

Regione Piemonte

Comune di Occimiano



**REALIZZAZIONE SISTEMA ARGINALE DEL
TORRENTE ROTALDO PREVISTO DAL P.A.I
NEL COMUNE DI OCCIMIANO (AL)
(I LOTTO)**

COLLABORATORI:

Dr. Ing. S. Moscardini

PROGETTO ESECUTIVO

**STUDIO
TECNICO
ASSOCIATO**

Ing. Sandro Teruggi - Geom. Carlo D. Amabile
Geom. Angelo P. Baldi - Geom. Antonino Buglisi

Via Mameli, 32 - 15033 Casale M. (AL)
Tel. 0142 451515 - Fax 0142 590023
ingsta@tin.it

Rev.	Data	REDAZIONE	APPROVAZIONE	AUTORIZZAZIONE
00	08/15	S. Moscardini	A. Baldi	S. Teruggi

RELAZIONE GEOTECNICA



(Prof. Ing. Sandro Teruggi)

Elab. n.	A.3
Scala	
Data	agosto 2015
File n.	15S06

INDICE

pag.

1. PREMESSA.....	1
2. INQUADRAMENTO LEGISLATIVO.....	2
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	6
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	7
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO	8
5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	8
5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE	9
5.3 IDROLOGIA, IDROGEOLOGIA	9
5.3.1 ACQUE SOTTERRANEE	9
5.3.2 ACQUE SUPERFICIALI.....	10
6. SISMICITÀ DELL'AREA	11
7. COMPATIBILITÀ E FATTIBILITÀ DELL'INTERVENTO	12
8. PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO	13
9. VERIFICHE GEOTECNICHE DI SICUREZZA DELL'ARGINE IN PROGETTO	14
9.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	14
9.2 IL METODO AGLI STATI LIMITE	14
9.3 PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	16
9.4 CARICHI AGENTI SULL'ARGINE	16
9.5 VERIFICA A RIBALTAMENTO.....	18
9.6 VERIFICA A SCORRIMENTO.....	19
9.7 VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE	19
9.8 VERIFICA A SIFONAMENTO	21
10. TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	27
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	29

1. PREMESSA

Lo studio geotecnico sviluppato nelle pagine seguenti si inserisce nell'ambito degli studi condotti per il dimensionamento e la progettazione dell'opera di "Realizzazione sistema arginale del torrente Rotaldo, previsto da P.A.I nel comune di Occimiano". In particolare, è rivolto ad esprimere, ai sensi della normativa vigente in materia, la compatibilità del progetto con l'assetto geologico, dell'area di riferimento.

Visti gli aspetti tipologici dell'intervento in oggetto, l'analisi geotecnica è stata rivolta a descrivere gli aspetti peculiari del modello geomorfologico e idrogeologico di riferimento nonché gli aspetti geotecnico e sismico del sito in attinenza con i risultati di indagini pregresse o, comunque, con dati reperibili in letteratura tecnica riferibili all'area in questione.

2. INQUADRAMENTO LEGISLATIVO

Le principali norme e le raccomandazioni tecniche di settore sono le seguenti:

NORMATIVA NAZIONALE

Circ. LL.PP. n. 3797 del 1967	<i>Istruzioni per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle opere di fondazione.</i> Circolare del 6 novembre 1967, a cura del Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici
DM. LL.PP. 21 gennaio 1981	<i>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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.</i> Pubblicato sul Suppl. Ord. alla G.U. n. 37 del 7 febbraio 1981.
Circ. LL.PP. n. 21597 del 1981	<i>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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.</i> Circolare del 3 giugno 1981, a cura del Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici.
D. Min. LL.PP. 12 dicembre 1985	<i>Norme tecniche relative alle tubazioni</i> Pubblicato sulla G.U. n. 61 del 14 marzo 1986
D.M. LL.PP. 11 marzo 1988	<i>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 e</i>

*il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di
fondazione.*

Pubblicato sul Suppl. Ord. alla G.U. n. 127 del 1 giugno
1988

Circ. LL.PP. n. 30483 del
1988

*Istruzione applicativa – Norme tecniche per terreni e
fondazioni*

Circolare del 24 settembre 1988, a cura del Servizio tecnico
Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici.

D.P.R. n. 380 del 6
giugno 2001

*Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in
materia edilizia*

Pubb. sul Suppl. Ord. alla G.U. n. 245 del 20 ottobre 2001

OPCM n. 3274 del 20
marzo 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.*

OPCM n. 3519 del 28
aprile 2006

*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per
la formazione e aggiornamento delle medesime zone*

OPCM n.3519 del 28
aprile 2006

Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale

Cons. Sup. LL. PP.

*Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione
sismica del territorio nazionale*

Allegato al voto n. 36 del 27 luglio 2007

D.M. del 14 gennaio
2008

Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni

Pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008

Circ. Cons. Sup. LL. PP.
del 2 febbraio 2009

*Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le
Costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

NORMATIVA REGIONALE

- D.G.R. n. 11-13058 del 19 gennaio 2010 *Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)*
Pubblicato sul B.U.R. n. 7 del 19 gennaio 2010
- L.R. n. 3 del 25 marzo 2013 *Modifiche alla legge regionale 5 dicembre 1977, n.56 (Tutela ed uso del suolo) e ad altre disposizioni regionali in materia di urbanistica ed edilizia*
Pubblicata sul B.U.R. n° 13 del 28 marzo 2013
EUROCODICI
- Eurocodice 7.1 (1997) *Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali - UNI*

NORME E RACCOMANDAZIONI TECNICHE DI SETTORE

- CNR 1964 *Peso specifico reale di una terra.*
CNR/UNI 10010.
Peso specifico dei granuli.
CNR/UNI 10013.
- 1971 *Analisi granulometrica di una terra mediante crivelli e setacci.*
B.U., a.V., n. 23.
- 1972 *Peso specifico apparente di una terra in sito.*
B.U., a. VI, n. 22, p. IV.
Campionatura di terre e terreni.
B.U., a. VI, n. 25, p. IV.
Metodo di prova per la misura dell'equivalente in sabbia.
B.U. a. VI, n. 27, p. IV.
Norme sui misti cementati.
B.U., a. VI, n. 29, p. IV.
- AGI 1963 *Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre.*
"Geotecnica", n. 4.

- 1977 *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle
indagini geotecniche.*
"Quaderno", n. 1.
- 1990 *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio.*
- 1993 *Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai
prodotti di costruzione.*
- 1994 *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio.*

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area degli interventi è localizzata a ridosso della sponda idrografica destra del torrente Rotaldo ai margini occidentali del territorio del Comune di Occimiano, dove il tracciato del corso idrico costituisce per un tratto significativo il limite comunale e si addentra nella zona a monte dell'area industriale, nella porzione di territorio compreso tra la strada comunale di Paniate e il tracciato della ex Strada Statale n. 31 "del Monferrato", rilevante arteria stradale che connette i centri urbani tra le città di Casale Monferrato ed Alessandria.

Dal punto di vista cartografico la zona è compresa nel Foglio n° 2 del Catasto Terreni del Comune di Occimiano e nella sezione n° 158100 della Carta Tecnica della Regione Piemonte, indicativamente alle coordinate planimetriche E459370;N4991209 nel sistema di riferimento cartografico UTM/WGS84. (vds. Allegato B.1 Corografia).

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in questione è posizionata in sponda destra nell'area planiziale del torrente Rotaldo. Dall'esame delle peculiarità geomorfologiche e geologiche osservate a media e a grande scala, è possibile desumere come le caratteristiche morfologiche dei settori planiziali in cui ricade l'area oggetto di intervento siano essenzialmente attribuibili all'azione morfogenetica esercitata, nel tempo, dalle acque defluenti lungo l'asta principale del corpo idrico limitrofo e dalle diverse posizioni assunte dall'asta torrentizia in passato. Il settore planiziale ubicato in destra idrografica del Rotaldo è delimitato da una scarpata continua e ben definita, avente altezza mediamente superiore a 3,50 m rispetto alla quota d'alveo; tale settore dell'area in esame risulta morfologicamente rilevato rispetto all'asta del Rotaldo e caratterizzato da modesta inclinazione verso l'asta torrentizia. Le caratteristiche geomorfologiche delle aree in destra idrografica del torrente Rotaldo, così come quelle idrogeologiche, sono quindi essenzialmente attribuibili all'azione morfogenetica delle acque, nel tempo defluenti lungo l'asta principale nonché dai rilievi collinari limitrofi ubicati a sud e ad ovest dell'area di intervento; tali acque, dopo aver esercitato la loro azione erosiva sul substrato, hanno successivamente contribuito alla regolarizzazione superficiale della stessa, depositando i sedimenti alluvionali.

Altro elemento morfologico non trascurabile, deriva dal posizionamento dell'area in questione all'interno di un settore di raccordo pedecollinare a bassa acclività che determina una morfologia sepolta del substrato litologico con analoga acclività da cui deriva un progressivo aumento della potenza dell'orizzonte limoso- sabbioso di origine alluvionale procedendo verso il fondovalle.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO

5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area interessata dalla realizzazione del sistema arginale del torrente Rotaldo è ubicata nel territorio comunale di Occimiano. Tale area è descritta nel Foglio 58 della Carta Geologica d'Italia (Mortara, scala 1:100.000) redatto dal Servizio Geologico d'Italia. La zona è situata su un territorio totalmente pianeggiante posta all'interno del golfo pliocenico di Occimiano al limite della struttura geologica delle colline del Monferrato.

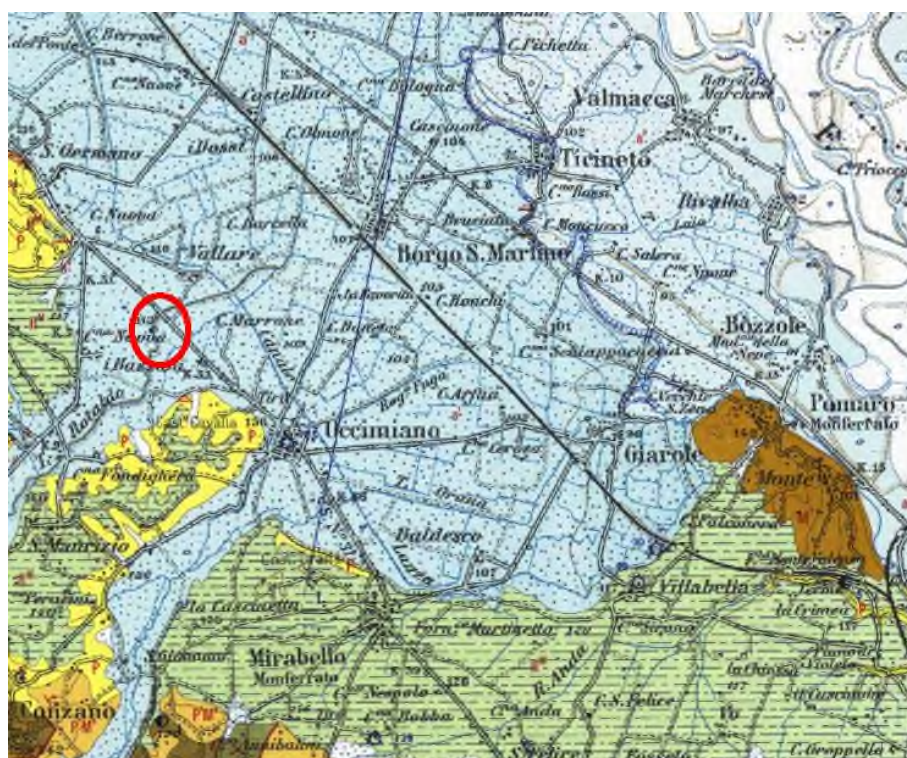


Figura 1 Stralcio della Carta Geologica d'Italia – f. n. 58 "Mortara" – scala 1:100.000



Figura 2 Stralcio della legenda della Carta Geologica d'Italia – f. n. 58 "Mortara"

Nella zona di intervento l'unità geologica affiorante è costituita da terreni olocenici costituenti i depositi alluvionali antichi.

5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In riferimento ai dati disponibili in letteratura tecnica, la caratterizzazione geotecnica di base può essere riassunta come segue.

I terreni in affioramento costituiscono un ammasso fortemente eterogeneo di origine alluvionale con natura prevalentemente ghiaiosa- sabbiosa. In genere la capacità portante di questi materiali è buona per la presenza di strati compatti. Nei terreni olocenici e pleistocenici inferiori non è da escludere la presenza di strati sovra-consolidati di superficie che non possono essere utilizzati come base di appoggio per le fondazioni, se non per costruzioni modeste, in quanto il diverso andamento della consolidazione rispetto allo strato del terreno sottostante, può portare alla rottura della crosta rigida annullandone quindi il contributo alla resistenza totale.

Per quanto concerne i parametri geotecnici caratterizzanti la formazione sulla quale sono previste le opere in progetto, si può far riferimento ai seguenti valori:

- $c' = \text{coesione} = 0$;
- angolo d'attrito = 33° .

E' da porre in evidenza che le caratteristiche della formazione saranno verificati nel dettaglio nelle successive fasi di sviluppo progettuale, per confermare i valori dei parametri visti, al fine di adottare gli apprestamenti di sostegno degli scavi più adatti e di piena sicurezza.

5.3 IDROLOGIA, IDROGEOLOGIA

5.3.1 ACQUE SOTTERRANEE

La morfologia sepolta del substrato, correlabile alle varie fasi evolutive della rete idrografica superficiale, condiziona in maniera determinante le caratteristiche idrogeologiche e le modalità di deflusso sotterraneo della falda superficiale libera.

Il territorio della bassa pianura è caratterizzato dalla ricchezza delle falde profonde in quanto i terreni sono costituiti da sedimenti ghiaioso – sabbiosi generalmente molto permeabili per porosità, entro ai quali si rinviene la falda freatica (o prima falda) a quote piuttosto vicine al piano di campagna a seconda delle zone.

In particolare i primi metri di alluvioni sono caratterizzati, a motivo della granulometria fine, da permeabilità modesta: il restante materasso alluvionale ghiaioso, estremamente permeabile, ha caratteristiche di ottimo acquifero.

In esso è infatti insediata una falda idrica di tipo libero. Le ghiaie e le sabbie ad alta o ad altissima permeabilità, abbondantemente alimentate dai corsi d'acqua superficiali e dall'infiltrazione dell'acqua piovana, costituiscono un'economica e continua fonte di approvvigionamento idrico.

La falda freatica che mediamente è posta a pochissimi metri dal piano di campagna è soggetta ad oscillazioni di livello e risente delle variazioni di portata dei corsi d'acqua e, ovviamente, delle precipitazioni.

La falda superficiale relativa all'area in questione, si trova probabilmente in prossimità di una zona di ricarica, localizzata nella zona collinare ad ovest del centro abitato di Occimiano. La direzione segue quasi ovunque quella del reticolo naturale di superficie che effettua la funzione di dreno nei periodi di asciutta delle risaie (da settembre a marzo).

5.3.2 ACQUE SUPERFICIALI

In prossimità dell'area interessata dall'intervento, scorre il Torrente Rotaldo.

Il suo bacino idrografico raccoglie le acque del versante orientale delle colline del Monferrato e, attraverso la pianura a sud della città di Casale, le versa nel Po presso Valmacca. La superficie totale del bacino misura 156 Km² di cui 80 nella zona collinare e 76 nella zona di pianura. L'Ufficio Idrografico, Sezione di Torino, ha valutato in circa 2 mc/s per Km² il valore del contributo unitario di piena per la zona collinare ed in 0,5 mc/s per Km² per la zona pianeggiante, ricavandone una portata massima di piena pari a 200 mc/s. Le acque di piena del corso d'acqua determinano spesso l'allagamento di cascinali, fabbricati produttivi, strade e di una vasta superficie di terreni agricoli.

Nei pressi della zona si segnala inoltre la presenza di un canale demaniale e vari colatori e canalette per l'irrigazione dei fondi agricoli e la raccolta delle acque piovane.

Dal punto di vista della dinamica fluviale recente, a seguito degli studi idraulici effettuati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po¹, l'area interessata dall'intervento in questione è stata inserita all'interno della Fasce B (di esondazione), B (di progetto) e C, del Piano Stralcio delle Fasce Rete idrografica Minore. Inoltre, il citato studio contrassegna le aree limitrofe come aree inondabili per eventi delle piene di riferimento in assenza dell'intervento di realizzazione in oggetto.

¹ AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO – *Progetto di integrazione del piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rete idrografica minore naturale di pianura – Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi – Bacino del torrente Rotaldo*, ottobre 2005

6. SISMICITÀ DELL'AREA

Con l'Ordinanza 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", vengono individuate 4 zone a pericolosità decrescente (Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4), classificazione che interessa tutto il territorio nazionale, nonché la nuova normativa tecnica per la progettazione strutturale delle costruzioni.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale della Regione Piemonte n. 4-3084 del 12.12.2011 è stato approvato l'aggiornamento e l'adeguamento delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico – edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico ed è stata recepita la classificazione sismica di cui alla D.G.R. n. 11-13058 del 19.01.2010.

In allegato alla Deliberazione viene riportato l'elenco dei Comuni piemontesi, classificati in zona 3S e 3, che interessano le province d'Alessandria, Cuneo, Torino e Verbania.

I restanti comuni, tra i quali il **Comune di Occimiano**, sono classificati in **Zona 4, a bassa sismicità**: nella Zona 4 non viene introdotto l'obbligo della progettazione antisismica, tranne che per interventi che interessano alcune tipologie di edifici strategici, come individuati dall'allegato B della DGR n. 64-11402 del 23/12/2003 e per gli edifici di competenza statale indicati dal DPCM del 21/10/2003.

7. COMPATIBILITÀ E FATTIBILITÀ DELL'INTERVENTO

Lo studio esposto nelle pagine precedenti valuta la compatibilità di un intervento rivolto alla realizzazione del sistema arginale del torrente Rotaldo, previsto dal PAI nel Comune di Occimiano, con l'assetto geologico e geotecnico del sito.

Dal punto di vista geomorfologico, è da considerare che l'area si trova all'interno del settore planiziale del torrente Rotaldo ed all'interno della Fascia B del del PAI; a tal fine, con la realizzazione dell'intervento in progetto, si darà piena attuazione alle indicazioni del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, edificando le nuove opere di contenimento dei livelli idrici delle piene del torrente Rotaldo, a protezione dei fabbricati produttivi della zona industriale attrezzata di Occimiano e relative pertinenze, ricadenti all'interno delle aree potenzialmente interessate dalle esondazioni del corpo idrico.

Dal punto di vista della caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni si segnala la presenza di un orizzonte superficiale costituito da una litologia di natura prevalentemente ghiaiosa- sabbiosa di origine alluvionale caratterizzata da buona resistenza geomeccanica per la presenza di strati compatti.

Il sito di riferimento, infine, è inserito nella zona 4 di pericolosità sismica ai sensi della OPCM 3274/03

8. PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

Stabilità degli scavi

La natura litologica delle aree interessate dai lavori congiuntamente alla modesta profondità sotto il piano campagna degli scavi previsti (la profondità di realizzazione del setto in argilla è dell'ordine di 1 m di profondità al di sotto del piano campagna), escludono in generale significativi problemi di stabilità degli scavi previsti per la realizzazione degli interventi in progetto.

Sulla base della documentazione relativa agli studi di carattere geologico e geotecnico consultati, le aree interessate dagli interventi non sono coinvolte da fenomeni di dissesto di tipo gravitativo o conseguente alle dinamiche dei corsi d'acqua, tuttavia si indicano i seguenti aspetti prescrittivi:

- rispetto delle prescrizioni di cui al D.M. 14/01/2008;
- in assenza di opere provvisorie l'altezza degli scavi non dovrà tassativamente superare il valore di 1,5 metri;
- rispetto di tutte le norme di carattere geologico, geotecnico e idrogeologico contenute nella L.R. urbanistica 56/77 e sue successive modifiche e integrazioni, al fine di garantire la sicurezza delle opere infrastrutturali e dei contesti territoriali nei quali esse verranno inserite.

9. VERIFICHE GEOTECNICHE DI SICUREZZA DELL'ARGINE IN PROGETTO

Il presente paragrafo illustra i calcoli condotti al fine di verificare, sotto l'aspetto geotecnico, l'argine in progetto.

Nel seguito, verranno riportate le verifiche di sicurezza allo stato limite ultimo previste dalla normativa vigente, ovvero:

- verifica a ribaltamento;
- verifica a scorrimento;
- verifica della capacità portante del terreno di fondazione;

oltre alla verifica a sifonamento.

Le verifiche saranno eseguite nella sezione più gravosa ai fini della verifica, che risulta essere la n.50.

Si indicheranno, inoltre, le disposizioni normative a cui si è fatto riferimento per le verifiche, nonché i parametri geotecnici adottati per il terreno.

9.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I paragrafi successivi sono stati redatti nel rispetto delle prescrizioni contenute nella normativa vigente:

- **D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni";**
- **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni".**

9.2 IL METODO AGLI STATI LIMITE

Secondo le NTC 2008, nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. La resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici dai valori caratteristici R_k ed F_k .

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnica:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione:

$$E_d = \gamma_E E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \gamma_E$. Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sul sistema.

La verifica della suddetta condizione 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.

Per quanto riguarda le opere di materiali sciolti, in cui sono compresi gli argini di difesa, le verifiche di sicurezza devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 (vds par. 6.8.2 NTC 2008):

- **Combinazione 2: (A2+M2+R2)**

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC.

Per quanto riguarda i **coefficienti di sicurezza parziali per le azioni** (tab. 6.2.I) si ha:

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

Per quanto riguarda i **coefficienti di sicurezza parziali per i parametri geotecnici del terreno** (tab. 6.2.II) si ha:

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE	Coefficiente parziale γ_M	(M2)
Tangente dell'angolo di resist. al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0

Infine, i **coefficienti di sicurezza parziali per le resistenze** (tab. 6.8.I) valgono:

COEFFICIENTE	(M2)
γ_R	1,1

9.3 PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

Si riportano di seguito i parametri geotecnici del deposito:

peso di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
coesione	$c' = 0$
angolo di attrito	$\varphi = 33^\circ$
modulo elastico	$E = 15 \text{ Mpa}$

Ai fini delle verifiche a tali valori verranno applicati i **coefficienti di sicurezza parziali per i parametri geotecnici del terreno** come esposto al paragrafo precedente.

9.4 CARICHI AGENTI SULL'ARGINE

I carichi agenti sull'argine sono dati da:

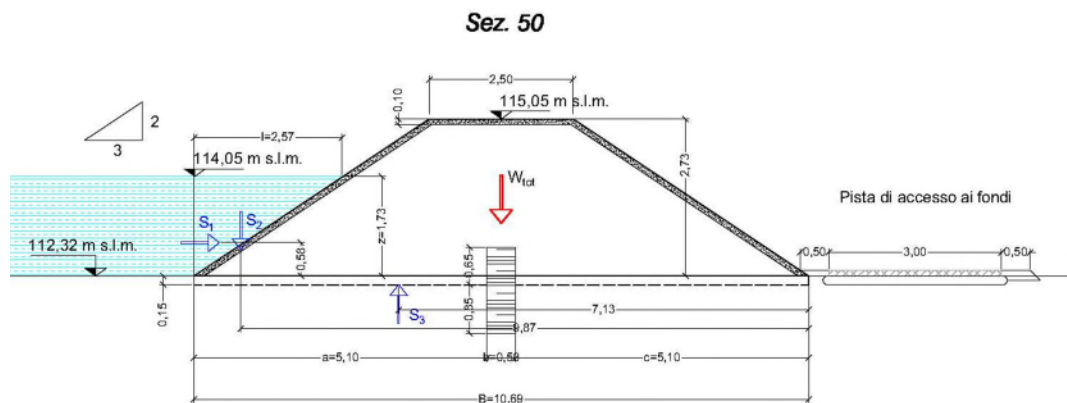


Figura 9.4_1 - Carichi agenti sull'argine in progetto

peso proprio argine W_{TOT}

$$W_{TOT} = A_{TOT} \cdot \gamma = 18,00 m^2 \cdot 20 \frac{kN}{m^3} = 360,00 kN$$

spinta idrostatica S_1

$$S_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{kN}{m^3} \cdot 1,73^2 = 14,96 kN$$

peso dell'acqua sul rilevato arginale S_2

$$S_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{kN}{m^3} \cdot 1,73 \cdot 2,57 = 22,23 kN$$

sottospinta S_3

$$S_3 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z \cdot (a + b + c) = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{kN}{m^3} \cdot 1,73 \cdot (5,10 + 0,5 + 5,10) = 92,56 kN$$

Ai fini delle verifiche a tali valori verranno applicati i coefficienti di sicurezza parziali per le azioni come esposto al paragrafo 9.2.

9.5 VERIFICA A RIBALTAMENTO

La verifica a ribaltamento è una verifica a S.L.U. di equilibrio di corpo rigido pertanto coefficienti parziali utilizzati sono quelli di tipo EQU. Tale verifica avviene confrontando:

- $E_d = M_R$ = momento ribaltante;
- $R_d = M_S$ = momento stabilizzante.

Ai fini della verifica dovrà essere soddisfatta la relazione:

$$M_S \geq M_R$$

Per l'argine di difesa in progetto il momento ribaltante è dato dalle forze S_1 ed S_3 – entrambe variabili sfavorevoli- per i loro bracci:

$$M_R = S_{1,d} \cdot b_1 + S_{3,d} \cdot b_3$$

dove:

$$S_{1,d} = \gamma_{Q1} \cdot S_1 = 1,5 \cdot 14,96 kN = 22,44 kN ;$$

$$S_{3,d} = \gamma_{Q1} \cdot S_3 = 1,5 \cdot 92,56 kN = 138,84 kN ;$$

$$b_1 = 0,58 \text{ m};$$

$$b_3 = 7,13 \text{ m}.$$

Il momento ribaltante pertanto risulta pari a **1002,94 kNm**.

Il momento stabilizzante, invece, è dato da:

$$M_S = W_{tot,d} \cdot b_w + S_{2,d} \cdot b_2$$

dove:

$$W_{tot,d} = \gamma_{G1} \cdot W_{tot} = 0,9 \cdot 360,00 kN = 324,00 kN ;$$

$$S_{2,d} = \gamma_{Q2} \cdot S_2 = 0,0 \cdot 22,23 kN = 0$$

$$b_w = 5,35 \text{ m};$$

$$b_2 = 9,83 \text{ m}.$$

Trattandosi di un carico variabile con effetto favorevole, il contributo del peso dell'acqua S_2 non incide sul momento stabilizzante, pertanto, **$M_S = 1733,40 kNm$** .

La verifica a ribaltamento è soddisfatta ($M_S \geq M_R$).

9.6 VERIFICA A SCORRIMENTO

Per quanto riguarda la verifica a scorrimento l'azione sollecitante è data dalla sola spinta idraulica S_1 (variabile sfavorevole):

$$E_d = S_{1,d} = \gamma_{Q1} \cdot S_1 = 1,3 \cdot 14,96 kN = 19,45 kN$$

Mentre l'azione resistente è data dalle componenti:

- peso proprio argine --> permanente favorevole
- peso dell'acqua sull'argine --> variabile favorevole
- sottospinta --> variabile sfavorevole

Pertanto, si ha:

$$R_d = \frac{V_{TOT,d} \cdot (\tan \varphi' / \gamma_M)}{\gamma_R} = \frac{239,67 \cdot (\tan 33^\circ / 1,25)}{1,1} = 99,42 kN$$

dove:

$$\begin{aligned} V_{TOT,d} &= W_{tot,d} + S_{2,d} - S_{3,d} = \gamma_{G1} \cdot W_{tot,d} + \gamma_{Q2} \cdot S_{2,d} - \gamma_{Q1} \cdot S_{3,d} = \\ &= 1,0 \cdot 360 + 0,0 \cdot 22,23 - 1,3 \cdot 92,56 = 239,67 kN \end{aligned}$$

La verifica a scorrimento risulta soddisfatta ($R_d \geq E_d$).

9.7 VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Per quanto riguarda la verifica della capacità portante l'azione sollecitante è data dalle componenti:

- peso proprio argine --> permanente sfavorevole
- peso dell'acqua sull'argine --> variabile sfavorevole
- sottospinta --> variabile favorevole

Pertanto si ha:

$$\begin{aligned} E_d &= V_{tot,d} = W_{tot,d} + S_{2,d} - S_{3,d} = \gamma_{G1} \cdot W_{tot,d} + \gamma_{Q2} \cdot S_{2,d} - \gamma_{Q1} \cdot S_{3,d} = \\ &= 1,0 \cdot 360,00 + 1,3 \cdot 22,23 - 0,0 \cdot 92,56 = 388,90 kN \end{aligned}$$

La capacità portante del terreno su cui si realizza l'argine viene determinata attraverso la relazione di Brinch- Hansen:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' BN_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} + c' N_c s_c i_c b_c g_c d_c + q' N_q s_q i_q b_q g_q d_q$$

Trattandosi di un terreno non coesivo ($c'=0$) e data l'assenza di un carico q' la relazione risulta così semplificata:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' BN_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma}$$

Inoltre, i coefficienti di forma (s_{γ}), piano campagna inclinato (g_{γ}), fondazione inclinata (b_{γ}) non sono necessari, pertanto la formula si semplifica ulteriormente diventando:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' BN_{\gamma} i_{\gamma}$$

dove:

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

B base dell'argine (10,69 m)

N_{γ} coefficiente di capacità portante pari a 35,19 per $\phi' = 33^\circ$ (Vesic);

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{H}{N}\right)^3 = \left(1 - \frac{14,96}{360,00}\right)^3 = 0,88$$

Pertanto, la capacità portante vale 1655,20 kPa, si ha quindi:

$$r_d = \frac{q_{lim}}{\gamma_R} = \frac{1655,20 \text{ kPa}}{1,1} = 1504,72 \text{ kPa}$$

L'azione sollecitante risulta data da:

$$e_d = \frac{E_d}{B} = \frac{V_{tot,d}}{B} = \frac{388,90 \text{ kN}}{10,69 \text{ m}} = 36,38 \text{ kPa}$$

La verifica a capacità portante risulta ampiamente soddisfatta.

9.8 VERIFICA A SIFONAMENTO

La verifica al sifonamento deve garantire che il terreno soggetto alle forze di filtrazione sia stabile e che quindi non si verifichi, in occasione di piene significative, la formazione di fontanazzi che possono portare anche al collasso dei rilevati arginali.

La verifica al sifonamento è effettuata mediante la regola di Lane, che risulta uno tra i metodi più noti in letteratura e di maggior impiego.

Secondo la formulazione di Lane il fattore di sicurezza al sifonamento C risulta dato dalla seguente relazione:

$$C = \left(V + \frac{1}{3} H \right) / h$$

con:

V = proiezione verticale del più breve percorso di filtrazione dell'acqua per passare dal corso idrico alla campagna [m];

H = proiezione orizzontale del più breve percorso di filtrazione dell'acqua per passare dal corso idrico alla campagna [m];

h = dislivello tra pelo libero e piano campagna [m].

Affinché la verifica risulti soddisfatta, il coefficiente di sicurezza deve essere uguale o maggiore di determinati valori che dipendono dalla natura del terreno. Tali valori sono riportati nella seguente tabella:

Tipo di terreno	C	Tipo di terreno	C
sabbia molto fine o limo	8,5	ghiaia media	3,5
sabbia fine	7	ghiaia grossa	3
sabbia media	6	argilla soffice	3
sabbia grossa	5	argilla media	2
ghiaia fine	4	argilla dura	1,8

Nel caso in esame, lo strato di terreno interessato dalla filtrazione è di natura argillosa quindi il coefficiente C è pari a 3.

Per garantire la piena sicurezza delle difese arginali dal pericolo di possibili fenomeni di sifonamento, è stato necessario prevedere la realizzazione di opportuni setti in corrispondenza della mezzera dell'argine nei tratti **in cui l'emergenza dei rilevati è > di 1,5 m.**

I setti saranno realizzati in argilla (compattata ad avere un coefficiente di permeabilità $K \leq 10^{-7}$ cm/s) posata in strati di 25 cm di altezza e compattati fino ad ottenere un valore minimo di compattazione pari all'90% della compattazione Proctor (da certificare con le prove necessarie in sito ed in laboratorio), avranno una profondità al di sotto del piano di scotico di 0,85 m, un'altezza sopra il piano di scotico di 0,65 m e una larghezza di 0,5 m (vds elaborati C.1.1. "Profilo longitudinale arginatura e relative sezioni costruttive TAV 1"). Il corpo dell'arginatura sarà realizzato (ai sensi dell'art 73 del Capitolato speciale d'appalto):

- con materiale limoso/sabbioso/ghiaioso proveniente essenzialmente dagli scavi di progetto e dal cumulo di terreno esistente in prossimità dell'impianto;
- e in argilla da cava (percentuale di argilla pari al 50%).

Applicando il metodo di Lane alla difesa arginale in corrispondenza della sezione 50, che appare la più sollecitata rispetto al sifonamento – in quanto in questa sezione il piano campagna si trova alla quota più depressa rispetto ai tiranti duecentennali) e si ha:

- $V = 1 + 1 = 2$ m;
- $H = 10,69$ m;
- $h = 1,73$ m;

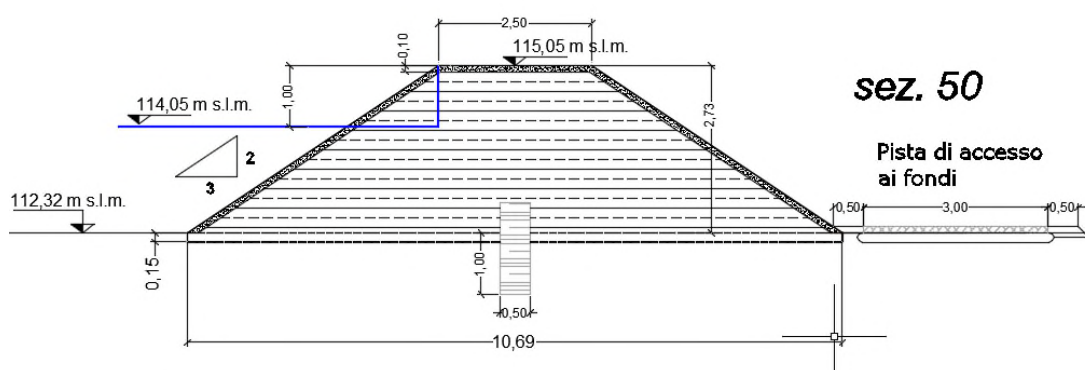


Figura 9.8_1 – Sezione 50

da cui:

$$C = \left(V + \frac{1}{3} H \right) / h = 3,3 > 3$$

Risulta pertanto un valore di C (secondo il metodo di Lane) maggiore del valore in grado di garantire le condizioni di sicurezza nei confronti del pericolo di sifonamento.

Applicando il metodo di Lane alla difesa arginale in corrispondenza della sezione 30 (caso senza setto - vds seguente figura 2), che ha una emergenza sul piano campagna di 1,5 m, si ha:

- $V = 0$ m;
- $H = 7$ m;
- $h = 0,5$ m;

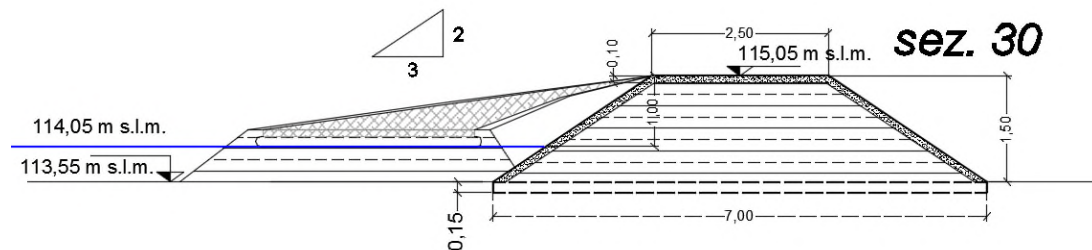


Figura 9.8_2 - Sezione 30

da cui:

$$C = \left(V + \frac{1}{3} H \right) / h = 4,66 > 3$$

Risulta pertanto anche in questo caso (tipologia senza setto) un valore di C (secondo il metodo di Lane) maggiore del valore in grado di garantire le condizioni di sicurezza nei confronti del pericolo di sifonamento.

Per quanto concerne le verifiche al sifonamento nei punti di giunzione delle tipologie costruttive adottate si considerano nel seguito le sezioni 73 e 84 che rappresentano rispettivamente le sezioni più sollecitate rispetto al sifonamento rispettivamente:

- nei punti di giunzione **argine con pista alzaia sommitale – muro di difesa su platea**;
- nei punti di giunzione **argine con pista alzaia sommitale – muro di difesa su platea e protezione spondale**;

Applicando il metodo di Lane alla difesa arginale in corrispondenza della sezione 73 (caso punti di giunzione **argine con pista alzaia sommitale – muro di difesa su platea** - vds seguente figura 3), si ha:

- $V = 0,3 + 0,3 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$;
- $H = 5,51 \text{ m}$;
- $h = 0,54 \text{ m}$;

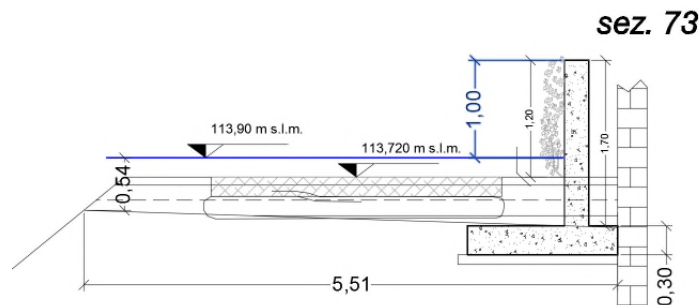


Figura 9.8_3 – Sezione 73

$$C = \left(V + \frac{1}{3} H \right) / h = 4,51 > 3$$

Risulta pertanto anche in questo caso (tipologia senza setto) un valore di C (secondo il metodo di Lane) maggiore del valore in grado di garantire le condizioni di sicurezza nei confronti del pericolo di sifonamento.

Applicando il metodo di Lane alla difesa arginale in corrispondenza della sezione 83 bis (caso punti di giunzione **argine con pista alzaia sommitale – muro di difesa su platea e protezione spondale** - vds seguente figura 4), si ha:

- $V = 0,8 + 0,3 \text{ m} = 1,1 \text{ m}$;
- $H = 8,9 \text{ m}$;
- $h = 0,90 \text{ m}$;

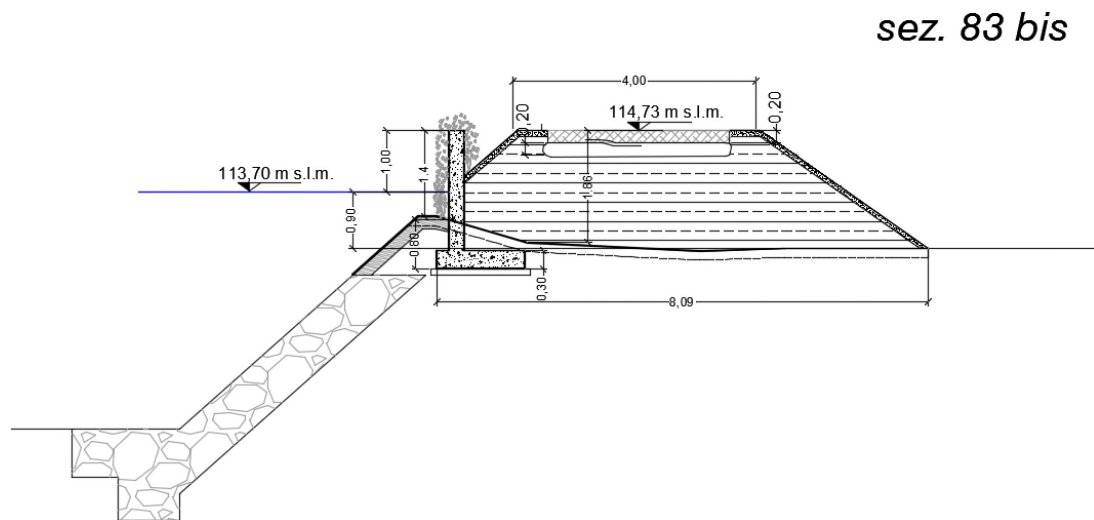


Figura 9.8_4 – Sezione 83 bis

da cui:

$$C = \left(V + \frac{1}{3} H \right) / h = 4,51 > 3$$

Risulta pertanto anche in questo caso (tipologia senza setto) un valore di C (secondo il metodo di Lane) maggiore del valore in grado di garantire le condizioni di sicurezza nei confronti del pericolo di sifonamento.

10. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Ai sensi del D.Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006, del D.M. 161 del 10 agosto 2012 e della Legge 9 agosto 2013, n. 98, si evidenzia che:

- 1) è possibile riutilizzare *"...il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale scavato nel corso dell'attività di costruzione, ove sia certo che il materiale sarà utilizzato a fini di costruzione allo stato naturale nello stesso sito in cui è stato scavato..."* (art. 185 D.Lgs.152/2006);
- 2) per il riutilizzo (non in cantiere) del materiale da scavo (come sottoprodotto secondo il regime di cui all'articolo 184-bis del D.Lgs.152/2006 e s.m.i.) si devono rispettare le disposizioni di cui all'art. 41-bis della Legge 9 agosto 2013, n. 98 (tra le quali è compreso l'accertamento della non contaminazione ai sensi della tabella 1 dell'allegato 5 della Parte IV del D.Lgs.152/2006);
- 3) il proponente o il produttore deve attestare il rispetto delle condizioni per il riutilizzo di cui al di cui all'art. 41-bis della Legge 9 agosto 2013 tramite dichiarazione resa all'Agenzia regionale per la protezione ambientale.

Il presente progetto prevede un parziale riutilizzo in sito del materiale scavato ed il conferimento a discarica o ad impianto di recupero del restante. Nel dettaglio:

- sono previsti circa 3.040 mc di scavo per il complesso degli interventi in progetto: 1.380 mc circa di scotico e 1.660 mc circa di scavi a sezione obbligata (scavi per setto in argilla, realizzazione fondazioni muri di difesa e realizzazione scogliera);
- dei 3.040 mc circa di scavo è previsto il riuso di circa 1.340 mc, di cui circa 430 mc per il riutilizzo relativo alla formazione del corpo dei rilevati arginali in terra, 740 mc per la formazione degli strati di rivestimento in terra fertile dei nuovi rilevati e 600 mc circa per le operazioni di rinterro delle opere di fondazione;
- sono previsti circa 1.700 mc di conferimento a discarica o ad impianto di recupero per il complesso degli interventi in progetto;
- l'accertamento della non contaminazione del materiale di rinterro è effettuata da un'indagine ambientale per la definizione le caratteristiche del terreno (caratterizzazione ai sensi delle colonne A e B della tabella 1 dell'allegato 5 della parte IV del D.Lgs n.152 del 2006 e s.m.i.);

- il progetto prevede nei lavori gli oneri per le analisi ambientali sul materiale di rinterro e su quello da smaltire (caratterizzazione al fine dello smaltimento in discarica secondo il D.M. 03/08/05 o test di cessione, secondo 05/04/2006 n. 186 e s.m.i. per il conferimento ad impianto riutilizzo);
- l'impresa durante i lavori dovrà consegnare i formulari d'identificazione dell'avvenuto smaltimento a norma, per il materiale allontanato dal cantiere.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO – *Progetto di integrazione del piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rete idrografica minore naturale di pianura – Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi – Bacino del torrente Rotaldo*, ottobre 2005