

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA

U.O.: INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

**ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. – CATANZARO L.
(Lotto 01)**

RELAZIONE TECNICA DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI PER PALI LSU DI PIENA LINEA AI SENSI DELLE SPECIFICHE TECNICHE RFI E64864c ED E64865e E DELLE NTC18

PFTE da sottoporre all'esame del CSLPP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione»

ITALFERR S.p.A.
Ordine degli Ingegneri della
Provincia di La Spezia
Dott. Ing. Andrea Nardinocchi
iscritto all'Albo Professionale
dei Periti e Ingegneri
COF. N. A. 1263

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

RC0W 01 D 78 RH LC0000 001 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore
A	PRIMA EMISSIONE	FICORELLA	Maggio 2020	LCAPRIS	Maggio 2020	VANFIORI	Maggio 2020	ITALFERR S.p.A. Dott. Ing. Andrea Nardinocchi Dott. Ing. Gianluigi Nardinocchi UO Infrastrutture Sud Dott. Ing. Danilo Tiberti

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.3	ELABORATI DI PROGETTO RIFERIMENTO.....	6
2.4	BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....	6
3	ASPETTI NORMATIVI	7
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO DELLA LINEA LAMEZIA TERME-SETTINGIANO.....	8
4.1	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	8
4.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA LINEA LAMEZIA TERME -SETTINGIANO	10
4.2.1	<i>Sintesi dei risultati dei sondaggi verticali</i>	<i>10</i>
4.2.2	<i>Sintesi dei risultati dei sondaggi orizzontali nel corpo del rilevato</i>	<i>11</i>
4.2.3	<i>Parametri meccanici caratteristici dei terreni</i>	<i>11</i>
4.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	12
4.4	AZIONE SISMICA	12
5	BLOCCHI DI FONDAZIONE STANDARD PER SOSTEGNI TIPO “LSU”	14
5.1	CRITERI DI CALCOLO.....	14
5.1.1	<i>Azione del treno</i>	<i>16</i>
5.1.2	<i>Azione del Ballast.....</i>	<i>17</i>
5.2	CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA	17
5.2.1	<i>Verifica al ribaltamento</i>	<i>19</i>
5.2.2	<i>Verifica allo scorrimento.....</i>	<i>19</i>
5.2.3	<i>Verifica al carico limite.....</i>	<i>19</i>
6	VERIFICA DEL BLOCCO STANDARD RFI	22

6.1	SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI BLOCCO DA ANALIZZARE	22
6.2	VERIFICA DEL BLOCCO STANDARD NEL CONTESTO GEOTECNICO	23
6.2.1	<i>Blocco standard B0a</i>	23
6.2.2	<i>Aspetti di inapplicabilità del blocco standard</i>	29
6.3	VERIFICA DEL BLOCCO STANDARD NEL CONTESTO GEOMETRICO DELLA LINEA ESISTENTE.....	30
6.3.1	<i>Piattaforma ferroviaria esistente – aspetti di inapplicabilità del blocco standard</i>	30
6.3.2	<i>Interferenze esistenti – aspetti di inapplicabilità del blocco standard</i>	33
7	ANALISI SOLUZIONE E NUOVO TIPOLOGICO.....	34
7.1	DR (Distanza Rotaia – Palo LSU)	34
7.2	NUOVO TIPOLOGICO DI FONDAZIONE PER PALI LSU.....	35
7.3	NUOVO TIPOLOGICO DI FONDAZIONE PER PALI LSU “SPECIALI”	40
7.3.1	<i>Tipologico per Tirante a Terra</i>	40
7.3.2	<i>Tipologico per Trave MEC</i>	42
7.3.3	<i>Tipologico per Trave Portale di Ormeccio</i>	43
7.4	VERIFICA DELLA COMPATIBILITA’ IDRAULICA DELLE CANALETTE ESISTENTI.....	46
7.4.1	<i>Opere per eventuali sistemazioni idrauliche</i>	46
8	CONCLUSIONI	48

1 PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di ammodernamento della linea ferroviaria Lamezia Terme – Catanzaro Lido, attualmente esercita con mezzi a trazione Diesel, sono previsti importanti lavori di ammodernamento:

- realizzazione di tre sottostazioni elettriche ed una cabina TE
- elettrificazione della intera tratta.

L'intervento comprende tutte le opere civili, impiantistiche ed accessorie necessarie a rendere l'intera tratta fruibile dai mezzi a trazione elettrica 3kVcc di ultima generazione.

La tratta in esame, da Catanzaro Lido a Lamezia Terme, si estende per una lunghezza di circa 40 km. Il primo tratto tra Lamezia Terme e Settingiano (CZ) si sviluppa sulla sede storica del tracciato; la tratta tra Settingiano e Catanzaro Lido si sviluppa in nuova sede su un tracciato ammodernato di recente.

La presente relazione focalizza l'obiettivo sulla **definizione delle carpenterie di fondazione dei blocchi palo** per i sostegni "LSU" di piena linea; in particolare si riportano le verifiche e le carpenterie dei blocchi palo relativi alla tratta storica Lamezia Terme e Settingiano (CZ).

Il progetto dei blocchi di fondazione è stato sviluppato in accordo alla Documentazione Tecnica RFI (si veda in proposito il §2.1) verificando l'impiego di blocchi standard nelle effettive condizioni di impiego.

Dallo studio della linea oggetto dell'intervento, in considerazione del fatto che la sua costruzione è risalente alla fine '800, è emerso però che l'applicazione dei blocchi standard presenta diverse criticità, quali in particolare:

- i rilevati ferroviari esistenti mostrano parametri meccanici di resistenza inferiori alle prescrizioni presenti nel Capitolato Tecnico RFI [D.4];
- la piattaforma del corpo ferroviario ha standard e caratteristiche geometriche diverse da quelle adottate attualmente da RFI in cui la larghezza della piattaforma per singolo binario è pari a 8.40m [D.3];
- la presenza di canalizzazioni per cavi e canalizzazioni idrauliche che interferiscono con i blocchi di fondazione dei sostegni.

Pertanto, in ragione di quanto sopra esposto è stato necessario fare ricorso all'utilizzo di blocchi differenti dai tipologici RFI.

Al fine di sottoporre all'approvazione da parte della Struttura Tecnica competente di RFI l'impiego di blocchi per pali LSU non riconducibili allo "standard", nei prossimi paragrafi vengono riportate tutte le condizioni progettuali che hanno condotto la Scrivente Ingegneria a prevedere blocchi differenti dai tipologici.

In particolare, *sarà analizzato l'impiego del blocco standard nelle effettive condizioni di utilizzo*, attraverso:

- i. lo studio del contesto geotecnico della linea, con riferimento sia al corpo del rilevato ferroviario che ai primi 10m del terreno da piano campagna;
- ii. l'analisi delle Specifiche Tecniche RFI, con particolare riferimento ai criteri generali di verifica delle fondazioni dei sostegni per blocchi palo LSU;

- iii. l'analisi delle verifiche geotecniche sui blocchi standard con riferimento alle tipologie più ricorrenti nella linea in oggetto;
- iv. la verifica dell'impiego del blocco standard sulla base del contesto geometrico, in funzione delle sue dimensioni e delle dimensioni della piattaforma ferroviaria esistente
- v. la valutazione degli aspetti di inapplicabilità del blocco standard e la definizione di una nuova tipologia di blocco. In riferimento alla nuova tipologia di blocco saranno descritti:
 - le carpenterie dei blocchi palo LSU14-22;
 - le carpenterie dei blocchi palo relativi al tirante a terra, portale di ormeggio ed alla trave MEC.

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La determinazione dei carichi, il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche di resistenza vengono effettuati con i criteri della Scienza delle Costruzioni e con riferimento alle seguenti prescrizioni e norme:

- [N.1] D.M. del 17.01.2018: “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- [N.2] Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [D.1] Disegno RFI E64864c: “Tabella impiego pali LSU e blocchi di fondazione di piena linea”.
- [D.2] Disegno RFI E64865e: “Blocchi fondazione e relative armature per LSU piena linea”.
- [D.3] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.19 – Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [D.4] RFI DTC SI SP IFS 001 D del 20.12.19 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [D.5] Istruzione RFI per la protezione dei cantieri (Ristampa 2006).

2.3 ELABORATI DI PROGETTO RIFERIMENTO

- [E.1] RC0W01D78RHGE0006001A – Relazione geotecnica generale
- [E.2] RC0W01D78RHGE0006002A – Relazione di caratterizzazione sismica generale

2.4 BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [B.1] Carlo Viggiani (1998). Fondazioni. Hevelius Edizioni;
- [B.2] M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello (2010). Progetti e calcoli di geotecnica con excel, DEI.

3 ASPETTI NORMATIVI

Si vuole segnalare che le nuove norme tecniche delle costruzioni [N.1] hanno introdotto delle novità in merito ai criteri di verifica geotecnica da applicare alle fondazioni, si pensi ad esempio alla verifica a ribaltamento che oggi deve essere effettuata secondo l'Approccio 2 con la combinazione A1+M1+R3 rispetto a prima in cui nelle NTC08 era utilizzato l'approccio EQU+M2+R2.

Poiché la specifica RFI che definisce i criteri generali di verifica delle fondazioni di piena linea “Disegno RFI E64864c: “Tabella impiego pali LSU e blocchi di fondazione di piena linea”. si basa sulle NTC08 e ad oggi non è stata aggiornata, si vuole segnalare che le verifiche condotte nei successivi paragrafi saranno svolte seguendo i criteri espressi dalla specifica stessa laddove risultino in accordo alle nuove norme tecniche [N.1]; diversamente, come ad esempio per le verifiche a ribaltamento, si adotteranno esclusivamente le NTC18.

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO DELLA LINEA LAMEZIA TERME- SETTINGIANO

4.1 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

La campagna di indagini pianificata per lo sviluppo del progetto di elettrificazione della linea in oggetto è stata realizzata con il duplice obiettivo di:

- caratterizzare il corpo del rilevato ferroviario esistente;
- caratterizzare i terreni per i primi metri da pieno campagna;

con il fine di permettere al progettista di effettuare le verifiche geotecniche sui blocchi di fondazione per i pali LSU di piena linea e di stazione.

Tale campagna è consistita in (si veda Tabella 1):

- n.13 sondaggi geognostici spinti sino alla profondità di 30.0 m dal p.c., con installazione di piezometro a “tubo aperto” per il monitoraggio della falda;
- n. 7 prove geofisiche MASW per la definizione dell’azione sismica di progetto.
- n. 1 prova Down-Hole
- n. 8 sondaggi orizzontali (eseguiti nel corpo del rilevato ferroviario esistente per la sua caratterizzazione).

Durante l’esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- riconoscimento stratigrafico con documentazione fotografica a colori;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l’esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP);
- tutti i sondaggi sono stati interessati da carotaggio ambientale nei primi 5 m;
- rilievo topografico con strumentazione GPS per acquisizione coordinate e quota assoluta.

ID	PROFONDITA'	DATA	Quota	Coordinate UTM WGS 84		Strumentazione	SITO
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	(m s.l.m.)	E	N		
S26	30.00	17-18/07/2019	6.02	2660086.18	4298321.22	Piezometro a tubo aperto	Catanzaro Lido
S29	30.00	19-20/07/2019	110.69	2651012.62	4307117.98	Piezometro di Casagrande	Settingiano
BH4	40.0	22-29/01/2020	-	-	-	Piezometro a tubo aperto	Settingiano
S30	30.00	19-20/07/2019	148.09	2647163.87	4309309.31	Piezometro di Casagrande	Marcellinara
S32	30.00	23-24/07/2019	186	2634286.76	4313942.01	Piezometro a tubo aperto	Nicastro
S33	10.00	25/07/2019	75.54	2129862.56	4335350.40	-	Bosco Amatello
S34	10.00	18/07/2019	159.84	2133036.93	4338173.01	-	Sambiase
S35	20.00	18/07/2019	126.49	2136630.71	4337380.55	Piezometro a tubo aperto	Gabella Cordolo
S36	10.00	23/07/2019	106.20	2138872.00	4335824.92	-	Feroletto
S37	20.00	27-29/07/2019	126.30	2146356.14	4334335.99	Piezometro a tubo aperto	Massaro
S38	10.00	30/07/2019	115.90	2151206.57	4333241.40	-	Settingiano
S50	30.00	22-23/07/2019	91.18	2642674.94	4308252.73	Piezometro a tubo aperto	Ponte Cannello
S51	30.00	22-23/07/2019	92.26	2642784.02	4308235.19	Piezometro a tubo aperto	Ponte Cannello

Tabella 1 – Sondaggi verticali effettuati nel 2019 a supporto del presente lavoro

ID	PROFONDITA'	DATA	Quota	Coordinate UTM WGS 84	
	(m dal p.c.)	ESECUZIONE	(m s.l.m.)	E	N
SH1	15.00	16/07/2019	76.14	16°15'49.19''	38°56'26.44''
SH2	15.00	11-12/07/2019	121.971	16°16'24.47''	38°57'20.48''
SH3	15.00	17/07/2019	160.132	16°18'08.19''	38°57'48.45''
SH4	15.00	22/07/2019	173.50	16°19'40.58''	38°58'03.12''
SH5	15.00	17/07/2019	127.351	16°20'33.52''	38°57'13.73''
SH6	15.00	24/07/2019	104.11	16°22'56.45''	38°56'12.67''
SH7	15.00	23/07/2019	128.50	16°27'3.08''	38°55'10.11''
SH8	15.00	31/07/2019	114.80	16°30'21.26''	38°54'22.24''

Tabella 2 – Sondaggi orizzontali nel corpo del rilevato effettuati nel 2019 a supporto del presente lavoro



Figura 1: Inquadramento della linea ed ubicazione dei sondaggi

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- determinazione del peso di volume naturale;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- analisi granulometriche;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- prove di compressioni triassiale (del tipo CID e UU);
- prove di taglio diretto (TD);
- prove di compressione ad espansione laterale libera E.L.L.
- classificazione terre secondo CNR 10006 e USCS;
- determinazione coefficiente di permeabilità in cella edometrica.

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA LINEA LAMEZIA TERME -SETTINGIANO

4.2.1 Sintesi dei risultati dei sondaggi verticali

Facendo riferimento alla “Relazione geotecnica generale” propria della linea ([E.1]) si riportano in tabella i parametri geotecnici di progetto per le due unità geotecniche principali più superficiali analizzate lungo la linea:

Unità	γ	ϕ'_k	c'_k	c_{uk}
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]
a – depositi alluvionali	19.6	27÷34	0÷5	0÷75
q – depositi conglomeratici sabbiosi	19.3	25÷35	0	0

Tabella 2 – Sondaggi verticali – Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio

4.2.2 Sintesi dei risultati dei sondaggi orizzontali nel corpo del rilevato

Facendo riferimento alla “*Relazione geotecnica generale*” propria della linea ([E.1]), il materiale recuperato per i sondaggi conferma la qualità dei terreni presenti in sito e che possono essere classificati genericamente da limi sabbiosi fino a prettamente incoerenti (sabbio-ghiaiosi), di discreta consistenza.

Di seguito si riassumono i parametri geotecnici caratteristici di progetto per i rilevati esistenti lungo l’intera tratta:

RIL	γ	ϕ'_k	c'_k	c_{uk}
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]
	20-21	27-35	3-10	80-180

Tabella 3 – Sondaggi orizzontali – Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio

Si segnala che la coesione non drenata definita in tabella fa riferimento alle porzioni di rilevati realizzati con materiale marcatamente coerente. Le verifiche geotecniche verranno condotte in condizione drenate.

4.2.3 Parametri meccanici caratteristici dei terreni

Sulla base delle analisi richiamate in precedenza e meglio trattate nella già citata “*Relazione di caratterizzazione geotecnica generale della linea*” ([E.2] rif. elab. IA0X12D78RHGE00050001) si è deciso di caratterizzare i terreni della linea, sia in riferimento al corpo del rilevato ferroviario che ai primi metri da piano campagna, con una unica terna di valori, questo in considerazione del fatto che:

- i sondaggi effettuati, sia quelli verticali che quelli orizzontali nel corpo del rilevato, mostrano valori medi sostanzialmente uniformi;
- essendo una linea storica, la sua costruzione risale all’inizio del ‘900, è presumibile che i terreni con cui sono stati realizzati i rilevati derivino dagli scavi effettuati nelle vicinanze
- in relazione alla fase attuale di Progettazione Definitiva, pertanto si ritiene possibile effettuare ulteriori approfondimenti durante la futura fase di Progettazione Esecutiva.

ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA TERME – SETTINGIANO (CZ)	
PARAMETRI CARATTERISTICI DI CALCOLO DEI TERRENI	
Angolo di attrito interno	$\varphi' = 27^\circ$
Coesione efficace	$c' = 0 \text{ kPa}$
Peso dell'unità di volume	$\gamma' = 20 \text{ kN/m}^3$

Tabella 4 – Parametri caratteristici di calcolo dei terreni

4.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

In relazione alle specifiche prove a disposizione [E.2], le categorie di sottosuolo per le aree di approfondimento sono state definite in funzione delle prove MASW realizzate nei settori di intervento.

In relazione a quanto emerso dalle analisi geofisiche a disposizione, i terreni presenti nelle aree di intervento possono essere caratterizzati con categorie di sottosuolo comprese tra C e B. In relazione al ridotto numero di prove disponibili lungo tutto il tracciato per la determinazione dell'azione sismica di progetto si è preso a riferimento a categoria di suolo di fondazione peggiore in accordo con il D.M. del 17.01.2018: “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”;

Di conseguenza, è stato assunto un terreno classificato come **categoria C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).*

4.4 AZIONE SISMICA

Per la caratterizzazione sismica del sito si è utilizzata la microzonazione di cui al [N.1], introducendo le coordinate geografiche di latitudine e longitudine del sito di Ponte Cannello, in quanto sulla base dello studio condotto, il territorio attraversato rivela una discreta omogeneità rispetto all'azione sismica attesa, e valutando il relativo spettro di risposta allo **SLV** [E.1].

Gli spettri di calcolo vengono pertanto imposti dalla nuova normativa in funzione della latitudine e longitudine del sito, e cioè Potenza, scegliendo dunque il valore massimo di accelerazione letto lungo lo sviluppo della linea .

Quindi nel caso della struttura in oggetto si sono assunti i seguenti valori:

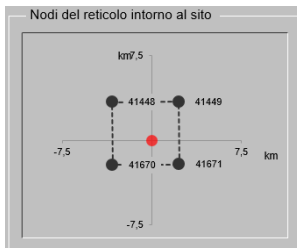
ID	Latitudine	Longitudine	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
Ponte Cannello	38,915563	16,415839	

Tabella 5 – Associazione dei punti di interesse, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* , relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento, sono forniti nelle tabelle riportate nell'Allegato B delle NTC08, in funzione di prefissati valori del periodo di ritorno T_R . L'accelerazione al sito a_g è espressa in $g/10$, F_0 è adimensionale, T_C^* è espresso in secondi.

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.

ID	Tabella valori				
	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
Ponte Cannello	SLO	30	0,071	2,299	0,280
	SLD	50	0,094	2,279	0,298
	SLV	475	0,270	2,432	0,370
	SLC	975	0,361	2,480	0,394

Tabella 6 – Coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per i tratti di linea caratterizzati da ($V_R = 50$ anni).

5 BLOCCHI DI FONDAZIONE STANDARD PER SOSTEGNI TIPO “LSU”

5.1 CRITERI DI CALCOLO

Le specifiche RFI definiscono i criteri di calcolo e verifica dei blocchi di fondazione per pali LSU di piena linea che sono espressi nel documento RFI [D.1]. Per l'impiego dei blocchi di fondazione e delle relative armature si rimanda al documento RFI [D.2].

In considerazione del fatto che le caratteristiche meccaniche dei terreni inerenti il corpo del rilevato ferroviario risultano essere difformi dalle indicazioni contenute nelle specifiche citate, si è proceduto ad effettuare nuove verifiche geotecniche per i blocchi secondo i criteri definiti nel documento RFI [D.1] ed in accordo alla nuova normativa tecnica [N.1]:

CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

- Combinazioni e approccio

Le verifiche delle fondazioni dei pali sono state seguite secondo gli approcci riportati in tabella:

	Statica	Sismica
Carico Limite	A1+M1+R3	SIS+M1+R3
Scorrimento	A1+M1+R3	SIS+M1+R3
Ribalamento	EQU+M2+R2	SIS+M2+R2

NOTE:

- 1- I blocchi di fondazione sono stati considerati come fondazioni dirette.
- 2- Le verifiche a carico limite e a scorrimento sono state effettuate con l'approccio 2, come previsto al punto 6.4.2.1 (NTC08).
- 3- I coefficienti parziali M1 per i parametri geotecnici del terreno sono stati presi dalla tab. 6.2.II (NTC08).
- 4- I coefficienti parziali sulle azioni A1 e EQU sono stati presi dalla tab. 2.6.I (NTC08) (identica alla tab.6.2.1 propria della progettazione geotecnica).
- 5- Per SIS si intende che le azioni sismiche sono tutte azioni amplificate con coefficienti unitari.
- 6- I coefficienti R3 per le verifiche a carico limite e scorrimento sono stati presi dalla tab. 6.4.I (NTC08), e sono pari a 2,3 per il carico limite e 1,1 per lo scorrimento.
- 7- Verifica a ribaltamento: al punto 6.5.3.1.1 delle NTC 2008, è espressamente scritto di effettuare la verifica a ribaltamento considerandolo come stato limite di equilibrio di corpo rigido. Le azioni sono state quindi considerate con i coefficienti EQU. E' altresì scritto di considerare i coefficienti parziali M2 per il calcolo delle spinte. E' stato utilizzato l'approccio EQU+M2+R2, ossia l'utilizzo del coefficiente di sicurezza globale R2, in analogia con l'approccio A2+M2+R2.
Il coefficiente R2 per la verifica a ribaltamento è stato posto = 1 in analogia con gli altri coefficienti R2 della tab. 6.5.I propria dei muri di sostegno.

CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

- Ipotesi di calcolo

- 1- Sono state effettuate due verifiche distinte, a seconda se le azioni provenienti dal palo fossero dirette verso il binario o nel verso opposto.
- 2- Terreno presente solo lato binario e interamente scoperto lato esterno.
- 3- Il terreno è stato considerato presente per tutta l'altezza del plinto, ad esclusione del cordolo sopra il plinto.
- 4- L'altezza del cordolo è stata sempre considerata pari a quella massima (50 cm).
- 5- L'eccentricità tra la testa del cordolo e la base del montante è stata considerata costante pari a 9 cm.
- 6- Il contributo del sovraccarico al carico limite (γ^*D) è stato considerato nullo in entrambi i versi della verifica, vista l'asimmetria della geometria del terreno.
- 7- Le azioni fuori dal piano (di entità modesta rispetto a quelle nel piano) sono state riportate rigidamente al piano di posa del plinto senza entrare nel merito delle spinte del terreno.

E' stato quindi considerato il contributo del terreno lato binario, secondo quanto riportato:

- 1- Contributo resistente nelle verifiche lato binario
- 2- Contributo spingente nelle verifiche lato esterno

I contributi del terreno laterale sono stati quindi considerati secondo le modalità e quantità riportate:

	LATO BINARIO		LATO ESTERNO	
	Azione	Resistenza	Azione	Resistenza
Carico Limite	nulla	% spinta passiva variabile (<70%)*	100% spinta attiva	nulla
Scorrimento	nulla	nulla	100% spinta attiva	nulla
Equilibrio	nulla	100% spinta passiva	100% spinta attiva	nulla

Il terreno spingente solo da un lato, vista l'ipotesi di lato libero dall'altro, è stato sempre considerato in condizioni di spinta attiva. La condizione di spinta attiva è stata mantenuta a maggior ragione in condizione sismica, considerando la spinta totale sismica con la formulazione di Mononobe-Okabe. Per le verifiche lato binario, è stata usata la stessa formulazione per calcolare il coefficiente di spinta passiva in condizioni sismiche.

Il coefficiente sismico orizzontale k_h e quello verticale k_v sono stati calcolati secondo quanto riportato al punto 7.11.6.2.1, paragrafo relativo al calcolo dei muri di sostegno in condizioni sismiche, raddoppiando l'accelerazione come previsto al punto 3.10.3.1 del "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II – SEZIONE 3 – CORPO STRADALE".

Oltre alla spinta in condizione sismiche, è stata considerata anche l'azione inerziale sul blocco di fondazione pari al peso per il coefficiente k_h .

(*) La spinta passiva nella verifica a carico limite è stata considerata con un impegno al massimo pari a 0,50.

Si segnala che, in accordo alle NTC 2018,

- per la verifica a scorrimento ed a carico limite si applicano i seguenti coefficienti parziali:

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 7.11.II - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche

Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3

- per la verifica a ribaltamento si applicano i seguenti coefficienti parziali:

Tabella 6.5.I delle NTC 2018

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tab. 7.11.III - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

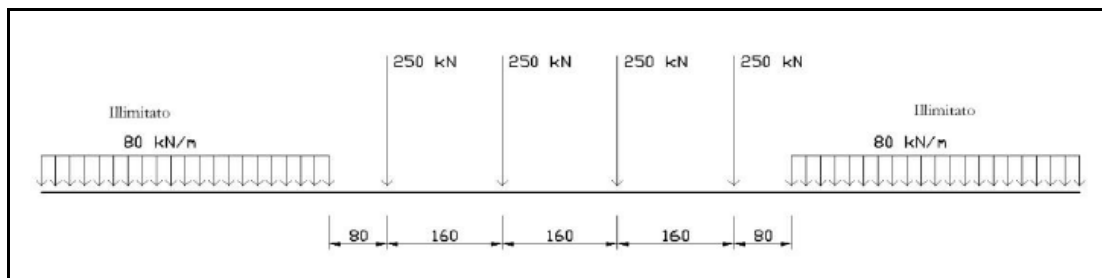
Si segnala che tra i carichi agenti sul blocco di fondazione sono stati presi in considerazione, in aggiunta a quelli richiamati nella Specifica Tecnica [D.1] e riportati nella seguente tabella:

LEGENDA:	
G1: C.P.S.:	Carichi Permanenti Strutturali
G2: C.P.N.S.:	Carichi Permanenti Non Strutturali
Q1: ICE:	Ghiaccio
Q2: WIND X (no ice):	Vento in direzione "x" in assenza di ghiaccio
Q3: WIND X (ice):	Vento in direzione "x" in presenza di ghiaccio
Q4: WIND Y:	Vento in direzione "y"
ECC1:	Carico eccezionale
Sisma X:	Sisma in direzione "x"
Sisma Y:	Sisma in direzione "y"

anche i carichi del *Treno* (variabile) e del *Ballast* (permanente), descritti nei prossimi paragrafi qui di seguito.

5.1.1 Azione del treno

Nella verifica dei blocchi di fondazione, si dovrà tenere conto dell'azione variabile dovuta ai convogli ferroviari, per il tramite del modello di carico LM71 (a favore di sicurezza rispetto al SW2).



Il carico da considerare si assume pari a $(250 \text{ kN} * 4)/6,40 \text{ m} = 156,25 \text{ kN/m}$.

Considerando la distribuzione trasversale dei carichi con una diffusione di 4:1 attraverso il ballast, su una larghezza di 2,70 m ($L_{\text{traversa}}=2,30 \text{ m} + L_{\text{diffusione}}=[(0,80-0,25)/4]*2$), si ottiene:

$$p = 156,25 \text{ kN/m}$$

In condizioni sismiche, il sovraccarico deve essere assunto pari al 20% del sovraccarico in condizioni statiche, secondo quanto previsto dall'Eurocodice 8.

Si osserva che per effetto della diffusione del carico, tale sovraccarico risulta interessare il plinto solamente per una piccola parte della propria altezza (Figura 2: Schema di calcolo blocco di fondazione standard RFI). Pertanto nonostante la specifica di RFI non consideri l'azione del treno, alle combinazioni di carico previste dalla specifica stessa, e' stata aggiunta l'azione del treno come azione eccezionale secondaria ($1.45*0.80=1.16$).

5.1.2 Azione del Ballast

Nella verifica dei blocchi di fondazione, si è tenuto conto dell'azione dovuta ai carichi permanenti portati relativi al peso della massicciata e dell'armamento.

In particolare, assumendo convenzionalmente un peso di volume pari a $18,0 \text{ kN/m}^3$ applicato per un'altezza media pari a $0,80 \text{ m}$, si ottiene una pressione sul blocco pari a $14,40 \text{ kN/m}^2$.

Tale carico è considerato come sovraccarico permanente agente sul piano di regolamento.

5.2 CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

In questo paragrafo saranno analizzati i criteri di verifica geotecnica, in conformità alle Specifiche Tecniche di RFI (vedi rif. [D.1]) ed al D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Nella seguente Figura 2 è riportato lo schema di calcolo utilizzato per la verifica del blocco di fondazione. Si segnala che il filo del blocco è stato posto ad una distanza minima di $1,55 \text{ m}$ da bordo interno della rotaia al fine di garantire la sicurezza e la regolarità della circolazione oltre che dell'incolumità delle persone addette ai lavori [D.5].

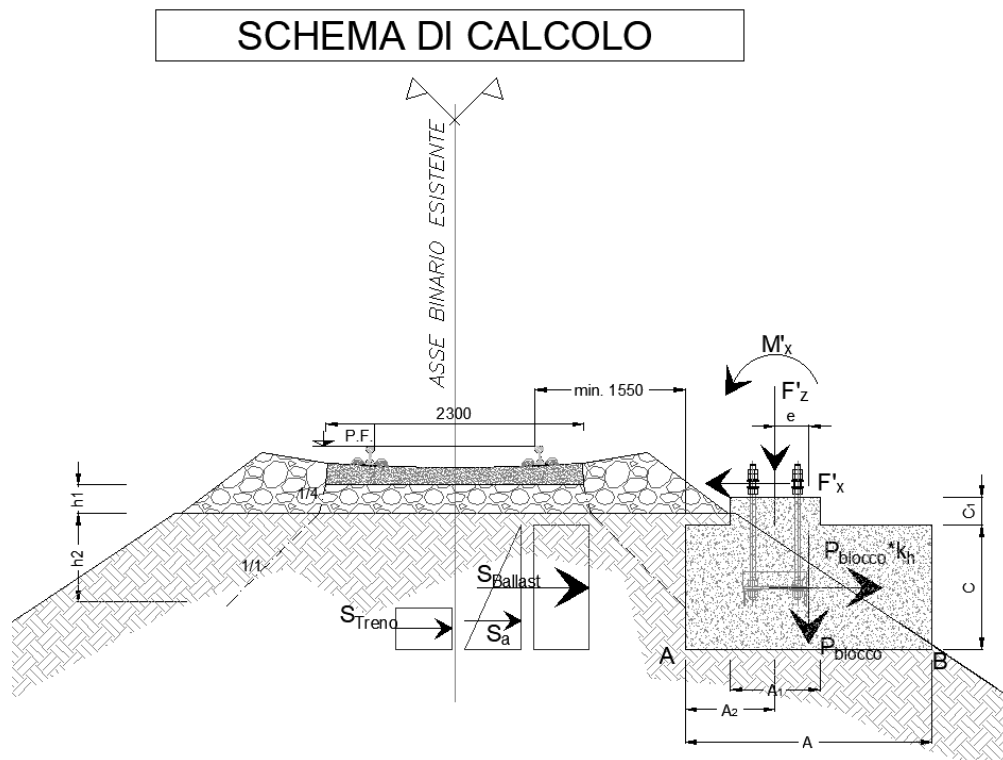


Figura 2: Schema di calcolo blocco di fondazione standard RFI

CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

- Combinazioni e approccio

Le verifiche delle fondazioni dei pali sono state seguite secondo gli approcci riportati in tabella:

	Statica	Sismica
Carico Limite	A1+M1+R3	SIS+M1+R3
Scorrimento	A1+M1+R3	SIS+M1+R3
Ribaltamento	A1+M1+R3	SIS+M1+R3

Tabella 7 – Approcci utilizzati per ogni verifica geotecnica (rif. [D.1] ed [N.1])

I contributi del terreno laterale sono stati quindi considerati secondo le modalità e quantità riportate:

	LATO BINARIO		LATO ESTERNO	
	Azione	Resistenza	Azione	Resistenza
Carico Limite	nulla	% spinta passiva variabile ($\leq 70\%$)*	100% spinta attiva	nulla
Scorrimento	nulla	nulla	100% spinta attiva	nulla
Equilibrio	nulla	100% spinta passiva	100% spinta attiva	nulla

Il terreno spingente solo da un lato, vista l'ipotesi di lato libero dall'altro, è stato sempre considerato in condizioni di spinta attiva. La condizione di spinta attiva è stata mantenuta a maggior ragione in condizione sismica, considerando la spinta totale sismica con la formulazione di Mononobe-Okabe. Per le verifiche lato binario, è stata usata la stessa formulazione per calcolare il coefficiente di spinta passiva in condizioni sismiche. Il coefficiente sismico orizzontale k_h e quello verticale k_v sono stati calcolati secondo quanto riportato al punto 7.11.6.2.1, paragrafo relativo al calcolo dei muri di sostegno in condizioni sismiche, raddoppiando l'accelerazione come previsto al punto 3.10.3.1 del "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II – SEZIONE 3 – CORPO STRADALE".
Oltre alla spinta in condizione sismiche, è stata considerata anche l'azione inerziale sul blocco di fondazione pari al peso per il coefficiente k_h .

Tabella 8 – Contributo del terreno laterale considerato per ogni verifica (rif. [D.1])

	SPINTA ATTIVA	SPINTA PASSIVA
STATICO	$S_{ax} = (1/2 * k_a * \gamma * H_{POSA}^2) * L_y$	$S_{px} = (1/2 * k_p * \gamma * H_{POSA}^2) * L_y$
	$S_{ay} = (1/2 * k_a * \gamma * H_{POSA}^2) * L_x$	$S_{py} = (1/2 * k_p * \gamma * H_{POSA}^2) * L_x$
SISMA	$S_{ax} = (1/2 * k_{as} * (1 \pm k_v) * \gamma * H_{POSA}^2) * L_y$	$S_{px} = (1/2 * k_{ps} * (1 \pm k_v) * \gamma * H_{POSA}^2) * L_y$
	$S_{ay} = (1/2 * k_{as} * (1 \pm k_v) * \gamma * H_{POSA}^2) * L_x$	$S_{py} = (1/2 * k_{ps} * (1 \pm k_v) * \gamma * H_{POSA}^2) * L_x$

Tabella 9 – Formulazioni delle Spinte del terreno sul blocco di fondazione

5.2.1 Verifica al ribaltamento

Per la verifica a ribaltamento non è stato considerato il contributo stabilizzante del terreno laterale, di conseguenza tale tipologia di fondazione reagirà per semplice gravità (rif. [D.1]).

Le equazioni utilizzate al fine di verificare il blocco al ribaltamento, risulteranno:

RIBALTAMENTO - LATO BINARIO	RIBALTAMENTO - LATO ESTERNO
$M_{RIB X} = (M'_x) + F'_x * (H+h)$	$M_{RIB X} = S_{ax} * H/3 + S_{Treno} * H_{Treno} + S_{Ballast} * H + [(P_{blocco} * k_h) * H/2]$
$M_{STAB X} = F'_z * e + P_b * L_x/2$	$M_{STAB X} = F'_z * e + P_b * L_x/2$
$M_{RIB Y} = (M'_y) + F'_y * (H+h)$	
$M_{STAB Y} = (F'_z * L_y/2) + P_b * L_y/2$	

Tabella 10 – Equazioni di equilibrio per la verifica al ribaltamento

5.2.2 Verifica allo scorrimento

Non è stata presa in considerazione l'eventuale spinta passiva, ma è stato preso in considerazione il contributo favorevole della spinta attiva ortogonale rispetto all'asse di scorrimento del blocco (rif. [D.1]).

SCORRIMENTO - LATO BINARIO	SCORRIMENTO - LATO ESTERNO
$F_{SCORR X} = F'_x$	$F_{SCORR X} = S_{ax} \pm F'_x + S_{Treno} + S_{Ballast} + (P_{blocco} * k_h)$
$F_{ATTR X} = (F'_z + P_b + 2 * S_{ay}) * tg(\delta)$	$F_{ATTR X} = (F'_z + P_b + (P_{blocco} * (-k_v)) + 2 * S_{ay}) * tg(\delta)$
$F_{SCORR Y} = F'_y + S_{ay}$	
$F_{ATTR X} = (F'_z + P_b + 2 * S_{ax}) * tg(\delta)$	

Tabella 11 – Equazioni di equilibrio per la verifica allo scorrimento

Con δ = angolo di attrito al contatto blocco terreno.

5.2.3 Verifica al carico limite

Per il calcolo del carico sul terreno di fondazione, viene calcolato per la fondazione in esame partendo dalla formulazione di Terzaghi, ed applicando gli opportuni coefficienti correttivi, per tenere in debito conto delle restrizioni di tale metodo.

Terzaghi propone la seguente espressione per il calcolo della capacità portante di una fondazione superficiale:

$$q_{lim} = \psi_q \cdot \zeta_q \cdot \xi_q \cdot \alpha_q \cdot \beta_q \cdot N_q \cdot \gamma_1 \cdot D + \psi_c \cdot \zeta_c \cdot \xi_c \cdot \alpha_c \cdot \beta_c \cdot N_c \cdot c + \psi_\gamma \cdot \zeta_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot \alpha_\gamma \cdot \beta_\gamma \cdot N_\gamma \cdot \gamma_2 \cdot \frac{B}{2}$$

in cui:

- γ_1 è il peso dell'unità di volume del terreno presente al di sopra del piano di posa della fondazione;
- γ_2 è il peso dell'unità di volume del terreno presente al di sotto del piano di posa della fondazione;
- D è la profondità del piano di posa della fondazione;
- B è la larghezza della fondazione;
- N_q, N_c, N_γ sono i fattori di capacità portante calcolati in funzione dell'angolo di attrito del terreno presente al di sotto del piano di posa;
- $\psi_\theta, \psi_\lambda, \psi_\gamma$ sono i coefficienti correttivi legati al tipo di rottura (generale o per punzonamento);
- $\xi_\theta, \xi_\lambda, \xi_\gamma$ sono i coefficienti correttivi di forma; essi dipendono dalla lunghezza L e dalla larghezza B della fondazione;

Forma della fondazione	s_c	s_q	s_γ
Rettangolare	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$
Circolare o quadrata	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \tan \phi$	0,6

- $\xi_\theta, \xi_\lambda, \xi_\gamma$ sono i coefficienti correttivi di inclinazione del carico; essi dipendono dalla lunghezza L e dalla larghezza B della fondazione, dall'entità dei carichi verticale ed orizzontali agenti, dalla coesione e dall'angolo di attrito del terreno presente al di sotto del piano di posa;

Tipo di terreno	ξ_q	ξ_c	ξ_γ
Incoerente	$(1 - \text{tg} \delta)^m$	-	$(1 - \text{tg} \delta)^{m+1}$
Coesivo	1	$1 - \frac{mq_H}{cN_c}$	-
Dotato di attrito e coesione	$\left(1 - \frac{q_H}{q_V + c \text{tg} \phi}\right)^m$	$\xi_q - \frac{1 - \xi_q}{N_c \text{tg} \phi}$	$\left(1 - \frac{q_H}{q_V + c \text{tg} \phi}\right)^{m+1}$

Se q_H è parallela a B , $m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$

Se q_H è parallela a L , $m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$

Se q_H forma con L un angolo θ , $m = m_q = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$

- $\alpha_\theta, \alpha_\lambda, \alpha_\gamma$ sono i coefficienti correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano di posa;
- $\beta_\theta, \beta_\lambda, \beta_\gamma$ sono i coefficienti correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna

b_c	b_q	b_r
$b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \phi}$	$(1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$	$(1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$

In particolare, per la determinazione del carico verticale di esercizio, si pone:

$$q_{es} = \frac{N}{L' \cdot B'}$$

dove:

- N è la risultante delle azioni verticali agenti sulla fondazione nella condizione di carico considerata, comprensivi del peso della platea;
- L' è la lunghezza ridotta della fondazione;
- B' è la larghezza della fondazione.

Per tener conto dell'eccentricità del carico viene considerata, ai fini del calcolo, una fondazione di dimensioni ridotte pari a:

$$L' = L - 2e_L$$

$$B' = B - 2e_B$$

con e_L ed e_B eccentricità del carico nelle due direzioni.

Nella verifica a carico limite si è tenuto conto anche della inclinazione del piano campagna. Il valore dell'angolo β considerato è dato dalla congiungente dello spigolo del plinto con il piano campagna misurato sull'orizzontale. Nelle verifiche è stato adottato un valore pari a $\beta=25^\circ$, proprio di un rilevato di altezza pari a poco più di 3 m da pc (si segnala che lungo linea sono presenti tratti con altezze di rilevato ben più alte come ad esempio al km 14 con altezze da pc pari a 7.50m).

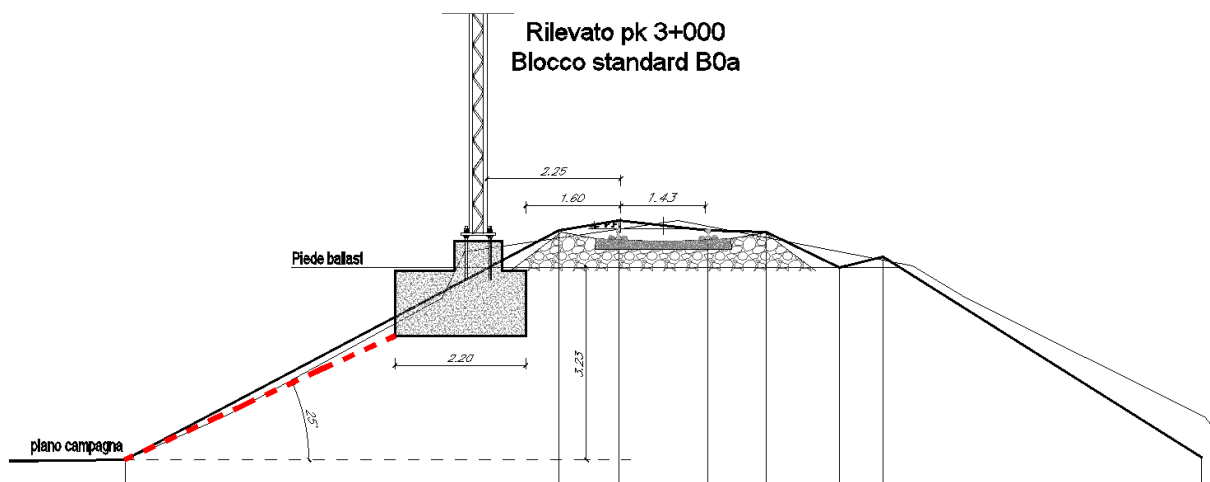


Figura 3: Schema per la determinazione dell'angolo β

6 VERIFICA DEL BLOCCO STANDARD RFI

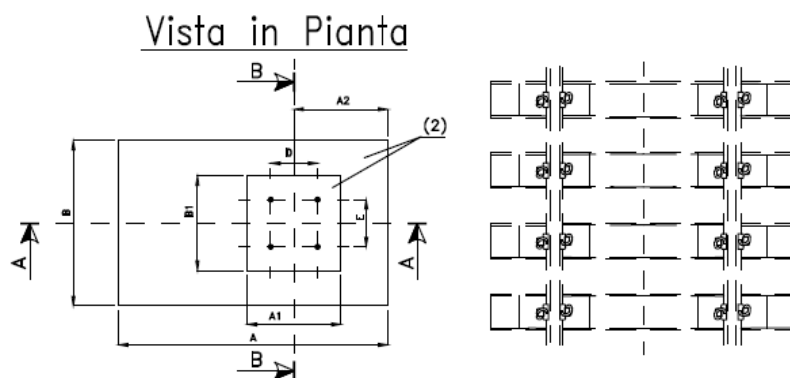
6.1 SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI BLOCCO DA ANALIZZARE

In questo capitolo si analizzeranno le verifiche per il seguente blocchi palo LSU “standard”:

- Interno curva R=400m palo LSU14b Blocco B0a

La scelta di riportare le verifiche di tale blocco è scaturita dal fatto che per via delle caratteristiche del piano di elettrificazione esso risulta tra quelli più diffusamente impiegati.

Le caratteristiche geometriche dei blocchi di fondazione sono riportate nella seguente tabella:



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE

TIPOLOGIA FONDAZIONE	DIMENSIONI FONDAZIONE										TIRAFONDI		
	A (m)	B (m)	C (m)	A1 (m)	B1 (m)	C1 (m)		A2 (m)	volume scavo (m ³)	volume calcestruzzo (m ³)		D (mm)	E (mm)
						min.	max.			min.	max.		
B0	1,9	1,6	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	4,10	3,50	3,66	400	400
B0a	2,2	1,65	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	4,90	4,15	4,31	400	400
B1	2,3	1,7	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	5,27	4,46	4,62	400	400
B2	2,4	1,8	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	5,83	4,91	5,07	400	400
B3	2,5	1,9	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	6,41	5,38	5,54	400	400
B3a	2,6	2,0	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	7,02	5,88	6,04	400	400
B4	2,6	2,3	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	8,07	6,74	6,90	400	400
B5	2,6	2,8	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	9,82	8,17	8,32	400	400
B6	2,6	3,5	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	12,28	10,17	10,33	400	400
B7	2,6	4,0	1,1	0,8	0,8	0,25	0,50	0,8	14,04	11,60	11,76	400	400
B6M	2,6	3,5	1,1	0,9	0,9	0,25	0,50	0,8	12,28	10,21	10,41	550	500
B7M	2,6	4,0	1,1	0,9	0,9	0,25	0,50	0,8	14,04	11,64	11,84	550	500
B8	2,6	4,4	1,1	0,9	0,9	0,25	0,50	0,8	14,74	12,17	12,33	550	500

Figura 4: Caratteristiche geometriche dei blocchi di fondazione tipologici

6.2 VERIFICA DEL BLOCCO STANDARD NEL CONTESTO GEOTECNICO

6.2.1 Blocco standard B0a

La geometria del blocco di fondazione, così come descritta nella figura precedente, è la seguente:

DATI DIMENSIONALI		
B0a		
A	[m]	2,2
B	[m]	1,65
C	[m]	1,1
A1	[m]	0,8
B1	[m]	0,8
C1	[m]	0,5
A2	[m]	0,8
Peso Proprio	[kN]	107,8

I sovraccarichi del ballast e del treno sono riportati nella seguente tabella:

SOVRACCARICHI		
BALLAST		
P.P.	[kN/mc]	18,0
h	[m]	0,8
Carico a mq	[kN/mq]	14,4
Sovraccarico	[kN]	28,5
Altezza di applicazione	[m]	0,6
TRENO LM71		
larghezza traversa	[m]	2,3
altezza ballast	[m]	0,35
distanza blocco traversa	[m]	1,118
Altezza di applicazione	[m]	0,16
Larghezza di diffusione del carico	[m]	4,536
Carico a ml	[kN/m]	156,25
Carico a mq	[kN/mq]	34,45
Sovraccarico	[kN]	9,1

Tabella 12 – Sovraccarichi

Si riportano nella seguente tabella i valori delle reazioni alla base del sostegno.

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO B0a					
Combinazione	FH - Trasn.	FL - Long.	N - Vert.	MH - Trasn.	ML - Long.
Testo	daN	daN	daN	daNm	daNm
STR1	-102,00	-13,74	1105,97	527,11	-85,33
STR2-V+V	575,59	-59,11	1473,47	4962,43	-365,85
STR2-V-X	-826,34	-59,11	1473,47	-2645,06	-365,85
STR3-V+X	950,38	-59,11	1473,47	7140,49	-365,85
STR3-V-X	-1201,14	-59,11	1473,47	-4823,12	-365,85
STR4-V+X	1045,74	-46,90	1105,97	6570,37	-291,89
STR4-V-X	-1249,74	-46,90	1105,97	-5516,15	-291,89
STR5-V+Y	-102,00	219,34	1105,97	527,11	987,02
STR5-V-Y	-102,00	-313,15	1105,97	527,11	-1570,80
STR6-V+X	701,42	139,47	1105,97	4757,39	603,34
STR6-V-X	-905,42	139,47	1105,97	-4051,39	603,34
STR7	-100,00	-9,16	904,05	507,33	-56,89
SLV 1	529,86	170,20	797,15	3813,77	981,82

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO B0a					
Combinazione	FH - Trasn.	FL - Long.	N - Vert.	MH - Trasn.	ML - Long.
Testo	daN	daN	daN	daNm	daNm
SLV 2	529,86	-188,52	797,15	3813,77	-1095,60
SLV 3	-665,86	170,20	797,15	-3110,96	981,82
SLV 4	-665,86	-188,52	797,15	-3110,96	-1095,60
SLV 5	111,36	588,70	797,15	1390,12	3405,48
SLV 6	-247,36	588,70	797,15	-687,30	3405,48
SLV 7	111,36	-607,02	797,15	1390,12	-3519,26
SLV 8	-247,36	-607,02	797,15	-687,30	-3519,26

Tabella 13 – Reazioni alla base del sostegno B0a

Si segnala che le azioni dirette verso l'esterno del binario sono considerate negative, allo stesso modo i momenti con verso di rotazione verso l'esterno del binario risultano negativi.

PARAMETRI TERRENO				
PARAMETRO	Caratt.	M1	M2	U.M.
γ_t	20	20	20	[kN/m ³]
ϕ'	27	27	22,2	[°]
δ'	27,00	27,00	22,18	[°]
c'	0	0	0	[kPa]
k_a	0,376	0,376	0,452	[-]
k_p	2,663	2,663	2,213	[-]
Z_c	0,000	0,000	0,000	[m]
a_{max}	0,353	-	-	[g]
β_m	0,380	-	-	[-]
k_h	0,268	-	-	[-]
k_v	0,134	-	-	[-]
θ	17,20	-	-	[°]
δ	0,00	-	-	[°]
ψ	90,00	-	-	[°]
β	0,00	-	-	[°]
ϵ	0,00	-	-	[°]
$k_{a,e}$	0,645	0,645	0,774	[-]
$k_{p,e}$	2,078	2,078	1,638	[-]
$S_{tras} C'=0$	8,9	8,9	10,7	[kN]
$M_{tras} C'=0$	7,1	7,1	8,6	[kNm]
$S_{tras} C' \neq 0$	8,9	8,9	10,7	[kN]
$M_{tras} C' \neq 0$	7,1	7,1	8,6	[kNm]
$S_{tras,s} C'=0$	15,3	15,3	18,4	[kN]
$M_{tras,s} C'=0$	7,1	7,1	8,6	[kNm]
$S_{tras} C'=0$	63,3	63,3	52,6	[kN]
$M_{tras} C'=0$	50,6	50,6	42,1	[kNm]
$S_{tras} C' \neq 0$	63,3	63,3	52,6	[kN]
$M_{tras} C' \neq 0$	50,6	50,6	42,1	[kNm]
$S_{tras,s} C'=0$	49,4	49,4	38,9	[kN]
$M_{tras,s} C'=0$	39,5	39,5	31,1	[kNm]

Tabella 14 – Parametri del Terreno e Determinazione delle Spinte

6.2.1.1 Verifica al ribaltamento – Blocco standard B0a

Nella seguente tabella si riportano, per ogni combinazione di carico, il calcolo delle azioni ribaltanti, delle azioni stabilizzanti e del coefficiente di sicurezza. La verifica è stata condotta lato esterno binario in quanto risulta essere la più gravosa.

VERIFICA A RIBALTAMENTO - DIREZIONE TRASVERSALE							
	AZIONI RIBALTANTI						
	$(M'_{tras}) + F'_{tras} * (H+h)$	M_{SaX}	$M_{ballast}$	M_{LM71}	M_{SISMA}	$M_{RIB LATO BINARIO}$	$M_{RIB LATO ESTERNO}$
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
STR1	3,64	-7,14	-25,66	0,00	0,00	3,64	-32,80
STR2-V+V	58,83	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	58,83	-36,22
STR2-V-X	-39,67	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	0,00	-75,89
STR3-V+X	86,61	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	86,61	-36,22
STR3-V-X	-67,45	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	0,00	-103,67
STR4-V+X	82,44	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	82,44	-36,22
STR4-V-X	-75,16	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	0,00	-111,37
STR5-V+Y	3,64	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	3,64	-36,22
STR5-V-Y	3,64	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	3,64	-36,22
STR6-V+X	58,80	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	58,80	-36,22
STR6-V-X	-55,00	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	0,00	-91,22
STR7	3,47	-7,14	-25,66	0,00	0,00	3,47	-32,80
SLV 1	46,62	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	46,62	-73,09
SLV 2	46,62	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	46,62	-73,09
SLV 3	-41,76	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	0,00	-114,86
SLV 4	-41,76	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	0,00	-114,86
SLV 5	15,68	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	15,68	-73,09
SLV 6	-10,83	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	0,00	-83,92
SLV 7	15,68	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	15,68	-73,09
SLV 8	-10,83	-39,50	-17,11	-0,59	-15,89	0,00	-83,92

VERIFICA A RIBALTAMENTO - DIREZIONE TRASVERSALE									
	AZIONI STABILIZZANTI						FS		
	$F'z^*A2$	$F'z^*(A-A2)$	$(0,5^*P.P.*A)_{neg}$	$(0,5^*P.P.*A)_{pos}$	M_{SpX}	$M_{STAB LATO BINARIO}$	$M_{STAB LATO ESTERNO}$	$\mu_{LATO ESTERNO}$	$\mu_{rib Limite}$
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	-	-
STR1	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	4,66	1,15
STR2-V+V	-11,79	20,63	-160,12	160,12	-42,06	-213,97	180,75	4,34	1,15
STR2-V-X	-11,79	20,63	-160,12	160,12	-42,06	-213,97	180,75	2,07	1,15
STR3-V+X	-11,79	20,63	-160,12	160,12	-42,06	-213,97	180,75	4,34	1,15
STR3-V-X	-11,79	20,63	-160,12	160,12	-42,06	-213,97	180,75	1,52	1,15
STR4-V+X	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	4,22	1,15
STR4-V-X	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	1,37	1,15
STR5-V+Y	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	4,22	1,15
STR5-V-Y	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	4,22	1,15
STR6-V+X	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	4,22	1,15
STR6-V-X	-8,85	15,48	-160,12	160,12	-42,06	-211,03	175,60	1,67	1,15
STR7	-7,23	12,66	-160,12	160,12	-42,06	-209,41	172,78	4,58	1,15
SLV 1	-6,38	11,16	-118,61	118,61	-31,14	-156,12	129,77	1,78	1,00
SLV 2	-6,38	11,16	-118,61	118,61	-31,14	-156,12	129,77	1,78	1,00
SLV 3	-6,38	11,16	-118,61	118,61	-31,14	-156,12	129,77	1,13	1,00
SLV 4	-6,38	11,16	-102,71	102,71	-31,14	-140,23	113,87	0,99	1,00
SLV 5	-6,38	11,16	-102,71	102,71	-31,14	-140,23	113,87	1,56	1,00
SLV 6	-6,38	11,16	-102,71	102,71	-31,14	-140,23	113,87	1,36	1,00
SLV 7	-6,38	11,16	-102,71	102,71	-31,14	-140,23	113,87	1,56	1,00
SLV 8	-6,38	11,16	-102,71	102,71	-31,14	-140,23	113,87	1,36	1,00

Tabella 15 – Blocco B0a – Verifica al ribaltamento

Dalle analisi effettuate emerge che le verifiche a ribaltamento risultano essere soddisfatte, anche nel caso della comb SLV4 in cui il valore di FS=0.99 si ritiene prossimo all'unità.

6.2.1.2 Verifica allo scorrimento – Blocco standard B0a

Nella seguente tabella si riportano, per ogni combinazione di carico, il calcolo delle azioni instabilizzanti, delle azioni stabilizzanti e del coefficiente di sicurezza. La verifica è stata condotta lato esterno binario in quanto risulta essere la più gravosa.

Verifica allo scorrimento in senso ortogonale ai binari							
AZIONI INSTABILIZZANTI							
	F' _{tras} kN	S _{aX} kN	S _{ballast} kN	S _{LM71} kN	F' _{sismica} kN	F' _{LATO BINARIO} kN	F' _{LATO ESTERNO} kN
STR1	-1,02	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-52,71
STR2-V+V	5,76	-8,92	-42,77	-14,73	0,00	5,76	-66,42
STR2-V-X	-8,26	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-59,95
STR3-V+X	9,50	-8,92	-42,77	0,00	0,00	9,50	-51,69
STR3-V-X	-12,01	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-63,70
STR4-V+X	10,46	-8,92	-42,77	0,00	0,00	10,46	-51,69
STR4-V-X	-12,50	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-64,19
STR5-V+Y	-1,02	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-52,71
STR5-V-Y	-1,02	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-52,71
STR6-V+X	7,01	-8,92	-42,77	0,00	0,00	7,01	-51,69
STR6-V-X	-9,05	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-60,74
STR7	-1,00	-8,92	-42,77	0,00	0,00	0,00	-52,69
SLV 1	5,30	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	5,30	-75,27
SLV 2	5,30	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	5,30	-75,27
SLV 3	-6,66	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	0,00	-81,93
SLV 4	-6,66	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	0,00	-81,93
SLV 5	1,11	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	1,11	-75,27
SLV 6	-2,47	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	0,00	-77,74
SLV 7	1,11	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	1,11	-75,27
SLV 8	-2,47	-15,32	-28,51	-2,54	-28,90	0,00	-77,74

Verifica allo scorrimento in senso ortogonale ai binari							
AZIONI STABILIZZANTI				FS			
	F'*tang(δ) kN	PP*tang(δ) kN	Cont. Laterale*tang(δ) kN	F' _{attr} kN	μ _{attr LATO ESTERNO}	μ _{attr Limite}	
STR1	5,64	54,94	6,06	66,64	✓	1,149	1,10
STR2-V+V	7,51	54,94	6,06	68,51	✗	0,938	1,10
STR2-V-X	7,51	54,94	6,06	68,51	⚠	1,039	1,10
STR3-V+X	7,51	54,94	6,06	68,51	✓	1,205	1,10
STR3-V-X	7,51	54,94	6,06	68,51	✗	0,978	1,10
STR4-V+X	5,64	54,94	6,06	66,64	✓	1,172	1,10
STR4-V-X	5,64	54,94	6,06	66,64	✗	0,944	1,10
STR5-V+Y	5,64	54,94	6,06	66,64	✓	1,149	1,10
STR5-V-Y	5,64	54,94	6,06	66,64	✓	1,149	1,10
STR6-V+X	5,64	54,94	6,06	66,64	✓	1,172	1,10
STR6-V-X	5,64	54,94	6,06	66,64	✗	0,997	1,10
STR7	4,61	54,94	6,06	65,61	✓	1,132	1,10
SLV 1	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,749	1,10
SLV 2	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,749	1,10
SLV 3	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,689	1,10
SLV 4	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,689	1,10
SLV 5	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,749	1,10
SLV 6	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,726	1,10
SLV 7	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,749	1,10
SLV 8	4,06	47,58	10,41	62,05	✗	0,726	1,10

Tabella 16 – Blocco B0a – Verifica allo scorrimento

Si segnala che nella verifica a scorrimento il valore del coefficiente di sicurezza (FS=1,1) è stato considerato come moltiplicatore delle azioni instabilizzanti.

Dalle analisi condotte emerge che per tutte le combinazioni di carico SLV analizzate e parte di quelle STR le verifiche allo scorrimento non risultano soddisfatte!

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

 COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RC0W 01 D 78 RH LC0000 001 A 28 di 48

6.2.1.3 Verifica al carico limite – Blocco standard B0a

Nella seguente tabella si riportano, per ogni combinazione di carico, i valori dei coefficienti riduttivi da applicare alla formulazione di Terzaghi per la determinazione del carico limite.

	N _q	N _c	N _γ	ξ _q	ξ _c	z _γ	L _{tras}	L _{long}	ξ _q	ξ _c	ξ _γ	β _q	β _c	β _γ
	FATTORI CAPACITA'			COEFF. FORMA			dimensioni equivalenti [m]		COEFF. INCLINAZIONE CARICHI			COEFF. INCLINAZIONE SUPERFICIE TERRENO		
STR1	13,20	23,94	14,47	1,01	1,51	0,63	1,77	1,64	0,99	0,99	0,98	0,26	0,20	0,28
STR2-V+V	13,20	23,94	14,47	1,01	1,51	0,63	1,47	1,59	0,95	0,94	0,91	0,26	0,20	0,28
STR2-V-X	13,20	23,94	14,47	1,01	1,42	0,69	1,22	1,59	0,93	0,92	0,88	0,26	0,20	0,28
STR3-V+X	13,20	23,94	14,47	1,01	1,52	0,63	1,75	1,64	0,99	0,99	0,98	0,26	0,20	0,28
STR3-V-X	13,20	23,94	14,47	1,01	1,39	0,72	1,12	1,59	0,92	0,91	0,86	0,26	0,20	0,28
STR4-V+X	13,20	23,94	14,47	1,00	1,30	0,78	0,87	1,59	0,89	0,89	0,83	0,26	0,20	0,28
STR4-V-X	13,20	23,94	14,47	1,01	1,39	0,71	1,15	1,60	0,91	0,90	0,85	0,26	0,20	0,28
STR5-V+Y	13,20	23,94	14,47	1,00	1,26	0,81	0,75	1,60	0,89	0,88	0,82	0,26	0,20	0,28
STR5-V-Y	13,20	23,94	14,47	1,01	1,46	0,66	1,76	1,48	0,98	0,97	0,96	0,26	0,20	0,28
STR6-V+X	13,20	23,94	14,47	1,01	1,51	0,63	1,50	1,39	0,97	0,96	0,95	0,26	0,20	0,28
STR6-V-X	13,20	23,94	14,47	1,01	1,48	0,65	1,34	1,54	0,94	0,93	0,89	0,26	0,20	0,28
STR7	13,20	23,94	14,47	1,01	1,39	0,72	1,08	1,54	0,92	0,91	0,86	0,26	0,20	0,28
SLV 1	13,20	23,94	14,47	1,01	1,43	0,69	1,17	1,52	0,92	0,92	0,87	0,26	0,20	0,28
SLV 2	13,20	23,94	14,47	1,01	1,49	0,65	1,32	1,49	0,92	0,92	0,87	0,26	0,20	0,28
SLV 3	13,20	23,94	14,47	1,00	1,25	0,82	0,68	1,52	0,91	0,90	0,85	0,26	0,20	0,28
SLV 4	13,20	23,94	14,47	1,00	1,30	0,78	0,89	1,62	0,91	0,90	0,85	0,26	0,20	0,28
SLV 5	13,20	23,94	14,47	1,01	1,38	0,72	1,17	0,81	0,91	0,90	0,86	0,26	0,20	0,28
SLV 6	13,20	23,94	14,47	1,02	2,04	0,25	-8,41	-4,46	0,08	0,01	0,02	0,26	0,20	0,28
SLV 7	13,20	23,94	14,47	1,02	2,05	0,23	-18,40	-9,62	0,10	0,02	0,02	0,26	0,20	0,28
SLV 8	13,20	23,94	14,47	1,02	2,36	0,01	-17,69	-7,18	0,07	-0,01	0,01	0,26	0,20	0,28

Tabella 17 – Blocco B0a – coefficienti riduttivi

Nella seguente tabella si riportano, per ogni combinazione di carico, i valori del coefficiente di sicurezza ottenuti.

	Verifica a carico limite														μ CL	μ oltre Limite
	(M' _{tras}) + F' _{tras} * (H+h)	(M' _{lon}) + F' _{long} * (H+h)	M' _{tras,sa}	M' _{ballast}	M _{LM71}	M _{SISMA}	F' _z	F' _{tras}	F' _{long}	e _{tras}	e _{long}	Carico limite	μ CL	μ oltre Limite		
	kN*m	kN*m	kN*m	kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN	cm	cm	kN	-	-		
STR1	3,64	-1,07	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	-1,02	-0,14	21,63	0,69	121,87	0,34	2,3		
STR2-V+V	58,83	-4,60	-7,14	-25,66	-3,42	0,00	160,30	5,76	-0,59	36,70	2,87	91,73	0,25	2,3		
STR2-V-X	-39,67	-4,60	-7,14	-25,66	0,00	0,00	160,30	-8,26	-0,59	48,08	2,87	81,22	0,22	2,3		
STR3-V+X	3,64	-1,07	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	-1,02	-0,14	21,63	0,69	121,87	0,34	2,3		
STR3-V-X	86,61	-4,60	-7,14	-25,66	0,00	0,00	160,30	9,50	-0,59	54,03	2,87	75,10	0,20	2,3		
STR4-V+X	-67,45	-4,60	-7,14	-25,66	0,00	0,00	160,30	-12,01	-0,59	65,41	2,87	62,01	0,17	2,3		
STR4-V-X	82,44	-3,67	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	10,46	-0,47	52,63	2,34	75,47	0,21	2,3		
STR5-V+Y	-75,16	-3,67	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	-12,50	-0,47	71,27	2,34	55,66	0,15	2,3		
STR5-V-Y	3,64	13,38	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	-1,02	2,19	20,94	8,54	115,00	0,32	2,3		
STR6-V+X	3,64	-20,72	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	-1,02	-3,13	34,17	13,23	85,88	0,24	2,3		
STR6-V-X	58,80	8,26	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	7,01	1,39	42,82	5,28	82,12	0,23	2,3		
STR7	-55,00	8,26	-7,14	-25,66	0,00	0,00	156,62	-9,05	1,39	56,06	5,28	70,52	0,20	2,3		
SLV 1	46,62	6,80	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	115,80	5,30	1,70	46,13	5,87	78,68	0,30	2,3		
SLV 2	27,48	-8,23	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	115,80	5,30	-1,89	42,28	7,11	78,78	0,30	2,3		
SLV 3	-41,76	6,80	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	115,80	-6,66	1,70	71,24	5,87	55,52	0,21	2,3		
SLV 4	-29,33	-1,54	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	101,35	-6,66	-1,89	70,64	1,52	58,78	0,25	2,3		
SLV 5	9,94	43,47	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	101,35	1,11	5,89	52,71	42,90	38,19	0,16	2,3		
SLV 6	-5,09	24,34	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	101,35	-2,47	5,89	45,21	24,02	55,78	0,24	2,3		
SLV 7	9,94	-44,90	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	101,35	1,11	-6,07	84,49	44,31	16,53	0,07	2,3		
SLV 8	-6,87	-35,19	-7,14	-17,11	-0,59	-15,89	101,35	-2,47	-6,07	81,69	34,72	23,67	0,10	2,3		

Tabella 18 – Blocco B0a – Verifica a carico limite

Si segnala che nella verifica a carico limite del terreno di fondazione il valore del coefficiente di sicurezza (FS=2.3) è stato considerato come moltiplicatore delle azioni verticali

Dalle analisi condotte emerge che per tutte le combinazioni di carico analizzate le verifiche al carico limite non risultano soddisfatte!

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W LOTTO 01 CODIFICA D 78 RH DOCUMENTO LC0000 001 REV. A FOGLIO 29 di 48

6.2.2 Aspetti di inapplicabilità del blocco standard

Dalle analisi condotte nei paragrafi precedenti sul due blocco standard che dal piano di elettrificazione risulta essere di maggior impiego (blocco B0a), ed effettuate con i criteri di calcolo indicati nella Specifica RFI [D.1] con l'attribuzione dei parametri meccanici dei terreni risultati dalla più recente campagna di indagine, emerge quindi che per le verifiche a scorrimento ed a carico limite i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti non soddisfano i valori minimi richiesti dalla normativa. Tale criticità è da ricercare nelle scarse caratteristiche geomeccaniche dei terreni lungo linea. Infatti, come già descritto in precedenza, i valori caratteristici dei parametri di resistenza del rilevato ferroviario esistente risultano essere inferiori a quelli prescritti dal capitolato RFI [D.4].

Si vuole inoltre osservare che anche modificando la carpenteria del blocco di fondazione standard aumentando le dimensioni del lato parallelo ai binari, anche fino a 5m, le verifiche non risultano soddisfatte. Infatti, aumentando tale dimensione aumenta anche la spinta destabilizzante del ballast; si vedano in proposito i coefficienti di sicurezza riportati nella seguente tabella effettuati per il blocco standard B0a ma con lato parallelo al binario di 5m.

	Verifica allo scorrimento in senso ortogonale ai binari							Verifica allo scorrimento in senso ortogonale ai binari				FS	
	AZIONI INSTABILIZZANTI							AZIONI STABILIZZANTI					
	F _{tras} kN	S _{ax} kN	S _{ballast} kN	S _{LMTI} kN	F _{ribotta} kN	F _{LATO BINARIO} kN	F _{LATO ESTERNO} kN	F [*] *tang(6) kN	PP [*] *tang(6) kN	Cont. Laterale [*] *tang(6) kN	F _{attr} kN	μ _{attr LATO ESTERNO} -	μ _{attr Limite} -
STR1	-1,02	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-157,66	5,64	158,21	6,06	169,90	0,980	1,10
STR2-V+V	5,76	-27,04	-129,60	-44,63	0,00	5,76	-201,27	7,51	158,21	6,06	171,78	0,776	1,10
STR2-V-X	-8,26	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-164,90	7,51	158,21	6,06	171,78	0,947	1,10
STR3-V+X	9,50	-27,04	-129,60	0,00	0,00	9,50	-156,64	7,51	158,21	6,06	171,78	0,997	1,10
STR3-V-X	-12,01	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-168,65	7,51	158,21	6,06	171,78	0,926	1,10
STR4-V+X	10,46	-27,04	-129,60	0,00	0,00	10,46	-156,64	5,64	158,21	6,06	169,90	0,986	1,10
STR4-V-X	-12,50	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-169,14	5,64	158,21	6,06	169,90	0,913	1,10
STR5-V+Y	-1,02	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-157,66	5,64	158,21	6,06	169,90	0,980	1,10
STR5-V-Y	-1,02	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-157,66	5,64	158,21	6,06	169,90	0,980	1,10
STR6-V+X	7,01	-27,04	-129,60	0,00	0,00	7,01	-156,64	5,64	158,21	6,06	169,90	0,986	1,10
STR6-V-X	-9,05	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-165,69	5,64	158,21	6,06	169,90	0,932	1,10
STR7	-1,00	-27,04	-129,60	0,00	0,00	0,00	-157,64	4,61	158,21	6,06	168,88	0,974	1,10
SLV 1	5,30	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	5,30	-223,74	4,06	137,01	10,41	151,48	0,615	1,10
SLV 2	5,30	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	5,30	-223,74	4,06	137,01	10,41	151,48	0,615	1,10
SLV 3	-6,66	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	0,00	-230,40	4,06	137,01	10,41	151,48	0,598	1,10
SLV 4	-6,66	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	0,00	-230,40	4,06	137,01	10,41	151,48	0,598	1,10
SLV 5	1,11	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	1,11	-223,74	4,06	137,01	10,41	151,48	0,615	1,10
SLV 6	-2,47	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	0,00	-226,21	4,06	137,01	10,41	151,48	0,609	1,10
SLV 7	1,11	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	1,11	-223,74	4,06	137,01	10,41	151,48	0,615	1,10
SLV 8	-2,47	-46,43	-86,40	-7,69	-83,21	0,00	-226,21	4,06	137,01	10,41	151,48	0,609	1,10

Tabella 19 – Blocco B0a – Verifica a scorrimento con lato parallelo al binario di 5m

Si segnala altresì che aumentare la dimensione del blocco di fondazione nel lato parallelo al binario non risulta comunque conveniente in quanto ai fini dell'esercizio ferroviario non si ritiene accettabile aprire uno scavo di dimensioni così rilevanti in prossimità del binario, senza peraltro prevedere opere di sostegno o addirittura monitorarne eventuali cedimenti.

D'altra parte, non si ritiene neanche conveniente aumentare la dimensione del blocco nel lato ortogonale al binario in quanto il plinto, nel caso di rilevato "uscirebbe" fuori dal corpo dello stesso, diversamente nel caso in trincea aumenterebbero di molto gli scavi con la conseguenza di dover prevedere opere di sostegno che farebbero aumentare i costi. Si veda in proposito le considerazioni contenute nel prossimo paragrafo.

6.3 VERIFICA DEL BLOCCO STANDARD NEL CONTESTO GEOMETRICO DELLA LINEA ESISTENTE

6.3.1 Piattaforma ferroviaria esistente – aspetti di inapplicabilità del blocco standard

Le lavorazioni per la realizzazione dell'elettificazione della linea esistente non prevedono interventi sul sedime ferroviario ad eccezione degli scavi per la posa dei blocchi dei pali TE e del ripristino dei collegamenti, ove necessario, dei fossi di guardia in modo da garantire la continuità idraulica.

La linea ferroviaria risulta essere stata realizzata secondo un progetto del 1900 circa; la piattaforma del corpo ferroviario ha caratteristiche geometriche diverse dagli standard adottati attualmente da RFI [D.3] nelle quali si considera una larghezza della piattaforma di 8.40m, si veda in proposito la figura seguente.

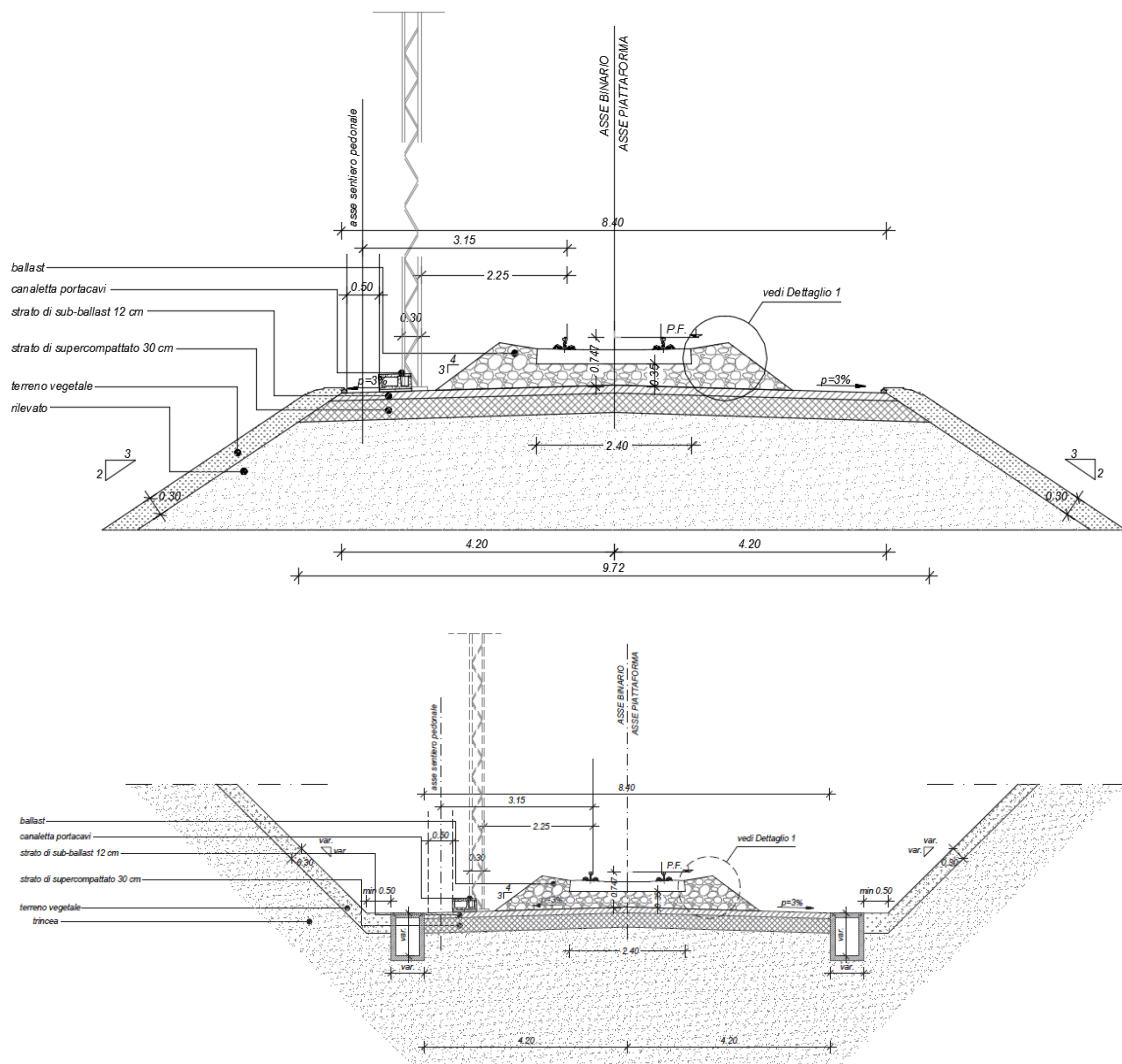


Figura 5: RFI Manuale di Progettazione [D.3] – Sezione tipo in rilevato e trincea per singolo binario

La cartografia a disposizione del Progetto Definitivo ed i sopralluoghi eseguiti lungo linea hanno evidenziato una larghezza della piattaforma esistente inferiore allo standard RFI, in particolare nella tratta Lamezia Terme - Settingiano la larghezza della piattaforma è all'incirca pari a 5,50 m, sia in trincea che in rilevato; si vedano in proposito le seguenti figure.

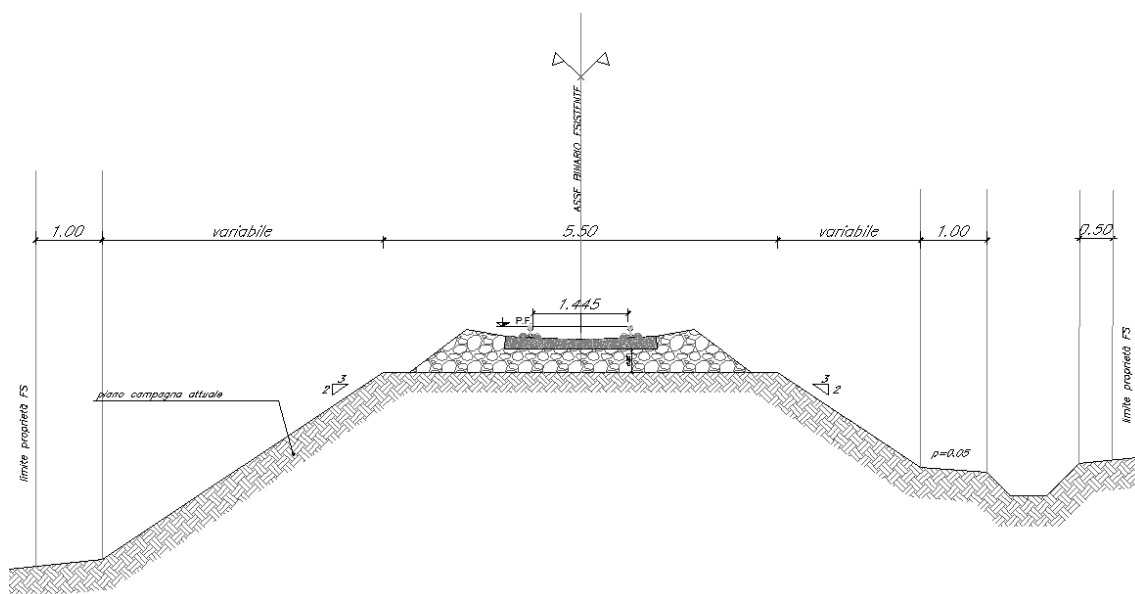


Figura 6: Tratta Lamezia T. Settingiano – Sezione tipo esistente in rilevato singolo binario

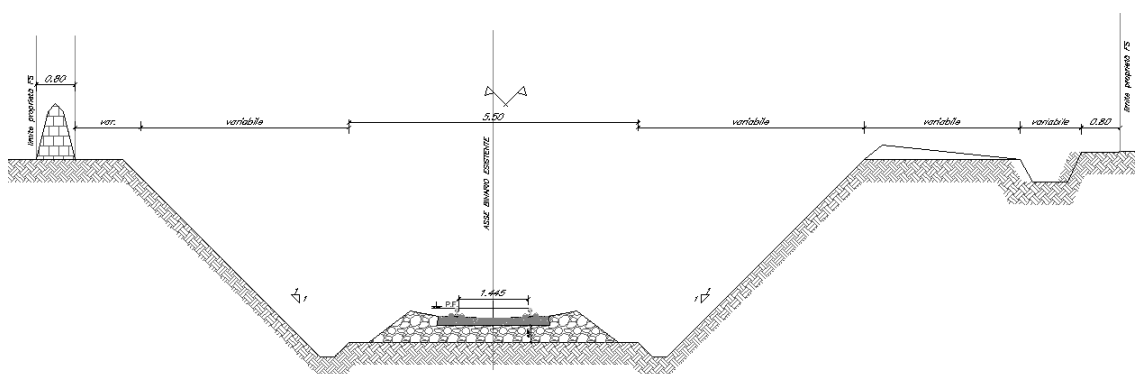


Figura 7: Tratta Lamezia T. Settingiano – Sezione tipo esistente in trincea singolo binario

In una tale configurazione può risultare che i blocchi standard, per via delle loro dimensioni, possano uscire fuori dal corpo del rilevato ferroviario o essere totalmente scoperti, come mostra la seguente Figura 8:

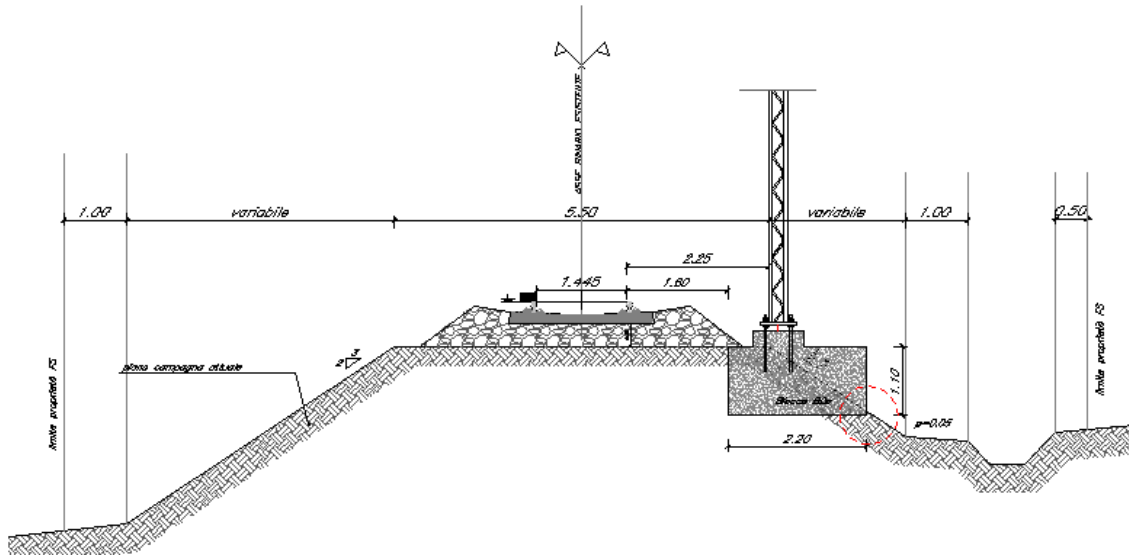


Figura 8: Sezione tipologica esistente in rilevato – Impiego del blocco tipologico RFI B0a

Diversamente nelle sezioni in trincea, con l'impiego di blocchi standard per via delle loro dimensioni, si dovrebbe realizzare un ampio scavo nella scarpata esistente; diversamente sarebbe necessario prevedere opere provvisorie quali palancole o paratie di micropali.

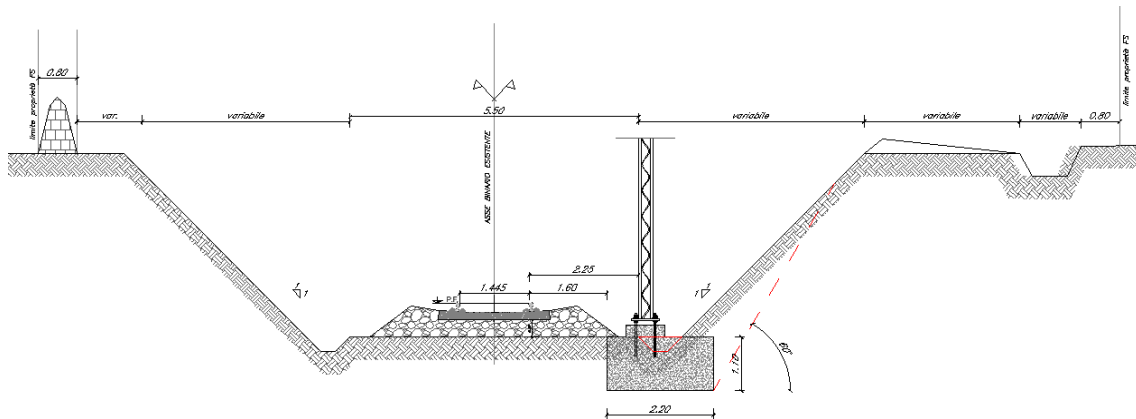


Figura 9: Sezione tipologica esistente in trincea – Impiego del blocco tipologico RFI B0a

6.3.2 Interferenze esistenti – aspetti di inapplicabilità del blocco standard

Nei tratti in trincea le canalizzazioni idrauliche risultano essere interferenti con i blocchi di fondazione dei sostegni, come già mostrato dalla Figura 9. Tale interferenza, vanifica l'impiego del blocco standard "tal quale" a meno di non prevederne una modifica della sua carpenteria: approfondendo il blocco e spostando il colonnino verso l'esterno della piattaforma. Tali modifiche comporterebbero comunque l'adozione di un blocco diverso dallo standard.

Si osserva inoltre che anche l'impiego di un Blocco standard di tipo P (fondazioni ad ingombro ridotto [D.2]) non garantirebbe comunque risultati soddisfacenti, in quanto:

- per via della loro minore base, rispetto al blocco standard, le verifiche a scorrimento non risulterebbero comunque soddisfatte;
- a causa della loro maggiore altezza, rispetto al blocco standard, oltre che aumentare la spinta destabilizzante del ballast si avrebbe anche l'inconveniente forse maggiore di approfondire lo scavo a ridosso del binario esistente.

7 ANALISI SOLUZIONE E NUOVO TIPOLOGICO

Sulla base delle problematiche relative all'utilizzo dei blocchi standard illustrate nei precedenti paragrafi, si è deciso quindi di adottare un nuovo tipologico di plinto di fondazione per pali LSU da realizzarsi con fondazioni profonde attraverso l'impiego di micropali di diametro Ø250mm.

La scelta dei micropali in luogo dei pali di medio diametro è stata effettuata in considerazione di un duplice aspetto:

- metodologia realizzativa;
- criteri di calcolo.

In riferimento alla metodologia realizzativa i micropali hanno il vantaggio, rispetto ai pali di medio o grande diametro, dall'essere caratterizzati da lavorazioni più "flessibili", infatti:

- sono realizzati con macchinari di dimensione ridotta, il che implica un più facile trasporto, anche lungo linea, della macchina perforatrice ed una migliore manovrabilità in spazi ridotti; aspetto da apprezzare in considerazione delle caratteristiche geometriche delle piattaforme esistenti;
- per le ridotte dimensioni del micropalo è possibile trovare più facilmente spazi di deposito o di stoccaggio disponibili nei pressi del luogo di lavoro ovvero trasportali lungo linea per mezzo di carri ed effettuare la loro movimentazione.

In riferimento ai criteri di calcolo (metodo di Bustamante e Doix (1985)) i micropali hanno inoltre il vantaggio:

- di non essere influenzati dalla presenza della falda;
- poiché il metodo di Bustamante e Doix si basa sui risultati delle sole prove SPT risulta essere più speditivo se confrontato ai dati relativi alla caratterizzazione geotecnica dei terreni necessari per la applicazione dei metodi di calcolo dei pali di medio e grande diametro, pertanto risulta maggiormente adattabile ad una caratterizzazione della linea così estesa.

7.1 DR (Distanza Rotaia – Palo LSU)

Con riferimento alla Dr (distanza interno rotaia - filo palo TE), nel nuovo tipologico adottato, questa risulta essere maggiore di quella standard prevista dalle sezioni RFI [D.3] e pari a 2.25m.

Nello specifico si adotterà la seguente Dr, in Piano/Trincea/Rilevato:

- per Pali LSU 14 ÷ LSU 16 pari a 2.55 m;
- per Pali LSU 18 ÷ LSU 22 pari a 2.50 m;

Ai fini del calcolo del blocco palo, al fine di superare eventuali ostacoli, in particolari situazioni che prevedibilmente si potrebbero presentare nei marciapiedi delle stazioni, è stata adottata una Dr massima pari a 2,75m indipendente dalla tipologia del sostegno.

7.2 NUOVO TIPOLOGICO DI FONDAZIONE PER PALI LSU

Il nuovo tipologico prevede che il plinto di fondazione per pali LSU sia realizzato su tre micropali Ø250 armati con tubi Ø168.3 sp=10mm valvolati con lunghezza complessiva pari a 7.50m disposti con gli assi coincidenti con i vertici di un triangolo equilatero.

Tale tipologia di plinto ha il vantaggio di soddisfare tutte le verifiche richieste dalla Normativa Tecnica RFI e di presentare una carpenteria molto contenuta se confrontata ad un blocco palo standard, non influenzando negativamente sugli scavi da realizzare e soprattutto limitando notevolmente questi ultimi in prossimità del binario esistente.

Per i blocchi palo LSU sono state sviluppate due distinte tipologie di plinto: una per il rilevato ed una per la trincea. Nei tratti in trincea la fondazione del palo TE e dell'eventuale Tirante a Terra è sagomata in modo da inglobare la canaletta idraulica, il cui fondo è impermeabilizzato con malta bicomponente elastica a base cementizia, spessore min. 2 mm - tipo Mapelast, e coperta con beola in calcestruzzo. La canaletta idraulica si raccorda al fosso di guardia esistente mediante un manufatto a sezione trapezia in calcestruzzo armato, da realizzarsi nell'ambito della posa del blocco di fondazione.

La eventuale canaletta porta-cavi, di larghezza pari a 0,50 m, ubicata sulla piattaforma ferroviaria in corrispondenza del palo T.E. ed è protetta dalla veletta paraballast, di altezza non inferiore a 0,70 m min. e di spessore pari a 0,15 m con la funzione di contenimento locale del ballast in particolare nei casi di binario in curva.

L'inserimento dei blocchi di fondazione sulla sede ferroviaria esistente ha comportato anche:

- la realizzazione dei necessari raccordi fra la canaletta idraulica e il fosso di guardia;
- la deviazione della cunetta/fossa idraulica in corrispondenza dei blocchi di portale;
- la eventuale realizzazione delle velette paraballast o delle velette di contenimento della scarpata sui blocchi di fondazione dei portali;
- la posa di 4 m di canaletta portacavi con fondo rialzato per l'intera estensione longitudinale dei blocchi di fondazione oltre a 4,00 m necessari raccordi alla dorsale in corrispondenza di ogni blocco di fondazione di tratta

Nelle seguenti figure 10 e 11 viene riportato il tipologico di fondazione per la sezione in rilevato per pali da LSU 14 a LSU 22. Nelle figure 12 e 13 si riporta il tipologico di fondazione per la sezione in trincea per pali da LSU 14 a LSU 22.

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 36 di 48
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

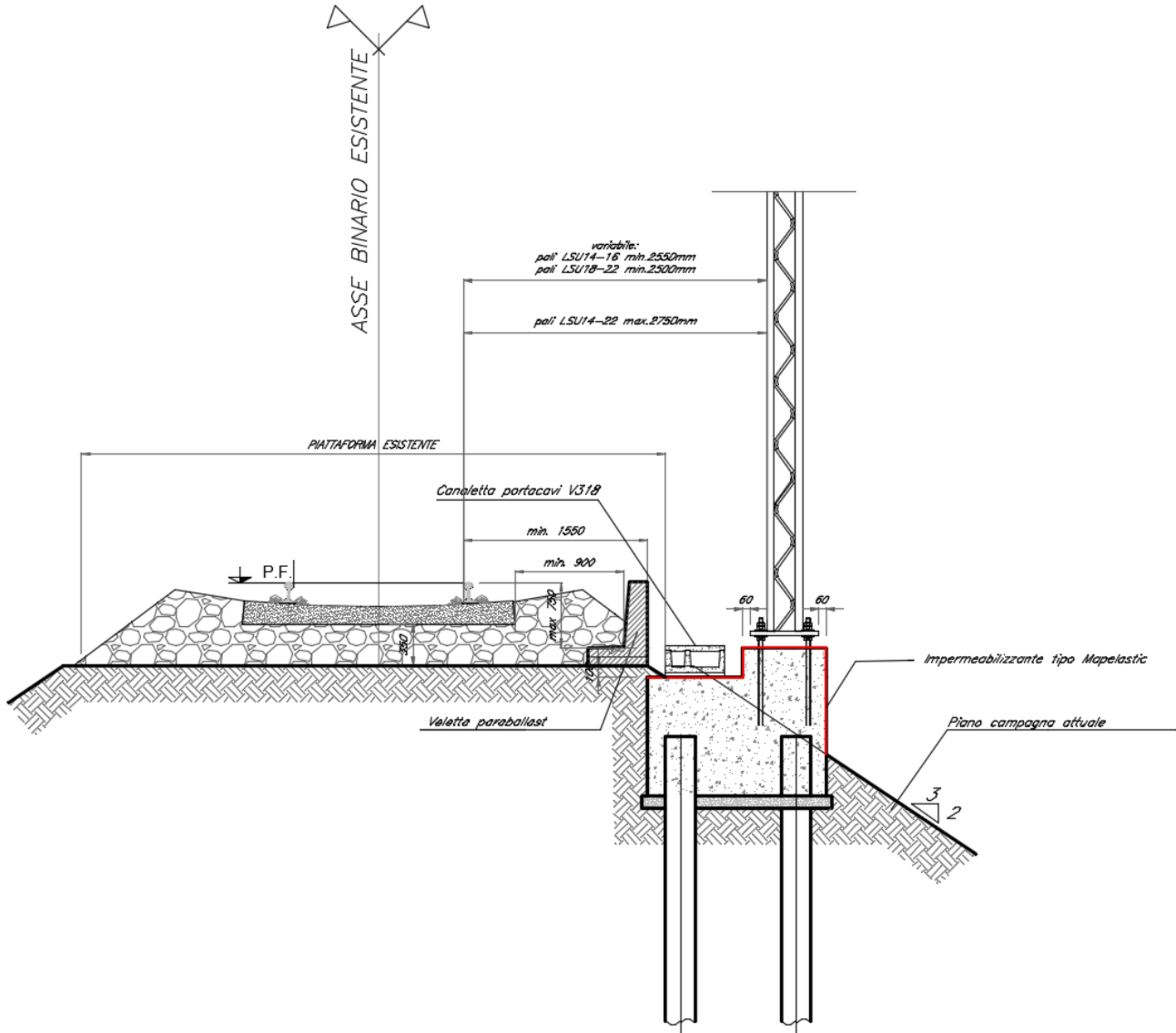


Figura 10: Fondazioni per pali LSU – Sezione tipologica in rilevato singolo binario

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA
RC0W

LOTTO
01

CODIFICA
D 78 RH

DOCUMENTO
LC0000 001

REV.
A

FOGLIO
37 di 48

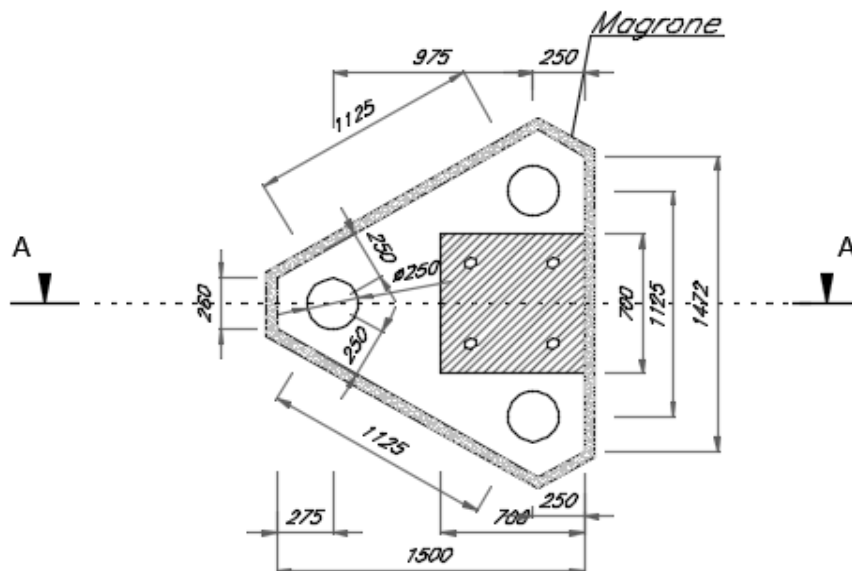
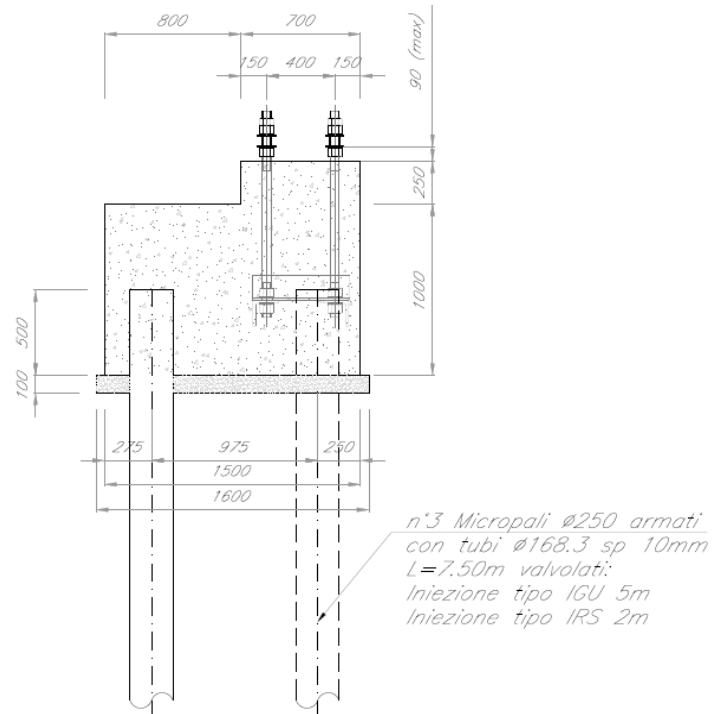


Figura 11: Fondazioni per pali LSU – Sezione tipologica in rilevato singolo binario – Carpenteria blocco

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA
RC0W

LOTTO
01

CODIFICA
D 78 RH

DOCUMENTO
LC0000 001

REV.
A

FOGLIO
38 di 48

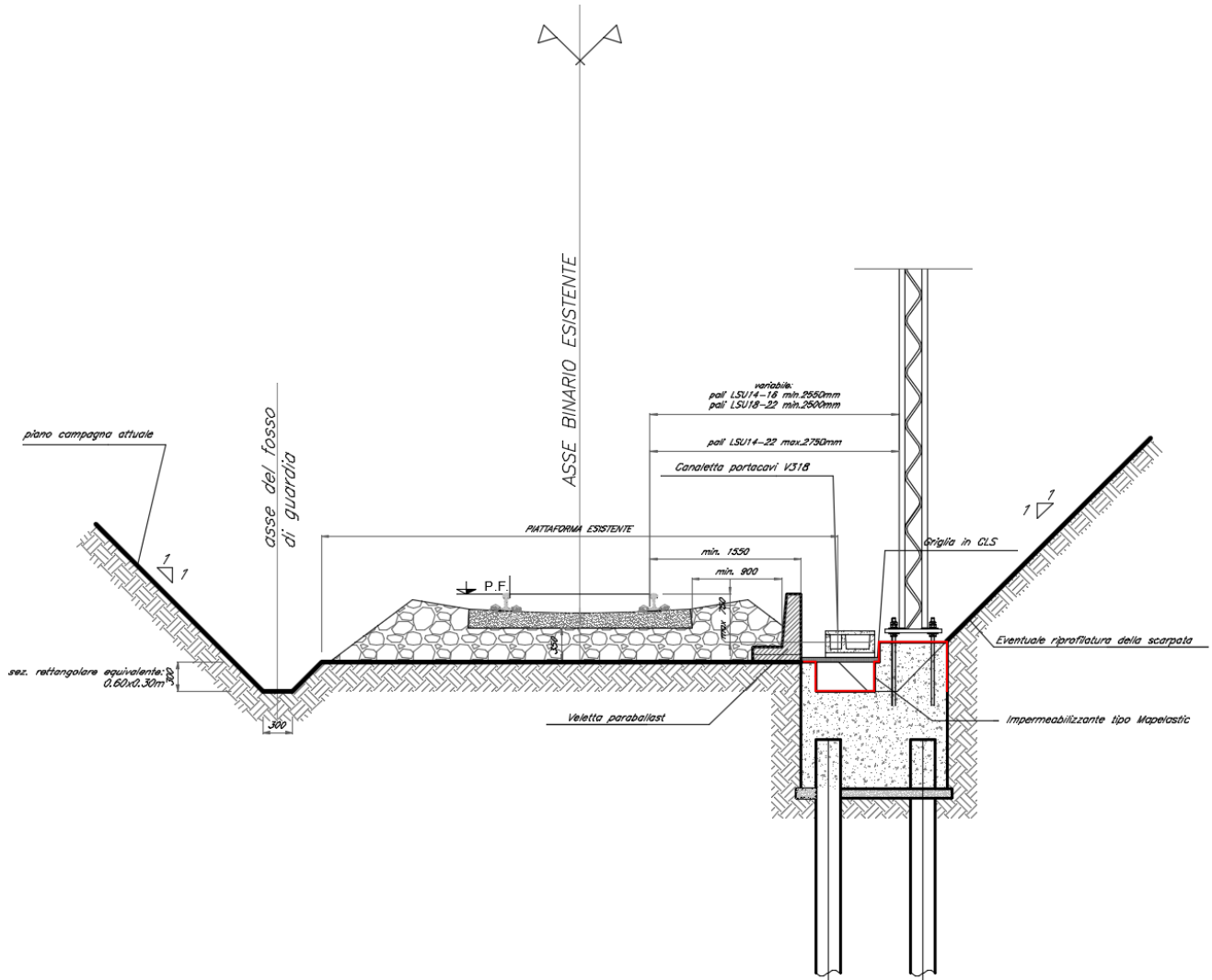


Figura 12: Fondazioni per pali LSU – Sezione tipologica in trincea singolo binario

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 39 di 48
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

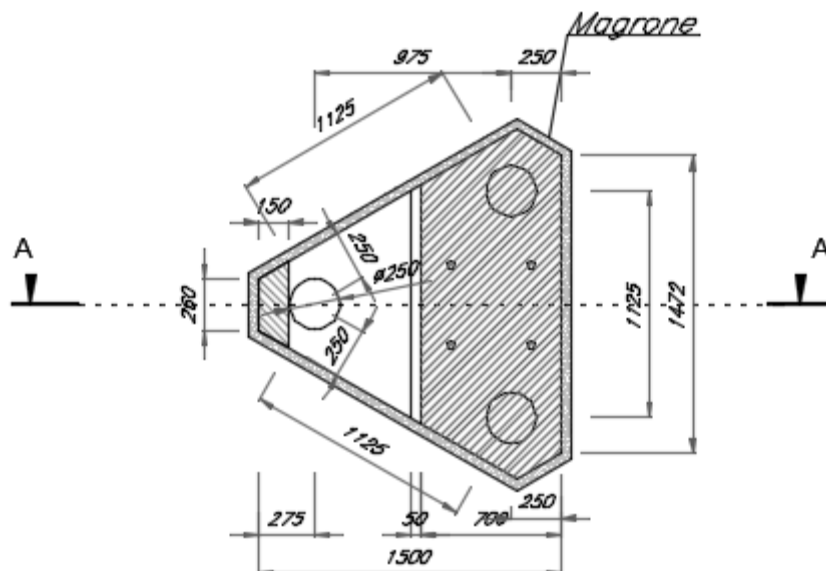
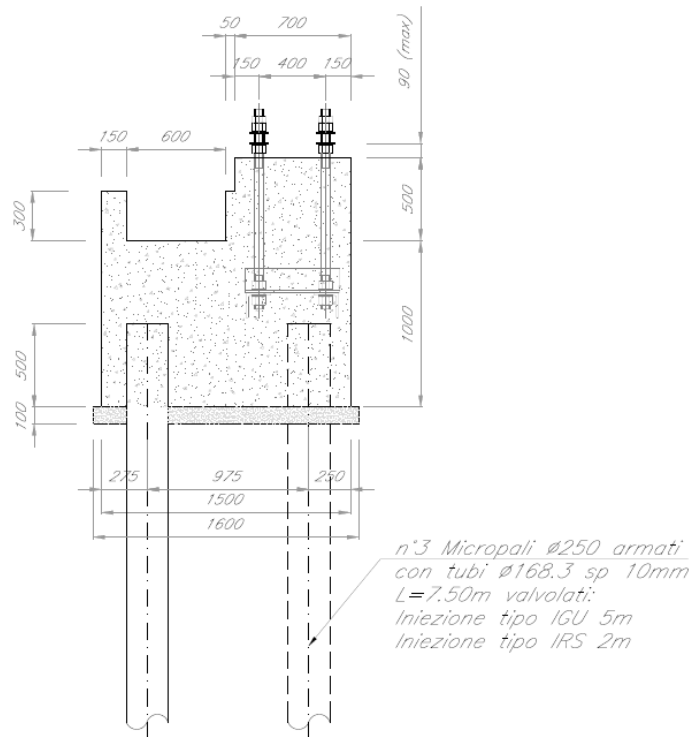



Figura 13: Fondazioni per pali LSU – Sezione tipologica in trincea singolo binario – Carpenteria blocco

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. – CATANZARO L. (Lotto 01)					
Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18	COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 40 di 48

7.3 NUOVO TIPOLOGICO DI FONDAZIONE PER PALI LSU “SPECIALI”

Di seguito si riporta la descrizione delle carpenterie dei blocchi palo speciali:

- Tirante a terra
- Trave MEC
- Portale di Ormeggio

7.3.1 Tipologico per Tirante a Terra

Il nuovo tipologico prevede che il plinto di fondazione sia realizzato su tre micropali Ø250 armati con tubi Ø168.3 sp=12.5mm valvolati con lunghezza complessiva pari a 7.50m disposti con gli assi coincidenti con i vertici di un triangolo equilatero.

Per i blocchi palo LSU sono state sviluppate due distinte tipologie di plinto: una per il rilevato ed una per la trincea. Nei tratti in trincea la fondazione è sagomata in modo da inglobare la canaletta idraulica, il cui fondo è impermeabilizzato con malta bicomponente elastica a base cementizia, spessore min. 2 mm - tipo Mapelastick, e coperta con beola in calcestruzzo. La canaletta idraulica si raccorda al fosso di guardia esistente mediante un manufatto a sezione trapezia in calcestruzzo armato, da realizzarsi nell’ambito della posa del blocco di fondazione.

La eventuale canaletta porta-cavi, di larghezza pari a 0,50 m, ubicata sulla piattaforma ferroviaria in corrispondenza del palo T.E. ed è protetta dalla veletta paraballast, di altezza non inferiore a 0,70 m min. e di spessore pari a 0,15 m con la funzione di contenimento locale del ballast in particolare nei casi di binario in curva.

L’inserimento dei blocchi di fondazione sulla sede ferroviaria esistente ha comportato anche:

- la realizzazione dei necessari raccordi fra la canaletta idraulica e il fosso di guardia;
- la deviazione della cunetta/fossa idraulica in corrispondenza dei blocchi di portale;
- la eventuale realizzazione delle velette paraballast o delle velette di contenimento della scarpata sui blocchi di fondazione dei portali;

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 41 di 48
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

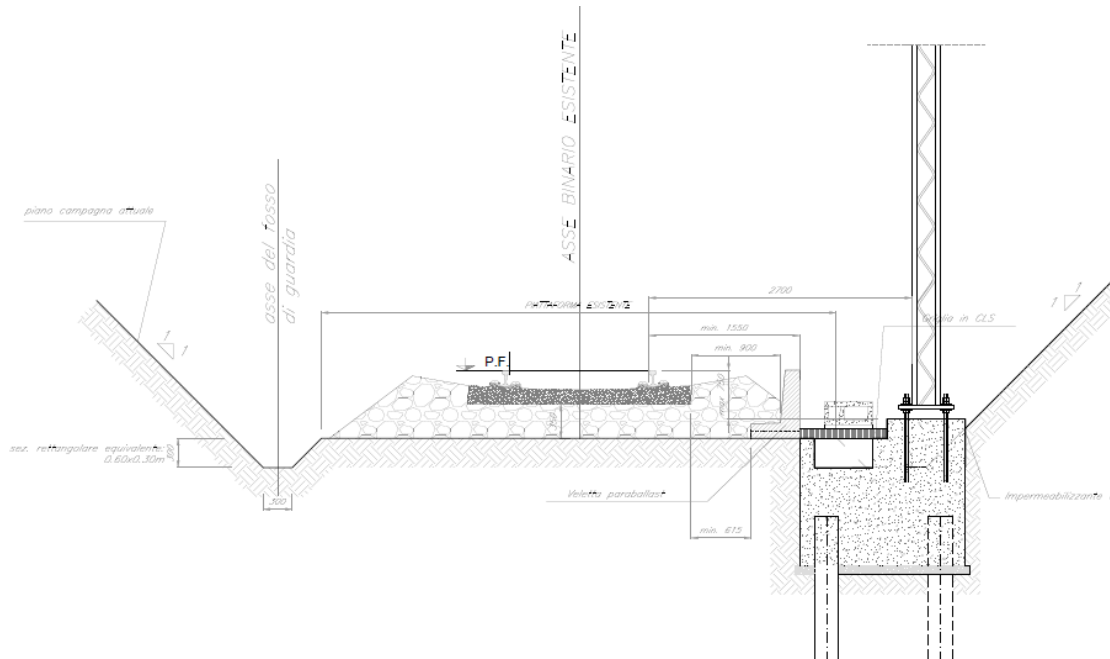


Figura 14: Fondazioni per Tirante a Terra – Sezione tipologica in Trincea singolo binario

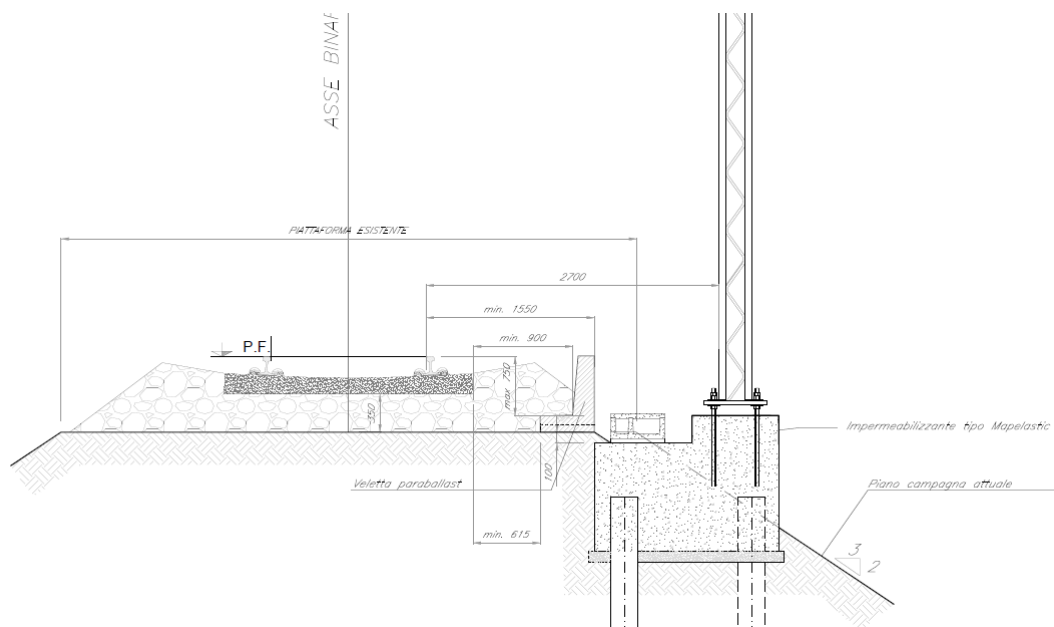
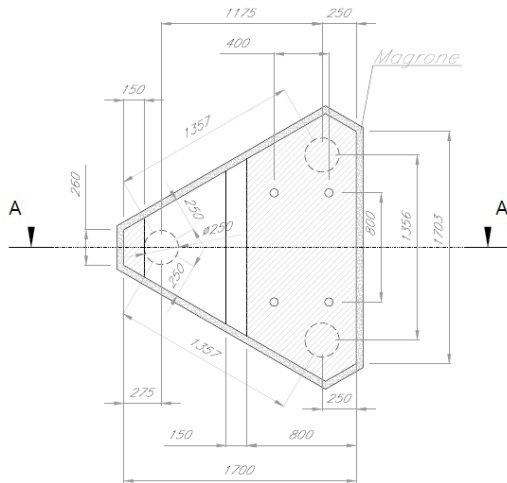


Figura 15: Fondazioni per Tirante a Terra – Sezione tipologica in Rilevato singolo binario

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 42 di 48
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

PIANTA
scala 1:20 (quote espresse in mm)



SEZIONE A-A
scala 1:20 (quote espresse in mm)

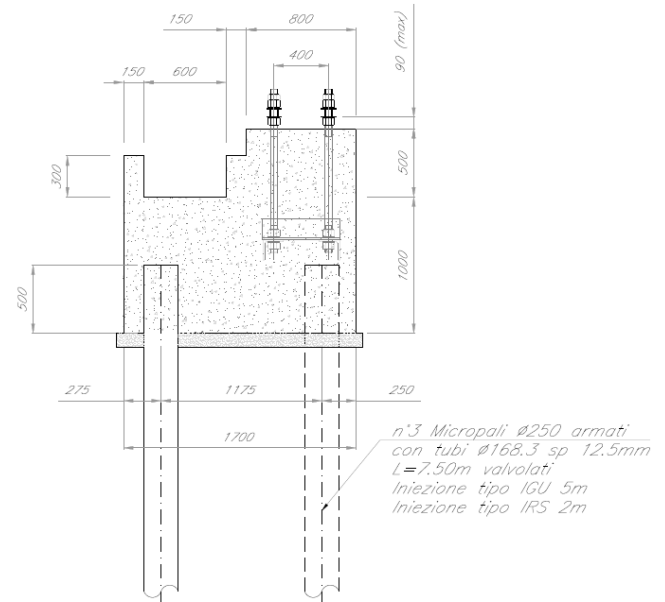


Figura 16: Fondazioni per Tirante a Terra – Sezione tipologica in Rilevato singolo binario

7.3.2 Tipologico per Trave MEC

Il nuovo tipologico prevede che il plinto di fondazione sia realizzato su quattro micropali Ø250 armati con tubi Ø168.3 sp=10mm valvolati con lunghezza complessiva pari a 7.50m; il plinto ha dimensioni 1.90m di lunghezza ed 1.75m di larghezza.

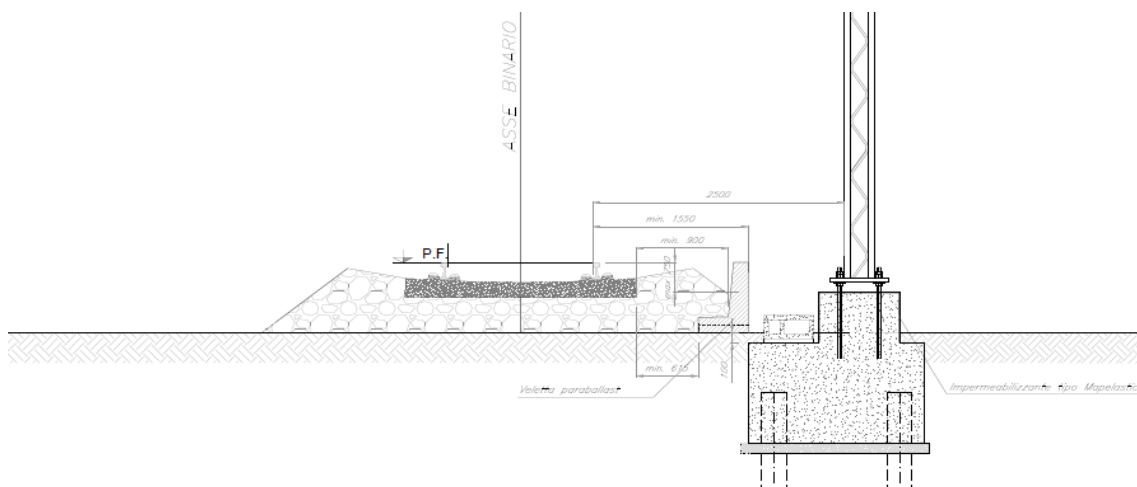


Figura 17: Fondazioni per Trave MEC – Sezione tipologica PM Tiera

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA
RC0W

LOTTO
01

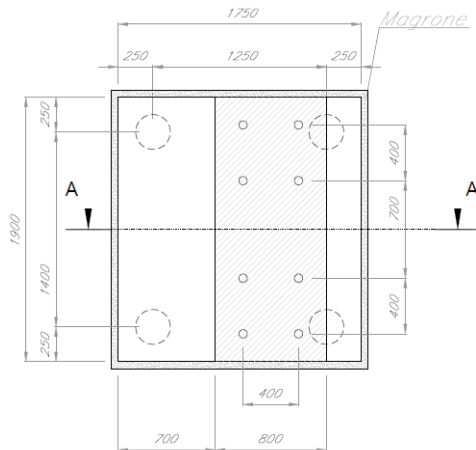
CODIFICA
D 78 RH

DOCUMENTO
LC0000 001

REV.
A

FOGLIO
43 di 48

PIANTA
scala 1:20 (quote espresse in mm)



SEZIONE A-A
scala 1:20 (quote espresse in mm)

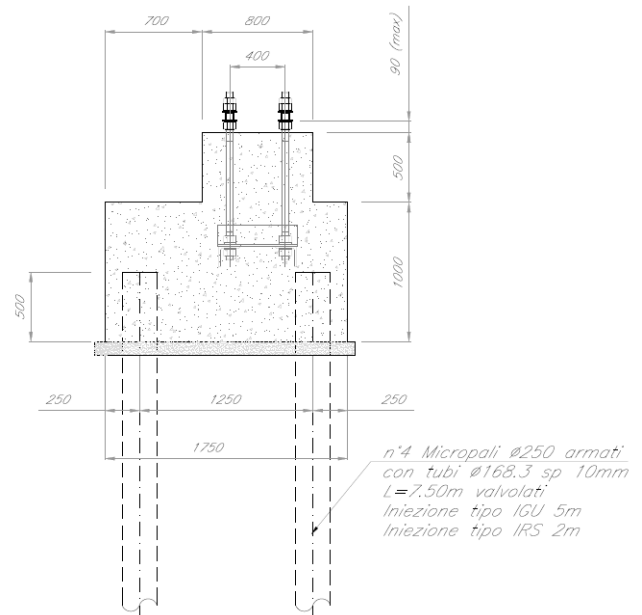


Figura 18: Fondazioni per Trave MEC – Sezione tipologica PM Tiera

7.3.3 Tipologico per Trave Portale di Ormeggio

Il nuovo tipologico prevede che il plinto di fondazione sia realizzato su sei micropali Ø250 armati con tubi Ø168.3 sp=12.5mm valvolati con lunghezza complessiva pari a 7.50m; il plinto ha dimensioni 3.10m di lunghezza e 2.00m di larghezza.

Sono state sviluppate due distinte tipologie di plinto: una per il rilevato ed una per la trincea. Nei tratti in trincea la fondazione è sagomata in modo da inglobare la canaletta idraulica, il cui fondo è impermeabilizzato con malta bicomponente elastica a base cementizia, spessore min. 2 mm - tipo Mapelastick, e coperta con beola in calcestruzzo. La canaletta idraulica si raccorda al fosso di guardia esistente mediante un manufatto a sezione trapezia in calcestruzzo armato, da realizzarsi nell'ambito della posa del blocco di fondazione.

La eventuale canaletta porta-cavi, di larghezza pari a 0,50 m, ubicata sulla piattaforma ferroviaria in corrispondenza del palo T.E. ed è protetta dalla veletta paraballast, di altezza non inferiore a 0,70 m min. e di spessore pari a 0,15 m con la funzione di contenimento locale del ballast in particolare nei casi di binario in curva.

L'inserimento dei blocchi di fondazione sulla sede ferroviaria esistente ha comportato anche:

- la realizzazione dei necessari raccordi fra la canaletta idraulica e il fosso di guardia;
- la deviazione della cunetta/fossa idraulica in corrispondenza dei blocchi di portale;
- la eventuale realizzazione delle velette paraballast o delle velette di contenimento della scarpata sui blocchi di fondazione dei portali;

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 44 di 48
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

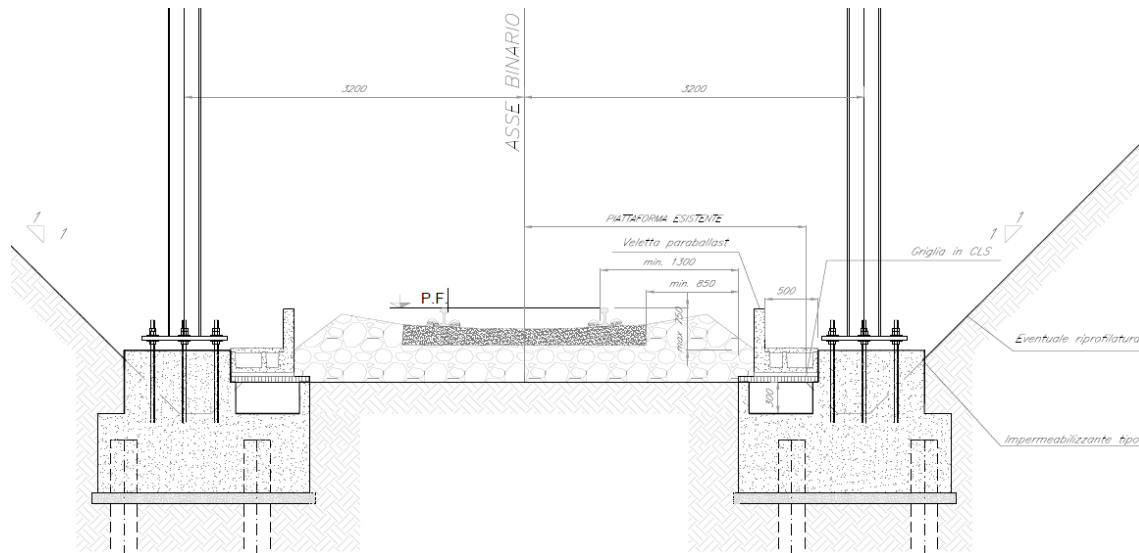
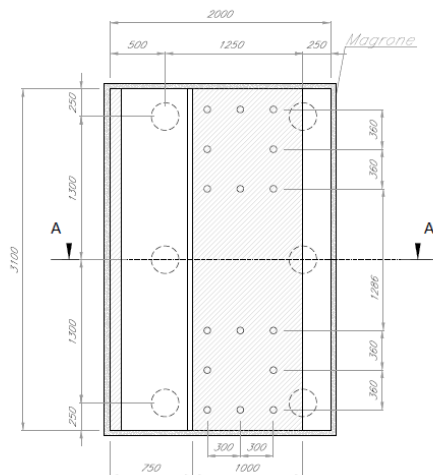


Figura 19: Fondazioni per Portale di Ormeggio – Sezione tipologica in trincea

PIANTA
scala 1:20 (quote espresse in mm)



SEZIONE A-A
scala 1:20 (quote espresse in mm)

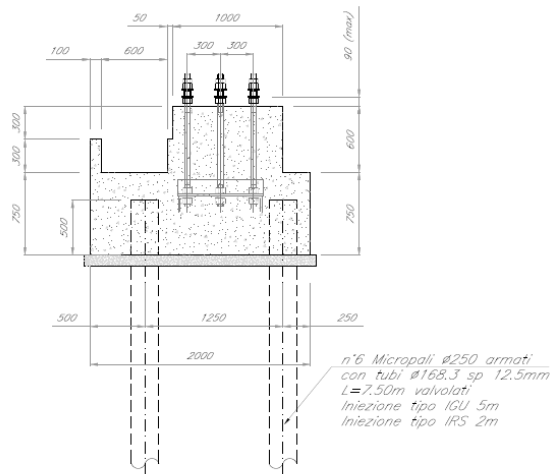


Figura 20: Fondazioni per Portale di Ormeggio – Sezione tipologica in trincea

Relazione tecnica di verifica delle fondazioni per pali LSU di piena linea ai sensi delle specifiche tecniche RFI E64864c ed E64865e e delle NTC18

COMMESSA RC0W	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO LC0000 001	REV. A	FOGLIO 45 di 48
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

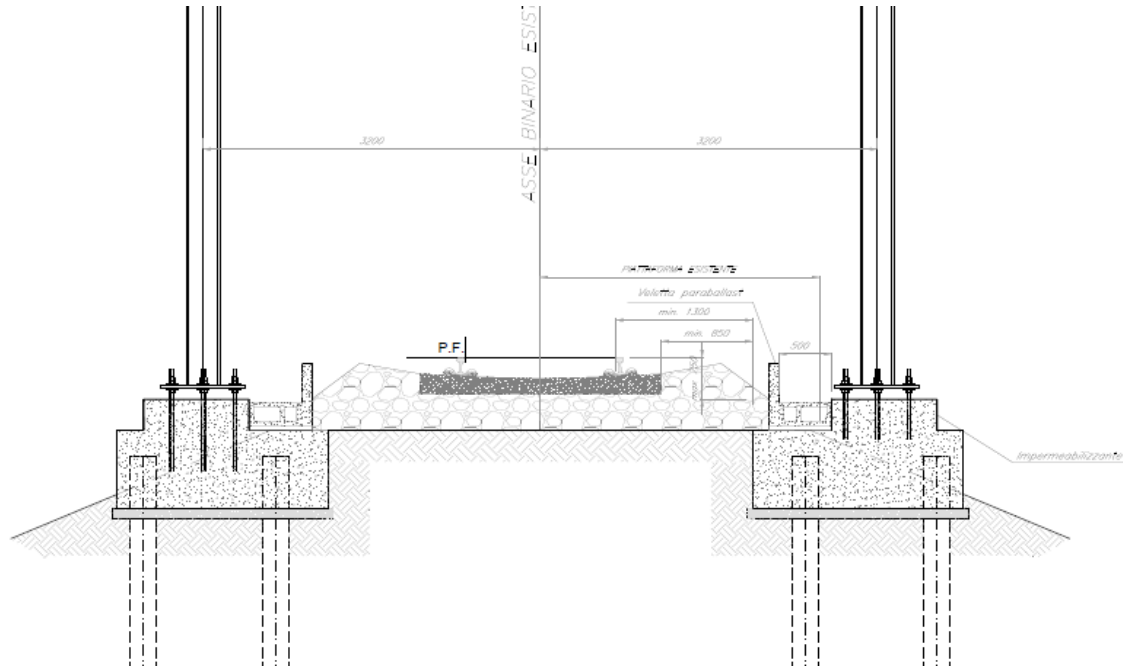
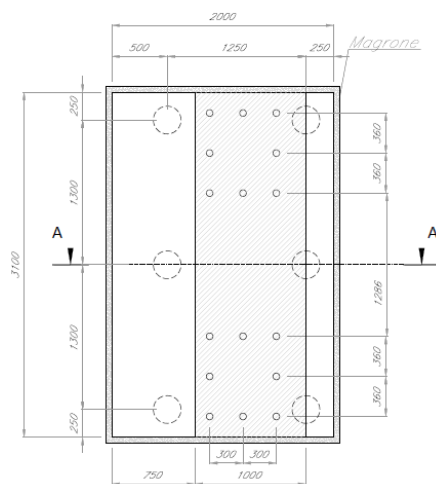


Figura 21: Fondazioni per Portale di Ormeggio – Sezione tipologica in rilevato

PIANTA
scala 1:20 (quote espresse in mm)



SEZIONE A-A
scala 1:20 (quote espresse in mm)

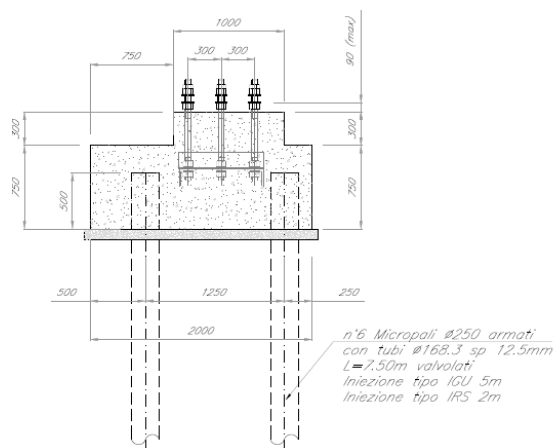


Figura 22: Fondazioni per Portale di Ormeggio – Sezione tipologica in rilevato

7.4 VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE CANALETTE ESISTENTI

Nei tratti in trincea la fondazione del palo T.E. è sagomata in modo da inglobare la canaletta idraulica, il cui fondo è impermeabilizzato con malta bicomponente elastica a base cementizia, sp. min. 2 mm - tipo Mapelastic, e coperta con una beola in calcestruzzo. La canaletta idraulica si raccorda al fosso di guardia esistente mediante un manufatto a sezione trapezia in calcestruzzo armato.

Le dimensioni del fosso trapezio esistente al piede della trincea e la dimensione minima della canaletta da prevedere all'interno della carpenteria di fondazione del blocco palo sono state desunte dalle sezioni tipo del profilo storico fornito da RFI. In particolare risulta quanto segue:

- fosso trapezio presente al piede della scarpata della trincea di dimensioni 0.30m base minore, 0.30m altezza e pendenza delle scarpate 1 su 1;
- sezione rettangolare equivalente del fosso trapezio con dimensioni 0.60m di base e 0.30m di altezza.

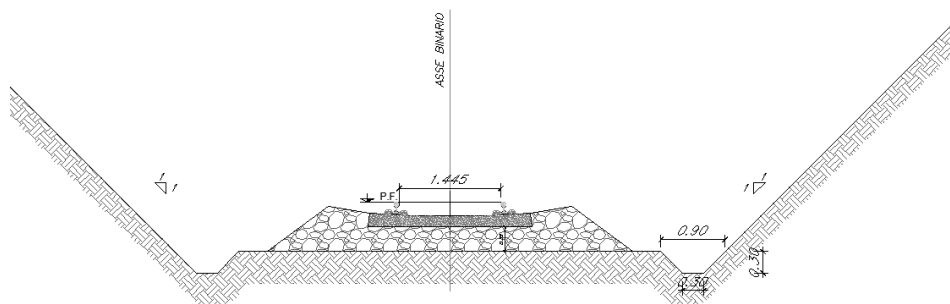


Figura 23 –Sezione tipologica in trincea a singolo binario

7.4.1 Opere per eventuali sistemazioni idrauliche

Nella eventualità che lungo la linea si possano incontrare dei fossi di dimensioni maggiori di quelle costituenti il fosso trapezio della sezione tipo, al fine di garantire comunque la continuità idraulica, è stato previsto un tipologico di intervento costituito da un canale idraulico ad U in calcestruzzo, che aggira il blocco palo TE, a cui a tergo è presente una opera di sostegno definitiva costituita da micropali Ø168.7 sp. 10mm lunghi 8.00m.

Tale tipologico di intervento è meglio rappresentato nell'elaborato, di seguito si riporta uno stralcio del tipologico di intervento.

8 CONCLUSIONI

Nell'ambito dei lavori di ammodernamento della linea ferroviaria Lamezia Terme – Catanzaro Lido, attualmente esercita con mezzi a trazione Diesel, sono previsti importanti lavori di ammodernamento:

- realizzazione di tre sottostazioni elettriche ed una cabina TE
- elettrificazione della intera tratta.

L'intervento comprende tutte le opere civili, impiantistiche ed accessorie necessarie a rendere l'intera tratta fruibile dai mezzi a trazione elettrica 3kVcc di ultima generazione. La tratta in esame, da Catanzaro Lido a Lamezia Terme, si estende per una lunghezza di circa 40 km. Il primo tratto tra Lamezia Terme e Settingiano (CZ) si sviluppa sulla sede storica del tracciato; la tratta tra Settingiano e Catanzaro Lido si sviluppa in nuova sede su un tracciato ammodernato di recente.

La presente relazione ha focalizzato l'obiettivo sulla **definizione delle carpenterie di fondazione dei blocchi palo** per i sostegni "LSU" di piena linea; in particolare si riportano le verifiche e le carpenterie dei blocchi palo relativi alla tratta storica Lamezia Terme e Settingiano (CZ).

Alla definizione di un nuovo blocco, non riconducibile allo "standard" RFI, si è arrivati attraverso un processo di analisi che può essere riassunto attraverso i seguenti step progettuali:

1. Analisi e verifica del blocco standard RFI:
 - i. valutazione del contesto *geologico/geotecnico* della linea esistente
 - ii. valutazione del contesto *geometrico*, in particolare:
 - corpo del rilevato ferroviario
 - interferenze con le canalette esistenti
 - iii. verifica degli aspetti di inapplicabilità del blocco standard
2. Analisi soluzione:
 - iv. adozione di una fondazione profonda: scelta tra micropali e pali di piccolo diametro
3. Definizione di un nuovo tipologico di blocco fondazione per sostegni LSU:
 - v. sezione tipologica in Rilevato
 - vi. sezione tipologica in Trincea

Ripercorrendo quindi i vari step progettuali è emersa l'impossibilità di impiegare il blocco di fondazione standard RFI per via sia della mancanza del raggiungimento dei coefficienti minimi di sicurezza nelle verifiche geotecniche che della incompatibilità geometrica di un blocco standard con la piattaforma esistente, in relazione agli ingombri ed alla necessità di garantire la continuità idraulica alla canaletta nei tratti in trincea.

Si è quindi adottato un nuovo tipologico fondato su micropali che ha il vantaggio di soddisfare tutte le verifiche richieste dalla Normativa Tecnica RFI ed inoltre presenta una carpenteria molto contenuta rispetto ad un blocco palo standard con il conseguente vantaggio di limitare notevolmente gli scavi in prossimità del binario esistente.