

FERROVIE APPULO LUCANE

MOVIMENTO FRANOSO SULLA TRATTA FERROVIARIA ACERENZA-PIETRAGALLA

TRA LE PROGRESSIVE 66+822 E 66+850 m

PROGETTO DEI LAVORI PER IL RIPRISTINO DELLA LINEA FERROVIARIA

- PROGETTO ESECUTIVO

| | | | | | |
|--------|-------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------------|
| 5 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 1 | | | | | |
| 0 | GIUGNO 2019 | ING. O.R. COLLETTA | ING. O.R. COLLETTA | | PRIMA EMISSIONE |
| EM/REV | DATA | RED./DIS. | VERIFICATO | APPROVATO | DESCRIZIONE |

Titolo dell'allegato

RELAZIONE DI CALCOLO
MURO DI SOSTEGNO SU PALI DI FONDAZIONE

ALLEGATO

STRU.09


PROGETTAZIONE

ING. OLGA RENATA COLLETTA

COMMITTENTE




FERROVIE APPULO LUCANE

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 2 | 25 |

I N D I C E

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 1. | <i>INTRODUZIONE</i> | 3 |
| 1.1. | <i>Inquadramento territoriale</i> | 3 |
| 1.2. | <i>Caratteristiche geologiche-geomorfologiche</i> | 5 |
| 2. | <i>DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA</i> | 6 |
| 3. | <i>NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</i> | 8 |
| 4. | <i>DEFINIZIONE PARAMETRI DI PROGETTO</i> | 9 |
| 5. | <i>SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO ELEMENTARI</i> | 9 |
| 6. | <i>DESCRIZIONE DEI MATERIALI</i> | 13 |
| 7. | <i>CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE</i> | 15 |
| 8. | <i>COMBINAZIONE DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE E CALCOLO EFFETTI</i> 15 | |
| 8.1. | <i>Azioni ambientali e naturali</i> | 18 |
| 8.2. | <i>Destinazioni d'uso e sovraccarichi variabili dovuti alle azioni antropiche</i> | 19 |
| 9. | <i>METODO DI ANALISI</i> | 22 |
| 10. | <i>STABILITÀ GLOBALE DEL PENDIO</i> | 23 |
| 11. | <i>CARATTERISTICHE E AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO</i> | 24 |
| 12. | <i>ACCETTABILITA' DEI RISULTATI</i> | 25 |

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 3 | 25 |

1. INTRODUZIONE

La presente relazione di calcolo strutturale in conformità al punto §10.1 del DM 17/01/18 è comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica. Lo studio interessa i lavori per la realizzazione delle opere di sostegno e strutture di fondazione nell'ambito del progetto di "Presidio del movimento franoso sulla tratta ferroviaria Acerenza-Pietragalla tra le progressive 66+822 e 66+850 m" del Comune di Acerenza (PZ).

Di seguito si riporta una breve descrizione del contesto territoriale e delle caratteristiche geologiche-geomorfologiche del sito in cui verrà realizzata l'opera.

1.1. Inquadramento territoriale

L'intervento è ubicato nel territorio del Comune di Acerenza (PZ), a 500 metri dalla stazione di Acerenza in direzione Pietragalla.

Il ciglio di frana si trova alla quota di 500 metri e il piede alla quota di 475 metri m s.l.m. in prossimità del Fosso Vallone Palermo.

Movimento franoso sulla tratta ferroviaria Acerenza - Pietragalla tra le progressive 66 + 822 e 66 + 850 m

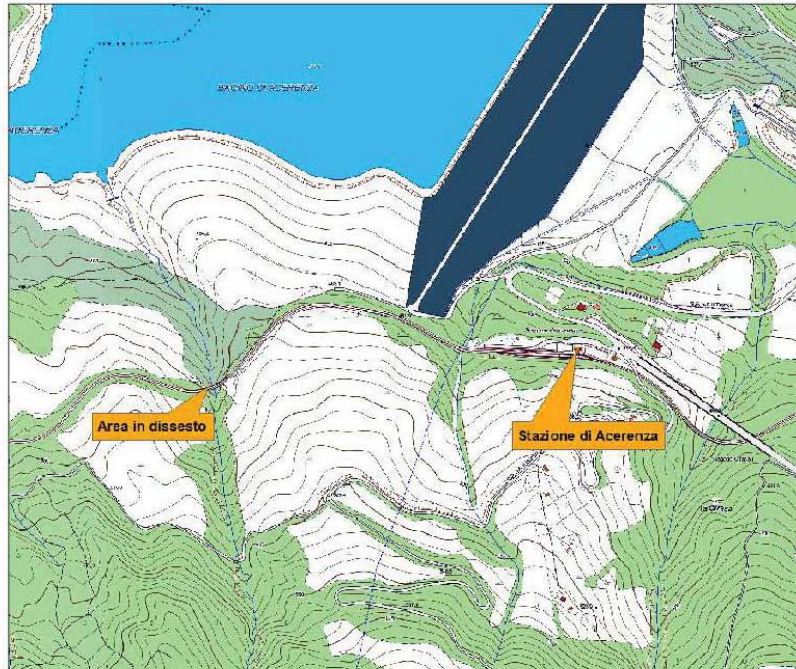



Fig. 1 – Stralcio CTR n° 470043



Fig. 2 Stralcio ortofoto n° 470043

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 5 | 25 |

1.2. Caratteristiche geologiche-geomorfologiche

Al fine di avere un quadro più dettagliato sulla stratigrafia del terreno e sui parametri geotecnici di riferimento sono stati considerati i dati provenienti da tutte le campagne geognostiche condotte all'interno dell'area. I rilievi geologici e le risultanze della campagna d'indagine geognostica hanno consentito di determinare la caratterizzazione geotecnica del sito.

Il movimento franoso si sviluppa alla base del versante settentrionale di Cozzo Carpanello, attraversato localmente da un corso d'acqua che scorre all'interno del Fosso Vallone Palermo.

Dalla litostratigrafia, si definisce una stratigrafia di sintesi del settore indagato rappresentata da una parte superficiale di materiale costituito da ammassi argillosi e terreno di riporto (sabbie, argille ed elementi lapidei calcarei e calcarenitici) che rappresenta il corpo di frana e strati più profondi di argillite e marne di colore grigio molto consistenti.

Per la verifica di movimenti franosi in atto, i fori delle indagini sono stati attrezzati con inclinometri e piezometri. Per le profondità investigate, nel sondaggio S1p, provvisto di piezometro, non sono presenti acque di falda, come si evidenzia dalle indagini eseguite.

Il rilevamento geologico di dettaglio e le informazioni provenienti dalle indagini geognostiche eseguite hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica che caratterizza l'area in esame. In particolare dall'alto verso il basso sono state riconosciute le seguenti unità litostratigrafiche:

- Corpo di frana

Sono formati da ammassi argillosi e terreni di riporto. Nel sondaggio S1p lo spessore è di circa 5 m;

- Terreni di riporto

Costituiscono le scarpate laterali del ponte e sono formati da sabbie, argille ed elementi lapidei calcarei e calcarenitici. Lo spessore nel sondaggio S3i è di circa 6 m;

- Depositi alluvionali


Si tratta di materiale fine con elementi lapidei accumulati dal corso d'acqua lungo il fosso;

- Sistema di Tolve – Subsistema di Acerenza

Nell'area in esame quest'unità costituisce la porzione medio-alte del versante ed è formata da sabbie a granulometria medio-grossolana di colore giallastro;

- Argille siltose del Torrente Flaga

Quest'unità è formata da marne argillose ed argille marnose grigie sottilmente stratificate con sottili intercalazioni arenaceo-siltose grigio-giallastre;

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 6 | 25 |

Flysc Rosso

Essa è formata da argille, argille marnose e argilliti brune e grigiastre, a luoghi rosso-verdastre, con frequenti patine manganesifere, e con intercalazioni di marne biancastre e rosate, calcilutiti e calcareniti a grana fine torbiditiche bioclastiche a macroforaminiferi.


Morfologicamente il tratto di ferrovia in dissesto si sviluppa alla base del versante settentrionale di Cozzo Carpanello, caratterizzato da pendenze medio-alte e attraversato localmente da un corso d'acqua che scorre all'interno del Fosso Vallone Palermo. Il movimento franoso si è sviluppato in sinistra idraulica di tale fosso, in corrispondenza dell'intersezione con il ponte ferroviario. Il corpo di frana individuato ha una lunghezza di circa 35 m e una larghezza media di 15 m.

Per una descrizione più dettagliata delle caratteristiche geologiche-geomorfologiche si rimanda all'allegato relativo alla "Relazione Geologica" e all'allegato "Relazione di risposta sismica locale di III livello", entrambe redatte dal Dott. Geologo Domenico Laviola.

2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'opera consiste nella realizzazione di un'opera di sostegno di lunghezza pari a 30,20 m, costituita da un muro di sostegno in c.a. di altezza variabile da 7,40 m a 4.60 m e fondato su una platea di fondazione a gradoni di spessore pari a 100 cm, e dimensioni planimetriche di 30,20 m x 3,60 m. La fondazione è provvista di pali di diametro ~~800~~ e lunghezza pari a L=22 m per il muro di altezza H=7.40 m e H=6.40 m, e lunghezza pari a L=17m per il muro di altezza H=5.50 m e H=4.60 m.

Il paramento del muro, la soletta di fondazione e i pali in c.a. sono realizzati con calcestruzzo di classe C32/40 (Resistenza caratteristica $R_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$) e acciaio di armatura del tipo B450C (Resistenza caratteristica $F_{yk} = 450.00 \text{ N/mm}^2$) ad aderenza migliorata. Di seguito si riporta una vista dell'opera.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 7 | 25 |

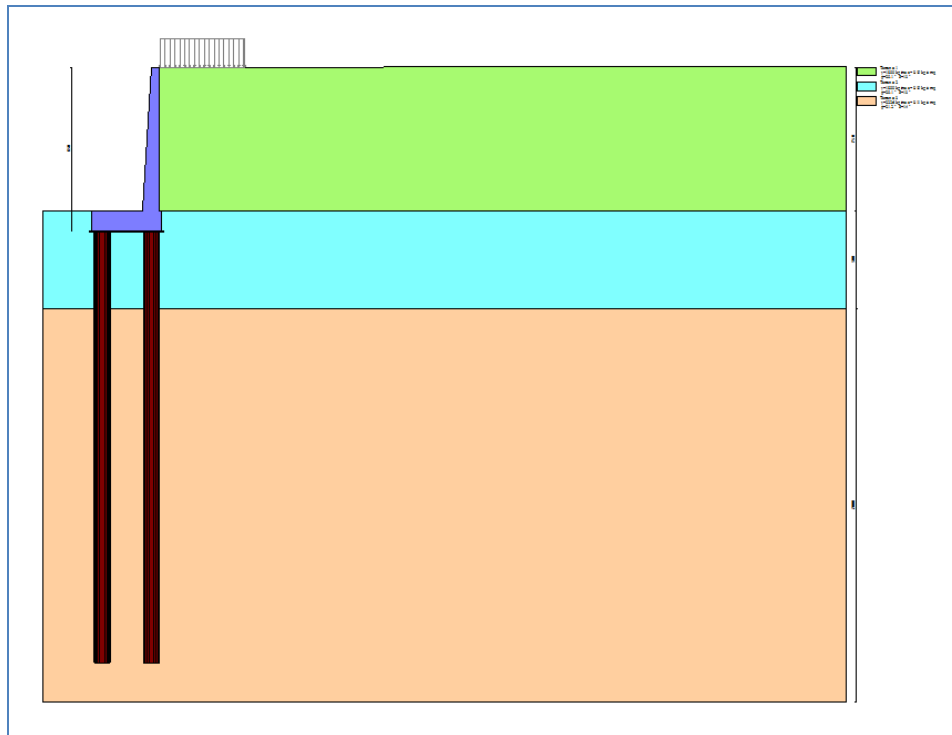



Fig. 1 Sezione muro

Il paramento del muro ha spessore di 40 cm in testa e inclinazione verso l'esterno di 3.5°.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 8 | 25 |

3. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la redazione del seguente documento si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

STRUTTURE


-) Legge 5 novembre 1971 N. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
-) OPCM 3274 d.d. 20/03/2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, e successive modifiche e integrazioni (OPCM 3431 03/05/05).
-) Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018.

CARICHI E SOVRACCARICHI

-) D.M. 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
-) Circ. MIN.LL.PP. N.156AA.GG./STC del 4 luglio 1996 – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al D.M. 16 gennaio 1996.
-) D.M. 16.1.1996 - Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche.
-) Circ. Min. LL.PP. 10.4.1997, n. 65 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16 gennaio 1996.
-) Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti C.S.LL.PP - (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 – Suppl. Ord.) “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme Tecniche delle Costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018”;
-) Norme tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018.

TERRENI E FONDAZIONI

-) D.M. 11 marzo 1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
-) Circ. MIN.LL.PP. N.30483 del 24 settembre 1988 - Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 9 | 25 |

4. DEFINIZIONE PARAMETRI DI PROGETTO

La definizione dei parametri di progetto e delle azioni considerate sulla costruzione sono riportati nella seguente tabella:

| | |
|--|-----------|
| Vita Nominale | 50 |
| Classe d'Uso | III |
| Categoria del Suolo | B |
| Categoria Topografica | 1.0 |
| Latitudine del sito oggetto di edificazione | 40.767492 |
| Longitudine del sito oggetto di edificazione | 15.918025 |

5. SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO ELEMENTARI

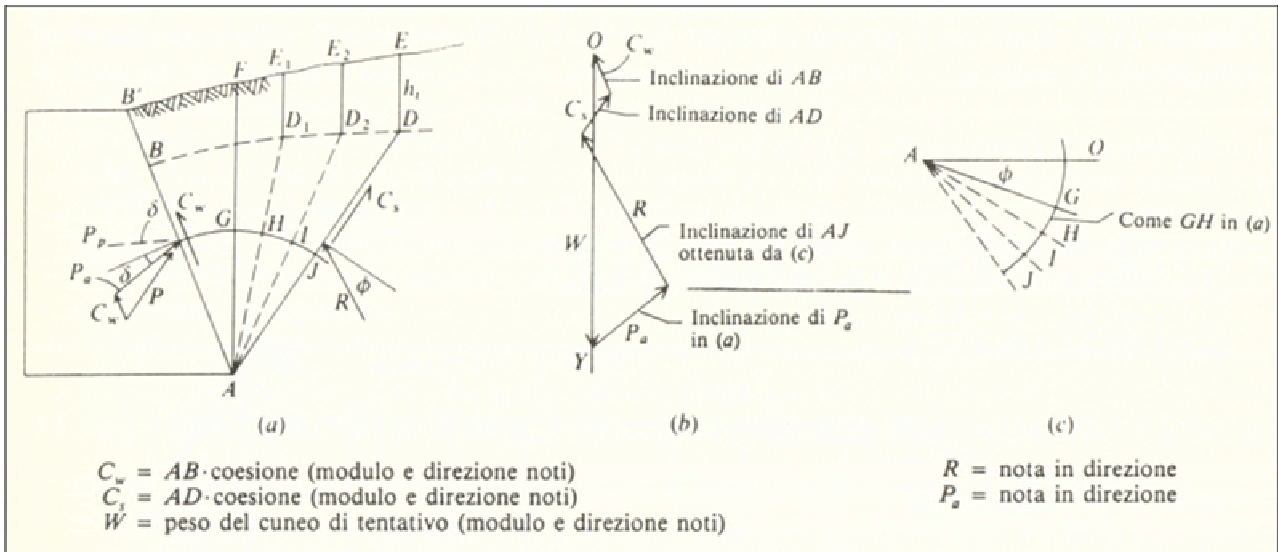
Nella tabella seguente vengono riportati i carichi gravanti sulla struttura:

| Carico elementare |
|--|
| Peso muro |
| Peso terrapieno |
| Spinta terreno |
| Condizione 1 strada: variabile da traffico (ferroviario) |

Per la valutazione dei carichi e sovraccarichi agenti sulla struttura, si è fatto riferimento alle disposizioni del Decreto del Ministero Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018.

Calcolo della spinta statica

La spinta laterale che si mobilita a monte della parete del muro è ricavabile nel caso di terrapieno di forma irregolare e in presenza di carichi concentrati mediante l'utilizzo del metodo di Culmann (1886) o del metodo del cuneo di tentativo (1887) che si differenziano solo per l'orientamento del poligono delle forze. Entrambi i metodi si basano sul calcolo delle forze note su un cuneo di tentativo comprendendo tutti i carichi esterni agenti sul terrapieno: il peso del cuneo stesso, la forza di taglio agente sulla superficie di rottura di tentativo e note le inclinazioni della spinta attiva P_a (o passiva P_p) sulla parete e della risultante R sulla superficie di rottura, consentono di tracciare un poligono delle forze e ottenere graficamente la spinta attiva P_a (o passiva P_p).



Il valore complessivo della spinta statica attiva (passiva) per unità di larghezza del muro, espressa mediante i valori di K_a e K_p di Muller-Breslau, è pari a:

$$F = \frac{1}{2} \rho_a h^2 \quad [F = \frac{1}{2} \rho_p h^2]$$

ρ peso specifico terreno

h = altezza del paramento

$$\gamma_a = \text{coefficiente di spinta attiva} = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \theta)} \right]^2}$$

$$[\gamma_p = \text{coefficiente di spinta passiva} = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \theta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \theta)} \right]^2}]$$


θ inclinazione terrapieno

δ coefficiente di attrito paramento-terreno

α inclinazione del paramento

ϕ coefficiente di attrito interno

La distribuzione della spinta è di tipo triangolare con risultante S applicata ad 1/3 dell'altezza del paramento.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 11 | 25 |

Spinta sismica

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale approvata con l'O.P.C.M: n. 3274 del 20.03.2003 e s.m.i. il Comune di Acerenza ricade in zona sismica 2.

Le azioni sismiche agenti sull'opera di sostegno vengono valutate in considerazione di un periodo di riferimento V_R così definito:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

Noti i periodi di ritorno dell'azione sismica, le forme spettrali sono definite partendo dai valori dei parametri a_g , F_0 , T^*C su sito di riferimento rigido orizzontale (suolo di categoria A).

Per cui tramite la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo (tipo A, B, E) si individua il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e con la caratterizzazione topografica (T_1 , T_2 , T_4) il coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Dall' analisi di risposta sismica locale effettuata si nota che si ha una notevole amplificazione al suolo rispetto agli spettri di norma di Categoria B.

Di seguito si riportano i parametri dipendenti ed indipendenti dello spettro relativo allo stato limite SLD e SLV:

| PARAMETRI INDIPENDENTI | | | | | PARAMETRI DIPENDENTI | | | | | |
|------------------------|-----------|-----------|-------|------------|----------------------|--------|---------------|--------|--------|----------|
| Stato limite | Tr (anni) | a_g (g) | F_0 | T^*C (s) | S | η | A_{max} (g) | TB (s) | TC (s) | $S_e(T)$ |
| SLD | 75 | 0.068 | 2.528 | 0.339 | 2.98 | 1 | 0.202 | 0.209 | 0.231 | 0.512 |

| PARAMETRI INDIPENDENTI | | | | | PARAMETRI DIPENDENTI | | | | | |
|------------------------|-----------|-----------|-------|------------|----------------------|--------|---------------|--------|--------|----------|
| Stato limite | Tr (anni) | a_g (g) | F_0 | T^*C (s) | S | η | A_{max} (g) | TB (s) | TC (s) | $S_e(T)$ |
| SLV | 712 | 0.161 | 2.616 | 0.453 | 1.823 | 1 | 0.293 | 0.278 | 0.420 | 0.768 |


SLD:

$$a_g = 0.068$$

$$S = 2.98$$

Per cui il valore dell'accelerazione di picco è:

$$a_{max} = 0,202$$

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 12 | 25 |

SLV:

$$a_g = 0.161$$

$$S = 1.823$$

Per cui il valore dell'accelerazione di picco è:

$$a_{max} = 0,293$$

Nel caso specifico, nella verifica allo stato limite ultimo SLV i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v sono pari al valore:

$$k_h = \frac{a_{max}}{g} = 1 \times 0,202$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h = 0,101$$

con $\gamma = 1$ per muri impediti di spostamenti relativi con il terreno quali quelli fondati su pali.

Pertanto l'espressione della spinta sismica agente sulla parete è quindi:

$$S_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma (1 \pm k_v) \cdot k_a H^2 + \frac{1}{2} \cdot \gamma H^2$$

6. DESCRIZIONE DEI MATERIALI

La struttura è costituita da un'unica soletta di fondazione in c.a.; il calcestruzzo utilizzato sarà di classe C32/40, mentre l'acciaio di armatura sarà del tipo B450C.

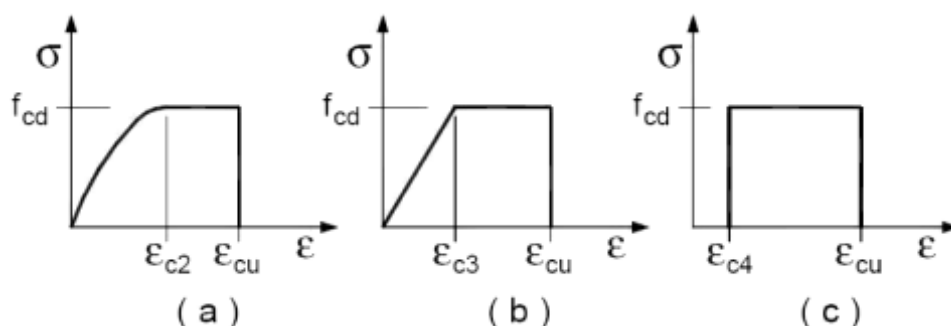
Secondo i requisiti di durabilità del calcestruzzo riportati nella norma EN 206-1, la classe di esposizione corrisponde a XC4 (ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua), si adotterà un copriferro minimo di 40 mm, il massimo rapporto acqua/cemento è pari a 0,50 e il dosaggio minimo è pari a 340 Kg/mc. La classe di consistenza è S4 (consistenza fluida).

I valori dei parametri caratteristici dei suddetti materiali sono riportati nei tabulati di calcolo, nella relativa sezione.

Per ciascuna classe di calcestruzzo impiegata sono riportati i valori di:


- Resistenza di calcolo a trazione (f_{ctd})
- Resistenza a rottura per flessione (f_{cm})
- Resistenza tangenziale di calcolo (τ_{Rd})
- Modulo elastico normale (E)
- Modulo elastico tangenziale (G)
- Coefficiente di sicurezza allo Stato Limite Ultimo del materiale (γ_c)
- Resistenza cubica caratteristica del materiale (R_{ck})
- Coefficiente di Omogeneizzazione
- Peso Specifico
- Coefficiente di dilatazione termica

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.1 del D.M. 17 gennaio 2018; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e pressoflessione deviata è adottato il modello riportato in fig. (a).



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

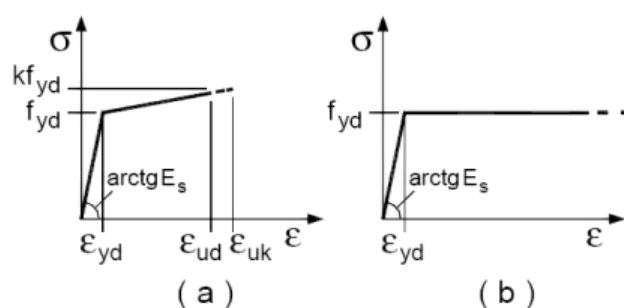
La deformazione massima $\epsilon_c \max$ è assunta pari a 0.0035.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 14 | 25 |

Per l'acciaio sono riportati i valori di:


- Tensione caratteristica di snervamento trazione (f_{yk})
- Modulo elastico normale (E)
- Modulo elastico tangenziale (G)
- Coefficiente di sicurezza allo Stato Limite Ultimo del materiale (γ_f)
- Peso Specifico
- Coefficiente di dilatazione termica

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in fig. (b).



La resistenza di calcolo è data da f_{yk} / γ_f . Il coefficiente di sicurezza γ_f si assume pari a 1.15.

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 15 | 25 |

7. CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi discreti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali. Il metodo consiste nel discretizzare il continuo in discreto mediante la definizione di regioni e sottodomini, elementi finiti monodimensionali tipo beam e elementi bidimensionali tipo lastra connessi da nodi.

Il metodo agli stati limite ha il vantaggio di tener conto dell'interazione terreno-struttura tenendo conto della natura iperstatica del problema. Il terreno è schematizzato con molle orizzontali e verticali indipendenti disposte lungo il fusto dei pali e della piastra di fondazione, per le quali si è assunto un comportamento di tipo elastico lineare-perfettamente plastico definito da curve di reazione p-y. La risoluzione dell'interazione è ottenuta discretizzando il palo e la piastra come una trave di larghezza unitaria divisa in n conci e soggetta ad una distribuzione di pressioni q risultante dalle azioni del terreno, risolvendo per successive iterazioni, e assegnando a ciascun concio una opportuna legge di reazione.

I vincoli tra i vari elementi strutturali e quelli con il terreno sono stati modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale. I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono del tipo elastico lineare.

Il programma per il calcolo automatico utilizzato è:

MAX 15 – produttore Aztec Informatica srl

8. COMBINAZIONE DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE E CALCOLO EFFETTI


Le azioni definite come al § 2.5.1 delle NTC 2018 sono state combinate in accordo a quanto definito al § 2.5.3. applicando i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione come di seguito definiti.

Le verifiche STR, GEO e EQU sono effettuate tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II, 6.5.I, eseguendo l'**Approccio 2**: (A1+M1+R3) della NTC 2018.

| Carichi | Effetto | Coefficienti parziali γ (o γ_{eff}) | EQU | (A1) STR | (A2) GEO |
|----------------------------|-------------|---|-----|------------|----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_1 | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevole | γ_1 | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | γ_2 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Sfavorevole | γ_2 | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Variabili | Favorevole | γ_3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | γ_3 | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (tratto dal NTC 2018)

(Per la spinta delle terre si fa riferimento a γ_3)

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 16 | 25 |

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale | (M1) | (M2) |
|--|---|-----------------------|------------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | 1,0 | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | 1,0 | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | 1,0 | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (tratto dal NTC 2018)


Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

| Resistenza | Simbolo | Pali infissi | Pali trivellati | Pali ad elica continua |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
| | γ_R | (R3) | (R3) | (R3) |
| Base | γ_b | 1,15 | 1,35 | 1,3 |
| Laterale in compressione | γ_s | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Totale (*) | γ | 1,15 | 1,30 | 1,25 |
| Laterale in trazione | γ_{st} | 1,25 | 1,25 | 1,25 |

*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

| Verifica | Coefficiente parziale (R3) |
|------------------------------------|----------------------------|
| Capacità portante della fondazione | $\gamma_R = 1,4$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,1$ |
| Ribaltamento | $\gamma_R = 1,15$ |
| Resistenza del terreno a valle | $\gamma_R = 1,4$ |

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 17 | 25 |

Per le azioni variabili da traffico (in tal caso ferroviario) si adottano i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione della tabella 5.2.V e 5.2.VI

| Coefficiente | | | EQU ⁽¹⁾ | A1 | A2 |
|---|-------------|---------------|---------------------|---------------------|------|
| Azioni permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,10 | 1,35 | 1,00 |
| Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Ballast ⁽³⁾ | favorevoli | γ_B | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾ | favorevoli | γ_Q | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,45 | 1,45 | 1,25 |
| Azioni variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevoli | | 1,50 | 1,50 | 1,30 |
| Precompressione | favorevole | γ_P | 0,90 | 1,00 | 1,00 |
| | sfavorevole | | 1,00 ⁽⁵⁾ | 1,00 ⁽⁶⁾ | 1,00 |
| Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente | favorevole | γ_{Ce} | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | sfavorevole | d | 1,20 | 1,20 | 1,00 |

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.


⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

| Azioni | | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|------------------|---|---------------------|---------------------|------------|
| Azioni singole | Carico sul rilevato a tergo delle spalle | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| da traffico | Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli | 0,80 | 0,50 | 0,0 |
| Gruppi di carico | gr_1 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽²⁾ | 0,0 |
| | gr_2 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽²⁾ | - |
| | gr_3 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽²⁾ | 0,0 |
| | gr_4 | 1,00 | 1,00 ⁽²⁾ | 0,0 |
| Azioni del vento | F_{wk} | 0,60 | 0,50 | 0,0 |
| Azioni da neve | in fase di esecuzione SLU e SLE | 0,80 0,0 | 0,0 0,0 | 0,0 0,0 |
| Azioni termiche | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |

⁽¹⁾ 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.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 18 | 25 |

8.1. Azioni ambientali e naturali

Si è concordato con il Committente che le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche siano verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)


Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

| Stati Limite PVR : | | Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR |
|---------------------------|-----|--|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del D.M. 17 gennaio 2018 § 3.2.3. sono stati definiti i seguenti termini:

- Vita Nominale
- Classe d'Uso;
- Categoria del suolo;
- Coefficiente Topografico;
- Latitudine e longitudine del sito oggetto di edificazione

Tali valori sono stati utilizzati da apposita procedura informatizzata sviluppata dalla Aztec Informatica s.r.l. che, a partire dalle coordinate del sito oggetto di intervento, fornisce i parametri di pericolosità sismica da considerare ai fini del calcolo strutturale, riportati nei tabulati di calcolo.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 19 | 25 |

Nel caso in specie trattandosi di opere di classe III, gli stati limite da verificare ed il tipo di verifica da effettuare secondo norma sono i seguenti:

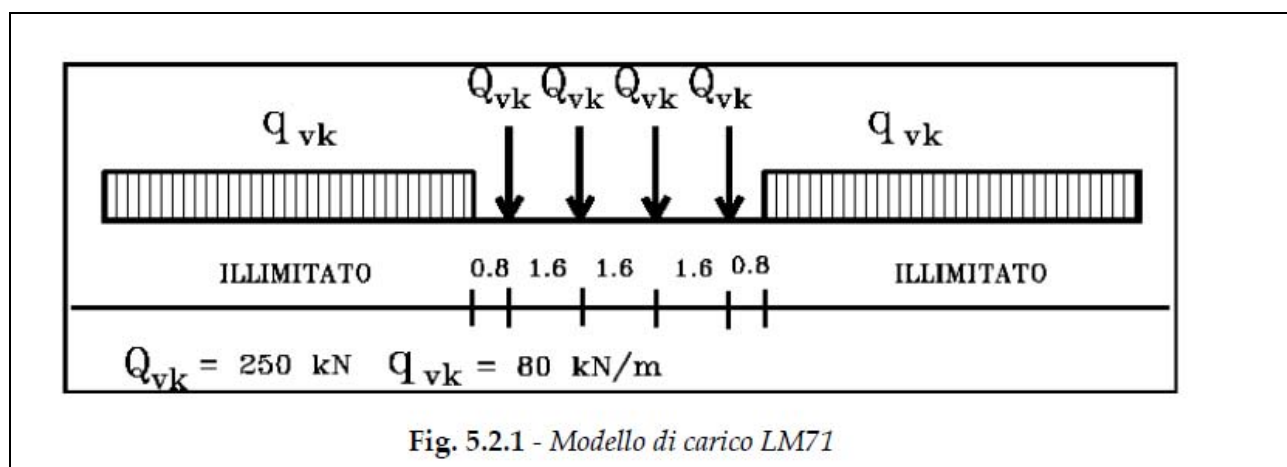
Stato Limite di Danno (SLD) con controllo degli spostamenti;


Stato Limite di Salvaguardia (SLV) con verifica di resistenza.

8.2. Destinazioni d'uso e sovraccarichi variabili dovuti alle azioni antropiche

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si è fatto riferimento al paragrafo 5.2 del D.M. 17.01.2018 in funzione della precisa destinazione d'uso dell'opera di sostegno ossia di presidio delle spinte delle terre di un terrapieno ferroviario.

Quindi si è assunto che i carichi variabili verticali agenti a tergo del muro siano associati al transito dei convogli ferroviari previsti nella tratta ferroviaria in oggetto. Si è assunto agente il carico variabile LM 71:



| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 20 | 25 |

Tale modello di carico è costituito da:

- 4 assi Q_{vk} da 250 KN disposti a interasse di 1,60 m;
- carico distribuito $q_{vk} = 80$ KN/m disposto in entrambe le direzioni a partire da 0.8 m dall'asse del carico Q_{vk} e agente per una lunghezza illimitata.

Tali valori di carico vanno incrementati di un coefficiente di adattamento " α " per ferrovie ordinarie pari a 1,1.

Pertanto il carico verticale unitario, agente a tergo del muro di sostegno, rappresentante il carico accidentale variabile da traffico, distribuito sulla piattaforma ferroviaria è pari al rapporto tra il carico applicato per l'intera lunghezza del muro e la superficie di diffusione dello stesso sulla massicciata ferroviaria che si suppone di larghezza pari a quella del ponte ad arco adiacente, ossia pari a 4,30 m (larghezza dell'armamento ferroviario e dei muretti paraballast con relativa soletta di ripartizione).

Il carico complessivamente agente lungo 30 metri di muro è:


$$q = Q / A = [4 Q_{vk} + (30 - 1.6 \times 3 - 0.8 \times 2) \times q_{vk}] / (30 \times 4.3) = 2888 \text{ KN} / 129 \text{ m}^2 = 2240 \text{ daN/m}^2$$

Il carico di progetto che si assume per la Condizione 1 strada: variabile da traffico (ferroviario) è:

$$q' = 1.1 \times 2240 = 2464 \text{ daN/m}^2 \text{ ® si assume } q' = 2500 \text{ daN/m}^2$$

Effetti dinamici

Il modello di carico statico agente sulla struttura del ponte deve essere incrementato di un coefficiente amplificativo per tener conto degli effetti dinamici della natura del transito del convoglio ferroviario. L'incremento dinamico è funzione della frequenza propria della struttura e della velocità di percorrenza della linea, oltre che della luce libera delle travi supposte semplicemente appoggiate. Nel caso di ponti ad arco con riempimento, dalla tabella 5.2.II, la lunghezza $L//$ "caratteristica" è pari a 2 volte la lunghezza libera del ponte. Nei casi di ponti ad arco o scatolari,

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 21 | 25 |

con o senza solettone di fondo, aventi copertura “h” maggiore di 1,0 m, il coefficiente dinamico può essere ridotto e per le strutture dotate di una copertura maggiore di 2,50 m può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario. Pertanto rientrando in tale caso si assumerà un valore dell'incremento dinamico:

$$F = 1$$

Forza centrifuga

Si assume non applicata sul muro di sostegno in quanto si considera agente verso l'esterno della curva.

Azioni di avviamento e frenatura

Si assumono non applicate sul muro di sostegno in quanto si considerano agenti longitudinalmente al binario, lungo la direzione del tracciato.

Per le combinazioni sismiche:

Le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio sono state effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni (Cfr. § 2.5.3 form. 2.5.5 delle NTC 2018)


Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali, pesi propri, carichi permanenti e carichi variabili (form. 2.5.7).

Per la sola determinazione degli effetti di tali azioni si farà di regola riferimento alle sole masse corrispondenti ai pesi propri e ai carichi permanenti e al valore quasi permanente delle masse corrispondenti ai carichi da traffico ferroviario assumendo un valore del coefficiente $\Psi_2 = 0,2$.

La struttura è stata progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, con manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado sono state stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado è stata ottenuta con un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali e, ove necessario, mediante l'applicazione di

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 22 | 25 |

sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

9. METODO DI ANALISI

Tipo di analisi e motivazione

L'analisi per le combinazioni delle azioni permanenti e variabili è stata condotta in regime elastico lineare. I metodi di analisi adottati per il calcolo degli effetti dei carichi statici e sismici sono i seguenti: metodo dell'equilibrio limite.

Metodo di risoluzione della struttura

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi discreti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

I vincoli tra i vari elementi strutturali e quelli con il terreno sono stati modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

In particolare, il modello di calcolo ha tenuto conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni su pali come elementi beam su suolo elastico alla Winkler.

I legami costitutivi utilizzati nelle analisi globali finalizzate al calcolo delle sollecitazioni sono del tipo elastico lineare.

Metodo di verifica sezionale

Le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU e SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui al DM 17.01.2018.

Le verifiche degli elementi bidimensionali sono state effettuate direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio. Per le azioni dovute al sisma (ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica), le verifiche sono state effettuate sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale (muro, piastra, palo)

Per le verifiche sezionali degli elementi in c.a. ed acciaio sono stati utilizzati i seguenti legami:

Legame parabola rettangolo per il cls;

Legame elastico perfettamente plastico o incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.

Motivazione delle combinazioni e dei percorsi di carico

Il sottoscritto progettista ha verificato che le combinazioni prese in considerazione per il calcolo sono sufficienti a garantire il soddisfacimento delle prestazioni sia per gli stati limite ultimi che per gli stati limite di esercizio.

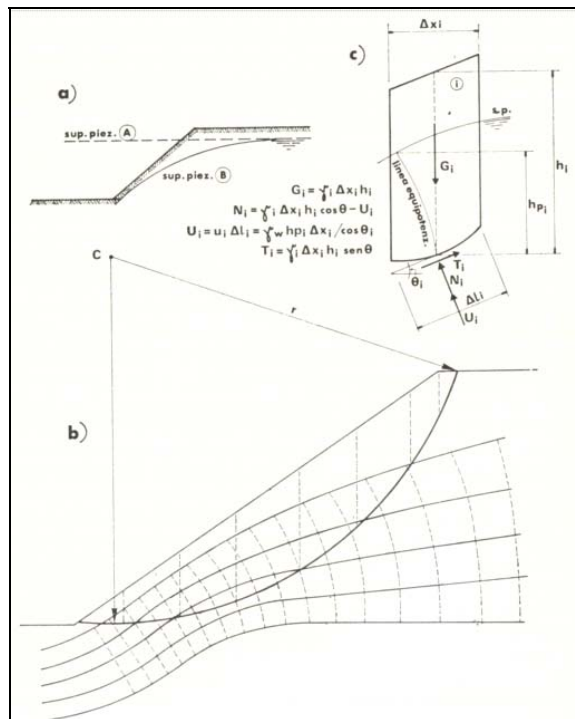
Le combinazioni considerate ai fini del progetto tengono infatti in conto le azioni derivanti dai pesi propri, dai carichi permanenti, dalle azioni variabili, e dalle azioni sismiche combinate utilizzando i coefficienti parziali previsti dal DM 2018 per le prestazioni di SLU ed SLE.


10. STABILITÀ GLOBALE DEL PENDIO

L'analisi di stabilità del pendio consiste nella ricerca della più probabile superficie di scorrimento. La superficie di scorrimento più sfavorevole, ossia quella con il coefficiente di sicurezza minore viene ricercata per tentativi.

Il coefficiente di sicurezza risulta dall'equilibrio dei momenti ribaltanti con quelli stabilizzanti, per cui:

$$\sigma = [rS(c_i + \gamma \text{tg } \phi) D_{li}] / rS \sum D_{li} = (c_i D_{li} + \text{tg } \phi N_i) / S G_i \text{sen } \theta_i$$



| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 24 | 25 |

11. CARATTERISTICHE E AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO

| | |
|--------------|-----------------------|
| Produttore | Aztec Informatica srl |
| Titolo | MAX 15 |
| Versione | Rel. 2019 |
| N.ro Licenza | AIU 3677 TH |

Ragione sociale completa del produttore del software:

AZTEC Informatica s.r.l.

Corso Umberto 43

87050 Casoli del Manco (CS).

Affidabilità dei codici utilizzati

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La Aztec Informatica s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all'indirizzo:

<http://www.aztec.it>

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.


I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

Validazione dei codici

L'opera in esame non è di importanza tale da necessitare un calcolo indipendente eseguito con altro software da altro calcolista.

| | | | | | |
|---|-------------|----------|------|--------|----|
|  Ferrovie Appulo Lucane | Data | Doc. N°. | Rev. | foglio | di |
| | Giugno 2019 | STRU.09 | 00 | 25 | 25 |

12. ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

Al capitolo 10 delle NTC 2018, è specificato che spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati a controlli che ne comprovino l'attendibilità.

A tal fine si sono effettuati controlli per verificare l'attendibilità dei risultati forniti dal software impiegato utilizzando metodi e schemi semplificati.

I controlli, da intendersi sommari, sono stati finalizzati, ad esempio, a verificare le resistenze di progetto dei materiali impiegati, le caratteristiche geometriche delle sezioni, l'equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, le sollecitazioni e le verifiche di alcuni elementi strutturali.

Dopo aver confrontato le elaborazioni sommarie eseguite dal progettista con i risultati forniti dal software si ritiene che questi ultimi possano considerarsi accettabili.