

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI NOVARA

1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO

BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO

Nuova passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack

Relazione tecnica illustrativa

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
N M O Y	0 0	D	1 1	R G	V I 0 1 0 0	0 0 1	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	IES	Maggio 2021	M.Milovanovic 	Maggio 2021	F.Perrone 	Maggio 2021	D.Maranzano Maggio 2021



File: NM0Y00D11RGVIO100001A.docx

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	9
4.1.	ACCIAIO	9
3.1.1.	Acciaio da carpenteria metallica.....	9
3.1.2.	Acciaio per cemento armato.....	12
4.2.	CALCESTRUZZO	13
3.2.1	Magrone.....	13
3.2.2	Calcestruzzo per fondazioni (plinto e soletta).....	13
3.2.3	Copriferro armature	15
4	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA.....	16
4.1.	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	17
4.1.1	Indagini disponibili	17
4.1.2	Documenti di riferimento.....	21
4.1.3	Parametri geologico-tecnici di riferimento	22
4.1.4	Caratteristiche della falda	23
4.2.	CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITÀ DEL SITO.....	23
4.3.	CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE AI FINI DEL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA	25
4.3.1	Magnitudo di riferimento.....	26
4.3.2	Definizione dell'azione sismica di progetto da NTC2018	28
4.3.3	Conclusioni	29
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	31
5.1	PARAMETRI GEOLOGICO-TECNICI DI RIFERIMENTO.....	31

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la descrizione del passerella pedonale dei binari Huckepack facente parte del Progetto Definitivo del Nodo di Novara.

La soluzione proposta in corrispondenza del Fabbricato Ristoro Autisti e del area di parcheggio è prevista inoltre la realizzazione di una passerella metallica per l'attraversamento pedonale della ferrovia.

Contestualmente alla realizzazione del nuovo corpo stradale di Autostrada Viaggiante si prevede la demolizione dei traccati esistenti e della vecchia sede stradale in disuso.

La passerella è realizzata in acciaio. La struttura in pianta ha forma rettangolare avente le seguenti dimensioni 34.37 m x 17.37 m.

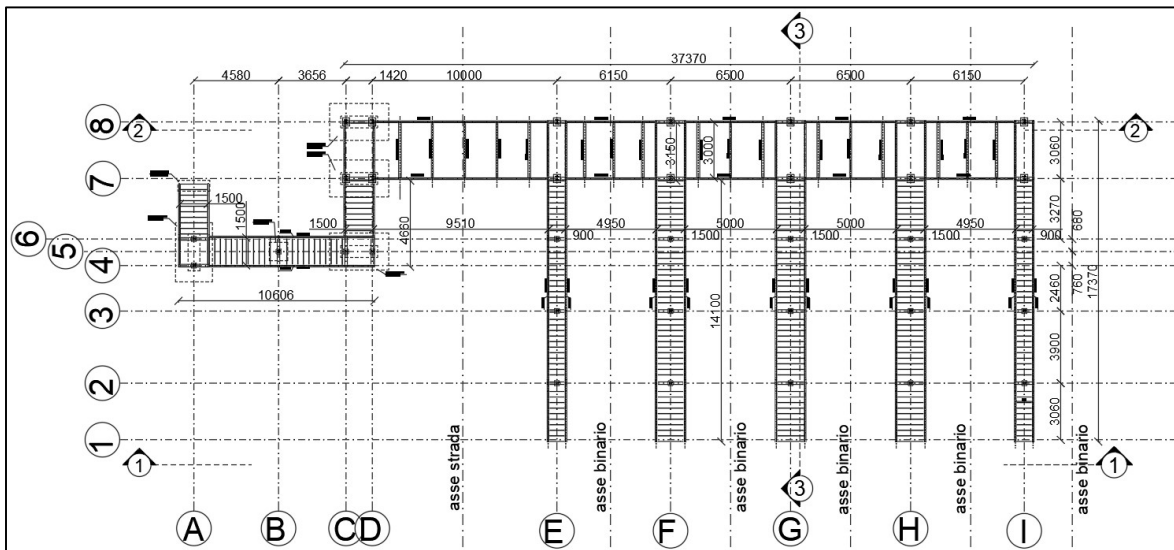


Figura 1 – Pianta

La piattaforma è a 7.25m di altezza da piano ferro. 5 rampe di scale sono all'interno dei piattaforme dei binari, e una rampa è all'esterno. Il sistema strutturale è caratterizzato da pilastri e travi.

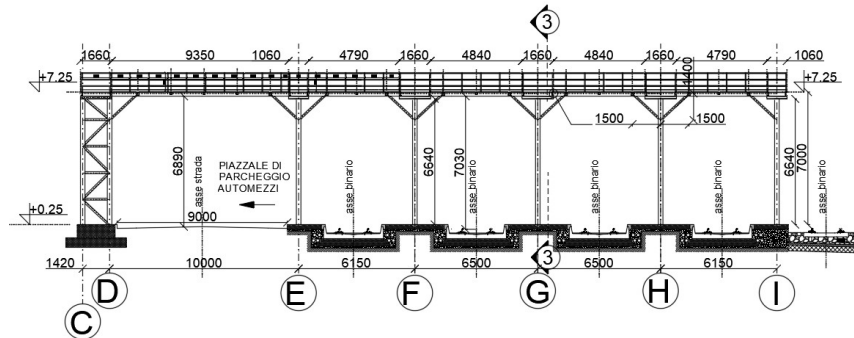


Figura 2 – Sezione longitudinale 1-1

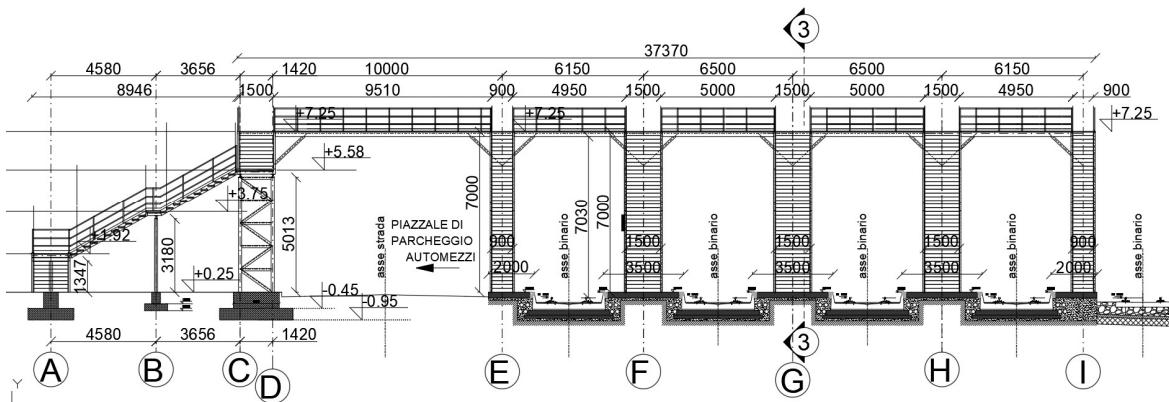


Figura 3 – Sezione longitudinale 2-2

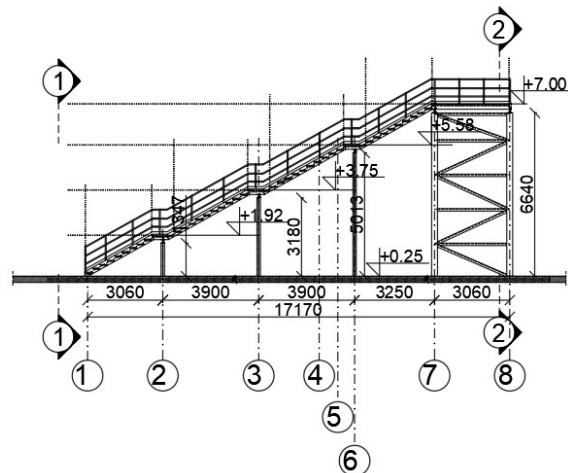


Figura 4 – Sezione trasversale 3-3

Profili usati:

Pilastri: HEB140 e HEB240

Travi longitudinali: UPN220 e UPN240


Travi trasversali: HEB140, □140x140x7.1 e □100x100x10

Diagonali: L100x100x10

I pilastri interni sono ancorati sulla soletta di base realizzate in cemento armato (25cm).

La fondazione dei pilastri esterni e realizzata con plinti in calcestruzzo armato.

Vengono utilizzate lastre del tipo 'grigliato' per la zona pedonale.


	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NM0Y</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>7 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	7 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	7 di 32											

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

- **Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018** “Norme tecniche per le costruzioni” pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018;
- **Circolare n. 7 del 21/01/2018** “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al DM 17/01/2018 pubblicata sulla GU n. 35 del 11/02/2019.
- Legge 5/11/1971, n.1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica
- “Norma per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti”: versione in bozza del Consiglio Superiore dei LL.PP. del 21/03/06
- Norma Europea UNI ENV 1990 – **Eurocodice 0** - Basi di calcolo;
- Norma Europea UNI ENV 1991 – **Eurocodice 1** - Azioni sulle strutture;
- Norma Europea UNI ENV 1992 – **Eurocodice 2** – Progettazione delle strutture in calcestruzzo;
- Norma Europea UNI ENV 1993 – **Eurocodice 3** – Progettazione delle strutture di acciaio;
- Norma Europea UNI EN 1994 – **Eurocodice 4** – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo;
- Norma Europea UNI ENV 1997 – **Eurocodice 7** – Progettazione Geotecnica;
- Norma Europea UNI EN 1998 – **Eurocodice 8** – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.
- **RFI DTC-INC-PO SP IFS 001 A** - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- **RFI DTC INC PO SP IFS 002_A** - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria;
- **RFI DTC INC PO SP IFS 003 A** - Specifica per la verifica a fatica dei ponti;
- **RFI DTC INC CS SP IFS 001 A** - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- **RFI DTC INC PO SP IFS 004 A** - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo;

- **RFI DTC INC PO SP IFS 005 A** - Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia.
- **RFI DTC SI PS MA IFS 001 A** - Manuale di progettazione delle opere civili parte II – sezione II – Ponti e strutture
- **RFI DTC SI CS MA IFS 001 C** - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- **RFI DTC SI CS SP IFS 001** – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- **Manuale di Progettazione RFI**
- **UNI EN 11104 marzo 2004** – “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”. Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- **UNI EN 206-1 ottobre 2006** – “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”;

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NM0Y</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>9 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	9 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	9 di 32											

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

4.1. Acciaio

3.1.1. Acciaio da carpenteria metallica

Si prescrive l'utilizzo di profilati in acciaio laminati a caldo **S355**:

- Tensione di snervamento $f_{yk} \leq 355 \text{ N/mm}^2$;
- Tensione di rottura $f_{tk} \leq 510 \text{ N/mm}^2$;
- Modulo elastico $E = 210000 \text{ N/mm}^2$;
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$;
- Modulo di elasticità trasversale $G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23 \text{ N/m}^2$;
- Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$ (per T fino a 100 °C);
- Densità $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Verifiche agli SLU

- Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4 $\gamma_{M0} = 1.05$
 - Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari
 $\gamma_{M1} = 1.05$
 - Resistenza di calcolo dell' acciaio $f_{yd} \leq 338.10 \text{ N/mm}^2$;
 - Coefficiente di omogeneizzazione a tempo 0
 $n_{t0} = 6.06$
 - Coefficiente di omogeneizzazione a tempo infinito
 $n_{t\infty} = 17.29$
- Acciaio per carpenteria metallica, travi, piastre e irrigidenti laminati a caldo tipo S355J2 UNI EN 10025-DOP (Regolamento 305-2011);
- Acciaio per carpenteria metallica, travi, piastre e irrigidenti saldati tipo S355J2 UNI EN 10025-DOP (Regolamento 305-2011);
- Acciaio per carpenteria metallica, travi piastre e irrigidenti non saldati tipo S355J0 UNI EN 10025-DOP (Regolamento 305-2011);

Le tensioni di rottura e snervamento vengono dedotte con riferimento alla tab. 4.2.I e 4.2.II del

DM17/01/2018:

- $f_{tk} = 510$ MPa per $t \leq 40.0$ mm tensione di rottura
- $f_{yk} = 355$ MPa per $t \leq 40.0$ mm tensione di snervamento
- $f_{tk} = 470$ MPa per $40.0 < t \leq 80.0$ mm tensione di rottura
- $f_{yk} = 335$ MPa per $40.0 < t \leq 80.0$ mm tensione di snervamento

Per quanto riguarda la classe di esecuzione, la qualità dei materiali (lamiere, profili, bulloni, ecc.), le saldature, e i rivestimenti superficiali vale quanto riportato al punto 6.6 del "CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI - PARTE II - SEZIONE 6" CAPITOLO 6.6. con le seguenti precisazioni:

Classe di esecuzione

EXC3

Tirafondi

- Barre interamente filettate con filettatura metrica ISO a passo grosso, di caratteristiche meccaniche equivalenti alla classe 8.8 secondo UNI EN ISO 898 parte I
- Dadi con caratteristiche meccaniche equivalenti alla classe 8 secondo UNI EN 898 parte II conformi per le caratteristiche dimensionali alla ISO 4032
- Rondelle in acciaio temperato e rinvenuto HV 300 conformi per le caratteristiche dimensionali alla UNI EN ISO 7089

Pertanto, ai fini delle verifiche:

$f_{yb} = 640.0$ MPa tensione di snervamento

$f_{ub} = 800.0$ MPa tensione di rottura

Acciaio stampato a freddo, classe 8.8, zincato min. 5 μ m.

Bulloni

- Tutte le giunzioni bullonate sono "a taglio".

Bulloneria in acciaio zincato a caldo. Si utilizzano bulloni di classe 4.6.


Gli elementi componenti il collegamento (vite, dado, piastrina) dovranno essere conformi alle parti rilevanti della norma EN 14399.

Gli elementi componenti la bullonatura sono conformi alle seguenti classificazioni:

Viti: Classe 4.6 secondo UNI EN ISO 898-1 2001

Dadi: Classe 5 secondo UNI EN 898-1 2001

E' previsto l'impiego di bulloni conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NMOY</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>11 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	11 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	11 di 32											

ISO 4016 e UNI 5592.

Per quanto riguarda le rosette, queste dovranno essere in acciaio del tipo C50 UNI EN 10083-2:2006 temprato e rinvenuto.

Pertanto, ai fini delle verifiche:

$f_{yb} = 240.0 \text{ MPa}$ tensione di snervamento

$f_{ub} = 400.0 \text{ MPa}$ tensione di rottura

NOTE:

- i bulloni dovranno essere montati con una rosetta sotto la testa e sotto il dado
- i tirafondi dovranno essere montati con una rosetta sotto il dado
- i tirafondi dovranno essere montati con dado e controdado. Qualora il controdado non fosse compatibile con la geometria e gli ingombri del collegamento, si dovranno prevedere dadi ribassati o idonei dispositivi di antisvitamento.

Allettamento piastra di base

Realizzato con malta tipo Emaco S55.

Saldature

In accordo al punto 6.6.7 del CAPITOLATO soprarichiamato.

Le saldature si intendono continue, con lato del cordone almeno pari almeno allo 0.7 del minimo spessore da collegare.

Le saldature si intendono a cordone d'angolo (salvo diversa indicazione).


Rivestimenti protettivi e isolamento elettrico

Tutte le parti metalliche dovranno essere sottoposte a zincatura a caldo in accordo al punto 6.6.10 del CAPITOLATO soprarichiamato.

Verniciatura con cicli omologati In accordo al punto 6.6.10.3 del CAPITOLATO soprarichiamato.

Il pendolo della TE agganciato alla trave secondaria della passerella metallica dovranno essere isolate da questi ai fini delle eventuali correnti vaganti, con fogli e boccole dielettriche in tessuto di vetro e resina epossidica avente caratteristiche meccaniche ed elettriche similari o superiori al Misolet LG11H.

Poiché il sovrappasso pedonale ricade (in parte) in zona di rispetto TE dovrà essere collegata al C.R.T.E. tramite limitatore di tensione bidirezionale; inoltre al fine di poter considerare il sovrappasso come un'unica massa metallica le unioni bullonate devono essere realizzate con le

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NMOY</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>12 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	12 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	12 di 32											

parti affacciate NON verniciate, in alternativa si deve cavallottare ogni giunto.

Prove sui materiali

Tutti i materiali impiegati dovranno essere effettuate prove in accordo al punto 6.6.4 del CAPITOLATO soprarichiamato. Per i tirafondi dovranno essere eseguite 3 prove di trazione e un'analisi chimica per ciascuna colata.

Controllo dei materiali lavorati

Prima della spedizione in opera, gli elementi costruiti dovranno essere sottoposti da parte di personale FS, oltre ai controlli previsti sulle saldature, ai controlli dimensionali e visivi, nonché a quelli sul rivestimento in ragione del 30% degli elementi prodotti per ciascun lotto di produzione; tali controlli potranno essere estesi in funzione dell'esito dei controlli, fino al 100% degli elementi stessi.

Le tolleranze di tutti i materiali lavorati dovranno essere in linea con quelle previste nelle normative di riferimento dei singoli elementi costituenti.

I montanti devono essere marcati meccanicamente in maniera indelebile sulle due ali, possibilmente alla stessa altezza.


Controllo in opera

Dopo il montaggio in opera saranno effettuate a campione da parte delle FS verifiche di posizionamento dei montanti e delle coppie di serraggio; tali controlli potranno essere estesi in funzione dell'esito degli stessi, fino al 100% degli elementi stessi. Infine saranno effettuati controlli sulla finitura del rivestimento.

3.1.2. Acciaio per cemento armato

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

Acciaio TIPO	B450C
– tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
– tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;
– modulo elastico	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$
Verifiche agli SLU	
– coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio	$\gamma_s = 1.15$
– resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$;

	NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack								
	Relazione di calcolo	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.
	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	13 di 32

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

Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11 del D.M.2018, la tensione massima, σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_s < 0.75 f_{yk} = 0.75 \cdot 450 = 337.5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ tensione massima di esercizio per l'acciaio.

4.2. Calcestruzzo

3.2.1 Magrone

- Classe di resistenza C12/15;
- Contenuto min. cemento 150 kg/m³.

3.2.2 Calcestruzzo per fondazioni (plinto e soletta)

Per le strutture di fondazione si impiega calcestruzzo di classe C25/30:

Classe di esposizione	XC3
Rapporto acqua/cemento max	0.55
Dose minima cemento	320 kg/m ³
Resistenza cubica caratteristica a compressione	30 MPa

Tabella 3-1: Caratteristiche del conglomerato di classe C25/30

Tensioni di progetto del calcestruzzo allo S.L.U. secondo D.M. 2018

Prendendo un calcestruzzo con $R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2$ che appartiene alla classe C25/30 abbiamo:

- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 0.83 \cdot 30 = 24.9 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 24.9 \cdot 0.85 / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza di calcolo a compressione del cls;

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

- $f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0.30 \cdot 24.9^{(2/3)} = 2.55 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 0.7 \cdot 2.55 = 1.79 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.79 / 1.5 = 1.19 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza di calcolo a trazione del cls.

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

- $f_{bk} = 2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} = 2.25 \cdot 1.0 \cdot 1.79 = 4.03 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls;
- dove $\eta = 1.0$ per barre di diametro inferiore a 32 mm
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$; con $\gamma_c = 1.5$
- $f_{bd} = 4.03 / 1.5 = 2.68 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza di calcolo di aderenza del cls.

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

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck}$ per combinazione caratteristica (rara);
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck}$ per combinazione quasi permanente.

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

Nel caso di combinazione rara:

- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 0.55 \cdot 24.9 = 13.70 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;

Nel caso di combinazione quasi permanente:


- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 0.40 \cdot 24.9 = 9.96 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm.

Modulo elastico del calcestruzzo

$$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

dove

- $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow f_{cm} = 24.9 + 8 = 32.90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [32.90/10]^{0.3} = 31447.16 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ Modulo elastico del cls.

	NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack									
	Relazione di calcolo	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	15 di 32	

3.2.3 Copriferro armature

Per la determinazione del copriferro si fa riferimento sia a quanto prescritto nelle norme NTC2018 e relativa Circolare 2019, ai § 4.1.2.2.4.2 e 4.1.6.1.3, sia al Capitolato RFI DTC SI PS SP IFS 001 § 6.5.11 in cui si prescrive il controllo in fase di esecuzione dei copriferri: circostanza che permette di ridurre di 5 [mm] il valore del copriferro definito in NTC, come di seguito mostrato:

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

C4.1.6.1.3 Copriferro e interfero

Con riferimento al § 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato in Tabella C4.1.IV, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.IV delle NTC. I valori sono espressi in mm e sono distinti in funzione dell'armatura, barre da c.a. o cavi aderenti da c.a.p. (fili, trecce e trefoli), e del tipo di elemento, a piastra (solette, pareti,...) o monodimensionale (travi, pilastri,...).

A tali valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.

I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm. Per classi di resistenza inferiori a C_{min} i valori della tabella sono da aumentare di 5 mm. Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5 mm.

Per acciai inossidabili o in caso di adozione di altre misure protettive contro la corrosione e verso i vani interni chiusi di solai alleggeriti (alveolari, predalles, ecc.), i copriferri potranno essere ridotti in base a documentazioni di comprovata validità.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} < C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

	Ambiente	Classe calcestruzzo	Copriferro _{min}	Copriferro
Fondazione (plinto e soletta)	Ordinario	$C_{min} \leq 25/30 < C_o$	20 mm	30

4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Il documento codice NM0Y00D11GEOC0001001A costituisce la RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE di inquadramento redatto nell'ambito della Progettazione Definitiva delle opere di Nodo di Novara Boschetto, nell'ambito del quale sono previsti i seguenti interventi:

- Linea Vignale-Arona-Domodossola;
- Bretella Merci di Vignale – Linea Alessandria-Arona
- Zona Bretelle Merci – Scalo Novara Boschetto
- Interventi all'interno dello Scalo Novara Boschetto

Dal punto di vista geografico, il sito oggetto di studio si colloca nella parte sud-orientale della Nodo di Novara Boschetto, nel territorio provinciale di Novara (NO) nella regione Piemonte.



Figura 1 – Plan Nodo di Novara Boschetto

Nello scalo di Novara Boschetto si prevede di modificare l'ingresso dei convogli l'Autostrada Viaggiante che attualmente arrivano da Vignale entrano a Novara centrale da ovest e

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NMOY</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>17 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	17 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	17 di 32											

successivamente arrivano a Boschetto da sud.

Lato Novara, ad nord-est, sono presenti i gruppi di binari del CIM e dell'autostrada viaggiante mentre e del fascio "Boschetto". Alcuni binari sono utilizzati per parcheggiare le locomotive delle società ferroviarie che vi operano. Tra questi binari e l'autostrada in movimento si realizza il collegamento con il passerella pedonale.

Nel profilo geotecnico si riportano le stratigrafie delle unità geotecniche individuate, le misure eseguite in sito (SPT), la posizione dei campioni estratti, le quote della falda rilevate nel corso delle perforazioni e la tabella riepilogativa dei parametri geotecnici.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- Breve inquadramento geologico;
- Descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- Descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- Interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche individuate;
- Risposta sismica del sito;
- Verifica della suscettibilità alla liquefazione.

4.1. Indagini geognostiche

4.1.1 Indagini disponibili

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area d'interesse è svolta sulla base delle

campagne di indagine riepilogate sopra e di seguito enucleate:

- N° 8 sondaggi a carotaggio continuo (linea AV Milano-Torino 1992)
- N° 9 sondaggi a carotaggio continuo (linea AV Milano-Torino 2000-2001)
- N° 6 sondaggi a carotaggio continuo (Italferr 2002)
- N° 5 sondaggi a carotaggio continuo e N° 2 sondaggi a distruzione (campagna 2009)
- N° 2 sondaggi a carotaggio continuo (campagna 2011)
- Prove geofisiche: 5 MASW e 2 Re.Mi (Italferr 2018) 3 Cross-Hole (2009)
- N° 6 sondaggi a carotaggio continuo (Italferr 2020) - limitatamente ai risultati delle prove SPT

- N° 6 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (Italferr 2020)
- N° 11 prove penetrometriche pesanti DPSH (Italferr 2020)
- N. 8 prove geofisiche MASW e HVSr (Italferr 2020)

L'ubicazione degli scandagli lungo il percorso è riportata nei relativi documenti. Per le stratigrafie e le foto delle cassette di rilievo si rimanda ai documenti di riferimento.

Per le tabelle seguenti si rimanda ai relativi documenti per tutti i rilievi geognostici effettuati nell'ambito delle campagne di rilievo sono elencati con l'indicazione delle prove eseguite ed utilizzate nella caratterizzazione, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singolo individuo posizione (pk, coordinate, altezza, strumentazione, profondità, numero di campioni, numero di prove SPT).

Sigla	Pk	Quota m s.l.m.	N	E	Strumentazione	Profondità m	Campioni rimaneggiati	Campioni indisturbati	Pressiometriche	SPT	Lefranc
S1	64+650	148.0	0471990	5034159	-	15	5	-	-	5	1
S2	64+350	150.0	0471376	5033936	Piezometro TA	20	6	-	-	6	1
S3	63+650	150.5	0470968	5033395	Piezometro TA	25	8	-	-	8	1
S3B a distr	63+650	150.5	0470968	5033395	Piezometro a cella Casagrande	12.5	-	-	-	-	-
S4	-	147.5	0471015	5032687	Prova geofisica DH	30	9	1	1	10	2
S4B a distr	-	147.5	0471015	5032687	Prova geofisica CH	30	-	-	-	-	-
S4T a distr	-	147.5	0471015	5032687	Prova geofisica CH	30	-	-	-	-	-
S5	-	148.0	0471346	5032288	Piezometro TA e cella Casagrande	30	10	-	2	10	2
S6	-	152.0	0471614	5031829	Piezometro TA e cella Casagrande	30	10	-	2	10	2

I sondaggi S4-4B-4T, S5-S6 sono limitrofi all'area in progetto ma non vi ricadono direttamente.

Tabella 1 - Riassunto dei sondaggi e prove eseguite nel tratto d'interesse (Campagna ITF 2009).

Sigla	Quota m.s.l.m.	N	E	Strumentazione	Profondità/ Lunghezza m	Campioni rimaneggiati	Campioni indisturbati	SPT	Lefranc	Prove pressiometriche
PDNB01_S5	149.8	5033660.0 9	1471089.6 6	Piezometro TA	30	8	-	10	2	-
PDNB01_S6	150.0	5034316.2	1471841.1	Piezometro TA	30	9	-	10	1	-
PDNB01_S4	150.7	5034710.6	1471559.6	Piezometro TA	30	10	-	10	1	-
PDNB01_S3	154.0	5035272.9	1470040.7	Piezometro TA	30	6	-	10	2	1
PDNB01_S1	163.6	5037317.9	1469577.6	Piezometro TA	30	8	-	10	2	-
PDNB01_S2	157.0	5035747.6	1469872.2	Piezometro TA	30	10	-	10	2	1

Tabella 2 - Riassunto dei sondaggi e prove eseguite nel tratto d'interesse (Campagna ITF 2020).

Sigla	Quota m.s.l.m.	N	E	Profondità/ Lunghezza m
DPSH1	161.13	5037524.5	1470094.8	15
DPSH2	160.67	5037472.5	1470376.3	15
DPSH3	159.55	5037203.6	1470628.1	15
DPSH4	154.96	5035594.0	1469822.7	15
DPSH5	155.35	5035767.0	1470005.5	15
DPSH6	154.82	503475.1	1470217.9	15
DPSH7	154.43	5035320.5	1470566.1	15
DPSH8	150.23	5034635.4	1471384.9	15
DPSH9	150.34	5034574.8	1471664.7	15
DPSH10	149.37	5034376.9	1471808.5	15
DPSH11	150.65	5033803.2	1471271.2	15

Tabella 3 - Riassunto prove DPSH eseguite nel tratto d'interesse (Campagna ITF 2020).

Nella Tabella 3 sono elencati i risultati delle prove Lefranc.

Sondaggi	Campagna indagine (anno)	Profondità (m)	k (m/s)	Litotipo
S261	1992	19	1.7 10 ⁻⁴	Sabbia
S263	1992	10	3.2 10 ⁻⁴	Ghiaia con sabbia
S263	1992	19.5	5.3 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
SINO14	2000	11.5	9.0 10 ⁻⁶	Sabbia deb. Limosa
SINO15	2000	7.0	5.0 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
SINO16	2000	7.0	3.0 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
SINO17	2000	16.5	7.0 10 ⁻⁶	Sabbia deb. Limosa
SINO18	2000	8.5	3.0 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
S1	2009	6	3.1 10 ⁻⁶	Ghiaia sabbioso-limosa
S2	2009	8	1.1 10 ⁻⁷	Sabbia limosa
S3	2009	16	1.5 10 ⁻⁷	Sabbia deb. limosa
S4	2009	17	1.7 10 ⁻⁷	Sabbia deb. limosa
S4	2009	23	7.5 10 ⁻⁸	Limo sabbioso
SCMAP1V01	2011	11.5	3.7 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
PNMAP1B02	2011	14.5	3.6 10 ⁻⁶	Sabbia limosa
XMBD1R001	2002	9.5	1.97 10 ⁻⁵	Ghiaia sabbiosa
AMBD1V002	2002	14	4.95 10 ⁻⁷	Sabbia limosa
AMBD1V002	2002	29	1.21 10 ⁻⁵	Sabbia deb. Limosa
AMBD1V003	2002	5.0	2.24 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
AMBD1V003	2002	14	1.47 10 ⁻⁵	Sabbia deb. Limosa
AMBD1V003	2002	24.5	2.02 10 ⁻⁵	Sabbia deb. Limosa
AMBD1V003	2002	35	3.77 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
SMBD1V004	2002	18.5	2.12 10 ⁻⁵	Sabbia deb. Limosa
XMBD1R005	2002	4.5	7.64 10 ⁻⁵	Ghiaia con sabbia
XMBD1R006	2002	9.5	1.45 10 ⁻⁵	Sabbia deb. Limosa
SCMBP1B01	2005	6.7	1.51 10 ⁻⁶	Ghiaia deb. limosa
SCMBP1B01	2005	12.4	6.78 10 ⁻⁶	Ghiaia deb. limosa
PNMBP1V02	2005	5.5	5.3 10 ⁻⁶	Ghiaia ded. limosa
PNMBP1V02	2005	14.5	1.0 10 ⁻⁶	Ghiaia ded. limosa
PDNB01_S1	2020	4.5	3.0 10 ⁻⁶	Ghiaia ded. limosa
PDNB01_S2	2020	1.5	1.5 10 ⁻⁶	Sabbia deb. Limosa
PDNB01_S2	2020	4.5	1.5 10 ⁻⁴	Ghiaia ded. limosa
PDNB01_S3	2020	1.5	8.2 10 ⁻⁷	Limo
PDNB01_S3	2020	4.5	2.0 10 ⁻⁴	Ghiaia ded. limosa
PDNB01_S4	2020	1.5	2.0 10 ⁻⁷	Limo
PDNB01_S5	2020	1.5	4.2 10 ⁻⁵	Sabbia limosa
PDNB01_S5	2020	4.5	-	Ghiaia ded. limosa
PDNB01_S6	2020	1.5	3.8 10 ⁻⁷	Limo

Tabella 4 – Risultati prove Lefranc

Sulla base della Tabella 5 (Classificazione dei terreni secondo il valore di K, da “Elementi di Geotecnica”, Colombo e Coleselli – 1996).

	NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack
	PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO NM0Y 00 D 11 RG VI 0100 001 A 21 di 32
Relazione di calcolo	

Grado di permeabilità	Valore di k (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} \div 10^{-5}$
basso	$10^{-5} \div 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} \div 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

Tabella 5 - Classificazione dei terreni secondo il valore di K (da "Elementi di Geotecnica", Colombo e Coleselli – 1996).

Indagine	Velocità (m/s)
Cross-Hole S4-S4B	264
ReMi 1	354
ReMi 2	356
Masw 1	359
Masw 2	348
Masw 3	334

Tabella 6 - Posizione delle prove geosismiche 2009-2018.

Indagine	Velocità (m/s)
MASW 1	312
MASW 2	297
MASW 3	314
MASW 4	304
MASW 5	296
MASW 6	300
MASW 7	352
MASW 8	331

Tabella 7 – Posizione delle prove geosismiche 2020.

4.1.2 Documenti di riferimento

NM0Y00D11GEOC0001001A - Relazione geotecnica generale

NM0Y00D11F6OC0001001A - Profilo Geotecnico tav 1/4

NM0Y00D11F6OC0001002A - Profilo Geotecnico tav 2/4

NM0Y00D11F6OC0001003A - Profilo Geotecnico tav 3/4

NM0Y00D11F6OC0001004A - Profilo Geotecnico tav 4 /4

NM0X00R69RGGE0001001A - Relazione geologica

NM0X00R69RGGE0001001A - Indagini geofisiche (2009)

MAP100R69PRGE0005003A - Prove di laboratorio (2002-2004)

MAP100R69PRGE0005002A - Prove di laboratorio (2009)
MAP100R69PRGE0005001A - Prove di laboratorio (2011)
MAP100R69SGGE0005003A - Stratigrafie sondaggi (1992-2005)
MAP100R69SGGE0005001A - Stratigrafie sondaggi (2011)
MAP100R69SGGE0005002A - Stratigrafie sondaggi (2009)
NM0Y00DG9IGGE0001001A - Indagini geofisiche (2020)
NM0Y00D69SGGE0000001A - Esiti indagini in situ (2020)

4.1.3 Parametri geologico-tecnici di riferimento

In accordo con quanto assunto nella relazione geologica, sono state individuate 4 unità litologiche. Il sottosuolo, nell'area di progetto, è costituito da:

- **Unità A: Riporti**

I depositi dell'unità A costituiscono il litotipo superficiale della coltre di riporto che caratterizza l'area di progetto.

- **Unità B: Ghiaie e Ghiaie con sabbia**

I depositi dell'unità B costituiscono i depositi più grossolani di natura prevalentemente ghiaiosa che si presentano in modo prevalente a partire dalle minori profondità e con spessori variabili e compresi tra 6-8 m. Tale formazione è stata altresì rinvenuta in corrispondenza delle verticali più profonde (SINO 14-S264-SI 35) anche a 35-45 m dal piano campagna.

- **Unità C: Sabbie e sabbie limose**


I depositi dell'unità C costituiscono i depositi di natura prevalentemente sabbiosa che si presentano in modo prevalente al disotto della formazione ghiaiosa che caratterizza tutta l'area d'intervento

- **Unità D: Limi e limi sabbiosi**

I depositi dell'unità D sono presenti come elementi lentiformi, anche di spessore metrico, rilevati lungo tutto lo sviluppo del tracciato; tali depositi sono caratterizzati da un prevalente contenuto di frazione fine a granulometria limosa.

- **Unità E: Corpo dei rilevati**

I depositi dell'unità E rappresentano i terreni costituenti il corpo dei rilevati per i quali, non avendo a disposizione prove dirette, si assumono i seguenti parametri fisico - meccanici caratteristici.

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NMOY</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>23 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	23 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	23 di 32											

4.1.4 Caratteristiche della falda

La falda si attesta nei litotipi ghiaiosi e sabbiosi presenti al di sotto del piano campagna, con una profondità che si aggira mediamente attorno ai 2-4 m dal piano campagna.

Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrato in fase di perforazione per tutti i punti di indagine disponibili, con indicazione delle principali caratteristiche del foro (Sigla, Piezometro, Data, Quota e Note).

Ai fini delle valutazioni che seguiranno si è fatto riferimento ad una quota della falda corrispondente alla minima rilevata nel corso delle misure effettuate e pari a 2 m dal piano campagna.

4.2. Classificazione sismica e stabilità del sito

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c^* ;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_r ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento V_r della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{vr} associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento V_r , T_r è esprimibile in funzione di P_{vr} mediante l'espressione:

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_r = V_n \cdot C_u$$

dove V_n è la vita nominale dell'opera e C_u la classe d'uso.

Si è posto $V_n=75$ anni e $C_u=1.0$ (classe d'uso II).

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ag, l'accelerazione di picco a_{max} è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove S_s è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_t è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Sulla base della vigente normativa, la classificazione sismica del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,H} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\epsilon < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti.

Nel seguito si riportano le categorie di suolo definite dalla normativa vigente:

A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;

B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.;

C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;

D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;

E: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

	NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack								
	Relazione di calcolo	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.
	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	25 di 32

Nell'ambito del presente studio, le categorie di sottosuolo per l'area di intervento sono state definite in funzione delle n.5 prove **MASW**, n.2 prove **Re.Mi**. e 1 prova **Cross-Hole** realizzate durante la campagna del 2018 e 2009 rispettivamente.

	MASW 1	MASW 2	MASW 3	Re.Mi 1	Re.Mi 2	CH S4-S4B
V_{seq} (m/s)	359	348	334	354	356	264
Categoria di suolo di fondazione	C	C	C	C	C	C

Tabella 8 – Sintesi prove geofisiche – 2009-2018

	MASW 1	MASW 2	MASW 3	MASW 4	MASW 5	MASW 6	MASW 7	MASW 8
V_{seq} (m/s)	312	297	314	304	296	300	352	331
Categoria di suolo di fondazione	C	C	C	C	C	C	C	C

Tabella 9 – Sintesi prove geofisiche – 2020

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo le aree in oggetto localizzate in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, le morfologie possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018.

In particolare, i siti in oggetto possono essere classificati di categoria **T1**, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

Si assume per le aree in progetto la categoria di sottosuolo di fondazione "**C**".

4.3. Categoria di suolo di fondazione ai fini del calcolo dell'azione sismica

Con riferimento alla tabella 3.2.11 delle NTC2018, per la definizione dell'azione sismica locale ci si è basati (approccio semplificato) sull'individuazione di categorie di sottosuolo stimate a partire dai valori di V_s , eq ottenuti dalle indagini sismiche precedentemente descritte:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

 h_i spessore dell'i-esimo strato;

 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

 N numero di strati;

 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Secondo la normativa vigente, per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. La presente classificazione è riferita al p.c.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_S , eq è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per l'area di interesse sono stati esaminati profili di $V_{S,30}$ disponibili dalle prove sismiche congiunte MASW+Re.Mi+Cross Hole (riportate in tabella), realizzate nell'ambito della campagna di progetto.

Le indagini sismiche condotte lungo tratta di interesse hanno permesso di definire la categoria di sottosuolo come "C" per le prove MASW, Re.Mi, Cross Hole ovvero "Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."

4.3.1 Magnitudo di riferimento

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & Valensise, 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento M_w .

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti (*metodo della Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione* - ICMS2017 - Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ), 2017).

Il territorio in oggetto ricade all'interno della zona basso sismogenetica.

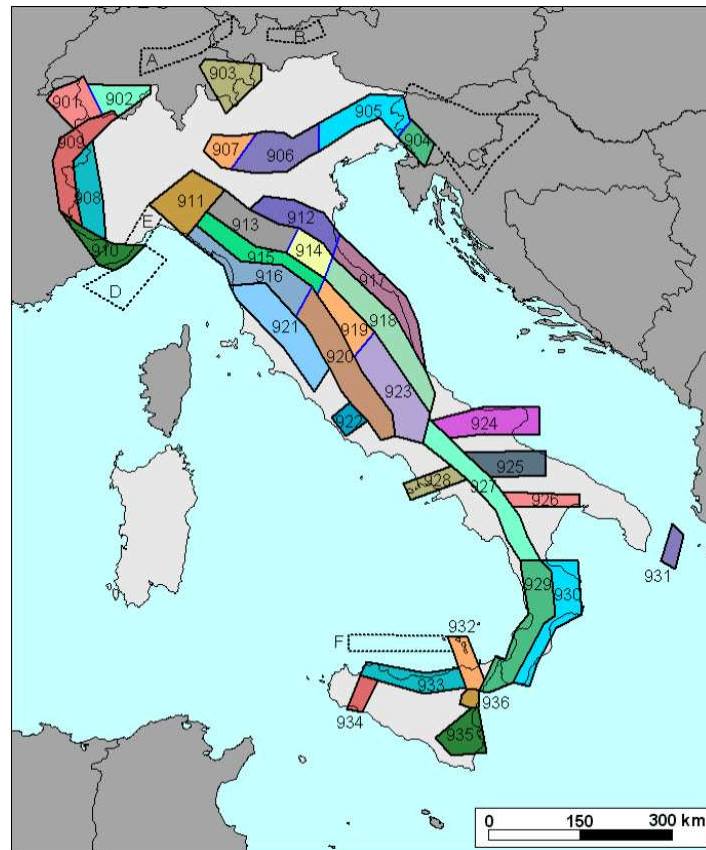



Fig. 4-2: Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Fig. 4-1: Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NMOY</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>28 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	28 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NMOY	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	28 di 32											

4.3.2 Definizione dell'azione sismica di progetto da NTC2018

Dal 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (ora aggiornate dal D.M. 17/01/2018), per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali (come previsto dalla precedente normativa in materia sismica).

L'azione sismica ai sensi del D.M. 17/01/2018 viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A), a superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), riferendosi alla definizione di "pericolosità sismica di base", fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

L'azione sismica viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione. In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica "probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} ":

- **a_g** : accelerazione massima su suolo tipo A;
- **F_0** : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **T_c^*** : periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;

Relativamente alla pericolosità sismica di base, in riferimento alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il *range* di accelerazione massima del suolo con probabile eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi, nell'area in studio è compresa tra 0.025 e 0.05g.

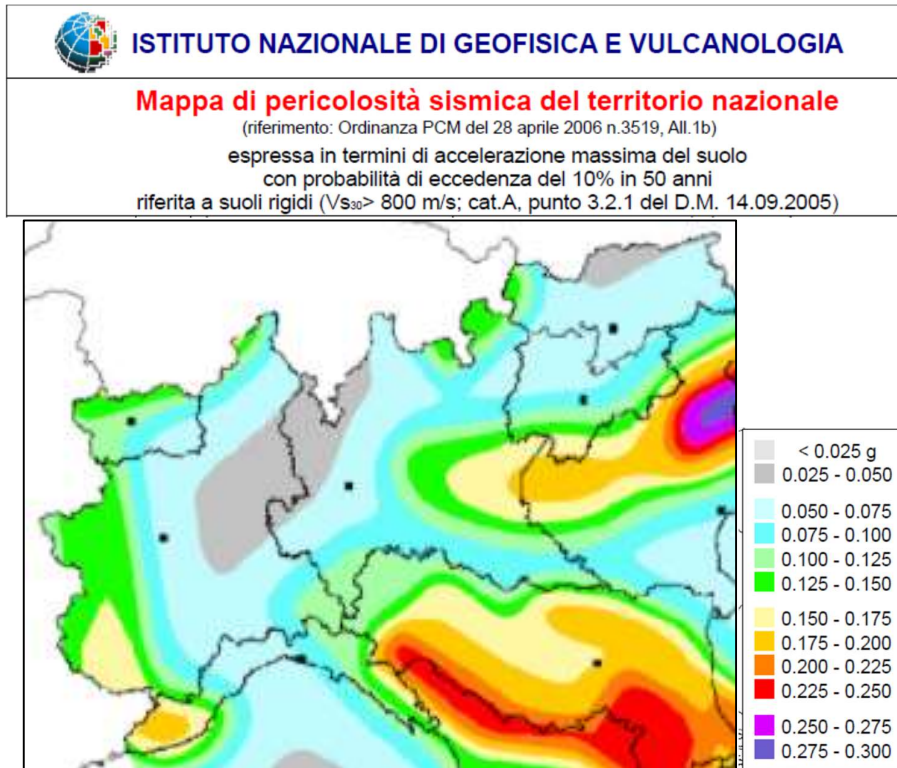


Fig. 4-3 - Valori di pericolosità sismica del territorio regionale (particolare della Regione Piemonte nella quale insistono i siti di progetto). In grigio l'area degli interventi. Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Nel seguito si riportano i parametri dell'azione sismica di riferimento individuati per il Comune di Piemonte, in cui ricadono i siti di studio.

Nelle ipotesi dei seguenti valori di progetto:


- Vita nominale V_N : 50 anni
- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso C_U : 1,0
- Periodo di riferimento V_R : 50 anni

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale di cui ai paragrafi successivi.

4.3.3 Conclusioni

La presente relazione illustra e riassume i risultati dello studio geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico eseguito a supporto del Progetto Definitivo del Nodo di Novara (NO).

In particolare, l'intervento si concentra presso un sito caratterizzato dalla presenza di depositi di natura prevalentemente sabbiosa che si presentano in modo prevalente al disotto della

	<p>NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO</p> <p>Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack</p>																		
<p>Relazione di calcolo</p>	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NM0Y</td> <td>00</td> <td>D</td> <td>11</td> <td>RG</td> <td>VI 0100</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>30 di 32</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	30 di 32
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	30 di 32											

formazione ghiaiosa che caratterizza tutta l'area d'intervento.

Per tale sito, le cartografie di piano (PAI), non indicano particolari condizioni di criticità geomorfologiche.

I sondaggi da bibliografia reperiti nella banca dati dei sondaggi dell'ISPRA, e le risultanze della campagna di indagini realizzate per la presente fase progettuale hanno consentito di ricostruire in via preliminare i modelli stratigrafici dei siti di riferimento.

I risultati delle indagini geofisiche realizzate nell'ambito della campagna di progetto hanno permesso di definire la categoria di sottosuolo come "C".

Per l'area di interesse si assume una categoria topografica "T1".

Si rinviene una falda ad una profondità variabile tra 2 e 4 m da p.c.

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nel rispetto dell'elaborato contenente la definizione dei parametri geotecnici.

Tipologia	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	E' (MPa)	k (m/s)
Unità A – Coltre e Riporti	18.0-19.0	0	26-30	-	-	4-9	-
Unità B – Ghiaie e Sabbia e ghiaia	20.0	0	40-44	-	-	35-60 da 0 a 10 m 45-70 >10	10-4 - 10-5
Unità C – Sabbie	18.0-19.0	0	34-36	-	-	20-40	$3 \cdot 10^{-5}$
Unità D – Limi	18.0-19.0	0-10	26-28	50-60	9-12	8-10	$2-3 \cdot 10^{-7}$
Unità E – Corpo rilevati	20.0	0	34-35	-	-	20-30	-

Tabella 10 – Modello geotecnico

Legenda della tabella sopra riportata:

- γ' = peso di volume del terreno [kN/m³];
- c' = coesione efficace [kPa];
- ϕ = angolo d'attrito interno [°];
- c_u = coesione terreno non drenato [kPa];
- E_u = Modulo elastico terreno non drenato [MPa];
- E' = Modulo di Young [MPa];
- Coefficiente di permeabilità [m/s]

5.1 Parametri geologico-tecnici di riferimento

Si procede quindi alla definizione dei modelli geotecnici di riferimento che saranno adottati per la progettazione e la verifica delle strutture in progetto. Nelle tabelle che seguono si riportano i parametri caratteristici adottati.

Per il rilevato stradale si assumono i seguenti valori dei parametri geotecnici caratteristici:

peso di volume $\gamma = 20$ kN/m³

angolo di attrito $\phi' = 34^\circ$

coesione efficace $c' = 0$

	NODO DI NOVARA. 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO BRETELLA MERCI E PRG BOSCHETTO Nuovo passerella metallica a scavalco dei binari Huckepack								
	Relazione di calcolo	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.
	NM0Y	00	D	11	RG	VI 0100	001	A	32 di 32

Valori di progetto dei parametri geotecnici:

Tipologia	γ' (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	E' (MPa)
Unità A	19	0	26	-	-	4
Unità B	19	0	40	-	-	35 da 0 a 10m 45 >10m
Unità C	20	0	34	-	-	20
Unità D	19	0	26	-	-	8
Unità E	20	0	34	-	-	20

Tabella 11 – Modello geotecnico

Legenda della tabella sopra riportata:

- γ' = peso di volume del terreno [kN/m³];
- c' = coesione efficace [kPa];
- ϕ = angolo d'attrito interno [°];
- c_u = coesione terreno non drenato [kPa];
- E_u = Modulo elastico terreno non drenato [MPa];
- E' = Modulo di Young [MPa];
- Coefficiente di permeabilità [m/s]

La falda è stata individuata 2m a p.c.