



PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA  
PER RIFIUTI NON PERICOLOSI "CA' DEI LADRI"  
MEDIANTE COMPLETAMENTO DEL III E IV SETTORE  
E REALIZZAZIONE DEL V SETTORE CON VARIANTE AL  
PSC ED AL POC DEL COMUNE DI GAGGIO MONTANO (BO)  
INTEGRAZIONI E MODIFICHE

*PROGETTO DEFINITIVO*

Redazione:

  
Società di Ingegneria e Geologia  
tel: 051-916012 r.a. fax: 051-916450  
e-mail: tecnappennino@tecnappennino.191.it

Ing. Lamberto Zanini

Ing. Mauro De Gennaro

Committente:

**CO.SE.A**

Responsabile del Progetto  
Dott. Gian Galeazzo Giunta

Responsabile dell'Impianto  
Dott. Christian Marin

Elaborato:

**C**

Oggetto:

**Relazione geotecnica**

## **INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. CENNI DI GEOLOGIA E MORFOLOGIA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>3</b>
<b>4. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA QUINTO SETTORE .....</b>	<b>4</b>
<b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>5</b>
<b>6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....</b>	<b>6</b>
4.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	6
4.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE .....	7
4.3 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE .....	7
4.4 PERICOLOSITÀ SISMICA E COEFFICIENTI SISMICI PER QUINTO SETTORE DISCARICA.....	7
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	<b>8</b>

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto nell'ambito del Progetto Definitivo per il cosiddetto "Ampliamento Nord" con realizzazione del Quinto Settore e Completamento del Terzo e Quarto Settore nella Discarica di Ca' dei Ladri (Comune di Gaggio Montano), con particolare riferimento alle opere di consolidamento del versante ed allo sviluppo delle tematiche specifiche. Infatti si è aggiunto al gruppo di lavoro uno specialista del settore nella persona del Dott. Ing. Mauro De Gennaro in modo tale da implementare il grado di analisi sulla stabilità del versante e sulla vulnerabilità della pendice a monte del Quinto Settore.

Di seguito ai presenti capitoli, in elaborati specifici, il citato ing. De Gennaro ha indagato la stabilità del versante per mezzo di analisi automatica con due programmi di calcolo, ha caratterizzato dal punto di vista geotecnico lo stato di fatto, ha provveduto a modellare il pendio tramite tre modelli rappresentativi basati sui dati stratigrafici e su quelli inclinometrici ed ha verificato il versante, consolidato con gli interventi di Progetto Definitivo, sulla base della normativa vigente. Si rimanda agli elaborati specifici anche per le analisi sulle opere di drenaggio superficiale e profondo costituite da trincee drenanti a gravità, da microdreni suborizzontali e da pozzi drenanti posti nell'area a monte del Quinto Settore laddove l'accumulo al piede del movimento che si è originato dalla sommità, pur riconducibile a frana quiescente, mostra i valori maggiori di coltre detritica.

La presente relazione intende fornire le caratteristiche litostratigrafiche e fisico-meccaniche dei depositi del primo sottosuolo, sulla base sia dell'inquadramento dell'area dal punto di vista morfologico, idrogeologico e sismico, sia del modello geologico del sito, come individuato e rappresentato nello specifico studio geologico.

## 2. CENNI DI GEOLOGIA E MORFOLOGIA

La geologia dell'area della discarica è caratterizzata dalla presenza di litotipi ascrivibili alle Argille a Palombini (APA), costituiti da argilliti, più o meno fissili, di colore nerastro o grigio scuro, raramente con bandature verdi o rosso scure. Si intercalano calcilutiti grigie, biancastre se alterate, spesso silicee talora con una base arenitica da fine a grossolana, strutturate in strati da medi a spessi. Localmente si individuano torbiditi arenaceo-pelitiche, in strati molto sottili di colore grigio scuro. La formazione si presenta quasi sempre intensamente deformata, a scala dell'affioramento si osserva frequentemente un completo boudinage degli strati calcilutitici, ridotti a blocchi più o meno allineati, con una totale trasposizione della stratificazione originaria. Solo in alcune aree ed in corrispondenza di tratti di successione caratterizzati da un alto valore del rapporto calcare/argilla essa viene mantenuta. Associate alla formazione, sono presenti localmente in posizione non originaria masse ofiolitiche di dimensioni e composizioni estremamente variabili, di cui nell'area in esame non si individua traccia. Nella fascia sommitale della discarica si individua la Litozona argillitica delle Argille a Palombini (APAA). Si tratta di argilliti fissili spesso silicizzate di colore grigio, più chiare se alterate, con intercalazioni di calcilutiti grigie, strutturate in strati da medi a spessi talora a base calcarenitica con patine superficiali di colore bruno, e talora di calcari marnosi in strati molto spessi. Localmente si individuano pacchi di strati sottili arenaceo-pelitici grigio-marroni con rapporto A/P inferiore a 1.

Il rilievo morfologico in sito e l'analisi fotogrammetrica hanno evidenziato come l'ampliamento Nord della discarica ed

il bacino irriguo B1 ricadano in corrispondenza di un ambito sede di coperture detritiche di origine gravitativa che nella carta geologica regionale sono classificate come deposito di frana attiva complessa, che si delinea nel suo corpo principale da quota 525 m s.l.m. fino al fondovalle. Lungo il suo fianco sinistro, in posizione mediana, affrisce all'elemento principale, una colata secondaria, che si imposta in un modesto impluvio orientato NNO-SSE.

Le morfostrutture riscontrabili in superficie evidenziano dinamiche attive nel settore sommitale del corpo principale, partendo dal coronamento fino a quota 475 m s.l.m., e nella zona di distacco dell'elemento secondario. Si tratta di processi superficiali classificabili come colamenti lenti di terra che determinano un denudamento nella zona della scarpata di distacco, l'instaurarsi di fenomeni erosivi e la conseguente formazione di strutture proto-calanchive. Lungo il restante sviluppo del deposito in questione il monitoraggio inclinometrico in corso da alcuni anni e recentemente implementato permette di avere un quadro esaustivo sullo stato di attività.

I sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in successive fasi di studio hanno permesso di ricostruire la geometria in profondità della copertura detritica. Gli spessori più contenuti (3,0 – 4,0 m) si riscontrano in corrispondenza della zona di distacco e nella fascia mediana, fra le quote di 365 e 405 m s.l.m., individuabile come alveo di frana o area di transito. La zona di accumulo principale, come naturale in relazione agli antichi processi morfologici, è posizionata alla base del versante dove, in prossimità della S.S. n° 64 "Porrettana", si incontrano spessori di detrito di circa 20 m. Anche nell'ambito posto direttamente a monte del quinto settore in progetto, fino ad una quota di circa 470 m s.l.m., è emerso un settore di accumulo secondario che raggiunge spessori di 10,0 – 11,0 m, che diminuiscono rapidamente spostandosi verso monte.

### 3. CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di ricostruire il modello geologico del sottosuolo si è fatto riferimento a dati derivanti dalle numerose indagini di caratterizzazione litostratigrafica e fisico-meccanica, riportate nella seguente tabella.

INDAGINI GEOGNOSTICHE Sondaggi a carotaggio continuo			
Denominazione	Profondità raggiunta [m dal p.c.]	Data realizzazione	Prove S.P.T. [N°]
S1	17,2	Luglio 1995	4
S3	21,6	Luglio 1995	3
S4	23,5	Agosto 1995	4
S6	28,7	Luglio 1995	5
S7	30,0	Luglio 1995	5
S104	15,0	Febbraio 2003	3
S104bis	21,0	Maggio 2008	4
S110	30,0	Agosto 2004	5
S112	15,0	Luglio 2004	5

S801	21,0	Maggio 2008	4
S802	21,0	Maggio 2008	4
S804	22,0	Maggio 2008	4
S805	20,0	Maggio 2008	4
S950	25,0	Aprile 2010	-
S011 A	20,0	Marzo 2011	4
S011 B	15,0	Marzo 2011	3
S011 C	15,0	Marzo 2011	3
S011 D	16,7	Marzo 2011	3
S011 E	15,0	Marzo 2011	3
S011 F	15,0	Marzo 2011	3

**Tabella 1: Indagini geognostiche utilizzate per le modellazioni geologiche.**

#### 4. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA QUINTO SETTORE

L'area è caratterizzata, partendo dal piano campagna, dalla successione stratigrafica riportata nel seguente prospetto, dove si descrivono le unità litotecniche individuate dalle indagini geognostiche.

SITUAZIONE STRATIGRAFICA GENERALE	
Unità litotecniche	Descrizione
A	Limi argillosi e argille con frammenti e blocchi lapidei, talora abbondanti, di natura calcilutitica o marnosa. Unità ascrivibile alla copertura detritica. L'orizzonte superficiale partendo dal piano campagna fino a circa 2,0 m presentano una consistenza variabile in funzione del grado di umidità pertanto i terreni si presentano soffici a seguito di prolungati periodi piovosi e molto duri per effetto dell'essiccamento estivo. Oltrepassato tale livello il deposito mostra una consistenza da dura a durissima come evidenziano le numerose prove SPT a disposizione. L'unità comprende locali livelli di riporto superficiali, costituiti da materiali di scavo interni all'impianto, e con caratteristiche analoghe ai terreni della coltre.
B	Argille e argilliti a consistenza durissima riconducibili al substrato alterato. Si tratta di un orizzonte posto alla sommità della formazione di base in cui è riconoscibile la struttura originaria ma, pur registrandosi buone proprietà fisico-meccaniche, la degradazione dei materiali ha determinato un decadimento della compattezza dell'ammasso rispetto a quanto osservabile in corrispondenza di termini integri. Questa unità è stata individuata esclusivamente in corrispondenza di alcuni punti di perforazione
C	Argilliti intensamente fratturate ad elevata consistenza, con intercalati livelli calcilutitici a comportamento lapideo. Substrato ascrivibile alle Argille a Palombini (APA)

**Tabella 2: Situazione stratigrafica generale.**

Per ciascuna indagine, considerata per la ricostruzione del modello geologico, si evidenzia la situazione stratigrafica specifica riportando le profondità, in metri dal piano campagna, a cui si incontrano le unità litotecniche individuate in precedenza.

SITUAZIONE STRATIGRAFICA in corrispondenza di ciascun punto di indagine			
Denominazione	Unità A Coltre detritica	Unità B Substrato alterato	Unità C Substrato
S1	0,0 ÷ -2,0	-	Da -2,0
S3	0,0 ÷ -6,7	-	Da -6,7
S4	0,0 ÷ -5,5	-5,5 ÷ -8,5	Da -8,5
S6	0,0 ÷ -6,0	-	Da -6,0
S7	0,0 ÷ -6,8	-	Da -6,8
S104	0,0 ÷ -6,6	-	Da -6,6
S104bis	0,0 ÷ -10,0	-	Da -10,0
S110	0,0 ÷ -21,0	-	Da -21,0
S112	0,0 ÷ -10,7	-	Da -10,7
S801	0,0 ÷ -3,0	-	Da -3,0
S802	0,0 ÷ -9,0	-	Da -9,0
S804	0,0 ÷ -3,4	-	Da -3,4
S805	0,0 ÷ -6,8	-6,8 ÷ -9,0	Da -9,0
S950	0,0 ÷ -7,7	7,7 ÷ -11,0	Da -11,0
S011 A	0,0 ÷ -3,4	-3,4 ÷ -6,5	Da -6,5
S011 B	0,0 ÷ -2,0	-2,0 ÷ -3,0	Da -3,0
S011 C	0,0 ÷ -2,1	-2,1 ÷ -5,2	Da -5,2
S011 D	0,0 ÷ -5,5	-	Da -5,5
S011 E	0,0 ÷ -3,0	-	Da -3,0
S011 F	0,0 ÷ -3,7	-	Da -3,7

Tabella 3: Situazione stratigrafica in corrispondenza di ciascun punto di indagine.

Tale quadro ha permesso la ricostruzione diverse sezioni litostratigrafiche che attraversano l'area interessata dagli interventi, di cui una si sviluppa lungo l'intero versante partendo dalla S.S. n° 64 "Porrettana" fino a quota 540 m s.l.m. .

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel seguente prospetto si illustra, per ciascuna unità litotecnica distinta, una caratterizzazione fisico-meccanica derivante dall'elaborazione dei dati ricavati da indagini in sito e di laboratorio condotte relativamente all'ambito di discarica. Per ciascun parametro si fornisce un range di valori compresi fra il minimo ed il massimo ottenuti selezionando fra le numerose misure a disposizione, derivanti da varie tipologie di acquisizione, quelle ritenute più attendibili e rappresentative del comportamento geotecnico dei materiali in esame.

PARAMETRI GEOTECNICI				
Unità litotecniche	$\gamma_k$ [t/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]
A Coltre detritica	1,8 ÷ 2,0	50 ÷ 120	5 ÷ 15	22 ÷ 24
B Substrato alterato	2,0 ÷ 2,1	180 ÷ 210	20 ÷ 40	25 ÷ 26
C Substrato	2,1 ÷ 2,2	250 ÷ 380	50	25 ÷ 28

**Tabella 4: Parametri geotecnici.**

In tabella le sigle indicano rispettivamente:

$\gamma_k$  = peso di volume del terreno [t/m<sup>3</sup>];

$c_u$  = coesione non drenata [kPa];

$c'_k$  = coesione efficace [kPa];

$\phi'_k$  = angolo d'attrito interno [°].

Naturalmente si rimanda agli elaborati a seguire per la piena caratterizzazione geotecnica da parte dell'ing. De Gennario, tecnico specialista di settore, unitosi al gruppo di lavoro per gli approfondimenti richiesti sulle opere di consolidamento del versante.

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Il Comune di Gaggio Montano in base alla classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n° 3274, ricade in Zona 3.

Le Norme Tecniche per le costruzioni approvate con D.M. 14 gennaio 2008 evidenziano come le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Di seguito si caratterizza l'area dal punto di vista sismico attenendosi alla indicazioni della normativa in vigore e fornendo i parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici di riferimento.

### 4.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II e 3.2.III NTC08).

Alla luce dei dati sismici a disposizione derivanti da analisi tomografiche e da un'indagine sismica a rifrazione condotta nel gennaio 2007 in ambiti già interessati da coltivazione si definisce quanto segue:

- categoria di sottosuolo B per gli interventi che si inseriscono lungo il versante naturale;
- categoria di sottosuolo D in presenza del corpo rifiuti, basandosi sui valori più cautelativi di  $V_{s30}$  emersi dall'indagine sismica a rifrazione;

#### 4.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Il versante presenta un'acclività di circa 10-12° nel settore d'intervento che diminuisce gradualmente spostandosi verso valle mentre aumenta salendo a quote superiori. La realizzazione del settore di discarica verrà a determinare quantomeno in quell'ambito acclività maggiori di 15°. In base alla classificazione riportata in Tab. 3.2.IV delle NTC08 l'area presenta caratteristiche topografiche di passaggio fra la categoria T1 e la T2. Di conseguenza in via cautelativa è stato adottato un coefficiente topografico  $S_T$  pari a 1,2 (Tab. 3.2.VI).

#### 4.3 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione nei terreni denota una diminuzione di resistenza a taglio e di rigidità, causata dall'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante un evento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Tale fenomeno si verifica qualora siano soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

- sismi con magnitudo  $> 5,5$ ;
- $a_g$  (accelerazione orizzontale max su suolo rigido)  $> 0,15g$ ;
- presenza di falda nei primi 15 m di profondità;
- presenza di importanti orizzonti di sabbie da poco a mediamente addensate con frazione di materiali fini  $< 25\%$ , negli strati superficiali ( $< 15$  m).

L'analisi della situazione litologica, stratigrafica ed idrogeologica permette di escludere, anche nell'ipotesi di sismi con magnitudo  $> 5.5$  pericoli derivanti da liquefazione.

#### 4.4 PERICOLOSITÀ SISMICA E COEFFICIENTI SISMICI PER QUINTO SETTORE DISCARICA

Nella seguente tabella sono riportati i parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici di riferimento ricavati utilizzando il software Geostru-PS. I dati di input introdotti sono:

- coordinate geografiche del sito d'intervento:
  - WGS84: latitudine (44.1985); longitudine (11.0020);
  - ED50: latitudine (44,1994); longitudine (11,0030);
- vita nominale della struttura ( $V_N$ ) posta pari a 100 anni;
- classe d'uso III;
- coefficiente di amplificazione topografica 1,2.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B

Stati limite		$P_{VR}$	$T_R$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$S_s$	$C_C$	$S_T$	Coeff. sismici stabilità pendio			
										$k_h$	$k_v$	$a_{max}$	$\beta_s$
SLE	SLO	81%	90	0,098	2,454	0,272	1,20	1,43	1,20	0,028	0,014	1,390	0,200
	SLD	63%	151	0,121	2,445	0,280	1,20	1,42	1,20	0,042	0,021	1,712	0,240
SLU	SLV	10%	1424	0,252	2,516	0,310	1,15	1,39	1,20	0,098	0,049	3,417	0,280
	SLC	5%	2475	0,296	2,545	0,320	1,10	1,38	1,20	0,109	0,055	3,834	0,280



Tabella 5: Parametri di pericolosità sismica e coefficienti sismici.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO D													
Stati limite		$P_{VR}$	$T_R$	$a_g$	$F_o$	$T_c^*$	$S_s$	$C_c$	$S_T$	Coeff. sismici stabilità pendio			
										$k_h$	$k_v$	$a_{max}$	$\beta_s$
SLE	SLO	81%	90	0,098	2,454	0,272	1,80	2,40	1,20	0,043	0,021	2,085	0,200
	SLD	63%	151	0,121	2,445	0,280	1,80	2,36	1,20	0,063	0,031	2,568	0,240
SLU	SLV	10%	1424	0,252	2,516	0,310	1,45	2,25	1,20	0,123	0,062	4,308	0,280
	SLC	5%	2475	0,296	2,545	0,320	1,27	2,21	1,20	0,126	0,063	4,427	0,280

Tabella 6: Parametri di pericolosità sismica e coefficienti sismici.

Nella tabelle le sigle indicano rispettivamente:

$P_{VR}$  = probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$  al variare dello stato limite;

$T_R$  [anni] = periodo di ritorno dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica;

$a_g$  [g] = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido orizzontale;

$F_o$  [adimensionale] = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale;

$T_c^*$  [s] = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$C_c$  = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;

$S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica;

$k_h$  = coefficiente sismico orizzontale;

$k_v$  = coefficiente sismico verticale;

$a_{max}$  [m/s<sup>2</sup>] = accelerazione orizzontale massima attesa al sito =  $S_s \times S_T \times a_g$ ;

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

## 7. CONCLUSIONI

Le numerose campagne di indagini, sempre in fase di implementazione, e la pluriennale attività di monitoraggio hanno permesso di definire con alto grado di affidabilità i parametri geotecnici da adottarsi nelle verifiche strutturali con assunzione di valori cautelativi mutuati da analisi svolte nei precedenti percorsi amministrativi riferite ad ambiti normativi diversi da quelli di odierna applicazione.

Le attività precedenti il vero e proprio cantiere potranno portare a conoscenze mirate in corrispondenza delle opere strutturali individuate (pozzi strutturali portanti e drenanti, paratie a pettine e con conformazione ad "E" con collocazione planimetrica e dettagli costruttivi per i quali si rimanda alla tavola 16 di Progetto Definitivo), sulla scorta delle quali potranno essere confermate le proposte di parametrizzazione geotecnica che, al momento, sono da ritenersi cautelative in diretta conseguenza della gerarchia ed importanza della infrastruttura in progetto e della garanzia di non vulnerabilità nel tempo.

Ing. Lamberto Zanini

Porretta Terme, li 21 aprile 2012.