

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO  
I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE  
ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI

GEOTECNICA

Relazione tecnico-descrittiva. Criteri di dimensionamento e verifica di rilevati e trincee

SCALA:

-

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

IF0F 01 D 11 RO GE0005 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Mazzone	27.05.2015	P. Tascione	28.05.2015	F. Cerrone	29.05.2015	F. Sacchi 28.05.2015

File: IF0F01D11ROGE0005003A.doc

n. Elab.: 52



## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEI RILEVATI .....	7
3.1	GEOMETRIE E CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
3.2	STABILITÀ DELLE SCARPATE .....	8
3.3	PORTANZA DELLA FONDAZIONE .....	8
3.4	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI E DEL LORO DECORSO NEL TEMPO .....	9
3.4.1	<i>Calcolo del cedimento in terreni sabbiosi</i> .....	9
3.4.2	<i>Calcolo del cedimento in terreni argillosi e/o stratificati</i> .....	10
3.4.2.1	<i>Tipi di cedimento</i> .....	10
3.4.2.2	<i>Descrizione delle ipotesi di lavoro</i> .....	11
3.4.2.3	<i>Valutazione teorica dei vari tipi di cedimento</i> .....	12
3.4.2.3.1	<i>Cedimento immediato</i> .....	12
3.4.2.3.2	<i>Cedimento totale (immediato e di consolidazione primaria)</i> .....	12
3.4.2.3.3	<i>Cedimento secondario</i> .....	13
3.4.3	<i>Determinazione teorica dell'andamento nel tempo del cedimento di consolidazione</i> .....	14
3.4.3.1	<i>Cedimenti di consolidazione primaria</i> .....	14
3.4.3.2	<i>Cedimenti di consolidazione secondaria</i> .....	19
3.5	RILEVATI IN AFFIANCAMENTO .....	19
3.5.1	<i>Modalità realizzative</i> .....	19
3.5.2	<i>Cedimenti indotti</i> .....	19
4	CRITERI DI VERIFICA DEI RILEVATI .....	22
4.1	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE .....	22
4.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO .....	23
4.2.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	23
4.2.2	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	26

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0F</td> <td>01 D 11</td> <td>RO</td> <td>GE0006 003</td> <td>A</td> <td>3 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0F	01 D 11	RO	GE0006 003	A	3 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0F	01 D 11	RO	GE0006 003	A	3 di 30								

4.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO .....	27
4.3.1	<i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i> .....	27
4.3.2	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	29
4.3.3	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	30

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0F</td> <td>01 D 11</td> <td>RO</td> <td>GE0006 003</td> <td>A</td> <td>4 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0F	01 D 11	RO	GE0006 003	A	4 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0F	01 D 11	RO	GE0006 003	A	4 di 30								

## 1 PREMESSA

Il presente documento definisce i criteri generali per la progettazione geotecnica delle tipologie più ricorrenti di opere ferroviarie presenti nella tratta in oggetto; in particolare di seguito vengono analizzati e descritti, i casi dei rilevati ferroviari e stradali in progetto in accordo alla normativa vigente (NTC 2008), alle specifiche ferroviarie, ed alle normative di interoperabilità (S.T.I.); per il dettaglio delle norme di riferimento si rimanda al successivo p.to 2.

Le azioni elementari agenti su ogni opera saranno definite tenendo contemporaneamente presenti le normative di riferimento (norme di legge vigenti, specifiche ferroviarie, norme di interoperabilità) e le condizioni al contorno connesse all'opera in progetto. In base agli input progettuali i lavori in oggetto di raddoppio della tratta ferroviaria della linea Napoli-Bari si configurano come:

- realizzazione di una linea ad alta velocità di Categoria II (ovvero "linee specificamente adattate per l'alta velocità, attrezzate per velocità dell'ordine di 200 km/h – rif. 2008/217/CE");
- ristrutturazione di una linea TEN fondamentale esistente (categoria V-M – Rif. 2011/275/EU) per gli aspetti correlati al Servizio Viaggiatori non AV ed al traffico merci.

Per quanto riguarda i lavori sulla tratta in variante Roma-Napoli via Cassino nel comune di Maddaloni (CE), questi si configurano come ristrutturazione di una linea esistente di una linea TEN non fondamentale (categoria VII-M - Rif. 2011/275/UE).

Nei casi specifici potranno essere adottati eventuali differenti criteri di verifica che verranno sviluppate nelle singole relazioni di calcolo qualora si riscontrato condizioni non riconducibili alla trattazione generale di seguito esposta.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA <b>IF0F</b>	LOTTO <b>01 D 11</b>	CODIFICA <b>RO</b>	DOCUMENTO <b>GE0005 003</b>	REV. <b>A</b>

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Di seguito si riportano i riferimenti delle normative prese in considerazione per lo sviluppo delle analisi e delle verifiche in oggetto:

- [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [3] DM 06.05.2008 – Integrazione al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- [4] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011- Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [5] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- [6] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 - Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra;
- [7] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”;
- [8] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”;
- [9] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [10] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- [11] Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche – Associazione Geotecnica Italiana – Giugno 1977;
- [12] Raccomandazione AGI relative ai pali di fondazione – Associazione Geotecnica Italiana – Dicembre 1984;
- [13] Raccomandazione ancoraggi nei terreni e nelle rocce – AGI/AICAP – 2012;

- [14] Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio – Associazione Geotecnica Italiana – Giugno 1994;
- [15] RFI DTC SICS SP IFS 001 A del 30.06.2014 - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

### 3 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEI RILEVATI

Nel presente capitolo vengono descritte le problematiche geotecniche connesse con la realizzazione dei rilevati nonché i criteri di calcolo da adottare per il dimensionamento; i criteri di calcolo si limitano alla verifica di stabilità ed alla valutazione dei cedimenti assoluto ed il loro andamento nel tempo.

#### 3.1 Geometrie e caratteristiche dei materiali

Le geometrie dell'opera in terra in esame dovranno essere tali da consentire il raggiungimento dei requisiti di stabilità prescritti. Nel caso in esame, in relazione ai materiali utilizzati, la pendenza delle scarpate del rilevato assume il valore 2/3 ( $p=0,6667$ ). Per rilevati di altezza superiore a circa 6,00 m verrà generalmente introdotta una banca di larghezza minima di 2,00 m ed altezza dal piano campagna non inferiore ad 1,00 m; la scarpata sovrastante verrà nuovamente sagomata con pendenza 3 (orizzontale) su 2 (verticale).

Tenuto conto delle prescrizioni imposte dal capitolato costruttivo, per la realizzazione dei rilevati ferroviari verranno impiegate terre appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3 e A4 di cui alla classificazione delle terre della norma UNI 11531-2014, messe in opera secondo le modalità indicate nel Doc.Rif.[15].

Ai materiali del rilevato possono essere attribuiti i parametri geotecnici riportati in:

Descrizione	Rilevato ferroviario	Rilevato stradale
Peso unità di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,00	19,00
Angolo di attrito $\phi'$ dopo la compattazione (°)	38°	35°
Coesione efficace $c'$ (kPa)	0,00	0,00
Modulo Elastico del terreno del rilevato alla base della fondazione (MPa)	20,00	20,00
Modulo Elastico del terreno del rilevato nella zona del nucleo (MPa)	40,00	40,00

Tab. 1 – Parametri geotecnici per rilevati stradali e ferroviari



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0005 003	REV. A	FOGLIO 8 di 30

### 3.2 Stabilità delle scarpate

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati sarà condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Le analisi di stabilità saranno effettuate con l'utilizzo degli usuali programmi di calcolo dedicati.

Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$F_s = \frac{T_{disp}}{T_{mob}}$$

La procedura per effettuare la verifica ai sensi della vigente normativa, sia per le condizioni statiche che per le condizioni sismiche, è riportato al p.to 4.

La verifica di stabilità sarà effettuata nelle due seguenti condizioni:

- **condizioni statiche:** nel caso di rilevato ferroviario andrà considerato un sovraccarico permanente dovuto all'armamento (ballast, rotaia e traversa) stimabile come definito al p.to 5.2.2.1.1 del Doc.Rif.[1] ed al p.to 1.3.2 del Doc.Rif.[4], ed un carico accidentale ferroviario presente al p.to 1.4.1.1 del Doc.Rif.[4]; visto che la linea deve rispettare le prescrizioni sull'interoperabilità ferroviaria, l'opera in terra andrà verificata facendo riferimento a quanto prescritto nel Doc.Rif.[7] e Doc.Rif.[8]. I carichi andranno poi ripartiti fino al piano di regolamento della piattaforma ferroviaria in funzione dell'armamento previsto, del tipo e numero di treni teorici. Le verifiche andranno sviluppate per la condizione di carico più gravosa. Nel caso di rilevati stradali il carico variabile da applicare sarà pari a 20 kN/m<sup>2</sup>;
- **condizioni sismiche:** nel caso di rilevato ferroviario andrà previsto un carico variabile nella misura del 20% dovuto al transito dei convogli ferroviari di quello previsto in fase statica, ed un sovraccarico permanente dovuto al ballast ed all'armamento secondo le azioni previste al p.to 1.3.2. del Doc.Rif.[4]; nel caso di rilevati stradali andrà applicato un carico variabile pari a 10 kPa. L'analisi di stabilità sarà condotta prudenzialmente con riferimento al modello pseudostatico adottato i coefficienti di intensità sismica ricavati così come indicato dalla normativa.

### 3.3 Portanza della fondazione

Le verifiche di portanza dei rilevati devono essere condotte sia nella situazione di Breve Termine (Condizioni Non Drenate) che nella situazione di Lungo Termine (Condizioni Drenate).

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

La procedura per effettuare la verifica ai sensi della vigente normativa, sia per le condizioni statiche che per le condizioni sismiche, è riportato al capitolo 4.

### 3.4 Criteri di valutazione dei cedimenti e del loro decorso nel tempo

#### 3.4.1 Calcolo del cedimento in terreni sabbiosi

Il cedimento dei rilevati poggianti su terreni sabbiosi può essere determinato ricorrendo alla teoria dell'elasticità ed alla seguente espressione:

$$s_i = \sum_1^n \frac{(\Delta\sigma_z - \nu'(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot h_i}{E_i'}$$

essendo:

$s_i$  = cedimento immediato e di consolidazione primaria (L);

$\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$  = tensioni indotte dal carico (FL<sup>-2</sup>);

$h_i$  = altezza dello strato i-esimo (L);

$n$  = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile ( $H_{cC}$ ) (-);

$E_i'$  = modulo di Young drenato dello strato i-esimo (FL<sup>-2</sup>);

$\nu'$  = rapporto di Poisson = 0,3 (-).

Lo spessore della zona compressibile  $H_c$  sarà stabilito considerando il fatto che a profondità tali per cui l'incremento delle tensioni verticali ( $\Delta\sigma_z$ ) o di quelle medie  $\left(\frac{\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y + \Delta\sigma_z}{3}\right)$  risulti inferiore

rispettivamente a  $(0,10 \div 0,20) \cdot \sigma'_{v0}$ , oppure a  $(0,10 \div 0,20) \cdot \frac{\sigma'_{v0} + 2 \cdot \sigma'_{h0}}{3}$  il contributo al cedimento può essere considerato trascurabile.

Il decorso del cedimento nel tempo può essere considerato rapido, praticamente contemporaneo alla costruzione dell'opera. I cedimenti di natura secondaria sono da ritenersi trascurabili.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0005 003	REV. A

### 3.4.2 Calcolo del cedimento in terreni argillosi e/o stratificati

Nel presente paragrafo vengono illustrati i criteri utilizzati per la valutazione dei cedimenti di rilevati in terreni costituiti prevalentemente da materiali argillosi saturi e in terreni stratificati, ovvero costituiti da materiali argillosi intercalati da lenti sabbiose.

L'analisi relativa ai cedimenti sarà sviluppata con riferimento ai seguenti aspetti principali:

- descrizione dei diversi tipi di cedimento (immediato, di consolidazione primaria, secondario);
- descrizione delle ipotesi di lavoro;
- determinazione teorica dell'entità dei diversi tipi di cedimento;
- determinazione teorica dell'andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione primaria e secondaria assenza o presenza di dreni verticali.

#### 3.4.2.1 Tipi di cedimento

L'applicazione di un carico di dimensioni finite su un deposito costituito da materiali argillosi saturi comporta un processo deformativo nel terreno che tradizionalmente viene schematizzato nel modo seguente:

- a) data la bassa permeabilità ( $k$ ) del terreno, la fase di carico avviene in condizioni non drenate generando sovrappressioni interstiziali ( $\Delta u$ ); i materiali argillosi si deformano a volume costante ed il cedimento che ne consegue è indicato come cedimento immediato.
- b) il trasferimento del carico dall'acqua allo scheletro solido comporta ulteriori cedimenti, la cui velocità nel tempo è legata principalmente alle caratteristiche di permeabilità dell'argilla e alle condizioni di drenaggio. Il processo è noto come consolidazione primaria ed il cedimento conseguente a tale processo è indicato come cedimento di consolidazione primaria.
- c) ultimato il processo di consolidazione primaria, anche quando le sovrappressioni nell'acqua risultano nulle, continuano a svilupparsi nel tempo assestamenti dovuti a fenomeni di natura plastico-viscosa che avvengono in condizioni drenate; il cedimento conseguente è noto come cedimento secondario.

Nel caso siano presenti lenti sabbiose nel deposito queste possono essere di due tipo:

- lenti continue;
- lenti discontinue.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA <b>IF0F</b>	LOTTO <b>01 D 11</b>	CODIFICA <b>RO</b>	DOCUMENTO <b>GE0005 003</b>	REV. <b>A</b>

Nel primo caso, data l'elevata permeabilità delle sabbie e la possibilità di sfogo delle sovrappressioni interstiziali, i cedimenti di consolidazione primaria e quelli immediati avvengono contemporaneamente.

Nel secondo caso, non trovando le sovrappressioni interstiziali alcuno sfogo se non attraverso i materiali argillosi circostanti, i materiali sabbiosi tendono a comportarsi come quelli argillosi.

I cedimenti di consolidazione secondaria nelle lenti sabbiose possono essere ritenuti trascurabili.

### 3.4.2.2 *Descrizione delle ipotesi di lavoro*

Un requisito fondamentale per un'affidabile stima dei cedimenti è quello costituito dalla conoscenza dello stato tensionale iniziale e di quello indotto dai carichi.

La valutazione dello stato tensionale iniziale sarà fatta facendo ricorso alle seguenti formule (vedi ad esempio Wroth [1975] e Ladd et al. [1977]):

- $\sigma_{v0}' = \gamma' \cdot z$
- $\sigma_{h0}' = k_0 \cdot \sigma_{v0}'$
- $k_0 = (1 - \sin \phi') \cdot (\text{OCR})^{1/2}$

essendo:

- $\sigma_{v0}'$  = pressione geostatica verticale efficace (FL<sup>-2</sup>);
- $\sigma_{h0}'$  = pressione geostatica orizzontale efficace (FL<sup>-2</sup>);
- $\gamma'$  = peso di volume efficace del terreno (FL<sup>-2</sup>);
- $z$  = profondità dal piano campagna (L);
- $k_0$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo (-);
- OCR = grado di sovraconsolidazione (-);
- $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio (°)

La determinazione delle tensioni indotte dai carichi esterni sarà effettuata sulla scorta della teoria dell'elasticità, assimilando il terreno ad un mezzo continuo, lineare, isotropo ed omogeneo (Poulos & Davis [1974]).

Va tenuto presente che, in accordo agli studi più recenti, il ricorso alla teoria dell'elasticità per la valutazione delle tensioni indotte dai carichi può condurre a risultati accettabili purché non sussistano

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0005 003	REV. A

particolari condizioni di eterogeneità ed anisotropia e soprattutto non linearità (vedi ad esempio Morgenstern & Phukan [1968], Gibson [1974] e Padfield & Sharrock [1983]).

### 3.4.2.3 *Valutazione teorica dei vari tipi di cedimento*

#### 3.4.2.3.1 *Cedimento immediato*

Con riferimento alla teoria dell'elasticità il cedimento immediato in argille sarà stimato con la seguente espressione:

$$s_i = \sum_1^n \frac{(\Delta\sigma_z - \nu_u \cdot (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot h_i}{E_{u,i}}$$

essendo:

$s_i$  = cedimento immediato (L);

$\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$  = tensioni indotte dal carico (FL<sup>-2</sup>);

$h_i$  = altezza dello strato i-esimo (L);

$n$  = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile ( $H_c$ ) (-);

$E_{u,i}$  = modulo di Young non drenato dello strato i-esimo (FL<sup>-2</sup>);

$\nu_u$  = rapporto di Poisson = 0,5 (-).

Lo spessore della zona compressibile ( $H_c$ ) sarà stabilito considerando il fatto che a profondità tali

per cui l'incremento delle tensioni verticali ( $\Delta\sigma_z$ ) o di quelle medie  $\left( \frac{\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y + \Delta\sigma_z}{3} \right)$  risulti inferiore

rispettivamente a  $(0,10 \div 0,20) \cdot \sigma'_{v0}$  oppure a  $(0,10 \div 0,20) \cdot \frac{\sigma'_{v0} + 2 \cdot \sigma'_{h0}}{3}$  il contributo al cedimento può

essere considerato trascurabile.

#### 3.4.2.3.2 *Cedimento totale (immediato e di consolidazione primaria)*

Con riferimento alla teoria dell'elasticità il cedimento immediato e di consolidazione primaria in argille (e in sabbie) sarà stimato con la seguente espressione:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA <b>IF0F</b>	LOTTO <b>01 D 11</b>	CODIFICA <b>RO</b>	DOCUMENTO <b>GE0005 003</b>	REV. <b>A</b>

$$s_t = \sum_1^n \frac{(\Delta\sigma_z - \nu'(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot h_i}{E_i}$$

essendo:

- $s_t$  = cedimento totale (L);
- $\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$  = tensioni indotte dal carico (FL<sup>-2</sup>);
- $h_i$  = altezza dello strato i-esimo (L);
- $n$  = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile ( $H_c$ ) (-);
- $E_i$  = modulo di Young drenato dello strato i-esimo (FL<sup>-2</sup>);
- $\nu_u$  = rapporto di Poisson = 0,3 (-).

Qualora invece fossero disponibili prove edometriche su campioni indisturbati, il calcolo del cedimento verrà condotto con riferimento alle curve di compressibilità edometrica, attraverso i valori di  $C_c$  (indice di compressibilità),  $C_s$  (indice di rigonfiamento),  $e_0$  (indice dei vuoti iniziale):

$$\varepsilon_z = \frac{1}{1+e_0} c_c \log \left( 1 + \frac{\Delta u}{\sigma'_{vi}} \right)$$

Lo spessore della zona compressibile ( $H_c$ ) viene stabilito considerando il fatto che a profondità tali per cui l'incremento delle tensioni verticali ( $\Delta\sigma_z$ ) o di quelle medie  $\left( \frac{\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y + \Delta\sigma_z}{3} \right)$  risulti inferiore rispettivamente a  $(0,10 \div 0,20) \cdot \sigma'_{v0}$  oppure a  $(0,10 \div 0,20) \cdot \frac{\sigma'_{v0} + 2 \cdot \sigma'_{h0}}{3}$ , il contributo al cedimento può essere considerato trascurabile.

Per definizione il cedimento di consolidazione primaria è dato dalla differenza tra  $s_t$  e  $s_i$ .

Il valore del cedimento sarà calcolato sulla verticale corrispondente all'asse del rilevato e su altre verticali, in modo da poter costruire la curva dei cedimenti sulla sezione trasversale del rilevato.

#### 3.4.2.3.3 Cedimento secondario

Il cedimento secondario in argille è convenzionalmente calcolato facendo riferimento alla seguente equazione:

$$s_s = \sum_1^n \log\left(\frac{t}{t_{100,i}}\right) \cdot c_{\alpha,i} \cdot h_i$$

essendo:

$s_s$  = cedimento secondario (L);

$t$  = tempo generico a partire dall'applicazione del carico (T);

$t_{100,i}$  = tempo necessario all'esaurimento della consolidazione primaria nello strato argilloso i-esimo, separato da altri strati argillosi da lenti sabbiose continue (T);

$h_i$  = altezza dello strato argilloso i-esimo separato da altri strati argillosi da lenti sabbiose continue (L);

$n$  = numero di strati argillosi separati tra loro da lenti sabbiose continue (-);

$c_{\alpha,i}$  = coefficiente di consolidazione secondaria nello strato i-esimo misurato da prove edometriche di laboratorio (-)

Nell'impiego della (6) sono implicite le seguenti ipotesi:

- monodimensionalità del problema;
- il cedimento secondario inizia dopo l'esaurimento del cedimento di consolidazione primaria;
- il valore di  $c_{\alpha}$  è costante durante l'evolversi del cedimento secondario;
- il valore di  $c_{\alpha}$  è indipendente dal valore dello spessore dello strato i-esimo  $h_i$ , anche se tale spessore influenza l'entità del  $t_{100}$ ;
- il valore di  $c_{\alpha}$  è indipendente dal rapporto  $\Delta\sigma_z/\sigma_{VO}'$ .

Nel caso di profili caratterizzati da più strati argillosi separati da lenti sabbiose non continue, il calcolo del cedimento secondario viene eseguito con riferimento al monostrato e ad un coefficiente di consolidazione secondaria medio pesato tra quelli relativi ai singoli strati.

### 3.4.3 Determinazione teorica dell'andamento nel tempo del cedimento di consolidazione

#### 3.4.3.1 Cedimenti di consolidazione primaria

La valutazione dell'andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione primaria in argille potrà essere condotta con riferimento alle teorie di consolidazione monodimensionale riportate in Janbu [1967] e in Duncan & Buchignani [1976] e ai diagrammi riportati in Fig. 1 ed in Fig. 2.

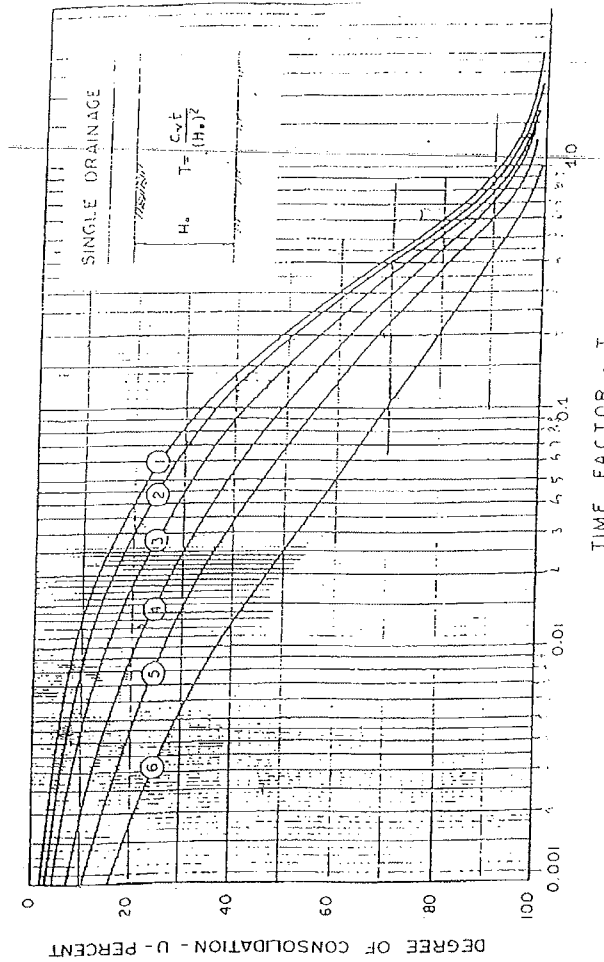


Fig. 1 - Diagramma grado di consolidazione/tempo



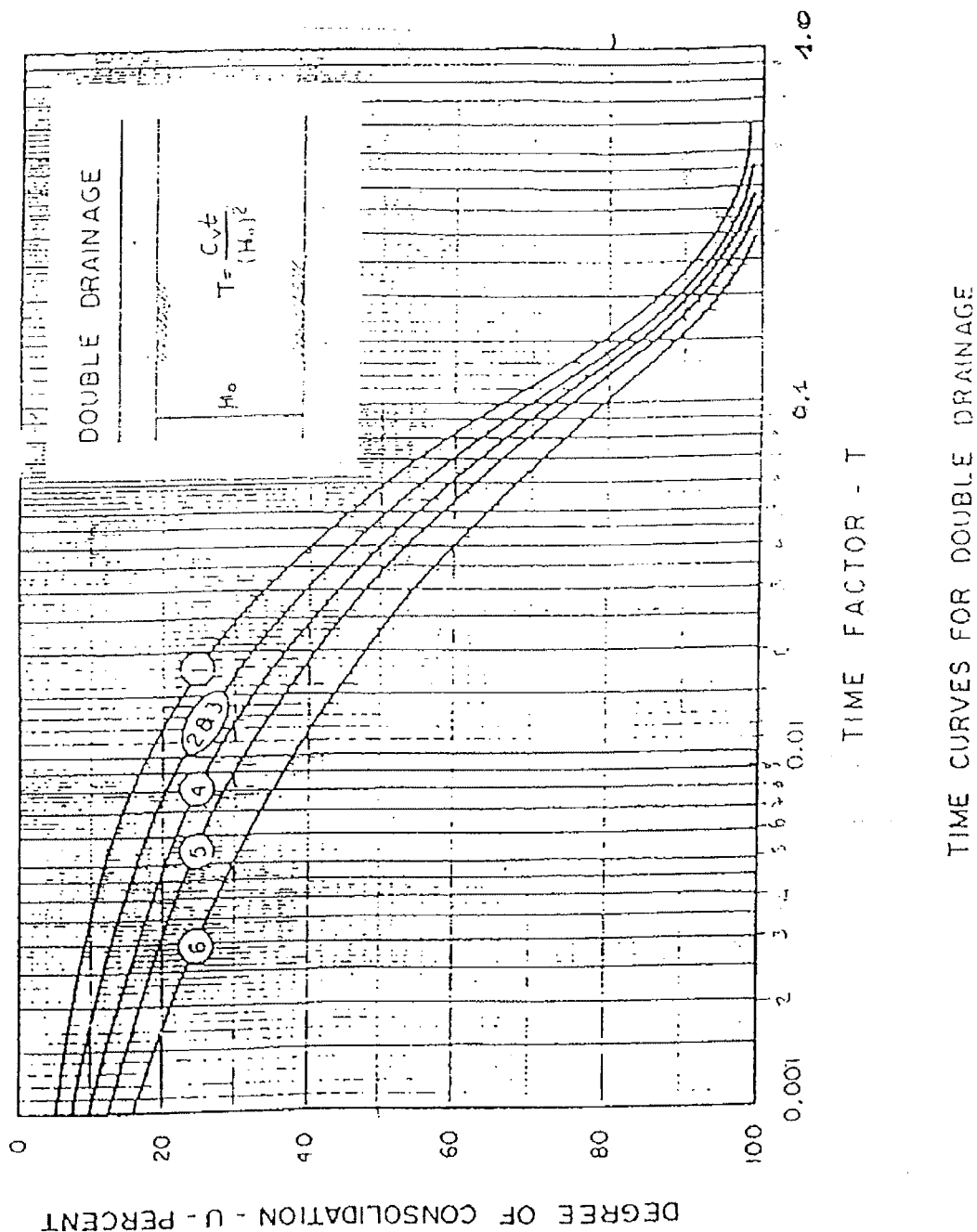


Fig. 2 - Diagramma grado di consolidazione/tempo

La differenza tra i risultati ottenibili con l'applicazione delle teorie di consolidazione tradizionali e quelli rappresentati dai diagrammi riportati in Fig. 1 ed in Fig. 2 è tanto più marcata quanto più la distribuzione delle deformazioni indotte si discosta da quella costante con la profondità. Nel caso di



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

I valori dei coefficienti di consolidazione verticale ( $c_v$ ) vengono stabiliti sulla base sia dei risultati delle prove edometriche di laboratorio che delle indicazioni riportate in letteratura su depositi analoghi a quelli presenti nelle aree interessate dal progetto.

Per la determinazione dell'andamento dei cedimenti nel tempo si procederà nel modo seguente:

- si compilerà la tabella di sinistra della Fig. 3, inserendo la profondità  $z$  da piano campagna, il rapporto  $z/H$  (dove  $H$  è la massima lunghezza di drenaggio, cioè il massimo percorso di una particella d'acqua per raggiungere una superficie drenante), il valore della deformazione ( $\varepsilon_z$ ) dello strato posto alla profondità  $z$ , il rapporto  $\varepsilon_z / \varepsilon_t$ , essendo  $\varepsilon_t$  la deformazione del piano campagna;
- si riportano i valori di  $\varepsilon_z / \varepsilon_t$  sul diagramma posto in alto in Fig. 3 e si sceglie la curva (delle 6 previste) che meglio approssima l'andamento di  $\varepsilon_z / \varepsilon_t$  con la profondità;
- scelta la curva fra le 6 di Fig. 3 si ricava la corrispondente curva di consolidazione riportata in Fig. 1 ed in Fig. 2, rispettivamente per semplice (presenza di un'unica superficie drenante) o doppio drenaggio (presenza di due superfici drenanti);
- quindi si passa a compilare la tabella di destra della Fig. 3, determinando al tempo  $t$  (dalla costruzione del rilevato) i valori della variabile adimensionale fattore tempo  $T$ , del grado di consolidazione  $U$  e conseguentemente della parte di cedimento sviluppata;
- il fattore tempo  $T$  viene determinato con l'espressione  $T=c_v \cdot t/H^2$ ;
- il grado di consolidazione  $U$  (%) si determina dai diagrammi di Fig. 1 e di Fig. 2, per la curva di consolidazione scelta;
- il valore del cedimento  $\Delta s$  già scontato al tempo  $t$  è ottenuto moltiplicando il cedimento di consolidazione per il grado di consolidazione  $U$ .
- si costruisce infine la curva di andamento del cedimento nel tempo.

I cedimenti si considererà esaurito al tempo corrispondente con il raggiungimento di un grado di consolidazione pari al 95%.

Nel corso della realizzazione del corpo ferroviario, i lavori di costruzione dei rilevati stessi dovranno essere programmati in modo tale che i cedimenti residui all'atto della messa in esercizio della linea non siano superiori al 10% dei cedimenti teorici per consolidazione, e comunque che il gradiente dei cedimenti nel tempo sia inferiore a 5 cm.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI  RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO  I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E  VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL  COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	<b>COMMESSA</b> IF0F	<b>LOTTO</b> 01 D 11	<b>CODIFICA</b> RO	<b>DOCUMENTO</b> GE0006 003	<b>REV.</b> A

Qualora tali condizioni non fossero rispettate occorrerà fare ricorso a tecniche di bonifica dei terreni di fondazione, di acceleramento del consolidamento mediante l'utilizzo di dreni verticali e/o precariche, oppure miglioramento delle caratteristiche del terreno in situ.

### 3.4.3.2 *Cedimenti di consolidazione secondaria*

L'andamento nel tempo dei cedimenti secondari viene fatto a partire dal termine del fenomeno di consolidazione primaria mediante diretta applicazione dell'espressione per la definizione di  $s_s$  riportata al p.to 3.4.2.3.3.

## 3.5 Rilevati in affiancamento

### 3.5.1 *Modalità realizzative*

Nei casi in cui ci si trovi in condizioni di allargamento di rilevati ferroviari esistenti o di stretto affiancamento di nuovi rilevati con rilevati esistenti occorrerà porre particolare cura nel progetto in modo da non creare particolari soggezioni all'esercizio oltre quelle prudenziali dovute alla vicinanza del cantiere alla linea.

### 3.5.2 *Cedimenti indotti*

La costruzione di un rilevato in affiancamento ad un altro già esistente determina su questo un cedimento indotto.

Questo aspetto si presenta piuttosto critico se i due corpi di rilevato si trovano in stretto affiancamento ed ancor più nel caso in cui il binario esistente viene mantenuto in esercizio durante i lavori di costruzione della linea ferroviaria di progetto.

Si pone allora la necessità di quantificare il più verosimilmente possibile l'entità dell'abbassamento atteso sul rilevato esistente per poterlo poi rapportare alle tolleranze del binario prescritte affinché la circolazione dei treni si svolga in sicurezza ed eventualmente prevedere un intervento opportuno.

Uno degli obiettivi di maggiore interesse è la determinazione di un profilo dei cedimenti lungo tutta la tratta in modo tale da individuare i punti più critici, dove potrebbero rendersi necessari interventi di consolidamento del terreno, e ad evidenziare inoltre le zone in cui i cedimenti sono di entità modesta tanto da poter essere recuperati semplicemente mediante una ricalibrazione del binario in esercizio man mano che il processo di consolidazione avanza.

Per quanto riguarda i tempi del processo di consolidazione, risulta importante stimarne l'ordine di grandezza con una certa attendibilità in modo tale da poter programmare gli interventi di monitoraggio e

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0F</td> <td>01 D 11</td> <td>RO</td> <td>GE0005 003</td> <td>A</td> <td>20 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0F	01 D 11	RO	GE0005 003	A	20 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0F	01 D 11	RO	GE0005 003	A	20 di 30								

di eventuale ripristino della geometria del binario esistente nei momenti opportuni, contenendo così i costi dell'intervento e le soggezioni all'esercizio ferroviario:

- ai fini della valutazione del cedimento del terreno indotto dall'applicazione del carico rappresentato dal nuovo corpo di rilevato che si deve realizzare, si procede come di seguito descritto.
- esaminare tutte le sezioni di progetto al fine di individuare i caratteri geometrici del rilevato esistente e di quello in affiancamento in modo da pervenire ad una suddivisione della tratta ferroviaria in sotto-tratte caratterizzate da una certa omogeneità nella geometria del rilevato che consenta individuare le zone in cui calcolare i cedimenti con maggiore frequenza;
- per ogni sotto-tratta occorre considerare le sezioni più indicate per il calcolo degli abbassamenti del terreno (denominate sezioni di calcolo), privilegiando nella scelta quelle caratterizzate dalle altezze maggiori del rilevato rispetto al piano di campagna;
- per ogni sezione di calcolo vanno definiti la stratigrafia e i parametri geotecnici del terreno, sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica; lungo i tratti caratterizzati da scarse proprietà meccaniche dei terreni, sono stati calcolati i cedimenti utilizzando una maggiore frequenza;
- l'abbassamento del terreno va calcolato in almeno tre punti significativi: in corrispondenza dell'asse del nuovo rilevato ed in corrispondenza delle due rotaie del binario in esercizio. Il valore del cedimento calcolato in questi tre punti significativi sulla sezione di calcolo si considera esteso a tutta la tratta di cui la sezione è rappresentativa.

Nel progetto dovranno essere studiati con particolare cura i seguenti aspetti:

- cedimenti differenziali tra le due rotaie in una stessa sezione verticale del rilevato, loro decorso nel tempo ed implicazioni sulla geometria del binario (difetto trasversale);
- andamento dei cedimenti lungo l'asse del binario, con studio delle modifiche di livelletta, che si potrebbero verificare soprattutto nelle zone di confine con tratti non affiancati (difetto longitudinale);
- cedimenti in corrispondenza delle opere d'arte e loro compatibilità (difetto longitudinale);
- calcolo dei valori di sghembo attesi (sghembo);
- decorso dei cedimenti nel tempo.

Per la definizione dei limiti dei difetti sopra descritti, occorre attenersi a quanto prescritto nelle "Norme tecniche sulla qualità del binario con velocità fino a 300 km/h" (doc. RFI TCAR ST AR 01 001 D

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI  RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO  I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E  VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL  COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0F</td> <td>01 D 11</td> <td>RO</td> <td>GE0006 003</td> <td>A</td> <td>21 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0F	01 D 11	RO	GE0006 003	A	21 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0F	01 D 11	RO	GE0006 003	A	21 di 30								

del 30.01.2013), verificando che sia assicurato almeno il rispetto del II livello di qualità geometrica del binario.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

#### 4 CRITERI DI VERIFICA DEI RILEVATI

##### 4.1 Criteri di verifica agli stati limite

In accordo con quanto definito al p.to 6.2.3. del Doc. Rif. [1] ed al p.to 2.3. del Doc. Rif. [5], devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- Verifiche agli stati limite ultimi (SLU);
- Verifiche agli stati limite d'esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [1] e del p.to 2.3.3 del Doc. Rif. [5]})$$

dove,

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione ( $E_d \leq R_d$ ) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi e sono definiti specificatamente in funzione della singola verifica.

Per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$ , tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche, quest'ultima relativamente a verifiche strutturali.

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif.[1]})$$

dove;

$E_d$  = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

$C_d$  = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito dal progettista strutturale).

La verifica della condizione  $E_d \leq C_d$  deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 23 di 30

## 4.2 Verifiche di sicurezza in campo statico

### 4.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Come riportato al p.to 6.8.2 del Doc.Rif.[1] le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio:

- Approccio 1:

- *Combinazione 2: A2 + M2 + R2*

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 2, Tab. 5, e Tab. 6.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema (cfr. p.to C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[2]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto.

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 5.2.3.3.1 del Doc Rif. [4] ed al p.to 2.3.3. del Doc Rif. [5], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 2 (Tab. 5.2.V del Doc Rif. [4]) e i coefficienti di combinazione  $\psi$  in Tab. 5.2.VI.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0005 003	REV. A

		Coefficiente	EQU <sup>1</sup>	A1 STR	A2 GEO	Comb. eccezionale	Comb. Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>2</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>3</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>4</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>5</sup>	0,20 <sup>6</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>6</sup>	1,00 <sup>7</sup>	1,00	1,00	1,00

Tab. 2 – Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [1])

In Tab. 2 (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [1]) il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_B$  coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

<sup>1</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>2</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>3</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>4</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico GR della tabella Tab. 5.2.IV del oc. Rif. [1]

<sup>5</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.

<sup>6</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna.

<sup>7</sup> 1,20 per effetti locali.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA <b>IF0F</b>	LOTTO <b>01 D 11</b>	CODIFICA <b>RO</b>	DOCUMENTO <b>GE0006 003</b>	REV. <b>A</b>

- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

Azioni	Descrizione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>8</sup>	0,80 <sup>9</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>9</sup>	0,80 <sup>10</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>9</sup>	0,80 <sup>10</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>10</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,00	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. Rif. [1])

<sup>8</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,00.

<sup>9</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari, e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

	Azioni	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 <sup>10</sup>	11	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>11</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 <sup>11</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>11</sup>	-	-
	Centrifuga	13 11	12	13
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>11</sup>	0,80	0,0

Tab. 4 – Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni (Tab. 5.2.VII del Doc. Rif. [1])

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_\varphi$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_u$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00

Tab. 5 – Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) (Tab. 6.2.II Doc. Rif. [1])

Coefficiente parziale	(R2)
$\gamma_R$	1,10

Tab. 6 – Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) (Tab. 6.8.I Doc. Rif.[1])

#### 4.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Lo stato limite in oggetto deve essere verificato mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (p.to 6.5.3.2 del Doc. Rif.[1]), in cui gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

<sup>10</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\Psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,00.

<sup>11</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>12</sup> Si usano gli stessi coefficienti  $\Psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0005 003	REV. A	FOGLIO 27 di 30

All'interno del progetto devono pertanto essere definite le prescrizioni riguardanti gli spostamenti compatibili per l'opera e le prestazioni attese. Sarà a carico del Progettista Strutturale definire valori di spostamenti/rotazioni corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio ( $s_{SLE}$  e  $\theta_{SLE}$ ) delle strutture da confrontarsi con quelli calcolati in fondazione.

Deve essere tenuto presente che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli Stati Limite Ultimi.

### 4.3 Verifiche di sicurezza in campo sismico

#### 4.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

L'azione sismica di progetto, così come i parametri del terreno di progetto da considerare, devono essere valutati sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare.

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nei Doc. Rif. [1], [2], [4], e [5], sono suddivisi come riportato al p.to 3.2.1 del Doc. Rif.[1]:

- *Stati Limite Ultimi (SLU):*
  - *Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana (SLV)*, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
  - *Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC)*, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- *Stati limite di Esercizio (SLE):*
  - *Stato Limite di immediata Operatività (SLO)* per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
  - *Stato Limite di Danno (SLD)* definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

La Tab. 7 riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (p.to 1.1.2 del Doc. Rif. [5]).

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso			
		I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali			X	X
	Funzionalità degli impianti			X	X
SLD	Resistenza degli elementi strutturali			X	X
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	X	X		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	X	X	X	X
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	X	X	X	X
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	X	X	X	X
	Resistenza delle strutture	X	X	X	X
	Duttilità delle strutture	X	X	X	X
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	X	X	X	X
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	X	X	X	X
	Stabilità del sito	X	X	X	X
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	X	X	X	X
	Resistenza del sistema terreno-fondazione	X	X	X	X
	Stabilità del muro di sostegno	X	X	X	X
	Stabilità delle paratie	X	X	X	X
Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	X	X	X	X	
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	X	X	X	X
	Capacità di spostamento degli isolatori	X	X	X	X

Tab. 7 – Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.1.I di [2])

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA</b>	COMMESSA IF0F	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RO	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

Con riferimento alle fondazioni superficiali generalmente oggetto della progettazione, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc.Rif. [2], le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo: **SLV** – Stato Limite di Salvaguardia della Vita a cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{vr} = 10\%$ ;
- Stato Limite Esercizio: **SLD** – Stato Limite di Danno a cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{vr} = 63\%$ .

Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento  $V_R$  per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

#### 4.3.2 Stati limite ultimi (SLU)

Per tutte le verifiche l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera in terra da verificare (cfr. Tab. 7). Per l'opera in oggetto, come definito al punto 4.3.1, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico, in cui tuttavia i coefficienti sulle azioni sono posti pari ad uno (P.to 7.11.1 del Doc. Rif.[1]). In particolare la stabilità globale in condizioni sismiche dei opere in materiali sciolti, quali rilevati, deve essere svolta secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2:

- Approccio 1:
  - *Combinazione 2: A2 + M2 + R2*

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 2, Tab. 5, e Tab. 6.

Le condizioni di stabilità del rilevato devono essere verificate affinché prima, durante e dopo il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni, ovvero gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

Come riportato al p.to 7.11.6.3.11 del Doc. Rif.[1] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.



ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO  
I LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E  
VARIANTE ALLA LINEA ROMA NAPOLI VIA CASSINO NEL  
COMUNE DI MADDALONI - PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0F	01 D 11	RO	GE0005 003	A	30 di 30

#### 4.3.3 Stati limite di esercizio (SLE)

Nello stato limite in oggetto deve essere verificato che gli spostamenti permanenti indotti dal sisma non alterino significativamente la resistenza della fondazione e che devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera.

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (cfr. Tab. 7). Per l'opera in oggetto, come definito al p.to 4.3.1, le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Danno (**SLD**).

