

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.

S.O. Corpo Stradale

PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI BARI

BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE

MURI ED OPERE DI PRESIDIO

MU16 - Muri di sostegno in terra rinforzata (5+645)

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

IADR 00 D 29 CL MU1600 001 A


Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione PD per AI	M.Botta <i>M. Botta</i>	SETT '23	A.Santacaterina, A.DiCostanzo <i>A. Santacaterina</i>	SETT '23	G.Dimaggio <i>G. Dimaggio</i>	SETT '23	F.ARDUINI 29/09/2023

File: IADR00D29CLMU1600001A

n. Elab.:

INDICE

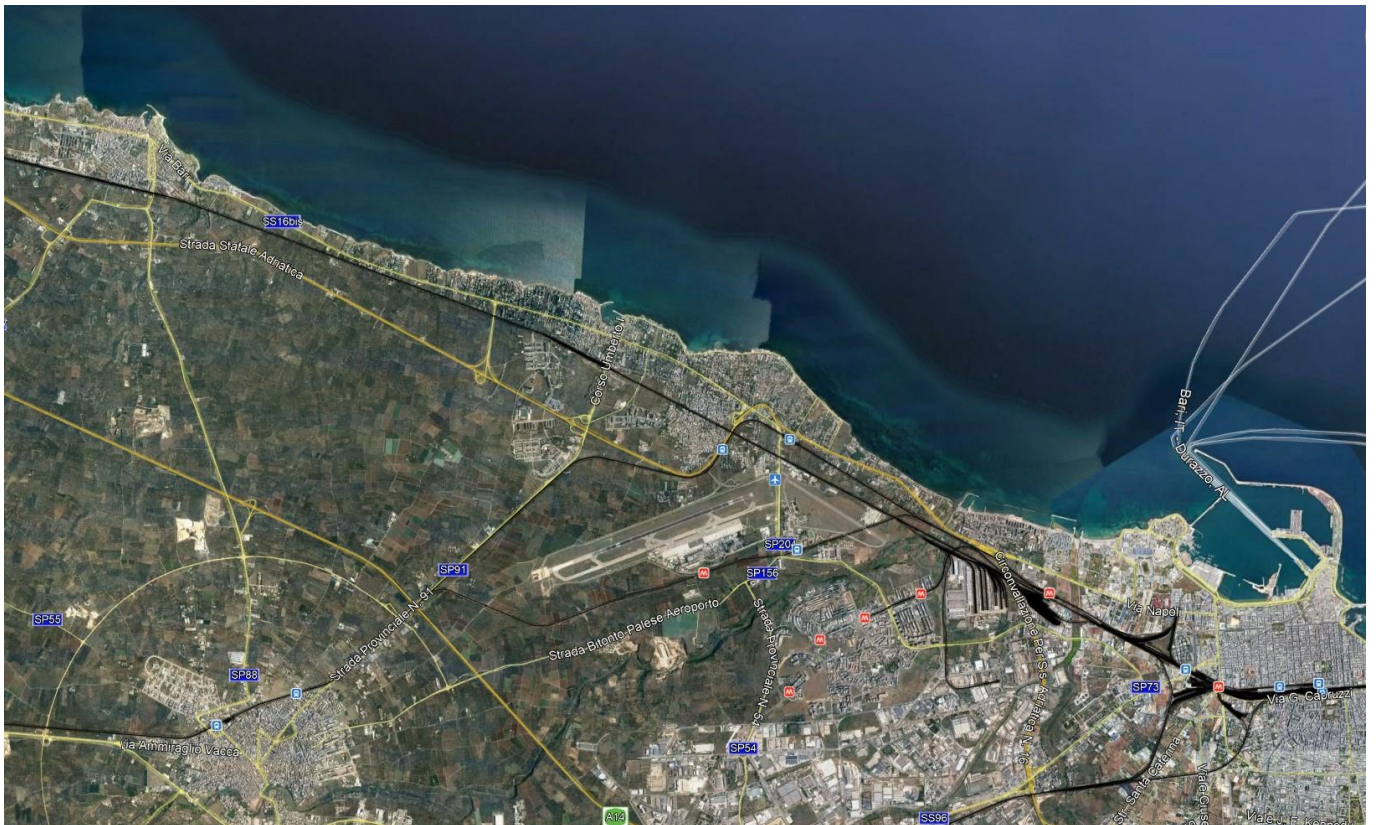
1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	MATERIALI IMPIEGATI – SISTEMA MACRES	5
4	ISTRUZIONI OPERTIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE	7
4.1	STESA DEL MATERIALI	7
4.2	COMPATTAZIONE	7
4.3	CONDIZIONI CLIMATICHE	8
4.4	RILEVATI DI PROVA.....	8
4.5	PROVE DI CONTROLLO.....	8
5	CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE.....	10
6	COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI.....	11
7	IPOTESI DI CALCOLO.....	12
8	METODO DI CALCOLO	14
9	SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA.....	20
10	ESITO DELLE VERIFICHE.....	20

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IADR	00D29	CL	MU1600001	A	3 di 20	

1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano le analisi e le verifiche geotecniche e strutturali del muro MU16 in prossimità della SS16, redatta nell'ambito del Progetto definitivo della Variante di tracciato tra Palese e Santo Spirito ed in particolare alle opere di sostegno in terra rinforzata a paramento verticale in pannelli in calcestruzzo.

L'area interessata dal progetto ricade nella zona a nord - ovest della città di Bari, nell'area compresa tra l'aeroporto internazionale di Bari e il comune di Giovinazzo.



Il principio di funzionamento del sistema Macres si basa sull'attrito tra i rinforzi lineari, ed il rilevato di riempimento. Risulta quindi fattore importante per il dimensionamento, il materiale di riempimento del massiccio in terra armata e le sue caratteristiche fisiche (angolo di attrito, coesione e peso specifico).

La lunghezza, la sezione ed il numero dei rinforzi nel rilevato vengono calcolati in funzione della spinta dei terreni e dei sovraccarichi eventualmente presenti sul massiccio e a monte dello stesso: i rinforzi infatti sono dimensionati in base agli sforzi di trazione trasmessi loro dal terreno per effetto dell'aderenza.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
IADR	00D29	CL	MU1600001	A	4 di 20	


La relazione è composta di due sezioni:

- La prima illustra le ipotesi di calcolo con riferimento sia alla stabilità esterna che al dimensionamento interno;
- La seconda comprende l'output del calcolatore con le verifiche del numero e della lunghezza dei rinforzi per le sezioni più significative.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per quanto attiene ai valori dei coefficienti ed ai metodi di calcolo specifici per le terre rinforzate:

- 1) Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 17/01/2018
- 2) Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 14/01/2008
- 3) Circolare al D.M. del 14/02/2008
- 4) Eurocodice 7 – “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”, Aprile 1997.
- 5) Eurocodice 8 – “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 1: Regole generali - azioni sismiche e requisiti generali per le strutture”, Ottobre 1997.
- 6) Eurocodice 8 – “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”, Febbraio 1998.
- 7) NF P 94-270 - “Ouvrages de soutènement: remblais renforcés et massifs en sol cloué”
- 8) BS 8006:2016 – “Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills”
- 9) UNI EN 14475 – Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata
- 10) UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecniche di impiego delle terre
- 11) UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- 12) UNI EN 13285 - Miscele non legate - Specifiche
- 13) UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

3 MATERIALI IMPIEGATI – SISTEMA MACRES

Nella stesura della presente relazione è stato previsto l'impiego dei seguenti materiali:

- **Rinforzi polimerici del terreno**

In filamenti di poliestere ad alta resistenza racchiusi in una guaina in polietilene.

Caratteristiche geometriche e meccaniche:

PARAWEB	Larghezza (mm)	Spessore (mm)	Resistenza a rottura UTS (kN)	Allungamento a UTS (%)
ME 54	<u>13.86</u>	<u>1.7</u>	<u>40.20</u>	<u>9.5</u>
2E 40	<u>13.86</u>	<u>2.5</u>	<u>54.27</u>	<u>9.5</u>

- **Pannelli in calcestruzzo armato o non armato**

Pannelli con marchiatura CE secondo quanto previsto nell'Allegato ZA della norma EN15258:08.

Calcestruzzo tipo C32/40, classe di esposizione XF1 con resistenza caratteristica a compressione cubica $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$.

Armatura pannelli in calcestruzzo armato (ove presente) in acciaio tipo B450C.

- **Cordolo di livellamento non armato**

Calcestruzzo tipo $R_{ck} 15$ con resistenza caratteristica a compressione cubica $R_{ck} > 15 \text{ N/mm}^2$.


5.2 Requisiti richiesti per il rilevato strutturale

Il terreno di riempimento che costituisce il rilevato strutturale dell'opera, potrà provenire sia da scavi precedentemente eseguiti sia da cave di prestito e facendo riferimento alle classificazioni ASTM D 3282 o UNI 10006 dovrà appartenere ai A1-a, A1-b, A3, A2-4, A2-5 con esclusione di pezzature superiori a 250mm.

Il materiale con dimensioni superiori a 100 mm è ammesso con percentuale inferiore al 15% del totale.

In ogni caso dovranno essere rispettate le seguenti condizioni:

- a) Il materiale da rilevato sarà idoneo quando la percentuale passante al setaccio da 75 micron (0,075 mm.),

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

secondo l'analisi granulometrica, è inferiore del 15%.

b) Qualora non fosse verificata la precedente condizione a), il materiale da rilevato sarà comunque considerato idoneo quando:

- la percentuale del campione esaminato per sedimentazione passante al vaglio di 15 micron (0,015 mm.), è inferiore al 10%;
- la percentuale sulle prove realizzate per sedimentazione rimane compresa tra il 10% e 20% e l'angolo di attrito interno, misurato con prove di taglio su campioni saturi, è superiore a 25°.

In ogni caso saranno esclusi elementi di diametro maggiore o uguale a 250mm, e i materiali che, da prove opportune, presentino angoli d'attrito minori di quelli previsti in progetto.

Il peso di volume del terreno di riempimento, in opera compattato, dovrà essere superiore a quanto indicato nella presente relazione al capitolo "ipotesi di calcolo". Tale materiale dovrà essere compattato fino a raggiungere il 95% della densità secca AASHTO (ASTM D1557).

Il valore di attività degli ioni (pH) misurato sull'acqua del campione di terra saturato, dovrà essere compreso tra 5 e 10.

Il contenuto in cloruri e solfati dovrà essere determinato soltanto per quei materiali la cui resistività sia compresa tra i 1.000 e i 5.000 Ohm cm. e in questo caso non dovrà eccedere i seguenti valori:

	<i>Opere a secco</i>	<i>Opere in acqua dolce</i>	<i>Metodo di Prova di Riferimento</i>
[Cl-]	200 mg/kg	100 mg/kg	UNI EN 1744-1
[SO4==]	200 mg/l	100 mg/l	EN 196-2
[NH4+]	15 mg/l	15 mg/l	ISO 7150-1 o 7150-2
[Mg++]	300 mg/l	300 mg/l	ISO 7980

Per la determinazione dell'idoneità del materiale da porre in opera nella porzione rinforzata del rilevato si effettueranno preventivamente le seguenti prove:

- analisi granulometrica con relativa classificazione CNR-UNI 10006;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- determinazione del limite liquido e dell'indice di plasticità sull'eventuale porzione di passante al setaccio 0,4 UNI 2332;
- prova Proctor per la determinazione del grado di umidità ottimale - AASHTO mod. T180.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

- prova di compattazione AASHTO;
- Determinazione del valore della resistività e del pH per ogni campione della stessa provenienza.

Materiali non conformi alle specifiche potranno essere usati solo su autorizzazione scritta del progettista ed approvate dalla DD.LL.

4 ISTRUZIONI OPERTIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE

Il materiale verrà posto in opera per strati di altezza pari a circa 375 mm.

La posa del rilevato seguirà immediatamente il montaggio di ciascuna fila di pannelli; in corrispondenza di ogni strato di rinforzo il materiale sarà steso e compattato prima della posa e del fissaggio delle stesse.

4.1 Stesa dei materiali

La stesa del materiale dovrà essere eseguita sistematicamente per strati di spessore costante e con modalità e attrezzature atte ad evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.

Durante le fasi di lavoro, e ad opera ultimata, si dovrà garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche conferendo sagomature aventi pendenza trasversale non inferiore al 4%, perpendicolare al paramento e a scendere verso la coda dei rinforzi.

Lo spessore del materiale sciolto di ogni singolo strato di rilevato non dovrà risultare superiore a 40 cm. La stesa avverrà sempre parallelamente al paramento esterno.

4.2 Compattazione

Il grado di compattazione sarà $\geq 95\%$ del valore fornito dalla prova AASHTO mod. T 180. La compattazione potrà aver luogo soltanto dopo aver accertato che il contenuto d'acqua delle terre sia prossimo ($\pm 1,5\%$ ca.) a quello ottimale determinato mediante la prova AASHTO mod. T 180.

Se tale contenuto dovesse risultare superiore, il materiale dovrà essere essiccato per aerazione. Se inferiore l'aumento sarà conseguito per umidificazione e con modalità tali da garantire una distribuzione uniforme dell'acqua entro l'intero spessore dello strato.

Tipo, caratteristiche e numero dei mezzi di compattazione, e anche le modalità esecutive di dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza), dovranno essere tali da garantire le caratteristiche del rilevato Strutturale di cui al capitolo 5.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

La compattazione a tergo del paramento dovrà essere tale da escludere una riduzione nell'addensamento.

In particolare, si dovrà evitare che grossi rulli vibranti operino entro una distanza $\leq 1,5$ m dai paramenti della terra armata.

A questa distanza si useranno mezzi di compattazione leggeri quali piastre vibranti, piccoli rulli vibranti, badando a garantire i valori di densità richiesti, operando, se necessario, su strati di spessore ridotto.

Qualora si dovessero manifestare erosioni di sorta sul terreno già steso, si dovrà provvedere al ripristino delle zone danneggiate.

4.3 Condizioni climatiche

La costruzione dei rilevati in presenza di gelo o di pioggia persistenti non sarà consentita in linea generale, tranne per quei materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (es. ghiaia). Nella esecuzione di rilevati con terre ad elevato contenuto della frazione coesiva dovranno essere tenuti a disposizione anche dei rulli gommati che permettano la chiusura della superficie dell'ultimo strato in caso di pioggia.

4.4 Rilevati di prova

Quando prescritto dalla Direzione Lavori, l'Impresa procederà alla esecuzione dei rilevati di prova.

In particolare, si potrà fare ricorso ai rilevati di prova per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati nei precedenti capitoli.

Il rilevato di prova consentirà di individuare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.

4.5 Prove di controllo

Prima che venga messo in opera uno strato di terreno nel rilevato rinforzato, quello precedente dovrà essere sottoposto alle prove di controllo e possedere i requisiti di costipamento richiesti.

La frequenza delle prove di seguito specificata, deve ritenersi come minima e potrà essere aumentata, in considerazione della maggiore o minore omogeneità granulometrica dei materiali portati a rilevato e della variabilità nelle procedure di compattazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative in relazione alle caratteristiche dei terreni utilizzati.

La serie di prove sui primi 5000 mc. Potrà essere effettuata una sola volta a condizione che i materiali mantengano caratteristiche omogenee e siano costanti le modalità di compattazione.

FREQUENZA MINIMA DELLE PROVE

RILEVATI RINFORZATI DA RINFORZI LINEARI

Tipo di Prova	PRIMI 5000 mc	SUCCESSIVI mc
	Ripetere la prova ogni (m3)	Ripetere la prova ogni (m3)
Classif. CNR - UNI 10006	2000	5000
pH	2000 ^a	5000
Contenuto in cloruri e solfati per valori di resistività tra 1000/5000 Ohm.cm	5000 ^a	5000
Costip. AASHTO Mod. CNR	2000	5000
Densità in sito CNR 22	250	1000
Carico su piastra CNR 9 - 70317	1000	5000
Controllo umidità	*	*

NOTE:

a – Prove da effettuare solo nel caso di utilizzo di rinforzi in acciaio

* Frequenti e rapportate alle condizioni meteorologiche locali ed alle caratteristiche di omogeneità dei materiali costituenti il rilevato

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

5 CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE

Il dimensionamento della struttura è stato condotto sulla base dei dati forniti dal cliente secondo gli Stati Limite Ultimi (SLU) in condizioni statiche.

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 6 – sono stati applicati coefficienti parziali ai carichi, ai parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (**GEO**) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione, verifica di Capacità Portante della Fondazione e verifica a Ribaltamento della Struttura si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo strutturale (**STR**), per le Verifiche di Resistenza degli elementi strutturali sia nel caso di Rottura dei Rinforzi che di Sfilamento dei Rinforzi si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Inoltre, al fine di considerare le disposizioni di carico più dannose, sono state considerate le seguenti *Condizioni di Carico* (in accordo con la normativa BS8006:2016):

Condizione di carico A: (caso A) Vengono considerati sfavorevoli tutti i carichi G_w (applicazione del valore massimo di progetto), G_p , Q_w e Q_p .

Tale condizione risulta dimensionante ai fini della Verifica Esterna per la valutazione dei carichi massimi in fondazione e per la Verifica Interna alla rottura dei rinforzi.

Condizione di carico B: (caso B) Vengono considerati favorevoli il peso proprio della struttura G_w (applicazione del Valore minimo di Progetto) ed i carichi Variabili applicati al di sopra della struttura stessa Q_w . Vengono considerati sfavorevoli i carichi permanenti a tergo della struttura (spinta del terreno) G_p ed il corrispondente effetto dei carichi variabili che non gravano sulla struttura ma che sono a tergo della stessa Q_p .

Tale condizione risulta dimensionante ai fini della Verifica Esterna a Scorrimento.

Condizione di carico C: (caso C) Vengono considerati pari all'unità i coefficienti parziali dei carichi Permanenti G_w , G_p e considera nulli i coefficienti parziali dei carichi Variabili Q_w e Q_p .

Tale condizione risulta dimensionante nell'analisi dei Cedimenti in fondazione a Lungo termine.

In favore di sicurezza e data la non prevedibilità del grado di compattazione effettivamente raggiunto in opera, si impone inoltre una variabilità di + o – il 10% al valore della densità del massiccio, assumendo il valore minimo nelle condizioni di carico in cui tale valore sia favorevole alla stabilità, ed il valore massimo nelle condizioni in cui tale

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

valore sia sfavorevole.


6 COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI

Il progetto strutturale e geotecnico delle opere in esame sarà condotto in conformità alle indicazioni del D.M. 17/01/2018 (rif. Cap. 6 e Cap. 7).

Nell'ambito delle verifiche allo Stato Limite Ultimo si sono adottati i seguenti coefficienti parziali:

Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI DI RESISTENZA γ_R				
$R_d = R_k / \gamma_R$	R2	R2(*)	R3	R3(*)
Stabilità	1,10	1,20	1,00	1,20
Scorrimento - Slittamento per attrito	1,00	1,00	1,10	1,00
Ribaltamento	1,00	1,00	1,15	1,00
Capacità portante della Fondazione - Punzonamento	1,00	1,00	1,40	1,20

Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI GEOTECNICI γ_M				
	M1	M1(*)	M2	M2(*)
Peso unità di volume (γ_v)	1,00	1,00	1,00	1,00

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

Angolo di attrito $\tan\Phi'_k (\gamma_\Phi)$	1,00	1,00	1,25	1,00
Coesione efficace $c'_k (\gamma_c)$	1,00	1,00	1,25	1,00
Resistenza non drenata $c_{uk} (\gamma_{cu})$	1,00	1,00	1,40	1,00

Coefficients PARZIALI DELLE AZIONI γ_F					
		A1	A1(*)	A2	A2(*)
<u>PERMANENTI:</u> (Pesi, spinte geostatiche del terreno; sovraccarichi permanenti) (γ_{G1})	Favorevole	1,00	1,00	1,00	1,00
	Sfavorevole	1,30	1,00	1,00	1,00
<u>VARIABILI:</u> (sovraccarichi variabili; sisma; spinte relative indotte) (γ_{Q1})	Favorevole	0,00	1,00	0,00	1,00
	Sfavorevole	1,50	1,00	1,30	1,00

(Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II, Par. 7.11.6.2.2 e Par. 7.11.4)


Nota:

Coefficienti parziali dei carichi e delle spinte (i carichi permanenti non strutturali sono assimilati ai sovraccarichi permanenti in quanto compiutamente definiti).

7 IPOTESI DI CALCOLO

- Comune di costruzione o coordinate topografiche:

Bari

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

- Vita nominale dell'opera - V_N (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.I) 75 anni
- Coefficiente d'uso – C_U (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.II) Classe III
- Categoria del Sottosuolo (Rif. D.M. 17/01/2018 tab. 3.2.II e tab. 3.2.IV) B
- Categoria Topografica (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 3.2.III e Tab. 3.2.V) T1

La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è riportata negli allegati di calcolo.

Si è considerato agente un sovraccarico accidentale pari a 20 kPa.

Il dimensionamento delle strutture in progetto è stato eseguito con riferimento a quanto riportato nelle seguenti tabelle ed eventualmente integrato e dettagliato nel proseguo del paragrafo. Per le altezze delle sezioni di calcolo si rimanda ai relativi tabulati ed agli eventuali disegni acclusi alla presente nota oltre che alle tavole di progetto.

DATI GEOTECNICI	Fondazione	$\gamma_1 = 40 \text{ kN/m}^3$	$\varphi_1 = 20^\circ$	$c'_1 = 50 \text{ kPa}$
	Rilevato Backfill	$\gamma_2 = 33 \text{ kN/m}^3$	$\varphi_2 = 22^\circ$	$c'_2 = 0 \text{ kPa}$
	Rilevato	$\gamma_3 = 33 \text{ kN/m}^3$	$\varphi_3 = 22^\circ$	$c'_3 = 0 \text{ kPa}$
CARICHI ACCIDENTALI ESTERNI	Dinamico	20 kPa		
	Sismico	$K_h = 0,61$ $K_v = 0,03$		

La veridicità dei dati geotecnici in fase esecutiva deve essere verificata attraverso prove di laboratorio e di cantiere. Sarà compito della DD.LL. verificare che i materiali posti in opera corrispondono a quelli di progetto, al fine di assicurare, nella costruzione dei rilevati, i coefficienti di sicurezza previsti. La verifica di stabilità globale è a cura

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

del progettista generale dell'opera in quanto influenzata dalle opere di sostegno previste a monte e a valle della stessa.

8 METODO DI CALCOLO

Per le verifiche ed i dimensionamenti delle strutture sono stati utilizzati programmi di calcolo sviluppati da Officine Maccaferri S.p.A. quali MacRes 2.03 Beta.

MACRES 2.0 è un foglio di calcolo impiegato per il dimensionamento dei muri in terra armata a paramento verticale. Di seguito viene esposto sinteticamente il metodo di calcolo richiamando le formule matematiche principali che il programma di calcolo utilizza.

Gli output di calcolo relativi alle sezioni trasversali esaminate dell'opera in oggetto sono riportati nel successivo capitolo 13.

Caratteristiche dei terreni:

TERRENO DI FONDAZIONE (terreno 1): Sono indicati la densità massima e minima (γ_1), l'angolo di attrito interno (ϕ_1) e la coesione (C_1).

TERRENO RILEVATO BACKFILL (terreno 2): Sono indicati la densità massima e minima (γ_2), l'angolo di attrito interno (ϕ_2) e la coesione (C_2).

TERRENO RILEVATO (terreno 3): Sono indicati la densità massima e minima (γ_3), l'angolo di attrito interno (ϕ_3) e la coesione (C_3).


SPINTA DELLE TERRE

Il diagramma della spinta delle terre applicata a tergo del muro dipende dalla geometria del terrapieno sovrastante e dal sovraccarico.

La spinta delle terre è inclinata sull'orizzontale di un angolo δ , definita nella Norma AFNOR NF-P 94-270 secondo la seguente formula:

$$\delta = 0.8(1 - 0.7 \frac{L}{H})\Phi_1 + [\beta_e - 0.8(1 - 0.7 \frac{L}{H})\Phi_1] \sqrt{\frac{X}{H}}$$

[2]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

in cui:

$$L' = \frac{S}{H} = \frac{W}{\gamma_1 H} \quad [3];$$

$$\beta_e = \frac{3\beta + \Phi_2}{4} \quad [4]$$

$$X = \frac{K_{2y}}{K_{2x} - K_{2y}} D \tan \beta \quad [5]$$

I coefficienti di spinta in condizioni statiche, K_{2x} e K_{2y} , sono anch'essi computati secondo quanto prescritto dalle Norma AFNOR NF-P 94-270.

$$K_{2x} = \frac{(\cos^2 \Phi_2 / \cos \delta)}{[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi_2 + \delta) \sin(\Phi_2 - \beta)}{\cos \delta \cos \beta}}]^2} \quad [6]$$

$$K_{2y} = \frac{(\cos^2 \Phi_2 / \cos \delta)}{[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi_2 + \delta) \sin(\Phi_2 - \omega)}{\cos \delta \cos \omega}}]^2} \quad [7]$$

La spinta dovuta al terrapieno è calcolata come:


$$P = \frac{1}{2} K_{2x} \gamma_2 X^2 + K_{2x} \gamma_2 XY + \frac{1}{2} K_{2y} \gamma_2 Y^2 \quad [8]$$

STABILITA' ESTERNA

I calcoli sono eseguiti sulla larghezza di 1 metro.

Stabilità esterna - Punzonamento

Per ogni combinazione di carico considerata, il programma calcola:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

- R_v ed R_h , Risultanti delle forze verticali ed orizzontali (in kN/m),
- M_s ed M_r , Momento stabilizzante e momento ribaltante (in kNm/m),
- q_{ref} , Pressione di riferimento di Meyerhof esercitata sulla base (in kPa),
- $2x$, larghezza su cui si applica la pressione pari a due volte l'eccentricità.

La verifica a punzonamento è soddisfatta se:

$$q_{ref} \leq \frac{q_{fu}}{\gamma_{mq}}$$

in cui q_{fu} è il valore della pressione limite ultima che tiene conto delle caratteristiche del terreno di fondazione e dell'inclinazione della risultante delle forze, la cui tangente ha il valore R_h/R_v .

Viene inoltre eseguita la verifica sulla condizione di interrimento minimo della fondazione che confronta l'interrimento reale previsto dal progetto con quanto richiesto dalla normativa AFNOR NF-P 94-270 ed indica se tale verifica è soddisfatta.

Stabilità esterna – Slittamento e Ribaltamento

Per ogni combinazione di carico considerata (la combinazione 3 non viene considerata poiché viene utilizzata solo per la valutazione dei cedimenti), il programma calcola il Fattore di sovradimensionamento nei confronti dello slittamento sul piano di fondazione, Γ , dato da:

$$\Gamma = \frac{R_v \times \frac{\tan\phi}{\gamma_{m\phi}} + \frac{c}{\gamma_{mc}} \times L}{R_h}$$

in cui ϕ e c sono alternativamente l'angolo di attrito interno e la coesione del materiale costituente il massiccio in terra rinforzata (per garantirsi contro lo slittamento all'interno della struttura) o del terreno costituente la fondazione (per garantirsi contro lo slittamento all'interno di quest'ultimo). I valori riportati nel tabulato sono già divisi per il fattore di sicurezza γ_R .

Il programma calcola anche per ogni combinazione di carico considerata, i valori minimi dell'angolo di attrito interno e della coesione al contatto tra terreno costituente la fondazione e massiccio in Terra Armata (entrambi considerati

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

o puramente attritivi o puramente coesivi).

Il Fattore di sovradimensionamento nei confronti del ribaltamento, viene dato poichè garantisce comunque che le deformazioni saranno limitate. I valori riportati nel tabulato sono già divisi per l'opportuno fattore di sicurezza γ_R ovvero è sufficiente che siano uguali a 1 perchè la sicurezza al ribaltamento sia verificata con un fattore di sicurezza pari al fattore di sicurezza utilizzato.

STABILITÀ INTERNA

A pagina 4 e 5 del tabulato sono riportate informazioni e dati relativi alle verifiche della tensione e dell'aderenza delle armature (stabilità interna) nella sezione. La larghezza di calcolo dipende dalla tipologia del paramento.

Stabilità interna – Rottura dei rinforzi (fattori di sovradimensionamento)

Il programma, per ogni livello di rinforzo e per ogni condizione di carico, calcola la tensione massima T_{max} agente, e la tensione all'attacco tra rinforzo e paramento T_o , ottenuta come percentuale di T_{max} in funzione della flessibilità del paramento stesso, e le confronta con le trazioni che provocano, nelle stesse sezioni, la rottura del rinforzo, ottenendo i fattori di sovradimensionamento dei rinforzi nei confronti della rottura.

La tabella presenta i risultati del calcolo. Le relative colonne danno, per ogni livello di rinforzo:

Colonna 1: il numero di riferimento del livello di rinforzo considerato.


Colonna 2: la combinazione di carico considerata.

Colonna 3: la sua profondità z (in m) rispetto alla sommità del muro.

Colonna 4: la lunghezza dei rinforzi al livello considerato.

Colonna 5: s_v , la distanza verticale tra livelli di rinforzi adiacenti.

Colonna 6: il valore di k , coefficiente di spinta, calcolato secondo il seguente diagramma (Annex E Paragrafo E.2.3.3 della Norma AFNOR NF-P 94-270)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

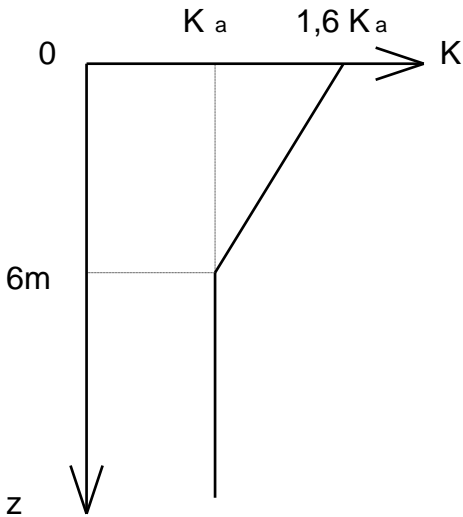


Fig. 1

Colonna 7: il tipo di rinforzo.

Colonna 8: N° , il numero di rinforzi presenti al livello considerato, nella larghezza di calcolo.

Poi, per ogni strato e per ogni condizione di carico si hanno:

Colonna 9: σ_{vi} , la tensione verticale.


Colonna 10: σ_{hi} , la tensione orizzontale $\sigma_{hi} = K_{\sigma v}$ in cui:

K è dato in Colonna 4, e σ_v è la tensione verticale alla profondità del livello considerato dovuta ai pesi sovrastanti ed al momento ribaltante, calcolata secondo Meyerhof.

Colonna 11: T_{max} (in kN), valore della trazione massima in un rinforzo dello strato.

Colonna 12: T_o (in kN), valore della trazione all'attacco con il pannello in un rinforzo dello strato.

Colonna 13: T_r/T_m , valore del rapporto tra la trazione di rottura T_r nella sez. corrente del rinforzo, già divisa per il fattore di sicurezza minimo γ_{mt} , e $T_m = T_{max}$. I valori riportati dal tabulato sono quindi già divisi per γ_{mt} , ovvero è sufficiente che essi siano uguali a 1 perchè la sicurezza alla rottura sia verificata con un fattore di sicurezza pari a γ_{mt} .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	Relazione di calcolo muri in terra rinforzata – MU16	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1600001	REV. A

Colonna 14: T_{ro}/T_o , valore del rapporto tra la trazione di rottura T_{ro} nella sez. all'attacco del rinforzo, divisa per il fattore di sicurezza minimo γ_{mt} , e T_o . I valori riportati dal tabulato sono quindi già divisi per γ_{mt} , ovvero è sufficiente che essi siano uguali a 1 perchè la sicurezza alla rottura sia verificata con un fattore di sicurezza pari a γ_{mt} .

Slittamento dei rinforzi (fattori di sovradimensionamento)

Il programma, per ogni livello di rinforzi e per ogni condizione di carico, calcola la tensione massima T_{max} agente, e la resistenza massima T_f che l'attrito tra rinforzo e terreno circostante può mobilitare, e le confronta tra di loro.

La tabella presenta i risultati del calcolo. Le successive colonne danno, per ogni livello di rinforzo:

Colonna 1: il numero di riferimento del livello di rinforzo considerato.

Colonna 2: la combinazione di carico considerata.

Colonna 3: la sua profondità z (in m) rispetto alla testa del muro.

Colonna 4: la lunghezza dei rinforzi al livello considerato.

Colonna 5: L_a (in m), lunghezza di aderenza.

Colonna 6: μ^* , coefficiente di attrito apparente tra terreno e armature.

Colonna 7: la profondità H_a (in m), rispetto alla testa del muro, degli strati di rinforzo

Colonna 8: tipo di rinforzo (determina il valore di f^*).

Colonna 9: numero di rinforzi nella larghezza di calcolo, per lo strato considerato.

Poi, per ogni strato e per ogni condizione di carico si hanno:

Colonna 11: T_{max} (in kN), valore della trazione massima in un rinforzo dello strato.

Colonna 13: T_f (in kN), valore della resistenza d'attrito per un rinforzo dello strato, divisa per il fattore di sicurezza minimo γ_{mf} . Nel calcolo di T_f la sezione è inoltre già stata ridotta degli spessori sacrificati alla corrosione.

Colonna 14: T_f/T_m , valore del rapporto tra la resistenza d'attrito T_f nel rinforzo, e T_{max} . I valori riportati dal tabulato sono quindi già divisi per γ_{mf} , ovvero è sufficiente che siano uguali a 1 perchè la sicurezza alla rottura sia verificata

