamo:

$$VR = VN \times CU = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$

2.5.4.3 Azioni di Progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC 18, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC 18 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le forme spettrali previste dalle NTC 18 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e da vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	21 di 55

A tal fine si utilizza come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, ovvero il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante la seguente espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
10,2283

LATITUDINE
45,5257

Ricerca per comune

REGIONE
Lombardia

PROVINCIA
Brescia

COMUNE
Brescia

Elaborazioni grafiche


Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

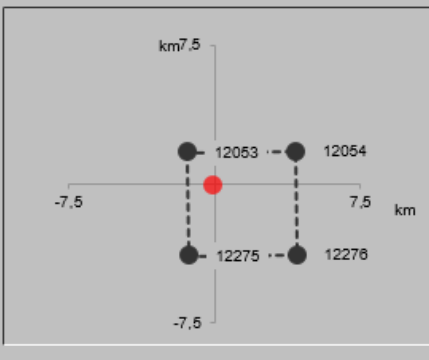
- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

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, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	22 di 55

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

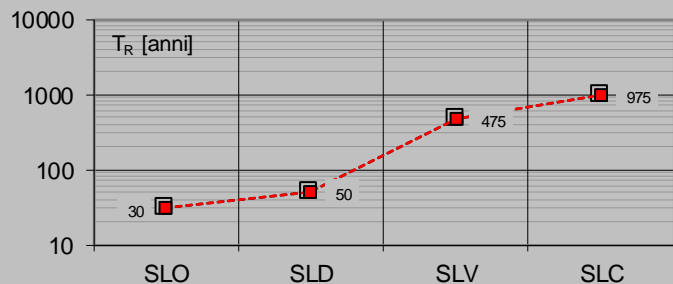
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	$\left\{ \begin{array}{l} \text{SLO} - P_{VR} = 81\% \\ \text{SLD} - P_{VR} = 63\% \end{array} \right.$	<input type="text" value="30"/>	info
		<input type="text" value="50"/>	info
Stati limite ultimi - SLU	$\left\{ \begin{array}{l} \text{SLV} - P_{VR} = 10\% \\ \text{SLC} - P_{VR} = 5\% \end{array} \right.$	<input type="text" value="475"/>	info
		<input type="text" value="975"/>	info

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Scelta della strategia di progettazione

Qualora la attuale pericolosità sismica sul reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e alla P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p (a_g , F_0 e TC^*) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right) \right]^{-1}$$

Di seguito si riportano i grafici ed i valori dei parametri a_g , F_0 e TC^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite.

SLATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo [-]	TC* [s]
SLO	30	0,041	2,478	0,213
SLD	50	0,054	2,458	0,234
SLV	475	0,149	2,430	0,275
SLC	975	0,194	2,442	0,282

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R

2.5.4.4 Amplificazione stratigrafica

Per la verifica delle opere è conveniente assumere la **Categoria di sottosuolo tipo "C"**:

2.5.4.5 Condizioni topografiche

Con riferimento alle caratteristiche della superficie topografica inerente l'opera in oggetto, si adotta:

Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

2.5.4.6 Classe di duttilità

La costruzione soggetta all'azione sismica, non dotata di appositi dispositivi dissipativi, è stata progettata considerando un comportamento strutturale dissipativo per il quale gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati tenendo conto delle non linearità di comportamento. Nello specifico:

Classe di duttilità CD: [B] bassa.

2.5.4.7 Regolarità

La struttura è rispondente a tutti i requisiti di regolarità in pianta ed in elevazione:



LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	24 di 55

Regolare in pianta no

Regolare in altezza no

2.5.4.8 Tipologia strutturale e fattore di struttura

“Nel caso di comportamento strutturale dissipativo, il valore del fattore di comportamento q , da utilizzare per lo stato limite considerato e nella direzione considerata per l’azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e tiene conto, convenzionalmente, delle capacità dissipative del materiale. Il limite superiore q_{lim} del fattore di comportamento relativo allo SLV è calcolato tramite la seguente espressione:

Dove

q_0 è il valore del fattore di comportamento allo SLV;

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione.

In favore di sicurezza si utilizza un fattore di comportamento $q=1$

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	25 di 55

2.5.4.9 Spettri di risposta

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato SLV ▼ info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo C ▼ info $S_s =$ 1,483 $C_c =$ 1,608 ▼ info
 Categoria topografica T1 ▼ info $h/H =$ 1,000 $S_T =$ 1,000 ▼ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) 5 $\eta =$ 1,000 ▼ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o 1 Regol. in altezza sì ▼ info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q 1 $\eta =$ 1,000 ▼ info

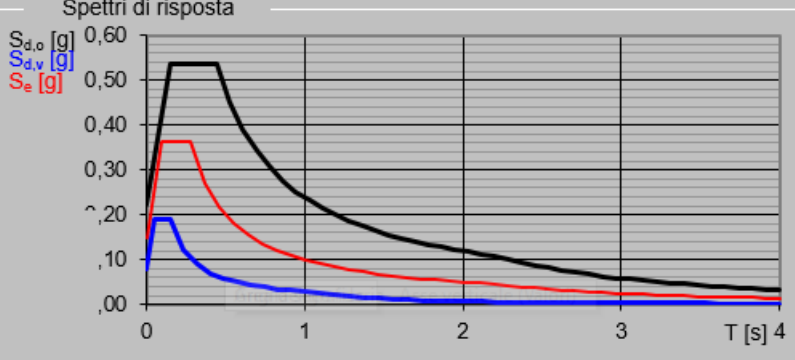
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ▶▶▶
 Parametri e punti spettri di risposta ▶▶▶

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

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

Spettri di risposta



$S_{d,o}$ [g] 0,60
 $S_{d,v}$ [g] 0,50
 S_e [g] 0,40
0,30
0,20
0,10
0,00

0 1 2 3 4
T [s]

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettro di progetto inelastico (slv)

Il valore di accelerazione al suolo di progetto risulta inferiore a quella indicata nel documento RFI E64864c e pertanto verrà considerata un'accelerazione al sostegno di progetto pari a 0.75/g e in fondazione di 0.30/g.



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	26 di 55

1.1.1.3 2.5.4.11 Calcolo coefficienti di spinta attiva e passiva in fase sismica

Il calcolo dei coefficienti di spinta attiva e passiva in fase sismica si determinano con la formulazione di Mononobe-Okabe

Muro di Sostegno - Spinta in fase Sismica (Mononobe-Okabe)

α (°c)	90
α (radian)	1,5708
β^* (°c)	0
β (radian)	0
δ (°c)	22
δ (radian)	0,383973
φ (°c)	33
φ (radian)	0,57596

Φ	0,168559	0,20226737
A_g^*/g	0,6	2*0,3 (vant. Sicurezza)
K_h	0,186	$\beta^* a_{max}/g$
β^*	0,31	tab 7,11,II
k_v	0,093	0,5*k _h

α [GSD] inclinazione del paramento interno del muro rispetto all'orizzontale (60-120)

β [GSD] angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, del terreno a monte del muro (0- ϕ)

ϕ [GSD] angolo di attrito del terreno (0-45)

δ [GSD] angolo di attrito tra terra e muro (0- ϕ)

δ/ϕ [-] rapporto tra angolo di attrito terra-muro e angolo di attrito del terreno (0-1)

k_h [-] coefficiente sismico orizzontale (0-0.5)

k_v [-] coefficiente sismico verticale (0-0.5)

I valori k_{ae} andranno utilizzati per calcolare le spinte attive tramite le relazioni:

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	27 di 55

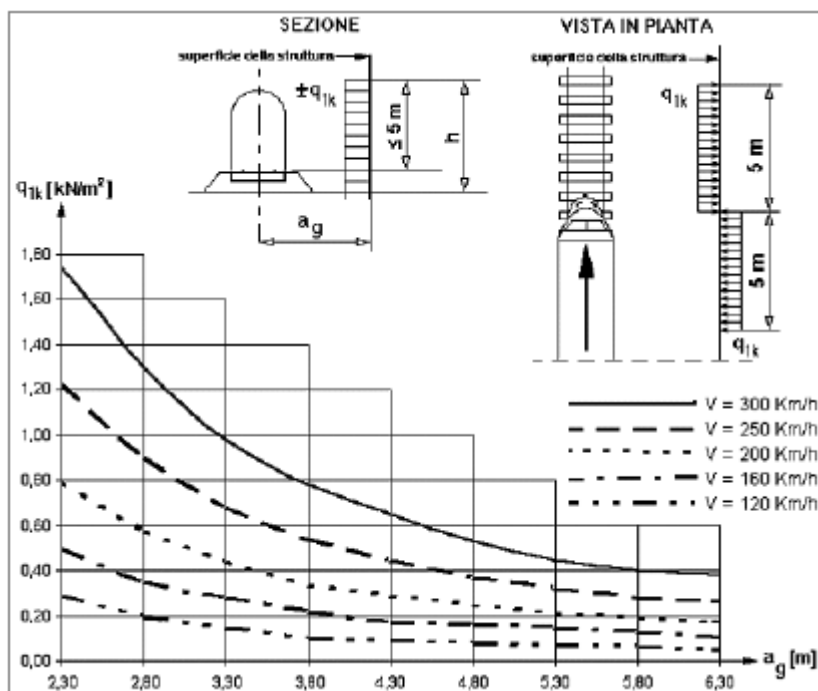
$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta - \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\sin(\alpha - \delta - \theta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$K_{PE} = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi + \theta)}{\cos \theta \sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta - \theta)}{\sin(\alpha + \delta + \theta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\theta = \arctan \frac{|k_h|}{1 \pm k_v}$$

2.5.5 Azione Aerodinamica

L'azione aerodinamica dovuta al passaggio dei rotabili lungo linea si è valutata in accordo alla specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A.



Valori caratteristici delle azioni q_{1k} per superfici parallele al binario



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	28 di 55

In accordo al documento RFI E64864c si è considerata la curva in figura di cui sopra relativa ad una velocità di 250 km/h con i seguenti coefficienti correttivi:

$k_1 = 1$ (per i casi di treni con forme aerodinamiche sfavorevoli);

$k_2 = 1.3$ (larghezza dei sostegni minore di 2.5 m).

$$q_{aer} = q_{1k} \times k_1 \times k_2$$

Tale azione viene applicata in direzione concorde con quella del vento sulla superficie del sostegno e sulle condutture che insistono fino a livello +5m da terra, considerando il binario più vicino al sostegno.

2.6 Carichi eccezionali

2.6.1 Rottura dei conduttori

Il carico indotto dalla rottura dei fili di contatto dei conduttori in servizio può indurre sullo strallo di punto fisso, un tiro equivalente al tiro dei fili di contatto relativi.

In particolare:

sul sostegno di asse punto fisso si genera un'azione trasversale pari a:

$F_{t,ecc} = n \cdot T_{fc} \cdot (C/2R \pm a/C)$; dove:

n = numero di fili di contatto;

T_{fc} = Tiro max dei fili di contatto (daN);

C = Campata gravante (m);

R = Raggio della curva (m);

a = Disassamento dello strallo p.f. (proiettato sulla mensola)

Inoltre sul palo di ormeggio dello strallo di punto fisso si genera un'azione trasversale e verticale (oppure longitudinale) con rispettivi momenti flettenti alla base di seguito descritti:



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	29 di 55

in direzione trasversale

$F_{t,ecc} = n \cdot T_{fc} \cdot (C1/2R \pm a/C1)$; dove:

n= numero di fili di contatto;

T_{fc}= Tiro max dei fili di contatto (daN);

C1= Campata di riferimento (m);

R= Raggio della curva (m);

a =Disassamento dello strallo p.f. (proiettato sulla mensola)

Nel caso di presenza del tirante a terra il tiro dei conduttori in direzione longitudinale viene assorbito dallo stesso tirante a terra, pertanto, sul sostegno agisce un carico verticale di entità pari a :

$F_{v, ecc} = n \cdot T_{fc} \cdot \tan \alpha + p_{cat}$. ; dove:

n= numero di fili di contatto;

T_{fc}= Tiro max dei fili di contatto (daN);

α= angolo del tirante a terra (°c);

p_{cat}= peso della catena di ormeggio (daN);

Nel caso di assenza di tirante a terra, sul sostegno agisce un'azione longitudinale:

in direzione longitudinale

$F_{l, ecc} = n \cdot T_{fc} \cdot \cos \alpha^*$; dove:

n= numero di fili di contatto;



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	30 di 55

T_{fc} = Tiro max dei fili di contatto (daN);

α^* = angolo che lo strallo di punto fisso forma con l'asse del binario ($^{\circ}$).

2.6.2 Sostituzione dei fili di contatto

Il carico prodotto dalla sostituzione dei fili di contatto può indurre sulle sospensioni e sugli ormeggi di Ra, un tiro equivalente al tiro di ulteriori fili di contatto relativi (per una fase provvisoria si potrebbe avere la presenza contemporanea di piu' coppie di fili di contatto).

In particolare:

sugli assi delle condutture si genera un'azione trasversale pari a:

$F_{t,ecc} = F_{t,fc}$ (e relativo momento flettente alla base) ;

un azione verticale pari a

$F_{z,fcecc} = P_{fc} * C$ (e relativo momento flettente alla base)

Inoltre sul palo di ormeggio di R.A. si genera un 'azione trasversale e verticale (oppure longitudinale) con rispettivi momenti flettenti alla base equivalenti a quelli dei fili di contatto definitivi.

Da notare che le combinazioni di calcolo STR7 , ovvero quelle in cui si considerano le azioni eccezionali vengono calcolate con i tiri max a -20° c.



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	31 di 55


3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico utilizzate nel calcolo dei sostegni e delle relative fondazioni sono quelle delle NTC 2018 e documento RFI E65073b, sia favorevoli che sfavorevoli per le verifiche strutturali e geotecniche, e di seguito elencate:

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA IN1M	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0103 004	REV. A	FOGLIO 33 di 55

Le verifiche saranno pertanto svolte utilizzando tutte le combinazioni sopra riportate e successivamente, individuando le combinazioni di carico peggiorative per ciascuna verifica effettuata, con:

- combinazione fondamentale con vento in direzione +x e/o +y;
- combinazione fondamentale con vento in direzione -x e/o +y;
- combinazione equilibrio con vento in direzione +x e/o +y;
- combinazione equilibrio con vento in direzione -x e/o +y;
- combinazione con carichi di esercizio e carichi eccezionali;
- combinazione sismica.

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	34 di 55

4 CRITERI DI VERIFICA DEI SOSTEGNI

I sostegni della presente relazione sono verificati in accordo con le prescrizioni della NTC2018 in base ai seguenti criteri.

4.1 Verifiche di Resistenza del sostegno

Per ciascun stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove Ed è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e Rd è il valore di progetto delle resistenze del sistema strutturale considerato.

4.2 Verifiche a Taglio

La verifica a taglio dei sostegni in oggetto della presente relazione viene eseguita in accordo al paragrafo 4.2.4.1.2.4 delle

NTC 2018.

Occorre verificare che:

$$V_{Ed} < V_{c,Rd} \quad \text{La risultante delle azioni di taglio sia inferiore alla resistenza a taglio di calcolo.}$$

dove:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \times f_{yk}}{\sqrt{3}\gamma_{ms}} \quad \text{Resistenza a taglio di calcolo (daN)}$$

$$A_v = A - 2btf + (tw + r)tf \quad \text{Area di Taglio per profilati a C (cm²)}$$


Dove:

b=larghezza delle ali;

tf=spessore delle ali;

tw=spessore dell'anima

E' possibile non considerare il contributo del taglio nella flessione se:

	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	35 di 55

$$V_{Ed} < 0.5V_{c,Rd}$$

4.3 Verifiche a Presso-Flessione Retta (Combinazioni STR-SISMA)

La verifica a presso-flessione biassiale (di resistenza) viene eseguita in accordo al paragrafo 4.2.4.1.2.8 delle NTC 2018.

Occorre, cautelativamente verificare che:

$$M_{x,Ed}/M_{N_{x,Ed}} + M_{y,Ed}/M_{N_{y,Ed}} \leq 1$$

La somma dei rapporti tra i momenti agenti nelle due direzioni di progetto e i momenti resistenti della sezione nelle due direzioni sia inferiore o uguale a 1.

In particolare:

1. Verifica di Resistenza			
descrizione	Simbolo	U.M.	Val/Rif. Normativo
Azione normale plastica di calcolo	$N_{pl,Rd}$	daN	$A f_{yk} / \gamma_{Ms} \times 10^{-1}$
limitazione piano x-x		daN	$0,25 \times N_{pl,Rd}$
limitazione piano x-x		daN	$0,5 h w t w f y / \gamma_{Ms} \times 10^{-1}$
limitazione piano y-y		daN	$h w t w f y / \gamma_{Ms} \times 10^{-1}$
Verifica combinazione			
piano x-x			No contributo azione normale
piano y-y			No contributo azione normale
Rapporto	n		$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$
Momento ridotto del contr. Sforzo normale dir. X	$M_{N_{x,Rd}}$	daNm	$W_{pl,x} f_{yk} / \gamma_{Ms}$
Momento ridotto del contr. Sforzo normale dir. Y	$M_{N_{y,Rd}}$	daNm	$W_{pl,y} f_{yk} / \gamma_{Ms}$
Verifica di resistenza		OK	$(M_{x,Ed} / M_{N_{x,Rd}}) + (M_{y,Ed} / M_{N_{y,Rd}}) \leq 1$

La verifica viene svolta considerando sia con la combinazione di carico massima str con vento in direzione +x, che con vento -x, sia con la massima combinazione sismica.

4.4 Verifiche di Stabilità del palo e delle tralicciature

Le verifiche di stabilità vengono eseguite in accordo al paragrafo 4.2.4.1.3 delle NTC 2018.

Occorre verificare che:

$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$ Il valore dello sforzo normale max di esercizio sia inferiore o uguale alla resistenza ad instabilità delle UPN e delle stesse tralicciature

Dove:

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	36 di 55

$N_{b,Rd} = \chi A_{eq} f_{yk} / \gamma_{m1}$ resistenza ad instabilità del sostegno (daN)

$\chi = 1 / \phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}$ coefficiente di riduzione per instabilità

$\phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$

α fattore di imperfezione (Tabella 4.2 VIII NTC 2018)

$\lambda = \sqrt{A_{eq} f_{yk} / N_{cr}}$ Snellezza adimensionale

$N_{cr} = \pi^2 E J_{eq} / L_0^2$ Carico critico Euleriano (daN)

$L_0 = \beta \times h_c$ Lunghezza libera di inflessione (m)

Le verifiche suddette si applicano ad entrambi gli assi principali x-x e y-y.

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	37 di 55

In particolare nelle schede di verifica ai paragrafi successivi troviamo:

2. Verifica di Stabilità					
2.1.1 Direzione x-x					
descrizione	Simbolo		U.M.	Formula/Rif. Normativo	
	β_x	2			
Lunghezza libera di inflessione	$L_{0,x}$		m	$\beta_x \times hc1$	
Carico critico euleriano	$N_{cr,x}$			$\pi^2 \times E \times Jt / L_{0,x}^2$	
Snellezza adimensionale	λ_x		-	$\sqrt{A \times f_{yk} / N_{cr,x}}$	
Fattore di imperfezione	α	0,49		Tab. 4.2.VIII NTC 2018	
				$0,5[1+\alpha(\lambda_x-0,2)+\lambda_x^2]$	
Coefficiente di riduzione per instabilità compressione	χ_X			$1/\Phi+\sqrt{\Phi^2-\lambda_x^2} \leq 1$	
2.1.2 Direzione y-y					
descrizione	Simbolo		U.M.	Formula/Rif. Normativo	
	β_y				
Lunghezza libera di inflessione	$L_{0,y}$		m	$\beta_z \times hc2$	
Carico critico euleriano	$N_{cr,y}$			$\pi^2 \times E \times Jt / L_{0,y}^2$	
Snellezza adimensionale	λ_y			$\sqrt{A \times f_{yk} / N_{cr,y}}$	
Fattore di imperfezione	α	0,49		Tab. 4.2.VIII NTC 2018	
	Φ	0,96		$0,5[1+\alpha(\lambda_y-0,2)+\lambda_y^2]$	
Coefficiente di riduzione per instabilità compressione	χ_Y			$1/\Phi+\sqrt{\Phi^2-\lambda_y^2} \leq 1$	



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	38 di 55

Altezza per calcolo lunghezza libera di inflessione	hc2		m		
---	-----	--	---	--	--

Per la verifica dei sostegni alla instabilità per presso-flessione deviata si è utilizzato il metodo B c4.2.4.1.3.3.2 della circolare N.7/2019, in quanto tiene in considerazione anche delle deformazioni torsionali ad essi indotte.

In particolare occorre verificare che:

descrizione	U.M.	ila/Rif. Normativo
primo termine		$(N_{ed} - P_{palo}) \times \gamma_{m1} / (\chi_x \times A \times f_{yk}) + P_{palo} \times \gamma_{m1} / (\chi_x \times A \times f_{yk})$
secondo termine		$k_{yy} \times M_{x,Ed} \times \gamma_{m1} / (\chi_{LT} \times W_x \times f_{yk})$
terzo termine		$k_{yz} \times M_{y,Ed} \times \gamma_{m1} / (\chi_{LT} \times W_y \times f_{yk})$
somma	≤	1 OK
primo termine		$(N_{ed} - P_{palo}) \times \gamma_{m1} / (\chi_y \times A \times f_{yk}) + P_{palo} \times \gamma_{m1} / (\chi_y \times A \times f_{yk})$
secondo termine		$k_{zy} \times M_{x,Ed} \times \gamma_{m1} / (\chi_{LT} \times W_x \times f_{yk})$
terzo termine		$k_{zz} \times M_{y,Ed} \times \gamma_{m1} / (\chi_{LT} \times W_y \times f_{yk})$
somma	≤	1 OK

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	39 di 55

I coefficienti K vengono calcolati secondo la tabella C4.2.V per sezioni di classe 1 e 2

Dove:

2.2 Coefficienti riduzione per instabilità a flessione deviata per elementi deformabili torsionalmente					
descrizione	Simbolo		U.M.	Formula/Rif. Normativo	
	λ_{LTO}	0,40			
	β	0,75			
Aliquota momenti flettenti di estremità	ψ	0,25			
	k_c	0,802		$1/(1,33-0,33\psi)$	
Coefficiente correttivo	α_{LT}	0,34		Tab. 4.2.IX NTC 2018	
Coefficiente che dipende dalle cond. di carico e vincoli	C_1	1,0		Valore unitario conservativo	
Coefficiente di lunghezza efficace	k	0,70			
Coefficiente di ingobbamento di un estremo	k_w	1,0		Valore unitario conservativo	
Distanza ritegni torsionali	L	5,12	m		
Momento critico elastico di instabilità flessio-torsionale	M_{cr}	45085,35	daNm	Appendice F ENV 1993-1-1	
Coefficiente di snellezza adimensionale	λ_{LT}	0,62		$\sqrt{W_y \times f_{yk} / M_{cr}}$	
	f	0,907		$1-0,5(1-k_c)[1-2,0(\lambda_{LT}-0,8)^2]$	
	Φ_{LT}	0,68		$0,5[1+\alpha_{LT}(\lambda_{LT}-\lambda_{LTO})+\beta \times \lambda_{LT}^2]$	
	χ_{LT}	1,00		$1/f \times 1/\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}$	
coefficiente di sicurezza	γ_{m1}	1,1			1,12
Coefficiente correttivo	α_{my}	0,7	$\geq 0,4$	tab. C4.2.VI Circ. n.7/2019	
Coefficiente correttivo	α_{mz}	0,7	$\geq 0,4$	tab. C4.2.VI Circ. n.7/2019	
Coefficiente correttivo	α_{mLT}	0,7	$\geq 0,4$	tab. C4.2.VI Circ. n.7/2019	
coefficiente di interazione	k_{yy}	0,825	\leq	0,795	NO



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	40 di 55

coefficiente di interazione	k _{yz}	0,463			
coefficiente di interazione	k _{zy}	0,908	≥	0,884	per λ _z ≥ 0,4
coefficiente di interazione	k _{zz}	0,772	≤	0,802	OK

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	41 di 55

considerando come momento critico la seguente espressione da appendice F ENV 1993 1-1

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5}$$

dove: $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

I_t è la costante di torsione;

I_w è la costante di ingobbamento;

I_z è il momento di inerzia attorno all'asse minore;

L è la lunghezza della trave fra i punti che hanno vincolo laterale.

4.5 Calcolo dello strapiombo

Lo strapiombo rappresenta la controfrecchia da applicare al sostegno in fase di posa . Viene espresso in mm/m e calcolato con i carichi alla base del sostegno della combinazione A2.

$$S_t = -f_0 / h_m \quad \text{Strapiombo (mm/m)}$$


Dove:

$$f_0 = (F \times h_m^3) / (3J_{eq} E) \quad \text{Freccia provocata dalla forza F (cm)}$$

$$F = (M_p + M_H) / h_m \quad \text{Forza applicate a quota mensola per calcolo strapiombo (daN)}$$

$$(M_p + M_H) \quad \text{Somma dei momenti da carichi permanenti verticali e orizzontali (daNm)}$$

$$h_m \quad \text{Quota di attacco della mensola}$$

	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	42 di 55

5 CRITERI DI VERIFICA FONDAZIONI

Le fondazioni oggetto della presente relazione sono verificate in accordo con le prescrizioni della NTC2018 in base ai seguenti criteri.

5.1 Verifiche di portanza della fondazione

Per ciascun stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e R_d è il valore di progetto delle resistenze del sistema geotecnico considerato. Il valore di progetto delle azioni può essere espresso come:

$$E_d = E \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

Ovvero:

$$E_d = \gamma_E E \left(F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

Dove $\gamma_E = \gamma_F$, F_k è il valore caratteristico delle azioni, X_k è il valore caratteristico dei parametri del terreno.


Il valore di progetto delle resistenze del sistema geotecnico può essere espresso come:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto del terreno X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = \gamma_E E_k$. Nella formulazione delle resistenze R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulle resistenze del sistema. La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

5.2 Verifiche agli Stati Limite

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza sono scelti nell'ambito di due approcci di analisi distinti e alternativi:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA IN1M	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0103 004	REV. A	FOGLIO 43 di 55

Approccio 1

Combinazione 1: (A1+M1+R1) – SLU (STR)

Combinazione 2: (A2+M2+R2) – SLU (GEO)

Approccio 2

Combinazione 1: (A1+M1+R3)

Le verifiche vengono effettuate tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I del D.M. 17/01/2018. In particolare di seguito vengono riportate le suddette tabelle.

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

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

Tabella 2 – Coefficienti parziali Azioni

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	44 di 55


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

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

Tabella 3 – Coefficienti parziali Parametri

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE		
	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

Tabella 4– Coefficienti parziali Resistenze

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA IN1M	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO LC0103 004	REV. A	FOGLIO 45 di 55

5.3 Capacità Portante Fondazione

La verifica della capacità portante del terreno di fondazione è svolta in accordo con le NTC2018.

La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra il carico verticale di esercizio in fondazione e il carico limite per il terreno. La stabilità della base della fondazione nei riguardi di un superamento della capacità portante viene assicurata applicando alla capacità portante ultima calcolata un fattore di sicurezza maggiore uguale a 2,3.

Per il calcolo della capacità portante si è adottato il metodo descritto in “Lancellotta- Geotecnica- Ed. Zanichelli .- 1993” basato sulle indicazioni teoriche di diversi autori (Terzaghi, Meyerof, Vesic e Brinch Hansen) che fornisce la seguente espressione generale per la valutazione della pressione limite di rottura del terreno:

$$q_{lim} = c' N_c D_c s_c + q_o' N_q D_q s_q + 0,5 \gamma A' N_\gamma D_\gamma s_\gamma$$

dove:

- γ = Peso di volume efficace del terreno di fondazione;
- c', ϕ' = Parametri di resistenza al taglio del terreno di fondazione in condizioni drenate;
- A' = Dimensione efficace della fondazione, funzione dell'eccentricità dei carichi;
- q_0' = Pressione efficace litostatica verticale al livello del piano di posa della fondazione;
- N_γ, N_c, N_q = Fattori di capacità portante funzione della resistenza al taglio;
- S_γ, S_c, S_q = Fattori di forma dipendenti dal rapporto fra le dimensioni dell'impronta della fondazione;
- D_γ, D_c, D_q = Fattori di profondità funzione del rapporto fra l'approfondimento del piano di posa e le dimensioni reali della fondazione;

Altri simboli utilizzati nelle verifiche:

- B = dimensione reale della fondazione longitudinale al binario;
- A = dimensione reale della fondazione trasversale al binario;
- A_{ef} = $B' \times A'$ = area efficace della fondazione;
- e_T = eccentricità del carico rapporto tra momento flettente e carico verticale in direzione trasversale al binario;



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	46 di 55

e_L = eccentricità del carico rapporto tra momento flettente e carico verticale in direzione longitudinale al binario;

La pressione ammissibile netta vale:

$$P_{amm} = (q_{lim} - q_0') / FS + q_0'$$

Le dimensioni efficaci della fondazione sono valutate tramite le seguenti espressioni (Meyeroff, 1953):

$$B' = B - 2e_r$$

$$A' = A - 2e_L$$

Per il calcolo dei fattori di capacità portante N_q e N_c si farà riferimento alle espressioni ricavate da Prandtl (1921) e da Reissner (1924). Per il fattore N_γ si fa riferimento all'espressione proposta da Caquot e Kérisel (1953):

$$N_q = \tan^2(\pi/4 + \phi'/2) e^{\pi \tan \phi'}$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Per i coefficienti di forma si adottano le seguenti espressioni:

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot (B'/A') \cdot K_p$$

$$K_p = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot (B'/A') \cdot K_p$$

$$s_q = s_\gamma$$



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	47 di 55

Per tener conto dell'approfondimento del piano di posa si adottano le seguenti espressioni:

$$d\gamma = 1$$

$$dq = 1 + 2 \cdot \tan\phi' \cdot (1 - \sin\phi')^2 \cdot k$$

$$dc = dq - (1 - dq) / (Nc \cdot \tan\phi')$$

essendo:

$$k = (Df / A) \quad \text{per } Df/A \leq 1$$

$$k = \tan^{-1}(Df / A) \quad \text{per } Df/A > 1$$

La forza verticale limite vale:

$$Fzlim = qlim \times Aef$$

Il fattore di sicurezza della capacità portante può essere espresso come:

$$FC = q_{lim} / [(NEd + Pb) / Aef]$$

Dove q_0 è la pressione litostatica verticale al livello del piano di posa della fondazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	48 di 55

5.4 Verifica a Ribaltamento (EQU-M2-R2)

La verifica è svolta secondo le prescrizioni della NTC 2018 e CEI EN 50119 par. 6.5.7, considerando tutte le combinazioni EQU-M2 (con riduzione tg angolo di attrito e coesione)

Per fondazioni caricate mediante sollecitazioni trasversali e longitudinali rispetto al binario si avrà:

$$M_{rib,T} = M_T + (T_T \times (C+C1) + MS_{a,T} + c_x * MS_{i,BI}(\text{solo caso sismico})) \quad (\text{momento ribaltante trasversale})$$

$$M_{rib,L} = M_L + (T_L \times (C+C1) + MS_{a,L} + c_y * MS_{i,BI}(\text{solo caso sismico})) \quad (\text{momento ribaltante longitudinale})$$

$$M_{res,T} = [N_{ed} \times A_2 + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) \times 0.9 + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times A_2 \times 0.9 + M_{sp,T} [N_{ed} \times (A-A_2) + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) \times 0.9 + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times (A-A_2) \times 0.9 + M_{sp,T} * \text{ContrTerreno} \quad (\text{momento stabilizzante trasversale nel caso di Momento ribaltante totale positivo})$$

$$M_{res,T} = [N_{ed} \times A_2 + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times A_2 + M_{sp,T} [N_{ed} \times (A-A_2) + (A_x B_x C_x g_{cls})] \times (A/2) \times 0.9 + ((A_1 \times B_1 \times C_1 \times g_{cls})) \times (A-A_2) \times 0.9 + M_{sp,T} * \text{ContrTerreno} \quad (\text{momento stabilizzante trasversale nel caso di Momento ribaltante totale negativo})$$

$$M_{res,L} = (N_{Ed} + P_b + \gamma \times C_1 \times A \times B) \times B/2 + M_{sp,L} \quad (\text{momento stabilizzante longitudinale})$$

$$S_{p,T} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times B \quad (\text{da non considerare nel lato opposto al binario})$$

$$S_{p,T} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times B \times (1-k_v) \quad (\text{da non considerare nel lato opposto al binario nel caso sismico})$$

$$S_{p,L} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times A$$

$$S_{p,L} = \frac{1}{2} \times k_p \times \gamma \times (C+C1)^2 \times A \times (1+k_v) \quad (\text{nel caso sismico})$$

$$S_{i,BI} = P_{bl} \times K_h \quad (\text{nel caso sismico})$$

$$(K_p = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')) \quad (\text{coefficiente di spinta passiva})$$

$$M_{sp,T} = (C+C1)/3 \times S_{p,T} \quad (\text{momento dovuto alla spinta passiva in direzione trasversale})$$

$$M_{sp,L} = (C+C1)/3 \times S_{p,L} \quad (\text{momento dovuto alla spinta passiva in direzione longitudinale})$$

$$M_{si,BL} = (C+C1)/2 \times S_{i,BI} \quad (\text{momento dovuto alla massa inerziale nel caso sismico})$$

dove:

N_{Ed} = carico verticale totale agente alla base del blocco [kN]

P_b = peso del blocco di fondazione

A = lato inferiore fondazione direzione trasv. al binario [m]

B = lato inferiore fondazione direzione long. al binario [m]

C = Altezza lato opposto al binario del blocco di fondazione [m]

A_1 = lato superiore fondazione direzione trasv. al binario [m]

B_1 = lato superiore fondazione direzione long. al binario [m]

C_1 = Differenza Altezza del blocco di fondazione- ($C_{tot}-C$) [m]

C_{tot} = Altezza totale lato binario del blocco di fondazione [m]

K_h = coefficiente sismico orizzontale

K_v = coefficiente sismico verticale

c_x = coefficiente amplificazione dei carichi sismici in direzione trasversale

c_y = coefficiente amplificazione dei carichi sismici in direzione longitudinale

T_T = azione di taglio trasversale agente nel punto di incastro del palo [kN]

T_L = azione di taglio longitudinale agente nel punto di incastro del palo [kN]

γ = peso di unità di volume del terreno di fondazione

ϕ' = angolo di attrito del terreno

La verifica è soddisfatta se:

$$M_{rib,T} / (M_{res,T}) + M_{rib,L} / (M_{res,L}) \leq 1 \text{ (formula 15 della CEI EN 50119)}$$



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	50 di 55

5.5 Verifica a Scorrimento (approccio 2-A1-M1-R3)

Per la verifica a scorrimento del blocco lungo il piano di fondazione deve risultare, che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa, che tendono a fare scorrere la fondazione, deve essere minore di tutte le forze parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. In particolare, la Normativa, richiede che il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scorrimento F_R e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s sia:

$$FR / F_s \geq R3 = 1,1 \text{ per l'approccio 2}$$

Con F_s , somma delle componenti della spinta parallela al piano di posa (taglio massimo), e con FR , la forza resistente.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione, NEd e P_b sono rispettivamente il carico totale di calcolo agente sul blocco e il peso del blocco stesso, indicando con " δ " l'angolo d'attrito fondazione si avrà:

$$Fr = (NEd + P_b) \times \tan \delta$$

Si assume un valore di " δ " pari a 2/3 dell'angolo d'attrito del terreno.



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	51 di 55

5.6 Verifica elementi strutturali

Di seguito si riportano i criteri di verifica delle armature per le fondazioni considerate.

5.6.1 Limiti Normativi

L'armatura longitudinale non deve essere inferiore allo 0.2% della sezione (p.to 7.2.5 NTC2018).

6 METODO DI CALCOLO

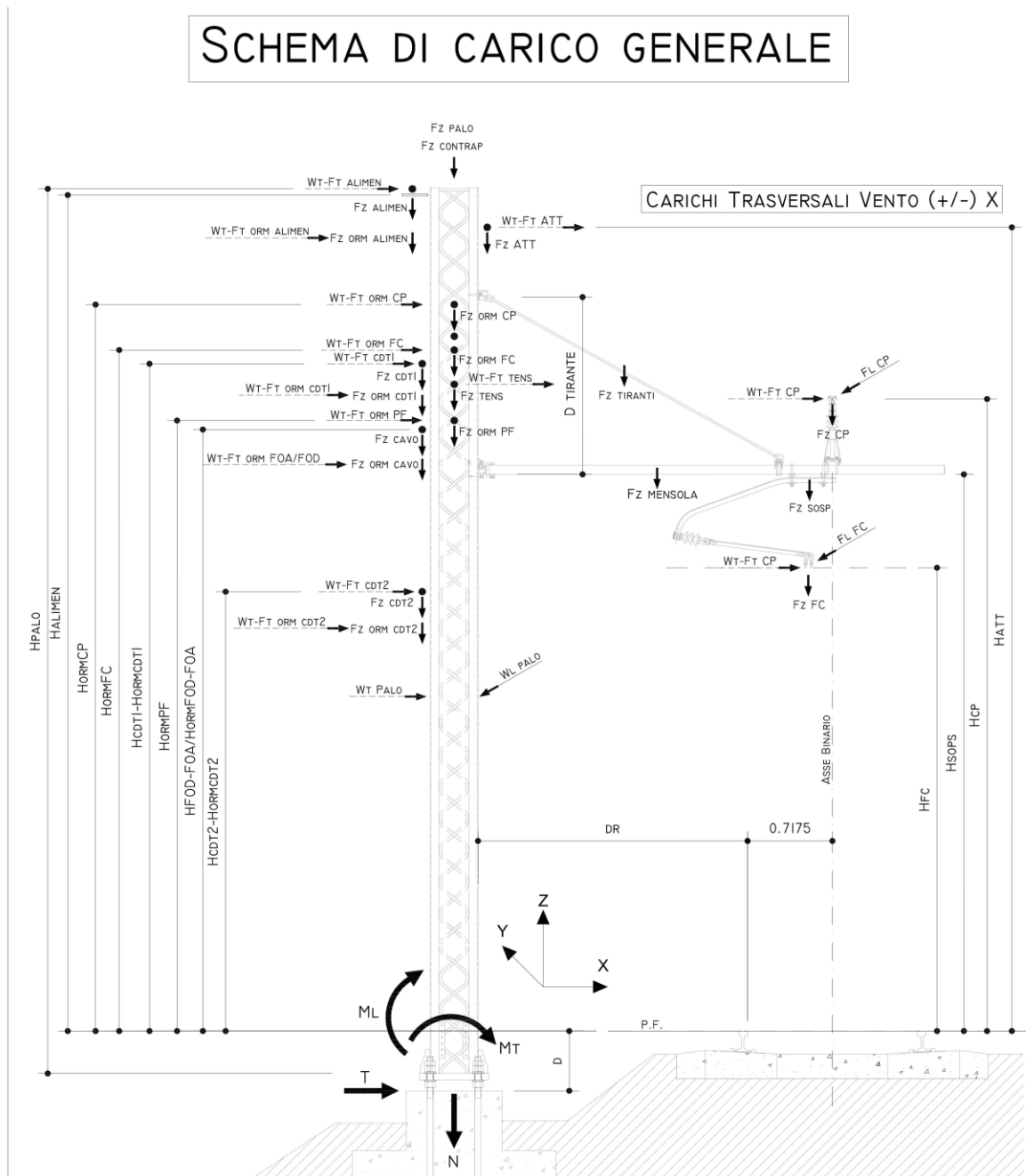
Tutti i calcoli saranno svolti con dei fogli sviluppati in Excel che rispettano tutte le prescrizioni e la metodologia di calcolo descritte nei paragrafi precedenti.

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	52 di 55

6.1 Schema di carico Generale

Di seguito viene illustrato lo schema di carico generale dove sono riportate le denominazioni delle forze e momenti utilizzati nelle schede di calcolo dei carichi (vedi allegato della presente relazione)



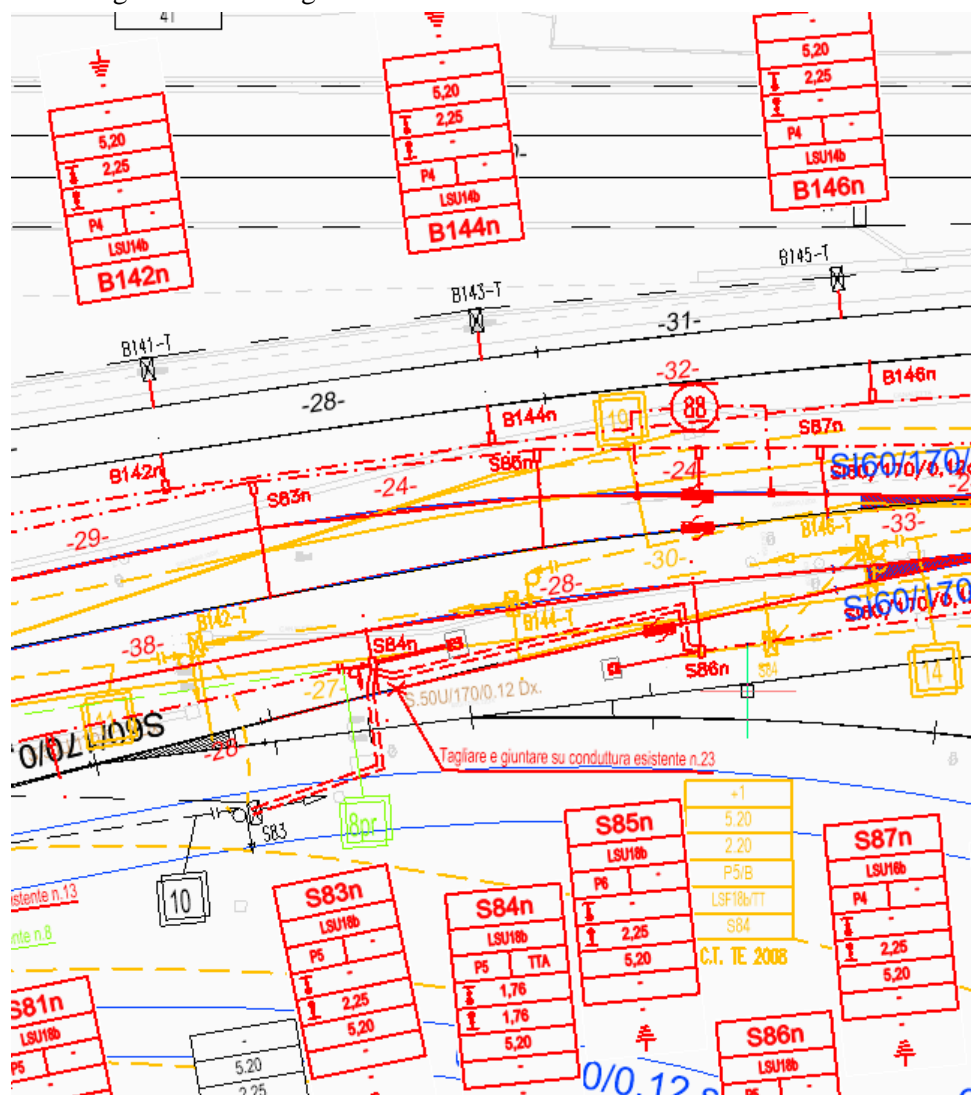
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	53 di 55

7 DESCRIZIONE SOSTEGNI

7.1 Sostegno S84n

Del sostegno S84n si allega lo stralcio del PE:



Di seguito si descrive brevemente la configurazione di carico del sostegno (per dettagli si rimanda agli allegati specifici).

Tipologia: Palo LSU18b bilanciato in rettilineo, ormeggio conduttura secondaria e corde di terra ormeggiate. L'altezza della linea di contatto a +5,2m da piano ferro



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	54 di 55

Caratteristiche geometriche sostegno utilizzate nel calcolo:

Attrezzaggio:

Trefoli di terra n. 2 corde TACSR Ø 15,82 mm ormeggiati;

Ormeggio conduttura L.d.C. n. 1 : 220 mm² C.P.F

Assi Condutture:

L.d.C. n. 1 : 220 mm² C.P.F., D.R. = 1,76m

L.d.C. n. 2 : 220 mm² C.P.F., D.R. = 1.76m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
CALCOLO e VERIFICA di strutture (pali, portali, travi e relativi blocchi di fondazione ecc) fuori standard Struttura 4	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN1M	00 D 18	CL	LC0103 004	A	55 di 55

8 VERIFICA ARMATURE BLOCCHI DI FONDAZIONI

Per le disposizioni delle armature si rimanda all'elaborato E64865 F.

Le verifiche delle armature non sono significative (armature per blocchi di fondazione standard)

9 ALLEGATO

Di seguito si riporta il file excel del fascicolo di calcolo del sostegno e relativo blocco di fondazione oggetto della presente relazione di calcolo:



Allegato S84n.xlsx

10 CONCLUSIONI

In conclusione è emerso che i sostegni ed i relativi blocchi di fondazione analizzati, per le rispettive configurazione di carico in oggetto alla presente relazione, sono idonei a sostenere i carichi ad essi applicati.