

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. PRODUZIONE CENTRO NORD

PROGETTO ESECUTIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA–CATENANUOVA

Soppressione PL al km 3+639

CAVALCAFERROVIA IV01

Relazione tecnica valutazione liquefazione

SCALA:

-
---

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

RS0M    00    E    26    RB    IV0100    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	N.Carella	09/2015	A.Malangi	09/2015		09/2015	

Ordine di lavoro n. 10392 sez. A  
 Direzione Tecnica  
 ITALFERR S.p.A.  
 Produzione Centro Nord  
 Off. S. Ing. Fabrizio Arduini  
 Via S. Maria della Prov. di Roma n. 10392

RS0M00E26RBIV0100002A.doc

n. Elab.:



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO.....	5
4	CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA.....	7
4.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	7
4.2	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
5	ANALISI DI LIQUEFAZIONE .....	9
5.1	GENERALE.....	9
5.2	CONCLUSIONE .....	12

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

## 1 PREMESSA

Il presente documento illustra le valutazioni effettuate in merito alla suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione in relazione alla pericolosità sismica dei siti, nell'ambito della Progettazione Definitiva del cavalcaferrovia IV01 del Nuovo Collegamento ferroviario Palermo-Catania, tratta Bicocca-Catenanuova.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- valutazione delle caratteristiche dei terreni con riferimento alla suscettibilità alla liquefazione e definizione dei coefficienti di sicurezza e del potenziale di liquefazione dei terreni a partire dalle azioni sismiche di progetto, tenendo conto anche della categoria di sottosuolo dei terreni interessati dalle opere e delle condizioni topografiche del tracciato;

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA RS0M	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normativa di riferimento

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- [N1] Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- [N2] Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- [N3] DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- [N4] Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

### 2.2 Documenti di riferimento

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- D.1. RSJ1 01 R 79 RG GE0001 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Bicocca. Progetto Preliminare. Relazione geologica. Marzo 2011.
- D.2. RS0K 00 D 26 RB GE0005 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Bicocca. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica generale. Giugno 2015.
- D.3. RS0K 00 D 26 F7 IV0100 001 A – Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Catenanuova-Bicocca. Progetto Definitivo. Profilo longitudinale geotecnico – Opera IV01. Giugno 2015.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

### 3 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

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. Le azioni sismiche di progetto sono definite sulla base dei dati derivanti dalla pericolosità sismica ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ), della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche del sito come definite al § 3.2.2 delle NTC-2008.

Nella relazione geologica D.1, sono riportati per i punti più prossimi alla tratta di interesse i valori dei parametri di pericolosità sismica di sito per lo SLV. Per il punto su cui è evidenziata l'accelerazione massima (: ID=48310, longitudine = 15.059, latitudine = 37.424), è stata calcolata l'accelerazione massima ( $a_{max}$ ):

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

Nella valutazione di ( $a_g$ ) si è considerato:  $V_N = 75$  anni (vita nominale dell'opera);  $C_U = 1.5$  (classe d'uso III); categoria sismica di sottosuolo di tipo C. Inoltre,  $S_s$  è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica,  $S_T$  è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Da cui risulta che lungo il tracciato il valore di accelerazione massima ( $a_{max}$ ) è  $0.416 \cdot g$ .

La Magnitudo di riferimento per le verifiche di liquefazione è assunta pari a  $M = 6.53$ .

Tabella 1 – Parametri sismici

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	68	0.078	2.512	0.280
SLD	113	0.103	2.521	0.290
SLV	1068	0.342	2.353	0.467
SLC	2193	0.488	2.352	0.527

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

Tabella 2 – Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.342 g
$F_g$	2.353
$T_c$	0.467 s
$S_s$	1.217
$C_c$	1.350
$S_T$	1.000
$q$	2.400

**Parametri dipendenti**

$S$	1.217
$\eta$	0.417
$T_B$	0.210 s
$T_C$	0.631 s
$T_D$	2.967 s

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RSOM</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

#### 4 CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA

La successione stratigrafica è stata desunta sulla base delle indagini eseguite in corrispondenza dell'opera e dai rilievi e studi geologico-geomorfologici.

Per la scelta dei parametri geotecnici di progetto delle unità intercettate, ci si è basati sui risultati delle indagini eseguite per l'opera in progetto e, considerato l'esiguo numero di prove di laboratorio a disposizione, anche di tutte le indagini geotecniche eseguite per la tratta di linea ferroviaria Bicocca-Catenanuova ed anche Catenanuova-Raddusa.

Nel seguito vengono definite le unità geotecniche intercettate in corrispondenza dell'opera; nel profilo stratigrafico longitudinale sono mostrati i risultati di tutte le indagini eseguite.

##### 4.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Le unità geotecniche intercettate in corrispondenza dell'opera in esame sono le seguenti:

- **Unità Rv – Coltre vegetale:** si tratta del terreno intercettato a partire da p.c.; la coltre vegetale è costituita prevalentemente da limo sabbioso argilloso con resti vegetali.
- **Unità bb – Depositi alluvionali recenti:** questi depositi affiorano sotto il riporto; si distinguono terreni prettamente coesivi limoso argillosi, talvolta debolmente sabbiosi (**unità bbc**) e terreni incoerenti sabbioso ghiaiosi con locali trovanti/blocchi arenacei (**unità bbi**).
- **Unità FYN – Argilla limosa, marnosa grigia (Flysch Numidico):** è costituita da argille limose, marnose a struttura scagliosa di colore grigio generalmente molto consistenti.

##### 4.2 Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Sulla base delle indagini eseguite si perviene alla seguente successione stratigrafica:

STRATIGRAFIA		IV01	Rampe IV01
Unità geotecnica	Descrizione	Profondità [m] da p.c.	Profondità [m] da p.c.
Rv	Terreno vegetale	0.0÷0.4	0.0÷0.4
bbc	Alluvioni limose-argillose	0.4÷4.0	0.4÷5.5
bbi	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa-limosa	4.0÷5.5	-
FYN,alt	Argille limose (Flysch Numidico alterato)	5.5÷8.0	5.5÷8.0
FYN	Argilla limoso marnosa	8.0÷30.0	8.0÷30.0

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RSOM</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A

Nella seguente tabella si assumono i valori di progetto dei parametri geotecnici per le unità di interesse progettuale.

**Tabella 3 – Parametri geotecnici di progetto**

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$V_s$ [m/s]	$G_o$ [MPa]	$E_o$ [MPa]	$E'_{op,1}$ [MPa]	$E'_{op,2}$ [MPa]
bbc	19.5	75÷100	0÷5	25	220	85	220	$E_o / 3$	$E_o / 10$
bbi	19.5	-	0	36	220	85	220	$E_o / 3$	$E_o / 10$
FYN,alt	20.0	250	0	25	400	150	400	$E_o / 3$	$E_o / 10$
FYN	20.0	300÷500	5	25	400÷900	190÷350	500÷900	$E_o / 3$	45+1.4z

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate;

$c'$  = coesione drenata

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

$V_s$  = velocità delle onde di taglio

$G_o$  = modulo di deformazione a taglio iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E_o$  = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$  = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

$E'_{op,2}$  = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati.

Falda: dalle letture piezometriche a disposizione si assume a 5 m da p.c..

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA PROGETTO ESECUTIVO					
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100.002	REV. A

## 5 ANALISI DI LIQUEFAZIONE

### 5.1 Generale

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni.

La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidità e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva. Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli  $N$  del terremoto, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di  $N$  (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovrappinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Le NTC08 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field minori di 0.1 g;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 1 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 2 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

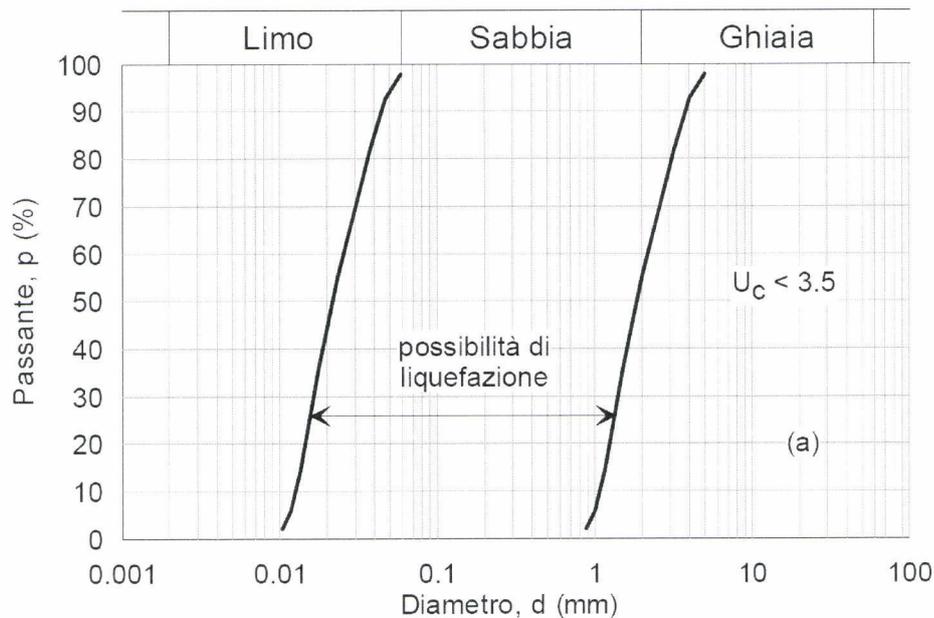
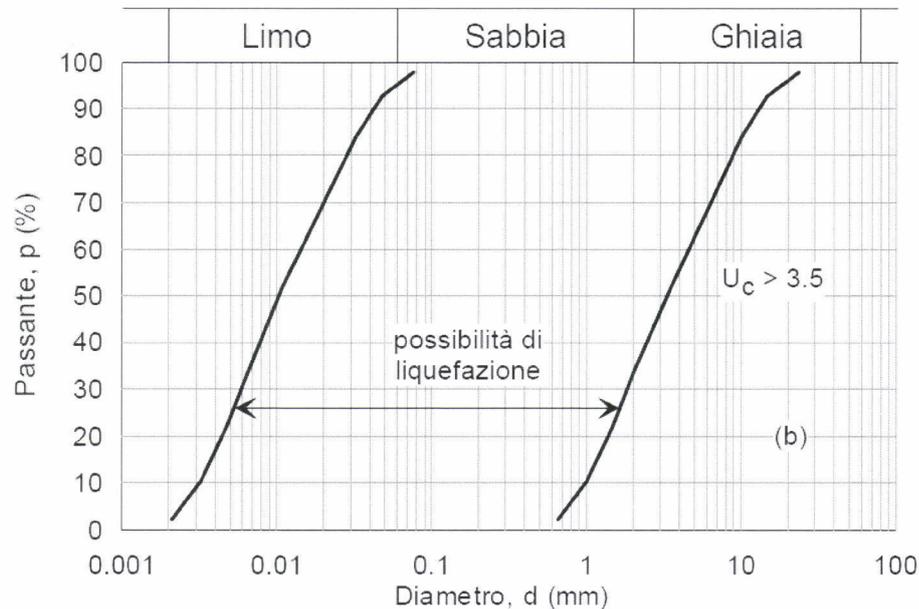


Figura 1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c < 3.5$

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA PROGETTO ESECUTIVO				
	Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002



**Figura 2. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c > 3.5$**

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti e nella Relazioni Geotecnica e Geologica, risulta che:

- l'evento sismico atteso è di magnitudo  $M$  pari a 6.53;
- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono 0.416;
- la profondità della falda è a 5 m da piano campagna;
- non sono presenti zone/strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} < 30$ .

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti e nella relazione geologica, risulta che sono presenti prevalentemente terreni con contenuto di fine  $L+A > 80\%$  e sabbia  $< 8\%$ . È stato evidenziato un valore di  $(N1)_{60}$  pari a 18 alla profondità di 3.0 m dal p.c. (sondaggio B06); comunque dalle analisi granulometriche e dalle descrizioni del sondaggio si tratta di terreno certamente coesivo con contenuto di fine di 80% e  $IP = 31\%$ . L'unico livello incoerente (unità bbi) ha comunque un contenuto di ghiaia, ciottoli e trovanti arenacei in matrice limoso-sabbiosa.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO DELLA TRATTA BICOCCA – CATENANUOVA  PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione tecnica valutazione liquefazione – Opera IV01	COMMESSA <b>RS0M</b>	LOTTO 00	CODIFICA E 26 RB	DOCUMENTO IV0100 002	REV. A	FOGLIO 12 di 12

Quindi in linea generale i terreni hanno una distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nei fusi granulometrici di normativa.

## 5.2 Conclusione

Sulla base delle indagini in sito e di laboratorio a disposizione della presente fase progettuale, si escludono possibili problematiche di liquefazione per l'opera in oggetto.

