



**REGIONE
LAZIO**

**DIREZIONE REGIONALE INFRASTRUTTURE,
AMBIENTE E POLITICHE ABITATIVE**

**LAVORI DI RIPRISTINO DELL'OFFICIOSITA' DEL FOSSO DI
PRATOLUNGO COMPRESA LA M.S. DELL'ALVEO E LA COSTITUZIONE
DI OPPORTUNE OPERE DI ACCUMULO E
LAMINAZIONE DELLE PIENE - II LOTTO**

**PROGETTO ESECUTIVO
PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA**

DIGA DI PRATOLUNGO

Relazione sulle terre e piano di gestione dei materiali

IMPRESA DI COSTRUZIONE:
ATI:

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Dario Maturro



(capogruppo)



(mandante)

PROGETTISTI:

DIREZIONE DEI LAVORI
Ing. Severino Marasco



(mandataria)
Prof. Ing. Marco Petrangeli
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì



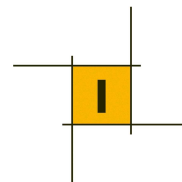
(mandante)
Ing. Luciano Landolfi
Ing. Roberto De Gennaro
Ing. Antonio Petti

STUDI GEOLOGICI:

Ing. Geol. Massimo Pietrantonì

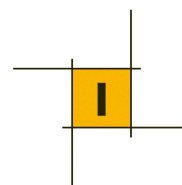
CODICE ELABORATO	RIFERIMENTO ELABORATO		SCALA
	File name:		
	R	IN 122RA - RE 102 - R 1	RIN122RA-RE102-R1
			-

rev	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Visto committente	Descrizione
0	11/2013	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Istruttoria Direzione Generale Dighe
1	08/07/2015	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Ottemperanza prescrizioni. Consegna definitiva
2						



INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN TERRA	4
2.1	La diga in terra	4
2.1.1	Geometria.....	4
2.1.2	Caratteristiche dei materiali di progetto	5
3	LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PROVENIENTI DAGLI SCAVI	7
3.1	Premessa	7
3.2	Le terre di scavo della diga in terra	8
4	LE SOLUZIONI DEL PROGETTO ESECUTIVO	10
4.1	La diga in terra	10
4.1.1	Materiali tipo A.....	10
4.1.2	Materiali tipo B	13
4.1.3	Dreni e filtri.....	14
4.2	Altri materiali	15
5	PIANO DI GESTIONE DELLE TERRE	16
5.1	Premesse	16
5.2	Il calcolo dei volumi di scavo.....	18



1 PREMESSA

La presente Relazione fa parte degli elaborati che costituiscono il progetto esecutivo degli interventi di protezione idraulica del fosso di Pratolungo.

L'intervento prevede la realizzazione di una **vasca di laminazione in linea** tramite uno sbarramento in terra sul Fosso di Pratolungo.

Come più ampiamente descritto nella relazione illustrativa, il progetto prevede le seguenti parti di opere:

1) una diga di terra sul fosso di Pratolungo con annessa

2) opera di regolazione in calcestruzzo.¹

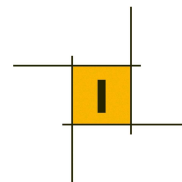
Il dimensionamento delle suddette parti di opere è riportato nelle relazioni di calcolo allegate al progetto.

Poiché gran parte del progetto è rappresentata da opere in terra che prevedono movimentazioni complessive (tra scavi e rilevati) per circa 100.000 metri cubi di materiali, in considerazione degli aspetti tecnici, economici e ambientali che tali lavorazioni comportano, è risultato necessario approfondire questi argomenti sia in termini di indagini conoscitive sui terreni, sia di definizione delle caratteristiche dei materiali e delle tecnologie da impiegare.

In questa relazione saranno quindi esplicitati gli aspetti relativi alle caratteristiche delle terre da costruzione della diga in terra, con la descrizione dei criteri seguiti per ottimizzare il bilancio delle materie.

Si rimanda agli altri elaborati progettuali per la trattazione degli argomenti generali e specialistici che si danno per noti in questa sede.

¹ L'argine in terra a protezione degli edifici storici sul fosso del Fornaccio, previsto nel progetto definitivo, è stato stralciato dal progetto a seguito della prescrizione del Comitato tecnico regionale.



2 CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN TERRA

2.1 La diga in terra

2.1.1 Geometria

La **diga in terra** ha una lunghezza di 400 m con quota di coronamento a 33,00 m s.l.m (strada di servizio a 32.85 con arginello laterale di altezza 15cm).

Il paramento di monte ha una pendenza $h/b=1/2$ ed è protetto da materassi Reno, modificati in fase di gara con la tipologia rinverdita. Sempre come variante migliorativa è stato aggiunto un taglio in gabbione per l'ammorsamento dei materassi sul terreno naturale.

Il **nucleo di tenuta** in terre limo-argillose è stato mantenuto decentrato e ruotato a ridosso del paramento di monte, come nella soluzione del progetto definitivo. Sopra il terreno da nucleo verrà posato un manto impermeabile in HDPE, protetto da uno strato di sabbia interposto tra il manto stesso e i materassi.

Una piccola modifica è stata introdotta alla parte sommitale del **coronamento**, dove verrà realizzata la strada di servizio. Si è cercato di evitare di appoggiare il sottofondo della strada su un terreno disomogeneo (cioè in parte su terreni a grana fine e in parte su terreni grossolani del contronucleo), con il rischio di fessurazione per il diverso comportamento degli stessi. È stato quindi introdotto uno strato dello spessore 50cm da realizzare con materiale limo-argilloso stabilizzato a calce, in modo da garantire sia la tenuta idraulica sia la sufficiente rigidità per il sottofondo stradale. Lungo la strada di servizio saranno posati due cavidotti per il cablaggio della strumentazione e il passaggio di cavi elettrici ed eventuali futuri sottoservizi (miglioria introdotta in sede di gara).

Il **paramento di valle** ha una pendenza $h/b = 2/3$, con una banca orizzontale a quota 28 (di larghezza 3m). La porzione di paramento a quote maggiori della banca orizzontale è ricoperta da uno strato di terreno vegetale. Al miglioramento della soluzione di gara è stata prevista una idrosemina con matrice di fibre legate, che garantisce un rapido e completo attecchimento del manto erboso.

La parte inferiore del paramento, cioè dalla banca orizzontale a q. 28 fino al piede, è invece protetta da un materasso di pietrame a difesa dei rigurgiti provocati dallo sfioro per piene superiori alla centennale e fino alla millenaria (portata per la quale è stato dimensionato lo sfioratore). Il materasso di protezione del paramento di valle si collega al fosso di guardia (anch'esso protetto da materassi) che corre al piede della diga.

È stata inoltre confermata l'**unghia di pietrame** al piede di valle della diga, che ha la funzione di drenaggio dell'acqua all'interno del rilevato e di allontanamento controllato delle acque di infiltrazione e zenitali. In fase di progetto esecutivo è stato aggiunto un tubo filtrante al piede di valle dell'unghia drenante per migliorare la raccolta e l'evacuazione delle acque. Questo tubo recapita in una serie di pozzetti di ispezione.

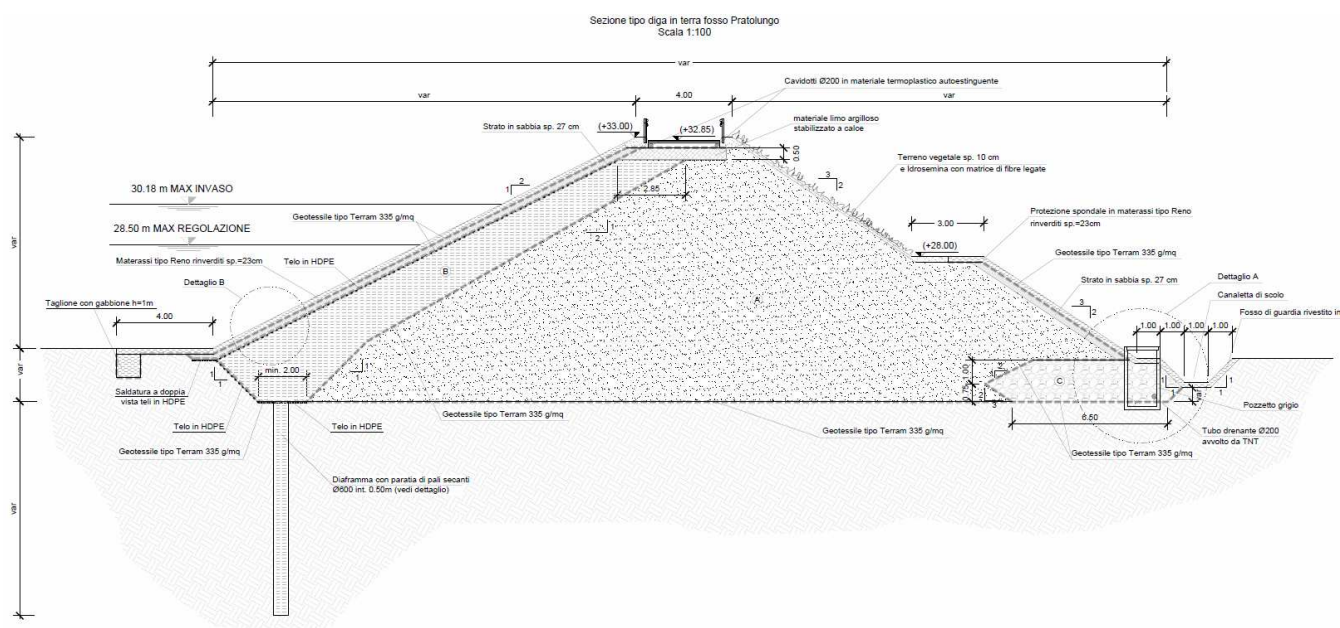


Fig. 1 – Sezione tipo della diga in terra

2.1.2 Caratteristiche dei materiali di progetto

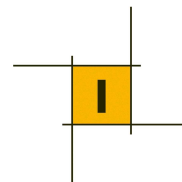
Il Capitolato prevede di impiegare, per la parte di diga definita tipo “A” (**contronucleo**), i terreni appartenenti ai gruppi A1, A3, A2-4, A2-5, ai quali devono corrispondere (secondo le previsioni progettuali) un coefficiente di permeabilità $K = 1 \text{ E-}06 \text{ m/s}$ e una resistenza di tipo prevalentemente attritivo, ma anche con una piccola componente coesiva ($c' = 5 \text{ kPa}$, $\phi = 35^\circ$). Le caratteristiche di resistenza indicate sono da ritenere congruenti con il tipo di materiale previsto.

Nel progetto definitivo non vengono riportate ulteriori specifiche, a parte i requisiti da raggiungere in termini di grado di compattazione, oltre ai vari controlli da eseguire in fase esecutiva, illustrati nel Capitolato speciale d’Appalto.

Come è noto, i citati materiali previsti per la costruzione della diga sono terreni granulari di qualità, che raramente possono provenire da scavi generici (a parte casi particolari e/o con eventuale selezione per l’eliminazione di frazioni fini e/o con correzioni con materiale esterno). Più frequentemente si tratta di materiale proveniente da cava, selezionato e controllato in cava prima della fornitura. Relativamente meno stringenti sono le caratteristiche dei materiali A2-4 e A2-5, per i quali è ammesso che la frazione fine (comunque sempre in percentuali inferiori al 35%) possa essere leggermente plastico ($IP \leq 10\%$).

Nella Relazione Generale del Progetto Definitivo era stata prevista una soluzione che limitasse al minimo il ricorso a cave di materiale naturale, il trasporto e lo smaltimento in discarica del terreno scavato. Per tali motivi era stato previsto il reimpiego dei materiali prodotti dagli scavi e dalle bonifiche.

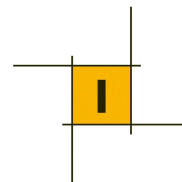
In particolare, nel **Piano di gestione delle terre** (par. 4.3.2 della Relazione Generale del progetto definitivo) si prevedeva un volume di scavo di 87.661 mc. Di questo era stato previsto di reimpiegarne complessivamente 83.112 mc (circa il 95%) e di conferire a discarica i restanti 2.901 mc.



Dal bilancio delle terre del progetto definitivo risultava comunque un fabbisogno di 25.800 mc di materiale da cava che, miscelato con quello proveniente dagli scavi, sarebbe andato a costituire il corpo della diga in terra. Ulteriori 1.850 mc di materiale da cava erano stati previsti per la costruzione delle strade, per un totale di fabbisogno di materiale da cava di 27.650 mc.

Per i materiali della diga definiti "B", cioè appartenenti al **nucleo** impermeabile, il progetto definitivo prevedeva l'impiego di materiali appartenenti alle classi A2-6 e A2-7, per i quali era stata prevista la fornitura da cava.

Per tutti i restanti materiali (pietrame per gabbioni e materassi, dreni granulari e filtri in sabbia) è prevista la fornitura da cava.



3 LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PROVENIENTI DAGLI SCAVI

3.1 Premessa

In considerazione dei molteplici e importanti aspetti che in questo progetto rivestono le caratteristiche dei materiali da impiegare per le opere e la gestione delle terre di scavo, è stata considerata necessaria una specifica indagine indirizzata in particolare alla determinazione delle caratteristiche dei terreni che saranno interessati dagli scavi.

Con riferimento alle caratteristiche del progetto, i terreni interessati dagli scavi sono essenzialmente i seguenti:

- 1) i terreni alluvionali del fondovalle interessati dagli scavi di scotico e di bonifica della diga in terra, per un ambito di profondità che arriva al massimo a 2.5-3m;
- 2) i terreni alluvionali del fondovalle interessati dagli scavi di fondazione del manufatto di regolazione, che arrivano fino a circa 6-7m dal piano di campagna;
- 3) i terreni piroclastici interessati dagli scavi di scotico e bonifica delle spalle della diga in terra, per un ambito di profondità variabile (in ragione della gradonatura prevista sulle spalle), ma generalmente tra 2 e 3m (con locali approfondimenti);
- 4) i terreni piroclastici interessati dagli scavi in trincea o mezza costa delle due strade di accesso sulle sponde della diga in terra (ambito di profondità massima di 2-3 m);
- 5) i terreni alluvionali di fondovalle interessati dalle deviazioni e sistemazioni del fosso di Pratolungo (a monte e a valle della diga), del fosso del Fornaccio e del canale di irrigazione, i quali saranno deviati nel Pratolungo a monte della diga (ambito di profondità massimo degli scavi: 2 m);
- 6) i terreni (in gran parte alluvionali) interessati dalle deviazione dei sottoservizi esistenti (condotte gas, fogne, linea elettrica).

La quasi totalità degli scavi reimpiegabili proviene dalle voci 1) e 2). Le altre voci incidono relativamente poco sul bilancio delle terre, o perché di scarsa quantità, o perché rientrano in gran parte nella stessa lavorazione e quindi non reimpiegabili per altri lavori (gli scavi dei sottoservizi vengono infatti quasi totalmente reimpiegati per i rinterri). Le indagini sono state quindi concentrate sui terreni alluvionali delle voci 1) e 2).

Nei paragrafi che seguono verranno commentati i risultati delle indagini eseguite. Nell'ambito delle indagini ricadono anche quelle eseguite per l'argine a protezione degli edifici storici, opera successivamente stralciata; i risultati di queste indagini non verranno quindi più commentati in questa sede.

Le caratteristiche dei suddetti terreni sono già state commentate nella Relazione Geotecnica (Depositi alluvionali dell'Unità A), ma in questa sede verranno trattate separatamente solo le porzioni di terreno effettivamente interessate dagli scavi e cioè nell'ambito di 2-3 metri per la fondazione della diga in terra e fino a 6-7m per gli scavi del manufatto di regolazione.

3.2 Le terre di scavo della diga in terra

Nell'ambito delle indagini eseguite per il progetto definitivo era stato prelevato un solo campione dai terreni di interesse, peraltro al limite delle profondità massime di scavo per il manufatto (campione 1 del sondaggio 3 a profondità 6.0÷6.5 m), oltre ad un campione rimaneggiato dallo stesso sondaggio a 3m di profondità (sul quale peraltro non era stata eseguita la determinazione delle caratteristiche di plasticità).

In sede di progetto esecutivo si è accentrata l'attenzione su questi terreni e sono quindi stati prelevati due campioni indisturbati dal sondaggio S6/13 e 15 campioni rimaneggiati (ma rappresentativi delle caratteristiche granulometriche e di plasticità) da pozzetti. I campioni rimaneggiati sono stati prelevati nell'ambito dei 2m di profondità sull'impronta della diga in terra, approfonditi fino a 5.5m dove sono previsti gli scavi del manufatto, in modo da avere una rappresentazione il più affidabile possibile delle caratteristiche dei terreni potenzialmente reimpiegabili. I risultati delle analisi sono riassunti nelle tabelle successive.

Tabella 1 – Zona della diga. Risultati delle prove di laboratorio

ID	Prof. da p.c. (m)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Peso volume (kN/m ³)	Cont. acqua (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASS USCS	CLASS AASHTO
S3-C1	6.0÷6.5	0.0	17.3	71.7	11.0	16.43	39.8	39.9	30.7	9.2	ML	A4
S3-SPT1	3.0	0.1	14.0	62.7	23.2							
S6/13-C1	3.0÷3.5	1.05	4.29	39.51	55.15	18.2	29.43	72.3	28.51	43.79	CH	A7-6
S6/13-C2	6.0÷6.5	0.9	18.45	61.75	18.9	17.2	32.13	53.3	24.53	28.77	CH	A7-6
Pz6-C1	0.5	2.74	19.21	55.2	22.85			46.8	22.92	23.88	CL	A7-6
Pz6-C2	1.0	2.27	17.08	54.8	25.85			47.6	23.78	23.82	CL	A7-6
Pz7-C1	0.5	0.24	15.76	52.2	31.8			47.3	23.55	23.75	CL	A7-6
Pz7-C2	1.0	0.46	21.31	50.08	28.15			45	22.6	22.4	CL	A7-6
Pz7-C3	2.0	0.21	14.82	49.86	35.11			46.8	23.78	23.02	CL	A7-6
Pz7-C4	3.0	0.41	4.78	30.56	64.25			73.5	30.17	43.33	CH	A7-6
Pz7-C5	5.5	0.74	4.45	26.01	68.8			70	29	41	CH	A7-6
Pz8-C1	0.5	1.81	15.99	56.4	25.8			40	19.69	20.31	CL	A7-6
Pz8-C2	1.0	0.84	18.36	53.4	27.4			50.5	21.32	29.18	CH	A7-6
Pz8-C3	2.0	0.0	12.85	55.4	31.75			53.8	25.6	28.2	CH	A7-6
Pz8-C4	3.0	0.78	4.61	45.95	48.66			62.2	27.6	34.6	CH	A7-6
Pz8-C5	5.5	0.59	5.53	30.58	63.3			70.5	28.63	41.87	CH	A7-6
Pz9-C1	0.5	0.37	17.12	48.71	33.8			44.1	21.28	22.82	CL	A7-6
Pz9-C2	1.0	0.33	14.37	47.2	38.1			45.8	23.45	22.35	CL	A7-6
Pz9-C3	2.0	0.0	6.5	32.7	60.8			69.4	29.76	39.64	CH	A7-6

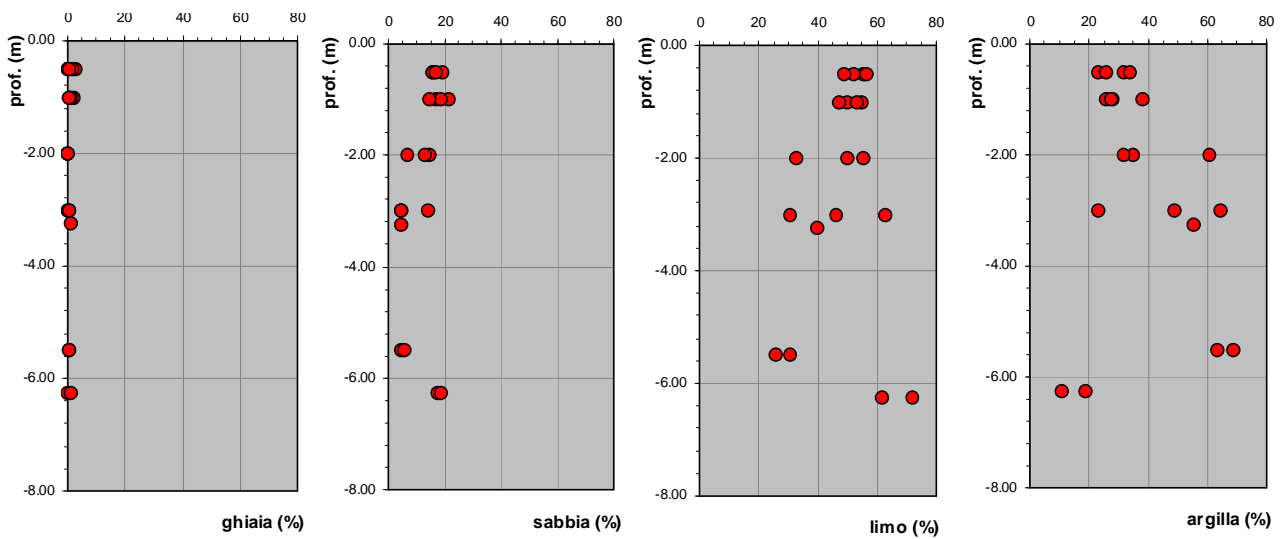


Figura 1 – Zona diga. Granulometrie

Dalle **analisi granulometriche** risultano materiali costituiti prevalentemente da limi, in percentuali comprese tra il 30% ed il 70%, con frazione argillosa del 20-40%, ma che arriva fino al 60-70%; la frazione sabbiosa è sempre inferiore o pari al 20%.

Dai grafici precedenti si può notare un tendenziale aumento delle frazioni argillose con la profondità (fino a 5m) ad eccezione dei due campioni profondi (a 6-6.5m) che mostrano una brusca diminuzione della frazione argillosa (e contestuale aumento di quella limosa e sabbiosa).

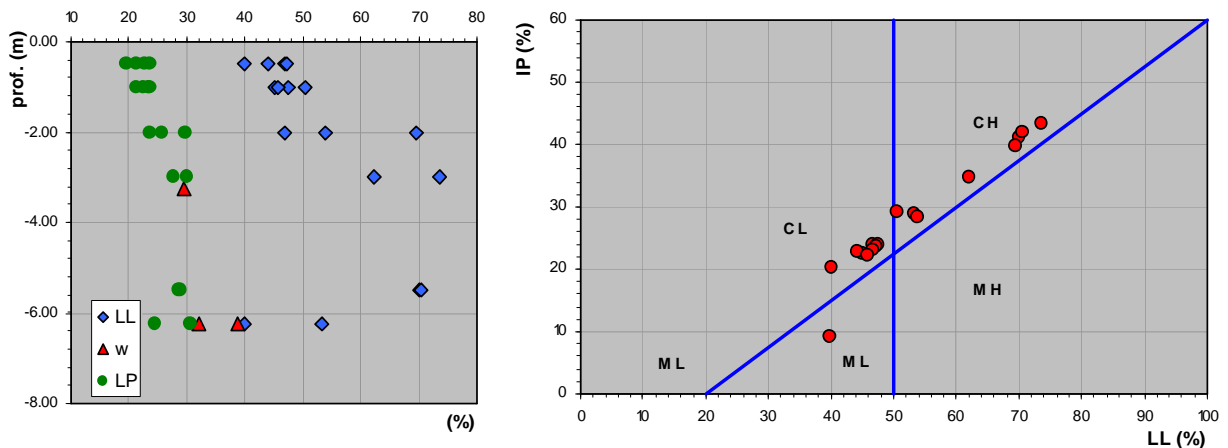


Figura 2 - Zona diga. Caratteristiche fisiche

Il limite liquido LL è variabile nel campo tra 40% e 75% e l'indice di plasticità Ip tra 20% e 45%. Un solo campione ha un indice di plasticità di 9% ed è quello prelevato in sede di progetto definitivo.

Secondo la classifica USCS i campioni ricadono tra le classi CL e CH (con un solo campione in ML, prelevato in sede di definitivo). Con riferimento alla classifica AASHTO i campioni sono tutti nella classe A7-6, ad esclusione del solo campione del progetto definitivo, classificato A4 .

Il **peso di volume** è variabile tra 16.4 e 18.2 kN/m³ circa. Il peso di volume più basso è stato misurato nel campione prelevato in sede di definitivo. Viste anche le altre differenze riscontrate non è da escludere che questo campione sia stato prelevato in qualche strato particolare, ricco di materiale piroclastico rimaneggiato (questo giustificerebbe il basso peso di volume e la scarsa plasticità)

4 LE SOLUZIONI DEL PROGETTO ESECUTIVO

In sede di progetto esecutivo, anche in ottemperanza alla prescrizione della Direzione Generale delle Dighe che richiedeva di «prevedere indicazioni/norme prestazionali “stringenti” per i vari materiali costituenti le varie opere ed in particolare i rilevati», si è provveduto a dettagliare ulteriormente le caratteristiche da impiegare per le varie parti dell’opera.

4.1 La diga in terra

4.1.1 Materiali tipo A

Per il materiale “tipo A” della diga in terra, cioè quello costituente il cosiddetto “contronucleo”, si può fare riferimento al fuso granulometrico riportato nel “Manual on small earth dams - A guide to siting, design and construction” della FAO, per dighe zonate (“zoned dam”).

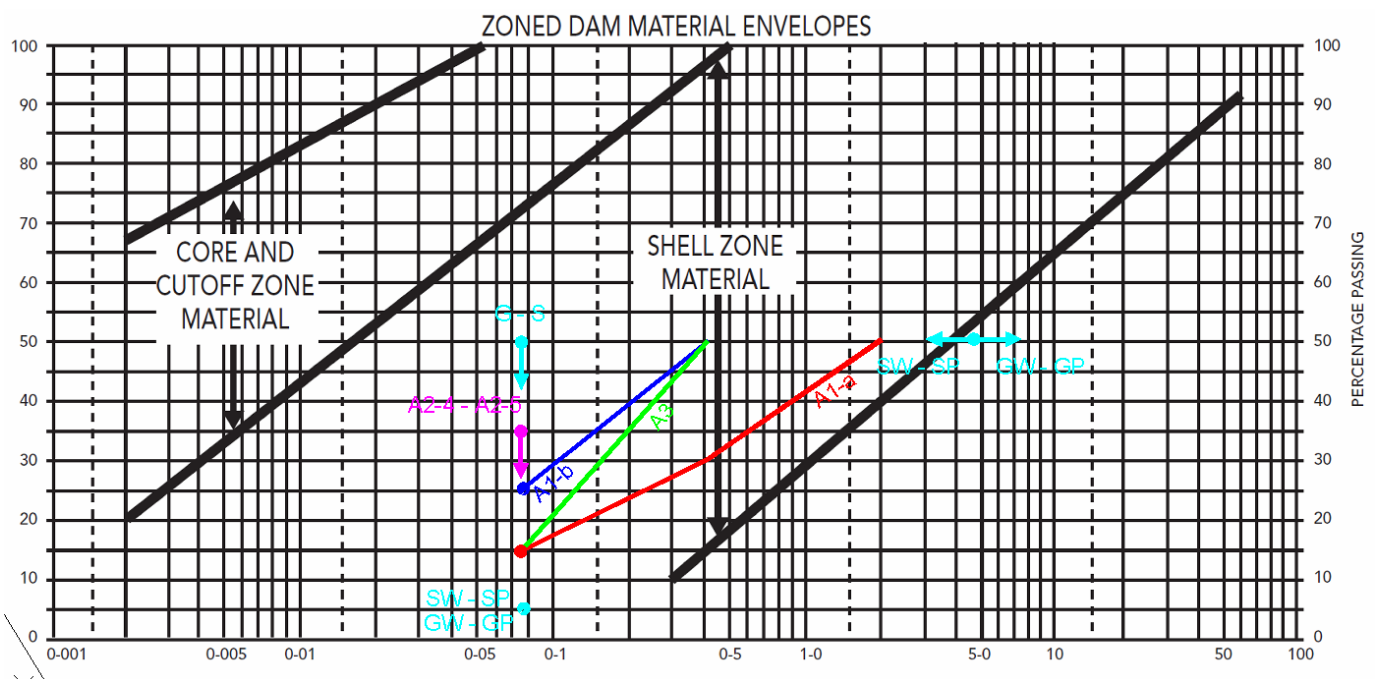


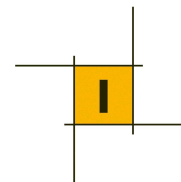
Figura 3 – Fusi granulometrici per piccole dighe (da “Manual on small earth dams” – FAO)

Sempre come riferimento bibliografico si riporta inoltre la tabella NAVFAC DM7-2 sulla “desiderabilità” dei materiali per le varie parti costituenti il corpo delle dighe in terra (a seconda dei tipi di diga). Nella tabella successiva il materiale viene classificato da 1 (come migliore o più desiderabile) a 14 (il peggiore o meno desiderabile). La classificazione delle terre di riferimento in questo caso è la USCS.

Dalla tabella si ricava che per le dighe zonate i materiali più desiderabili per i contronuclei (“shell”) sono delle classi GW-GP (1-2) e a seguire SW-SP (3-4). Per queste due ultime classi si specifica che la tipologia del terreno deve essere ghiaiosa.

Tabella 2 –Tabella NAVFAC DM-7.2

		(NAVFAC DM-7.2, MAY 1982)	Relative Desirability for Various Uses (1=best; 14=least desirable)									
Group Symbol	Soil Type	* if gravelly ** erosion critical *** volume change critical -- not appropriate for this type of use	Rolled Earth Fill Dams			Canal Sections		Foundations		Roadways		
			Homogeneous Embankment	Core	Shell	Erosion Resistance	Compacted Earth Lining	Seepage Important	Seepage Not Important	Fills		Surfacing
										Frost Heave Not Possible	Frost Heave Possible	
GRAVELS	GW	Well-graded gravels, gravel/sand mixtures, little or no fines	--	--	1	1	--	--	1	1	1	3
	GP	Poorly-graded gravels, gravel/sand mixtures, little or no fines	--	--	2	2	--	--	3	3	3	--
	GM	Silty gravels, poorly-graded gravel/sand/silt mixtures	2	4	--	4	4	1	4	4	9	5
	GC	Clay-like gravels, poorly graded gravel/sand/clay mixtures	1	1	--	3	1	2	6	5	5	1
SANDS	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	--	--	3*	6	--	--	2	2	2	4
	SP	Poorly-graded sands, gravelly sands, little or no fines	--	--	4*	7*	--	--	5	6	4	--
	SM	Silty sands, poorly-graded sand/silt mixtures	4	5	--	8*	5**	3	7	6	10	6
	SC	Clay-like sands, poorly-graded sand/clay mixtures	3	2	--	5	2	4	8	7	6	2
LEAN	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clay-like fine sands with slight plasticity	6	6	--	--	6**	6	9	10	11	--
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	5	3	--	9	3	5	10	9	7	7
CLAYS & SILTS	OL	Organic silts and organic silt-clays of low plasticity	8	8	--	--	7**	7	11	11	12	--
	MN	Organic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	9	9	--	--	--	8	12	12	13	--
FAT	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	7	7	--	10	8***	9	13	13	8	--
	OH	Organic clays of medium high plasticity	10	10	--	--	--	10	14	14	14	--



Con riferimento ai fusi granulometrici della figura precedente si ricava che i terreni di Capitolato A1, A3, A2-4 e A2-5 rientrano nel fuso granulometrico per i contronuclei. I terreni della classe GW-GP ricadono al limite estremo più grossolano del fuso. Questi terreni sono in effetti quelli che possono essere indicati come “rock fill” delle importanti dighe in materiali sciolti, mentre per le “piccole dighe”, come quelle in esame, la necessità di materiali con questa selezione granulometrica appare non commisurata alle effettive caratteristiche dell’opera. Come si ricava dal fuso granulometriche della FAO per piccole dighe, i requisiti dei materiali appaiono meno stringenti.

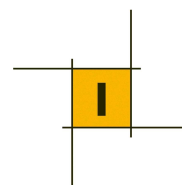
In questo contesto, tra i terreni indicati nel Capitolato, quelli della classi A2-4 e A2-5 sembrerebbero i più adatti. I materiali più grossolani privi di frazione fine (ad es., oltre ai GW e GP, anche A1) sono spostati verso il limite inferiore, quindi molto distanti dal fuso del nucleo. Una forte differenza granulometrica tra nucleo e contronucleo potrebbe richiedere un materiale di transizione con funzione di filtro.

Sembrerebbe quindi consigliabile restringere l’uso di materiali per il contronucleo alle classi A2-4 e A2-5. Si tratta infatti di materiali grossolani “sporchi”, con una certa frazione fina ($\leq 35\%$) non eccessivamente plastica ($IP \leq 10\%$); la presenza di frazione fina (nelle percentuali indicate) garantisce una buona lavorabilità del materiale in fase di compattazione e fornisce la piccola frazione coesiva richiesta. Si abbassano peraltro leggermente le caratteristiche di permeabilità rispetto a quelle di un materiale “pulito”, avvicinandosi ai valori medi ipotizzati nelle analisi di filtrazione del progetto definitivo (come detto $K = 1E-06$ m/s). Una permeabilità non eccessivamente elevata non va vista come elemento negativo, poiché essa permette il raggiungimento di una giusta via di mezzo tra un materiale facilmente drenabile e uno non eccessivamente permeabile; questo materiale garantisce nel caso di una non perfetta tenuta del nucleo e non richiede la necessità di realizzare un filtro tra nucleo impermeabile e contronucleo.

Seguendo l’indicazione NAVFAC, sarebbe preferibile invece evitare i materiali prettamente sabbiosi (tra questi quelli A3), che sono materiali suscettibili di erosione e peraltro difficilmente compattabili se privi di una adeguata classazione.

Come precedentemente detto, il **progetto definitivo** prevedeva, per questa parte di diga, la miscelazione di terre provenienti dagli scavi con materiale proveniente da cava nella proporzione di circa 50 e 50.

Come considerazione di carattere del tutto generale, si deve evidenziare che una lavorazione con miscelazione delle terre che permetta di ottenere un materiale rientrante nelle classi indicate dal capitolato appare molto complessa e non di garanzia tenuto conto che si tratta di un corpo diga e non di un rilevato stradale (per il quale potrebbero essere accettati criteri meno conservativi). Tale considerazione è valida a maggior ragione se il materiale da miscelare sia costituito da una parte proveniente da cava (quindi di elevata qualità e tale da fornire lo “scheletro” grossolano) e una parte da scavo (con elevata componente argillosa plastica). Una miscelazione di questi due terreni così diversi difficilmente potrà permettere di ottenere un materiale con caratteristiche omogenee e costanti sull’intero corpo diga.



Con riferimento invece a dati più oggettivi, sulla base di quanto esposto nel precedente cap. 3 sulle caratteristiche dei materiali di scavo e di quanto verrà indicato nel capitolo successivo sui volumi effettivi di progetto, si delineano i due seguenti problemi:

- 1) poiché il materiale di scavo (proveniente in larghissima parte dalla zona di fondovalle della diga) è di tipo limo-argilloso, appartenente alla classe A7-6 (CL e CH), con percentuali di frazioni fini che superano sempre l'80%, è evidente che non è possibile ricavare, tramite miscelazione in proporzione 50-50 con terre grossolane, un materiale che possieda una percentuale di fini inferiore al 35% (limite richiesto per le classi A1, A3, A2-4, A2-5);
- 2) oltre al valore della percentuale di fini, si evidenzia che lo stesso materiale fino che può essere contenuto nelle terre previste in Capitolato (in proporzione del 35%) deve comunque avere caratteristiche di plasticità controllate e cioè con $IP \leq 10\%$; dai grafici precedenti si vede che un solo campione (peraltro quello delle prove del progetto definitivo) possiede un $IP < 10\%$, mentre tutti gli altri campioni hanno IP sempre superiore a 20%; tale limitazione è vincolante e non superabile con un trattamento del materiale, poiché comunque il materiale fino che verrà miscelato possiede valori di plasticità più elevati di quelli richiesti;
- 3) dal calcolo dei volumi di scavo commentati nel capitolo successivo si è evidenziato che in cantiere non sono disponibili le cubature richieste per coprire i fabbisogni del 50% per la diga in terra e del 100% per l'argine secondario, indipendentemente dalle caratteristiche dei terreni di scavo; il volume complessivo di scavo risultante dai computi del progetto esecutivo risulta di 65.000 mc a fronte di 87.000 mc previsti nel progetto definitivo.

Dall'insieme di queste considerazioni emerge la necessità di modificare le ipotesi progettuali a base di gara e di **prevedere, per i materiali tipo A, la totale fornitura di materiali provenienti da cava**. Maggiori informazioni verranno fornite nel capitolo successivo.

4.1.2 Materiali tipo B

Per i materiali dell'argine definiti "B", cioè appartenenti al **nucleo** impermeabile, il progetto definitivo prevede l'impiego delle classi A2-6 e A2-7.

Facendo riferimento al fuso granulometrico della figura precedente, questi terreni non ricadono nel fuso previsto per "core and cutoff zone material". Questo fuso richiederebbe infatti una percentuale di frazioni fini (passanti al setaccio 0.075mm) almeno del 70%, mentre le classi A2-6 e A2-7 limitano questo passante a non oltre il 35%. Bisognerebbe quindi passare alle "terre limo-argillose" della classifica AASHTO e cioè dall'A4 in poi. Si deve tuttavia ricordare che nel progetto è stato previsto anche un telo impermeabile al di sopra del nucleo, quindi l'effettivo ruolo del materiale limo-argilloso sembrerebbe più quello di una ulteriore garanzia di tenuta (in caso di lesioni o difetti del manto) piuttosto che di vero e proprio elemento di tenuta impermeabile. Un minore requisito di permeabilità sembrerebbe quindi in questo caso accettabile, soprattutto se questo

facilitasse le procedure di compattazione dei materiali (come è noto complicate in materiali a grana fina molto plastici).

Per quanto riguarda la tabella NAVFAC i materiali più desiderabili per il nucleo (“core”) sono, in ordine di desiderabilità, GC-SC-CL-GM. I materiali delle classi G- e S-, ricadono ancora tra i terreni grossolani (passante al setaccio 0.075 inferiore al 50%), ma possiedono una frazione fine leggermente plastica che conferisce al materiale le richieste caratteristiche di scarsa permeabilità. A tutti gli effetti questi terreni non ricadrebbero però all’interno del fuso granulometrico della figura precedente, ma potrebbero coincidere con le classi A2-6 e A2-7 da Capitolato. Il terreno CL appartiene invece alle terre fini e potrebbe quindi ricadere all’interno del fuso granulometrico della figura precedente (questo materiale è però solo il terzo in ordine di desiderabilità). Sembrerebbe quindi che la procedura NAVFAC prediliga un materiale più facilmente lavorabile e compattabile piuttosto che un terreno schiettamente a grana fine.

In questa sede si è preferito confermare la richiesta del capitolato di materiali delle classi A2-6 e A2-7, allargando però il campo di accettazione anche alle classi GC-SC-CL-GM della classifica USCS (che in parte assorbono anche le classi A2-6 e A2-7).

Per questa fornitura **si potranno impiegare i materiali provenienti dagli scavi**, escludendo quelli che possiedono caratteristiche di plasticità tali da provocare difficoltà di compattazione (LL<50%, IP<30%) ed escludendo le terre superficiali ricche di materiale organico.

4.1.3 Dreni e filtri

Per quanto riguarda l’unghia drenante e il filtro in sabbia (per i quali il progetto definitivo non fornisce dati specifici), in questa sede si è preso come riferimento il fuso indicato nella figura seguente rispettivamente per “drain gravel” e “filter sand”.

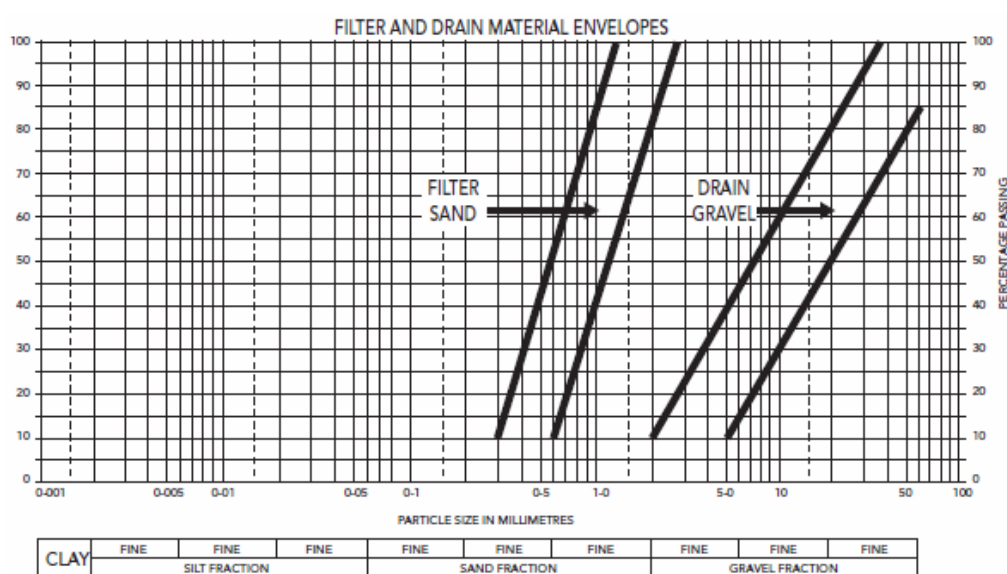
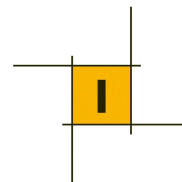


Figura 4 – Fusi granulometrici per filtri e drenaggi (*Manual on small earth dams*, FAO)

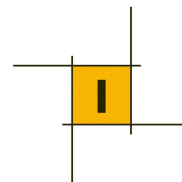


4.2 Altri materiali

Oltre ai materiali per il corpo diga prima descritti, nell'ambito dei lavori è previsto l'impiego anche dei seguenti materiali:

- 1) pietrame selezionato per materassi e gabbioni;
- 2) misto di cava rientrante nella classe GW della classifica USCS per il rinterro al piede di valle del manufatto;
- 3) massi di cava per il rivestimento dei fossi.

Si tratta in tutti i casi di materiale roccioso di qualità e con granulometrie controllata per il quale è richiesta la fornitura da cave di roccia.



5 PIANO DI GESTIONE DELLE TERRE

5.1 Premesse

La sostenibilità ambientale degli interventi come quelli in progetto è fortemente influenzata dalla corretta gestione dei movimenti terra. Per limitare al minimo il ricorso a cave di materiale naturale, il trasporto e lo smaltimento in discarica del terreno scavato e per ottimizzare la gestione del cantiere, è stata ricercata quindi una soluzione che potesse massimizzare il riutilizzo delle terre provenienti dagli scavi nel rispetto delle prescrizioni da Capitolato e delle regole del buon costruire.

Con riferimento alle problematiche illustrate nei capitoli precedenti, si riassumono i criteri che sono stati seguiti per la definizione del piano di gestione delle terre.

I **materiali provenienti dagli scavi** all'interno del cantiere sono delle seguenti tipologie:

1. scavi di fondazione della diga in terra e del manufatto di regolazione nelle zone di fondovalle, a granulometria prevalentemente limo-argillosa;
2. scavi di fondazione delle spalle della diga in terra, di natura vulcanica a granulometria limoso-sabbiosa;
3. scavi per la realizzazione delle due strade di accesso, di natura vulcanica a granulometria sabbioso-limosa;
4. scavi per lo spostamento dei sottoservizi e delle deviazioni dei fossi, di varia granulometria, ma prevalentemente limo-argillosa.

I volumi di scavo delle fondazioni della diga in terra vanno ovviamente riempiti con un analogo quantitativo di materiale con le caratteristiche richieste per i diversi settori del rilevato.

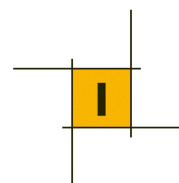
Tutto il materiale proveniente dagli scavi di fondazione del manufatto in calcestruzzo va invece a costituire, potenzialmente, una disponibilità di materiale (al netto dei rinterrati).

Degli scavi per i sottoservizi, solo una piccolissima parte è potenzialmente riutilizzabile in quanto si tratta di trincee per l'alloggiamento di condotte, quindi da rinterrare al netto del volume delle condotte stesse. Una selezione del materiale, in questo caso, sia pur auspicabile, risulta difficile trattandosi di materiale superficiale limo-argilloso. Per tale motivo è stato previsto di destinare a discarica il materiale in eccesso proveniente da questi scavi, che pertanto non sono compresi nelle tabelle di calcolo dei volumi successive.

Per quanto riguarda gli scavi per la deviazione dei fossi si specifica che si tratta di terreni superficiali, fortemente rimaneggiati dalle colture agrarie e ricchi di sostanza organica. Un loro riutilizzo per la formazione di rilevati e argini strutturali è quindi assai complicato (e addirittura vietato dal capitolato), mentre è possibile il loro reimpiego per riempimenti non strutturali di fossi abbandonati, scavi e arginelli locali.

Con questa impostazione, sulla base delle caratteristiche dei materiali di progetto richiesti (v. cap. 4) e delle terre di scavo (v. cap. 3), si riassumono i criteri che sono alla base del piano di gestione delle terre adottato nel progetto esecutivo.

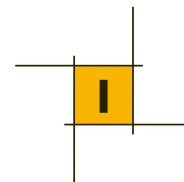
- 1) Dagli scavi di scotico e di fondazione della diga in terra (compreso il manufatto di regolazione) sarà scartata tutta la parte superficiale degli scavi (almeno i primi 50cm), fortemente rimaneggiati dalle



colture agrarie e ricchi di sostanza organica; rientrano poi in questa stima anche i terreni più plastici (in particolare quelli con LL>50% e IP>30%) che risultano oggettivamente difficili da compattare anche con procedure particolari e/o con trattamenti vari. Da questo volume è stato detratto il quantitativo richiesto per la formazione dello strato vegetale sul paramento di valle della diga e degli arginelli locali, per i quali è possibile il reimpiego dello stesso strato vegetale asportato con lo scotico e che sarà adeguatamente stoccato in cantiere per il successivo riutilizzo. Una parte del volume di questi scavi potrà essere reimpiegato per la formazione del nucleo (materiale tipo B) della diga in terra, previa opportuna verifica in cantiere delle caratteristiche dei materiali. Una parte sarà riutilizzato per rinterri dove richiesto anche con stabilizzazione a calce/cemento). Il resto sarà conferito a discarica.

- 2) Una procedura analoga è stata prevista per gli scavi di fondazione delle spalle della diga in terra. Questo materiale verrà però stoccato separatamente poiché, essendo materiale a granulometria prevalentemente limo-sabbiosa o sabbioso-limosa, esso potrà essere utilizzato per riempimenti strutturali (anche con stabilizzazione) per i quali sono richiesti materiali più facilmente compattabili.
- 3) Dagli scavi per le strade una parte andrà ad essere riutilizzata per la formazione dei rilevati stradali, mentre la parte più superficiale potrà costituire il rivestimento di terra vegetale previsto sempre per queste strade. La rimanenza sarà impiegata come indicato al punto 2.
- 4) Il volume degli scavi provenienti dalla deviazione dei fossi, al netto del quantitativo utilizzato per i riempimenti legati alle stesse lavorazioni (riempimenti di tratti di fossi abbandonati), sarà riutilizzato per la formazione di arginelli e riempimenti di depressioni e anomalie morfologiche locali.
- 5) Il volume degli scavi provenienti dai lavori di deviazione dei sottoservizi sarà reimpiegato per il rinterro delle stesse tubazioni e solo la piccola parte in eccedenza (rappresentato dal volume delle condotte stesse) sarà conferito a discarica.

Da questa impostazione si ricava il **bilancio delle terre** descritto nel paragrafo successivo.



5.2 Il calcolo dei volumi di scavo

Dai computi e dalle tabelle dei movimenti terra risultano le seguenti quantità:

Parte di opera	Scavi (mc)	Rinterri (mc)						
		Nucleo	Argine/ rilevati	Dreni e filtri	Scogliera	Materassi e gabbioni	Rinterri	Stabilizz.
Diga in terra	30.938	12.539	68.011	5.695		2.620		388
Manufatto di regolazione	7.455			795		375	3.340	1.968
Strade di accesso	2.294						684	
Deviazione fossi e protez. idraulica	16.945				3.688	1.106	18.314	2.000
TOTALE	57.632	12.539	68.011	6.490	3.688	4.101	22.338	4.356

Risulta quindi il seguente bilancio delle terre globale.

TOTALE BILANCIO DELLE TERRE		U.M.
TOTALE SCAVI	57.632	mc
TOTALE TERRENO DA SCAVI REIMPIEGATO	39.233	mc
TOTALE QUANTITA' A DISCARICA	18.399	mc
TOTALE DA CAVA PER RILEVATI	68.694	mc
TOTALE DA CAVA PER GABBIONI, MATERASSI, PIETRAMME, DRENI	14.279	mc