

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO**

**FABBRICATI
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00
STRUTTURE
RELAZIONE GEOTECNICA**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav due Ing. Paolo Carmona Data:			
Ing. Claudio DE GIUDICI Iscritto all'ordine degli ingegneri di Udine n. 1875 Data:				

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

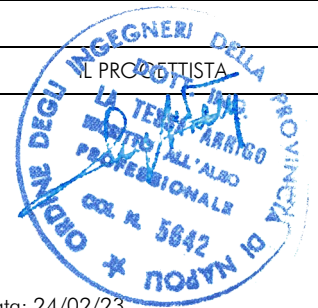
I N 1 7 1 2 E I 2 R B F A 0 5 0 0 0 0 1 B 0 0 1 P 0 3 1

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing Alberto Levorato 	

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
A	EMISSIONE	MBI	01/09/2021	MPA	01/09/2021	GSA	01/09/2021
B	REVISIONE GC	G. Belli 	24/02/2023	R. Costanzo 	24/02/2023	A. La Tessa 	24/02/2023

Data: 24/02/23



CIG. 8377957CD1 CUP: J41E91000000009 File: IN17.1.2.E.I2.RB.FA.05.0.0.001.B_00 - REL.GEOT.DOCX



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E' VIETATA

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 2 di 31	

INDICE

1	Premessa.....	3
2	Descrizione delle opere	3
3	Normativa e documenti di riferimento.....	8
4	Vita nominale e classe d'uso dell'opera	10
5	Inquadramento geotecnico dell'area	10
6	Categoria di sottosuolo per la risposta sismica locale	16
7	Combinazione delle azioni.....	18
8	Analisi FEM	21
8.1	Strumenti software	21
8.1.1	Affidabilità del codice di calcolo	21
8.1.2	Validazione del codice di calcolo	21
8.1.3	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati	21
8.2	Modellazione dell'edificio	21
9	Verifiche di sicurezza struttura di fondazione PT	24
9.1	Verifiche geotecniche	24
9.1.1	Capacità portante.....	24
9.1.1	Cedimenti.....	26
10	Verifiche di sicurezza struttura di fondazione cabina ENEL.....	28
10.1	Verifiche geotecniche	28
10.1.1	Capacità portante.....	28
10.1.2	Cedimenti.....	30

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 3 di 31

1 Premessa

La presente relazione è relativa al progetto esecutivo delle opere strutturali del fabbricato FA05 – PT e cabina Enel al km 7+475,00 della nuova linea ferroviaria AV/AC Verona – Padova, 1° sublotto: Verona – Montebello Vicentino, in Comune di Montebello Vicentino, in Comune di San Martino Buon Albergo (VR).

In particolare la relazione illustra i parametri geotecnici alla base del progetto e riporta i calcoli del progetto esecutivo delle opere in fondazione.

2 Descrizione delle opere

Dal punto di vista architettonico il fabbricato PT è composto da un unico organismo edilizio, a pianta rettangolare con dimensioni (58.05x7,20) m e un solo piano fuori terra, copertura a padiglione con pendenza delle falde di 19°, altezza al colmo di 5,70 m e finitura con tegole laterizie, cornicione/veletta perimetrale in calcestruzzo faccia a vista con altezza alla gronda di 3,80 m fuori terra, murature perimetrali e interne in blocchi forati di calcestruzzo vibro-compresso rivestiti all'interno e faccia a vista all'esterno.

La struttura si compone di due corpi distinti, tra loro separati mediante un giunto strutturale di 10 cm posto sull'asse centrale. Ciascuno di essi ha dimensioni in pianta di (28,52x6,70), misurati sugli assi strutturali.

La struttura in elevazione è costituita da un'intelaiatura spaziale di travi e pilastri in calcestruzzo armato ordinario gettato in opera e dall'unico solaio di copertura laterocementizio, con travetti tralicciati e pignatte di alleggerimento. Sugli allineamenti trasversali sono previste "catene" in cls armato alla quota di imposta della copertura che assorbono la spinta dovuta all'inclinazione delle falde; la catena è sormontata al centro da un "monaco/ometto" che riproduce l'immagine tipica della struttura "a capriata". Le travi di falda e di displuvio sono a spessore di solaio (s=24 cm), le travi di colmo hanno sezione (30x50) cm, le travi perimetrali hanno sezione (30x70) cm e raccordano la quota della falda con quella del cornicione, quest'ultimo con spessore di 18 cm. La catena ha sezione (40x30) cm e il monaco (25x25) cm. I pilastri di ciascun corpo hanno sezione (30x50) cm mentre i due sul giunto sono (35x50) per irrigidire questo allineamento di testata privo del pilastro intermedio (30x50) cm.

La struttura di fondazione, anch'essa distinta per i due corpi, è costituita da un reticolo di travi. E' prevista una trave longitudinale e di testata a "T rovescia" con suola di (100x40) cm e anima di (45x80) cm, una trave sul giunto a forma di L con suola di (70x40) cm e anima di (40x80) cm; l'altezza totale è di 120 cm sull'intero perimetro.

Sono anche previste travi di collegamento, generalmente con sezione (60x40) cm, poste sugli allineamenti strutturali trasversali e delle murature interne; la sezione ribassata favorisce il libero alloggiamento del pavimento flottante e degli impianti a questo livello. Si riportano di seguito alcune figure che illustrano sommariamente la struttura in esame, con riferimento ad uno dei due corpi, mentre per il disegno dettagliato si rinvia agli elaborati grafici del progetto strutturale.

SEZIONE CC – Scala 1:50

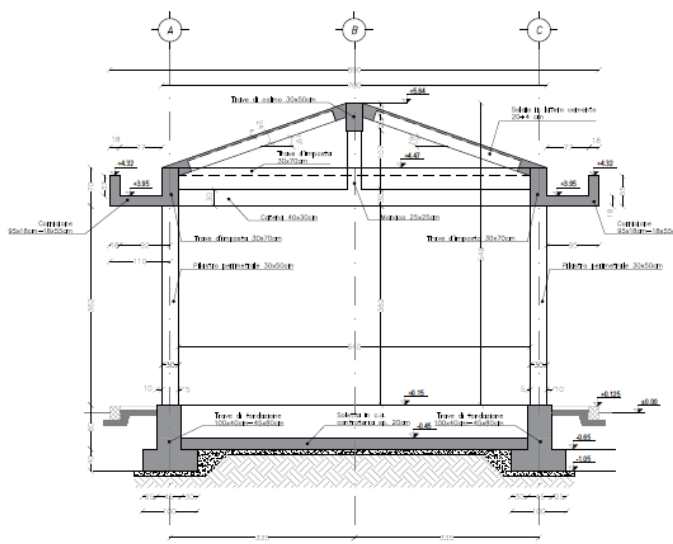


Figura 1 PT - Sezione trasversale

PIANTA FONDAZIONI Scala 1:50

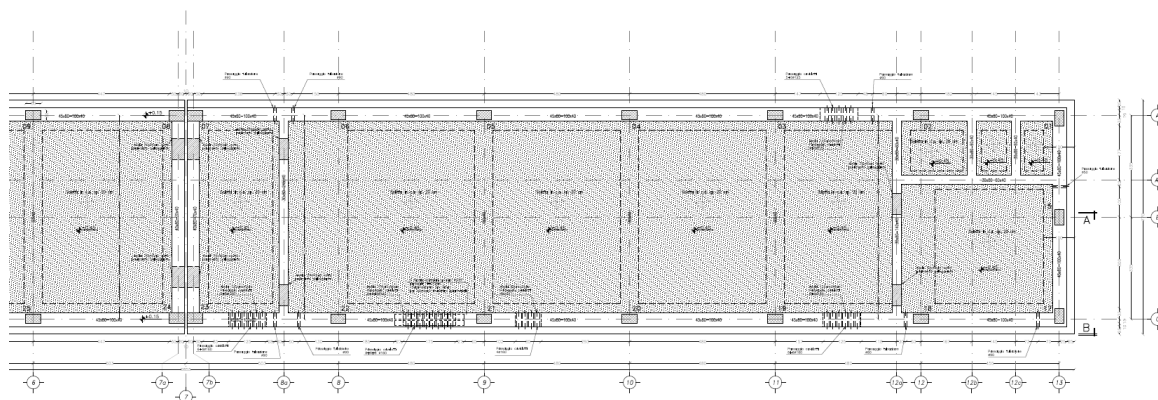
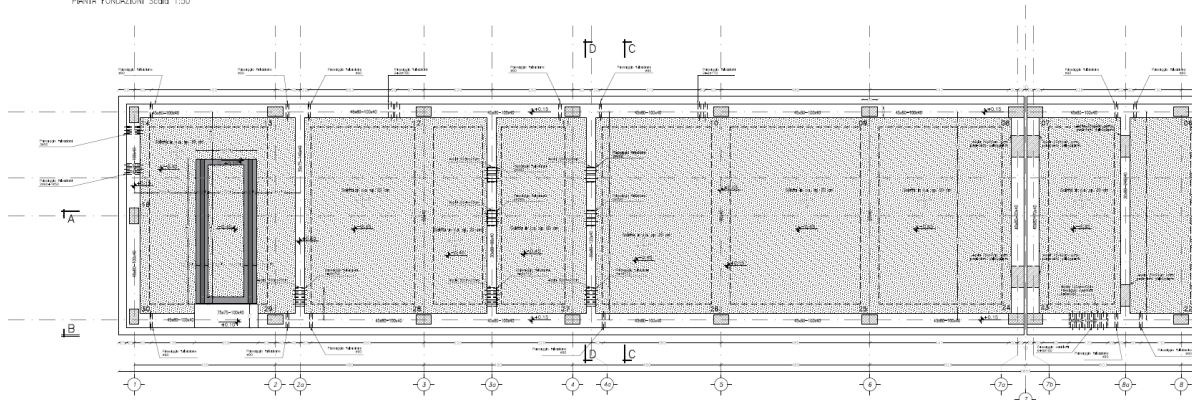


Figura 2 PT - Pianta fondazioni

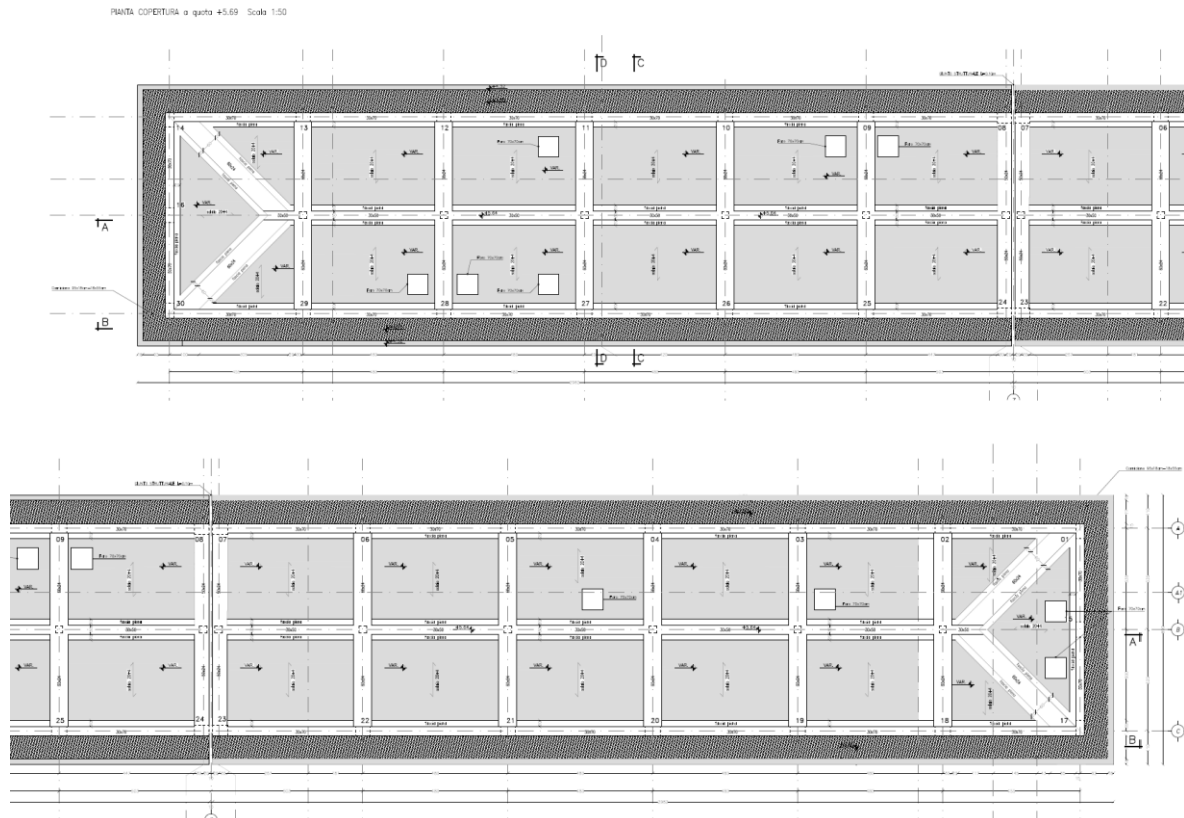


Figura 3 PT - Pianta copertura

Dal punto di vista architettonico il fabbricato Cabina Enel è composto da un organismo edilizio a pianta rettangolare, con dimensioni (11,40x5,00) m e un solo piano fuori terra, copertura a padiglione con pendenza delle falde di 19°, altezza al colmo di 5,30 m e finitura con tegole laterizie, cornicione/veletta perimetrale in calcestruzzo faccia a vista con altezza alla gronda di 3,80 m fuori terra, murature perimetrali e interne in blocchi forati di calcestruzzo vibro-compresso rivestiti all'interno e faccia a vista all'esterno. La struttura ha dimensioni in pianta di (10,90x4,50) m sugli assi strutturali. La struttura in elevazione è costituita da un'intelaiatura spaziale di travi e pilastri in calcestruzzo armato ordinario gettato in opera e dall'unico solaio di copertura laterocementizio, con travetti tralicciati e pignatte di alleggerimento. Le travi di falda, di colmo e di displuvio sono tutte a spessore di solaio ($s=24$ cm), le travi perimetrali hanno sezione (30x70) cm e raccordano la quota della falda con quella del cornicione, quest'ultimo con spessore di 18 cm. I pilastri hanno sezione (30x40) cm.

La struttura di fondazione è costituita da un reticolo di travi. È prevista una trave perimetrale a "T rovescia" con suola di (90x40) cm, anima di (40x80) cm e altezza totale è di 120 cm sull'intero perimetro. Sono anche previsti due cordoli di collegamento interni con funzione di collegamento delle fondazioni perimetrali e di sostegno delle murature interne. Si riportano di seguito alcune figure che illustrano sommariamente la struttura in esame mentre per il disegno dettagliato si rinvia agli elaborati grafici del progetto strutturale.

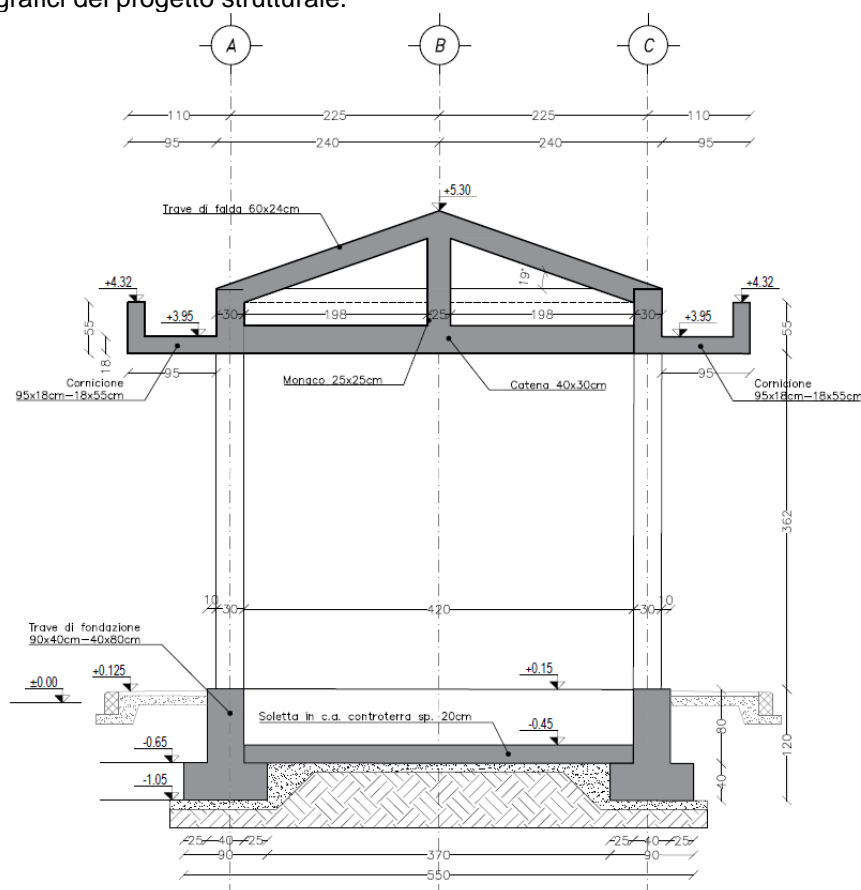


Figura 4 Cabina Enel - Sezione trasversale

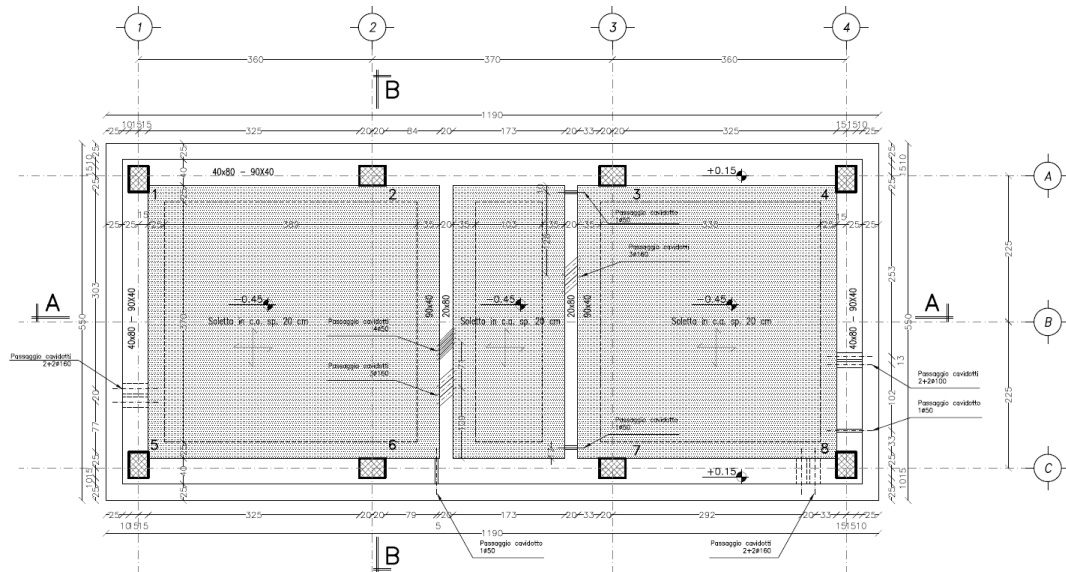


Figura 5 Cabina Enel - Pianta fondazioni

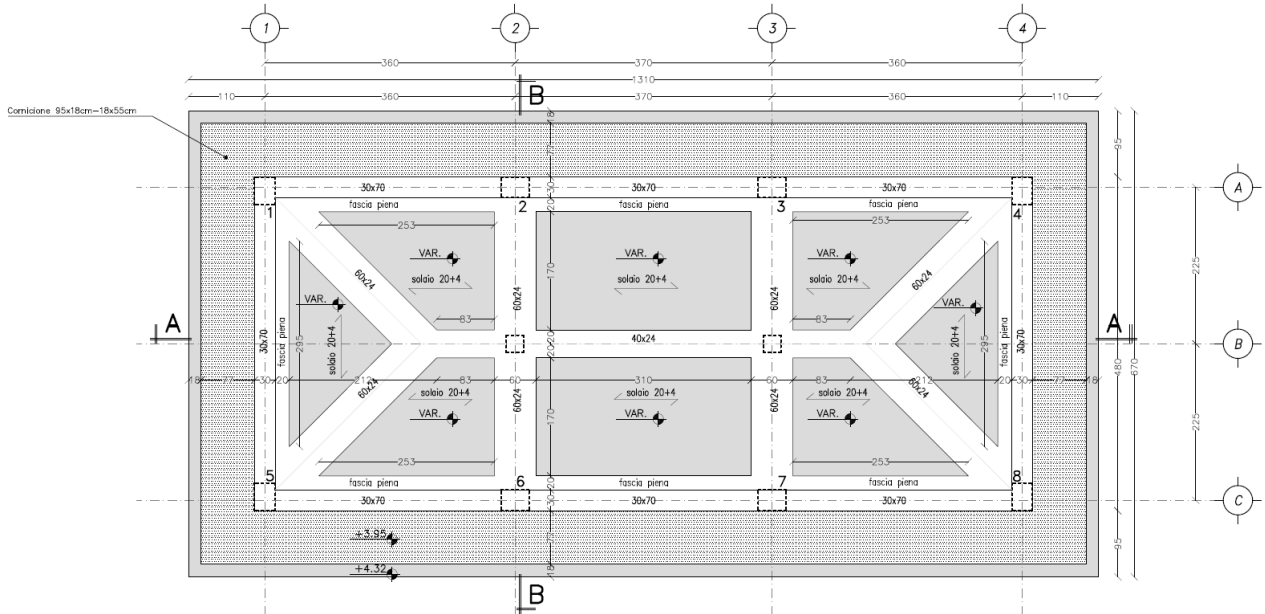


Figura 6 Cabina Enel - Pianta copertura

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 8 di 31

3 Normativa e documenti di riferimento

Il dimensionamento, le analisi e le verifiche delle strutture sono stati condotti in accordo con le seguenti disposizioni normative:

- Legge n° 1086 del 05/11/1971
- “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n° 64 del 02/2/1974
- “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Ordinanza del 20/3/2003 n. 3274 e s.m.i.
- “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- D.C.R. Regione Veneto 03/12/2003 n. 67
- Allegato 1 – Elenco dei comuni classificati in zona sismica.
- Decreto Ministeriale 14/1/2008
- “Norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 02/2/2009, n°617
- “Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14/1/2008”
- Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI – EN 206-1: 2206
- Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- UNI 11104: 2004
- Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1.
- Testo coordinato dell’allegato I del DM 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi” aggiornamento 19 novembre 2020

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	H	F	A	0	5	0	0	0	0	1
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	I	F	A	0	5	0	0	0	0	1
RELAZIONE GEOTECNICA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	F	A	0	5	0	0	0	0	1
RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEI MATERIALI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	H	F	A	0	5	0	0	0	0	2
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	C	L	F	A	0	5	0	0	0	0	1
RELAZIONE SISMICA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	H	F	A	0	5	0	0	0	0	3
TABELLA MATERIALI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	T	T	F	A	0	5	0	0	0	0	1
PIANO DI MANUTENZIONE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	H	F	A	0	5	0	0	0	0	4
PLANIMETRIA DI INQUADRAMENTO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	7	F	A	0	5	0	0	0	0	1
PLANIMETRIA GENERALE STATO DI FATTO-RILIEVO TOPOGRAFICO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	9	F	A	0	5	0	0	0	0	1
PLANIMETRIA GENERALE STATO DI PROGETTO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	9	F	A	0	5	0	0	0	0	2
PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO E ANDAMENTO ALTIMETRICO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	9	F	A	0	5	0	0	0	0	3
PLANIMETRIA COSTRUZIONI E DEMOLIZIONI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	9	F	A	0	5	0	0	0	0	4
PLANIMETRIA TRATTAMENTO SUPERFICI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	1
PIAZZALE E STRADA DI ACCESSO - PARTICOLARI COSTRUTTIVI - SEZIONE TIPO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	1
STRADA DI ACCESSO - SEGNALETICA VERTICALE E ORIZZONTALE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	2
PROFILO E SEZIONI STRADA DI ACCESSO AV	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	3
PROFILO E SEZIONI STRADA DI ACCESSO FA05	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	4
PROFILO E SEZIONI TRASVERSALI PIAZZALE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	5
PIAZZALE - PIANTA SCAVI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	5
PIAZZALE - PLANIMETRIA DEI SOTTOSERVIZI DI PROGETTO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	9	F	A	0	5	0	0	0	0	5
PIAZZALE - PLANIMETRIA RETE ACQUE METEORICHE DI PROGETTO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	9	F	A	0	5	0	0	0	0	6



PIAZZALE - PROFILI OPERE IDRAULICHE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	F	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	1
PIAZZALE - PARTICOLARI COSTRUTTIVI OPERE IDRAULICHE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	6
PIAZZALE E FABBRICATO - PLANIMETRIA RETE ACQUE REFLUE DI PROGETTO E PARTICOLARI COSTRUTTIVI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	2
PIAZZALE - PLANIMETRIA RETE IDRICA DI PROGETTO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	3
PIAZZALE - PLANIMETRIA OPERE ELETTROMECCANICHE INTERRATE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	4
FABBRICATO: PIANTE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	B	F	A	0	5	0	0	0	0	1
FABBRICATO: SEZIONI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	W	B	F	A	0	5	0	0	0	0	1
FABBRICATO: PROSPETTI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	B	F	A	0	5	0	0	0	0	2
FABBRICATO: PARTICOLARI 1/2	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	7
FABBRICATO: PARTICOLARI 2/2	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	8
FABBRICATO: ABACO SERRAMENTI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	C	F	A	0	5	0	0	0	0	1
FABBRICATO: ABACO PACCHETTI TECNOLOGICI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	K	F	A	0	5	0	0	0	0	1
FABBRICATO - Carpenterie : PIANTE FONDAZIONI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	B	F	A	0	5	0	0	0	0	3
FABBRICATO - Carpenterie : PIANTE COPERTURA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	B	F	A	0	5	0	0	0	0	4
FABBRICATO - Carpenterie : SEZIONI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	W	B	F	A	0	5	0	0	0	0	2
FABBRICATO - ARMATURE FONDAZIONI 1 DI 3	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	9
FABBRICATO - ARMATURE FONDAZIONI 2 DI 3	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	0
FABBRICATO - ARMATURE FONDAZIONI 3 DI 3	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	2
FABBRICATO - ARMATURE PILASTRI E SOLETTA CONTROTERRA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	1
FABBRICATO - ARMATURE TRAVI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	2
FABBRICATO - ARMATURE SOLAIO DI COPERTURA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	6
FABBRICATO - DETTAGLI STRUTTURE TAMPONATURE TAV. 1 di 2	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	7
FABBRICATO - DETTAGLI STRUTTURE TAMPONATURE TAV. 2 di 2	I	N	1	7	1	2	E	I	3	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	1
FABBRICATO CABINA ENEL: PIANTA , SEZIONI, PROSPETTI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	B	F	A	0	5	0	0	0	0	5
FABBRICATO CABINA ENEL: PARTICOLARI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	3
FABBRICATO CABINA ENEL: ABACO SERRAMENTI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	C	F	A	0	5	0	0	0	0	2
FABBRICATO CABINA ENEL: ABACO PACCHETTI TECNOLOGICI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	K	F	A	0	5	0	0	0	0	2
FABBRICATO - CABINA ENEL - PIANTE E SEZIONI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	B	F	A	0	5	0	0	0	0	1
FABBRICATO - CABINA ENEL - ARMATURE FONDAZIONI E SOLETTA CONTROTERRA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	4
FABBRICATO - CABINA ENEL - ARMATURE TRAVI E PILASTRI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	5
FABBRICATO - CABINA ENEL - ARMATURE SOLAIO DI COPERTURA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	8
FABBRICATO - CABINA ENEL - DETTAGLI STRUTTURE TAMPONATURE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	0
MURI DI SOSTEGNO - RELAZIONE DI CALCOLO	I	N	1	7	1	2	E	I	2	C	L	F	A	0	5	0	0	0	0	2
MURI DI SOSTEGNO - PLANIMETRIA E PIANTA FONDAZIONI	I	N	1	7	1	2	E	I	2	P	Z	F	A	0	5	0	0	0	0	6
MURI DI SOSTEGNO - CARPENTERIA	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	3
MURI DI SOSTEGNO - ARMATURE TAV 1 di 3	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	4
MURI DI SOSTEGNO - ARMATURE TAV 2 di 3	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	5
MURI DI SOSTEGNO - ARMATURE TAV 3 di 3	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	2	6
FABBRICATO-SEZIONI OPERE ELETTROMECCANICHE	I	N	1	7	1	2	E	I	2	B	Z	F	A	0	5	0	0	0	1	9

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 10 di 31

4 Vita nominale e classe d'uso dell'opera

Con riferimento alla destinazione d'uso e alle conseguenze di un'eventuale interruzione di operatività o collasso del fabbricato, sono stati definiti i parametri di base della progettazione strutturale, con particolare riguardo all'azione sismica (punto 2.4 NTC08):

- vita nominale $V_N = 100$ anni;
- classe d'uso III, con coefficiente d'uso $C_U = 1.5$;
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni.

5 Inquadramento geotecnico dell'area

Come riportato nella Relazione Geologica e nella Relazione Geotecnica, nel tratto in esame da piano campagna e per profondità variabili fra 10 e 15 m sono presenti terreni costituiti da ghiaia sabbiosa debolmente limosa mediamente addensata (unità 6). Le coperture riventate localmente nei primi metri sono costituite da riporti (unità 1), tipicamente materiali fortemente eterogenei.

Gli spessori sono tipicamente di 1-2 m, e le descrizioni (quando presenti), ne riportano sempre una componente ghiaiosa, il che è perfettamente compatibile con la natura dei materiali di superficie.

Lo strato sottostante raggiunge una profondità di circa 25 m da p.c. ed è costituito da sabbie debolmente ghiaiose debolmente limose (unità 4). Per i successivi 5 m circa di profondità, si evidenzia la presenza di uno strato sovraconsolidato di limo argilloso debolmente sabbioso, da consistente a molto consistente e con plasticità medio-bassa (unità 2).

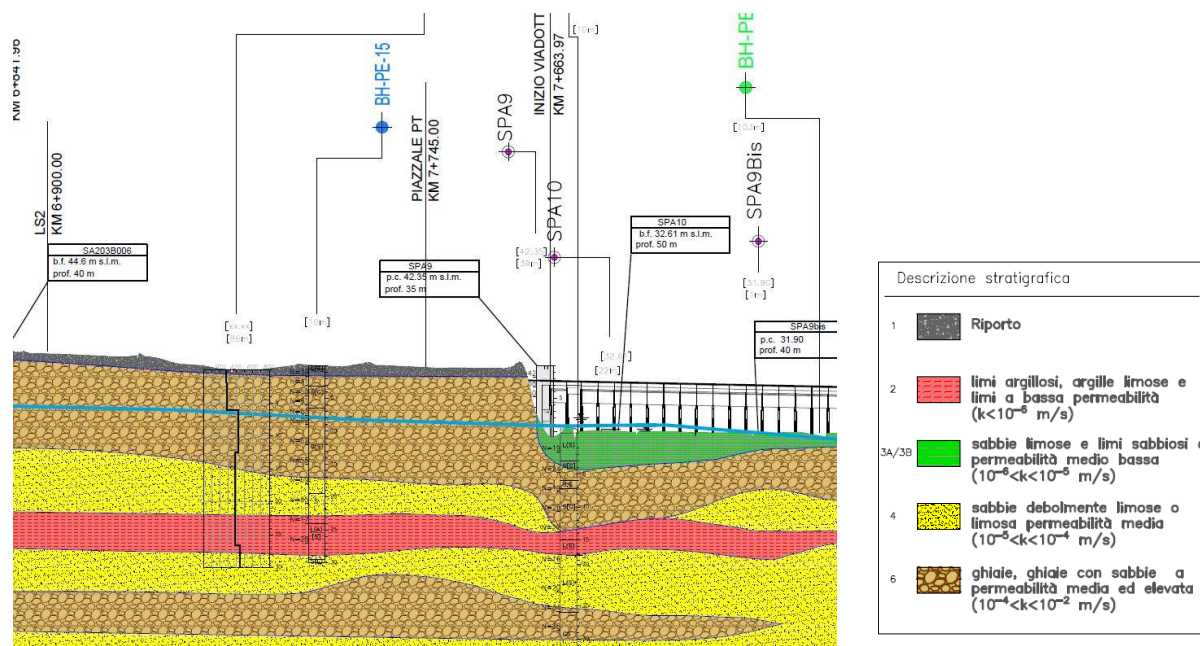


Figura 7 Profilo geotecnico dell'area di interesse

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 11 di 31	

I parametri caratteristici suggeriti per le unità individuate sono:

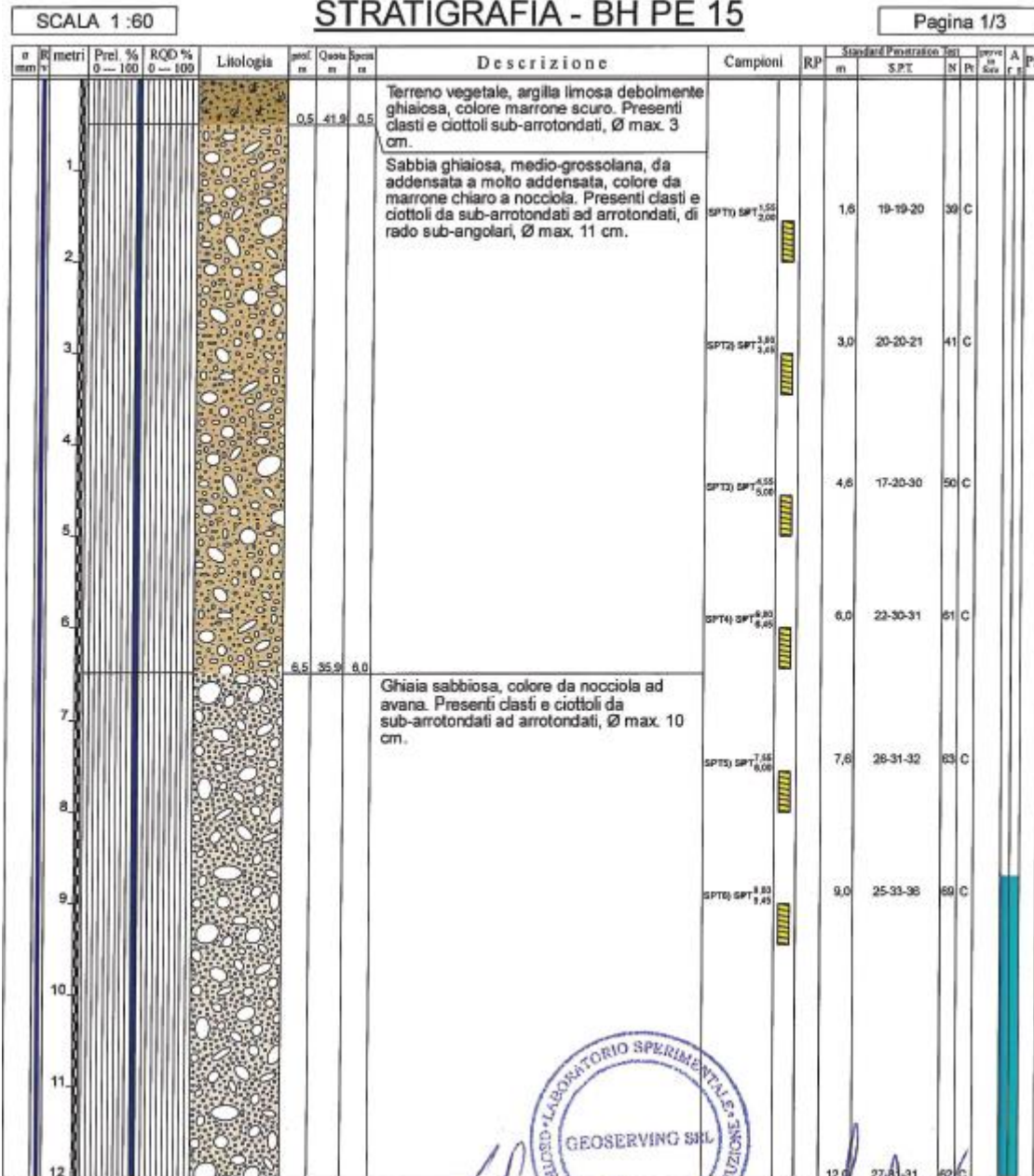
Tabella 19 - Parametri geotecnici caratteristici per la tratta dalla 4+942 alla 7+600

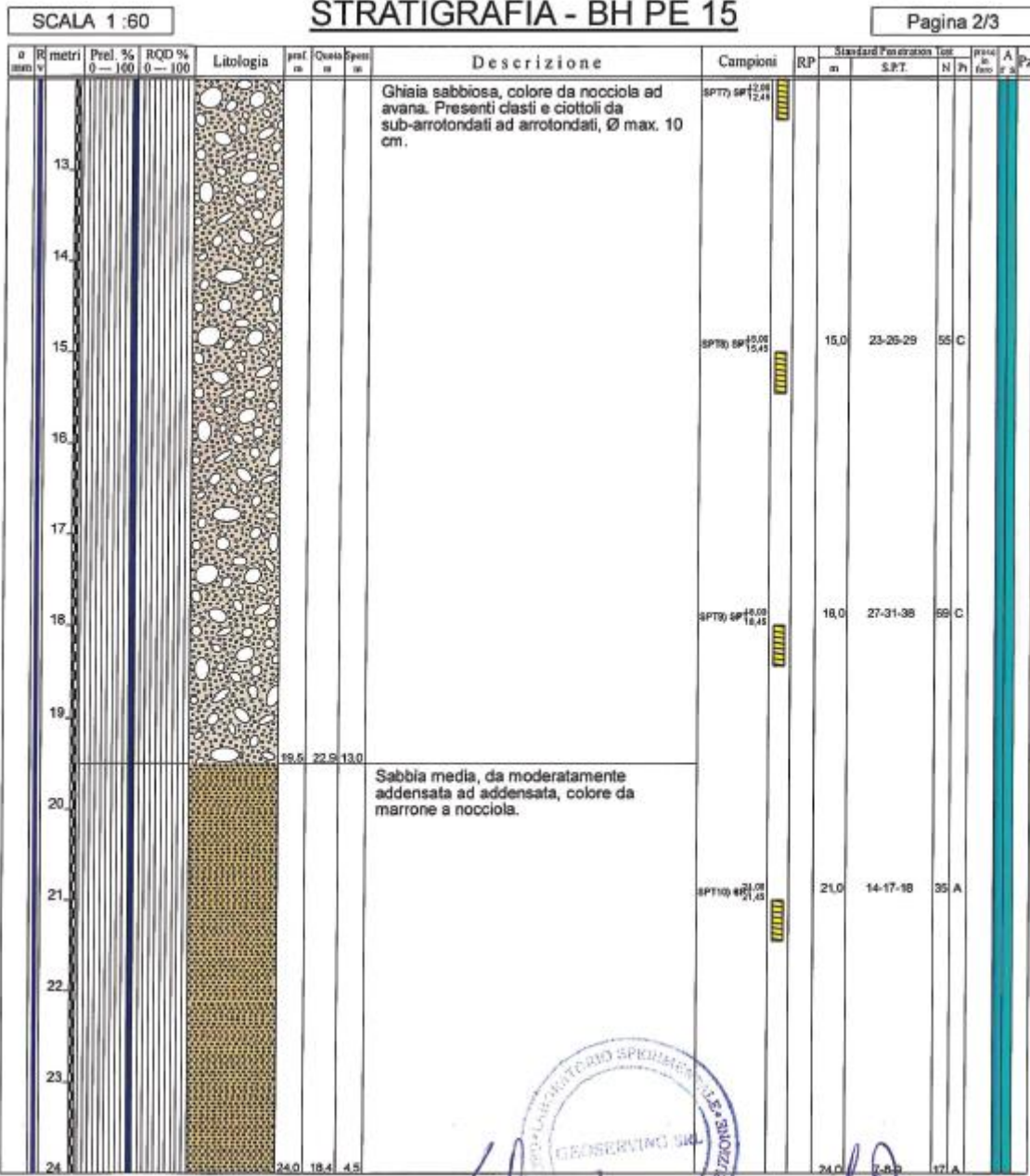
Unità	γ (kN/m ³)	Dr (%)	ϕ' (°)	Vs (m/s)	G0 (MPa)	E' (MPa)	c _u (kPa)	σ'_p (kPa)
R	18-19		28-30					
3a	18-19		28-32			10-15		
3b	18-19		26-28			5-12	30-60	
6	19-20	35-65	39-42	240-300	120-180	-	-	-
4	19-20	40-80	37-41	250-300	150-200	-	-	-
2	19-20	-	-	-	-	20-40	100-200	>500

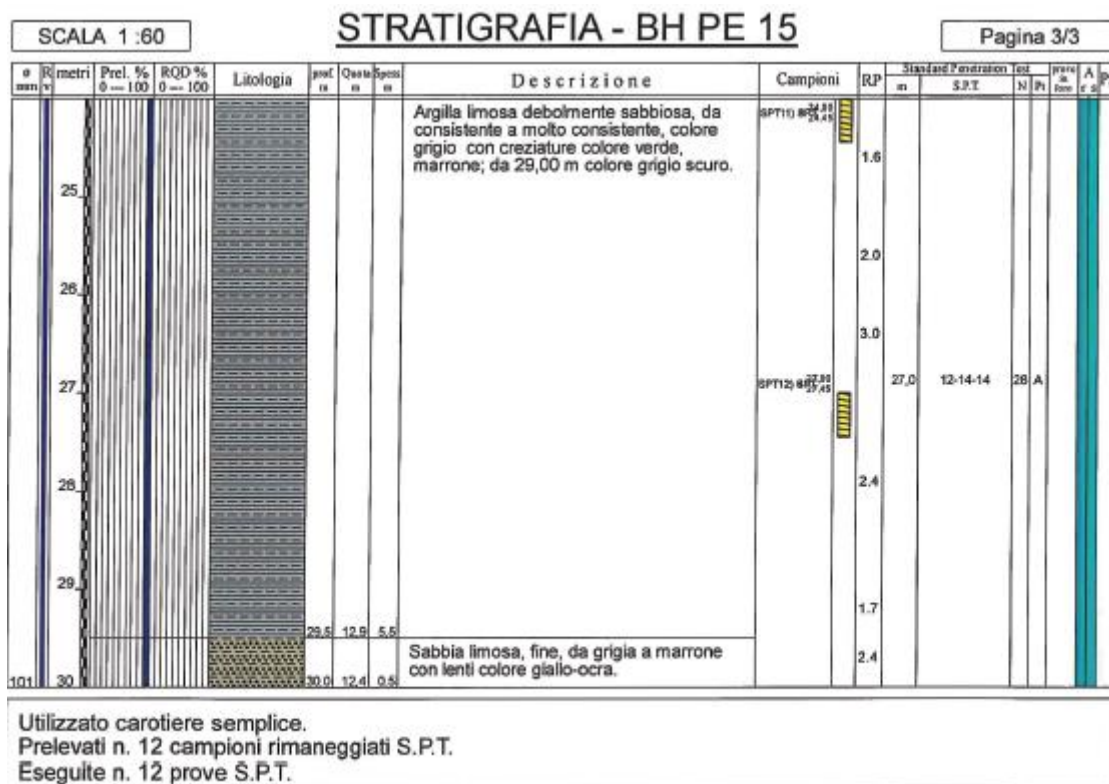
Per la determinazione della stratigrafia di progetto si è fatto riferimento alle prove eseguite, in particolare:

- Prova BH-PE-15 (documentazione progetto esecutivo)

A titolo illustrativo si riportano i risultati del sondaggio BH-PE-15 eseguito nelle vicinanze del sito in esame, e si rimanda alla documentazione specifica per ulteriori approfondimenti.







Per quanto riguarda i criteri di scelta dei parametri geotecnici del terreno da impiegare per la fondazione superficiale di quest'opera, si osserva che il progetto geotecnico prevede uno strato di bonifico di 0,50 m al di sotto del piano di campagna. Considerato che il piano d'appoggio è posto a 1,05 m al di sotto del piano finito (0,00) del piazzale, ne consegue che al di sotto del piano di appoggio delle fondazioni è presente uno strato di circa 6,00 m di sabbia ghiaiosa. Le tensioni indotte dalla fondazione superficiale si sviluppano interamente all'interno del suddetto strato. Secondo quanto riportato nella Relazione Idrogeologica, La falda di progetto a lungo termine adottata è a -3,5 m da piano campagna.

La stratigrafia di progetto risulta dunque la seguente:

UG	DESCRIZIONE	da	a	spessore	γ	φ	c'k	Cuk	E	Ed	Dr
		[m]	[m]	[m]	kN/m ³	[°]	kPa	kPa	kPa	kPa	%
1	Sabbia ghiaiosa (unità 6)	0	19	19	19	39	-	-	15000	-	50
2	Sabbia media (unità 4)	19	24	5	19	37	-	-	-	-	60
3	Argilla limosa (unità 2)	24	30	6	19	-	0	150	30000	-	-

Per il calcolo della costante di sottofondo si è fatto riferimento alle prove di carico su piastra standard di base quadrata o circolare di raggio interno o diametro b pari a 30cm, da cui si ricava il valore del parametro k1 che viene opportunamente convertito utilizzando formule che tengano conto della dimensione reale della fondazione. Per terreni incoerenti si ha:

$$k_w = k_1 [(B+b) / 2b]^2$$

Assumendo il terreno di fondazione come mediamente addensato non saturo, si è ottenuto:



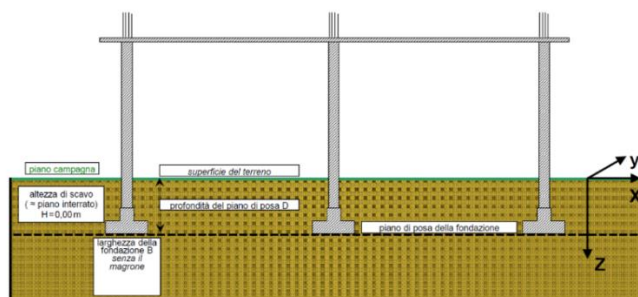
DATI

Piano campagna	<input type="text" value="0"/>	m
Altezza di scavo (= piano interrato) H	<input type="text" value="0"/>	m
Profondità del piano di posa D rispetto alla superficie del terreno (ato della fondazione meno interrato)	<input type="text" value="1.05"/>	m
Larghezza della fondazione senza il magrone B	<input type="text" value="1"/>	m
Densità relativa D_R	Medio <input type="text" value="50"/>	%

RISULTATI

Profondità del piano di posa D	<input type="text" value="1.05"/>	m
TERRENO NON SATURO		
Interpolazione del k_1	<input type="text" value="60"/>	N/cm ³
Valore di k_w	<input type="text" value="2.54"/>	kg/cm ³
TERRENO SATURO		
Valore consigliato k_1	<input type="text" value="30"/>	N/cm ³
Valore di k_w	<input type="text" value="1.27"/>	kg/cm ³

Schema di riferimento N°1



Nelle verifiche che seguono si utilizzerà, cautelativamente, un valore della costante di sottofondo pari a $k_w=1 \text{ kg/cm}^3$, in maniera da massimizzare le sollecitazioni sulle opere di fondazioni.

Si è scelto, inoltre, di utilizzare un valore di K_s costante e pari al minore dei valori ottenuti tra la zona centrale e le zone dei bordi. In questo modo si massimizzano le sollecitazioni nelle opere di fondazione (fondazioni di tipo flessibile a trave rovescia in terreno cedevole). Nel caso in esame il valore di K_s minore si ottiene in corrispondenza delle zone centrali ed è stato assunto, cautelativamente pari a 1 kg/cm^3 , come visto precedentemente. Ulteriori valutazioni sulla variazione di K_s non sono, dunque, necessarie.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 16 di 31

6 Categoria di sottosuolo per la risposta sismica locale

La zonazione del tracciato di progetto rispetto alla risposta sismica locale dei terreni presenti è stata svolta in accordo alle prescrizioni delle NTC08, identificando la Categoria di Sottosuolo di appartenenza del sito sulla base dei dati delle indagini condotte. In particolare, l'associazione tra stratigrafia rilevata ai punti di interesse e relativa categoria di sottosuolo è stata condotta in funzione dei valori medi calcolati sui primi 30m di profondità della velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,30}$) definita dall'espressione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i = spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato, ricavata attraverso correlazioni.

Si rimanda alla Relazione Geotecnica **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per la descrizione completa delle diverse prove in sito condotte nel corso delle varie campagne, per ogni punto di interesse identificato lungo il tracciato. Nella Relazione Sismica il terreno su cui sorgerà il FA05 è classificato in categoria C.

Si riporta nell'immagine seguente uno stralcio della Planimetria con Classificazione Sismica del Territorio **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, in cui è individuata la localizzazione del fabbricato in oggetto.

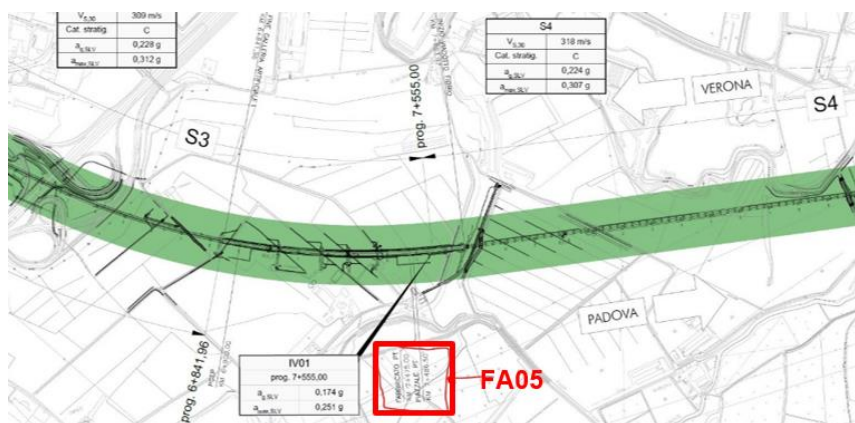


Figura 8 Categoria di sottosuolo del sito in esame

L'effetto della risposta sismica locale sulla pericolosità di base può essere determinato secondo le NTC08 attraverso l'impiego di un fattore di sito S funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

Il coefficiente S_S si ottiene dalla seguente espressione per un sottosuolo di categoria C (Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC08):

$$S_S = 1.00 \leq 1.70 - 0.60F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1.50$$

Per quanto riguarda l'eventuale amplificazione topografica, il sito di interesse si trova su superficie sostanzialmente pianeggiante. Pertanto, esso ricade in categoria T_1 , ossia Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.IV al par.3.2.2. delle NTC08. Di conseguenza il fattore di amplificazione topografica ha valore unitario, $S_T = 1$.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 17 di 31	

L'azione sismica prima individuata viene corretta per tener conto delle effettive condizioni locali, stratigrafiche (categoria di sottosuolo "C") e topografiche (superficie pianeggiante), attraverso i coefficienti correttivi che amplificano l'accelerazione riferita al suolo rigido determinando l'accelerazione di progetto: $a_{max} = S a_g (T=0)$. I valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto a_{max} per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono stati calcolati e riportati di seguito:

STATO LIMITE	S_s	S_T	$S=S_s*S_T$	a_g (g)	$a_{max}=a_g*S$ (g)
SLO	1.500	1	1.500	0.0701	0.105
SLD	1.500	1	1.500	0.0901	0.135
SLV	1.377	1	1.377	0.221	0.305
SLC	1.312	1	1.312	0.272	0.356

Tabella 3: Coefficienti correttivi locali e accelerazioni massime

Per un maggior dettaglio circa l'entità dell'azione sismica e i relativi spettri di risposta si rimanda alla Relazione Sismica e alla Relazione di Calcolo Strutturale.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 18 di 31

7 Combinazione delle azioni

Il metodo di calcolo utilizzato per il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali è il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite, per cui le combinazioni di carico utilizzate per la determinazione dei Parametri delle Sollecitazioni e le deformazioni sono le seguenti:

- Stati Limite Ultimi (Combinazione Statiche):

$$\gamma_{G1}G_{K1} + \gamma_{G2}G_{K2} + \gamma_Q \left[Q_{1K} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} Q_{ki}) \right]$$

dove:

G_1	Peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno dell'acqua, quando pertinenti al loro valore caratteristico
G_2	Peso propri degli elementi non strutturali al loro valore caratteristico
Q_k	Azioni Variabili al loro valore caratteristico
γ_{G1}	Coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno dell'acqua, quando pertinenti
γ_{G2}	Coefficiente parziale del peso propri degli elementi non strutturali
γ_Q	Coefficiente parziale delle azioni variabili
ψ_{0i}	Coefficiente di combinazione

		γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli		0.9	1.0	1.0
	Sfavorevoli	γ_{G1}	1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti non strutturali G_2	Favorevoli		0.8	0.8	0.8
	Sfavorevoli	γ_{G2}	1.5	1.5	1.3
Carichi variabili Q	Favorevoli		0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli	γ_Q	1.5	1.5	1.3
EQU stato limite di equilibrio come corpo rigido					
STR stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione					
GEO stato limite di resistenza del terreno					

Tabella 1 Coefficienti parziali impiegati

Gli stati limite STR e GEO prevedono il raggiungimento della resistenza delle strutture o del terreno, rispettivamente. Nelle verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite ultimi, per le opere di fondazione e di sostegno delle terre, viene utilizzato l'Approccio 2 con la combinazione (A1+M1+R3), secondo quanto riportato nel cap.6 delle NTC 08, dove la combinazione (A1+M1+R3) è dimensionante sia per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo strutturale, STR, e sia per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, GEO.

PARAMETRI TERRENO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	CASO	
			M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan\phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE					
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 12</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. B</td> <td style="width: 15%;">Foglio 19 di 31</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 19 di 31
Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 19 di 31		

Resistenza non drenata	C_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40
Peso di volume	γ	γ	1.00	1.00

Tabella 2 Coefficienti parziali impiegati per i parametri del terreno

A1 e A2 sono i coefficienti parziali da applicare alle azioni;

M1 e M2 sono i coefficienti parziali da applicare ai parametri del terreno.

- Stati Limite Ultimi (Combinazione Dinamiche):

$$E + G_1 + G_2 + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$$

dove:

E Azione Sismica per lo stato limite in esame

G_1 Peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno dell'acqua, quando pertinenti al loro valore caratteristico

G_2 Peso propri degli elementi non strutturali al loro valore caratteristico

Q_k Azioni Variabili al loro valore caratteristico

ψ_{2i} Coefficiente di combinazione

L'azione sismica viene determinata prendendo in considerazione le masse strutturali determinate secondo la seguente relazione:

$$G_1 + G_2 + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$$

La risposta a ciascuna componente, in accordo con il punto 7.3.5 delle NTC08, è combinata con gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale della componente stessa. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$1,00 * E_x + 0,30 * E_y + 0,30 * E_z$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi.

- Stati Limite Ultimi (Combinazione Eccezionali: incendi, esplosioni, urti):

$$G_1 + G_2 + A_d + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$$

- Stati Limite Esercizio (Combinazione Statiche):

- Combinazione Rara

$$G_1 + G_2 + Q_{K1} + \sum_i (\psi_{0i} Q_{ki})$$

- Combinazione Frequente

$$G_1 + G_2 + \psi_{1j} Q_{K1} + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$$

- Combinazione Quasi Permanente

$$G_1 + G_2 + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$$

Valori dei coefficienti di combinazione			
Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3
Categoria B Uffici	0.7	0.5	0.3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0.7	0.7	0.6

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE					
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 12</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. B</td> <td style="width: 20%;">Foglio 20 di 31</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 20 di 31
Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 20 di 31		

Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1.0	0.9	0.8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Categorie H Coperture	0.0	0.0	0.0
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve (a quota ≤ 1000 s.l.m.)	0.5	0.2	0.0
Neve (a quota > 1000 s.l.m.)	0.7	0.5	0.2
Variazioni termiche	0.6	0.5	0.0

Tabella 3 Coefficienti di combinazione dei carichi variabili

Le suddette combinazioni serviranno per verificare le tensioni di esercizio dei materiali, la deformabilità della struttura nonché la fessurazione nel caso di elementi in c.a. In particolar modo, le condizioni di cui tener conto nel caso di elementi in c.a. sono le seguenti:

Tabella 4.1.IV – *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

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

Tabella 4 Parametri per lo stato limite di fessurazione

Dove si definiscono, in base a quanto riportato al paragrafo 4.1.2.2.4.1, le seguenti grandezze:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 21 di 31	

8 Analisi FEM

8.1 Strumenti software

Per la modellazione della sovrastruttura e delle opere di fondazione è stato impiegato il software FEM Midas GEN, di Midas Information Technologies:



Figura 9 Versione di Midas Gen impiegata nella modellazione FEM del fabbricato in oggetto.

8.1.1 Affidabilità del codice di calcolo

Per quanto riguarda nel dettaglio le basi teoriche sulle quali sono implementati gli algoritmi di calcolo del software si rimanda alla documentazione allegata al software fornita dal produttore, nel caso specifico al documento “Analysis Manual”.

8.1.2 Validazione del codice di calcolo

Il codice di calcolo sopra descritto è soggetto a periodica validazione interna.

8.1.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

Come previsto nel paragrafo 10.2.1 delle NTC 2008, la scrivente ha sottoposto i risultati delle elaborazioni numeriche derivanti da codici FEM a controlli che ne comprovano l'affidabilità.

I controlli effettuati, non riportati per brevità, sono stati i seguenti (elenco indicativo non esaustivo):

1. Controllo delle reazioni vincolari totali per porzioni di impalcato facilmente estrapolabili;
2. Controllo degli sforzi normali dovuti ai pesi agenti su aste verticali, per aree di influenza;
3. Controllo del diagramma di sollecitazione per la componente flettente per aste semplici quali quelle doppiamente incernierate;
4. Controllo delle deformazioni verticali per aste semplici quali quelle doppiamente incernierate.

I suddetti controlli sono stati effettuati a mano o mediante l'ausilio di fogli di calcolo Excel ed hanno portato a confermare l'attendibilità dei risultati forniti dal software di calcolo utilizzato.

8.2 Modellazione dell'edificio

Per la progettazione delle strutture in oggetto è stata eseguita un'analisi dinamica lineare, realizzando un modello FEM tridimensionale per ciascuna struttura, per rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidità e resistenza. In particolare, sono stati realizzati 2 modelli indipendenti: il primo relativo ad un blocco del PT (i blocchi del PT sono tra loro simmetrici ed analoghi), il secondo per la Cabina Enel. Gli elementi considerati “secondari” e gli elementi non strutturali autoportanti (tamponature e tramezzi) sono stati rappresentati in termini di massa.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 22 di 31	

La rigidità degli elementi strutturali è stata rappresentata con modelli lineari. Le azioni conseguenti al moto sismico sono modellate direttamente mediante spettri di risposta.

Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, al centro di massa si è attribuita una eccentricità accidentale (0.05 volte la dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica) rispetto alla sua posizione che deriva dal calcolo.

È stata eseguita un'analisi dinamica lineare con riferimento agli spettri di progetto ottenuti assumendo un fattore di struttura q .

L'analisi modale è stata impiegata per la determinazione dei modi di vibrare dell'edificio; gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, sono stati calcolati per ciascuno dei modi di vibrare individuati (spectral response), e combinati utilizzando la combinazione quadratica completa CQC.

Per l'analisi elastica globale i materiali costituenti la struttura sono considerati elastici, omogenei ed isotropi e con comportamento lineare. La struttura è stata schematizzata escludendo il contributo degli elementi aventi rigidità e resistenza trascurabili a fronte dei principali.

Nel fabbricato PT le travi di fondazione sono state incluse, modellandole su un letto di molle alla Winkler, attribuendo un opportuno valore alla costante elastica delle molle che rappresentano il terreno ($k=10000\text{kN/m}^3$). Nella Cabina Enel le travi di fondazione sono state incluse, modellandole su un letto di molle alla Winkler, attribuendo un opportuno valore alla costante elastica delle molle che rappresentano il terreno ($k=10000\text{kN/m}^3$).

Nel fabbricato PT per la modellazione del solaio di copertura sono stati impiegati elementi plate ortotropi, assegnando una diversa rigidità nelle due direzioni per tener conto, oltre che della presenza della cappa di completamento del solaio, anche dei travetti presenti nella direzione di orditura del solaio latero-cementizio. La cappa di completamento, di spessore pari a 4cm, consente comunque di poter considerare il solaio infinitamente rigido nel proprio piano (NTC08 7.2.6).

Si riporta di seguito un'immagine dei modelli FEM delle strutture.

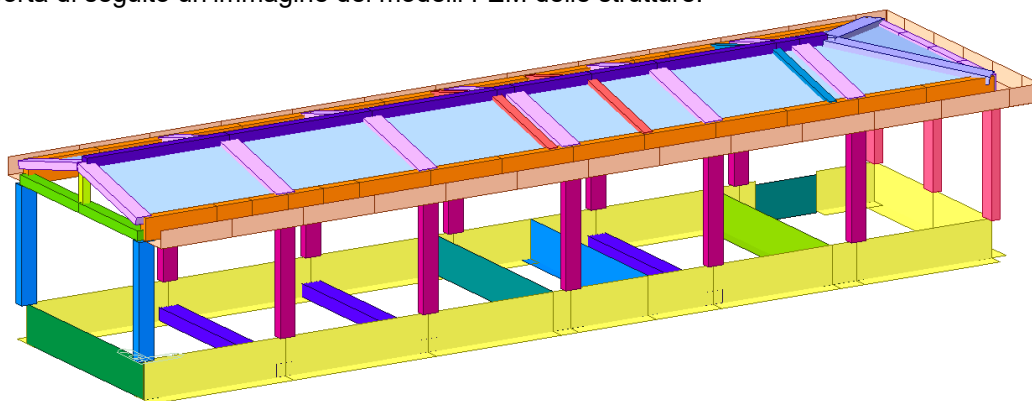


Figura 10 Modello FEM Midas Gen PT SX

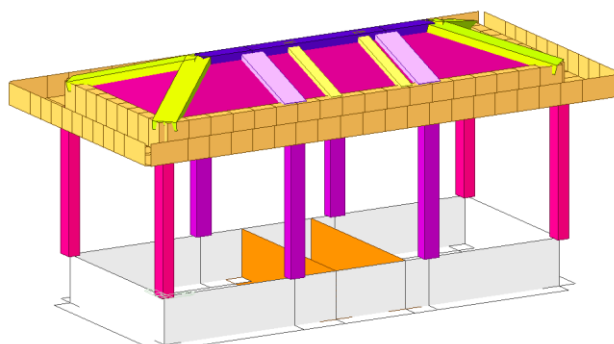


Figura 11 Modello FEM Midas Gen Cabina Enel

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 23 di 31</p>

I carichi verticali sono stati attribuiti agli elementi strutturali, sotto forma di beam load o floor load. Si riporta a titolo esemplificativo l'immagine seguente, in cui possono vedere i carichi G_2 sul solaio di copertura attribuiti agli elementi del modello FEM.

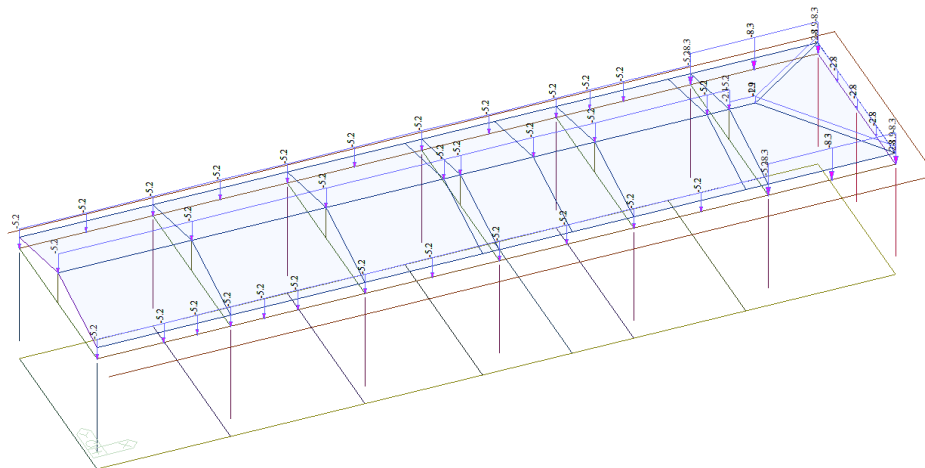


Figura 12 Beam load sul solaio di copertura PT DX

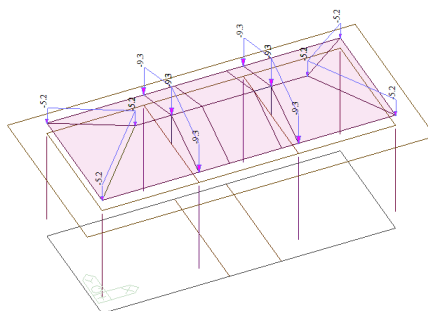


Figura 13 Beam load sul solaio di copertura Cabina Enel

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 24 di 31

9 Verifiche di sicurezza struttura di fondazione PT

9.1 Verifiche geotecniche

9.1.1 Capacità portante

La verifica di capacità portante viene condotta seguendo l'Approccio 2: (A1 + M1 + R3), con i coefficienti parziali indicati in dettaglio nel capitolo 8, quindi con coefficienti parziali unitari per le caratteristiche del terreno e pari a 2.3 per la fondazione superficiale (verifica di capacità portante). A titolo di esempio, si riporta il contour plot degli spostamenti verticali sulle travi di fondazione nella combinazione quasi permanente dei carichi.

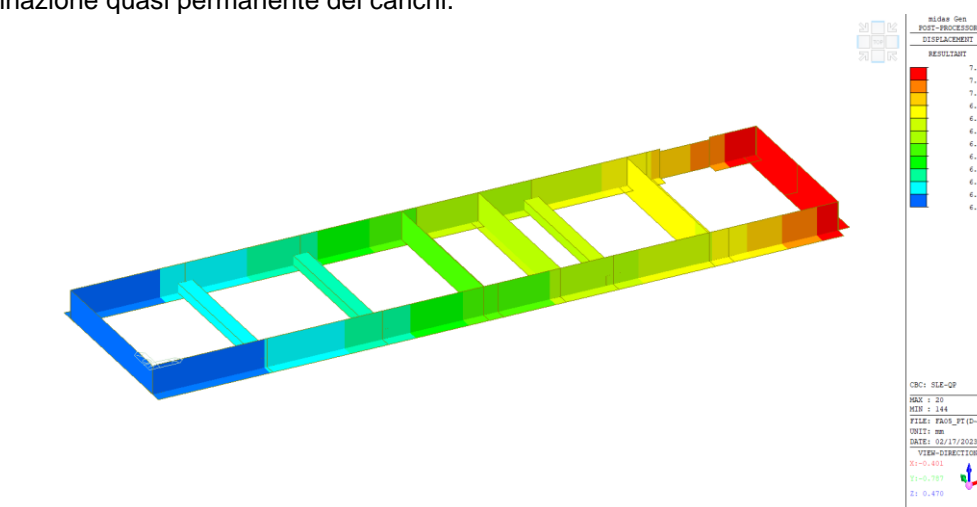


Figura 14 Spostamenti verticali sulle travi di fondazione in combinazione quasi permanente

Dal contour plot risulta una distribuzione sostanzialmente omogenea degli abbassamenti e quindi della reazione del terreno, come atteso data la notevole rigidezza delle travi rovesce.

La pressione limite q_{lim} è stata determinata con la formula generale di Brinch-Hansen, impiegata per il calcolo della capacità portante di fondazioni superficiali.

$$q_{lim} = 0.5\gamma'BN_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}i_{\gamma}b_{\gamma}g_{\gamma} + q'N_q s_q d_q i_q b_q g_q + c'N_c s_c d_c i_c b_c g_c$$

Sulla base dei parametri geotecnici, di cui al capitolo 0, sono stati calcolati i diversi termini seguenti:

N_c, N_q, N_{γ} : coefficienti di capacità portante

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi)}$$

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

$$N_{\gamma} = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

s_c, s_q, s_{γ} : fattori di forma

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L \cdot$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0.4 \cdot B \cdot / L \cdot$$

i_c, i_q, i_{γ} : fattori di inclinazione del carico

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'))^m$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_{\gamma} = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$m_0 = (2 + B \cdot / L \cdot) / (1 + B \cdot / L \cdot)$$

$$m_1 = (2 + L \cdot / B \cdot) / (1 + L \cdot / B \cdot)$$

$$\theta = \arctg(T_b/T_l)$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 25 di 31

d_c, d_q, d_γ : **fattori di profondità del piano di posa** $d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\phi')$
 $D/B^* \leq 1 \rightarrow dq = 1 + 2D \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 / B^*$
 d_γ

$\beta_f + \beta_p = 0.00^\circ$ $\beta_f + \beta_p < 45^\circ$
 b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione $b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2$
 $b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\phi')$
 $b_\gamma = b_q$

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna $g_q = (1 - \tan\beta_p)^2$
 $g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\phi')$
 $g_\gamma = g_q$

La verifica è stata eseguita estraendo i risultati all'involuppo SLU SLV per l'elemento delle travi di fondazione, come riportato nelle tabelle seguenti. Il valore della capacità portante q_{lim} di seguito riportato è stato calcolato dividendo il risultato ottenuto con la formula di Brich-Hansen per il coefficiente parziale di sicurezza pari a 2.3, secondo l'approccio 2 di NTC08. Inoltre, la pressione agente q è quella ottenuta dai risultati del modello di calcolo, amplificando poi le sollecitazioni agenti per il coefficiente γ_{Rd} pari a 1.1 in CDB, come richiesto nel paragrafo 7.2.5 delle NTC08.

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 1552.41 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

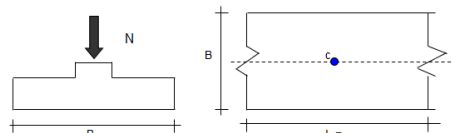
$$q = 384.80 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 674.96 \geq q = 384.80 \quad (\text{kN/m}^2)$$

9.1.1 Cedimenti

Si riporta di seguito la verifica dei cedimenti. Poiché le fondazioni poggiano sullo strato di sabbia ghiaiosa, la valutazione dei cedimenti viene effettuata per le sole condizioni di breve termine. Si riporta di seguito il calcolo eseguito:



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis, 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi)^{1/2}(\alpha + \text{sen}\alpha\cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_x = (2q/\pi)^{1/2}(\alpha - \text{sen}\alpha\cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi)^{1/2}(\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y))\Delta z / E_i)$$

DATI DI INPUT:

B = 1.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 96.25 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 96.25 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 1 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da z _i	a z _{i+1}	Δz _i	E	ν	δ _{ci}
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(-)	(cm)
1	SABBIA GHIAIOSA	19.00	0.0	19.0	1.0	15000	0.30	1.48
-		1.00	0.0	0.0	2.0	0	0.30	-
3		2.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		3.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		4.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		5.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

z	Δz _i	Terreno	α	senα	cosα	E	ν	Δσ _{zi}	Δσ _{xi}	Δσ _{yi}	δ _i	Σδ _i
(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm)	(cm)

0.00	1.0	1				15000	0.30					
1.00	1.0	1	0.79	0.71	0.71	15000	0.30	78.76	17.49	28.88	0.43	0.43
2.00	1.0	1	0.32	0.32	0.95	15000	0.30	38.10	1.33	11.83	0.23	0.66
3.00	1.0	1	0.20	0.20	0.98	15000	0.30	23.88	0.31	7.26	0.14	0.80
4.00	1.0	1	0.14	0.14	0.99	15000	0.30	17.27	0.12	5.22	0.10	0.91

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 27 di 31	

5.00	1.0	1	0.11	0.11	0.99	15000	0.30	13.51	0.06	4.07	0.08	0.99
6.00	1.0	1	0.09	0.09	1.00	15000	0.30	11.08	0.03	3.33	0.07	1.06
7.00	1.0	1	0.08	0.08	1.00	15000	0.30	9.39	0.02	2.82	0.06	1.11
8.00	1.0	1	0.07	0.07	1.00	15000	0.30	8.15	0.01	2.45	0.05	1.16
9.00	1.0	1	0.06	0.06	1.00	15000	0.30	7.19	0.01	2.16	0.04	1.21
10.00	1.0	1	0.05	0.05	1.00	15000	0.30	6.44	0.01	1.93	0.04	1.25
11.00	1.0	1	0.05	0.05	1.00	15000	0.30	5.83	0.00	1.75	0.04	1.28
12.00	1.0	1	0.04	0.04	1.00	15000	0.30	5.32	0.00	1.60	0.03	1.31
13.00	1.0	1	0.04	0.04	1.00	15000	0.30	4.90	0.00	1.47	0.03	1.34
14.00	1.0	1	0.04	0.04	1.00	15000	0.30	4.53	0.00	1.36	0.03	1.37
15.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	4.22	0.00	1.27	0.03	1.40
16.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.95	0.00	1.19	0.02	1.42
17.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.71	0.00	1.11	0.02	1.44
18.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.50	0.00	1.05	0.02	1.46
19.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.31	0.00	0.99	0.02	1.48

Il cedimento ottenuto, di modesta entità, risulta accettabile per l'opera in esame.

Al paragrafo 10.1.1 sono stati riportati i risultati dell'analisi in termini di spostamenti verticali. Ne risulta una distribuzione sostanzialmente omogenea. I cedimenti differenziali sono dunque trascurabili considerando, anche, la loro variazione lineare lungo lo sviluppo delle travi.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 28 di 31

10 Verifiche di sicurezza struttura di fondazione cabina ENEL

10.1 Verifiche geotecniche

10.1.1 Capacità portante

La verifica di capacità portante viene condotta seguendo l'Approccio 2: (A1 + M1 + R3), con i coefficienti parziali indicati in dettaglio nel capitolo 8, quindi con coefficienti parziali unitari per le caratteristiche del terreno e pari a 2.3 per la fondazione superficiale (verifica di capacità portante). A titolo di esempio, si riporta il contour plot degli spostamenti verticali sulle travi di fondazione nella combinazione quasi permanente dei carichi.

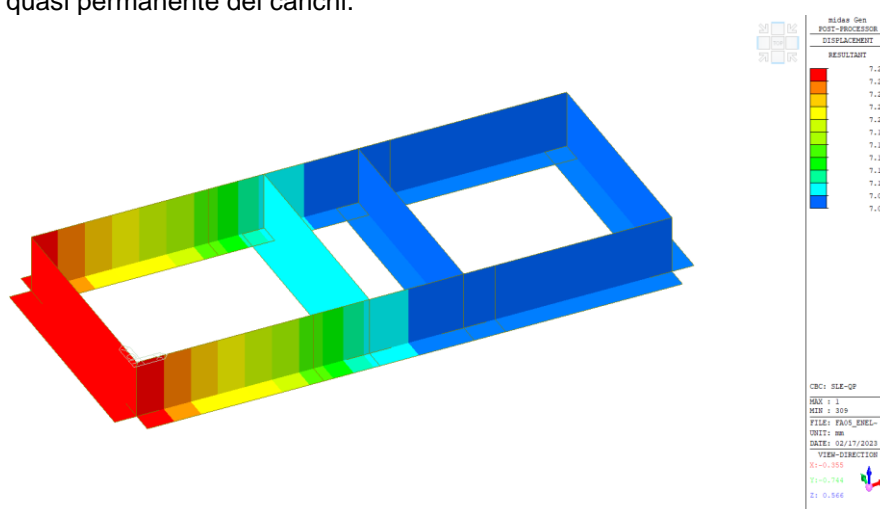


Figura 15 Spostamenti verticali sulle travi di fondazione in combinazione quasi permanente

Dal contour plot risulta una distribuzione sostanzialmente omogenea degli abbassamenti e quindi della reazione del terreno, come atteso data la notevole rigidezza delle travi rovesce. La pressione limite q_{lim} è stata determinata con la formula generale di Brinch-Hansen, impiegata per il calcolo della capacità portante di fondazioni superficiali.

$$q_{lim} = 0.5\gamma'BN_{\gamma}s_{\gamma}d_{\gamma}i_{\gamma}b_{\gamma}g_{\gamma} + q'N_q s_q d_q i_q b_q g_q + c'N_c s_c d_c i_c b_c g_c$$

Sulla base dei parametri geotecnici, di cui al capitolo 0, sono stati calcolati i diversi termini seguenti:

N_c, N_q, N_{γ} : coefficienti di capacità portante

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) * e^{(\pi * \tan \varphi')}$$

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

$$N_{\gamma} = 2 * (N_q + 1) * \tan \varphi'$$

s_c, s_q, s_{γ} : fattori di forma

$$s_c = 1 + B^* N_q / (L^* N_c)$$

$$s_q = 1 + B^* \tan \varphi' / L^*$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0.4 * B^* / L^*$$

i_c, i_q, i_{γ} : fattori di inclinazione del carico

$$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^m$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_{\gamma} = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*)$$

$$m_{\gamma} = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*)$$

$$\theta = \arctg(T_b / T_l)$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 29 di 31

d_o, d_q, d_γ : **fattori di profondità del piano di posa** $d_o = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\phi')$
 $D/B^* \leq 1 \rightarrow dq = 1 + 2D \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 / B^*$
 d_γ

$\beta_f + \beta_p = 0.00^\circ$ $\beta_f + \beta_p < 45^\circ$
 b_o, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione $b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2$
 $b_o = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\phi')$
 $b_\gamma = b_q$

g_o, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna $g_q = (1 - \tan\beta_p)^2$
 $g_o = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\phi')$
 $g_\gamma = g_q$

La verifica è stata eseguita estraendo i risultati all'involuppo SLU SLV per tutti gli elementi delle travi di fondazione, come riportato nelle tabelle seguenti. Il valore della capacità portante q_{lim} di seguito riportato è stato calcolato dividendo il risultato ottenuto con la formula di Brinch-Hansen per il coefficiente parziale di sicurezza pari a 2.3, secondo l'approccio 2 di NTC08. Inoltre, la pressione agente q è quella ottenuta dai risultati del modello di calcolo, amplificando poi le sollecitazioni agenti per il coefficiente γ_{Rd} pari a 1.1 in CDB, come richiesto nel paragrafo 7.2.5 delle NTC08. È possibile osservare che i rapporti tra azione resistenti ed agenti sono largamente maggiori dell'unità e le verifiche sono abbondantemente soddisfatte in tutti i casi analizzati.

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 1119.24 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 240.50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 486.62 \geq q = 240.50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

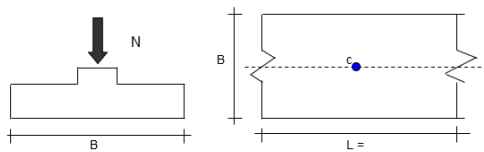
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE					
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica	<table border="1"> <tr> <td>Progetto IN17</td> <td>Lotto 12</td> <td>Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001</td> <td>Rev. B</td> <td>Foglio 30 di 31</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 30 di 31
Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 30 di 31		

10.1.2 Cedimenti

Si riporta di seguito la verifica dei cedimenti. Poiché le fondazioni poggiano sullo strato di sabbia ghiaiosa, la valutazione dei cedimenti viene effettuata per le sole condizioni di breve termine. Si riporta di seguito il calcolo eseguito:

CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

LAVORO:



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis: 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi)^{1/2}(\alpha + \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_x = (2q/\pi)^{1/2}(\alpha - \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi)^{1/2}(\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{\text{tot}} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y))\Delta z_i / E_i)$$

DATI DI INPUT:

B = 1.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 99.44 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 99.44 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 1 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da z _i	a z _{i+1}	Δz _i	E	ν	δc _i
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(-)	(cm)
1	SABBIA GHIAIOSA	19.00	0.0	19.0	1.0	15000	0.30	1.53
-		1.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		1.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		2.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		3.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		4.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FA05 – FABBRICATO PT AL KM 7+475,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E I2 RB FA 05 0 0 001	Rev. B	Foglio 31 di 31

z	Δz_i	Terreno	α	$\text{sen}\alpha$	$\text{cos}\alpha$	E	ν	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_x$	$\Delta\sigma_y$	δ_i	$\Sigma\delta_i$
(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm)	(cm)
0.00	1.0	1				15000	0.30					
1.00	1.0	1	0.79	0.71	0.71	15000	0.30	81.37	18.07	29.83	0.45	0.45
2.00	1.0	1	0.32	0.32	0.95	15000	0.30	39.36	1.38	12.22	0.24	0.68
3.00	1.0	1	0.20	0.20	0.98	15000	0.30	24.67	0.32	7.50	0.15	0.83
4.00	1.0	1	0.14	0.14	0.99	15000	0.30	17.85	0.12	5.39	0.11	0.94
5.00	1.0	1	0.11	0.11	0.99	15000	0.30	13.95	0.06	4.20	0.08	1.02
6.00	1.0	1	0.09	0.09	1.00	15000	0.30	11.45	0.03	3.44	0.07	1.09
7.00	1.0	1	0.08	0.08	1.00	15000	0.30	9.70	0.02	2.92	0.06	1.15
8.00	1.0	1	0.07	0.07	1.00	15000	0.30	8.42	0.01	2.53	0.05	1.20
9.00	1.0	1	0.06	0.06	1.00	15000	0.30	7.43	0.01	2.23	0.05	1.25
10.00	1.0	1	0.05	0.05	1.00	15000	0.30	6.65	0.01	2.00	0.04	1.29
11.00	1.0	1	0.05	0.05	1.00	15000	0.30	6.02	0.00	1.81	0.04	1.32
12.00	1.0	1	0.04	0.04	1.00	15000	0.30	5.50	0.00	1.65	0.03	1.36
13.00	1.0	1	0.04	0.04	1.00	15000	0.30	5.06	0.00	1.52	0.03	1.39
14.00	1.0	1	0.04	0.04	1.00	15000	0.30	4.69	0.00	1.41	0.03	1.42
15.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	4.36	0.00	1.31	0.03	1.44
16.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	4.08	0.00	1.22	0.02	1.47
17.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.83	0.00	1.15	0.02	1.49
18.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.62	0.00	1.08	0.02	1.51
19.00	1.0	1	0.03	0.03	1.00	15000	0.30	3.42	0.00	1.03	0.02	1.53

Il cedimento ottenuto, di modesta entità, risulta accettabile per l'opera in esame.

Al paragrafo 11.1.1 sono stati riportati i risultati dell'analisi in termini di spostamenti verticali. Ne risulta una distribuzione sostanzialmente omogenea. I cedimenti differenziali sono dunque trascurabili considerando, anche, la loro variazione lineare lungo lo sviluppo delle travi.