



Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica a corredo dell'Istanza per rilascio del Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale (PAUR), ai sensi del D.Lgs. 152/2006 art. 27 bis e L.R. 10/2010 art. 73 bis. -

IL TECNICO INCARICATO:

*Dott. Geol. Carlo Alberto Turba
Via Tinelli n.25/A
54100 Massa*

Geo.01

INDICE

1 - INTRODUZIONE	4
2 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO	5
2.1 Inquadramento geomorfologico	5
2.2 Inquadramento geologico.....	8
2.3 Idrogeologia.....	17
2.3.1 Caratteristiche idrogeologiche dei complessi carbonatici	18
2.3.2. Determinazione della velocità di filtrazione nell'acquifero carbonatico	19
2.3.2 Caratteristiche idrogeologiche dei complessi alluvionali della piana versiliese	21
2.4 Idrografia	26
2.5 Idrologia.....	28
3 - VINCOLISTICA E PERICOLOSITA' RICAVATE DALLA VARIANTE GENERALE AL PIANO STRUTTURALE, DAL PIANO OPERATIVO DEL COMUNE DI MONTIGNOSO E DAL PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	29
3.1 Vincolo Idrogeologico	29
3.2 Pericolosità dell'area nelle cartografie a corredo del Progetto di Piano dell'Appennino Settentrionale	30
3.3 Pericolosità idraulica prevista nel Piano di gestione del rischio alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale (PGRA).....	32
3.4 Pericolosità dell'area di discarica ricadente nel Comune di Montignoso	34
3.4.1 Pericolosità geologica	34
3.4.2 Pericolosità sismica.....	36
3.4.3 Pericolosità idraulica	38
4 - VINCOLISTICA E PERICOLOSITÀ RICAVATE DALLE CARTOGRAFIE DELLA VARIANTE DI MANUTENZIONE AL PIANO STRUTTURALE, DEL REGOLAMENTO URBANISTICO, DEL PIANO STRUTTURALE E DEL PIANO OPERATIVO DEL COMUNE DI PIETRASANTA	39
4.1 Considerazioni sulla vincolistica dell'area in esame	39
4.2 Pericolosità dell'area in oggetto così come definita nelle cartografie allegate alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico ed alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta	40
4.3 Pericolosità dell'area in oggetto così come definita nelle cartografie allegate al Piano Operativo Comunale adottato.....	47
5 – DATI METEOCLIMATICI RICAVATI DALLA STAZIONE METEOROLOGICA PRESENTE ALL'INTERNO DELLA DISCARICA	51
6 - CLIMATOLOGIA DELL'AREA IN ESAME	56
6.1 Precipitazioni.....	56
6.2 Temperature.....	57
6.3 Venti.....	58
6.4 Classificazione climatica	60
7 – PIANO DI MONITORAGGIO	72
7.1 Predisposizione ed effettuazione del piano di monitoraggio	72
7.2 Percolato	74
7.3 Acque superficiali e sotterranee.....	74
7.3.1 Sorgenti.....	74
7.3.2 Piezometri	80

7.3.3 Estensione del monitoraggio.....	81
7.4 Modifica dei punti della rete di monitoraggio	83
7.5 Piano di monitoraggio e controllo vigente	84
7.6 Verifica dei parametri chimici delle acque in relazione ai limiti di guardia e ai valori di fondo naturale	92
7.6.1 Considerazioni sulle conclusioni della relazione peritale	94
8 –CARATTERIZZAZIONE CHIMICA ED ISOTOPICA DELLE ACQUE SOTTERRANE E SUPERFICIALI ..	96
8.1 Campionamento ed analisi delle acque – operazioni di campagna	96
8.2 Analisi di laboratorio	96
8.3 Risultati analitici chimici	96
8.4 Risultati analisi isotopiche	97
8.5 Elaborazione e interpretazione dei dati.....	98
8.6 Metodi grafici per rappresentare i dati delle analisi chimiche.	98
8.7 Discussione dei dati chimici.....	100
8.8 Metodi grafici per la rappresentazione dei dati delle analisi isotopiche.	105
8.8.1 Isotopi utilizzati per lo studio delle acque sotterranee.....	105
8.9 Discussione dei dati isotopici	110
9 - MODELLAZIONE SISMICA	113
9.1 Definizione della sismicità di base, regionale e locale	113
9.2 Pericolosità sismica di base.....	121
9.3 Individuazione della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione massima prevista	123
9.4 Coefficiente sismico orizzontale e verticale	131
9.5 Scuotibilità sismica dell'area di Montignoso - Pietrasanta	132
10 – VALUTAZIONE DEI CARICHI IDRICI RACCOLTI DALLA DISCARICA E SULLE MODALITA' DEL LORO SMALTIMENTO.....	133
10.1 Valutazione dei massimi carichi idrici che possono essere intercettati dalla strada di arroccamento interna al sito di discarica	133
10.2 Valutazione dei carichi idrici raccolti dalla discarica nel corso delle varie fasi di lavoro ...	138
11 – CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI PRESENTI IN DISCARICA	147
11.1 Campioni prelevati nel "Lotto B" all'interno di rifiuti misti	148
11.1.1 Analisi granulometrica.....	148
11.1.2 Analisi della frazione fine.....	150
11.1.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande	150
11.1.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006	151
11.1.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche	151
11.1.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio	152
11.2 Campioni prelevati nel "Lotto B" all'interno del rifiuto costituito da marmettola di "marmo-resine"	152
11.2.1 Analisi granulometrica.....	153
11.2.2 Analisi della frazione fine.....	154
11.2.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande	154
11.2.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006	155
11.2.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche	155
11.2.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio	156
11.3 Campioni prelevati nel "Lotto C" all'interno del rifiuto costituito da marmettola di marmo e granito	156

11.3.1 Analisi granulometrica.....	156
11.3.2 Analisi della frazione fine.....	158
11.3.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande.....	158
11.4.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006.....	159
11.4.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche.....	159
11.4.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio.....	160
11.5 Campione prelevato sull'argine del "Lotto C" costituito da marmettola conferita in discarica da diversi anni.....	160
11.5.1 Analisi granulometrica.....	161
11.5.2 Analisi della frazione fine.....	161
11.5.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande.....	162
11.5.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006.....	162
11.5.5 Risultati ottenuti dalla prova edometrica.....	163
11.5.6 Risultati ottenuti dalla prova di taglio.....	163
11.6 Campioni prelevati all'interno delle miscele predisposte nell'impianto autorizzato di Fossadello di Caorso.....	164
11.6.1 Analisi granulometrica.....	164
11.6.2 Analisi della frazione fine.....	165
11.6.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande.....	165
11.6.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006.....	166
11.6.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche.....	166
11.6.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio.....	167
11.7.1 Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti misti presenti all'interno del "Lotto B".....	168
11.7.1.1 Caratteristiche granulometriche.....	168
11.7.1.2 Caratteristiche geotecniche.....	168
11.7.1.3 Risultati della prova penetrometrica statica eseguita precedentemente.....	169
11.7.2 Caratterizzazione geotecnica del rifiuto costituito da marmettola di "marmo-resine" presente all'interno del "Lotto B".....	172
11.7.2.1 Caratteristiche granulometriche.....	172
11.7.1.2 Caratteristiche geotecniche.....	172
11.7.3 Caratterizzazione geotecnica del rifiuto, costituito da marmettola di marmo e granito, presente all'interno del "Lotto C".....	173
11.7.3.1 Caratteristiche granulometriche.....	173
11.7.3.2 Caratteristiche geotecniche.....	173
11.7.3.3 Risultati delle prove penetrometriche statiche eseguite precedentemente.....	174
11.7.4 Caratterizzazione geotecnica del rifiuto a ridosso dell'argine del "Lotto C" (marmettola conferita in discarica da diversi anni).....	182
11.7.4.1 Caratteristiche granulometriche.....	182
11.7.4.2 Caratteristiche geotecniche.....	183
11.7.4.3 Risultati della prova penetrometrica statica eseguita precedentemente.....	184
11.7.5 Caratterizzazione geotecnica delle miscele di rifiuto predisposte nell'impianto autorizzato di Fossadello di Caorso.....	184
11.7.5.1 Caratteristiche granulometriche "Miscela n.1".....	184
11.7.5.2 Caratteristiche granulometriche "Miscela n.2".....	185
11.7.5.3 Caratteristiche geotecniche della Miscela n.1.....	185
11.7.5.4 Caratteristiche geotecniche della Miscela n.2.....	186

1 - INTRODUZIONE

Su incarico di **Programma Ambiente Apuane S.p.A.**, gestore della discarica per rifiuti non pericolosi, in loc. ex Cava Fornace, a confine fra i Comuni di Montignoso (MS) e Pietrasanta (LU), è stata predisposta la presente relazione a corredo dell'**Istanza per rilascio del Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale (PAUR)**, ai sensi del **D.Lgs. 152/2006 art. 27 bis** e **L.R. 10/2010 art. 73 bis**.

Tale istanza si rende necessaria per:

- **il rinnovo dell'Autorizzazione Integrata Ambientale per le fasi di coltivazione n.2 e n.3 previste dal progetto approvato, con variante migliorativa non sostanziale**
- **l'aggiornamento dello Studio di Impatto Ambientale.**

Nell'anno 2011 era già stata predisposta una "Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica" per l'Autorizzazione Integrata Ambientale, successivamente rilasciata con D.D. n.880 del 24/03/2012, integrata dalla D.D. n.3744 del 29/10/2013, dalla Provincia di Massa-Carrara e con D.D. n. 1441 del 26/03/2012, integrata dalla D.D. n. 4570 del 16/10/2013, dalla Provincia di Lucca.

In questa relazione, oltre a riprendere gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici ed idrologici della zona in esame, sono state aggiornate tutte le cartografie relative alla pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica, a corredo degli strumenti urbanistici vigenti nei due comuni in cui ricade la discarica in oggetto.

Oltre a questo sono state verificate le nuove cartografie predisposte per il **Piano di Gestione Rischio Alluvione (PGRA)** e per il **Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI)**, dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Anche tutti i principali dati meteo climatici (piogge, temperature, venti) sono stati aggiornati utilizzando i dati relativi alle stazioni facenti parte della rete di monitoraggio del Servizio Idrologico Regionale (SIR) più vicine al sito di discarica, oltre a quelli forniti direttamente dalla stazione meteorologica installata all'interno dell'impianto.

I nuovi dati hanno permesso di aggiornare anche il bilancio idrogeologico del bacino che sottende l'area di discarica.

Sono stati valutati tutti i dati freaticometrici che, con le misure piezometriche effettuate, hanno consentito di escludere variazione nella direzione e nel verso di flusso delle acque sotterranee, rispetto alle carte delle isopieze ricavate precedentemente; anche i risultati delle analisi chimiche eseguite sulle acque facenti parte della Rete di Monitoraggio e Controllo, in circa 14 anni di attività dell'impianto non hanno evidenziato anomalie idrochimiche significative.

Inoltre, a seguito dell'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018) sono state verificate eventuali variazioni rispetto a quelle precedenti (NTC2008).

Infine, sulla base dei nuovi dati pluviometrici e delle planimetrie ricavabili dalle tavole di progetto, sono stati valutati i carichi idrici raccolti dalla discarica nel corso delle varie fasi di lavoro e le loro modalità di stoccaggio e smaltimento (fase II e fase III).

2 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO

2.1 Inquadramento geomorfologico

Il sito in oggetto è situato all'interno dell'ex cava Viti ed è delimitato verso Sud-Ovest dalla Strada Statale Aurelia n.1, che lo separa dall'area di colmata dell'ex-Lago di Porta.

In passato l'area è stata sede di una cava di inerti che, essendo coltivata "a pozzo", ha creato una profonda depressione con pareti sub-verticali e forma pressoché ellittica, il cui sviluppo ha direzione Sud Est-Nord Ovest.

La presenza di un potente diaframma roccioso impedisce che l'area, attualmente occupata dalla discarica, possa essere vista dalla S.S. n.1 Aurelia.

Il versante collinare posto a ridosso del sito di discarica è sufficientemente regolare ed ha una pendenza media pari a circa il 30%, cui corrisponde un angolo del pendio di 17 gradi.

Immediatamente a monte del sito in oggetto è presente quello che resta di un'antica cava di argilla, che veniva prelevata e portata presso una vicina fornace per essere trasformata in mattoni ed altri manufatti in terracotta; l'asportazione di questo materiale ha comportato la creazione di una depressione che i proprietari del terreno, in base ad un progetto di ripristino ambientale, hanno trasformato in "oliveto".

Il pendio suddetto non presenta forme morfologiche particolari e, pur riconoscendo nell'intorno dell'area le tracce di passati eventi gravitativi, che ne hanno modificato l'aspetto, la zona è complessivamente stabile.

Tutta l'area sovrastante la discarica è interessata da un esteso e potente deposito detritico superficiale, formato da argille residuali, originatosi dall'alterazione del substrato roccioso, costituito da Calcare Cavernoso e Calcari e marne a Rhaetavicula contorta.

In corrispondenza di quest'area e nel suo intorno, sono stati notati molteplici segni di erosione superficiale prodotta dal ruscellamento diffuso delle acque meteoriche, provenienti dal versante, e da quelle intercettate dalle opere antropiche presenti a monte, come Via Palatina e alcuni fabbricati di civile abitazione.

La particolare conformazione ad impluvio del pendio sovrastante facilita la raccolta ed il convogliamento delle acque nelle opere idrauliche già realizzate per il loro allontanamento, sia a ridosso che all'interno dell'area di discarica.

Di seguito si allegano gli stralci della "Carta geomorfologica" allegata al Piano Operativo del Comune di Montignoso e della "Carta geomorfologica" allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.



LEGENDA

Forme, Processi e Depositi dovuti alla Gravità

Frane	
a1a - attiva	a1q - quiescente
frana con tipo di movimento indeterminato	
Depositi	
	aa depositi di versante

Forme, Processi e Depositi dovuti alle acque superficiali

Depositi	
	b - depositi alluvionali attuali
	bna - depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
	bnb - depositi alluvionali terrazzati
	conoide
	e2a - depositi lacustri

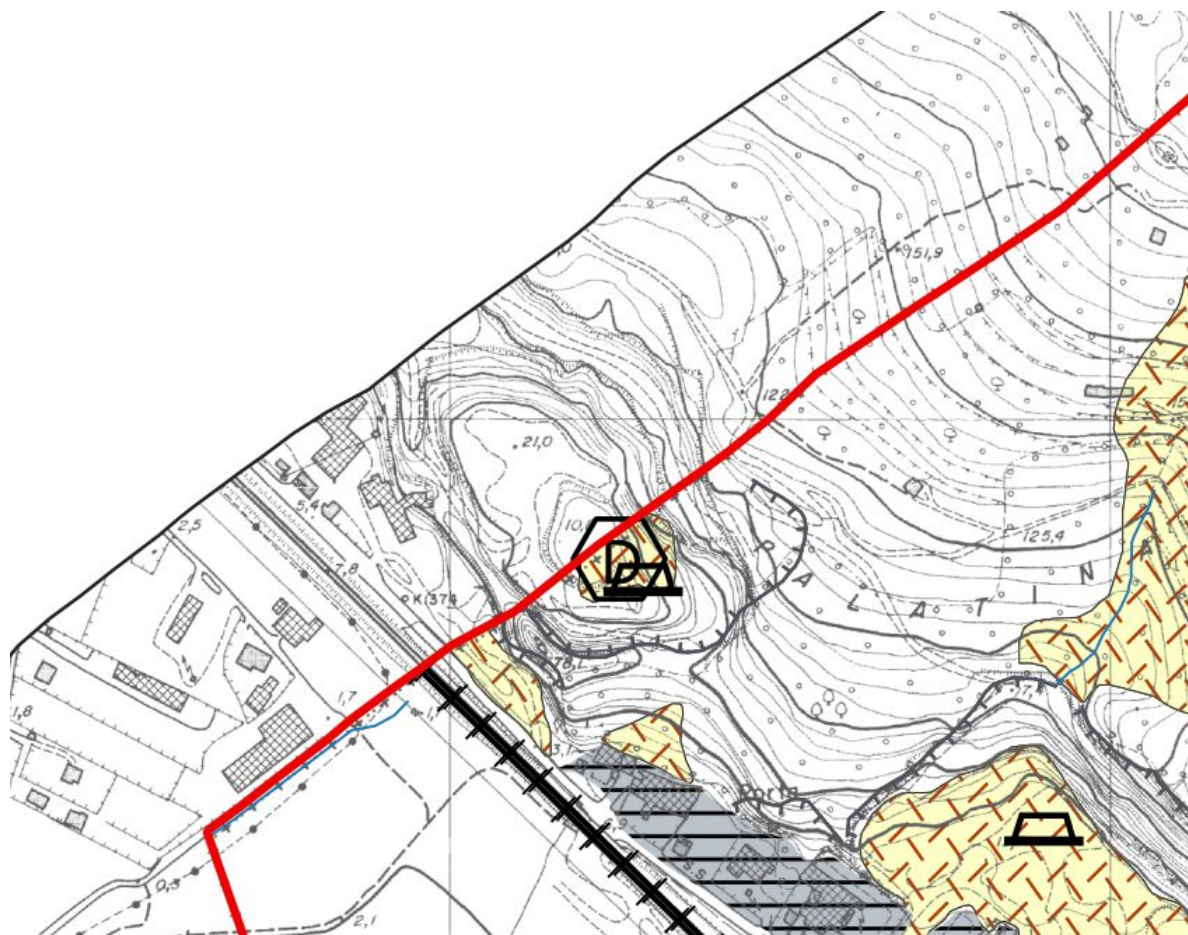
Forme

	sorgenti
	reticolo idrografico superficiale
	reticolo idrografico tombato

Forme

	cave inattive
	cava adibita a scarica
	orlo di scarpata di cava

Fig. n.2.1 - Stralcio fuori scala della "Carta geomorfologica", allegata al Piano Operativo del Comune di Montignoso



Legenda

Forme, processi e depositi dovuti alla gravità


Depositi

 Depositi di Versante

Forme, processi e depositi dovuti ad attività antropica

 Orli di scarpata

 Rilevato ferroviario in rilevato

 Aree estrattive s.l.

 Superfici di sbancamento

 discarica

Fig. n.2.2 - Stralcio fuori scala della "Carta geomorfologica", allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta

2.2 Inquadramento geologico

Per definire i caratteri geologici dell'area in esame, oltre ad utilizzare la bibliografia esistente, con particolare riferimento a quella prodotta dal Dott. Geol. Rinaldo Musetti nell'anno 1996, e le cartografie allegate al "Piano Operativo" del Comune di Montignoso e al "Piano Strutturale" del Comune di Pietrasanta, è stato eseguito, in un intorno significativo, un rilevamento di superficie finalizzato all'individuazione delle diverse litologie.

Il rilevamento geologico ha confermato che la successione affiorante all'interno del sito di discarica risulta essere quella di seguito descritta (vedi Fig. n.2.5).

Calcare Cavernoso

I rapporti di sovrapposizione tra le Unità metamorfiche e la Falda Toscana sovrascorsa, si realizzano tramite l'orizzonte del cosiddetto "Calcare Cavernoso".

Si tratta di una formazione eterogenea, che si presenta come una breccia costituita da elementi per lo più dolomitici, con cemento calcareo.

Sulla genesi del Calcare Cavernoso ci sono varie ipotesi, quelle attualmente più accreditate sono le seguenti:

- Breccia legata a fessurazione idraulica di un'originaria alternanza di gessi evaporatici e dolomie. Infatti ad alte temperature, come quelle subite durante il sovrascorrimento della Falda Toscana, il gesso si disidrata ed i fluidi che ne derivano fratturano le dolomie. Successivamente avviene la ricementazione.
- Breccia legata anche a cataclasi tettonica. Infatti accanto a clasti dolomitici e calcareo-dolomitici, derivanti dai depositi evaporitici originari, si ritrovano calcari derivanti dalle formazioni sovrastanti (come quelli di colore grigio scuro del tutto simili al Calcare a Rhaetavicula contorta individuati nella zona settentrionale dell'ex cava).

Appare, invece, meno realistica l'ipotesi di una Breccia autoclastica derivante da un'originale alternanza di anidride e dolomia.

Con questa interpretazione si riteneva che la dolomia si fosse brecciata per l'aumento di volume causato da infiltrazione di acque meteoriche, poi ricementata.

Tale supposizione non può essere ritenuta valida, in quanto difficilmente le anidridi potrebbero costituire un sedimento evaporitico primario, visto che si formano ad alte temperature.

Deve essere scartata anche l'ipotesi di breccia sedimentaria, in quanto da studi isotopici condotti sul cemento di queste brecce, risulta che non si tratta di carbonati marini.

La datazione classica delle brecce calcareo-dolomitiche, per la mancanza di forme fossili, viene ottenuta in base alla posizione stratigrafica.

La formazione in oggetto è sovrastante l'Unità parautoctona denominata Unità di Massa, rappresentata da una sequenza litologica di tipo "verrucano s.l." e datata al Ladinico-Carnico.

Al tetto affiorano invece i calcari del Retico, per cui la formazione è stata datata al Norico-Retico **pro** (Trevisan, Dallan, Federici, Giglia, Nardi, Raggi, 1971).

Quanto sopra è stato confermato dai vari sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti all'interno e all'esterno del sito di discarica, che hanno messo in evidenza la natura calcarea e le caratteristiche tipiche della breccia di questo litotipo.

In corrispondenza del confine superiore della proprietà è stato individuato, durante la perforazione del piezometro denominato Pz10, alla profondità di 115 metri, il "passaggio" tra il calcare cavernoso ed il sottostante verrucano s.l.

Nelle sezioni geologiche interpretative allegate la potenza del deposito, in corrispondenza del fondo della discarica, è stato stimato unendo il punto di contatto tettonico tra il Calcare Cavernoso ed il verrucano s.l., rilevato in prossimità di Via Palatina, ed il passaggio sopra descritto (Fig. n.2.6, n.2.7 e n.2.8).

Calcare a Rhaetavicula contorta

Affiora estesamente nel settore Nord-Est della ex cava, composto da calcari di colore grigio scuro o neri, alternati da più rari livelli di marne grigio scure che mostrano un'alterazione giallastra in superficie.

La giacitura media della stratificazione risulta N135, 42SW.

Lo spessore dei livelli calcarei, spesso interessati da vene di calcite secondaria, risulta dell'ordine di un metro; bancate di spessore maggiore, a volte superiore ai 2m assumono un aspetto del tutto simile al calcare massiccio.

Questi grossi banchi, all'interno dei quali il calcare si presenta leggermente ricristallizzato, diventano più frequenti nella parte alta della formazione, dove si nota anche una riduzione negli spessori e nella frequenza delle intercalazioni marnose.

Quando le marne mancano del tutto, non è immediato il riconoscimento del limite tra la formazione in esame ed il soprastante Calcare massiccio, data la simile colorazione al taglio fresco (grigio scuro). I calcari, proprio per la presenza di Rhaetavicula contorta, a cui si associa una ricca fauna ad ammoniti, brachiopodi ecc., ampiamente documentata in bibliografia, sono di datazione certa del Retico.



LEGENDA

Forme, Processi e Depositi dovuti alla Gravità

Frane	
a1a - attiva	a1q - quiescente
frana con tipo di movimento indeterminato	
Depositi	
	aa depositi di versante

Forme, Processi e Depositi dovuti alle acque superficiali

Depositi	
	b - depositi alluvionali attuali
	bna - depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
	bnb - depositi alluvionali terrazzati
	conoide
	e2a - depositi lacustri

Forme

	sorgenti
	reticolo idrografico superficiale
	reticolo idrografico tombato

Forme

	cave inattive		orlo di scarpata di cava
	cava adibita a discarica		

Falda Toscana

	RET - Calcari a Rhaetavicula Contorta - calcari, calcari dolomitici e dolomie con sottili intercalazioni di marne. Generalmente nella parte inferiore prevalgono calcari, calcari dolomitici e dolomie grossolanamente stratificati, cui seguono calcilutiti nere alternate con sottili livelli di marne grigio scure a patina d'alterazione giallastra. <i>Retico</i>
	CCA - Calcare Cavernoso - calcari dolomitici e dolomie grigie brecciate e con struttura a "cellette" e dolomie cariate. <i>Trias sup.</i>

Fig. n.2.3 - Stralcio fuori scala della "Carta geomorfologica", allegata al "Piano Operativo del Comune di Montignoso




Forme, processi e depositi dovuti alla gravità

Depositi

 Depositi di Versante

Falda Toscana

 CCA - Calcare cavernoso.
Calcarei dolomitici e dolomie grigie brecciate e con struttura a "cellette" e dolomie cariate (carniole).
(Dolomie di Coregna). Trias sup.

Forme, processi e depositi dovuti alle acque superficiali


Depositi

 e3a - Depositi palustri. Olocene

Forme, processi e depositi dovuti ad attività antropica

 Orli di scarpata

 Rilevato ferroviario in rilevato

 Aree estrattive s.l.

 Superfici di sbancamento





 discarica

Fig. n.2.4 - Stralcio fuori scala della "Carta geologica_Geomorfologica", allegata al "Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta

CARTA GEOLOGICA



Legenda

QUATERNARIO


-  Depositi di colmata limo argillosi e torbosi
-  Alluvioni recenti sabbioso-limose e ghiaiose
-  Terreni di copertura limoso-argillosi

SUCCESSIONI TOSCANE

Falda Toscana

-  **Cr** Calcari a Rhaetavicula contorta; calcari neri o grigio scuri, alternati da livelli di marne grigio scure.
Età: Retico
-  **Tcv** Calcari cavernosi (Auctt.); formazione eterogenea costituita da dolomie e calcari dolomitici brecciati con breccie poligeniche associate.
Età: Norico-Retico

UNITA' DI MASSA

-  **Vr** Filladi quazitico-muscovitiche più o meno cloritiche con intercalazioni di quarziti e quarziti sericitiche
Età: Trias inf.



Scaturigini note

Giacitura delle stratificazioni

-  Direzione, inclinazione e immersione degli strati

Contatti tettonici e stratigrafici




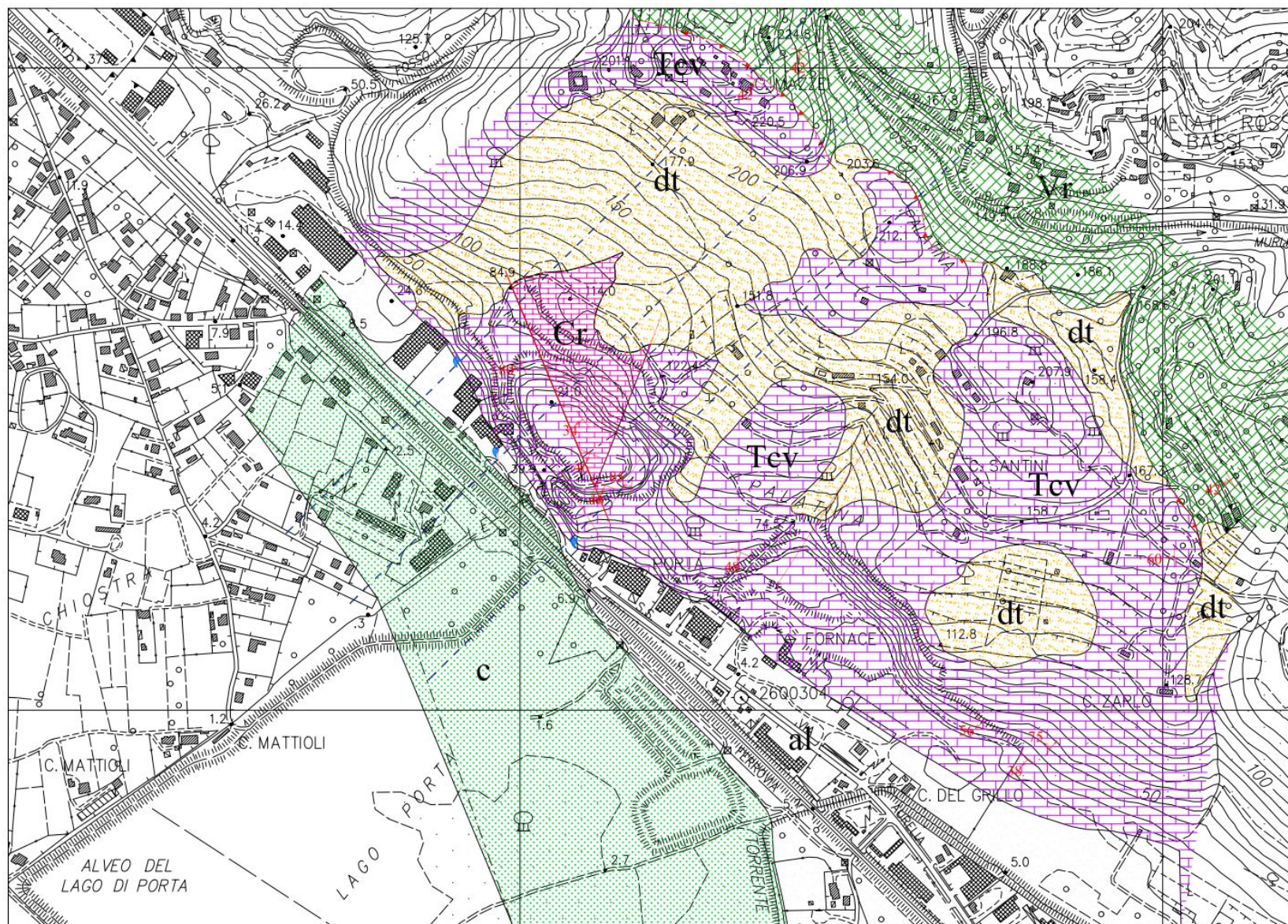
-  Limite di sovrascorrimento tettonico
-  Lineazioni principali (faglie)
-  Limite formazionale





Fig. n.2.5 - "Carta geologica"





Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

LEGENDA


QUATERNARIO





-  Materiali di riporto
-  Detrito di copertura (argille rosse residuali)
-  Depositi argillo-limosi con livelli torbosi
-  Alluvioni recenti limo-sabbiose e ghiaiose

SUCCESSIONE TOSCANA

-  Calcari e marne a Rhaetavícula contorta
-  Calcare cavernoso

UNITA' DI MASSA

-  "verrucano s.l."

-  Sovrascorrimento - tettonica duttile
-  Discontinuità - tettonica fragile
-  Contatto presunto
-  Superficie piezometrica

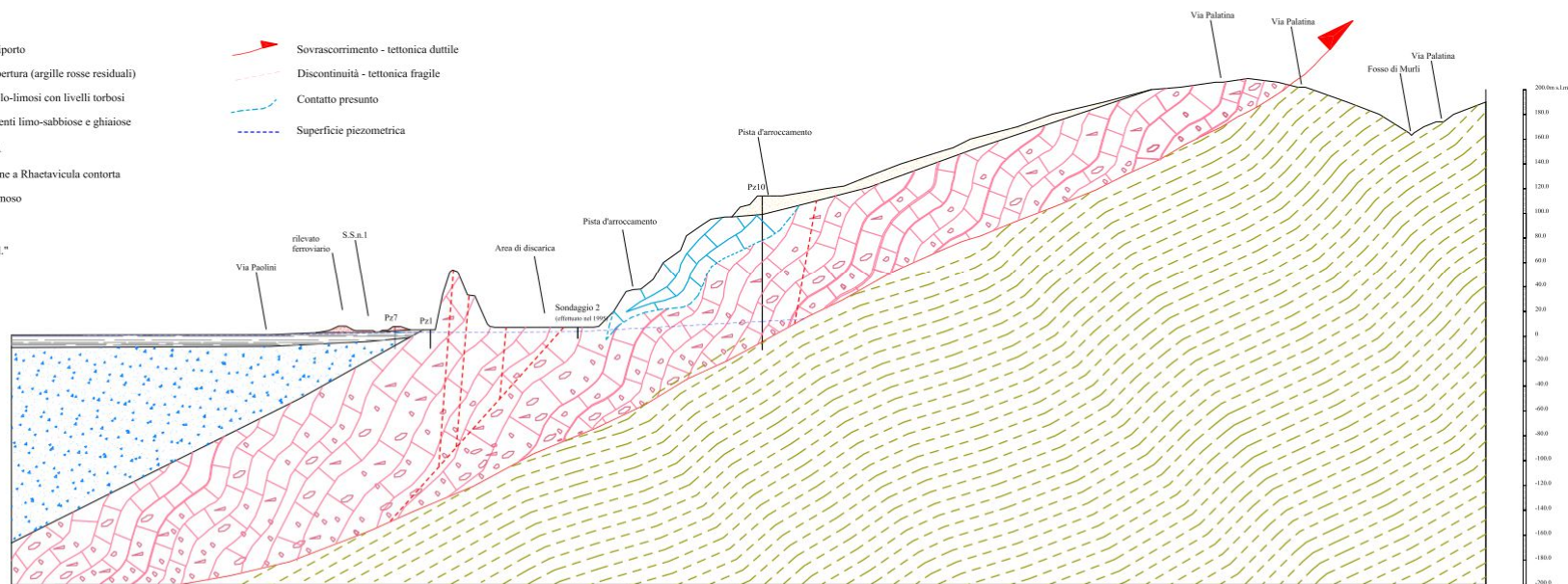






Fig. n.2.7 – Sezione geologica interpretativa 2-2'

LEGENDA


QUATERNARIO




-  Materiali di riporto
-  Detrito di copertura (argille rosse residuali)
-  Depositi argillo-limosi con abbondanti livelli torbosi
-  Alluvioni recenti limo-sabbiose e ghiaiose

SUCCESSIONE TOSCANA

-  Calcare cavernoso

UNITA' DI MASSA

-  "verrucano s.l."

-  Sovrascorrimento - tettonica duttile
-  Discontinuità - tettonica fragile
-  Superficie piezometrica

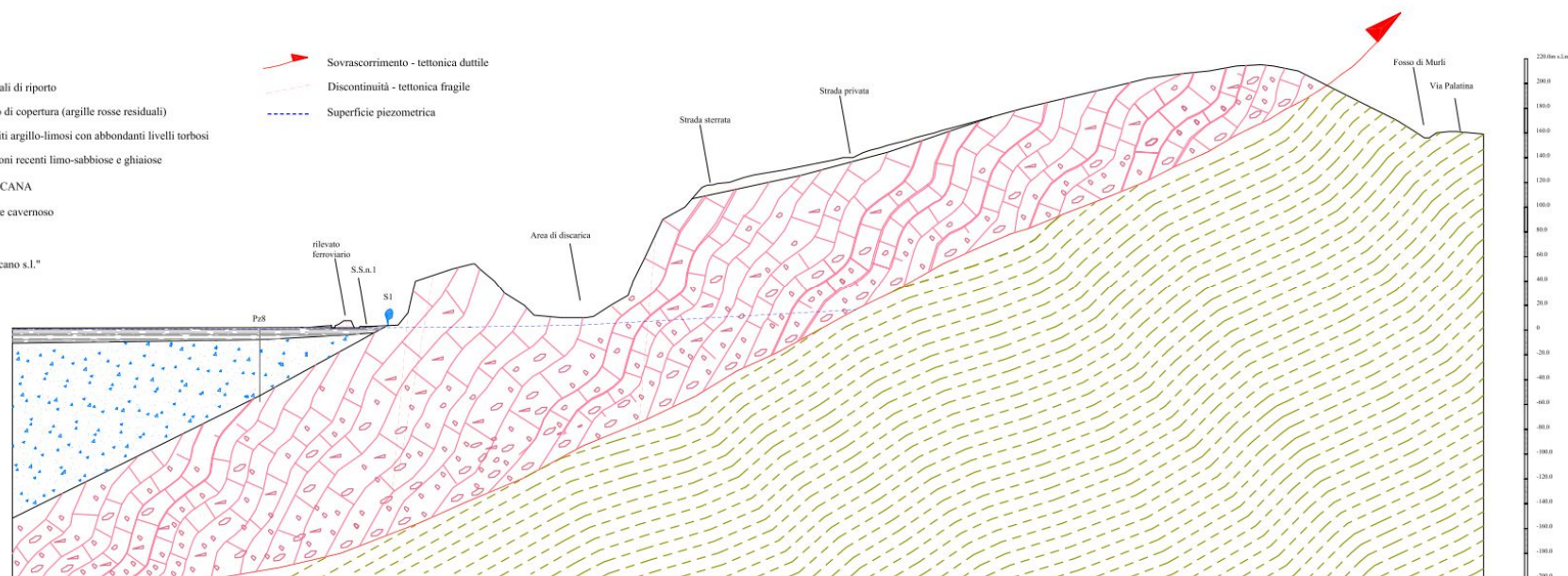
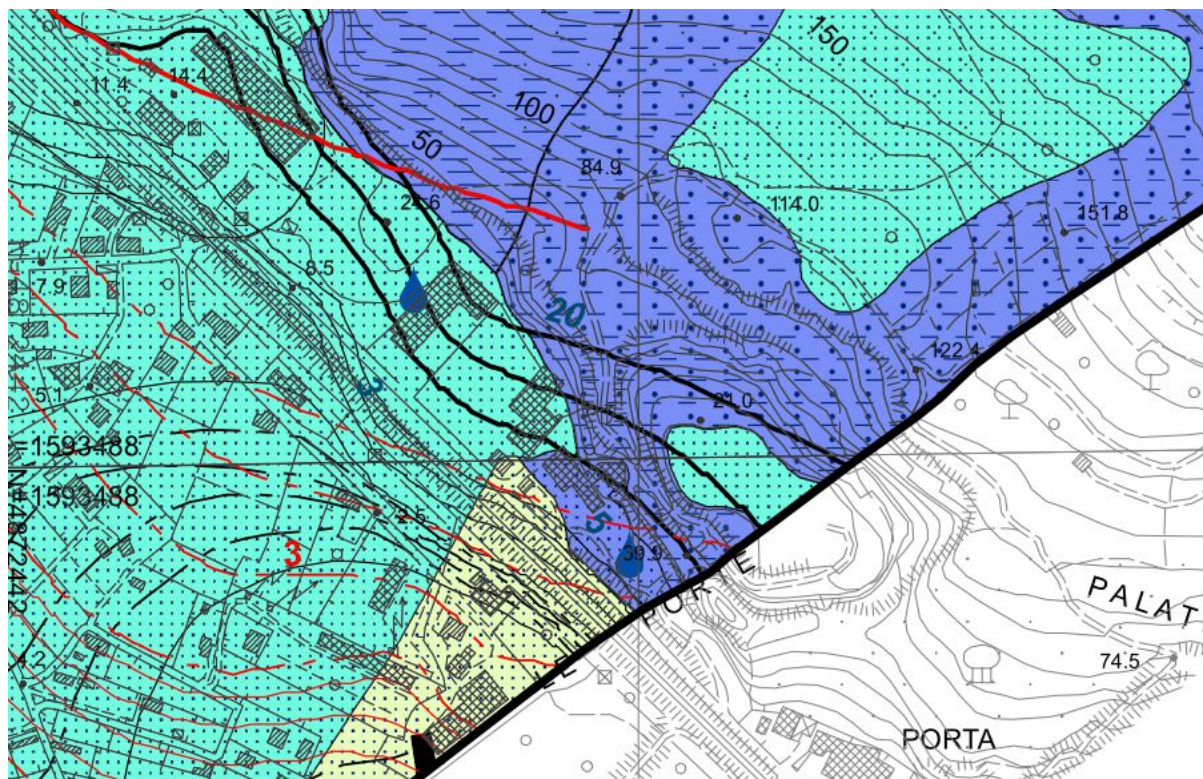


Fig. n.2.8 – Sezione geologica interpretativa 3-3'

2.3 Idrogeologia

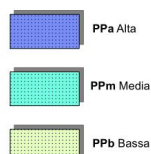
Da un'attenta analisi della documentazione fin qui prodotta emerge che l'assetto idrogeologico dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di diversi sistemi di circolazione idrica, ubicati all'interno di differenti litologie:

- sistemi di circolazione all'interno delle litologie carbonatiche
- sistemi di circolazione nei depositi alluvionali, lacustri e palustri che costituiscono la piana sottostante (piana apuo-versiliese).

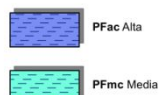


LEGENDA

Depositi permeabili per porosità



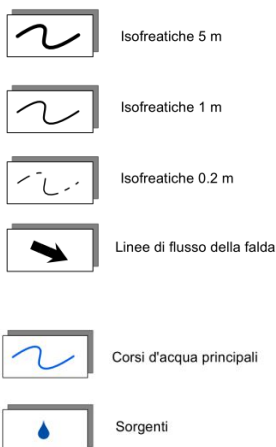
Rocce permeabili per fratturazione crescente



Rocce e Depositi permeabili a permeabilità mista



Scenario di morbida (Aprile)



Scenario di magra (Settembre)

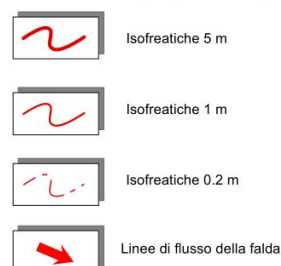


Fig. n.2.9 - Stralcio fuori scala della "Carta idrogeologica", allegata al "Piano Strutturale del Comune di Montignoso

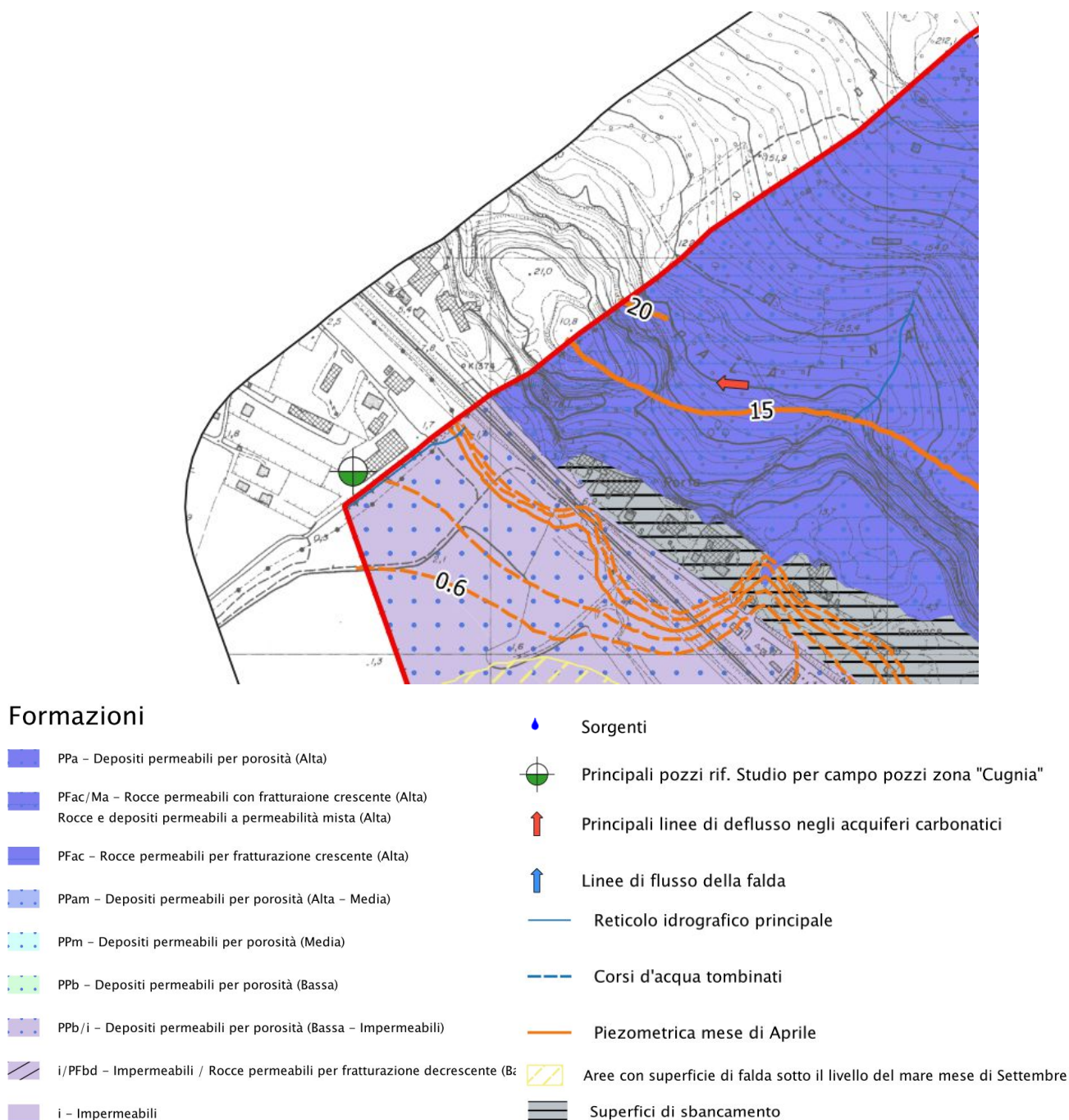


Fig. n.2.10 - Stralcio fuori scala della "Carta idrogeologica", allegata al "Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta"

2.3.1 Caratteristiche idrogeologiche dei complessi carbonatici

Le litologie carbonatiche che costituiscono il versante su cui è stata realizzata la discarica in oggetto sono caratterizzate da una fitta rete di sistemi di discontinuità meccaniche, connessi ai principali allineamenti strutturali locali e alle fasi deformative minori, che conferiscono ai calcari una discreta permeabilità secondaria per fratturazione.

Le caratteristiche di permeabilità di questo complesso, in corrispondenza del sito dell'area di discarica, sono state indagate con prove di permeabilità, effettuate in tempi diversi, che hanno fornito i seguenti valori dei coefficienti di permeabilità:

- studio GeoConsult, La Spezia 1983: prove Lefranc (a carico variabile), eseguite all'interno di un sondaggio appositamente realizzato nell'area di cava, hanno fornito un valore di $k=1.3 \times 10^{-5}$ m/sec
- indagini di progetto, 1995-96: prove di permeabilità, eseguite all'interno dei fori di sondaggio, hanno fornito un valore medio di $k=3.2-4.9 \times 10^{-5}$ m/sec.
- nuove indagini commissionate da Programma Ambiente Apuane alla Geoser, (luglio 2006): prove di permeabilità, eseguite all'interno di fori di sondaggio, hanno fornito i seguenti valori
 - $k=3.5 \times 10^{-6}$ m/sec - profondità di 7.5m dal p.c.
 - $k=3.1 \times 10^{-6}$ m/sec - profondità di 10.5m dal p.c.
 - $k=2.5 \times 10^{-6}$ m/sec - profondità di 22.0m dal p.c.
 - $k=1.3 \times 10^{-5}$ m/sec - profondità di 30.0m dal p.c.

Le ultime prove del 2006 sono state eseguite durante la perforazione dei sondaggi geognostici, a profondità variabili, ma entro i 10-30m di profondità (corrispondenti a quelle massime raggiunte dai sondaggi).

Pertanto i valori riportati sono da considerare come valori medi, condizionati dal comportamento maggiormente permeabile dei livelli più superficiali del complesso roccioso carbonatico.

La misura dei livelli idrici nei piezometri, appositamente realizzati, all'interno ed all'esterno del sito in oggetto per la predisposizione del progetto di discarica, hanno evidenziato la presenza di acqua alla profondità di 4.0-5.0m dal piano inferiore di scavo della ex Cava Viti.

Le campagne di misure piezometriche, condotte dallo scrivente, a partire dal mese di agosto 2007, hanno permesso una migliore ricostruzione della direzione e verso di flusso della falda superficiale, in parte già individuata nei tratti principali da studi precedenti (vedi Fig. n.2.12 e n.2.13)

Il complesso carbonatico è caratterizzato dalla presenza di due sorgenti, denominate " S1" e "S3", che vengono a giorno all'esterno dell'area di discarica, in corrispondenza del contatto fra il versante roccioso ed i depositi alluvionali, lacustri-palustri che caratterizzano la piana versiliese.

2.3.2. Determinazione della velocità di filtrazione nell'acquifero carbonatico

Per quanto riguarda la velocità di filtrazione nell'acquifero carbonatico, si riferisce quanto contenuto nella "Relazione geologico-tecnica finalizzata alla determinazione del grado di idoneità del sito 52 (Comune di Montignoso) allo stoccaggio di materiale di rifiuto", eseguito dalla Geoconsult-La Spezia s.c.r.l. per conto della Comunità Montana delle Apuane, nell'anno 1983.

In questa relazione, a pagina 4 - §2.3, viene evidenziato l'esito di una prova di tracciamento con fluorescina, condotta tra un sondaggio posto all'interno dell'attuale area di discarica e la sottostante Sorgente S1.

La prova è stata eseguita immettendo fluorescina nel sondaggio e installando alla sorgente un fluorocaptore (rilevatore di fluorescina), sul quale sono stati effettuati i controlli nel tempo.

L'esito di tale indagine non ha rilevato la presenza di fluorescina nella sorgente, indicando "*un basso grado di diffusione di liquidi nel sottosuolo*" (vedi conclusioni della sopra citata relazione).

Le prove di permeabilità in foro, riassunte al paragrafo precedente, hanno fornito valori dei coefficienti di permeabilità, pur variabili a seconda della profondità a cui sono state eseguite le prove, molto simili.

In base alle misure eseguite durante il monitoraggio effettuato nel periodo agosto 2007-agosto 2008, sui piezometri Pz10, ubicato a monte del sito di discarica, e Pz1, posto a valle delle Rupi di Porta, è risultato che la differenza di quota della falda fra i due punti di misura è di circa 7.3 metri; tale valore è stato confermato anche dalle ultime misure piezometriche eseguite nell'anno 2022.

Dato che la distanza fra i due piezometri è di 257m (vedi Fig. n.2.11), si ricava un gradiente idraulico *i pari a 0.028372*, che moltiplicato per i valori di permeabilità media rilevati fornisce la velocità con cui l'acquifero si muove all'interno del circuito carbonatico.

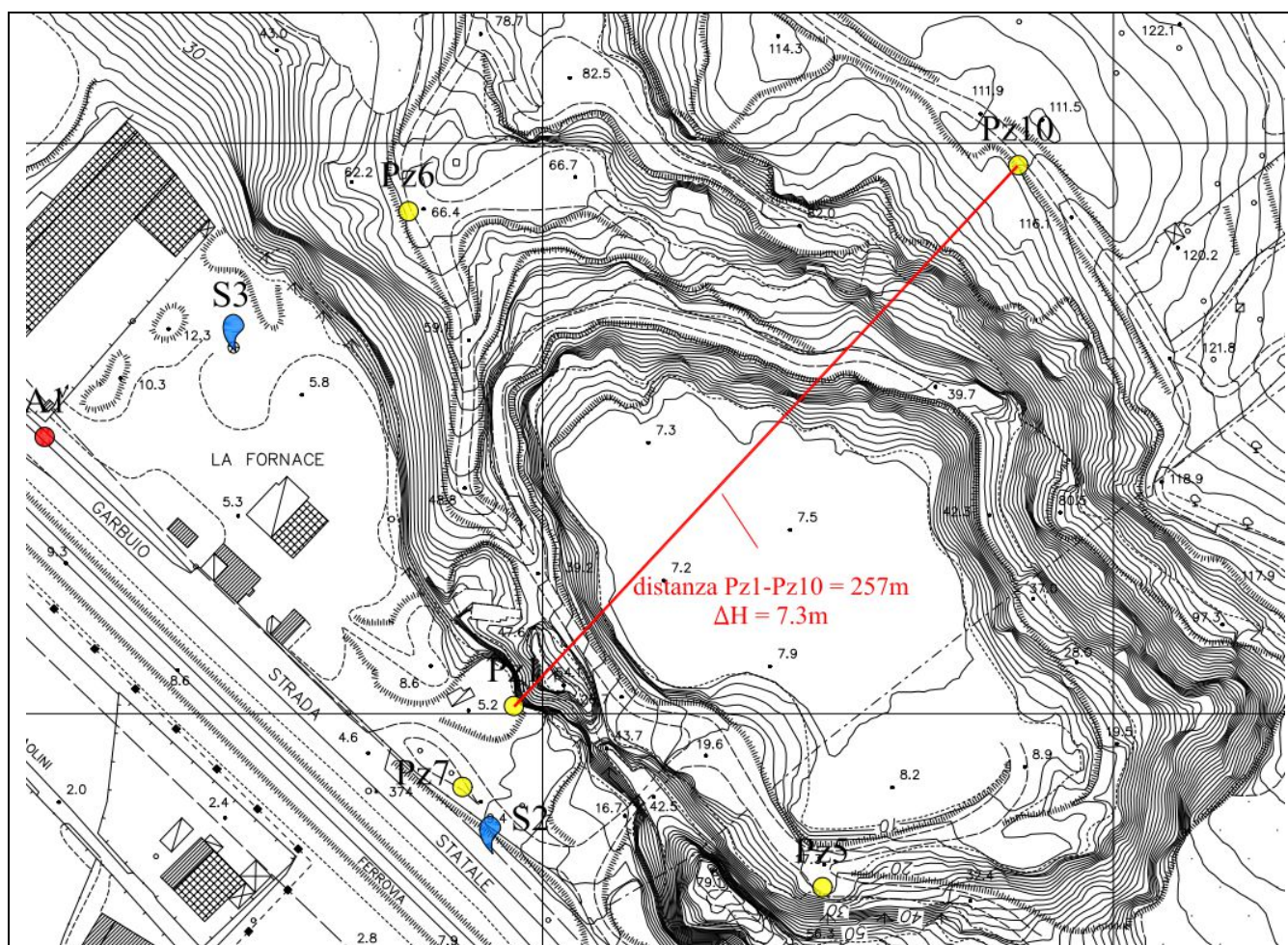


Fig. n.2.11 – Distanza e dislivello fra la quota s.l.m. della falda nei due punti di misura utilizzati per la valutazione del gradiente idraulico

Tali valori, variabili in funzione della permeabilità rilevata, sono risultati:

○ $v=3.69 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ (GeoConsult)

○ $v=1.15 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ (valore medio ottenuto dalle Indagini a corredo del progetto Ri.Ma.Vi.)

- $v=3.69 \times 10^{-7}$ m/sec (ottenuto utilizzando il valore di permeabilità più alto delle prove eseguite dalla Geoser)

Da questi valori di velocità emerge che un eventuale tracciante immesso all'interno del piezometro Pz10 impiegherebbe un tempo molto lungo, sempre superiore a 7 anni, per raggiungere Pz1.

Nonostante la bassa velocità di filtrazione nell'acquifero carbonatico, in oltre 14 anni di attività dell'impianto non è mai stato riscontrato nessun problema ambientale, quali contaminazioni delle acque della sorgente S1, posta a valle della discarica, e della falda di pianura, anche nel periodo in cui il fondo della discarica non era impermeabilizzato come richiesto dal D.lgs. n.36/2003.

2.3.2 Caratteristiche idrogeologiche dei complessi alluvionali della piana versiliese

La piana costiera apuo-versiliese è costituita da una potente serie di depositi di origine fluviale, lacustre e marina, formati per il progressivo abbassamento del margine esterno dei rilievi apuani, a causa di una fase tettonica distensiva, prodotta da faglie dirette a direzione appenninica.

Allo sbocco in pianura dei corsi d'acqua si sono formati ingenti accumuli di sedimenti grossolani, prevalentemente ghiaiosi, organizzati in ampi apparati di conoide che, verso la parte centrale della piana si immergono al di sotto di sedimenti palustri più recenti.

I depositi alluvionali della pianura (Pleistocene) sono stati abbandonati dalle aste idriche principali (Torrente Montignoso e Rio Strettoia) e si sono formati in condizioni climatiche diverse dalle attuali, quando vi era una maggiore piovosità e quindi anche maggior trasporto solido assumendo, in corrispondenza dello sbocco in pianura, la tipica forma a ventaglio dei conoidi di deiezione fluviali.

Il contesto idrogeologico dell'area di pianura è caratterizzato da sistemi di circolazione idrica sotterranea, ubicati prevalentemente all'interno dei livelli a granulometria grossolana, talora caratterizzati da frequenti intercalazioni argillo-limo-sabbiose.

Le stratigrafie di pozzi perforati in località Cugnia, nel Comune di Pietrasanta, in località Renella, nel Comune di Montignoso e di tutti quelli perforati per il Piano di Monitoraggio e Controllo o censiti nel tratto di pianura compreso tra le località Cugnia e Renella, confermano come, a poco più di 200m dai rilievi collinari, la successione alluvionale mostri uno spessore sicuramente superiore a 90m e sia caratterizzata da alternanze di depositi fini argillo-limosi con ghiaia e ghiaietto.

L'unica diversità riscontrata, in questo tratto di pianura, è legata alla presenza dei depositi lacustri e palustri dell'ex Lago di Porta.

Infatti, in questa zona, i depositi alluvionali dei corsi d'acqua che scendono dalle località di Strettoia e di Montignoso sono ricoperti da spessori di circa 15m di limi argillosi con resti organici.

Dal monitoraggio eseguito sui pozzi censiti nella pianura antistante la discarica, integrati con piezometri fatti realizzare appositamente da Programma Ambiente Apuane S.p.A., è stato possibile ricostruire una carta delle isofreatiche che ha consentito di individuare la possibile direzione e verso di flusso delle acque sotterranee e la presenza, nella parte di pianura indagata, di due "aree" separate da un alto piezometrico.

Le due aree sono quelle della località Renella, nel Comune di Montignoso, e di Montiscendi - Centoquindici, nel Comune di Pietrasanta.

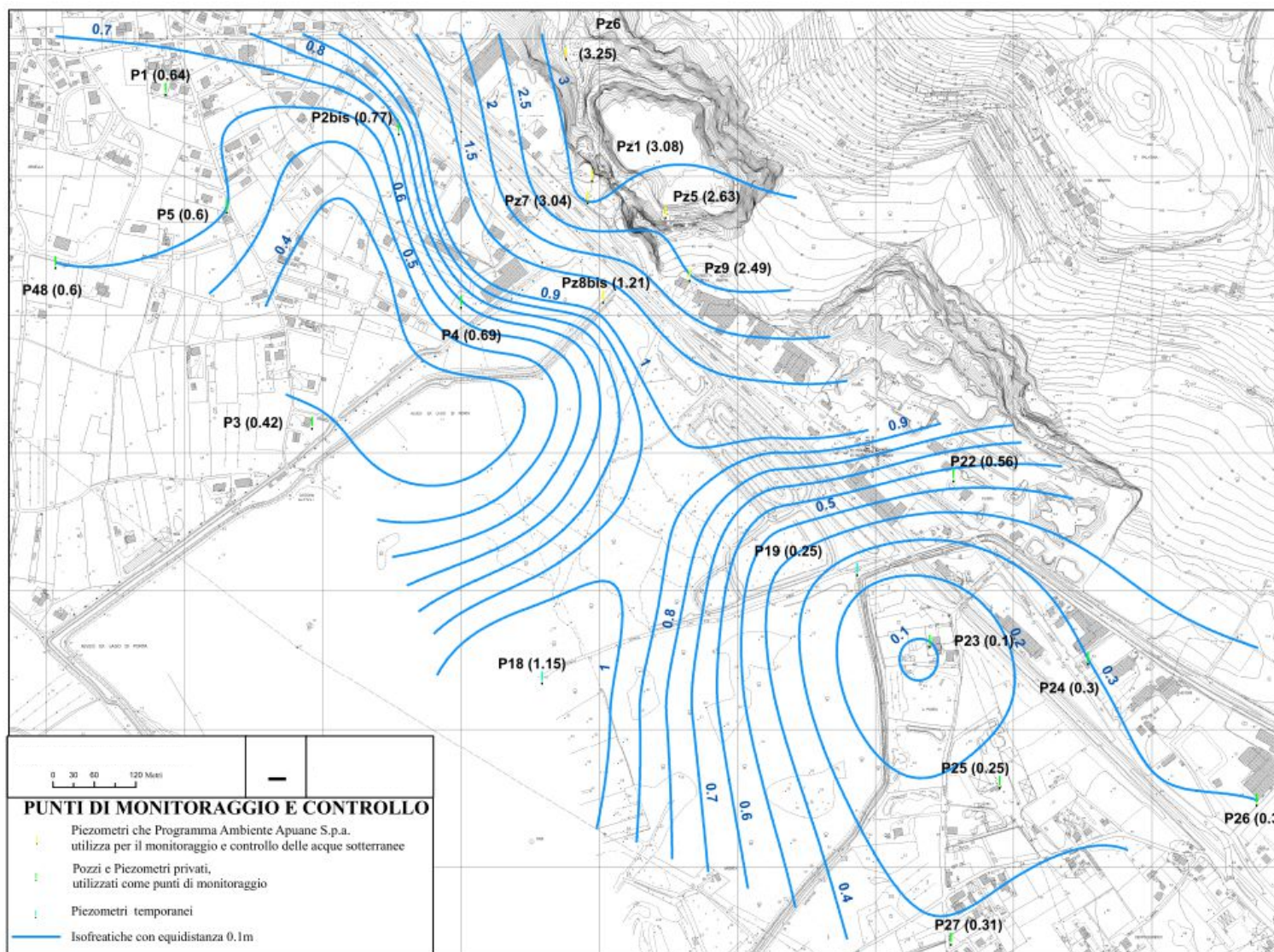


Fig. n.2.12 – Carta isofreatiche ottobre 2007

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

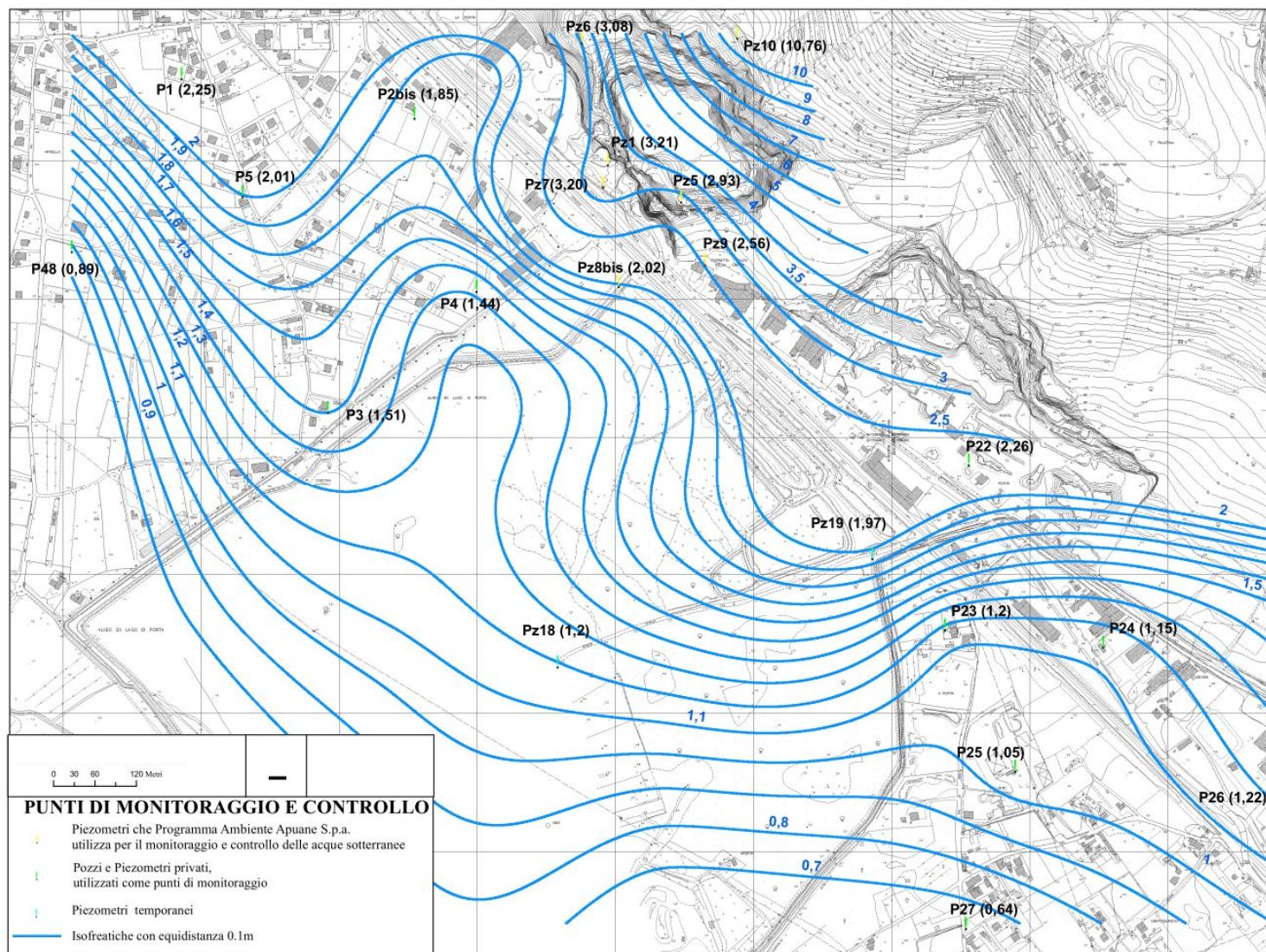


Fig. n.2.12 – Carta isofreatiche maggio 2008

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Dalle prime interpretazioni l'alto piezometrico corrisponde alla zona dei terreni di colmata dell'ex Lago, in cui le acque, provenienti dalla Fossa Fiorentina e dalle sorgenti di Porta, per la presenza di sedimenti limo argillosi e torbosi a bassa permeabilità, non riescono a defluire velocemente verso le aste idriche di drenaggio presenti nell'intorno.

Oltre questa fascia centrale sono state individuate due direzioni preferenziali dei flussi idrici sotterranei, con andamento Nord Ovest - Sud Est e Nord Est – Sud Ovest (vedi successiva Fig. n.2.14).

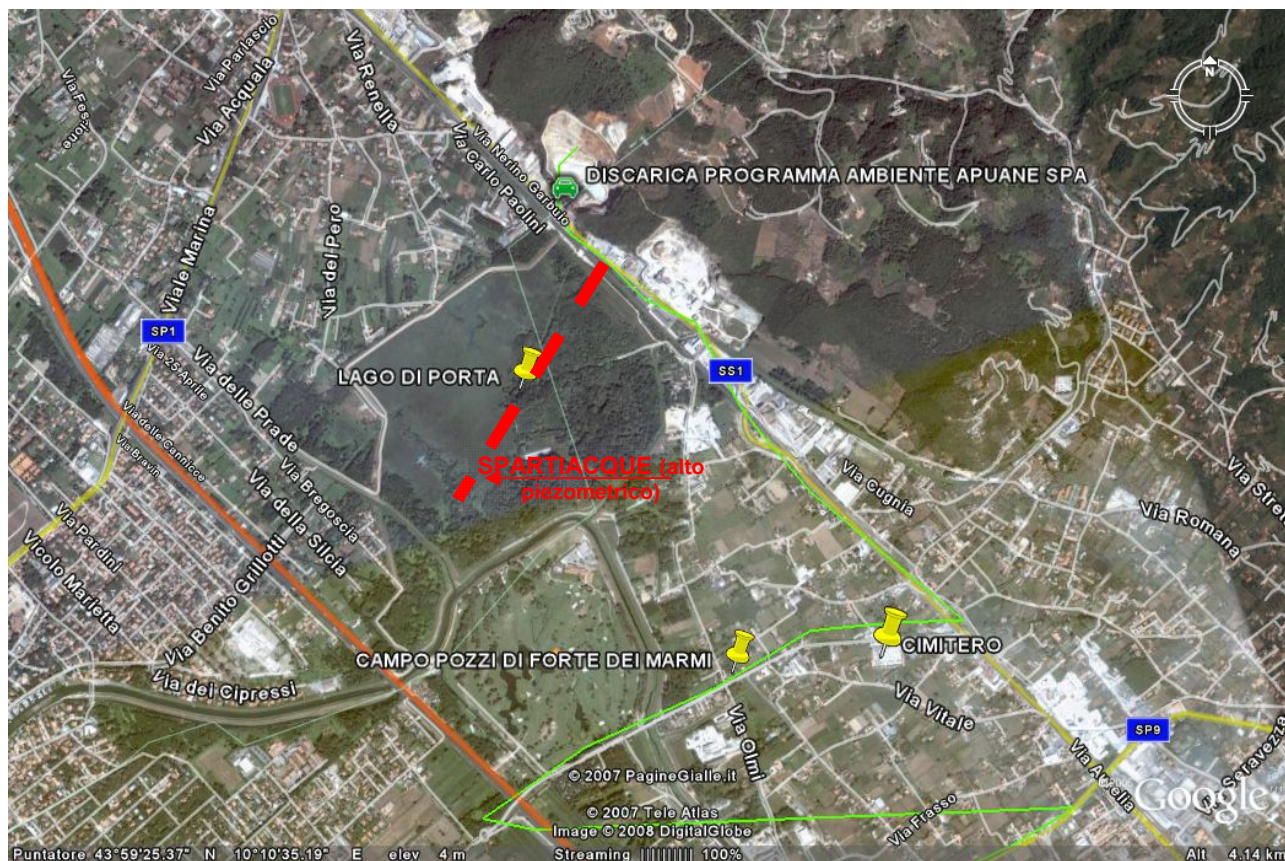


Fig. n.2.14 – Foto aerea con ubicazione della discarica, del Lago di Porta e degli altri siti d'interesse.

Dalle misure piezometriche eseguite durante la campagna di monitoraggio nel mese di novembre 2022 sui punti facenti parte della rete di controllo è stata ricavata la carta delle isopieze, di seguito riportata, che mette in evidenza la direzione ed il verso di scorrimento delle acque sotterranee, relativamente all'area di discarica.

Come si può osservare da tale cartografia, i dati del monitoraggio piezometrico confermano l'andamento già ricavato precedentemente.

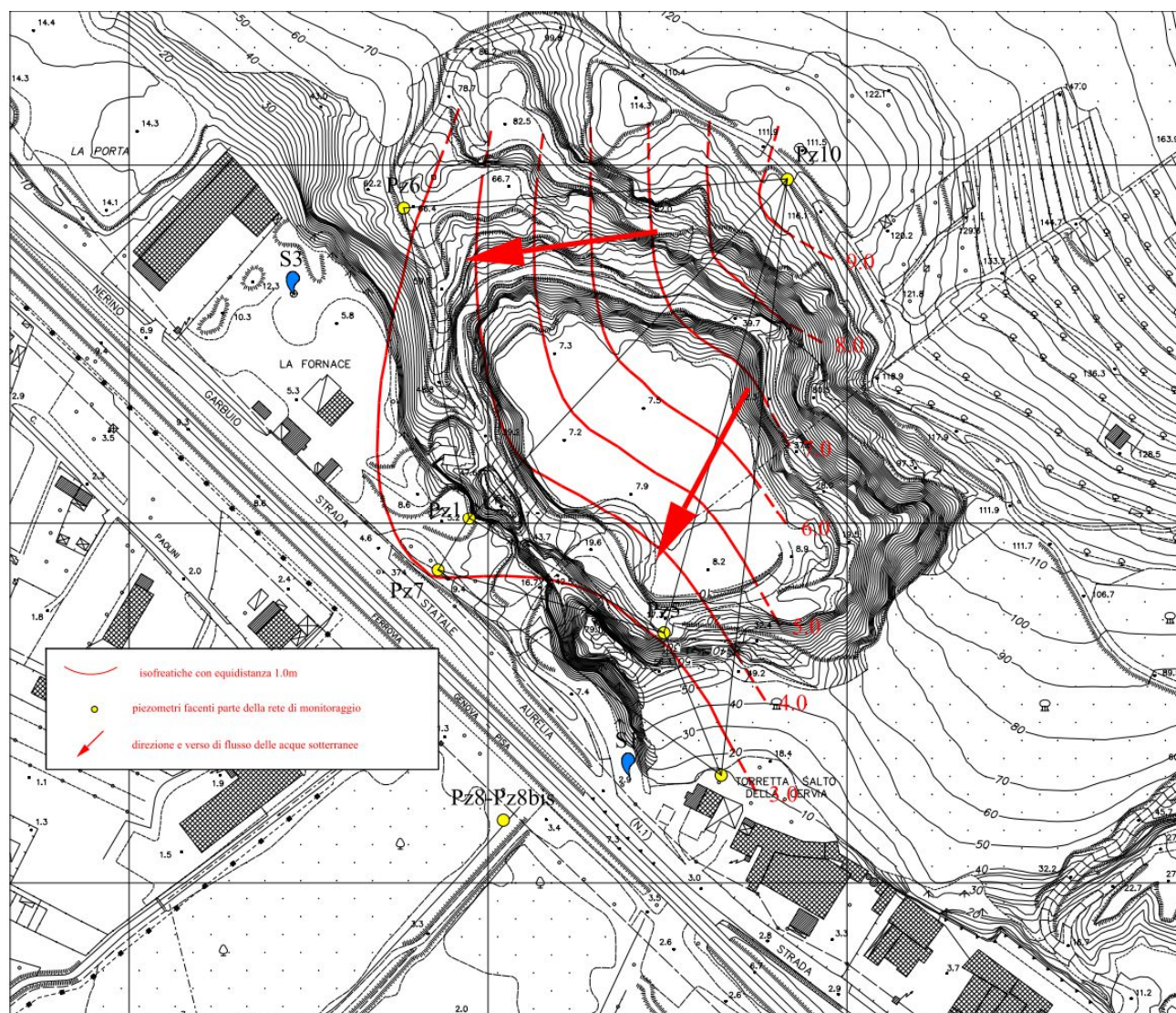


Fig. n.2.15 – Carta isofreatiche relativamente all'area di discarica (novembre 2022)

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

2.4 Idrografia

L'area in esame risulta priva di una rete idrografica principale, mentre nel versante a monte del sito della ex cava si riconoscono ancora modeste forme ad impluvio che, durante eventi meteorici intensi, raccolgono le acque di scorrimento superficiale.

In generale l'acqua meteorica tende a scorrere indifferenziatamente su tutto il pendio e più marcatamente lungo le incisioni prodotte nelle terrazze artificiali, corrispondenti ai viottoli che le tagliano perpendicolarmente.

In passato, prima dell'apertura della cava, le acque meteoriche provenienti dalle zone a monte, impossibilitate ad infiltrarsi per la presenza di una copertura costituita da argille residuali, venivano in parte assorbite dalle fratture presenti nella formazione calcarea ed in parte scendevano lungo il versante, scorrendo all'interno degli impluvi esistenti, fino ad immettersi nella "Fossa Fiorentina" e da questa nella zona occupata dall'ex Lago di Porta.

Attualmente l'area di discarica, a seguito della realizzazione di opere di regimazione idraulica per la raccolta e l'allontanamento delle acque provenienti dal versante a monte, è interessata esclusivamente da quelle meteoriche che vi ricadono naturalmente.

Come si può osservare dallo stralcio della carta del "Reticolo idrografico e di gestione Regione Toscana", non è presente alcun reticolo idrografico che interferisca con l'area di discarica.



LEGENDA

-  SI
-  NO (ALTRO RETICOLO)
-  TOMBATO
-  CASO PARTICOLARE

Fig.n.7 – Reticolo idrografico e di gestione Regione Toscana,
da https://geoportale.lamma.rete.toscana.it/difesa_suolo/#/viewer/openlayers/265

2.5 Idrologia

Per avere dati certi sulle quantità di precipitazioni sono state utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP- aggiornamento al 2012), disponibili sul sito www.sir.toscana.it.

Come stazione pluviografica di riferimento è stata considerata quella di Strettoia, nel Comune di Pietrasanta, a breve distanza dall'area di scarica.

Per il calcolo dell'intensità pluviometrica, per i vari tempi di ritorno, è stata utilizzata la seguente equazione:

$$h = a \times t^n$$

dove

h = altezza della pioggia (in mm)

t = durata (in ore)

a e n = parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Per la stazione pluviografica di Strettoia vengono forniti i seguenti parametri:

Tr (anni)	<i>a</i>	<i>n</i>
20	69.602	0.34261
50	83.746	0.35859
100	94.534	0.36831
200	105.49	0.37587

Per i suddetti tempi di ritorno le curve pluviografiche forniscono i valori di pioggia critica oraria, cui corrispondono le intensità pluviometriche riassunte nella seguente tabella.

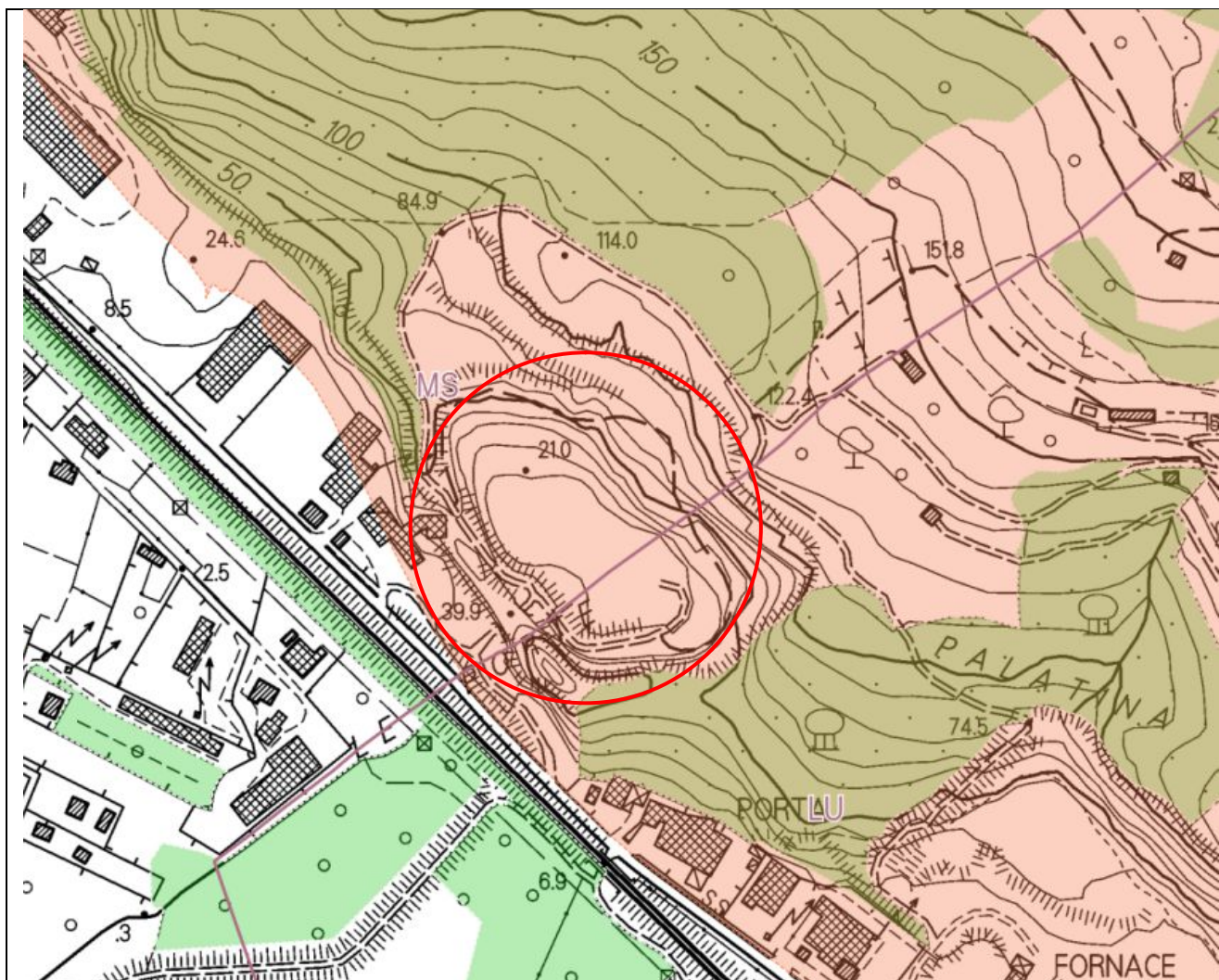
Tr (anni)	Pioggia critica oraria (mm)	Intensità pluviometrica (l/sec/mq)
20	69.602	0.0193
50	83.746	0.0233
100	94.534	0.0263
200	105.49	0.0293

3 - VINCOLISTICA E PERICOLOSITA' RICAVATE DALLA VARIANTE GENERALE AL PIANO STRUTTURALE, DAL PIANO OPERATIVO DEL COMUNE DI MONTIGNOSO E DAL PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

3.1 Vincolo Idrogeologico

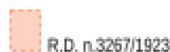
Nella figura successiva è riportato lo stralcio della “ Carta delle aree soggette a Vincolo Idrogeologico”, ricavata dal Geoportale GEOscopio, strumento webgis con cui è possibile visualizzare ed interrogare i dati geografici della Regione Toscana.

L'area di discarica, sia per la parte ricadente nella Provincia di Massa Carrara che in quella di Lucca, rientra all'interno delle zone soggette a "**Vincolo Idrogeologico**" (istituito con R.D. n.3267 del 30/12/1923), sottoposte alle disposizioni dettate dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale n.48/R del 8 Agosto 2003, noto come "**Regolamento Forestale della Toscana**".



LEGENDA

Regio Decreto 3267/1923 (Fonte Amministrazioni Provinciali)



Aree boscate (Fonte Uso del suolo 2016_RT)



Fig.n.3.1 - Stralcio fuori scala della "Carta delle aree soggette a Vincolo Idrogeologico" da "Regione Toscana – SITA".

3.2 Pericolosità dell'area nelle cartografie a corredo del Progetto di Piano dell'Appennino Settentrionale

Nella "Carta della Tutela del Territorio" del Piano di Assetto Idrogeologico, predisposta dal Bacino Regionale Toscana Nord nell'anno 2004, l'area di discarica ricadente nel Comune di Montignoso, rientrava fra quelle classificate come **P.F.M.E.** (Area a pericolosità geomorfologica molto elevata), mentre quella posta nella parte del Comune di Pietrasanta era stata classificata fra gli "Ambiti collinari e montani".

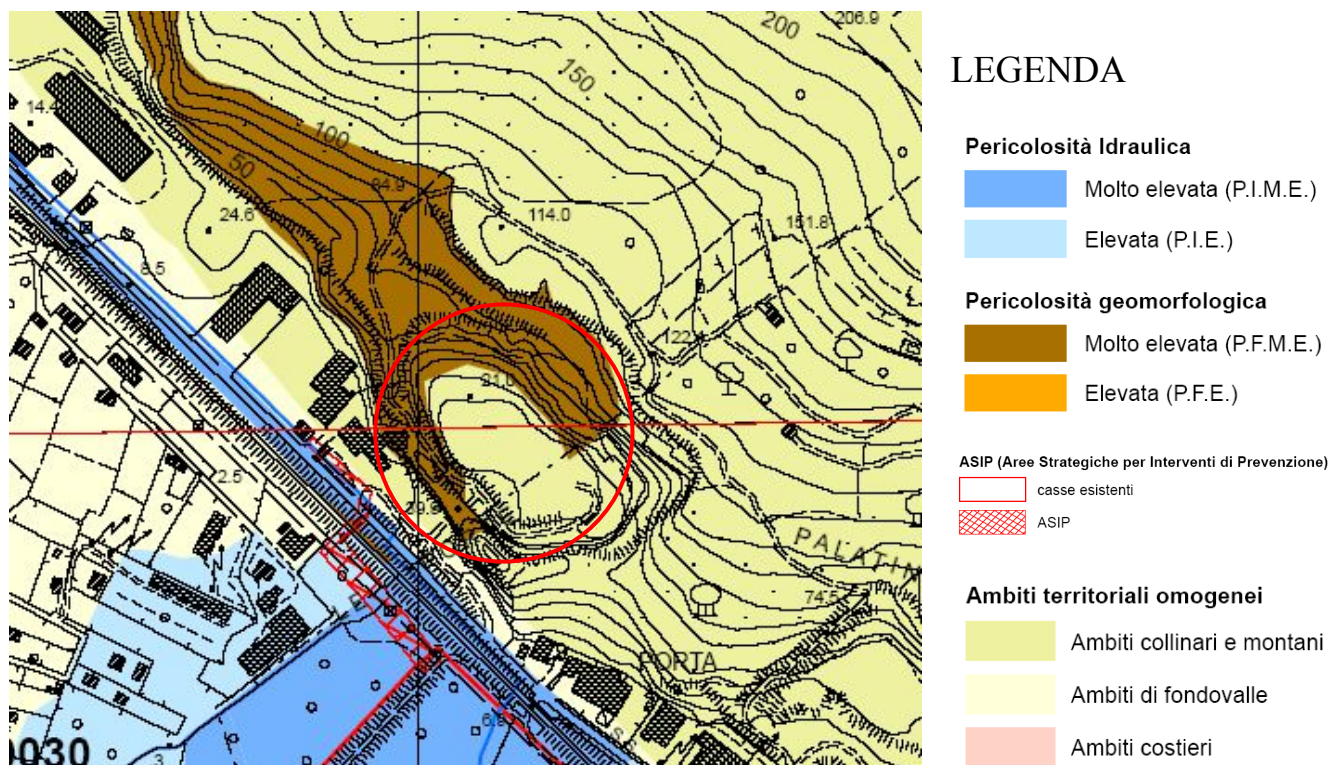


Fig.n.3.2 - Stralcio fuori scala della "Carta della tutela del territorio" allegata al Piano di Assetto Idrogeologico P.A.I.

Infatti la “Ex Cava Viti”, dismessa negli anni 1990-1991, aveva lasciato pareti sub-verticali di notevole altezza e tali da non garantire la stabilità dei fronti di scavo.

Per questi motivi l'area era stata inserita, nelle cartografie dello Studio Geologico-tecnico a corredo del Piano Regolatore Generale del Comune di Montignoso, eseguito nell'anno 1995, ai sensi della Deliberazione del C.R. n.94 del 12/02/1985, in "**Classe 4 di pericolosità**".

La zona di discarica posta nel Comune di Montignoso era stata quindi successivamente perimetrata, in base al D.L. 180/98, convertito dalla L.267/98 e succ. mod. come area a "**pericolosità e rischio di frana molto elevato**" (P.F.4 e R.F.4).

Pertanto nel Piano Assetto Idrogeologico del Bacino Toscana Nord l'area in oggetto era stata inserita tra quelle a "**pericolosità di frana molto elevata**" (P.F.M.E).

Tuttavia, essendo stati effettuati, a seguito della predisposizione del sito da adibire a discarica, numerosi interventi di bonifica e messa in sicurezza delle pareti dei fronti di scavo, autorizzati dal Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino Toscana Nord, è stata richiesta la revisione della classe di pericolosità geomorfologica.

Gli interventi eseguiti all'interno del sito di discarica hanno previsto la riprofilatura a gradoni delle pareti sub verticali in roccia, la chiodatura dei cunei instabili, individuati sulla base di appropriate analisi geostrutturali degli ammassi rocciosi, l'installazione di reti di contenimento, il disgaggio del materiale in precario stato di equilibrio lungo vari fronti di scavo, la realizzazione di opere di regimazione idraulica, sia all'interno che a monte dell'area dell'ex cava, e l'attività di monitoraggio continuo dei fronti di scavo per individuare eventuali situazioni di pericolo.

Il 13/01/2020 è stato adottato in Gazzetta Ufficiale **il Progetto di Piano – PAI “dissesti geomorfologici”**.

Con l'adozione del Progetto di Piano **non** sono previste specifiche misure di salvaguardia con effetti immediatamente efficaci per i privati.

Solo con l'approvazione finale sarà completamente operativa la disciplina di Piano, questa andrà a sostituire interamente le norme relative alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica per il bacino del fiume Arno, il bacino del fiume Serchio e gli ex bacini regionali toscani: **sino a quel momento si continuano ad applicare le norme e la cartografia dei PAI vigenti.**

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), stralcio del Piano di bacino, ai sensi dell'art. 65, c.1 del Dlgs 152/2006 e s.m.i. “è lo **strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo** mediante il quale sono **pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso** finalizzate alla **conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo.**”

Nel bacino del fiume Arno e negli ex bacini regionali toscani il PAI vigente si applica per la parte relativa alla **pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica** mentre la parte relativa alla **pericolosità idraulica** del PAI è *abolita* e sostituita integralmente dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA).

La cartografia della pericolosità geomorfologica del PAI è esclusivamente disponibile come banca dati geografica in modalità interattiva tramite WebGIS.

Nello stralcio di tale cartografia, riportato nella figura seguente, si può osservare che tutta l'area di discarica, sia in Comune di Montignoso che in quello di Pietrasanta, risulta fra quelle perimetrate a “**pericolosità da frana elevata (PFE)**”.

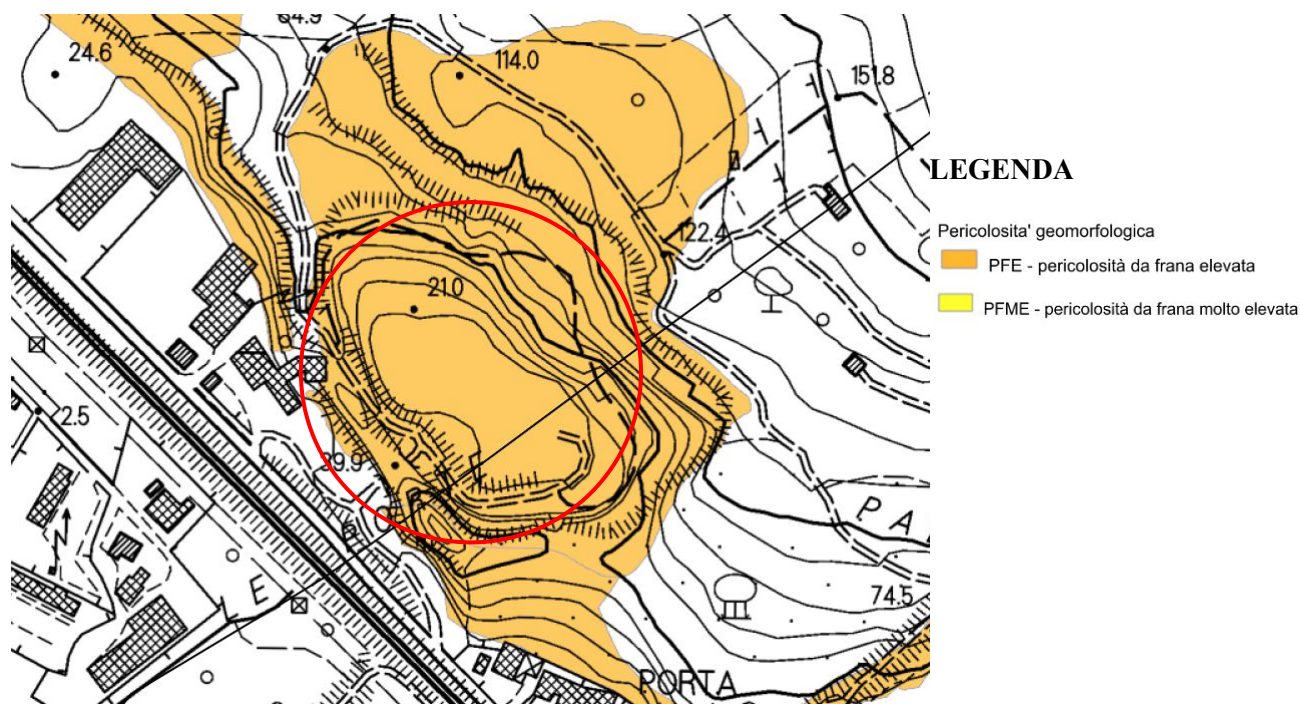


Fig.n.3.3 - Stralcio fuori scala della carta “PAI frane negli ex bacini regionali della Toscana”, da <https://geodataserver.appenninosettentrionale.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=bc700cea326441a49c0bb6d4a4b24c5b>

3.3 Pericolosità idraulica prevista nel Piano di gestione del rischio alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale (PGRA)

In attuazione della Direttiva 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n.49 è stato adottato, con **deliberazione n. 231 del 17 dicembre 2015** del Comitato Istituzionale integrato (C.I. Integrato), il **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale** che comprende la maggior parte del territorio regionale con i bacini idrografici dell'Arno (bacino nazionale), Magra Fiora, Marecchia-Conca, Reno (bacini interregionali), Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone (bacini regionali).

In ottemperanza al D.lgs 219/2010, la Regione Toscana, ha preso atto e laddove necessario predisposto le mappe della pericolosità e del rischio per i bacini regionali (Toscana costa, Toscana Nord, Ombrone) e per la porzione toscana dei bacini interregionali: Fiora, Magra, Reno, Marecchia-Conca, Lamone e Reno.

Le mappe sono state realizzate a partire dai PAI ed in accordo agli "Indirizzi operativi" emanati dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, con il contributo di ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, delle Autorità di Bacino Nazionali e del Tavolo tecnico Stato Regioni.

Gli atti con cui la Regione Toscana ha preso atto della predisposizione delle mappe di pericolosità e del rischio di alluvioni previste all'art. 6 del D.lgs.49/2010 sono DGRT n. 463 del 17/06/2013, DGRT n. 1054 del 09/12/2013.

In fase di adozione del Progetto di Piano le mappe sono state ulteriormente aggiornate con Deliberazione di Consiglio Regionale 1 dicembre 2015, n.84.

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale è stato adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, integrato da componenti designati dalle regioni il cui territorio ricade nel distretto idrografico, con deliberazione n. 231 del 17 dicembre 2015.

Per i bacini regionali Unit of Management Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone il Piano di gestione Rischio alluvioni ha sostituito, per la parte idraulica i PAI vigenti.

Il 17 febbraio 2017 è entrato in vigore il Decreto del Ministro dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare N. 294 del 25 Ottobre 2016; da tale data risultano soppresse tutte le Autorità di bacino di cui alla legge 183/1989, sostituite dall'**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale**.

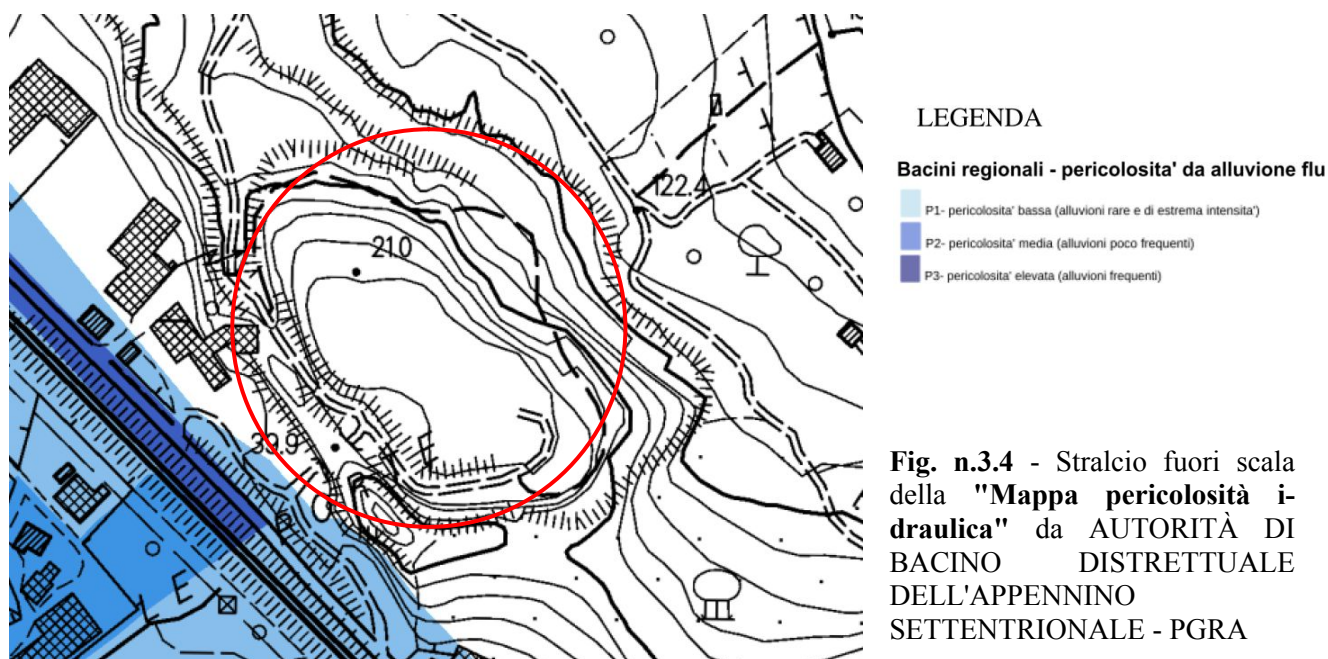
Ai sensi della legge n. 221/2015 cambia anche il territorio di riferimento del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, che da oggi comprende i bacini liguri, il bacino del Magra, il bacino del Serchio e tutti i bacini toscani dal Carrione all'Albegna, con esclusione del bacino del Fiume (che passa al Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale).

Nella Disciplina di Piano le aree con **pericolosità da alluvione fluviale** sono rappresentate da tre classi, secondo la seguente gradazione:

- **pericolosità da alluvione elevata (P3)**: corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni (ex aree PIME del PAI);
- **pericolosità da alluvione media (P2)**: corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni (ex aree PIE del PAI);
- **pericolosità da alluvione bassa (P1)**: corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale (ex ambiti di fondovalle del PAI).

Nella **Fig.3.4** è riportato lo stralcio della "Mappa della Pericolosità idraulica" così come consultabile nel sito dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, all'indirizzo web:

<https://geodata.appenninosettentrionale.it/mapstore/#/viewer/openlayers/988>



Come si può osservare dallo stralcio della cartografia sopra riportata l'intera area della discarica non rientra fra quelle classificate a pericolosità idraulica da alluvione.

3.4 Pericolosità dell'area di discarica ricadente nel Comune di Montignoso

Fra le cartografie allegate alla Variante Generale al Piano Strutturale e al Piano Operativo del Comune di Montignoso, redatto dal Dott. Geol. F.Ceccarelli, per quanto riguarda la pericolosità dell'area in esame, sono state esaminate la Carta della pericolosità geologica (tavola 7Gn), la Carta della pericolosità sismica (tavola 8Gn) e la Carta della pericolosità idraulica.

3.4.1 Pericolosità geologica




Nella Carta della Pericolosità geologica (vedi stralcio Fig.n.3.5) l'area della discarica è classificata in parte come **“G.2 - pericolosità geologica media** (corrispondente alla classe G.2, ai sensi del D.P.G.R. 5/R del 2020), in parte come **“G.3a - pericolosità geologica medio-elevata** (corrispondente alla classe G.3, ai sensi del D.P.G.R. 5/R del 2020) ed in parte come **“G.3b - pericolosità geologica elevata** (corrispondente alla classe G.3, ai sensi del D.P.G.R. 5/R del 2020 e alla P3, ai sensi delle norme di PAI dell'Autorità di bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale):

- **G2 media:** aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con inclinazione inferiore a 15 gradi.
- **G3a medio-elevata:** aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree interessate da fenomeni di soliflusso e fenomeni erosivi di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15° e minori di 30°.
- **G3b elevata:** aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 30°.



Fig. n.3.5 - Stralcio fuori scala della **"Carta della pericolosità geologica"**, allegata al "Piano Operativo del Comune di Montignoso

LEGENDA

Classi di pericolosità geologica			
	Classe di Pericolosità	Caratteri	Pericolosità DPGR 5/R del 2020
	G2 Media	Aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15 gradi.	Pericolosità geologica media (G.2)
	G3a Medio-elevata	Aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree interessate da fenomeni di soliflusso e fenomeni erosivi di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi e minori di 30 gradi.	Pericolosità geologica elevata (G.3)
	G3b Elevata	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 30 gradi.	Pericolosità geologica elevata (G.3) P3 ai sensi delle norme di PAI della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

3.4.2 Pericolosità sismica

Nella Carta della Pericolosità sismica (vedi stralcio Fig.n.3.6) l'area della discarica è classificata in parte come “S1 – pericolosità sismica bassa”, ed in parte come “S2 – pericolosità sismica media”:

- “S1 – pericolosità sismica bassa”: zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15°) e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.
- “S2 – pericolosità sismica media”: zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connesse con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore ad 1hz; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4; zone stabili suscettibili di amplificazioni topografica (pendii con inclinazione superiore a 15°; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti fra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.

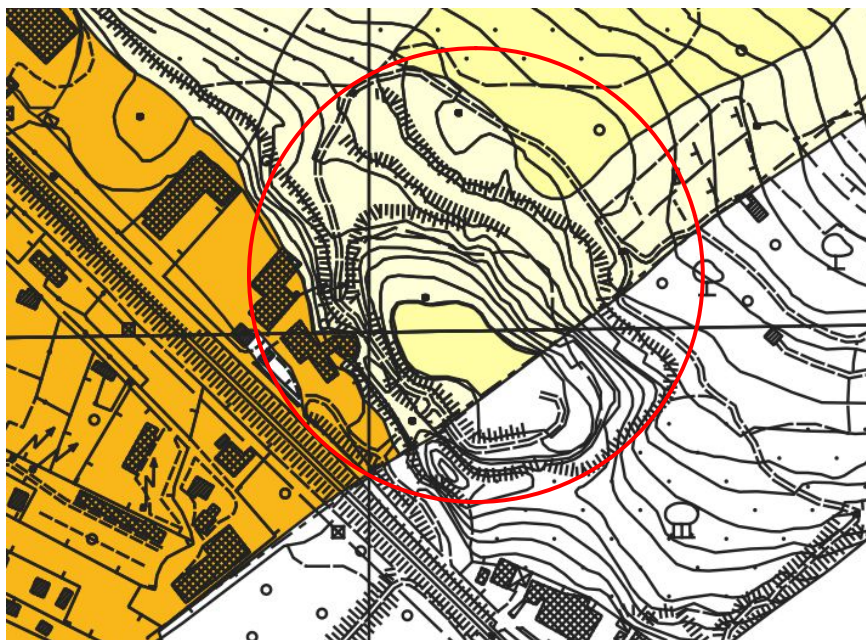





Fig. n.3.6 - Stralcio fuori scala della "Carta della pericolosità sismica", allegata al "Piano Operativo del Comune di Montignoso"

Classe di Pericolosità	Caratteri		
 S1 bassa	zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15°) e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.	 S3 Elevata	aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti; aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione; zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) > 1.4; aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici;
 S2 Media	zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connesse con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4; zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3;		

Nella figura successiva è riportato anche uno stralcio della “Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)” allegata alla Variante generale al Piano Strutturale del Comune di Montignoso, nella quale si osserva che l’area in esame rientra in parte in:

- “Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali – zona 6”

ed in parte:

- “Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali – zona 9”

zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio.

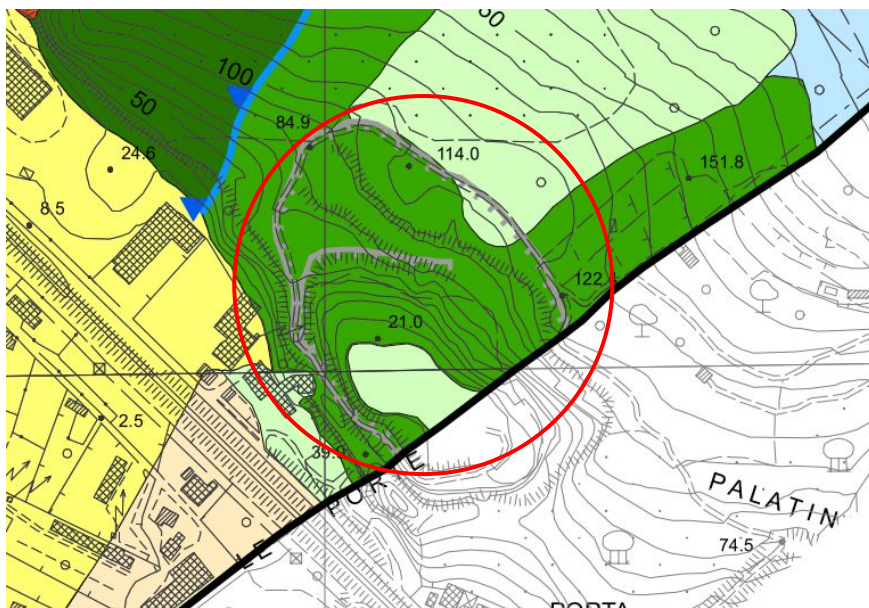
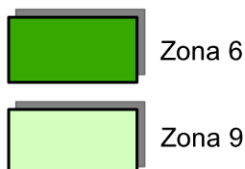


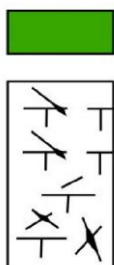
Fig. n.3.7 - Stralcio fuori scala della “Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)” allegata alla Variante generale al Piano Strutturale del Comune di Montignoso

LEGENDA

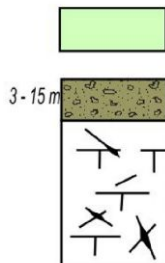
ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Zona 6



Zona 9



3.4.3 Pericolosità idraulica

Nella Carta della Pericolosità idraulica, di cui si riporta un estratto nella figura successiva, l'area in esame **non rientra** fra quelle classificate a pericolosità idraulica.

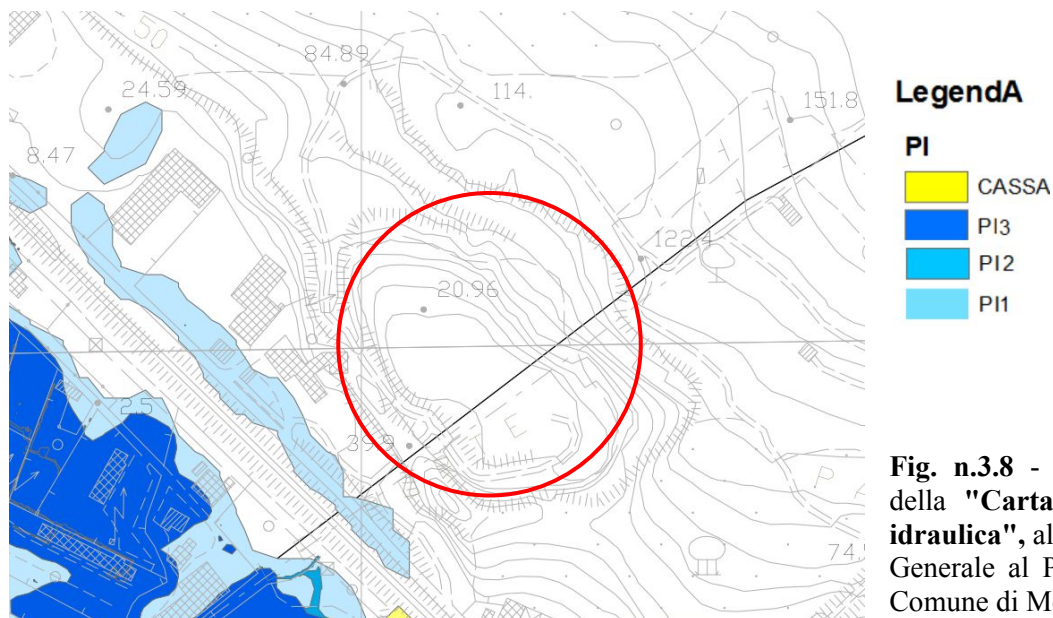


Fig. n.3.8 - Stralcio fuori scala della "Carta della pericolosità idraulica", allegata alla "Variante Generale al Piano Strutturale del Comune di Montignoso

4 - VINCOLISTICA E PERICOLOSITÀ RICAVATE DALLE CARTOGRAFIE DELLA VARIANTE DI MANUTENZIONE AL PIANO STRUTTURALE, DEL REGOLAMENTO URBANISTICO, DEL PIANO STRUTTURALE E DEL PIANO OPERATIVO DEL COMUNE DI PIETRASANTA

4.1 Considerazioni sulla vincolistica dell'area in esame

Nella successiva Fig.n.4.1 è riportato uno stralcio della "Carta dei vincoli sovracomunali" – Tavola 6G, allegata alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta, in cui sono evidenziati i vincoli ambientali più attinenti alla "Difesa del suolo e delle acque" derivanti dalle disposizioni legislative statali e regionali vigenti.

Da questa carta si nota come l'area in oggetto rientri all'interno di quelle sottoposte a Vincolo Idrogeologico, istituito con R.D. n°3267 del 30/12/1923, e sia quindi soggetta alle disposizioni contenute nel D.P.G.R. n.48/R del 8 Agosto 2003, noto come "Regolamento Forestale della Toscana".

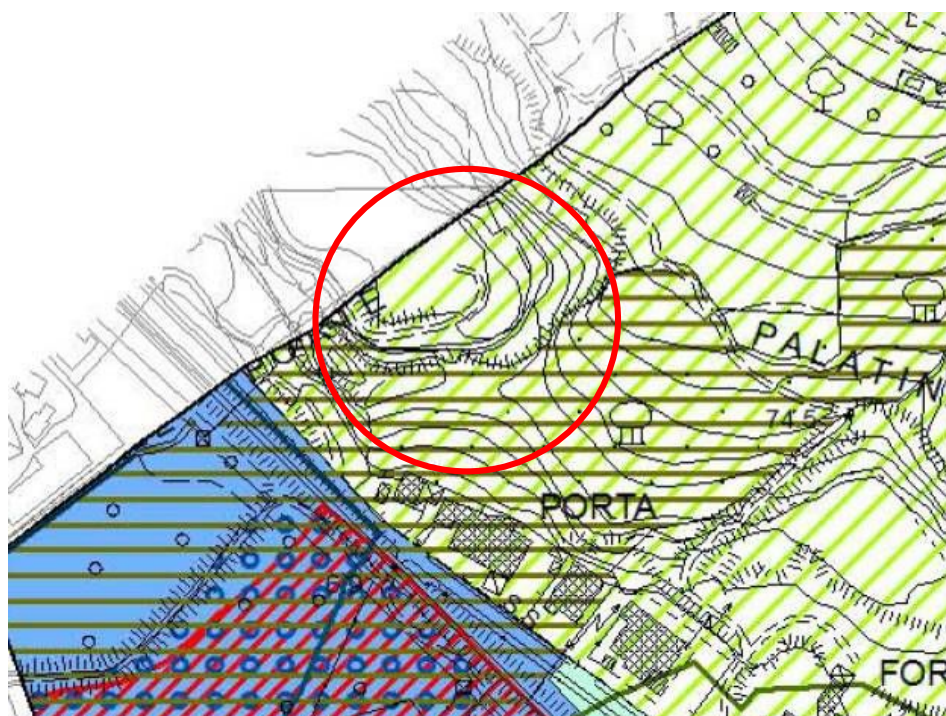


Fig. n.4.1 – Stralcio della tavola “6G_Carta dei vincoli sovracomunali” allegata alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta

LEGENDA

 Vincolo idrogeologico (D.L. 3267/1923)

 SIR

Art. 60 P.T.C.

 Aree di pertinenza fluviale ai sensi del P.T.C.

Area a Pericolosità PAI (Autorità di Bacino Toscana Nord)

 area ASIP

 area PIME

Nella tavola “V02 Aree di rispetto vincoli e tutele” allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta, di cui si riporta uno stralcio nella figura successiva, l'area in oggetto rientra all'interno di quelle sottoposte a Vincolo Idrogeologico, e delle aree non idonee per fotovoltaico a terra (LR 11/11).



Fig. n.4.2 – Stralcio della tavola “V02 Aree di rispetto vincoli e tutele” allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta

LEGENDA

VINCOLO IDROGEOLOGICO (RD 3267/1923)

vincolo idrogeologico

AREE NON IDONEE PER FOTOVOLTAICO A TERRA (LR 11/11)

aree agricole di particolare pregio

RETE NATURA 2000

ZPS - zona di protezione speciale “Lago di Porta”

DISTANZE DALLE SORGENTI DEI CAMPI ELETТОMAGNETICI (DM 29/05/2008)

132 kV trifase aerea (TERNA - Arpat 2019)

380 kV trifase aerea (TERNA - Arpat 2019)

DPA - distanza di prima approssimazione (TERNA)

RISPETTO FERROVIARIO (artt. 49-60 Dpr 753/80)

linea ferroviaria Genova - Pisa

DISPOSIZIONI PER LA TUTELA DALL'INQUINAMENTO LUMINOSO (artt. 34, 35 e 36 LR 39/2005)

fascia di rispetto

4.2 Pericolosità dell'area in oggetto così come definita nelle cartografie allegata alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico ed alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta

Fra le cartografie allegata al quadro conoscitivo della Variante di manutenzione del P.S. e del R.U. del Comune di Pietrasanta, per quanto riguarda la definizione della pericolosità dell'area in esame, espressa secondo i regolamenti di cui al P.T.C. della Provincia di Lucca e al DPGR 53/R del 2011, sono state prese in considerazione:

- le tavole della Pericolosità del Piano Strutturale (**tavola 9G carta della pericolosità litotecnica, tavola 14G carta della pericolosità idraulica**), oltre alle tavole della pericolosità redatte ad integrazione della “Relazione sulle indagini geologiche” allegata alle norme del

RU e indicate come *Tavola 5 carta della pericolosità sismica, Tavola 6 della pericolosità geologica* redatta in conseguenza degli eventi meteo climatici avvenuti dopo l'adozione dell'RU.

Nella **Fig. n.4.3** è riportato uno stralcio della " *Tav. 6 _ Carta della pericolosità geologica*", allegata alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta.

In questa cartografia l'area in oggetto è classificata in parte come **G3a (Pericolosità medio-elevata)**, ed in parte come **G3b (Pericolosità elevata)**:

- **G3a medio-elevata:** aree interessate da indicatori geomorfologici precursori di possibili fenomeni di instabilità nei quali non si possono escludere attivazioni di movimenti di massa. Aree con evidenze di ruscellamento ma assenza di fenomeni di dissesto; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e profonde, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; corpi detritici su versanti con inclinazione superiore a 15° e minore di 30°.
- **G3b elevata:** aree interessate da frane quiescenti e/o da indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità (contropendenze, ondulazioni, lacerazioni) nelle quali sono prevedibili attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa. Aree caratterizzate da corpi detritici su versanti con inclinazione maggiore di 30° prive delle forme e degli indicatori di cui sopra ma, nelle quali, la presenza di particolari caratteri litologici, giacaturali e clivometrici non escludono la possibilità di attivazione di movimenti di massa.

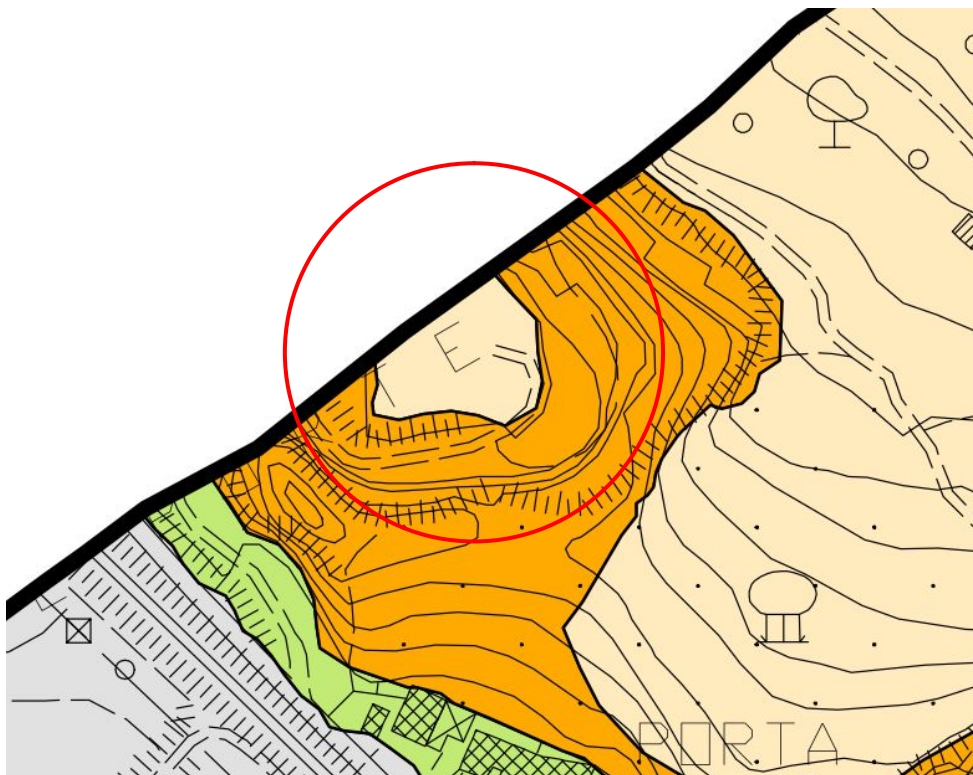







Fig.n.4.3 - Stralcio fuori scala della "Tavola 6_Carta della pericolosità geologica", allegata alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta.

LEGENDA

Pericolosità Geomorfologica

Pericolosità Geomorfologica
DPGR 53/R del 2011

	G.1 Bassa Aree con assenza sia di forme e processi geomorfologici attivi o quiescenti, sia di fattori geolitologici e/o morfologici predisponenti l'attivazione di processi morfo-evolutivi.	G.1
	G.2 Media Aree con assenza di forme e processi geomorfologici attivi o quiescenti per i quali sono al massimo prevedibili, sulla base di valutazioni geologiche, litotecniche e clivometriche, limitati processi di degrado superficiale riconoscibili e neutralizzabili a livello di intervento diretto. Frane inattive, per cause naturali o artificiali, di modeste dimensioni. Copri detritici su versante con pendenza inferiore a 15°.	G.2
	G.3a Medio-Elevata Aree interessate da indicatori geomorfologici precursori di possibili fenomeni di instabilità nelle quali non si possono escludere attivazioni di movimenti di massa. Aree con evidenze di ruscellamento ma assenza di fenomeni di dissesto; Aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; Aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15° e minori di 30°.	G.3
	G.3b Elevata Aree interessate da frane quiescenti e / o da indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità (contropendenze, ondulazioni, lacerazioni) nelle quali sono prevedibili attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa. Aree caratterizzate da corpi detritici su versante con pendenza maggiore di 30° prive delle forme e degli indicatori di cui sopra ma nelle quali la presenza di particolari caratteri litologici, giaciture e clivometrici non escludono la possibilità di attivazione di movimenti di massa.	G.3 P.F.E. ai sensi delle Norme di PAI Bacino Toscana Nord
	G.4 Molto Elevata Aree interessate da frane attive e relative aree di influenza. Aree interessate da diffusi fenomeni di degrado attivo (movimenti di massa o erosioni) di qualsiasi intensità.	G.4 P.F.M.E. ai sensi delle Norme di PAI Bacino Toscana Nord

Nella **Fig. n.4.4** è riportato uno stralcio della "**Tav. 9G del PS_ Carta della pericolosità litotecnica**", allegata alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

In questa cartografia l'area in oggetto è classificata in parte come **1lt (Pericolosità bassa)**, ed in parte come **3lt (Pericolosità medio-elevata)**:

“Classe 1lt Bassa”: in questa classe sono state inserite le aree in cui non si hanno problematiche di cedimenti e scarsa portanza derivanti da caratteristiche geologico-tecniche e morfologiche. (Corrisponde a G1 bassa ai sensi del DPGR 26/R del 2007)

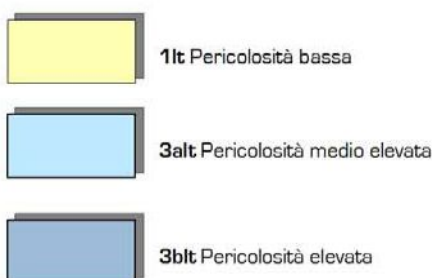
“Classe 3lt medio elevata”: in tale classe sono state inserite tutte le aree pianeggianti del territorio comunale nelle quali affiorano limi sabbiosi e depositi alluvionali costituiti da limi e sabbie limose, talora ghiaiosi, suscettibili di cedimenti sotto carichi concentrati od anche a seguito di forti emungimenti e conseguenti depressioni della falda freatica. In tale classe sono inoltre inserite la copertura eluvio-colluviale delle aree collinari e montane. (Corrisponde a G2 media ai sensi del DPGR 26/R del 2007)



Fig.n.4.4 - Stralcio fuori scala della "*Carta della pericolosità geologica*", allegata alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta.

LEGENDA

Pericolosità



Classe	Pericolosità	Caratteri	Pericolosità DPGR 26/R del 2007
1lt	Irrilevante	In questa classe sono state inserite le aree in cui non si hanno problematiche di cedimenti e scarsa portanza derivanti da caratteristiche geologico-tecniche e morfologiche.	G1 Bassa
3alt	Medio Bassa	In tale classe sono state inserite tutte le aree pianeggianti del territorio comunale nelle quali affiorano limi sabbiosi e depositi alluvionali costituiti da limi e sabbie limose talora ghiaiosi suscettibili di cedimenti sotto carichi concentrati od anche a seguito di forti emungimenti e conseguenti depressioni della falda freatica. In tale classe sono inoltre inserite la copertura eluvio colluviale delle aree collinari e montane.	G2 Media

Nella **Fig.n.4.5** è riportato lo stralcio della "*Tav.14G - Carta della pericolosità idraulica*", allegata alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta (Tav. n.14G).

Da questo stralcio si può notare che l'area in oggetto si trova in un'area che rientra fra quelle cartografate a:

1i Pericolosità idraulica irrilevante – aree collinari o montane sopraelevate di almeno 1m rispetto al limite esterno dell'alveo di naturale esondazione o 2m rispetto al ciglio di sponda e prive di notizie storiche di precedenti inondazioni o allagamenti da ristagno. **(Corrisponde a G2 media ai sensi del DPGR 26/R del 2007)**

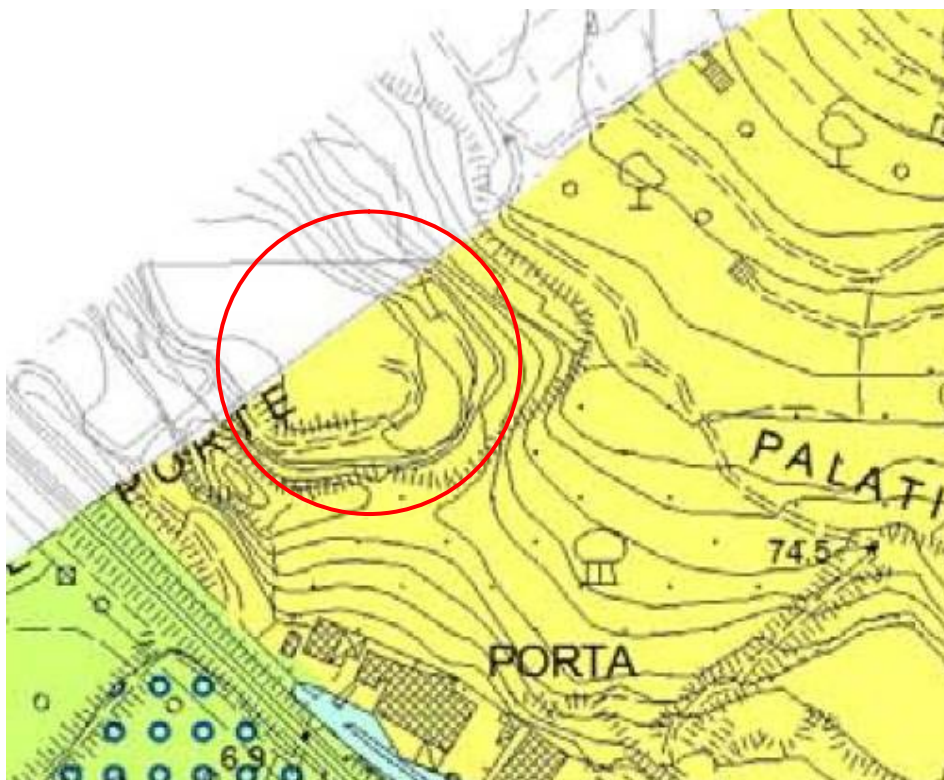


Fig.n.4.5 - Stralcio fuori scala della "*Carta della pericolosità idraulica*", allegata alla Variante di Manutenzione al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta

LEGENDA



Classe	Pericolosità	Caratteri	Pericolosità DPGR 26/R del 2007
1i	Irrilevante	Aree collinari o montane sopraelevate di almeno 1 m rispetto al limite esterno dell'alveo di naturale esondazione, o 2 m rispetto al ciglio di sponda, e prive di notizie storiche di precedenti inondazioni o allagamenti da ristagno.	1i bassa

Nella **Fig.n.4.6** è riportato uno stralcio della "*Tav.5 _ Carta della pericolosità sismica*", allegata alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta.

Da questo stralcio si può notare che l'area in oggetto si trova in parte in un'area cartografata come S1 ed in parte come S2:

Pericolosità sismica S1 – zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

Pericolosità sismica S2 – zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili di amplificazioni locali.

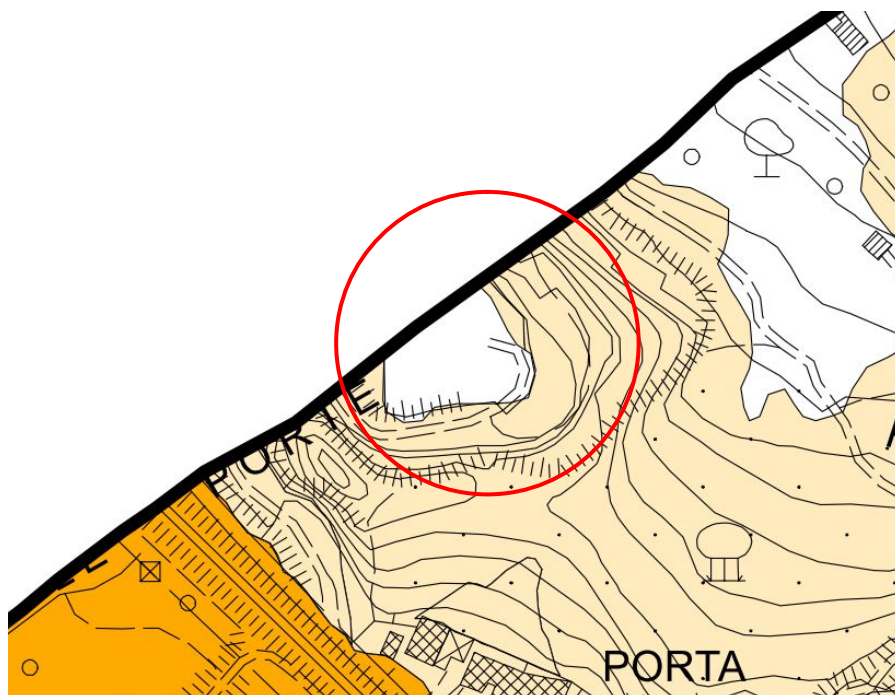






Fig.n.4.6 - Stralcio fuori scala della "*Carta della pericolosità sismica*", allegata alla variante n.4 al Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta.

LEGENDA

- | | |
|---|--|
|  | S1
Zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica |
|  | S2
Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zona stabili di amplificazioni locali. |
|  | S3
Zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri. |
|  | S4
Zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica. |

Nella **Fig.n.4.7** è riportato uno stralcio della Tav.4 "*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva sismica (MOPS)*", allegata alla Variante n.4 al Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta.

Da questo stralcio risulta che l'area in oggetto si trova in parte all'interno delle "*Zone stabili*", ed in particolare:

- "*Zone stabili – zona 3*"

in parte all'interno delle "*Zone suscettibili di amplificazioni locali*", ed in particolare:

- "*Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali – zona 6*"
- "*Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali – zona 9*"

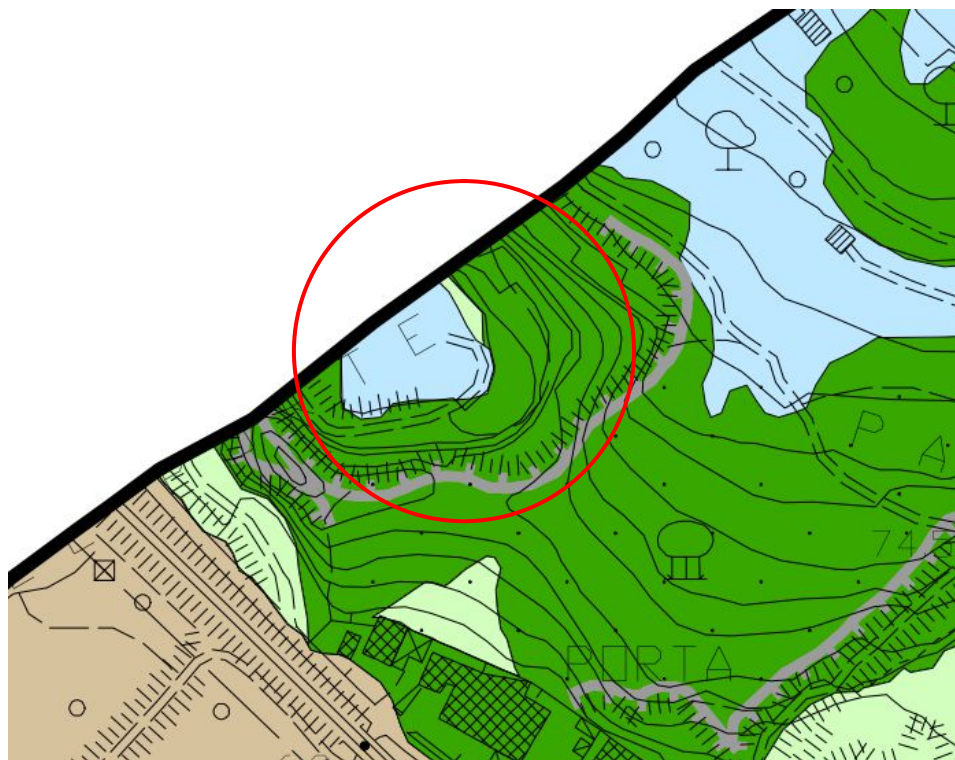


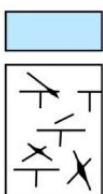
Fig.n.4.7 - Stralcio fuori scala della "Carta delle MOPS" allegata alle Indagini Geologiche di supporto al "Regolamento Urbanistico del Comune di Pietrasanta".

LEGENDA

ZONE STABILI



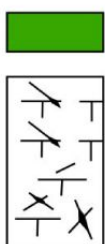
Zona 3



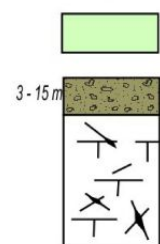
ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Zona 6



Zona 9



4.3 Pericolosità dell'area in oggetto così come definita nelle cartografie allegata al Piano Operativo Comunale adottato

Il Piano Operativo del Comune di Pietrasanta, adottato con Del. di Consiglio Comunale n.78 del 13/12/2021, per quanto riguarda la definizione della pericolosità dell'area in esame, rimanda fedelmente agli elaborati realizzati per il Piano Strutturale.

Pertanto sono state prese in considerazione la “*Tavola G.10 Carta della pericolosità geologica*”, la “*G.11 Carta della pericolosità sismica*”, e la “*I.1 Carta della pericolosità da alluvioni*”.

Nella **Fig. n.4.8** è riportato uno stralcio della “*Tavola G.10 Carta della pericolosità geologica*”, allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

In questa cartografia l'area in oggetto è classificata in parte come **G3a (Pericolosità medio-elevata)**:

“Classe G3a medio-elevata”: *aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree interessate da fenomeni di soliflusso e fenomeni erosivi di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con inclinazione superiore a 15 gradi e minore di 30 gradi. DGPV, Deformazioni Gravitative Profonde di Versante. – Corrisponde alla classe G.3 – Pericolosità geologica elevata, ai sensi del DPGR 5/R del 2020*

ed in parte come **G3b (Pericolosità elevata)**:

“Classe G3b elevata”: *aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, acclività, litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso e fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con inclinazione superiore a 30°. Conoidi di detrito pedemontano e conoidi soggette a colate detritiche con elevato grado di predisposizione all'innescio di fenomeni di trasporto di massa. – Corrisponde alla classe G.3 – Pericolosità geologica elevata, ai sensi del DPGR 5/R del 2020 e P3a e P3b, ai sensi delle Norme di PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.*

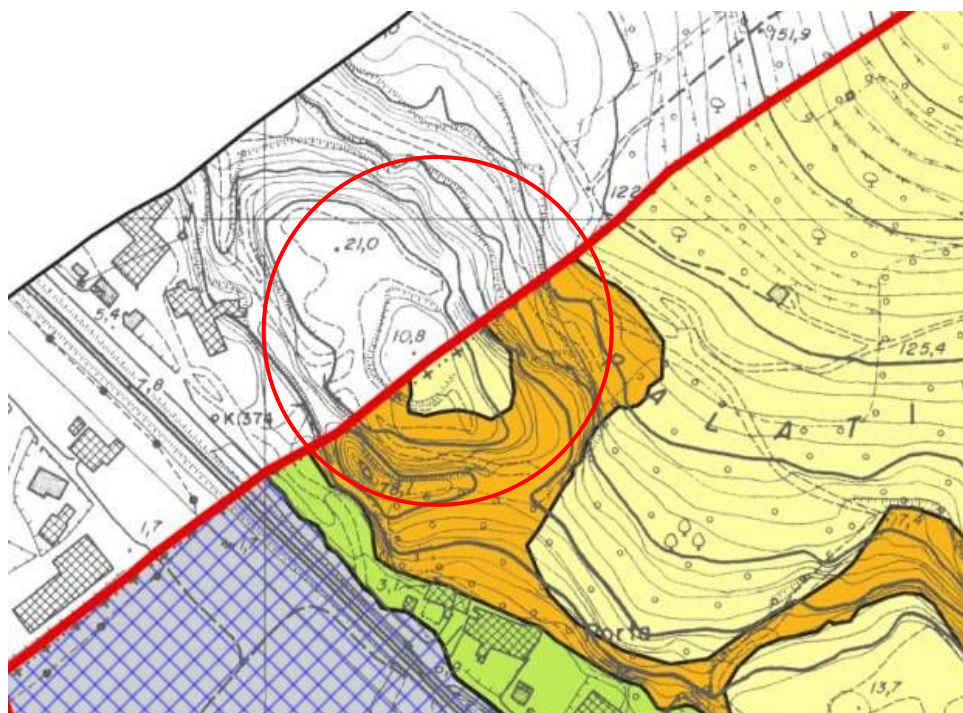




Fig.n.4.8- Stralcio fuori scala della "**Tavola G.10 Carta della pericolosità geologica**", allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

Legenda

Classi di pericolosità geologica			
	Classe di Pericolosità	Caratteri	Pericolosità DPGR 5/R del 2020
	G3a Medio-elevata	Aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree interessate da fenomeni di soliflusso e fenomeni erosivi di intensità inferiore rispetto alla classe G3b; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi e minori di 30 gradi. DGPV, Deformazioni Gravitative Profonde di Versante.	Pericolosità geologica elevata (G.3)
	G3b Elevata	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 30 gradi. Conoidi di detrito pedemontano e conoidi soggette colate detritiche con elevato grado di predisposizione all'innesco di fenomeni di trasporto di massa.	Pericolosità geologica elevata (G.3) P3a e P3b ai sensi delle norme di PAI della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Nella **Fig.n.4.9** è riportato uno stralcio della "**Tavola G.11 Carta della pericolosità sismica**", allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

Da questo stralcio si può notare che l'area della discarica si trova in parte in un'area che rientra fra quelle cartografate come:




S2 Pericolosità sismica media – zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connesse con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore ad 1hz; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4; zone stabili suscettibili di amplificazioni topografica (pendii con inclinazione superiore a 15°; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti fra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3. ed in parte come:

S3 Pericolosità sismica elevata – aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti; aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione; zone di contatto fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) > 1.4 ; aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito denominate “APF”, e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici.



Fig.n.4.9 - - Stralcio fuori scala della "Tavola G.10 Carta della pericolosità sismica", allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

LEGENDA

Classe di Pericolosità	Caratteri
 S1 bassa	zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15°) e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.
 S2 Media	zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1Hz; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4 ; zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3;
 S3 Elevata	aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti; aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione; zone di contatto fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) > 1.4 ; aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito denominate “APF”, e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici;

Nella **Fig.n.4.10** è riportato uno stralcio della "**Tavola I.1 Carta della pericolosità da alluvioni**", allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

Da questo stralcio della cartografia si può notare che l'area in oggetto non rientra in aree classificate a pericolosità idraulica.

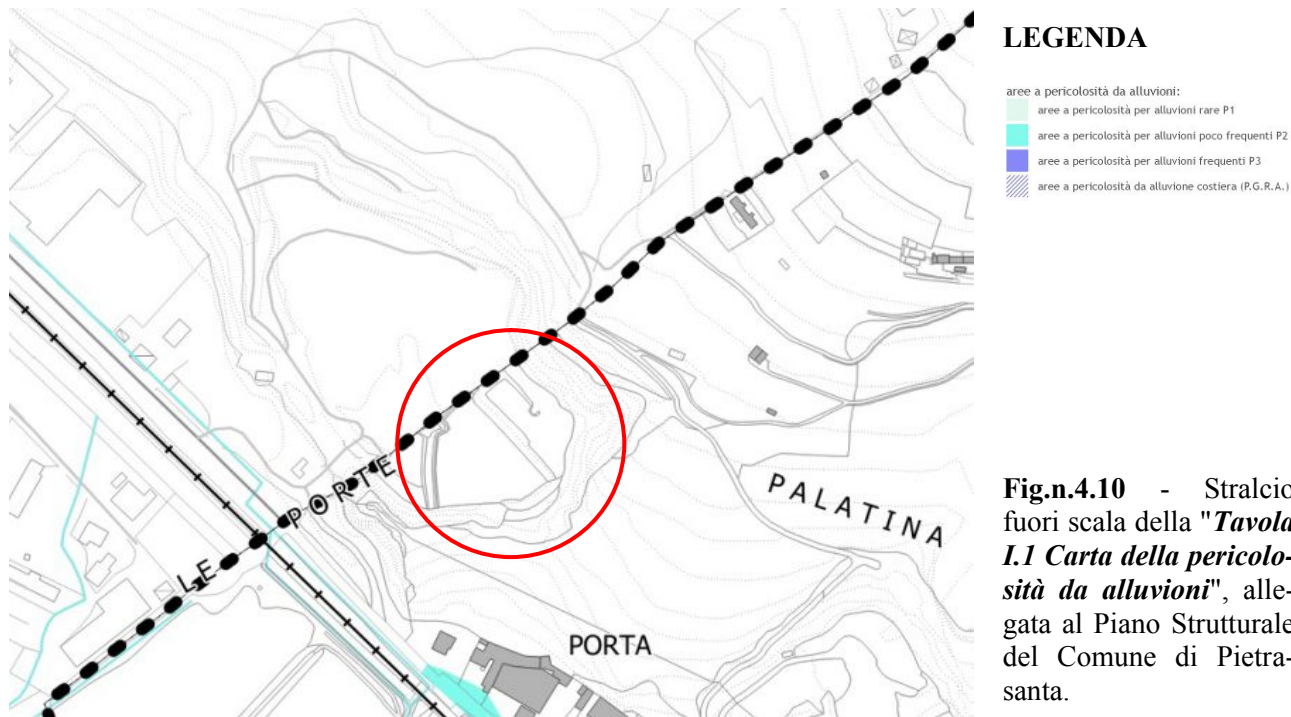


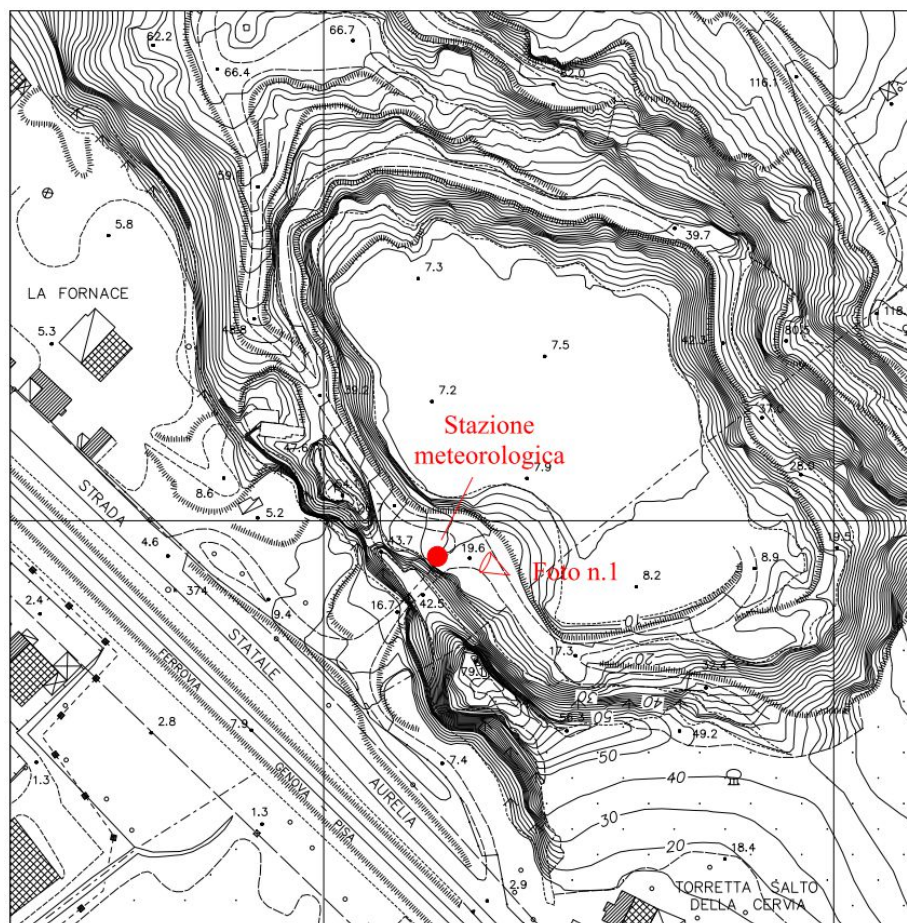
Fig.n.4.10 - Stralcio fuori scala della "**Tavola I.1 Carta della pericolosità da alluvioni**", allegata al Piano Strutturale del Comune di Pietrasanta.

5 – DATI METEOCLIMATICI RICAVATI DALLA STAZIONE METEOROLOGICA PRESENTE ALL'INTERNO DELLA DISCARICA

Nel mese di ottobre 2007 è stata installata, all'interno del sito di discarica, una stazione meteorologica completa di tutti i sensori e gli apparati necessari ad acquisire i parametri relativi a:

- velocità e direzione del vento
- temperatura ed umidità relativa dell'aria
- pressione atmosferica
- radiazione solare globale e netta
- pluviometria.

La posizione di questa stazione meteorologica è indicata nella successiva figura e nella documentazione fotografica allegata.



LEGENDA

- Stazione meteorologica
- △ Punto di scatto della fotografia

Documentazione fotografica stazione meteorologica

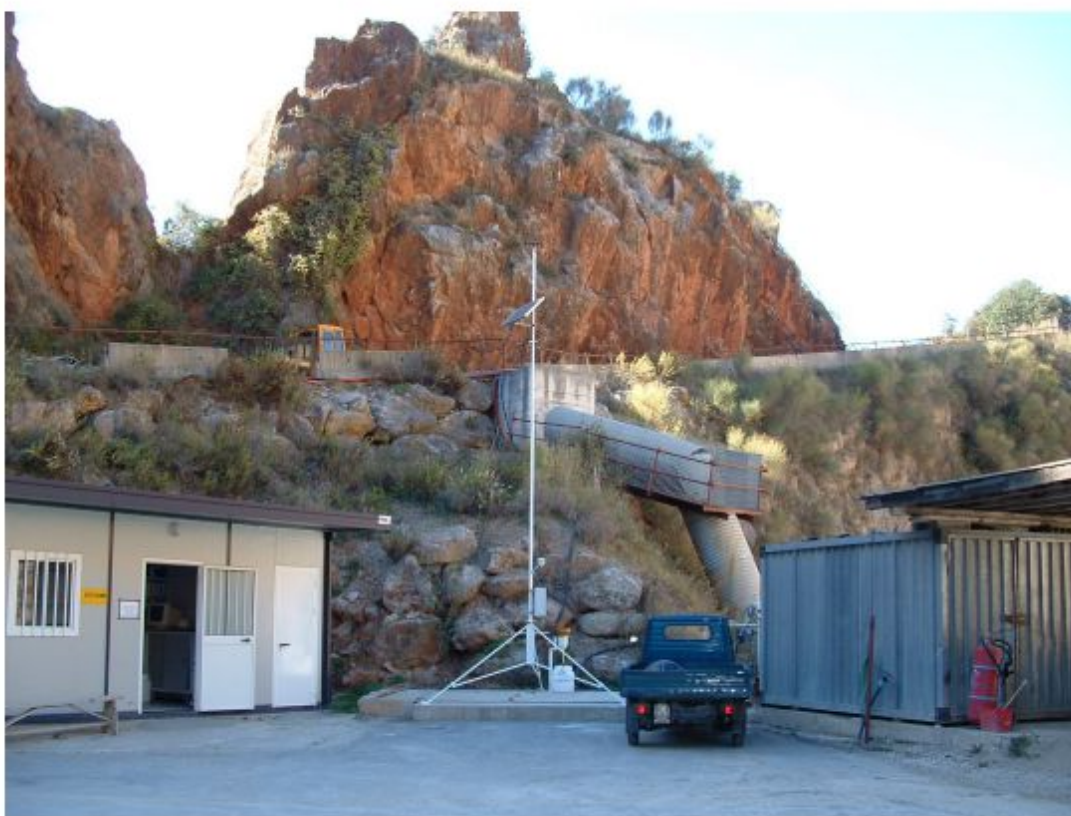


Foto n.1 Stazione meteorologica installata all'interno dell'area di discarica.

Successivamente, nel 2013, la stazione meteorologica è stata sostituita e spostata a monte della discarica, alla quota di 118.0m s.l.m.; come per la precedente stazione, anche il nuovo impianto è in grado di acquisire i parametri relativi a:

- temperatura (media, massima e minima)
- umidità relativa
- pluviometria.
- evapotraspirazione totale
- velocità (media e massima) e direzione dominante del vento.

*Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com*

Foto e descrizione della stazione meteo:



Località	Porta - Fornace
Comune	Montignoso
Altitudine s.l.m.m.	118 metri
Coordinate WGS84	43°59'58" N - 10°10'29" E
Bacino idrografico	F. Versilia
Modello	Davis Vantage Pro 2 Plus
Sensori	Barometro, termoigrometro, pluviometro, anemometro, piranometro
Data installazione	Ottobre 2012
Ubicazione	Sulla cresta di una rupe di 100 metri di altezza, sovrastante una discarica, estremamente esposta ai quadranti Sud-occidentali.

I valori medi orari di tutte le grandezze rilevate sono riportati in grafici, riassunti mensilmente, come nella figura di seguito riportata, e trasmessi direttamente dalla società che gestisce l'impianto agli Enti preposti al controllo nelle Relazioni Annuali

Stazione meteorologica di Montignoso (c/o Cava Fornace) - 118 m s.l.m.										
MESE	GIORNO	TEMP	TEMP	TEMP	U.R.	PIOGGIA	E.T.	VENTO	VENTO	VENTO
		media	max.	min.	media	totale	totale	media	max.	dir. dom.
		°C	°C	°C	%	mm	mm	km/h	km/h	quad.
gennaio	1	8,11	10,2	6,6	83,61	37,4	0,8	12,98	43,5	ENE
gennaio	2	9,29	11,2	7,5	76,89	24,4	1,1	15,29	51,5	E
gennaio	3	7,88	10,6	6,0	84,62	19,8	0,8	7,99	40,2	ENE
gennaio	4	6,44	9,9	5,1	85,73	1,4	0,6	5,06	27,4	ENE
gennaio	5	5,77	7,2	4,6	85,90	12,6	0,6	5,98	32,2	ENE
gennaio	6	4,91	7,2	2,6	86,39	21,0	0,6	9,08	32,2	ENE
gennaio	7	6,79	9,0	5,2	78,54	0,2	1,0	5,62	22,5	ENE
gennaio	8	6,38	9,7	3,4	71,84	0,0	1,5	4,00	16,1	ENE
gennaio	9	5,11	6,6	2,9	68,02	0,0	0,8	3,12	14,5	ENE
gennaio	10	5,58	6,9	4,6	72,01	0,8	0,8	4,58	19,3	ENE
gennaio	11	4,24	6,9	2,6	62,84	0,0	1,1	5,34	35,4	ENE
gennaio	12	5,30	9,3	1,7	63,38	0,0	1,6	6,07	27,4	NNW
gennaio	13	8,67	11,7	5,0	74,76	0,0	1,6	5,59	32,2	NE
gennaio	14	11,44	14,6	7,8	75,33	0,0	1,7	6,87	25,7	E
gennaio	15	8,61	11,7	5,7	75,99	1,4	1,3	5,35	17,7	ENE
gennaio	16	5,65	8,0	2,8	66,44	0,0	1,7	5,34	20,9	NNE
gennaio	17	6,05	8,2	4,4	83,01	1,4	0,6	4,26	17,7	ENE
gennaio	18	6,54	9,9	3,7	77,60	0,0	1,4	5,03	17,7	NNE
gennaio	19	8,13	10,4	5,3	78,21	0,6	1,0	5,76	17,7	ENE
gennaio	20	9,52	11,4	7,4	85,90	22,2	0,9	10,94	27,4	ENE
gennaio	21	12,34	13,2	11,3	80,65	2,6	1,0	12,86	35,4	E
gennaio	22	12,08	13,7	8,7	88,37	36,6	0,6	12,10	75,6	E
gennaio	23	9,30	12,5	5,9	81,30	26,8	1,4	17,32	83,7	WNW
gennaio	24	9,79	12,9	6,0	64,43	7,4	1,7	7,61	62,8	WNW
gennaio	25	9,67	11,8	6,2	54,74	0,4	2,4	15,27	66,0	WNW
gennaio	26	7,51	11,6	4,7	31,82	0,0	2,5	5,78	32,2	SSW
gennaio	27	7,03	10,1	3,2	39,33	0,0	2,0	3,11	17,7	ENE
gennaio	28	8,51	10,3	6,4	73,26	0,4	0,6	3,74	19,3	ENE
gennaio	29	11,67	14,3	9,9	88,57	0,8	0,9	6,96	24,1	E
gennaio	30	11,41	14,1	7,7	81,18	13,0	1,1	7,86	43,5	ENE
gennaio	31	10,67	14,4	8,6	80,28	17,2	1,4	6,99	43,5	ENE
RIEPILOGO:		8,08	14,6	1,7	74,22	248,4	36,9	7,54	83,7	ENE
		TEMP	TEMP	TEMP	U.R.	PIOGGIA	E.T.	VENTO	VENTO	VENTO
		media	max.	min.	media	totale	totale	media	max.	dir. dom.
		°C	°C	°C	%	mm	mm	km/h	km/h	quad.

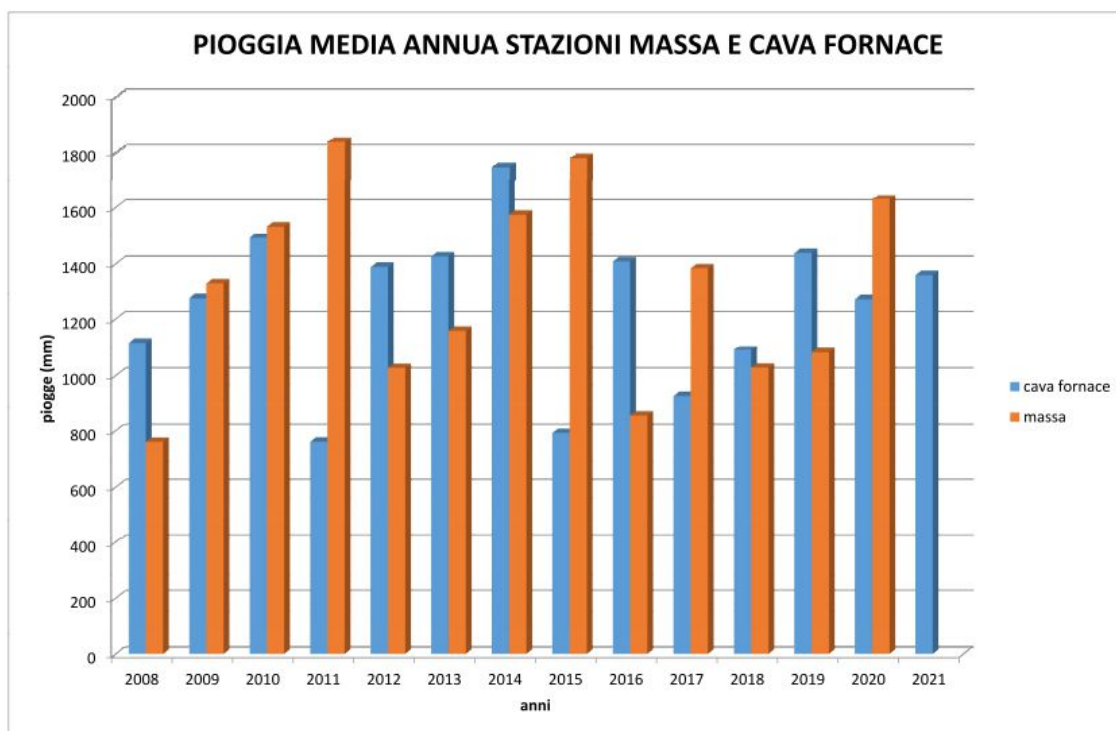
5.1 Piogge

Nel grafico seguente sono riassunte le precipitazioni medie annue registrate alla stazione meteorologica installata all'interno del sito di discarica, negli anni dal 2008 al 2021.



Tali valori sono stati confrontati con quelli ricavati per la stazione di Massa, che ha funzionato per un anno idrologico medio (pari a 30 anni) (<http://www.lamma.rete.toscana.it/clima-e-energia/climatologia/clima-massa>); come si può notare i dati della stazione installata all'interno dell'area di discarica sono mediamente confrontabili con quelli della stazione di Massa.

Pertanto i dati relativi alle precipitazioni rilevati alla stazione di Massa potranno essere utilizzati nel bilancio idrogeologico, di seguito riportato.



5.2 Venti

La stazione meteorologica installata a monte della discarica registra anche i dati anemometrici; l'elaborazione dei dati ha permesso di ricavare l'andamento dei venti, le relative frequenze e le velocità medie.

Nelle tabelle sotto riportate, sono riassunti i valori medi mensili della velocità dei venti e la loro direzione dominante.

	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
2021	7.5	6.1	7.1	7.1	8.5	6.2	7.4	8.0	6.8	6.6	6.5	5.4
2020	4.4	7.1	7.1	6.8	7.3	7.3	6.9	7.1	6.7	7.7	4.5	7.1
2019	4.9	4.6	6.2	5.5	5.2	4.4	4.6	4.2	4.2	3.2	5.6	4.1
2018	6.8	4.6	6.4	6.1	5.4	6.3	5.3	6.1	5.1	6.4	4.9	4.6
2017	5.1	5.2	5.5	6.3	5.3	6.3	6.2	5.9	6.9	4.4	5.0	5.9
2016	5.7	7.3	6.8	6.6	6.8	5.5	5.7	5.9	5.1	4.4	6.2	3.1
2015	5.8	5.4	5.7	6.0	5.4	5.9	6.0	5.2	6.0	4.9	3.7	2.8
2014	6.2	7.0	5.8	5.3	6.4	6.3	6.3	6.1	4.9	5.8	6.4	4.6
2013		5.9	6.6	5.9	7.1	5.8	5.6	6.0	5.9	5.6	6.8	4.9

Tabella n.5.1 – Velocità medie mensili dei venti

	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
2021	ENE	ENE	NE	E	SSW	ENE	SSW	ENE	ENE	ENE	NE	ENE
2020	NE	ENE	ENE	ENE	ENE	S	NE	ENE	NE	ENE	NE	ENE
2019	SW	WSW	WSW	WSW	WSW	SW	SW	WSW	WSW	E	E	E
2018	ENE	ENE	ENE	SW	SW	SW	WSW	SW	WSW	WSW	ENE	E
2017	ENE	E	W	W	ENE	SSW	SW	SW	NE	SW	NE	ENE
2016	ENE	E	E	ENE	W	ENE	W	W	ENE	ENE	E	ENE
2015	ENE	ENE	ENE	ENE	W	W	W	ENE	ENE	E	ENE	ENE
2014	E	E	E	W	W	W	W	ENE	NE	E	E	E
2013		ENE	E	E	W	W	W	W	W	E	ENE	E

Tabella n.5.2 – Direzione dominante dei venti

Nella tabella riassuntiva si vede che i venti dominanti sono quelli provenienti dal settore ENE fino a quello WSW.

Le velocità medie dei venti provenienti da questi quadranti, sono per la maggior parte comprese fra 5.0-7.0km/h.

Tali valori sono confrontabili con quelli della stazione di Strettoia, riportati al capitolo successivo.

6 - CLIMATOLOGIA DELL'AREA IN ESAME

6.1 Precipitazioni

Le precipitazioni vengono espresse in millimetri d'altezza d'acqua, come se cadessero e ristagnassero (senza essere assorbite e senza evaporare) su un piano perfettamente orizzontale.

Per ottenere il volume delle precipitazioni (P_v) cadute su una determinata superficie (A), è quindi sufficiente moltiplicare l'estensione di quest'ultima (espressa in mq) per l'altezza d'acqua (P_h), espressa in metri, caduta nella zona.

La distribuzione delle precipitazioni risulta variabile sia dal punto di vista spaziale, che nel corso dell'anno; la ripartizione stagionale delle precipitazioni è quella che si definisce **regime pluviometrico**.

In Italia predomina il regime marittimo, caratterizzato da un periodo di piena compreso tra ottobre e marzo (con massimi in novembre e dicembre) e da un periodo di magra compreso tra aprile e settembre (con minimi in luglio ed agosto).

Nella nostra zona i periodi sono leggermente sfasati ed infatti i valori massimi si registrano ad ottobre, novembre, dicembre, mentre quelli minimi si hanno tra giugno ed agosto.

Nella figura seguente viene riportato, per l'area in oggetto, l'andamento delle piogge medie mensili ricavato tramite l'elaborazione dei dati della stazione di Cerreto, nel Comune di Montignoso, nel periodo 1998-2022, e dei dati delle stazioni di Strettoia e Strettoia1, nel Comune di Pietrasanta, nel periodo 2012-2022, ricavate dal sito del Servizio Idrologico Regionale (SIR) della Regione Toscana.

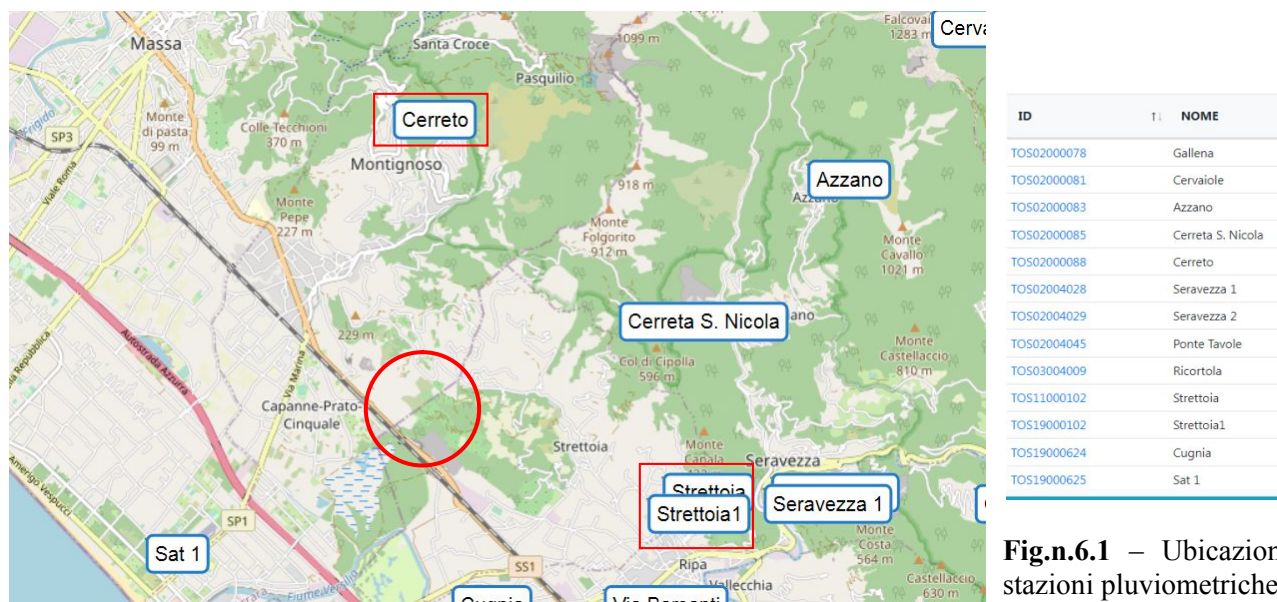


Fig.n.6.1 – Ubicazione stazioni pluviometriche

Per quanto riguarda la variazione spaziale delle precipitazioni, se ne distingue una a grande scala, dovuta a fattori meteorologici, che fa sì che in generale le piogge diminuiscano passando dalle zone settentrionali a quelle meridionali, ed una a piccola scala legata per lo più a fattori orografici.

Le altezze annue di precipitazione variano inoltre notevolmente anche nel tempo: vi sono annate molto piovose (anni di piena) ed annate tendenzialmente asciutte (anni di magra).

Esiste però un valore normale, caratteristico di ogni stazione di misura, che si valuta facendo una media aritmetica delle altezze di precipitazione annue relative ad un periodo di tempo lungo almeno un trentennio.

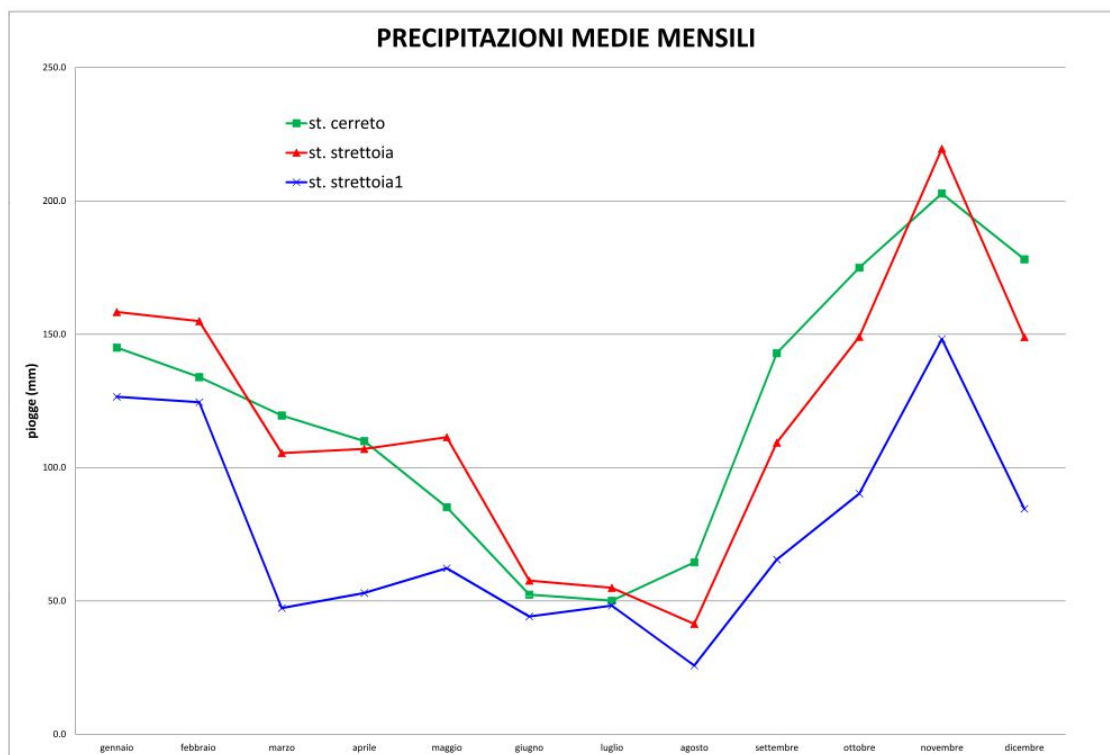


Fig.n.6.2

6.2 Temperature

La conoscenza dell'andamento della temperatura nella zona in studio è una premessa fondamentale nel calcolo dell'evapotraspirazione; questo perché l'intensità di evaporazione è funzione di diversi fattori, fra i quali la temperatura è di gran lunga preponderante.

Nella figura seguente viene riportato, per l'area in oggetto, l'andamento delle temperature medie mensili ricavato tramite l'elaborazione dei dati della stazione di Strettoia, nel periodo 1996-2022.

Tali valori sono stati ottenuti elaborando i valori di temperatura massima e minima giornaliera della stazione suddetta.

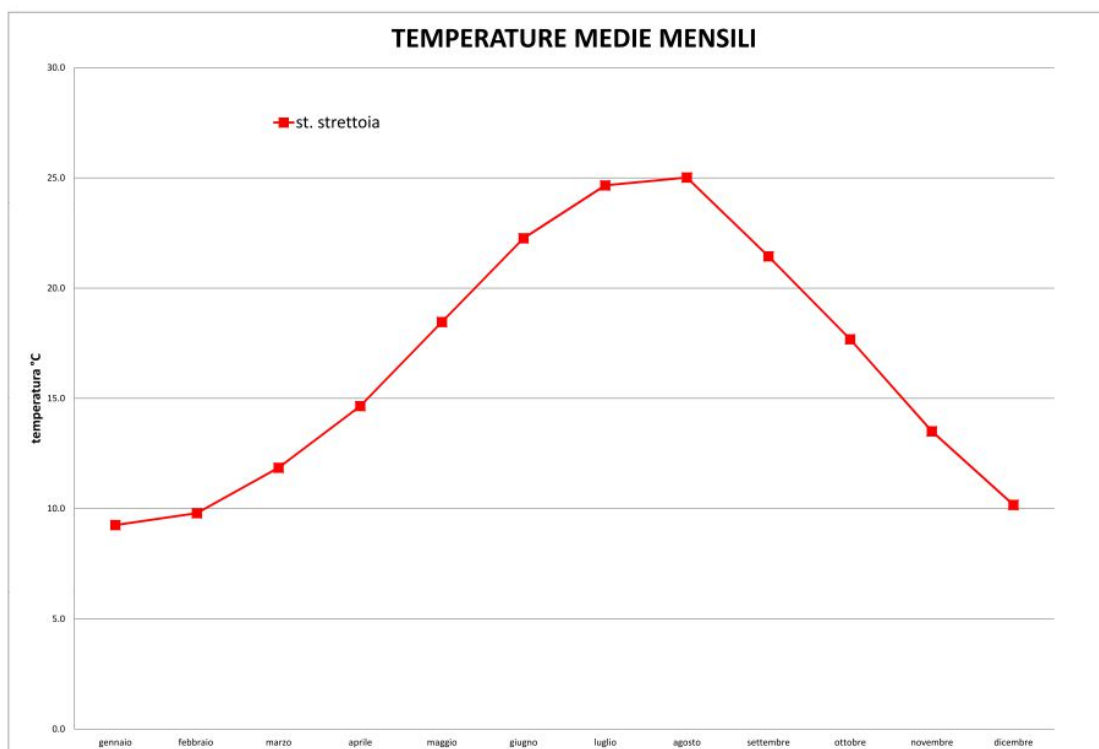


Fig.n.6.3

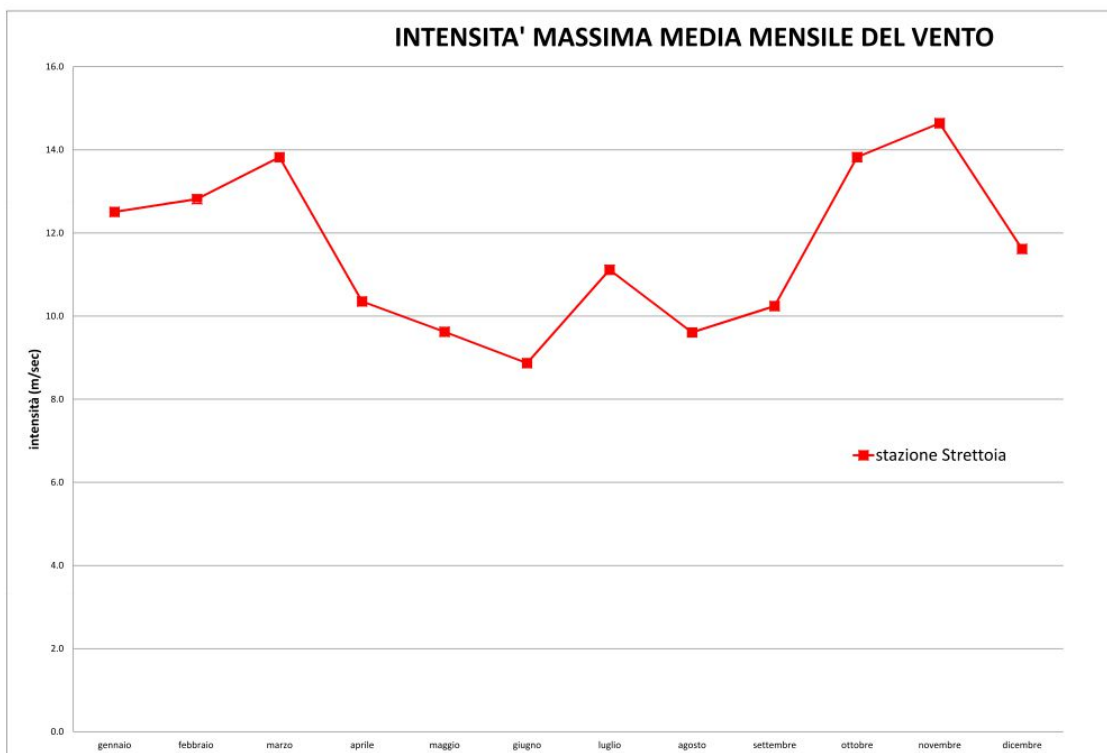
6.3 Venti

Nella stazione di Strettoia è installato anche un anemometro, che permette la rilevazione dell'intensità massima del vento, intesa come raffica massima giornaliera (in m/s) o, in assenza di tale valore, della velocità massima giornaliera (m/s) registrata alla minima aggregazione temporale disponibile.

Inoltre è registrata anche l'intensità media del vento, come velocità media giornaliera (m/s) e la relativa direzione prevalente secondo la rosa dei venti suddivisa nei seguenti otto settori:

NORD	dir \geq 337.5 o dir $<$ 22.5
NORD-EST	dir \geq 22.5 o dir $<$ 67.5
EST	dir \geq 67.5 o dir $<$ 112.5
SUD-EST	dir \geq 112.5 o dir $<$ 157.5
SUD	dir \geq 157.5 o dir $<$ 202.5
SUD-OVEST	dir \geq 202.5 o dir $<$ 247.5
OVEST	dir \geq 247.5 o dir $<$ 292.5
NORD-OVEST	dir \geq 292.5 o dir $<$ 337.5

Nella figura seguente viene riportato l'andamento dell'intensità media mensile ricavato tramite l'elaborazione dei dati della stazione di Strettoia, sempre nel periodo 1996-2022.



Per quel che riguarda la direzione prevalente dei venti, nella successiva tabella sono riassunti i valori delle velocità medie mensili (m/s) e le relative direzioni prevalenti.

Come si può facilmente osservare, la direzione prevalente dei venti nella zona in esame è la Nord-Est.

	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
2010	1 NE	1.2 NE	1.3 NE	1.2 NE	1.2 NE			1.2 NE	1.3 NE	1.2 NE	1.4 NE	1.1 NE
2011	1.1 NE	1 NE	1.2 NE	1 NE	1.1 NE	1 NE	1.2 NE	1 NE	1 NE	1.1 NE	1 NE	1.2 NE
2012	1 NE	1.2 NE	0.9 E	1.2 E	1 E	1 NE	1.1 NE	1.1 NE	1.2 NE	1.1 E	1.1 E	1 NE
2013	1 E	1.2 E		1 NE	1.1 N	1 E	1 E	1 E	1.1 NE	1 NE	1.2 NE	0.9 NE
2014	1.1 E	1.2 E	1 NE	1 NE	1.1 E	1.1 NE	1.1 E	1.2 E	1.1 E	1.2 E	1.3 E	0.9 NE
2015	1 NE	1.1 E	1.1 NE	1 NE	0.9 NE	1 E	0.9 E	0.9 E	1.2 E	1.1 NE	0.8 NE	0.6 E
2016	0.9 NE	1.3 NE			1 E	0.8 E	0.8 E	0.9 E	0.9 E	1 E		1.2 NE
2017	1.4 NE	1.4 NE	1.2 NE	1.4 NE	1.3 NE	1.2 NE		1.1 NE	1.5 NE	1.2 NE	1.4 NE	1.5 NE
2018	1.4 E	1.4 NE	1.5 NE	1.3 NE	1.2 NE	1.3 NE	1.3 NE	1.3 NE	1.3 NE	1.5 NE	1.5 NE	1.3 NE
2019	1.3 NE	1.3 NE	1.5 NE	1.4 NE	1.3 NE	1.1 NE	1.2 NE	1.2 NE	1.3 NE	1.4 NE	1.8 NE	1.5 NE
2020	1.1 NE	1.3 NE	1.4 NE	1.1 NE	1.2 NE	1.2 NE	1.1 NE	1.2 NE	1.3 NE	1.5 NE	1.2 NE	1.4 NE
2021	1.5 NE	1.2 NE	1.2 NE	1.2 NE	1.3 NE	1.1 NE	1.2 NE	1.2 NE	1.3 NE	1.3 NE	1.3 NE	1.2 NE
2022	1.2 NE	1.3 NE	1.1 NE	1.2 NE	1 NE	1.1 NE	1.1 NE	1.2 NE				

6.4 Classificazione climatica

L'insieme delle condizioni meteorologiche medie dell'atmosfera di una data regione si definisce clima.

Tra tutte le classificazioni climatiche elaborate da diversi autori sono state prese in considerazione, per la zona in esame, solamente quelle proposte da Köppen (1940) e da Thornthwaite (1948).

6.4.1 Classificazione climatica secondo Köppen

Gli elementi meteorologici su cui si basa questa classificazione sono due, la temperatura e le precipitazioni.

Lo schema di Köppen mostra una partizione zonale dei climi che si distribuiscono in latitudine secondo fasce sviluppate, grossomodo, lungo i paralleli.

Nello schema vengono individuati cinque grandi gruppi climatici: questi vengono indicati con le lettere dell'alfabeto dalla A alla E e sono individuati su base termometrica, salvo uno per il quale appare determinante la scarsità delle precipitazioni.

- Climi megatermici (**A**); tutti i mesi dell'anno con $t > 18^{\circ}\text{C}$
- Climi aridi (**B**)
- Climi mesotermici (**C**); temperature del mese più freddo comprese fra 18°C e -3°C
- Climi microtermici (**D**); temperature del mese più freddo $< -3^{\circ}\text{C}$ e quella del mese più caldo $> 10^{\circ}\text{C}$
- Climi nivali (**E**); temperature del mese più caldo $< 10^{\circ}\text{C}$

Nell'ambito di ogni gruppo sono poi riconosciuti vari tipi climatici per cui si hanno complessivamente undici tipi di climi, che rappresentano i veri climi fondamentali della Terra.

Nello schema di Köppen essi sono contraddistinti da un'altra sigla di facile memorizzazione, così come segue:

- f** = manca una stagione arida (*fehlt*, ossia mancante)
- s** = la stagione arida corrisponde all'estate (*sommer*, ossia estate)
- w** = la stagione arida corrisponde all'inverno (*winter*, ossia inverno)
- S** = si ha semiaridità (*Steppe*, ossia steppa)
- W** = si ha aridità totale (*Wüste*, ossia deserto)
- T** = si ha freddo quasi perenne (*Tundre*, ossia tundra)
- F** = si ha freddo perenne (*Frost*, ossia gelo).

Sulla base di questa classificazione climatica la zona in esame rientra all'interno del **Clima temperato subtropicale (Cs)**.

Nell'ambito del clima sub-tropicale si possono distinguere alcuni sottotipi che hanno una divisione abbastanza netta dell'anno in quattro stagioni, medie termiche annue sui 16°C , escursione termica annua abbastanza alta, ma non eccessiva, alta media del mese più caldo che giunge a superare i 25°C ed inverni dolci, con medie del mese più freddo sugli 8°C .

Le precipitazioni sono variabili ma con valori che generalmente non scendono mai al di sotto dei 600-700mm/anno.

Altri elementi comuni ai vari sottotipi del clima subtropicale sono dati dalla presenza di una stagione secca e dalla variabilità del tempo in quanto in queste zone vengono a contatto le masse d'aria fredda di origine polare con le masse calde di origine tropicale.

Il sottotipo a cui appartiene l'area in oggetto è detto "**Mediterraneo**" e presenta le temperature medie ricordate in precedenza (temperatura media annuale di 16.6°C, temperatura del mese più caldo di 25.0°C, temperatura del mese più freddo di 9.3°C) ed una bassa escursione termica annuale per la minor rigidità invernale rispetto agli altri sottotipi.

Al contrario le precipitazioni sono assai più scarse a causa dell'anticiclone tropicale che, nella stagione estiva, tende a stazionare nell'area mediterranea.

Le differenze stagionali sono quindi meglio marcate dalle piogge, prevalentemente autunnali e primaverili che presentano spesso caratteri di torrenzialità nel periodo estivo.

6.4.2 Classificazione climatica secondo Thornthwaite

Mediante la combinazione dei dati dell'evapotraspirazione potenziale, del deficit e dell'eccedenza, Thornthwaite ha istituito *l'indice di umidità globale* I_m che viene espresso dal seguente rapporto:

$$I_m = \frac{100 \cdot (S - d)}{E_p}$$

dove:

S = eccedenza idrica (mm)

d = deficit idrico (mm)

E_p = evapotraspirazione potenziale (mm)

L'indice di umidità globale è servito al Thornthwaite come base per la sua classificazione dei climi, mediante la quale ha riconosciuto i nove tipi climatici riportati nella seguente tabella

I_m	Simbolo	Tipo di clima
maggiore di 100	A	PERUMIDO
da 80 a 99,9	B ₄	UMIDO
da 60 a 79,9	B ₃	UMIDO
da 40 a 59,9	B ₂	UMIDO
da 20 a 39,9	B ₁	UMIDO
da 0 a 19,9	C ₂	SUB - UMIDO
da - 33,3 a 0	C ₁	SUB - UMIDO ASCIUTTO
da - 66,7 a - 33,3	D	SEMIARIDO
minore di - 66,7	E	ARIDO

Tab. 5.1. – Indice di umidità globale

Sulla base dei risultati ottenuti tramite il bilancio idrico climatico riportato nel paragrafo seguente, per l'area in esame si ottiene un valore di $I_m = 47.1$ e quindi si ricade all'interno della fascia del clima **UMIDO B₂**.

Inoltre è stato calcolato il valore *dell'indice di efficienza termica* (TE), equivalente al valore in cm dell'evapotraspirazione potenziale (ETP).

In base a questo indice il clima si divide nei seguenti tipi:

TE	Simbolo	Tipo di clima
Minore di 14.2	E'	GLACIALE
da 14.3 a 28.5	D'	TUNDRA
da 28.6 a 42.7	C' ₁	MICROTERMICO
da 42.8 a 57.0	C' ₂	MICROTERMICO
da 57.1 a 71.2	B' ₁	MESOTERMICO
da 71.3 a 85.5	B' ₂	MESOTERMICO
da - 85.6 a 99.7	B' ₃	MESOTERMICO
da - 99.8 a - 114.0	B' ₄	MESOTERMICO
Maggiore di - 114.0	A'	MEGATERMICO

Tab. 5.2. – Indice di efficienza termica

Sulla base dei risultati ottenuti tramite il bilancio idrico climatico si ottiene un valore di TE=85.6 e quindi si ricade a cavallo fra le fasce del clima **MESOTERMICO B'₂** e **MESOTERMICO B'₃**.

Per quel che riguarda l'*indice delle variazioni stagionali dell'umidità* definito, essendo il clima dell'area in esame UMIDO, dall'*indice di umidità* (100S/Etp) si ottiene un valore di 59.9 e quindi si ricade all'interno della fascia del clima **s (deficit estivo elevato)**:

Climi umidi A- B-C ₂	
100 S/Etp	
da 0.0 a 16.7	r – deficit moderato o nullo
da 16.7 a 33.3	s - deficit estivo moderato
Maggiore di - 33.3	s ₂ - deficit estivo elevato

Tab. 5.3. – Indice di umidità

6.5 Bilancio idrogeologico

6.5.1 L'equazione di bilancio

L'equazione di bilancio permette di valutare le risorse idriche di un determinato territorio, intese come i volumi d'acqua rinnovabili, e quindi utilizzabili, senza che questo provochi eccessivi squilibri del ciclo idrologico naturale.

Per "bilancio idrologico" di un'area collinare simile a quella in oggetto, della quale si voglia giungere alla valutazione delle risorse idriche sotterranee, si intende il calcolo analitico dei singoli parametri della seguente espressione:

$$P = E_r + R_s + I_e$$

dove:

P = quantitativi d'acqua di precipitazione (in mm/anno)

E_r = quantitativi d'acqua di evapotraspirazione (in mm/anno)

R_s = quantitativi d'acqua di ruscellamento superficiale (in mm/anno)

I_e = quantitativi d'acqua di infiltrazione efficace (in mm/anno).

Tale espressione risulta valida purché l'intervallo di tempo considerato coincida almeno con un anno idrologico medio, che statisticamente è stato assunto di durata pari ad un trentennio.

Le acque di ruscellamento superficiale (R_s) convogliate più o meno velocemente verso i fiumi e quindi, verso il mare, danno luogo alle risorse idriche superficiali, mentre vengono definite risorse idriche sotterranee, le acque di infiltrazione efficace (I_e), che defluiscono più o meno lentamente verso punti di recapito naturale.

La somma di queste due risorse idriche (R_s e I_e) dà luogo al deflusso idrico globale o **disponibilità idrica** D_i che, espressa in mm/anno di altezza d'acqua, è data da:

$$D = R_s + I_e$$

La disponibilità idrica rappresenta dunque la potenzialità idrica totale dell'area esaminata, cioè il massimo volume d'acqua (superficiale e sotterranea) teoricamente utilizzabile.

Non essendo possibile elaborare un bilancio idrologico sperimentale dove, note precipitazioni, evapotraspirazione e deflussi superficiali, resta come incognita l'infiltrazione efficace, è stato realizzato un bilancio analitico, nel quale, conoscendo le precipitazioni e calcolando l'evapotraspirazione, si può calcolare il valore dei deflussi e dell'infiltrazione efficace.

6.5.2 Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è il parametro dell'equazione di bilancio che rappresenta le perdite dovute alla trasformazione dell'acqua in vapore ed al suo conseguente ritorno nell'atmosfera; questa trasformazione è operata sia dai fenomeni fisico-biologici dell'evaporazione dal suolo e dagli specchi d'acqua, che dalla traspirazione legata alla vegetazione.

La sua valutazione è molto difficoltosa in quanto è influenzata da molteplici fattori, tra i quali i principali sono:

- il grado di umidità del suolo
- il potere evaporante dell'atmosfera

- il tipo e la densità della vegetazione
- la profondità della superficie piezometrica
- l'estensione delle superfici d'acqua libere ed il loro spessore.

È molto importante fare una distinzione tra evapotraspirazione potenziale ed evapotraspirazione reale.

L'evapotraspirazione potenziale è la massima quantità d'acqua che evaporerebbe se le riserve idriche del suolo fossero continuamente rinnovate, ossia in condizioni di continua saturazione del suolo.

In realtà questo può avvenire solo nella stagione umida, mentre nella stagione secca la scarsità d'umidità del suolo non permette alle piante di avere a disposizione tutta la quantità d'acqua che sarebbero in grado di traspirare; in questo caso si parla di evapotraspirazione reale.

In idrogeologia interessa soprattutto conoscere l'evapotraspirazione reale poiché questa rappresenta una perdita effettiva in termini di risorse idriche sotterranee.

Gli strumenti utili per la misura diretta dell'evapotraspirazione reale sono i lisimetri, i quali non sono però di facile uso ed in generale forniscono risultati approssimati, per cui nelle normali applicazioni pratiche ci si basa su metodi teorico-analitici, utilizzando i dati di temperatura al suolo ed il valore delle precipitazioni medie.

6.5.3 Bilancio idrico climatico secondo Thornthwaite

Come precedentemente ricordato, non essendo possibile elaborare un bilancio idrologico sperimentale, è stato realizzato un bilancio analitico utilizzando le caratteristiche climatiche dell'area in esame secondo il metodo di Thornthwaite.

Il bilancio idrico climatico si ottiene operando la differenza tra le precipitazioni mensili e l'evapotraspirazione potenziale (ETP); da questa differenza con una procedura di calcolo e con l'ausilio di apposite tabelle (THORNTHWAITE & MATHER, 1957), si ottengono i seguenti parametri:

- l'evapotraspirazione reale (E_r)
- il deficit idrico (D)
- l'eccedenza idrica (S)

Allo scopo di calcolare un bilancio idrico di questo tipo, è necessario possedere le seguenti informazioni:

- a) temperature medie mensili dell'aria
- b) precipitazioni medie mensili
- c) tavole di calcolo e di conversione
- d) informazioni sulla capacità idrica di campo da parte dei suoli interessati.

Molto difficoltosa risulta essere la valutazione di quest'ultimo termine, che rappresenta la quantità massima di acqua di ritenzione che può essere contenuta nello strato di terreno interessato dallo sviluppo delle radici dei vegetali e, quindi, dipendente dal tipo di suolo, dalla sua struttura e dal tipo di vegetazione.

Per la valutazione della capacità idrica di campo (**u**) possono essere usati metodi diretti ed indiretti; nel caso in esame ci si è basati sulle tabelle di THORNTHWAITE & MATHER (1957), grazie alle quali, mediante la combinazione tra le caratteristiche tessiturali del terreno ed al tipo di vegetazione prevalente nell'area in oggetto, si è giunti ad un valore della capacità idrica di campo **u=300 mm**.

Per l'elaborazione del bilancio sono stati utilizzati i dati termopluviometrici dell'anno medio 1991-2020 registrati alla stazione di Massa (<http://www.lamma.rete.toscana.it/clima-e-energia/climatologia/clima-massa>), in quanto le stazioni di Cerreto, di Strettoia e quella installata all'interno del sito di discarica hanno un periodo di funzionamento temporale non sufficiente (vedi grafico e tabella seguente).

Massa

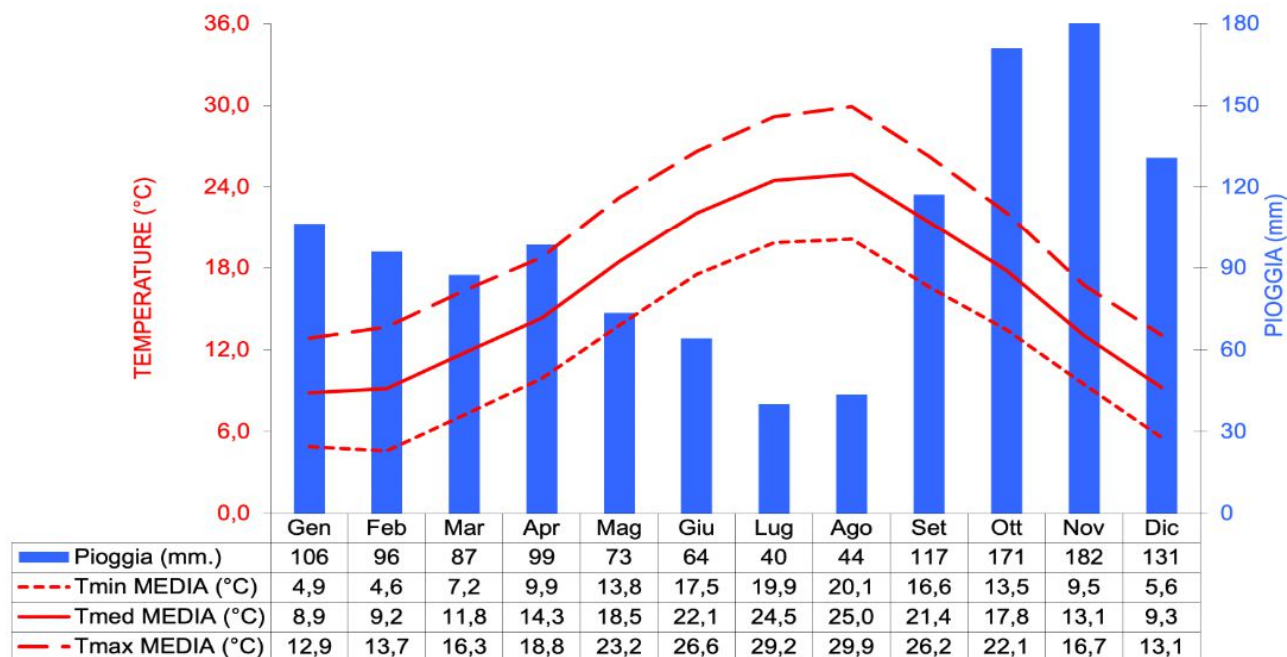
(dati SIR - Servizio Idrologico Regionale)

Lat: 44.03; Long: 10.12; quota: 65 m slm

Vai a climatologia 1971-2000

Vai a climatologia 1981-2010

Diagramma Termo-Pluviometrico
MASSA (medie 1991-2020)



	Precipitazioni (mm)	Temperature medie (°C)
Anno medio	1210	16.3

Tab. 6.4 - Precipitazioni e temperature medie mensili ed annue relative all'anno medio (1991/2020) registrate alla stazione di Massa (da <http://www.lamma.rete.toscana.it/clima-e-energia/climatologia/clima-massa>)

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

6.5.4 Calcolo dell'evapotraspirazione potenziale

L'evapotraspirazione potenziale rappresenta la quantità d'acqua che andrebbe perduta per evaporazione dalla superficie del suolo e per traspirazione dalle piante, in un ambiente dove vi sia una continua scorta d'acqua.

Questa perdita non è condizionata dal tipo di vegetazione, dal tipo di suolo e dalle pratiche agricole, ma «essa è essenzialmente una funzione dell'energia solare ed esprime la quantità d'acqua che è necessaria per lo sviluppo della vegetazione» (THORNTHWAITE, 1958).

Esistono diversi metodi per calcolare la ETP, tra cui ricordiamo quelli del PENMAN (1948), del TURC (1955) e del THORNTHWAITE (1948); quest'ultimo metodo richiede i soli dati della temperatura e della latitudine di una località.

La formula di Thornthwaite è fondata sulla relazione esponenziale esistente tra l'evapotraspirazione potenziale e la temperatura media mensile; essa può scriversi come segue:

$$E_{pi} = K \left[1,6 \left(\frac{10 \cdot T_i}{I} \right)^a \right]$$

dove:

E_{pi} = evapotraspirazione potenziale media mensile (in cm)

K = coefficiente di correzione di latitudine riferito al mese i-mo, pari al rapporto tra le ore diurne e la metà delle ore giornaliere (Tab.4.4.)

T_i = temperatura media dell'aria riferita al mese i-mo (in °C)

$a = 0,49239 + 1,792 \times 10^{-5} \times I - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 675 \times 10^{-9} \times I^3$

I = indice annuo di calore, pari alla sommatoria degli indici mensili (i) dei dodici mesi dell'anno:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

L'indice termico mensile si può ricavare direttamente dalla Tab. 6.5 in funzione del valore della temperatura media mensile.

lat. Nord	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
40°	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41°	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
42°	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43°	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77
44°	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	0,95	0,80	0,76

Tab. 6.5 - Coefficienti mensili di latitudine (CELICO, 1988).

°C	decimi di °C									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
6	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45	1,49	1,52	1,56	1,59	1,63
7	1,66	1,70	1,74	1,77	1,81	1,85	1,89	1,92	1,96	2,00
8	2,04	2,08	2,12	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
9	2,44	2,48	2,52	2,56	2,60	2,64	2,69	2,73	2,77	2,81
10	2,86	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,16	3,21	3,25
11	3,30	3,34	3,39	3,44	3,48	3,53	3,58	3,62	3,67	3,72
12	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20
13	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70
14	4,75	4,81	4,86	4,91	4,96	5,01	5,07	5,12	5,17	5,22
15	5,28	5,33	5,38	5,44	5,49	5,55	5,60	5,65	5,71	5,76
16	5,82	5,87	5,93	5,98	6,04	6,10	6,15	6,21	6,26	6,32
17	6,38	6,44	6,49	6,55	6,61	6,66	6,72	6,78	6,84	6,90
18	6,95	7,01	7,07	7,13	7,19	7,25	7,31	7,37	7,43	7,49
19	7,55	7,61	7,67	7,73	7,79	7,85	7,91	7,97	8,03	8,10
20	8,16	8,22	8,28	8,34	8,41	8,47	8,53	8,59	8,66	8,72
21	8,78	8,85	8,91	8,97	9,04	9,10	9,17	9,23	9,29	9,36
22	9,42	9,49	9,55	9,62	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95	10,01
23	10,08	10,15	10,21	10,28	10,35	10,41	10,48	10,55	10,62	10,68
24	10,75	10,82	10,89	10,95	11,02	11,09	11,16	11,23	11,30	11,37
25	11,44	11,50	11,57	11,64	11,71	11,78	11,85	11,92	11,99	12,06

Tab. 6.6 - Indici calorici (i) per temperature medie mensili da 6 a 25 °C (CELICO, 1988).

L'evapotraspirazione potenziale media annua (E_p), si ottiene infine come sommatoria dei singoli valori mensili (E_{pi}).

6.5.5 Calcolo dell'evapotraspirazione reale

Una volta nota la capacità idrica utilizzabile (u), si conosce la capacità massima entro la quale il terreno agrario può esercitare il suo ruolo regolatore nei riguardi del processo di evapotraspirazione.

La schematizzazione fisica della metodologia di Thornthwaite (1948), per il calcolo della E_r mensile, è basata proprio sul suddetto ruolo regolatore.

Infatti il terreno superficiale assorbe le acque di precipitazione (P), fino a risultare saturo di acqua di ritenzione.

Raggiunto il volume di massimo invaso, corrispondente alla capacità di campo, si ha un esubero (D_i = Eccedenza o disponibilità idrica) che defluisce sia in superficie (R_s = Ruscaldamento superficiale), che per via sotterranea (I_e = Infiltrazione efficace).

Nella stagione umida il consumo d'acqua per evapotraspirazione si mantiene sui valori massimi e quindi l' E_r eguaglia quella potenziale.

Al contrario nella stagione secca le riserve idriche non soddisfano il fabbisogno della vegetazione e si può avere quindi un Deficit idrico; in tal caso l' E_r è inferiore a quella potenziale.

6.5.5 Discussione dei risultati ottenuti

Nella

Tab. 6.7 è riportato lo schema generale relativo al bilancio idrico climatico, elaborato secondo il metodo di Thornthwaite, valido per l'area in oggetto.

Il deficit idrico è stato calcolato come differenza tra l'evapotraspirazione potenziale e l'evapotraspirazione reale e fornisce una misura quantitativa dell'aridità che si verifica esclusivamente nel periodo tra giugno ed agosto.

L'eccedenza idrica invece si calcola tenendo conto dell'eccesso delle precipitazioni rispetto all'evapotraspirazione potenziale una volta che si sia ricostituita la riserva.

PARAMETRI	Simboli	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Temperatura (°C)	T	8.9	9.2	11.8	14.3	18.5	22.1	24.5	25.0	21.4	17.8	13.1	9.2	16.3
Indici termici	i	2.39	2.52	3.67	4.91	7.25	9.49	11.09	11.44	9.04	6.84	4.3	2.52	75.5
Coeff. di latitudine	K	0.81	0.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.3	1.2	1.04	0.95	0.8	0.76	
Evapotraspirazione potenziale (mm)	Ep	17.1	18.4	34.8	53.4	93.0	127.7	153.2	146.4	97.4	65.1	32.6	17.0	856.2
Precipitazioni (mm)	P	106	96	87	99	73	64	40	44	117	171	182	131	1210
Precipitazioni utili (mm)	P - Ep	88.9	77.6	52.2	45.6	-20.0	-63.7	-113.2	-102.4	19.6	105.9	149.4	114.0	353.8
Riserve idriche invase (mm)	St	300	300	300	300	280	226.0	155.0	110.0	129.6	235.5	300	300	
Variazione delle riserve (mm)	ΔSt	0	0	0	0	-20.0	-54.0	-71.0	-45.0	19.6	105.9	64.5	0	
Evapotraspirazione reale (mm)	Er	17.1	18.4	34.8	53.4	93.0	118.0	111.0	89.0	97.4	65.1	32.6	17	747.0
Eccedenza idrica (mm)	S	17.1	18.4	34.8	53.4	0	0	0	0	19.6	105.9	149.4	114.0	512.6
Deficit idrico (mm)	D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	42.2	57.4	0.0	0.0	0.0	0.0	109.2

Tab. 6.7 - Bilancio idrico-climatico secondo Thornthwaite

6.5.6 Disponibilità idrica ed infiltrazione efficace

La disponibilità idrica rappresenta il deflusso idrico globale presunto, dato dalla somma dei deflussi superficiali e di quelli sotterranei.

Tale parametro può essere ricavato dall'equazione di bilancio sottraendo il valore dell'evapotraspirazione reale alle precipitazioni medie; ovviamente, essendo ricavato come differenza e non sperimentalmente, accumula le approssimazioni, sia di calcolo che di misura, degli afflussi meteorici e dell'evapotraspirazione.

Per calcolare la disponibilità idrica dell'area scolante che interessa il sito di discarica, pari a circa 0.2kmq, è stata utilizzata la seguente espressione:

$$D_i = P \text{ (P in m} \times \text{S in mq)} - E_r \text{ (E_r in m} \times \text{S in mq)} = 242.000\text{m}^3 - 149.400\text{m}^3 = 92.600\text{m}^3$$

Per trovare il valore della quantità d'acqua d'infiltrazione efficace, che va ad alimentare gli acquiferi, è necessario tener conto delle caratteristiche di permeabilità dei terreni.

E' infatti noto che, conoscendo la disponibilità idrica, è possibile risalire al valore dei due termini che la compongono, ruscellamento superficiale R_s ed infiltrazione efficace I_e , tramite il coefficiente di infiltrazione potenziale c.i.p., così definito (da CELICO, 1988):

$$\text{c.i.p.} = \frac{I_e}{D_i} \cdot 100$$

Tale coefficiente fornisce la quantità di acqua meteorica che, una volta raggiunta la superficie, si infiltra nel sottosuolo andando ad alimentare le riserve idriche naturali.

Esistono tabelle che forniscono fasce di variazione del coefficiente di infiltrazione potenziale c.i.p. per i diversi tipi litologici (CELICO, 1988).

Le variazioni all'interno delle singole fasce possono essere notevoli e dipendono essenzialmente da fattori quali la pendenza del versante, la copertura vegetale, la porosità e la fratturazione della roccia.

Il valore del c.i.p. dell'area scolante è stato valutato utilizzando il metodo di Kennessey, secondo il quale è possibile calcolare il coefficiente di deflusso (C_d), di un'area come semplice somma di tre componenti (C_a , C_v e C_p) relative all'influenza esercitata, sul deflusso superficiale, rispettivamente dall'acclività, dalla copertura vegetale e dalla permeabilità.

Pertanto, il coefficiente d'infiltrazione per l'area scolante in oggetto è stato valutato pari a 0,46.

Il coefficiente di infiltrazione potenziale così calcolato ha consentito di trasformare le disponibilità idriche in infiltrazione efficace ed in ruscellamento superficiale:

$$D_i = 92.600\text{m}^3 = 50.004\text{m}^3 (R_s) + 42.596\text{m}^3 (I_e)$$

Il valore di 42.596m³ così ottenuto è il valore medio della quantità di acqua che si infiltra in un anno e che va ad alimentare i vari acquiferi.

Dividendo il valore così ottenuto per l'estensione dell'area presa in considerazione si ottiene il contributo unitario di acqua di infiltrazione efficace.

Per l'area in esame tale contributo è risultato pari a circa **213 l/anno per mq**.

La limitata disponibilità idrica dell'area scolante, che fa confluire le acque meteoriche a ridosso dell'ex cava Viti, dimostra che le sorgenti Porta S1 e S3, caratterizzate da portate cospicue durante

tutto l'anno, sono alimentate sicuramente da un bacino idrogeologico molto più vasto, tramite i sistemi di fratture presenti nel complesso carbonatico.

Tale ipotesi sarà chiarita nei paragrafi seguenti e nelle considerazioni conclusive, utilizzando i risultati ottenuti dalle interpretazioni dei dati chimici ed isotopici rilevati durante le varie campagne di monitoraggio e controllo delle acque delle sorgenti, dei pozzi della pianura e di quelle prelevate nel substrato carbonatico.

7 – PIANO DI MONITORAGGIO

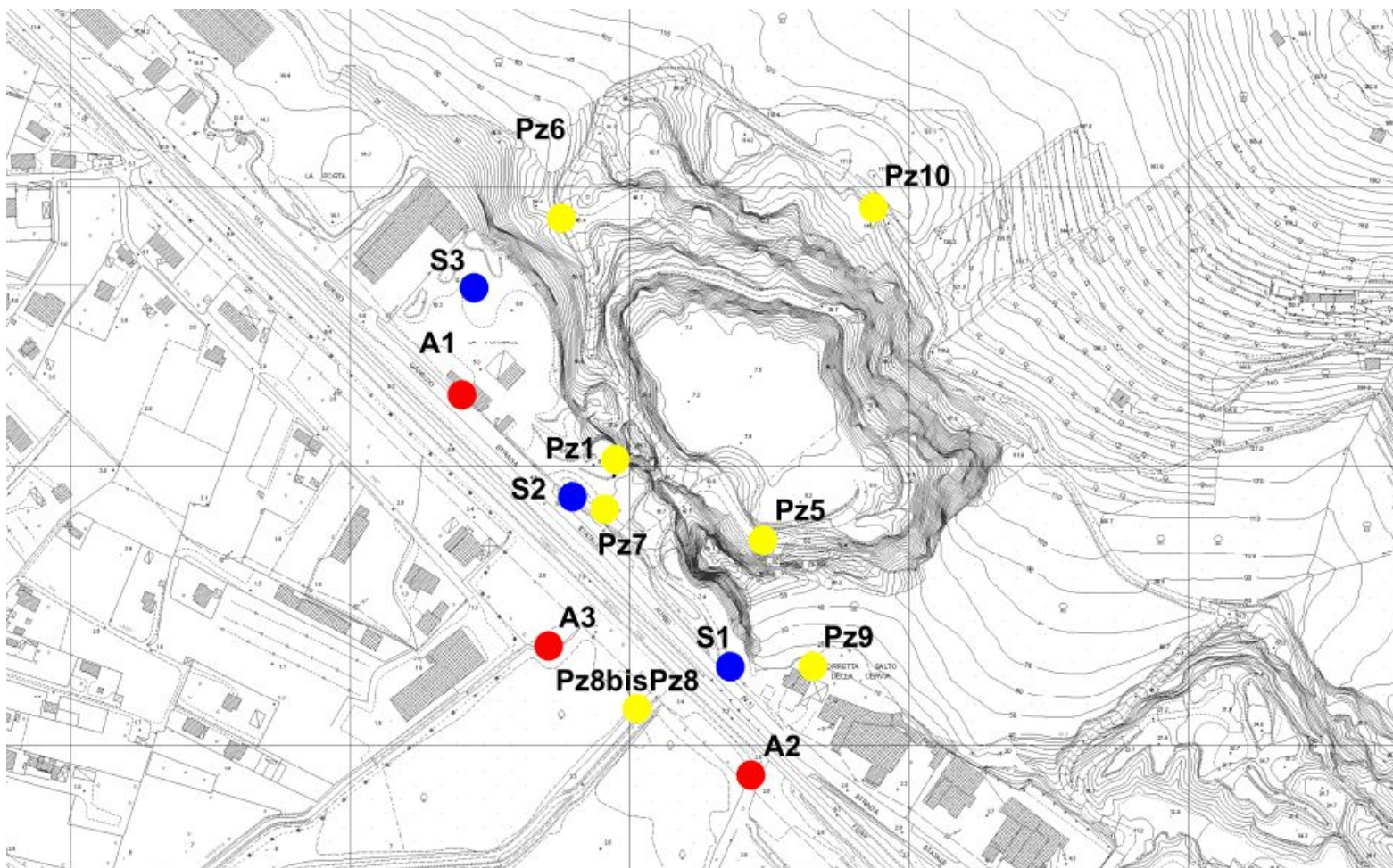
7.1 Predisposizione ed effettuazione del piano di monitoraggio

La prima fase del monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee, così come prescritto dall'Amministrazione Provinciale di Massa Carrara, è iniziato con la campagna di misura "zero" nel mese di agosto 2007 ed ha avuto una durata annuale.

La rete di monitoraggio e controllo iniziale era costituita dai seguenti punti, ubicati sia nel Comune di Pietrasanta che in quello di Montignoso.

Percolato	Pozzo di raccolta LU LOTTO C
	Pozzo di raccolta MS LOTTO B tombato
	Pozzo di raccolta MS LOTTO A2 e B nuovi
	Pozzo di raccolta MS LOTTO A1 CEMENTOAMIANTO
	Vasca di stoccaggio (omogeneizzazione)
Acque superficiali	A1 – Fossa Fiorentina prima della discarica
	A2 – Fossa Fiorentina a valle della discarica
	A3 – Fosso Colatore destro, a valle del rilevato ferroviario
Acque sotterranee	S1 – Sorgente di Porta S1
	S2 – Sorgente di Porta S2
	S3 – Sorgente di Porta S3
Acque sotterranee	Pz1 – piezometro realizzato in precedenza, all'esterno della discarica
	Pz5 – piezometro realizzato in precedenza, all'interno dell'anfiteatro, lato Sud-Est
	• Pz6 – nuovo piezometro realizzato a monte della discarica, lato Ovest
	Pz7 – nuovo piezometro realizzato all'esterno della discarica
	Pz8 – nuovo piezometro realizzato all'interno dell'area ANPIL
	Pz8bis – nuovo piezometro realizzato all'interno dell'area ANPIL
	Pz9 – nuovo piezometro realizzato all'esterno della discarica, lato Sud, dietro la Torre Medicea
	Pz10 – nuovo piezometro realizzato a monte della discarica, lato Nord
	Pz18 – nuovo piezometro temporaneo all'interno dell'area ANPIL
	Pz19 – nuovo piezometro temporaneo all'interno dell'area ANPIL

L'ubicazione di tutti i punti di controllo inizialmente utilizzati è riportata nella planimetria di seguito allegata.



PUNTI DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

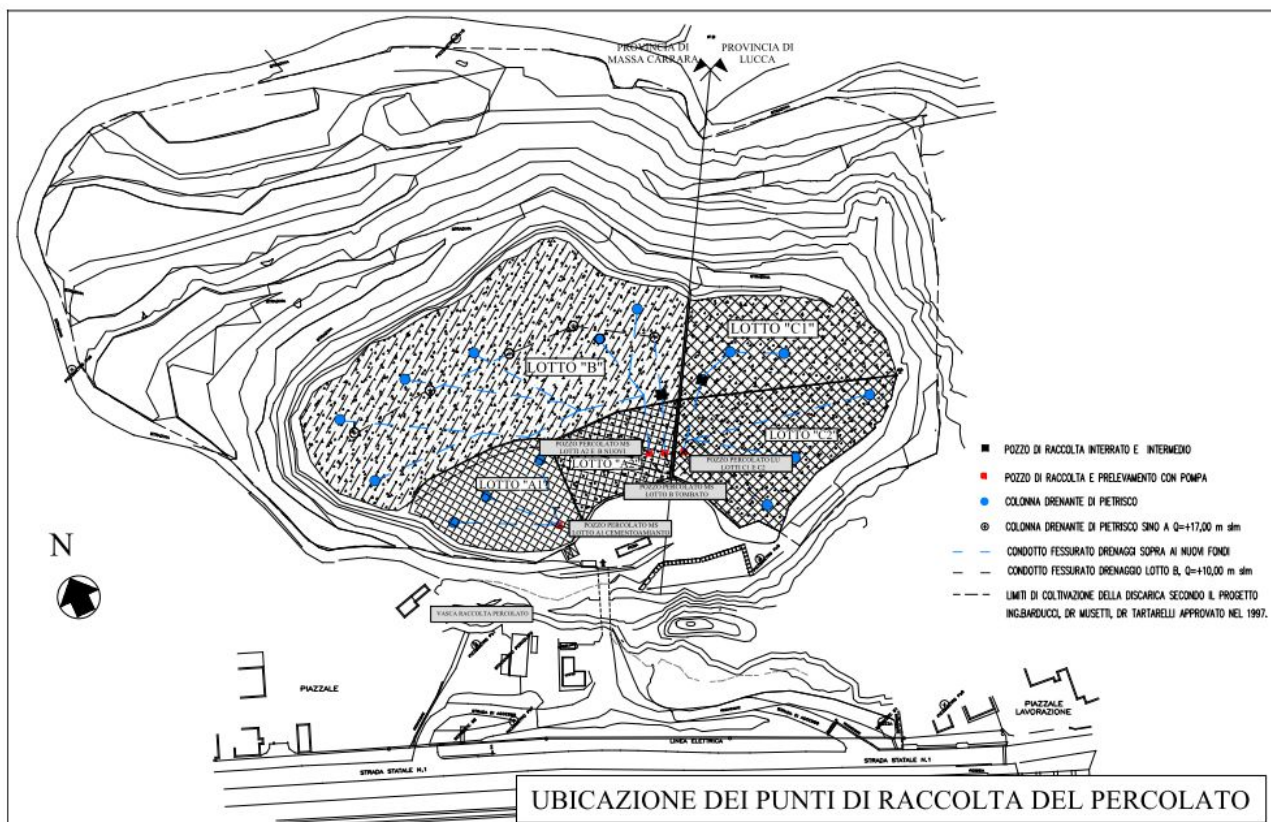
- Piezometri che Programma Ambiente Apuane S.p.a. utilizza per il monitoraggio e controllo delle acque sotterranee
- Acque superficiali
- Sorgenti

*Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com*

7.2 Percolato

Per il percolato è iniziato il monitoraggio nella vasca di raccolta, misurando sia i parametri chimici che il livello di liquido, specialmente in occasione e successivamente ad eventi piovosi di particolare intensità.

Inizialmente il percolato prodotto nei vari lotti era raccolto in un'unica vasca; in seguito, per evidenziare le differenze fra i vari settori della discarica, il percolato è stato raccolto e analizzato separatamente (vedi figura successiva).



Nei campioni di percolato raccolto venivano monitorati tutti i parametri individuati nell'allegato della DD n.61 del 20 maggio 2009 della Provincia di Lucca.

Nel percolato, oltre alle analisi chimiche, sono state eseguite, nell'anno 2007, anche analisi isotopiche.

7.3 Acque superficiali e sotterranee

7.3.1 Sorgenti

Nel 1980, nell'ambito dello studio finalizzato al "Progetto per la ricerca delle risorse idriche e formazione della carta delle acque del territorio della Comunità Montana Apuo-versiliese" (Coop. Geoversilia s.r.l.), era stata misurata la portata di due delle sorgenti di Porta, sia nel periodo invernale che in quello tardo estivo; per la sorgente S3, ubicata verso NW rispetto all'imbocco della cava, era

stata misurata una portata massima di 50.0 l/sec ed una minima di 20.5 l/sec, mentre la sorgente S1, ubicata a SE, presentava una portata minima, misurata a fine estate, pari a 34.0 l/sec.

La portata delle sorgenti è stata successivamente monitorata ed i dati raccolti dal 2001 al 2003 sono riportati nella seguente tabella.

data	Portata S1 (l/sec)	Portata S3 (l/sec)
31/10/2001	32.0	60.0
30/11/2001	33.0	66.0
31/12/2001	29.0	60.0
31/01/2002	29.0	63.0
28/02/2002	28.0	60.0
30/03/2002	28.0	58.0
30/04/2002	27.8	55.3
30/05/2002	29.5	57.9
30/06/2002	31.3	60.5
31/07/2002	27.8	55.3
30/08/2002	33.2	63.3
30/09/2002	31.3	60.5
31/10/2002	35.1	63.3
30/11/2002	31.3	60.5
30/12/2002	29.5	60.5
31/01/2003	31.3	63.3
28/02/2003	33.2	66.1
31/03/2003	32.4	64.4
30/04/2003	30.9	61.6
30/05/2003	27.8	60.6
30/06/2003	23.6	58.4
28/07/2003	18.7	57.9
03/09/2003	18.4	57.4

Tab. 7.1 Portate delle sorgenti nel periodo di osservazione 2001-2003

Le due sorgenti sono caratterizzate da un regime di portata con valori elevati, che si mantengono sostanzialmente costanti nel tempo (vedi grafici seguenti).

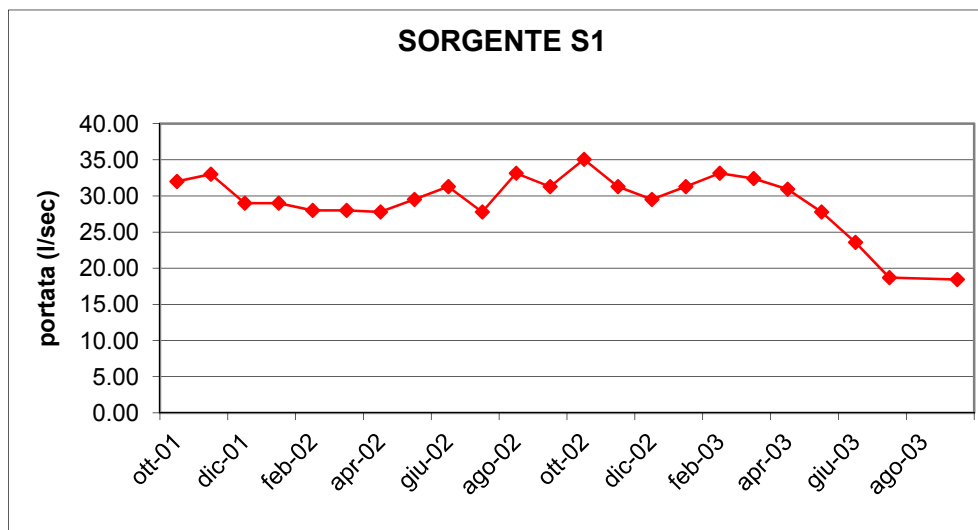


Fig. 7.1

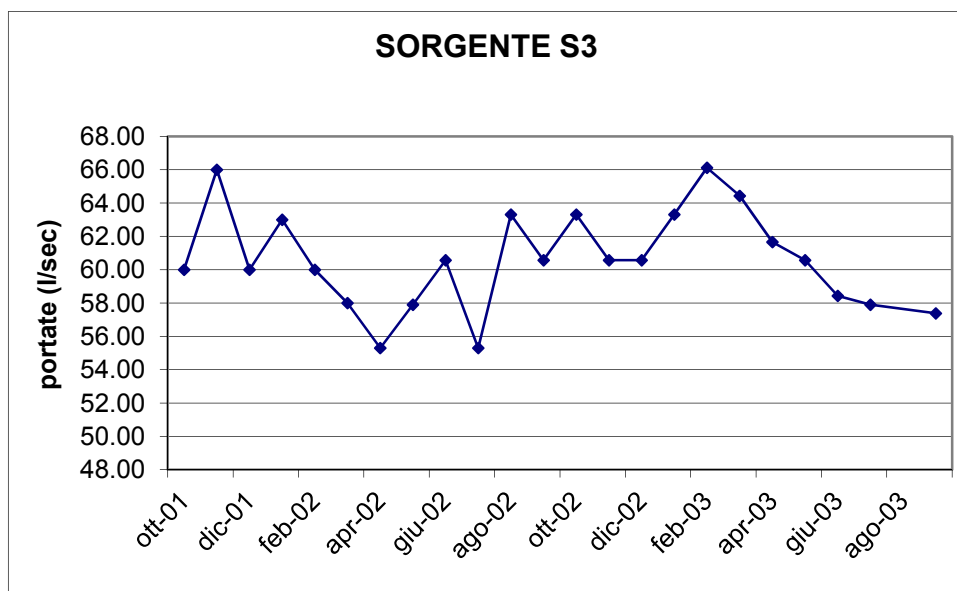


Fig. 7.2

Il confronto dei dati di portata con i valori di precipitazione del 2003 ha consentito di effettuare la ricostruzione delle curve di esaurimento delle due sorgenti.

A tale scopo sono stati acquisiti, presso l'Ufficio Mareografico ed Idrografico di Pisa, i dati delle precipitazioni del 2003 rilevati alle stazioni pluviometriche più vicine all'area d'indagine, corrispondenti alla stazione di Cerreto, nel Comune di Montignoso, e alle stazioni di Pietrasanta e di Ponte di Tavole, nel Comune di Seravezza.

Da tale indagine è stato evidenziato come il periodo tardo-primaverile sia stato caratterizzato da una assoluta scarsità di precipitazioni, come visualizzabile nella tabella successiva, dove i dati per i mesi da aprile ad agosto 2003 sono stati confrontati con quelli, ove disponibili, del 2000, 2001 e 2002.

	Cerreto			Ponte di Tavole		
	2000(mm)	2002(mm)	2003(mm)	2001(mm)	2002(mm)	2003(mm)
aprile	119.0	111.6	113.8	45.6	85.2	21.4
maggio	29.6	-	12.0	56.6	76.8	10.4
giugno	50.7	-	22.6	24.9	89.0	19.8
luglio	47.0	92.6	28.8	62.2	67.0	11.6
agosto	-	129.6	32.8	0.2	176.0	28.8

Tab. 7.2

Le registrazioni giornaliere hanno evidenziato, per il periodo marzo-agosto 2003, una sostanziale assenza di precipitazioni significative per cui si è potuto individuare, come periodo di esaurimento, quello compreso fra l'inizio di marzo 2003 e l'inizio di settembre.

In tale periodo, infatti, per la trascurabilità della ricarica attiva, ad opera delle precipitazioni, le portate delle sorgenti hanno evidenziato una diminuzione pressochè costante.

Il decremento delle portate, evidenziato nel periodo in esame, può essere rappresentato mediante l'equazione esponenziale di Maillet:

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$$

dove:

Q_t = portata della falda, in mc/sec, al tempo t

Q_0 = portata della falda, in mc/sec, al tempo 0

α = coefficiente di esaurimento, che dipende dalle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero e dalle condizioni idrodinamiche della falda

t = tempo trascorso dall'inizio del periodo di esaurimento, in giorni.

Se il decremento delle portate è di tipo esponenziale i punti si allineano su un diagramma semi-logaritmico; interpolando i punti si ottiene la retta rappresentativa della curva di esaurimento, dalla quale è facilmente ricavabile il coefficiente di esaurimento α .

Tale coefficiente caratterizza lo svuotamento delle falde idriche in regime non influenzato; esprime cioè la rapidità con cui l'acquifero tende a svuotarsi.

In generale un elevato valore di α può corrispondere ad un'elevata permeabilità dell'acquifero e/o ad un piccolo immagazzinamento d'acqua potenzialmente liberabile.

Viceversa un basso valore di α corrisponde in genere ad una scarsa permeabilità dell'acquifero o ad una falda molto estesa, con grandi volumi d'acqua immagazzinata (immagazzinamento dinamico).

Nel caso delle sorgenti in esame i valori dei coefficienti di esaurimento sono risultati i seguenti:

$$S1) \quad \alpha = 0.003658$$

$$S3) \quad \alpha = 0.0008066$$

cui corrispondono, in base alla formula:

$$W = Q_0(86400/\alpha e^{-\alpha t})$$

i seguenti valori di W (immagazzinamento dinamico)

$$S1) \quad W = 849.120 \text{ mc}$$

S3) W=7.016.120mc

In base a tali ricostruzioni è possibile fare alcune considerazioni sulle caratteristiche del bacino idrogeologico di alimentazione delle due sorgenti.

I valori di α risultano piuttosto bassi, in particolare quello della sorgente Porta S3 (lato Massa), che risulta caratterizzata anche da una portata maggiore.

Ciò sembra confermare la presenza di un circuito idrico di alimentazione delle sorgenti a carattere profondo, connesso cioè sia ai sistemi carsici che alla presenza degli importanti sistemi di frattura che bordano il limite occidentale del massiccio, con andamento parallelo alla linea di costa.

Questo è confermato dalla notevole entità che assumono, in particolare per la sorgente S3, i valori dell'immagazzinamento dinamico.

In effetti già lo Studio Geoversilia nel 1980 aveva evidenziato come la portata media delle sorgenti presenti nel territorio comunale di Montignoso non superasse mai i 5 l/sec, mentre le due sorgenti di Porta presentavano valori piuttosto costanti durante l'intero anno e sempre notevolmente superiori, indicando quindi un'alimentazione per mezzo di circuiti carsici o comunque profondi, indipendenti dai sistemi superficiali che alimentano le altre sorgenti, presenti all'interno dei bacini dei Torrenti Montignoso e Strettoia.

I dati di portata precedentemente rilevati sono stati integrati con ulteriori misure, effettuate durante la prima fase di monitoraggio e controllo.

La portata è stata ottenuta utilizzando il metodo di Manning-Strickler, dato che entrambe le sorgenti S1 e S3, immediatamente dopo la loro scaturigine, sono convogliate, attraverso uno stramazzo, in canali aperti.

La formula usata è:

$$Q = 1.46 \times h^{5/2} \times 10^3$$

dove **h** è l'altezza del pelo libero, misurata tramite un'asta graduata.

I dati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

data	Portata S1 (l/sec)	Portata S3 (l/sec)
23/01/2008	29.5	50.3
27/02/2008	26.1	45.6
26/03/2008	33.1	47.9
29/04/2008	37.0	55.3
29/05/2008	26.1	47.9
26/06/2008	26.1	45.6
29/07/2008	23.0	33.1
13/11/2008	37.0	55.3
28/01/2009	45.6	72.0
27/02/2009	37.0	66.1
29/05/2009	37.0	52.8
29/06/2009	29.5	50.3
01/09/2009	26.1	60.6
01/10/2009	26.1	41.2
04/03/2010	43.4	60.6

01/07/2010	33.1	50.3
29/10/2010	26.1	45.6

Tab. 0.3

Sorgente S1

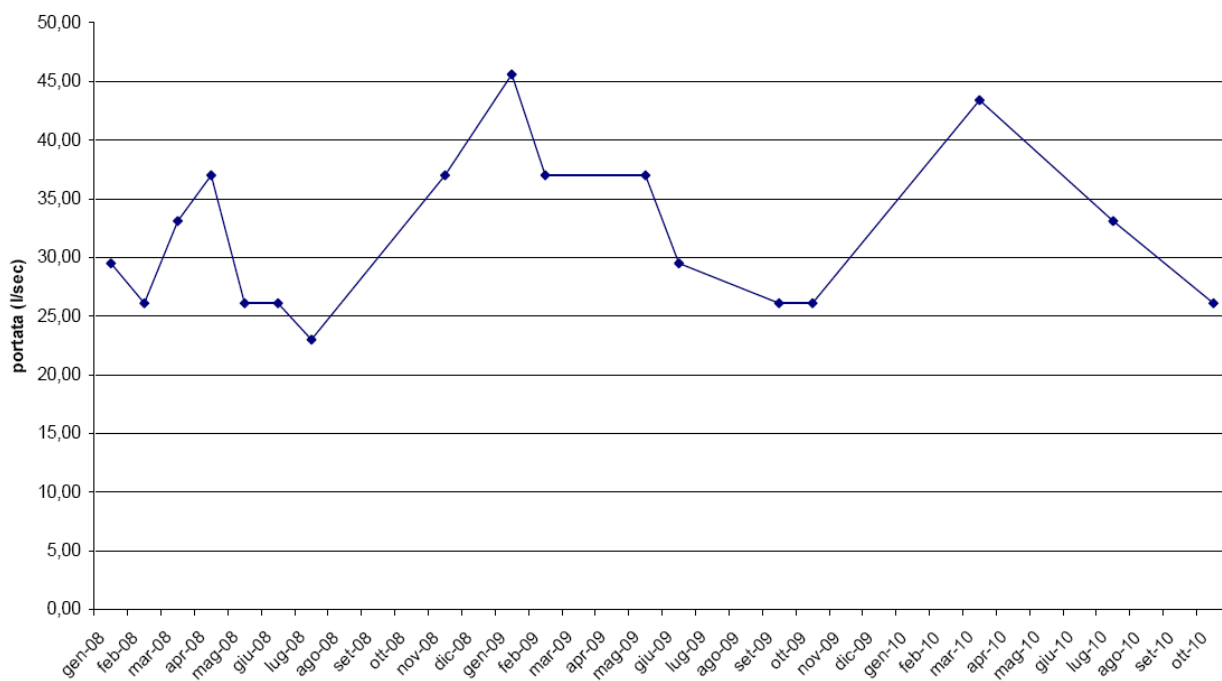


Fig. 0.3

Sorgente S3

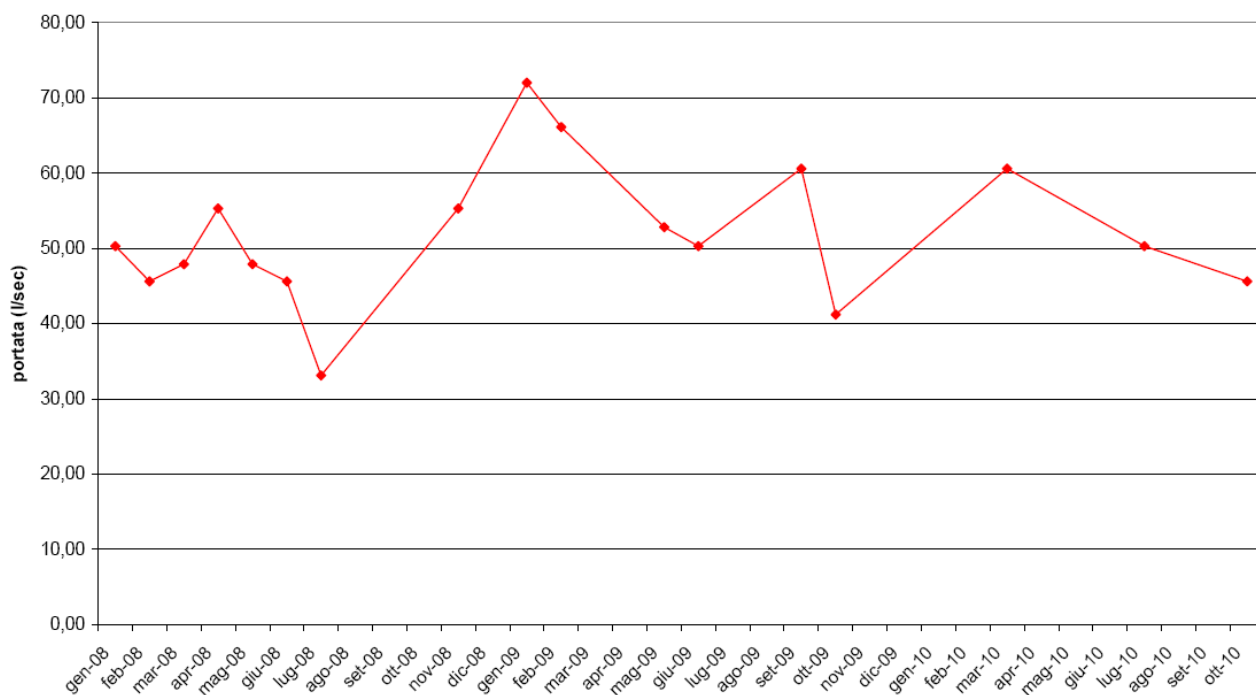


Fig. 0.4

La limitata disponibilità idrica dell'area scolante, che fa confluire le acque meteoriche a ridosso dell'ex cava Viti, dimostra che le sorgenti Porta S1 e S3, caratterizzate da portate elevate durante tutto l'anno, sono sicuramente alimentate da un bacino idrogeologico molto più vasto, tramite i sistemi di fratture, presenti nel complesso carbonatico, non direttamente connessi alle acque di precipitazione meteorica.

Tale ipotesi sarà chiarita nei paragrafi seguenti e nelle considerazioni conclusive, utilizzando i risultati ottenuti dalle interpretazioni dei dati chimici ed isotopici rilevati durante le campagne di monitoraggio e controllo delle acque delle sorgenti, dei pozzi della pianura e di quelle prelevate nel substrato carbonatico.

7.3.2 Piezometri

Piezometri esistenti

All'interno ed all'esterno del sito di discarica sono stati perforati vari piezometri; prima dell'inizio del Piano di Monitoraggio e controllo erano utilizzabili solamente il piezometro **Pz1**, ubicato in corrispondenza dell'entrata all'impianto, ed il piezometro **Pz5** realizzato al suo interno.

Nuovi piezometri di controllo

I nuovi piezometri sono stati attrezzati all'interno di fori di sondaggio realizzati seguendo le indicazioni contenute nell'Istruttoria del Servizio Rifiuti e Bonifiche Ambientali dell'Amministrazione Provinciale di Massa Carrara, redatta secondo quanto emerso durante le Conferenze di Servizio, sia per quanto riguarda le modalità di esecuzione che per le profondità raggiunte.

Il **piezometro Pz6** è stato realizzato all'interno della discarica, a monte del corpo dei rifiuti, per rilevare le caratteristiche della falda non influenzata dai materiali presenti nei vari lotti.

La perforazione ha raggiunto la profondità di 78m dal piano campagna, anche se la presenza di acqua era stata individuata a circa 64 metri.

Il sondaggio è stato approfondito con il duplice scopo di verificare le caratteristiche litotecniche e geomeccaniche dell'ammasso roccioso acquifero e di creare un perforo sufficiente per poter alloggiare una pompa ad immersione in grado di prelevare campioni di acqua, da utilizzare come "bianco", le cui caratteristiche chimico-fisiche non fossero influenzate dal corpo dei rifiuti.

Il **piezometro Pz7** è stato realizzato a monte dell'aiuola presente in prossimità dell'inizio della viabilità d'accesso alla discarica ed ha raggiunto la profondità di 18m, dopo aver attraversato per circa 3m il substrato roccioso.

Il sondaggio effettuato all'interno dell'area ANPIL del Lago di Porta, per la realizzazione del **piezometro Pz8**, ha raggiunto la profondità di 60m dal piano campagna, ed è stato interrotto dopo aver attraversato per 5m il substrato roccioso.

Dato che da questa perforazione, che ha intercettato la falda "confinata" all'interno del substrato roccioso, l'acqua esce in pressione, è stato terebrato a brevissima distanza un altro sondaggio, denominato **Pz8bis**, con profondità di 17m dal piano campagna, per poter eseguire misure del livello piezometrico della falda superficiale.

Il **piezometro Pz9** è stato perforato all'esterno della discarica, lato Sud, dietro la Torre Medicea, ed ha raggiunto la profondità di 6m, dopo aver attraversato per circa 4.4m il substrato roccioso.

Il **piezometro Pz10**, realizzato a monte della discarica, lato Nord, per poter rilevare le caratteristiche della falda non influenzata dai materiali presenti all'interno dell'impianto, ha raggiunto la pro-

fondità di 125m dal piano campagna, anche se la presenza di acqua era stata individuata a circa 102 metri.

In questo caso il sondaggio è stato proseguito con il duplice scopo di verificare le caratteristiche litotecniche e geomeccaniche dell'ammasso roccioso acquifero e di individuare il contatto tra la formazione del Calcare Cavernoso ed il sottostante verrucano s.l.

I nuovi piezometri, oltre ad incrementare la rete di monitoraggio, hanno consentito di rilevare, in alcuni casi, la profondità del substrato roccioso, facilitando la ricostruzione di sezioni idrogeologiche che comprendono la serie carbonatica e le alluvioni.

Inoltre, la rete di piezometri predisposta è in grado di monitorare e controllare sia il territorio del Comune di Pietrasanta che quello di Montignoso.

Per ogni sondaggio effettuato è stata predisposta una relazione tecnica, (vedi documentazione allegata alla Relazione geologica A.I.A 2011), in cui sono state inserite, oltre alle caratteristiche della strumentazione di perforazione, la stratigrafia, riportata in appositi moduli, il condizionamento del piezometro e la documentazione fotografica.

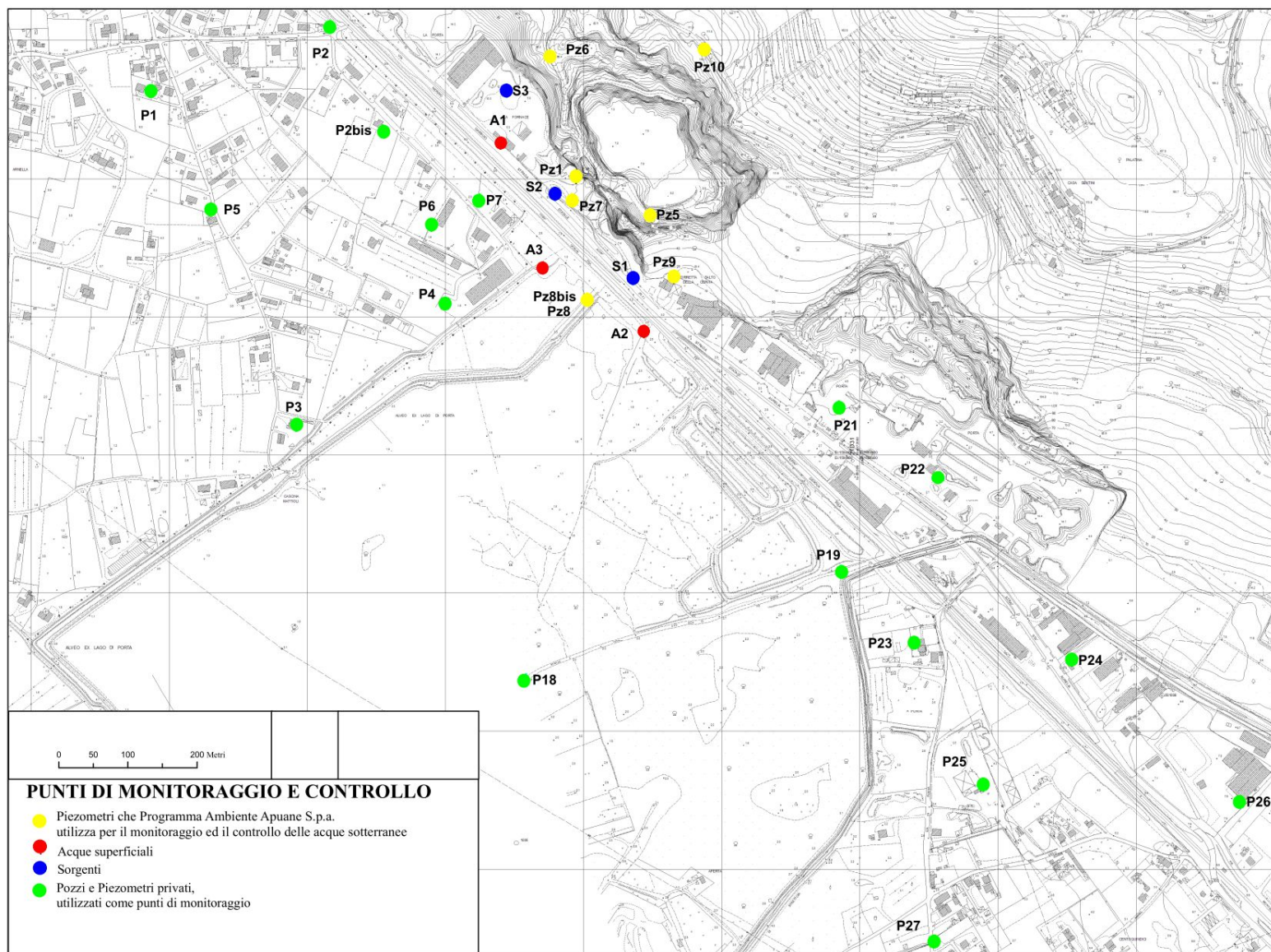
7.3.3 Estensione del monitoraggio

La rete di controllo è stata integrata, per evidenziare eventuali anomalie idrochimiche, come richiesto nell'Istruttoria del Servizio Rifiuti e Bonifiche Ambientali dell'Amministrazione Provinciale di Massa Carrara nell'anno 2008, individuando una maglia di punti di monitoraggio utilizzando pozzi privati ed industriali, ubicati nella piana alluvionale a valle della discarica e ricadenti sia nel Comune di Montignoso che in quello di Pietrasanta, come indicato nella planimetria allegata (vedi figura successiva).

L'estensione dei punti di controllo ha consentito, mediante analisi chimiche ed isotopiche, di realizzare diagrammi di caratterizzazione e di comparazione delle acque prelevate dai pozzi e dai piezometri.

I primi mettono in evidenza i rapporti esistenti fra i vari elementi chimici, mentre i secondi, raggruppando più analisi, sono utilizzati per confrontare e correlare fra loro acque superficiali e profonde.

Inoltre tale estensione ha permesso di ricostruire la direzione ed il verso di flusso delle acque sotterranee, tramite le misure piezometriche effettuate nel settembre 2007 e nel maggio 2008.



7.4 Modifica dei punti della rete di monitoraggio

La rete dei punti di monitoraggio ha subito, nel tempo, alcune variazioni.

Dato che nell'area in cui è ubicato il piezometro Pz1 è stata realizzata la volumetria d'accumulo delle acque meteoriche, che nel progetto di completamento della discarica sarà ampliata, per raccogliere anche quelle provenienti dal paramento esterno nelle varie fasi di coltivazione, nell'attuale piano di sorveglianza e controllo è stato eliminato questo punto d'acqua dalla rete di monitoraggio, per quanto riguarda il controllo chimico, e mantenuto per quanto riguarda la variazione del livello piezometrico.

Tale scelta si è resa necessaria per poter operare in totale sicurezza, durante i lavori di predisposizione della volumetria d'accumulo, evitando possibili interferenza fra le acque di ruscellamento superficiale, invase all'interno della vasca, ed il piezometro.

Inoltre da una cartografia del 1942 della "Soc. Ind. Calce" (vedi stralcio di seguito allegato) si evince che le acque inizialmente campionate come sorgente S2, in realtà, non sono altro che quelle della sorgente S3, in parte deviate all'interno della "Gora del Fontanaccio", che si immette nella Fossa Fiorentina proprio nel punto in cui sono stati eseguiti precedentemente i vari campionamenti delle acque.

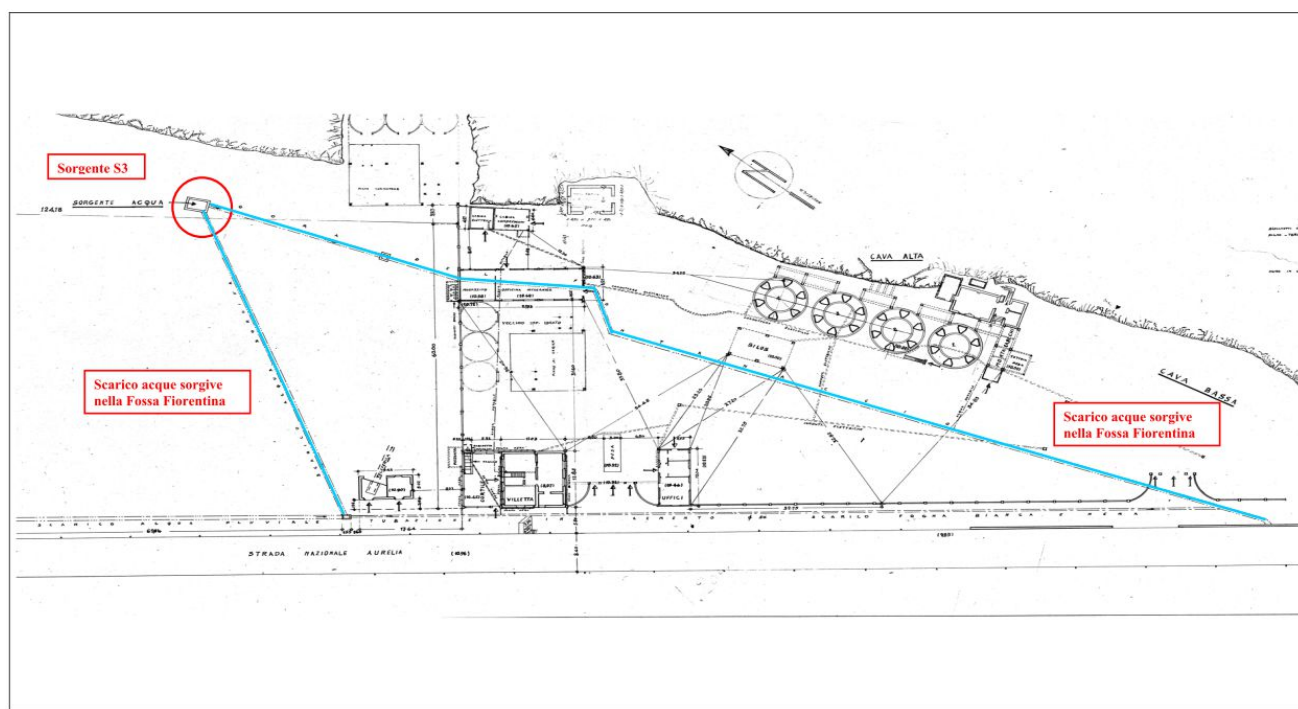


Fig. n.7.x – Stralcio della “Planimetria Generale dello stabilimento Soc. Ind. CALCE” – anno 1942

I risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni prelevati da S3 ed S2 avevano già evidenziato tale possibilità, in quanto mostravano concentrazione molto simili dei parametri analizzati.

Pertanto anche questo punto di monitoraggio è stato eliminato, per non ripetere l'analisi idrochimica sulle medesime acque.

Successivamente anche i punti S3, Pz10 e Pz6, pur continuando ad essere controllati nel tempo, sono stati eliminati della rete di monitoraggio; tale scelta è stata dettata dal fatto che, tenuto conto della direzione del flusso di falda, possono essere considerati "esterni" all'area d'influenza della discarica.

Pertanto i valori dei parametri chimici di questi punti sono monitorati solo qualitativamente e vengono segnalati alle autorità peggioramenti significativi della loro qualità ed eventuali superamenti dei valori limite di tabella 2, "Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee" – D. Lgs 152/2005 e s.m.i. – parte IV, All.5 Titolo V.

Anche il piezometro **Pz9**, realizzato all'esterno della discarica, lato Sud, dietro la Torre Medicea, è stato eliminato dalle rete di monitoraggio chimico, non fornendo le necessarie garanzie di protezione da agenti contaminanti esterni; pertanto anche il Pz1, come il Pz9, è stato mantenuto per misurare le variazioni del livello piezometrico.

7.5 Piano di monitoraggio e controllo vigente

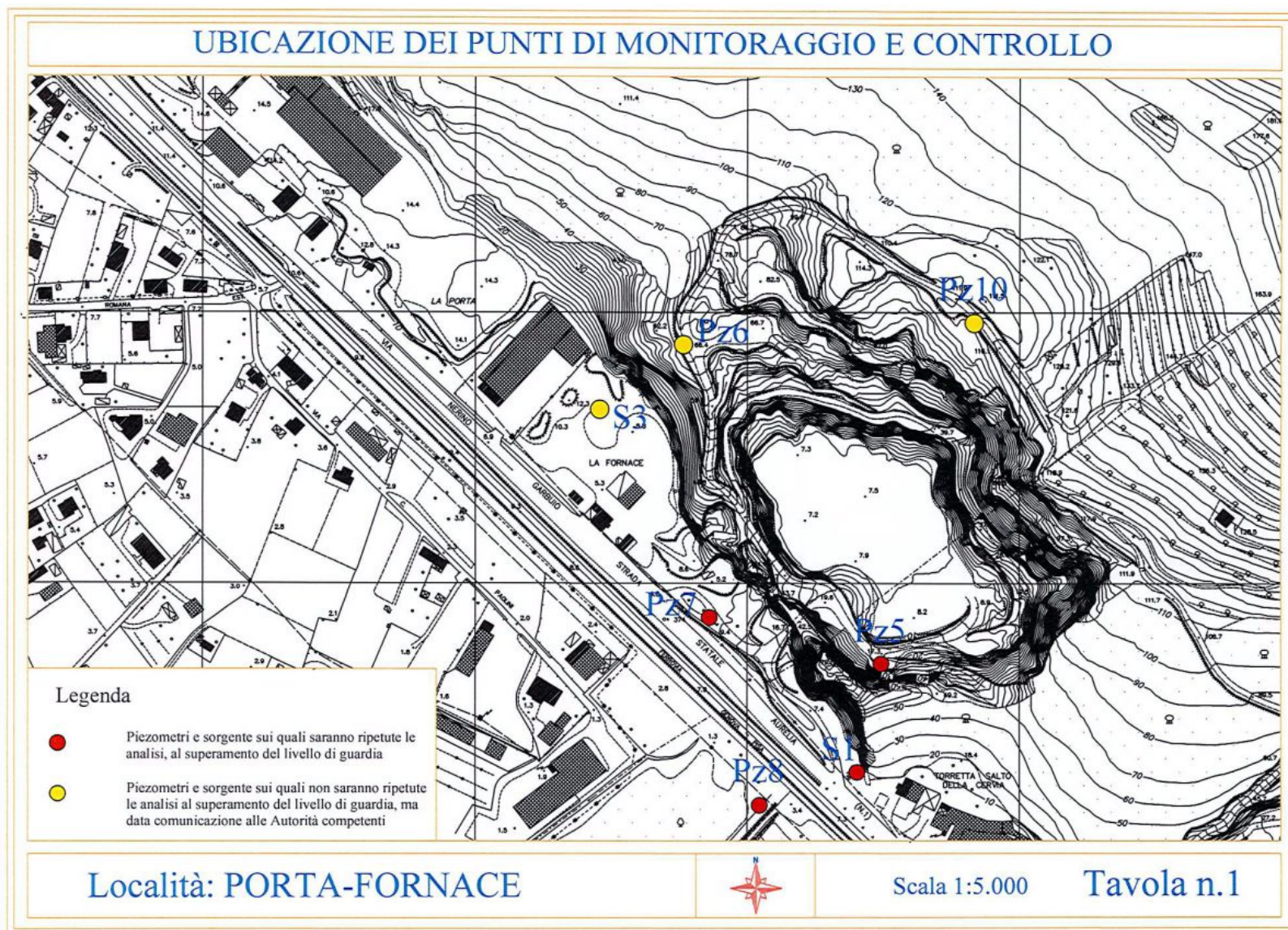
Attualmente il monitoraggio delle acque sotterranee e delle sorgenti è effettuato in conformità al Decreto n.611 del 17/02/2016 della Regione Toscana, integrato dal monitoraggio del triclorometano, prescritto dalla D.D. n.629 del 23/01/2018.

I punti attualmente analizzati sono quelli evidenziati nell'Allegato A del suddetto decreto, di seguito riassunti:

Percolato	Rubinetto/presa di carico autocisterna
Acque sotterranee utilizzate nel Piano di monitoraggio e controllo <u>(questi punti continueranno ad essere controllati in relazione ai limiti di guardia)</u>	Pz5 – piezometro posto a sud/sud-ovest dell'impianto, all'interno dell'anfiteatro roccioso Pz7 – piezometro posto a sud dell'impianto, all'esterno dell'anfiteatro roccioso, a monte della Fossa Fiorentina Pz8 – piezometro posto a valle dell'impianto, all'interno dell'ex Lago di Porta S1 – Sorgente di Porta S1, posto a sud-est dell'impianto, all'esterno dell'anfiteatro, nell'area della Porta Beltrame
Acque sotterranee a monte dell'impianto <u>(per questi punti sarà monitorata sola la qualità nel tempo)</u>	Pz6 – nuovo piezometro realizzato a monte della discarica, lato Ovest S3 – Sorgente di Porta S3 Pz10 – nuovo piezometro realizzato a monte della discarica, lato Nord
Piezometri utilizzati esclusivamente per il monitoraggio della piezometria del sito	Pz1 - piezometro realizzato all'esterno della discarica Pz 9 – piezometro realizzato all'esterno della discarica, lato Sud, dietro la Torre Medicea

Identificazione punti di monitoraggio e controllo (pozzi e sorgenti):

Punto	Descrizione	X Gauss-Boaga	Y Gauss-Boaga	Note
S1	Sorgente di Porta	1.594.080,76	4.872.255,28	---
S3	Sorgente di Porta	1.593.981,47	4.872.528,45	---
Pz5	piezometro, interno alla discarica, lato Sud-Est	1.594.098,07	4.872.339,24	---
Pz6	piezometro, a monte della discarica, lato Nord	1.593.935,03	4.872.374,34	---
Pz7	piezometro esterno alla discarica	1.593.971,92	4.872.374,34	---
Pz8	piezometro interno all'A.N.P.I.L. "Lago di Porta"	1.594.008,54	4.872.234,87	---
Nuovo Pz10	piezometro a monte della discarica, lato Nord	1.594.165,73	4.872.579,74	---



Nel settembre 2019, nell'ambito della Richiesta di Incidente Probatorio (artt. 392, comma 2, 393 c.p.p.) della Procura della Repubblica presso il Tribunale di Massa, su richiesta dei CTU Dott.ssa Antonella Colica e Dott. Andrea Zocchi, sono stati eseguiti ulteriori rilievi topografici, per verificare le corrette coordinate e quote (m. s.l.m.) dei punti facenti parte della rete di monitoraggio.

Tale nuovo rilievo topografico, eseguito con le più sofisticate strumentazioni a disposizione, si è reso necessario in quanto, nel tempo, sono stati eseguiti lavori di manutenzione sui piezometri che hanno modificato le quote a cui riferire le misure dei livelli di falda.

Le misurazioni GNSS sono stati eseguiti con il rover RTK GS18 T di Leica Geosystems. Con la nuova smart antenna non è più necessario tenere la palina in posizione verticale per centrare la bolla; quest'ultima innovazione combina GNSS e micro unità inerziali (IMU) per offrire una soluzione di compensazione dell'inclinazione immune alle interferenze magnetiche e che non necessita di calibrazione.

Le costellazioni GNSS utilizzati per il posizionamento sono le seguenti: GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou; la posizione dei punti risulta come coordinati geografiche (latitudine, longitudine, quota ellissoidale) in sistema WGS 1984 e ulteriormente trasformate in coordinate piani Roma 40 (proiezione di Gauss-Boaga EPSG 3003).

Nella tabella sotto riportata sono evidenziate le coordinate geografiche e la trasformazione nelle coordinate piane ROMA 40 (proiezione Gauss Boaga), oltre alla quota in m. s.l.m. del punto a cui riferire la misura.

Nome punto	Coordinate geografiche WGS 84			Coordinate piane Gauss-Boaga		
	Latitudine	Longitudine	Quota ellissoidale	Est	Nord	H (m s.l.m.)
PZ10 tubo	44°00'00.73747"N	10°10'27.30152"E	160.179	1594172.748	4872582.657	114.507
PZ6 tubo	44°00'00.61098"N	10°10'17.55264"E	112.587	1593955.682	4872575.670	66.921
PZ5 tubo	43°59'52.90879"N	10°10'23.79884"E	70.745	1594098.173	4872340.009	25.076
PZ1 tubo	43°59'55.02470"N	10°10'18.98814"E	52.910	1593990.101	4872403.770	7.244
PZ7 tubo	43°59'54.04013"N	10°10'18.21655"E	54.577	1593973.348	4872373.149	8.912
PZ9 tubo	43°59'49.81568"N	10°10'25.08263"E	49.051	1594128.124	4872244.984	3.381
PZ8 liv.acqua	43°59'49.45912"N	10°10'19.71914"E	48.638	1594008.822	4872232.286	2.972
PZ8Bis tubo	43°59'49.41391"N	10°10'19.66236"E	48.381	1594007.577	4872230.873	2.715
S3 pavimento	43°59'59.13138"N	10°10'14.65881"E	51.524	1593891.880	4872529.106	5.861
S3 piano campagna	43°59'59.04213"N	10°10'14.66505"E	52.541	1593892.059	4872526.354	6.878
S1 strada	43°59'49.91437"N	10°10'22.71991"E	47.908	1594075.457	4872247.281	2.240
S1 tavola acqua sorgente	43°59'50.22857"N	10°10'22.81975"E	48.134	1594077.542	4872257.006	2.466

Nel prosieguo del monitoraggio piezometrico, anche se nel Decreto n.611 del 17/02/2016 della Regione Toscana sono riportate coordinate dei punti di monitoraggio leggermente differenti, si ritiene più opportuno utilizzare, soprattutto per i valori delle quote di riferimento (principalmente dei tubi di misura) rispetto alle quali valutare le misure piezometriche (s.l.m.), quelle riassunte nella precedente tabella.

Per i punti suddetti vengono eseguiti prelievi ed analisi chimiche con frequenza trimestrale o annuale, come riportato nell'Allegato B del Decreto n.611 del 17/02/2016 della Regione Toscana.

I risultati dei campionamenti sono confrontati con i valori limite riassunti nelle tabelle di seguito riportate per i punti Pz5, Pz7, Pz8 ed S1 e, nel caso di superamenti, adottate le seguenti azioni:

1. se nessun parametro supera il livello di guardia non si adotta nessuna azione;
2. per tutti i parametri che superano il livello di guardia deve essere ripetuta l'analisi del parametro che ha superato il livello con un nuovo prelievo; se il parametro rientra al di sotto del livello di guardia si considera l'anomalia rientrata, in caso contrario dovranno essere avvisate Regione Toscana ed ARPAT, si procede ad un nuovo prelievo e all'analisi di tutti i punti della rete di monitoraggio. Indipendentemente dagli esiti dei successivi controllo deve essere presentata agli Enti una relazione che descriva l'andamento del fenomeno;
3. nel caso di superamento del livello di guardia per almeno tre parametri e su più di due punti di monitoraggio, dovranno essere avvisate Regione Toscana ed ARPAT e attivato un controllo settimanale dei parametri alterati in tutti i punti della rete di monitoraggio. Entro 30 giorni dall'accertamento del superamento dovrà essere prodotta a Regione Toscana ed ARPAT una relazione che ipotizzi le cause del superamento e le azioni da intraprendere ed i tempi per rimuovere dette cause;
4. il nuovo prelievo necessario per indagare ogni fenomeno di superamento dei livelli di guardia deve essere eseguito entro e non oltre 7 giorni dalla data di ricevimento del rapporto di prova emesso dal laboratorio che documenta tale superamento.

Pz5_Valle_	u.m.	Livello di guardia	Tab. 2 all. V parte IV D.Lgs.152/06
Concentrazione ione idrogeno	pH	7,8	
Temperatura	°C	21	
Conduttività'	µS/cm a 20°C	900	
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	10	
Cloruri	mg/l	50	
Solfati	mg/l	200	250
Ferro	µg/l	200	200
Manganese	µg/l	50	50
Azoto ammoniacale	mg/l	0,5	
Azoto nitroso	µg/l	50	
Azoto nitrico	mg/l	20	
Idrocarburi totali	µg/l	200	350
TOC	mg/l	9	
COD	mg/l	50	
Sodio	mg/l	40	
Potassio	mg/l	5	
Alcalinità	mg/l	370	
Calcio	mg/l	senza limiti	
Magnesio	mg/l	senza limiti	

Pz7_Valle_	u.m.	Livello di guardia	Tab. 2 all. V parte IV D.Lgs.152/06
Concentrazione ione idrogeno	pH	7,8	
Temperatura	°C	20	
Conduttività	µS/cm a 20°C	1100	
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	10	
Cloruri	mg/l	32	
Solfati	mg/l	500	250
Ferro	µg/l	200	200
Manganese	µg/l	50	50
Azoto ammoniacale	mg/l	0,5	
Azoto nitroso	µg/l	50	
Azoto nitrico	mg/l	20	
Idrocarburi totali	µg/l	200	350
TOC	mg/l	9	
COD	mg/l	50	
Sodio	mg/l	30	
Potassio	mg/l	5	
Alcalinità	mg/l	250	
Calcio	mg/l	senza limiti	
Magnesio	mg/l	senza limiti	

Pz8_Valle_	u.m.	Livello di guardia	Tab. 2 all. V parte IV D.Lgs.152/06
Concentrazione ione idrogeno	pH	8,0	
Temperatura	°C	20	
Conduttività	µS/cm a 20°C	1300	
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	10	
Cloruri	mg/l	95	
Solfati	mg/l	550	250
Ferro	µg/l	200	200
Manganese	µg/l	50	50
Azoto ammoniacale	mg/l	0,5	
Azoto nitroso	µg/l	50	
Azoto nitrico	mg/l	15	
Idrocarburi totali	µg/l	200	350
TOC	mg/l	9	
COD	mg/l	50	
Sodio	mg/l	75	
Potassio	mg/l	6	
Alcalinità	mg/l	280	
Calcio	mg/l	senza limiti	
Magnesio	mg/l	senza limiti	

S1_Valle_	u.m.	Livello di guardia	Tab. 2 all. V parte IV D.Lgs.152/06
Concentrazione ione idrogeno	pH	8,0	
Temperatura	°C	20	
Conduttività	µS/cm a 20°C	1200	
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	10	
Cloruri	mg/l	60	
Solfati	mg/l	400	250
Ferro	µg/l	200	200
Manganese	µg/l	50	50
Azoto ammoniacale	mg/l	0,5	
Azoto nitroso	µg/l	50	
Azoto nitrico	mg/l	15	
Idrocarburi totali	µg/l	200	350
TOC	mg/l	9	
COD	mg/l	50	
Sodio	mg/l	40	
Potassio	mg/l	7	
Alcalinità	mg/l	280	
Calcio	mg/l	senza limiti	
Magnesio	mg/l	senza limiti	

Di seguito vengo allegate le tabelle per i punti Pz6, Pz10 ed S3, per i quali viene monitorata la qualità nel tempo; dovranno essere segnalati alle autorità peggioramenti significativi della loro qualità ed eventuali superamenti dei valori limite di tabella 2, "Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee" – D. Lgs 152/2005 e s.m.i. – parte IV, All.5 Titolo V.

Pz6	u.m.	Fondo naturale
Concentrazione ione idrogeno	pH	6.9-7.7
Temperatura	°C	16.3-17.6
Conduttività	µS/cm a 20°C	505-687
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	
Cloruri	mg/l	11-29
Solfati	mg/l	24-52
Ferro	µg/l	200
Manganese	µg/l	50
Azoto ammoniacale	mg/l	
Azoto nitroso	µg/l	
Azoto nitrico	mg/l	6.6-24.8
Idrocarburi totali	µg/l	350
TOC	mg/l	
COD	mg/l	
Sodio	mg/l	2.9-21.4
Potassio	mg/l	0.0-2.0
Alcalinità	mg/l	260-375
Calcio	mg/l	92-142
Magnesio	mg/l	0-77

Pz10	u.m.	Fondo naturale
Concentrazione ione idrogeno	pH	6.6-7.6
Temperatura	°C	15.2-17.6
Conduttività	μS/cm a 20°C	501-864
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	
Cloruri	mg/l	0-52
Solfati	mg/l	0-59
Ferro	μg/l	200
Manganese	μg/l	50
Azoto ammoniacale	mg/l	
Azoto nitroso	μg/l	
Azoto nitrico	mg/l	0.5-34.9
Idrocarburi totali	μg/l	350
TOC	mg/l	
COD	mg/l	
Sodio	mg/l	0.7-26.2
Potassio	mg/l	0-5.7
Alcalinità	mg/l	252-570
Calcio	mg/l	74-186
Magnesio	mg/l	0.4-13

S3	u.m.	Fondo naturale
Concentrazione ione idrogeno	pH	7.1-7.7
Temperatura	°C	16.6-17.7
Conduttività	μS/cm a 20°C	706-1005
Ossidabilità Kubel (O ₂)	mg/l	
Cloruri	mg/l	12-24
Solfati	mg/l	189-394
Ferro	μg/l	200
Manganese	μg/l	50
Azoto ammoniacale	mg/l	
Azoto nitroso	μg/l	
Azoto nitrico	mg/l	6.7-10.8
Idrocarburi totali	μg/l	350
TOC	mg/l	
COD	mg/l	
Sodio	mg/l	4.9-21.6
Potassio	mg/l	0.4-3.2
Alcalinità	mg/l	179-241
Calcio	mg/l	121-170
Magnesio	mg/l	17-34

7.6 Verifica dei parametri chimici delle acque in relazione ai limiti di guardia e ai valori di fondo naturale

Dal 2007 ad oggi sono state analizzate con cadenza trimestrale le acque prelevate dai piezometri e dalle sorgenti facenti parte, in base alle prescrizioni delle varie determinazioni e decreti dirigenziali vigenti, della rete di monitoraggio e controllo.

Il controllo della qualità delle acque è stato eseguito annualmente anche da ARPAT e, soprattutto nel settembre 2019, in occasione della Richiesta di Incidente Probatorio (artt. 392, comma 2, 393 c.p.p.) della Procura della Repubblica presso il Tribunale di Massa, su richiesta dei CTU Dott.ssa Antonella Colica e Dott. Andrea Zocchi, sono state effettuati ulteriori campionamenti anche sui suoli, sull'aria e sulle acque superficiali.

Nella Relazione peritale conclusiva, in risposta al quesito:

“Accertino i periti, esaminata la documentazione agli atti e acquisiti tutti i documenti ritenuti necessari ovunque si trovino, se si sia verificata nel caso di specie una compromissione o un deterioramento delle matrici ambientali interessate dall'attività, diretta od indiretta, posta in essere all'interno dell'impianto di discarica appartenente alla Società Programma Ambiente Apuane s.p.a. (anche detta “Cava Fornace” o “ex Cava Viti”) operando, se necessario, nello specifico e con le modalità richieste dalla normativa settoriale vigenti, opportuni carotaggi e campionamenti del suolo e del sottosuolo su cui insiste l'impianto, prelevando campioni dell'aria dal sito di discarica e dal territorio limitrofo, provvedendo, infine, all'analisi delle relative risultanze al fine di accertare la presenza all'interno delle matrici ambientali esaminate di agenti inquinanti in misura eccedente al tasso soglia previsto dalla normativa di settore specificando il livello di concentrazione di tali agenti inquinanti nonché la presenza di eventuali fibre di amianto aerodisperse o altre sostanze inquinanti presenti nell'area”

i C.T.U. concludono che:

- **matrice ambientale aria**

in base ai valori di concentrazione in nostro possesso relativi al periodo 2013-2019 non si rilevano superamenti dei limiti di legge relativamente alle fibre di amianto aerodisperse (limite di 2.0ff/l - D.M. 06/09/1994 punto 6/b). **In base ai dati di cui sopra non si rileva deterioramento o compromissione della matrice così come stabiliti dalla giurisprudenza (Sentenza Sez.3 n.46170 del 21/09/2016 – inquinamento ambientale)**

- **matrice ambientale suolo**

in base ai dati rilevati in occasione dell'unico campionamento del 19/09/2019 non risultano superamenti dei limiti di legge relativamente a fibre di amianto, idrocarburi e cianuri. Si segnala tuttavia che si tratta di un unico set temporale di valori acquisiti e pertanto non è possibile determinare se vi sia deterioramento o compromissione della matrice ambientale (Sentenza Sez.3 n.46170 del 21/09/2016 – inquinamento ambientale) perché ciò richiede il monitoraggio nel tempo dei campionamenti e delle relative analisi.

- **matrice ambientale acqua**

- a) acqua di piezometri e sorgenti (acque del sottosuolo): risulta la presenza di valori di concentrazione superiori al limite della normativa vigenti in merito (D.Lgs. 152/2006) relativamente a **triclorometano e solfati**.

In particolare per il **tricloroetano**:

Pz10 – ubicato a monte dell'impianto di discarica, le acque hanno presentato sempre valori di concentrazione superiori al limite previsto per legge, durante il periodo di attività (par. 7.1 RELAZIONE PERITALE e tab.3); tali valori sono superiori a quelli riscontrati a valle, nelle acque di Pz5

Pz5 – ubicato a valle dell'impianto di discarica, le acque hanno presentato alternativamente valori di concentrazione al di sopra e al di sotto del limite previsto per legge, durante il periodo di attività del piezometro stesso (par. 7.1 RELAZIONE PERITALE e tab.3).

Pertanto per quanto riguarda il triclorometano, tale parametro si può definire misurabile e ripetibile (Sentenza Sez.3 n.46170 del 21/09/2016) tuttavia per determinare la compromissione o il deterioramento è necessaria la conoscenza della originaria consistenza della matrice ambientale.

Per quanto riguarda i solfati:

Pz7 e Pz8 - durante il periodo di attività le acque dei piezometri hanno sempre mostrato valori di concentrazione dei solfati superiori al valore limite di legge

Pz5 - durante il periodo di attività le acque del piezometro hanno presentato alternanza di periodi con concentrazione dei solfati sia al di sopra che al di sotto del valore limite di legge

S1 ed S3 - durante il periodo di monitoraggio le acque di queste sorgenti hanno presentato alternanza nella concentrazione di solfati sia al di sopra che al di sotto del valore limite di legge.

Per quanto riguarda i solfati, si osserva che i piezometri Pz7, Pz8, Pz5 e le sorgenti S1 ed S3 sono ubicati fra l'impianto di discarica ed il Lago di Porta; le acque dei piezometri Pz10 e Pz6 a monte dell'impianto, presentano contenuti di solfati sempre sotto il valore limite di legge.

Pertanto, per quanto riguarda i solfati, tale parametro si può definire misurabile e ripetibile (Sentenza Sez.3 n.46170 del 21/09/2016).

Si sottolinea che i valori riscontrati relativi all'attività dell'impianto di Programma Ambiente Apuane rientrano nei limiti di guardia (vedi par.2 RELAZIONE PERITALE).

Per determinare la compromissione o il deterioramento è necessaria la conoscenza della originaria consistenza della matrice ambientale. A tal fine in base ai dati ARPAT Massa ricevuti, relativi a pre inizio attività dell'impianto di Programma Ambiente Apuane, non sembrano rilevarsi variazioni significative della concentrazione dei solfati rispetto alle medesime rilevate post inizio attività.

b) acqua di Fossa Fiorentina (acque di superficie): i valori di concentrazione dei vari composti chimici delle acque di Fossa Fiorentina rilevati da ARPAT Massa non presentano superamenti del valore limite di legge nella concentrazione degli inquinanti (D.Lgs. 152/2006) analizzati tranne che per **triclorometano e solfati**, in particolare

triclorometano

- il campione delle acque prelevate in Fossa Fiorentina 1 (FF1) a valle dell'impianto di Programma Ambiente Apuane presenta valori di concentrazione pari a 0.26µg/l a fronte del limite pari a 0.15µg/l (D.Lgs. 152/2006).

Il campionamento delle acque relativo al punto Fossa Fiorentina 1bis (FF1bis) a valle del precedente non presenta concentrazione anomala di tricloroetano.

solfati

- il campione delle acque prelevate in Fossa Fiorentina 1bis (FF1bis) a valle dell'impianto di Programma Ambiente Apuane presenta valori di concentrazione pari a 337mg/l a fronte del limite pari a 250mg/l (D.Lgs. 152/2006).

Trattandosi di un unico set temporale di valori acquisiti, non è possibile determinare se vi sia deterioramento o compromissione della matrice acqua superficiale relativamente a questi composti perché ciò richiede il monitoraggio nel tempo dei campionamenti e delle relative analisi.

7.6.1 Considerazioni sulle conclusioni della relazione peritale

Nella loro relazione i CTU, per quanto riguarda i superamenti descritti, si sono riferiti ai valori limite presenti nella Tabella 2 All. V Titolo V parte IV del D.Lgs. n.152/06, per le acque sotterranee, e non a quelli indicati nell'Allegato B del Decreto n.611 del 17/02/2016, a cui l'impianto deve far riferimento per verificare la corretta tenuta del fondo.

In questo allegato sono riassunti i livelli di guardia, proposti sulla base di un apposito Studio idrogeochimico (Definizione dei livelli di controllo sui punti della rete di monitoraggio delle acque sotterranee, predisposto dall'Ing. Mario Mussi del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Geoscienze e Georisorse in collaborazione con il Dott. Geol. Carlo Alberto Turba nel 2011), successivamente approvati dalla Regione Toscana – Settore Rifiuti e bonifiche dei siti inquinati.

In questo studio alle acque di S1, Pz7 e Pz8, classificate come “*solfato-calciche*”, sono stati attribuiti i livelli di guardia, di seguito riassunti.

Punto di monitoraggio		Livello di guardia - Solfati
S1	=	400mg/l
Pz7	=	500mg/l
Pz8	=	550mg/l

Per quanto riguarda S3, considerata “punto di monitoraggio a monte della discarica”, sono stati attribuiti i valori di fondo naturale, approvati sempre dalla Regione Toscana – Settore Rifiuti e bonifiche dei siti inquinati, di seguito riassunti.

Punto di monitoraggio		Livello di guardia - Solfati
S3	=	189-394mg/l

In tutti gli anni di osservazione, in base alle analisi eseguite da ARPAT e da quelle effettuate dai laboratori incaricati da PAA, il parametro solfati non ha mai superato, in questi punti di monitoraggio, i livelli di guardia e quello di fondo naturale.

La presenza di triclorometano è stata rilevata anche in altri pozzi e sorgenti, ad uso idropotabile, della zona apuo-versiliese e, più in generale in tutta la Toscana e altre regioni italiane.

A tal proposito si può far riferimento allo studio “Monitoraggio Corpi Idrici Sotterranei - Risultati 2013-2015 - Rete di Monitoraggio Acque sotterranee - DLgs 152/06 DLgs 30/09”, predisposto da ARPAT, che presenta le classificazioni dello stato chimico dei corpi idrici sotterranei significativi della Toscana per il triennio 2013-2015.

Secondo quanto indicato dal D.lgs 30/2009 le classificazioni dello stato chimico nel triennio 2013-2015 sono date dal confronto della media dei valori osservati nel periodo sulla singola stazione, tenuto conto di possibili livelli di fondo naturale per le sostanze inorganiche, con gli Standard di Qualità Ambientale (SQA) o Valore Soglia (VS) di cui al DM 260/2010.

Per le captazioni ad uso idropotabile, in aggiunta, sono considerate sempre ai fini della determinazione dello stato chimico le Concentrazioni Massime Ammissibili CMA di cui al Dlgs 31/2001.

Sebbene non ancora oggetto di una puntuale definizione del fondo naturale, infine, è stata presa in considerazione anche la possibile origine naturale degli alometani (triclorometano, dibromoclorometano, bromodichlorometano).

Il triclorometano, infatti, è stato più volte riscontrato con concentrazioni pur limitate ma eccedenti il VS (valore soglia) di 0,15 µg/l anche in situazioni remote che portano ragionevolmente ad escludere contributi antropici.

Biancardi et alii (2009) hanno riportato, a tal proposito, condizioni di fondo naturale di cloroformio dovuto ai processi di degradazione della sostanza organica fino a concentrazioni prossime a 0,7 µg/l. Occorre notare che le stesse sostanze generate diffusamente per la clorazione della sostanza organica presentano una CMA (concentrazione massima ammissibile) per il consumo umano ben più alta e pari a 30 µg/l come sommatoria.

Si è così riconosciuto un possibile valore di 0,7 µg/l come VFN (valore di fondo naturale) per le tre sostanze.

CL_TIPO	CL_CODICE	ALLUMINIO - µg/L	ARSENICO - µg/L	CADMIO - µg/L	CROMO TOTALE - µg/L	CROMO VI - µg/L	FERRO - mg/L	MERCURIO - µg/L	MANGANESE - mg/L	SODIO - mg/L	NICHEL - µg/L	PIOMBO - µg/L	ANTIMONIO - µg/L	SELENIO - µg/L	BORO - µg/L	CLORURO - mg/L	FLUORURO - µg/L	IONE AMMONIO - µg/L NH ₄	SOLFATO - mg/L	TRICLOROMETANO - µg/L	DIBROMOCLOROMETANO	BROMODICLOROMETANO
33TN010	VERSILIA E RIVIERA APUANA								1.98							22696		2144		0.7	0.7	0.7

I valori di tricloroetano riscontrati nelle acque del Pz10 (0.48 µg/l) rientrano quindi fra quelli individuati come “fondo naturale” dell’acquifero della Versilia e della Riviera Apuana.

Inoltre tale elemento è presente nel percolato della discarica in quantità trascurabili (0.017µg/l – analisi del 22/02/2019).

8 –CARATTERIZZAZIONE CHIMICA ED ISOTOPICA DELLE ACQUE SOTTERRANE E SUPERFICIALI

8.1 Campionamento ed analisi delle acque – operazioni di campagna

Il procedimento seguito in campagna per la raccolta dei campioni è lo stesso per tutti i punti di prelievo; essenzialmente le operazioni svolte in campagna sono state le seguenti:

- ❑ misura dei parametri chimico-fisici dell'acqua:
 - temperatura,
 - pH,
 - conducibilità,
- ❑ misura della temperatura dell'aria,
- ❑ prelievo dei campioni d'acqua.

MISURA DELLA TEMPERATURA E DEL PH

Le misure della temperatura e del pH sono eseguite con lo stesso strumento, un pHmetro “Hamilton” del tipo pH6.

MISURA DELLA CONDUCIBILITÀ

La conducibilità è misurata con l'ausilio di un conducimetro “Hanna Instruments” del tipo HI 8733.

CAMPIONI PRELEVATI DA POZZI E PIEZOMETRI

Quando possibile, il prelievo dei campioni è effettuato tramite una pompa mobile con generatore esterno; in alternativa questa operazione è stata eseguita con un campionatore standard (Bailer), costituito da un tubo aperto in plastica con pallina di chiusura.

Quando il diametro del piezometro era troppo piccolo, per prelevare acqua non influenzata dalle precipitazioni meteoriche, situata più in profondità, è stata utilizzata una siringa d'aspirazione munita di tubicino in gomma.

8.2 Analisi di laboratorio

Le analisi chimiche di tutti i campioni di acqua prelevati dall'agosto 2007 sono effettuate da Ecol Studio s.r.l., mentre quelle isotopiche dai laboratori dell' I.G.G. (Istituto Geoscienze e Georisorse) del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa.

8.3 Risultati analitici chimici

La verifica dell'attendibilità delle analisi, è stata fatta in base al principio di elettroneutralità delle acque.

Infatti, una condizione fondamentale delle soluzioni di elettroliti è che a scala macroscopica, piuttosto che a scala molecolare, esista una condizione di elettroneutralità.

La somma delle cariche ioniche positive uguaglia quella delle cariche negative secondo l'equazione:

$$\sum z \cdot mc = \sum z \cdot ma$$

dove **z** è la valenza, **mc** la molalità della specie cationica e **ma** la molalità della specie anionica. In altri termini si può scrivere:

$$\sum meqc / l = \sum meqa / l$$

Questa equazione, che è conosciuta come equazione di elettroneutralità o anche equazione del bilancio di carica, può essere utilizzata come indicazione dell'accuratezza dei dati di un'analisi chimica.

Per il principio di elettroneutralità, al termine di ogni analisi, si dovrebbe teoricamente ottenere un'uguaglianza tra la somma degli equivalenti dei cationi e degli anioni (bilancio ionico).

La verifica di questo aspetto viene in genere condotta utilizzando i risultati relativi agli elementi maggiori.

Molto difficilmente si otterranno valori prossimi allo zero, a causa di piccoli errori commessi durante le analisi o il campionamento; ad ogni modo un'analisi, per avere una buona attendibilità, deve mostrare valori di sbilanciamento ionico compresi tra $\pm 10\%$.

8.4 Risultati analisi isotopiche

Per meglio chiarire le modalità di circolazione idrica sotterranea e le possibili interferenze con la discarica è stato iniziato, in collaborazione con l'**Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR di Pisa**, uno studio sulle caratteristiche isotopiche delle acque della zona.

In tutti i punti di monitoraggio ed in altri censiti nella pianura dei Comuni di Montignoso e Pietrasanta sono stati prelevati dei campioni d'acqua per effettuare, oltre alle analisi chimico fisiche, anche quelle isotopiche (vedi allegata tabella riassuntiva delle analisi isotopiche effettuate sulle acque prelevate dai vari punti di monitoraggio e controllo).

Questo tipo di analisi è stato effettuato anche su campioni prelevati all'interno del Torrente Strettoia, del Torrente Montignoso, dell'ex Lago di Porta e sulle acque di pioggia raccolte mensilmente al pluviografo presente all'interno del sito di discarica.

I valori ricavati sono serviti per ricostruire la retta meteorica locale che rappresenta la composizione isotopica media delle acque d'infiltrazione della zona.

I risultati ottenuti da tutti i punti di monitoraggio e controllo, sia interni che esterni al sito di discarica, sono stati confrontati con la composizione isotopica media suddetta per individuarne la "quota media d'infiltrazione".

Gli isotopi stabili dell'ossigeno e dell'idrogeno, che fanno parte della molecola d'acqua, sono utilizzati come *traccianti naturali conservativi* perché la loro composizione non dipende dalla litologia delle rocce attraversate o dai tempi di contatto acqua-roccia, ma è funzione soltanto delle caratteristiche isotopiche dell'acqua di infiltrazione efficace.

I rapporti isotopici di ossigeno e idrogeno rappresentano, infatti, i traccianti più utilizzati nelle prospezioni idrogeologiche (Celico, 1986) (<http://www.iaea.org>).

Associando alle analisi chimiche quelle isotopiche potranno essere affrontate le seguenti problematiche:

- localizzazione delle zone di ricarica (quote medie di infiltrazione delle acque che alimentano i vari acquiferi);
- valutazione del grado di mescolamento fra acque differenti (ad esempio tra acque con caratteristiche chimiche simili, ma facenti parte di acquiferi diversi);
- età e tempi di residenza nell'acquifero;
- determinazione dell'origine della salinità delle acque sotterranee;
- interazione chimico-fisica con la roccia serbatoio;
- vulnerabilità delle falde.

8.5 Elaborazione e interpretazione dei dati

I risultati delle analisi effettuate in campagna e in laboratorio hanno permesso una prima distinzione e classificazione in gruppi delle acque esaminate.

Per ogni punto d'acqua campionato si è cercato di individuare la possibile area di alimentazione, per ricostruire le direzioni preferenziali della circolazione idrica.

Di seguito verranno illustrati i risultati ottenuti dall'interpretazione delle analisi chimiche e isotopiche.

Per una migliore comprensione dei diagrammi che verranno proposti sono descritti i metodi grafici ed il significato dei parametri considerati.

8.6 Metodi grafici per rappresentare i dati delle analisi chimiche.

Esistono vari metodi grafici per rappresentare i parametri chimici delle acque; l'uso o la scelta di uno di essi dipende dagli obiettivi e dagli scopi del lavoro in atto.

La classificazione delle acque si basa sulle concentrazioni relative delle principali specie ioniche in soluzione, che sono Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , ed è stata effettuata, in questo lavoro, utilizzando in primo luogo il diagramma di Piper-Hill, integrandolo con quelli triangolari.

La concentrazione degli ioni viene espressa in meq/l.

DIAGRAMMI TRIANGOLARI

Un diagramma triangolare, costituito da un triangolo equilatero, è ideale per rappresentare tre componenti.

Ognuno dei vertici del triangolo equilatero rappresenta uno dei componenti puri (100%).

Un punto situato all'interno della figura rappresenta una miscela ternaria.

Questo diagramma permette quindi di visualizzare i rapporti che intercorrono tra gli anioni e i cationi fondamentali.

Per sapere quantitativamente la composizione del campione, rappresentato da un punto all'interno della figura, basta tracciare tre parallele ai lati del triangolo, sui quali viene riportata la somma percentuale, in meq/l, di ogni singolo anione o catione.

Normalmente gli ioni più comuni che si rappresentano sono gli anioni HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} e NO_3^{-} e i cationi $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, Ca^{2+} e Mg^{2+} .

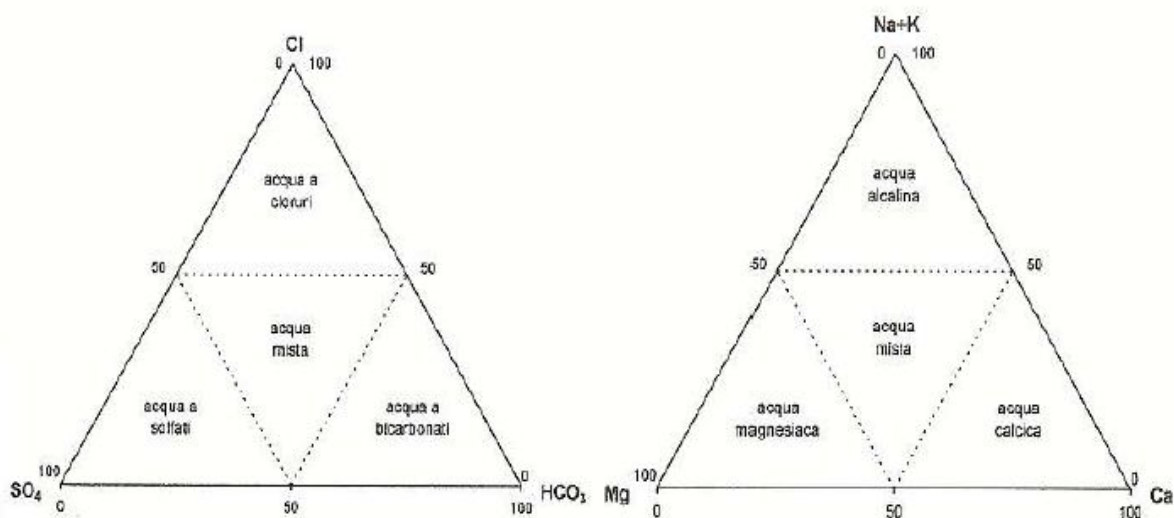


Fig. 8.1- Tipi di acque dedotti dai diagrammi triangolari.

DIAGRAMMA DI PIPER-HILL

Il diagramma di Piper-Hill è un diagramma composto da due triangoli equilateri e da un corpo centrale costituito da due triangoli equilateri uniti per la base.

Il criterio per ubicare i valori è lo stesso dei diagrammi triangolari.

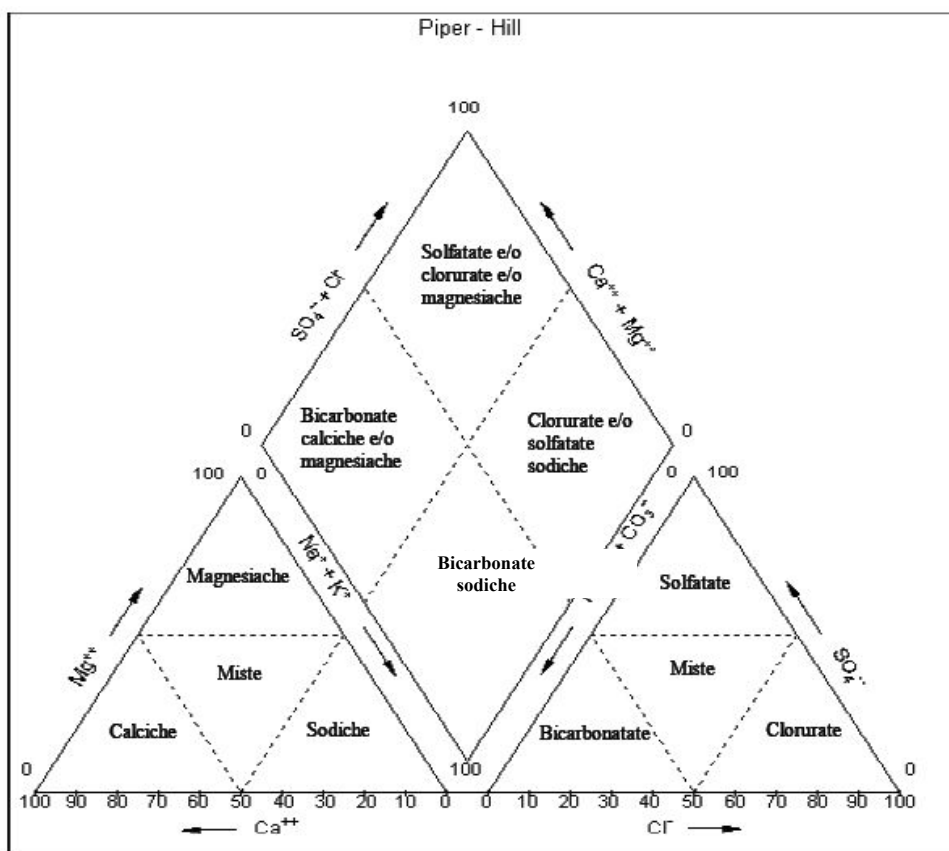


Fig. 8.2- Tipi di acque dedotte da un diagramma di Piper-Hill.

8.7 Discussione dei dati chimici

Dal settembre 2007 sono iniziate le campagne di misura, con il prelievo di campioni di acque dalle sorgenti S1, S2 ed S3, dalla Fossa Fiorentina (A1 e A2), dal Fosso Colatore destro (A3) e dai piezometri, sia interni che esterni al sito di discarica (Pz1, Pz5, Pz6, Pz7, Pz8, Pz8bis, Pz9 e Pz10).

Nel diagramma successivo sono stati riportati i risultati delle analisi, eseguite sui punti di controllo, per le quali è stato verificato il "bilanciamento ionico", con i metodi precedentemente descritti.

Il diagramma di Piper-Hill ha permesso una prima classificazione delle acque analizzate.

Tutti i campioni, ad eccezione di A1, prelevato all'interno della Fossa Fiorentina, prima dell'immissione in essa delle acque delle Sorgenti di Porta, mostrano caratteristiche comprese fra quelle di "acque solfato-calciche" (legate al chimismo delle acque di Porta) e quelle di "acque bicarbonato-calciche", caratterizzate dai piezometri Pz6 e Pz10, ubicati a monte del sito di discarica.

Caratteristiche intermedie tra i due chimismi vengono evidenziati dai punti Pz5, Pz9 e A3.

I percolati sono ben differenziati da tutti gli altri punti della rete di monitoraggio.

I campionamenti sono stati ripetuti, per monitorare le caratteristiche chimiche, sia durante periodi di siccitosi che a seguito di precipitazioni intense.

I risultati delle analisi eseguite non hanno evidenziato anomalie idrochimiche significative in tutto il periodo di osservazione.

Per tale motivo il diagramma di Piper-Hill è stato ottenuto utilizzando i valori medi dei parametri chimici principali.

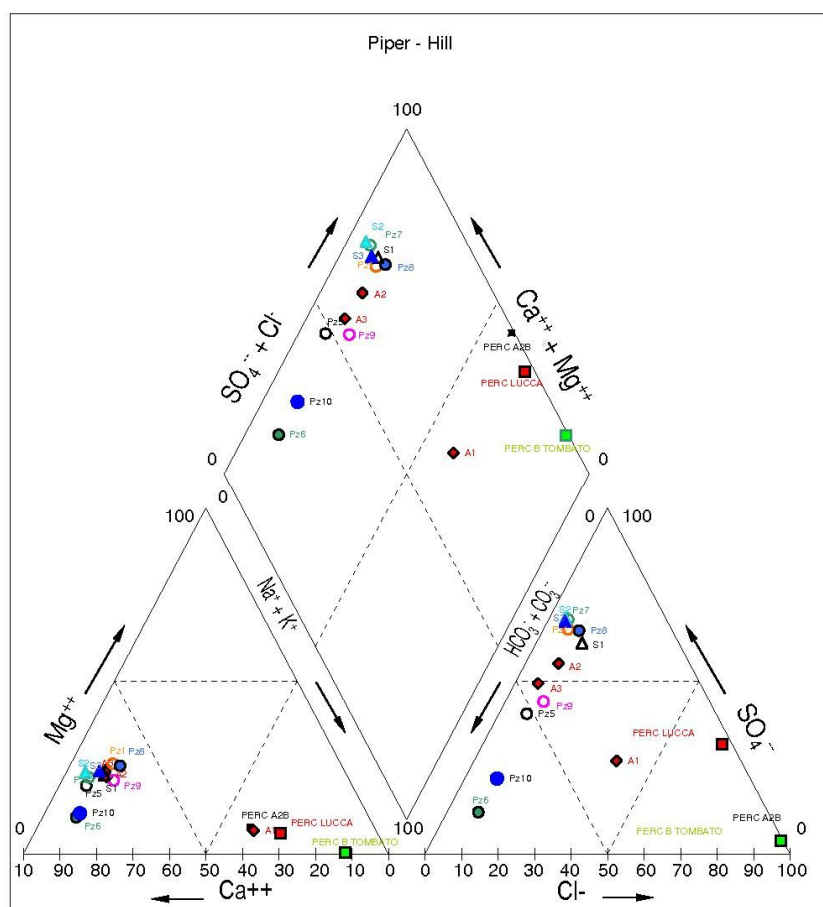


Fig. 8.1

Durante la campagna di prelievi e misure effettuata nel mese di maggio 2008, sono state eseguite analisi chimiche anche su campioni di acque prelevate da pozzi pubblici e privati presenti nella pianura Apuo-Versiliese, antistante il sito di discarica.

Tali campionamenti hanno lo scopo di evidenziare i parametri chimico-fisici delle acque di falda, per poterle raggruppare in famiglie con caratteristiche simili.

Pertanto è stato costruito, anche per questi punti di misura, il diagramma di Piper-Hill, di seguito inserito.

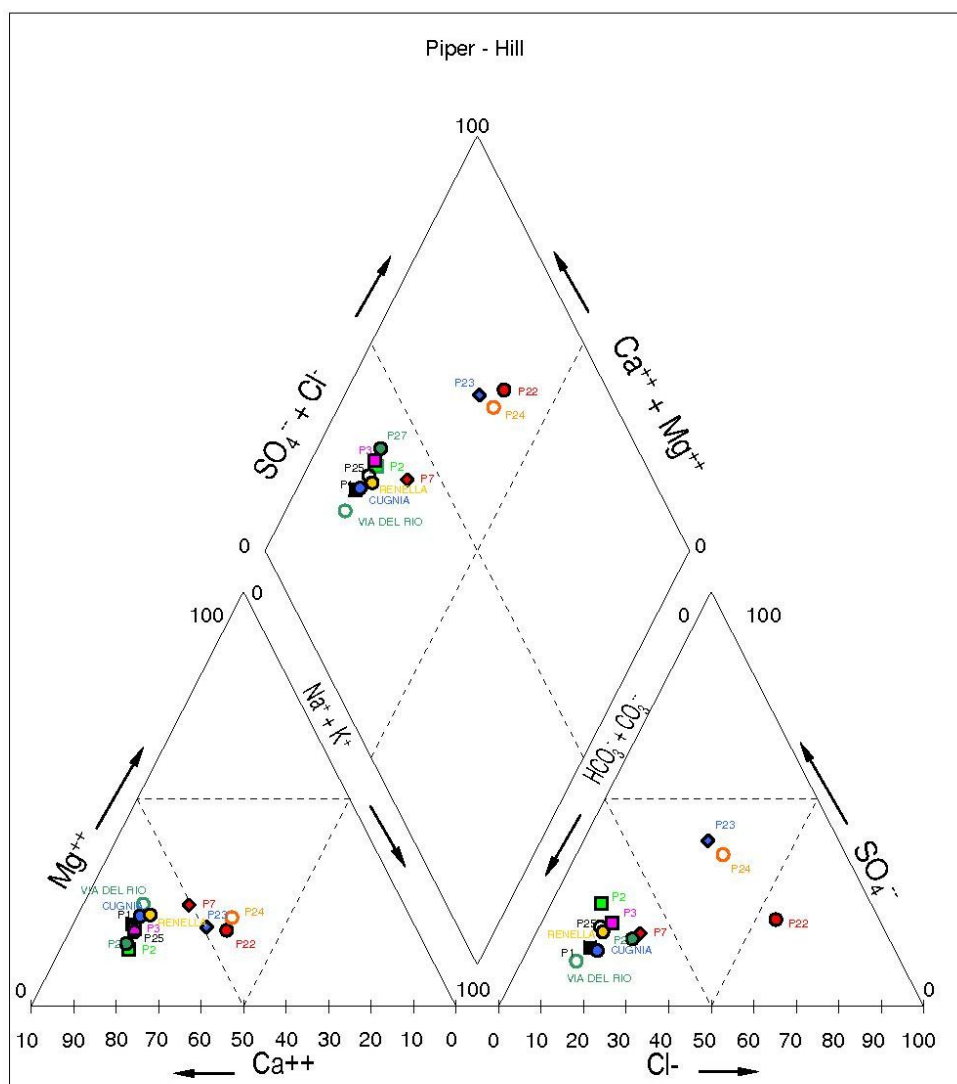


Fig. 8.2

Da questo diagramma si evince che la maggior parte delle acque sono di tipo "bicarbonato-calciche", mentre quelle prelevate dai pozzi P22, P23 e P24 sono classificabili come "solfatate-clorurate-calcico-magnesiache".

Come si può notare dalla cartografia allegata, sulla quale sono stati ubicati i punti campionati, tutti i pozzi, ad esclusione di P22, P23 e P24, pur essendo posizionati in zone distanti della pianura apuo-versiliese, presentano caratteristiche chimiche molto simili.

Per meglio definire le caratteristiche chimiche delle acque, non solo dei punti di monitoraggio prescritti per il Piano di sorveglianza e controllo, ma anche dei pozzi della pianura dei Comuni di Montignoso e Pietrasanta, sono stati ricavati **due diagrammi binari**, dai dati di **alcalinità** e **conducibilità**, che rappresentano i risultati delle campagne di prelievo di settembre 2007 e maggio 2008.

Tali diagrammi hanno consentito di individuare **due gruppi distinti di acque**.

Il **primo gruppo**, con valori di **conducibilità inferiori**, identifica le acque dei pozzi della località Renella, nel Comune di Montignoso, della Fossa Fiorentina a monte del sito di discarica, dei piezometri Pz5, Pz6, Pz9, Pz10 e dei pozzi P25, P26 e P27.

Le caratteristiche riscontrate nei pozzi della pianura di Montignoso sono sicuramente da collegare all'alimentazione prevalente da parte dell'asta idrica principale, rappresentata dal Torrente Montignoso, in quanto denotano una circolazione entro rocce serbatoio costituite da minerali insolubili, o poco solubili, quali il Complesso filladico-quarzitico e le coperture detritiche che derivano dal suo disfacimento.

Il pozzo P26 si allinea lungo la retta che identifica il gruppo a minor conducibilità ed alcalinità, in quanto, non essendo più utilizzato, le acque al suo interno si sono "stratificate", con la predominanza nella parte superficiale di quelle più povere in sali.

Le acque dei piezometri Pz5 e Pz6 evidenziano caratteristiche differenti da tutti gli altri punti di monitoraggio; questo è probabilmente dovuto ad una maggiore influenza delle acque meteoriche d'infiltrazione diretta.

Il **secondo gruppo**, che identifica le acque caratterizzate da valori **più alti di conducibilità** ed alcalinità, comprende le Sorgenti di Porta, i pozzi P21, P22, P23 e P24, ricadenti all'interno del Comune di Pietrasanta, le acque superficiali della Fossa Fiorentina, a valle dell'immissione delle acque delle sorgenti suddette, del Colatore destro ed i rimanenti piezometri del Piano di monitoraggio e controllo.

Le caratteristiche chimiche riscontrate in questo secondo gruppo sono sicuramente da collegare ad acque che sono state a contatto, per un periodo di tempo prolungato, con rocce di tipo carbonatico.

Le Sorgenti di Porta, in particolare, sembrano essere alimentate da acque che si infiltrano ad una quota media compresa fra 500 e 600m s.l.m., a notevole distanza dal sito in oggetto, e vengono a giorno, dopo aver circolato in profondità, tramite sistemi di fratture presenti nel complesso carbonatico.

I risultati di alcalinità e conducibilità ottenuti dalla campagna di prelievi del settembre 2007 sono stati confermati da quelli ottenuti nell'ultima campagna di maggio 2008, in cui sono stati analizzati anche campioni di acqua prelevati dai pozzi dell'Acquedotto di Renella, della Cugna e da un pozzo nuovo ubicato in via del Rio nel Comune di Pietrasanta.

I valori di alcalinità e conducibilità di queste acque si allineano lungo la retta che caratterizza la maggior parte dei pozzi della pianura Apuo-Versiliese prospiciente l'area d'indagine.

Si nota un particolare comportamento dei pozzi P22, P23 e P24 che in questi diagrammi si raggruppano insieme alle acque a solfati, ma che dal diagramma di Piper-Hill evidenziano caratteristiche chimiche relative nettamente distinte da queste ultime.

NOME	ALCALINITA meq/l	COND. (μ S/cm)	DATA	ALCALINITA meq/l	COND. (μ S/cm)	DATA
A1	3,10	492	11/09/2007	4,00	552	29/05/2008
A2	4,65	1016	11/09/2007	3,80	1083	29/05/2008
A3	3,65	1019	11/09/2007	5,80	938	29/05/2008
P1	3,50	565	10/09/2007	4,60	579	30/05/2008
P2	5,80	826	10/09/2007	6,40	809	30/05/2008
P3	4,30	680	10/09/2007	4,80	697	30/05/2008
P4	1,20	259	10/09/2007	-	-	-
P6	3,65	439	10/09/2007	-	-	-
P7	1,85	360	10/09/2007	2,60	367	30/05/2008
P21	4,30	1103	10/09/2007	-	-	-
P22	5,15	1265	10/09/2007	4,20	1478	30/05/2008
P23	3,55	1154	10/09/2007	4,20	1174	30/05/2008
P24	4,40	1164	10/09/2007	4,00	1190	30/05/2008
P25	4,30	808	10/09/2007	5,20	717	30/05/2008
P26	0,90	232	10/09/2007	-	-	-
P27	5,50	967	10/09/2007	6,40	903	30/05/2008
Pz1	3,30	901	08/11/2007	3,60	1034	29/05/2008
Pz5	4,69	664	08/11/2007	5,20	855	29/05/2008
Pz6	5,60	544	11/09/2007	5,00	614	29/05/2008
Pz7	4,70	911	14/09/2007	3,80	1036	29/05/2008
Pz8	3,50	966	29/07/2007	3,60	1153	29/05/2008
Pz8bis	4,10	1277	08/11/2007	4,40	1254	29/05/2008
Pz9	-	-	-	5,60	874	29/05/2008
Pz10	-	-	-	6,40	752	29/05/2008
S1	4,00	939	06/08/2007	4,60	1109	29/05/2008
S2	3,55	907	08/11/2007	3,80	1027	29/05/2008
S3	3,61	915	07/08/2007	4,00	1028	29/05/2008
PERC A2B	1,3	14560	08/11/2007	1,00	18320	29/05/2008
PERC B TOMBATO	0,65	19820	08/11/2007	1,60	17140	29/05/2008
PERC LUCCA	1,1	3550	08/11/2007	2,20	5460	29/05/2008
POZZO RENELLA				2,40	301	29/05/2008
POZZO CUGNIA				6,20	782	29/05/2008
POZZO VIA DEL RIO				7,00	791	30/05/2008

Tab. 0.1 *Dati di alcalinità a confronto con i dati di conducibilità.*

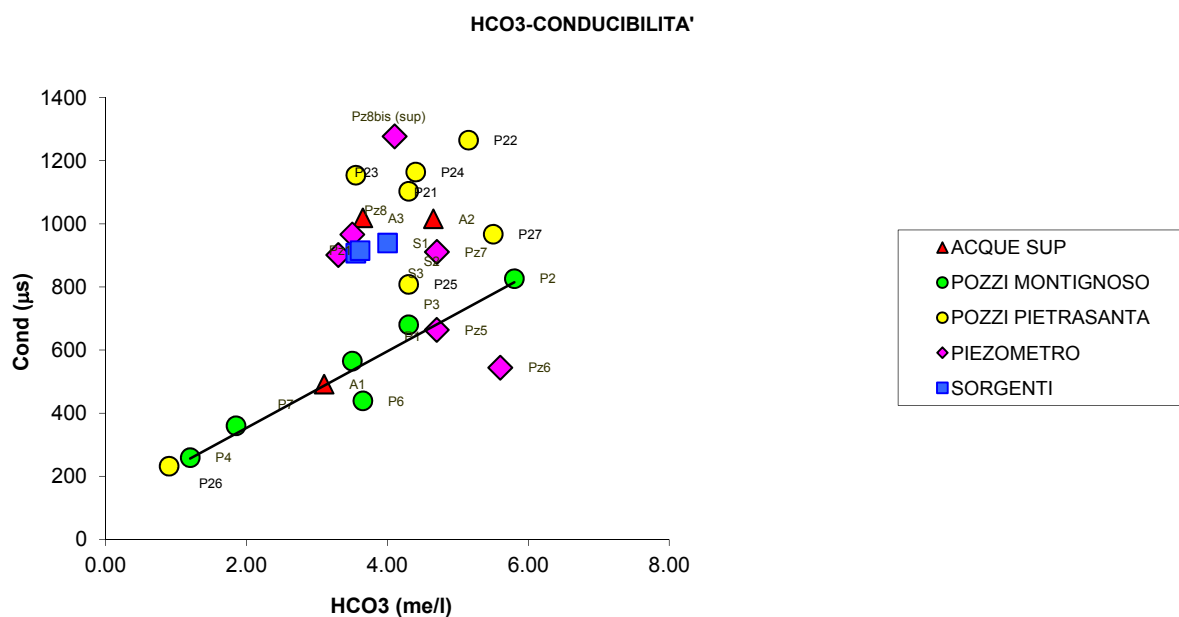


Fig. 8.3 *Diagramma bicarbonati conducibilità (campagna settembre 2007)*

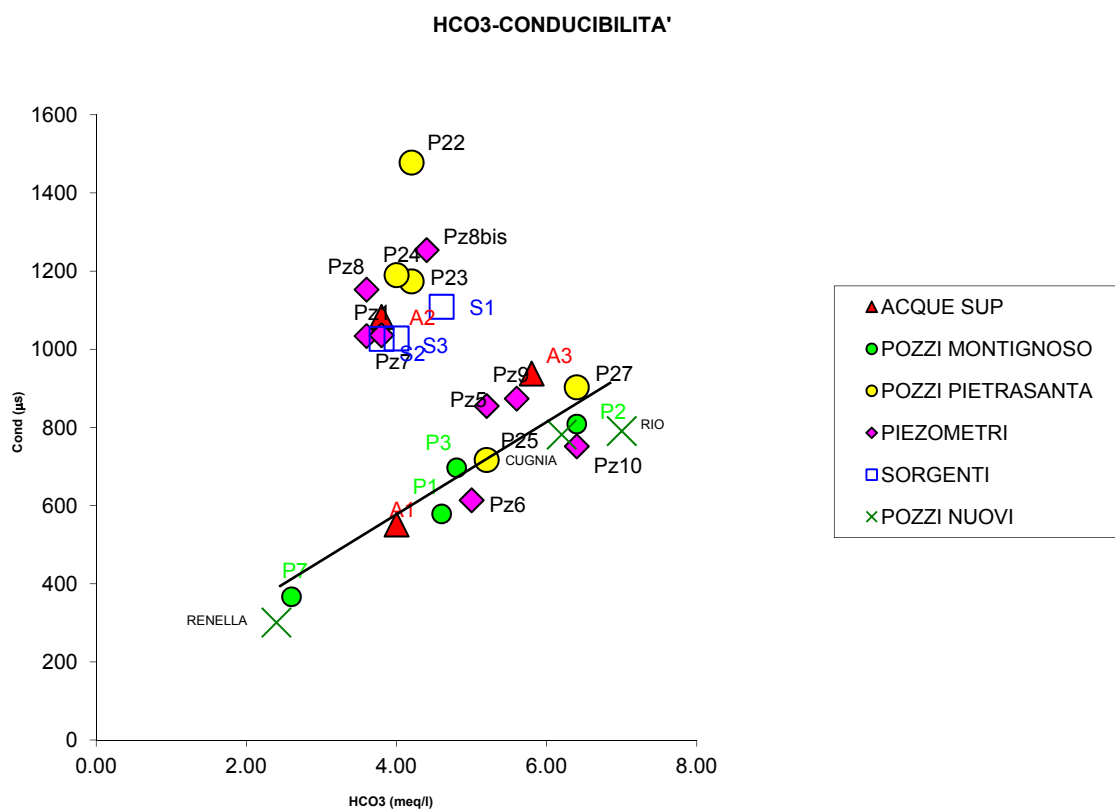


Fig. 8.6 *Diagramma bicarbonati conducibilità (campagna maggio 2008)*

8.8 Metodi grafici per la rappresentazione dei dati delle analisi isotopiche.

Per comprendere i grafici che verranno esposti in seguito è prima necessario fare una breve digressione su come vengono utilizzati gli isotopi negli studi delle acque.

8.8.1 Isotopi utilizzati per lo studio delle acque sotterranee

L'ossigeno-18 (^{18}O) e il deuterio (^2H o D) sono isotopi stabili rispettivamente dell'ossigeno e dell'idrogeno.

Si trovano in natura in piccole quantità e rappresentano degli ottimi traccianti naturali.

IL RAPPORTO DI ABBONDANZA "R"

Per evidenziare l'abbondanza di un isotopo in un composto, si fa uso del "rapporto di abbondanza", indicato con "R" (Gat, 1981), mettendo al numeratore l'isotopo più pesante (Longinelli & Deganello, 1999).

Il rapporto "R" viene, nel caso dell'ossigeno-18 e del deuterio, così espresso:

$$R(^{18}\text{O}) = [^{18}\text{O}] / [^{16}\text{O}]$$

$$R(^2\text{H}) = [^2\text{H}] / [^1\text{H}]$$

In natura il rapporto R (^{18}O) ha un valore medio pari a $2.04 \cdot 10^{-3}$, mentre il rapporto isotopico R (^2H) ha un valore medio di $1.5 \cdot 10^{-4}$.

IL FATTORE DI FRAZIONAMENTO "α"

In natura si osserva che, in una data sostanza, il rapporto fra gli isotopi stabili di un elemento varia nel tempo e nello spazio.

Questo significa che esistono fenomeni naturali capaci di modificare la ripartizione degli isotopi stabili di un elemento.

Le variazioni nella composizione isotopica, prodotte da processi fisici o chimici in fasi coesistenti nello stesso sistema, sono dette *frazionamenti isotopici*.

Le differenziazioni isotopiche sono espresse tramite il *fattore di frazionamento "α"*, che viene definito come il rapporto isotopico di un elemento in una fase ed il corrispondente rapporto nell'altra fase, in condizioni di equilibrio.

Esso, quindi, esprime la relazione tra i rapporti di abbondanza in due fasi, coesistenti ed aventi l'elemento in questione in comune.

In genere si mette al numeratore il composto o la fase che ha un più alto valore di R, in modo da avere sempre $\alpha > 1$.

Per esempio considerando l'equilibrio liquido-vapore nell'acqua a 0°C, il fattore di frazionamento come definito sarà:

$$\alpha_{l-v}^{^{18}\text{O}} = \frac{R_{(^{18}\text{O})_{liq}}}{R_{(^{18}\text{O})_{vap}}} = 1.0115$$

Così espresso il fattore di frazionamento è sempre superiore ad uno perché il vapore è più povero nell'isotopo più pesante dell'acqua da cui ha avuto origine (Longinelli & Deganello, 1999; Bigeleisen, 1965).

Il fattore di frazionamento per il **deuterio** nelle stesse condizioni (cioè liquido-vapore a 0°C) è:

$$\alpha_{l-v} D = \frac{R_{(D) liq}}{R_{(D) vap}} = 1.085$$

L'“ α ” per il deuterio è più alto di quello dell'ossigeno-18 essendo i fattori di frazionamento più elevati per gli elementi più leggeri, dato che la differenza relativa di massa è più alta.

Il fattore di frazionamento “ α ” assume valori differenti in funzione della temperatura e tende ad uno con l'aumentare della stessa, il che significa che in ambienti di elevata temperatura si verificano solo deboli frazionamenti.

IL “ δ ”

Nello studio degli isotopi stabili si è interessati alla misura di piccole variazioni dei rapporti isotopici e queste variazioni vengono meglio misurate in termini relativi riferite ad uno standard di composizione nota.

La composizione isotopica di un elemento viene quindi espressa in “unità ‰” che esprime, in parti per mille, di quanto un campione si discosti (ossia si arricchisca o impoverisca) da uno standard di riferimento (Fritz and Fontes, 1980; Gonfiantini, 1981).

Il ‰ viene calcolato con l'equazione:

$$\delta\text{‰} = \left[\frac{(R_{\text{campione}} - R_{\text{standard}})}{R_{\text{standard}}} \right] \cdot 1000$$

dove:

R_{campione} = rapporto isotopico di abbondanza nel campione

R_{standard} = rapporto isotopico di abbondanza nello standard

Un valore positivo del ‰ significa che il campione ha un rapporto isotopico maggiore rispetto allo standard, ad esempio contiene una quantità maggiore di isotopo pesante, al contrario se il ‰ è un valore negativo significa che il campione ha un rapporto isotopico minore rispetto allo standard.

Per l'idrogeno e l'ossigeno, lo standard di riferimento attualmente utilizzato è il VSMOW (Vienna - Standard Mean Ocean Water), per il quale, per definizione, ‰¹⁸O = 0 e ‰²H = 0. Il VSMOW è usato come standard di riferimento per gli isotopi nelle acque dal settembre 1976 in base alla decisione del “*Consultant Meeting on Stable Isotope Standards and Intercalibration in Hydrology and Geochemistry*” avvenuto a Vienna, sostituendosi a un precedente standard, definito SMOW (Standard Mean Ocean Water).

Quest'ultimo era stato ricavato nel 1961 (Craig, 1961), la sua composizione isotopica era stata scelta in modo da rappresentare una media di quella dell'acqua degli oceani, che sono il punto di inizio e di fine del circuito ideologico globale.

Inoltre gli oceani, che contengono circa il 97% dell'acqua presente sulla crosta terrestre, hanno una composizione isotopica piuttosto uniforme (Epstein e Mayeda, 1953).

I due standards, proprio per il fatto che il secondo è stato ottenuto sulla base dei risultati del primo, differiscono di pochissimo.

GLI ISOTOPI DELL'OSSIGENO E DELL'IDROGENO NEI PROCESSI NATURALI DELL'ACQUA

Con i fenomeni fisici che avvengono durante il ciclo idrologico dell'acqua, si riscontra un susseguirsi di frazionamenti isotopici.

Ciò accade perché tra le varie molecole dell'acqua, $H_2^{16}O$ - $H^2H^{16}O$ - $H_2^{18}O$ e HTO (più rara), saranno quelle isotopicamente più leggere ad evaporare con più facilità, mentre durante la condensazione saranno quelle più pesanti a formare maggiormente le precipitazioni.

In altri termini, partendo dalla massa di vapore che si forma sopra gli oceani, si nota che essa ha rapporti isotopici D/ 1H e $^{18}O/^{16}O$ più bassi di quelli dell'acqua da cui trae origine.

Il vapore atmosferico sopra la superficie degli oceani, risulta impoverito di $\delta D = -85\text{‰}$ e $\delta^{18}O = -12\text{‰}$ verso SMOW secondo Craig & Gordon (1965) (del 80-120‰ in D e 12-15‰ in ^{18}O per Panichi & Gonfiantini, 1978).

Fino a quando la massa di vapore si muove sugli oceani, si può assumere che il vapore che condensa venga continuamente rimpiazzato da altro vapore formatosi successivamente. Quando, invece, la massa di vapore passa alla terra ferma si può ritenere che essa non venga più rifornita man mano che condensa e precipita.

Quindi, partendo dal vapore originario, le piogge avranno valori di D/ 1H e $^{18}O/^{16}O$ sempre più negativi (Dansgaard, 1964; Celico, 1986; Longinelli & Deganello, 1999).

LA COMPOSIZIONE ISOTOPICA DELLE ACQUE DI ORIGINE METEORICA

La composizione isotopica delle acque meteoriche è condizionata da vari fattori, sia climatici sia geografici, in cui la temperatura gioca un ruolo fondamentale.

Alcuni di questi fattori agiscono a livello globale, altri invece a livello regionale o addirittura locale.

Effetto della temperatura:

Dansgaard (1964) osservò una correlazione lineare fra il contenuto medio annuo in ^{18}O delle piogge e la temperatura media annua dell'aria, su un largo intervallo di temperature.

Ad una temperatura di condensazione più bassa corrisponde un contenuto minore di isotopi pesanti, ad una temperatura di condensazione più elevata corrisponde un maggiore contenuto di isotopi pesanti (Craig, 1961; Dansgaard 1964).

A Vienna sono state correlate le temperature medie mensili con i valori medi mensili di $\delta^{18}O$ e come già osservato da molti autori, è stato confermato che la dipendenza del $\delta^{18}O$ dalla temperatura produce oscillazioni stagionali, con precipitazioni invernali impoverite in isotopi pesanti rispetto a quelle estive (Yurtsever e Gat, 1981).

Effetto di quantità:

La quantità di massa condensata, ossia la quantità di pioggia, aumenta con il diminuire della temperatura, quindi esiste una correlazione inversa fra questa e la composizione isotopica media (Dansgaard, 1964).

Effetto di latitudine:

Durante lo spostamento delle masse di vapore equatoriali verso i poli, queste subiscono condensazioni successive, avviene così che le acque meteoriche originatesi ad alta latitudine presentino valori di $\delta^{18}O$ più bassi rispetto a quelle di basse latitudini.

Questo è il risultato di un effetto temperatura sommato a quello legato alle condensazioni successive. In Italia non viene riscontrata una variazione lineare di composizione isotopica con la latitudine e, quindi, con la temperatura, questo a causa della situazione geografica particolare nell'area mediterranea e per la presenza di due catene montuose perpendicolari tra loro (Gat & Carmi, 1970; Mussi *et al.*, 1998).

Effetto di continentalità:

Le perturbazioni atmosferiche, che si inoltrano all'interno di un continente, si impoveriscono in isotopi pesanti; tale impoverimento, a causa di una serie di condensazioni, in generale andrà ad accentuarsi con il proseguire della massa di vapore verso zone sempre più continentali.

Effetto di altitudine:

Quando una massa d'aria, incontrando un rilievo montuoso, ha delle variazioni altitudinali, viene a trovarsi in zone più fredde ed a più bassa pressione, dove comunque si espande, si raffredda e subisce una serie di condensazioni successive che la impoveriscono in ^{18}O , risultando così piogge più leggere alla sommità del versante rispetto a quelle della base.

Questo effetto è particolarmente importante negli studi idrologici regionali dove, per esempio, può essere usato, quando si è a conoscenza dell'andamento isotopico con la quota nella zona d'interesse, per riconoscere acque di circolazione sotterranea provenienti da aree di ricarica poste a differenti altezze o nella ricerca della quota media d'alimentazione di una sorgente. L'effetto altitudinale è variabile da regione a regione e anche all'interno di una stessa area, in presenza di una successione di versanti, si possono avere andamenti particolari (Mussi *et al.*, 1998) (fig.7.1).

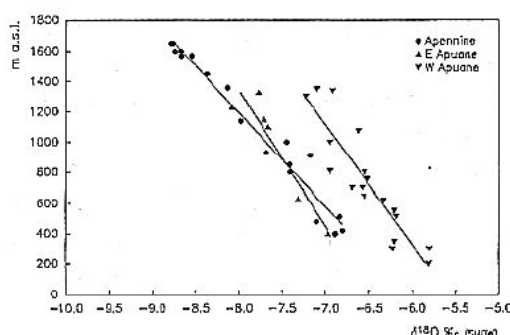


Fig. 8.7 - Relazione tra quota media di infiltrazione stimata e $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ per tre versanti considerati (versante est e ovest delle Alpi Apuane e versante appenninico) (da Mussi *et al.*, 1998).

Considerando, invece, una variazione media su una vasta gamma di valori relativi ad altrettante regioni di studio si ottiene una diminuzione di circa lo 0,2-0,3 % di $\delta^{18}\text{O}$ per ogni 100 m di incremento di quota e del 2,5 per il $\delta^2\text{H}$, ogni 100 m di incremento di quota (Panichi & Gonfiantini, 1978).

Sono stati calcolati dei gradienti locali di variazione di composizione isotopica con la quota, per l'Italia vedi ad esempio: Bortolami *et al.*, 1978; Zuppi *et al.*, 1974; D'Amore *et al.*, 1979; Anzà *et al.*, 1989; Capasso *et al.*, 1990.

RETTE METEORICA MONDIALE

La distribuzione degli isotopi ^{18}O e ^2H è linearmente correlata nelle acque meteoriche, le quali, in tal senso, si contraddistinguono da altri tipi di acque (fig.7.2).

La correlazione generale osservata, detta “retta meteorica mondiale”, è:

$$\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + d$$

dove “d” è l'intercetta sull'asse del deuterio e viene appunto chiamata *eccesso di deuterio*.

L'eccesso di deuterio è una misura delle condizioni di “disequilibrio” in cui il vapore si forma:

- più “d” è elevato, più l'evaporazione avviene in disequilibrio.

Tale parametro, nella maggior parte dei casi, è pari a 10 (Craig, 1961), ma può variare fino ad arrivare a valori di circa 22.; valori più bassi di “d” si trovano inoltre in piogge di piccola intensità e/o durata, quando sono parzialmente rievaporate durante la loro caduta (Ehhalt et al., 1963).

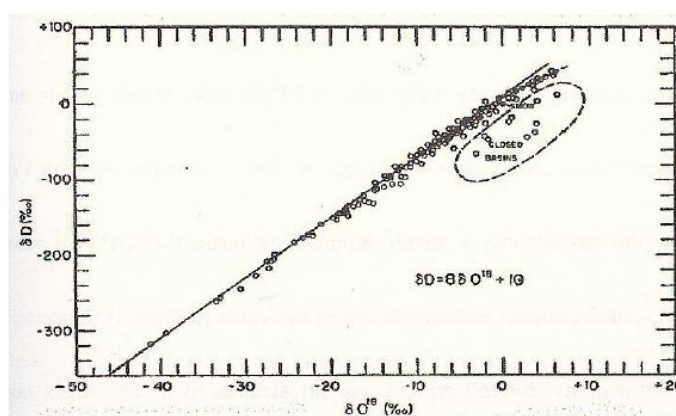


Fig. 8.8 - Variazione di deuterio e ossigeno-18 in fiumi, laghi, pioggia e neve (da Craig, 1961).

Una discussione sui valori del “d”, in funzione dell'origine delle perturbazioni, si ritrova in una pubblicazione di Mussi *et al.* (1998).

In questo lavoro è messa in risalto, per la zona delle Alpi Apuane e della Garfagnana, una provenienza delle masse di vapore sia dal Mediterraneo (per valori di “d” compresi tra 12 e 15 ‰) che dall' Atlantico (valori che invece rientrano tra 8 e 11 ‰).

Viene, inoltre, evidenziato che una nevicata presso il Passo delle Radici è caratterizzata da un “d” pari al 5,7‰, suggerendo un legame con masse di vapore originatesi nel nord Europa.

Sempre nello studio di Mussi *et al.* (1998), condotto in una zona vicina a quella in esame nella presente relazione, è stata trovata l'equazione :

$$\delta^2\text{H} = 7,14 * \delta^{18}\text{O} + 6,77$$

utilizzando i dati ottenuti dal campionamento di acque sorgive fredde accuratamente scelte.

Quando le piogge si infiltrano nel sottosuolo avviene un mescolamento fra acque originatesi in tempi e spesso anche luoghi diversi, di conseguenza la composizione isotopica si omogeneizza, per cui le caratteristiche isotopiche delle acque sorgive rispecchieranno sia la composizione media iniziale dell'acqua d'infiltrazione sia le possibili variazioni intervenute durante il tragitto sotterraneo.

Negli acquiferi freddi non si hanno processi di scambio isotopico con la roccia serbatoio, poiché a temperature ordinarie questi scambi richiedono tempi molto lunghi.

8.9 Discussione dei dati isotopici

I risultati delle analisi isotopiche finora eseguite hanno consentito di individuare acque con contenuti isotopici simili ed effettuare considerazioni sulla loro quota media d'infiltrazione.

In particolare la **Sorgente S1** è stata quella più costante durante tutto il tempo di campionamento, in quanto i valori di $\delta^{18}O\text{‰}$ sono compresi fra -6.12 e -6.19 .

Come si può osservare dal successivo diagramma, nel quale sono riassunte le variazioni di $\delta^{18}O\text{‰}$ con il tempo, la concentrazione isotopica di S1 non è variata in modo significativo neanche a seguito degli eventi meteorici verificatisi alla fine del mese di novembre e nel mese di febbraio.

Nello stesso grafico è ben evidente che in corrispondenza dei picchi di pioggia suddetti, tutti gli altri punti di misura hanno subito delle variazioni verso valori più positivi, in quanto influenzati dalle piogge.

I campioni di acque superficiali non sono riportati in questo grafico in quanto estremamente variabili e facilmente condizionabili, più che dalle piogge, da fattori locali o miscelazione con apporti idrici superficiali da sorgenti o scarichi fognari.

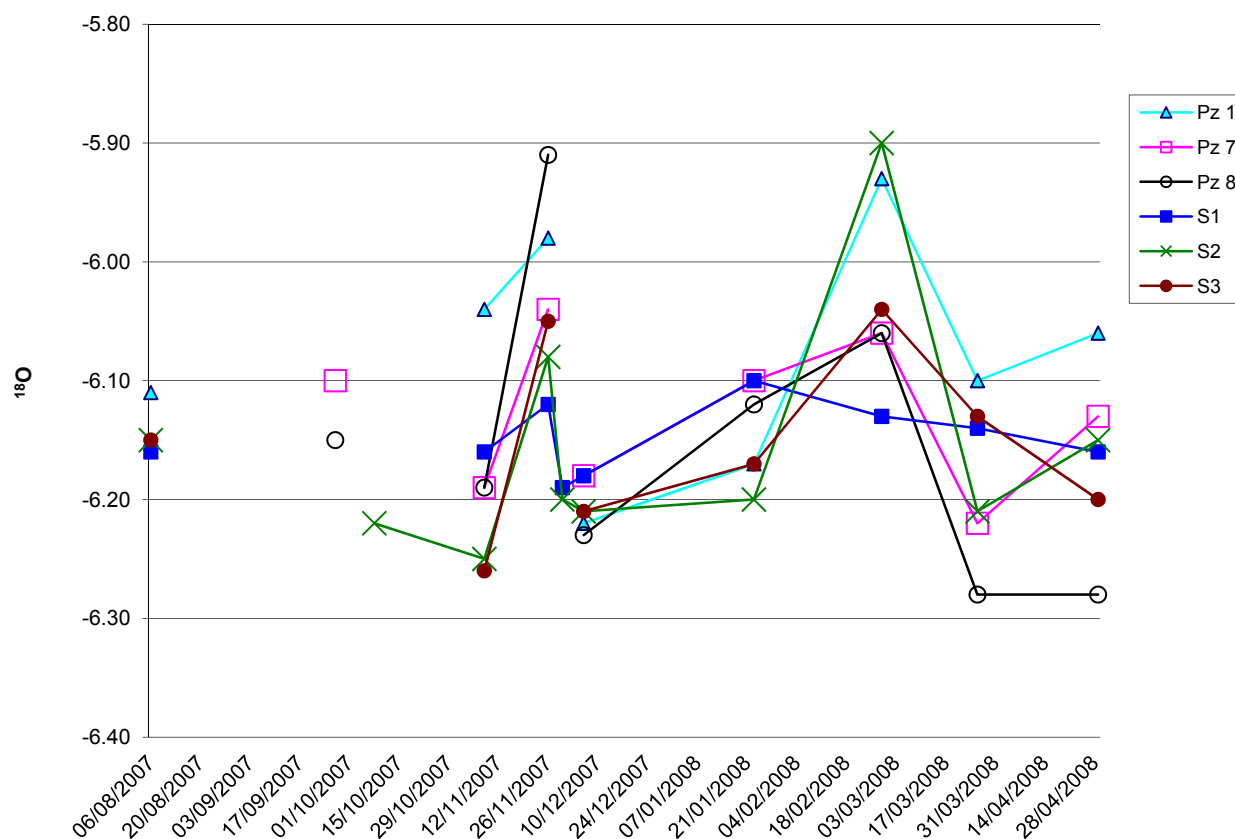


Fig. 8.9 Variazioni della concentrazione di ^{18}O nel tempo.

Oltre ai campioni le cui variazioni sono state riassunte nel precedente grafico, si è osservato che le acque prelevate dai piezometri **Pz6** e **Pz10**, ubicati a monte del corpo dei rifiuti, hanno variazioni nelle concentrazioni isotopiche coerenti con quelle che si sono osservate nelle piogge.

Anche le acque dei piezometri **Pz5** e **Pz9** sono leggermente influenzate dalle precipitazioni e, quindi, con caratteristiche intermedie fra quelle ricche in solfati, legate ad una circolazione profonda, e quelle di infiltrazione superficiale provenienti da monte.

Il piezometro **Pz8bis**, quando i prelievi sono effettuati in periodi caratterizzati da assenza di precipitazioni, presenta composizione isotopica molto simile a Pz8, alimentato da una circolazione profonda, mentre nei periodi piovosi le acque sono maggiormente influenzate dalle piogge.

Per quanto riguarda i campioni di percolato analizzati si può affermare che questi sono legati alle piogge, ma non ne seguono le variazioni, essendo molto probabilmente soggetti al fenomeno dell'e-vapotraspirazione, accentuata dalla scarsa permeabilità del corpo rifiuti, e alla miscelazione con i fluidi presenti all'interno dei lotti di discarica.

Le tre sorgenti di Porta hanno evidenziato i medesimi valori di composizione isotopica, tali da poterle raggruppare, con un unico simbolo, nel diagramma " $\delta^{18}O\%$ - quota media di infiltrazione stimata".

Da questo diagramma, in base alla retta meteorica locale, è possibile ricavare per queste una **quota media d'infiltrazione** compresa fra **500m e 600m s.l.m.**

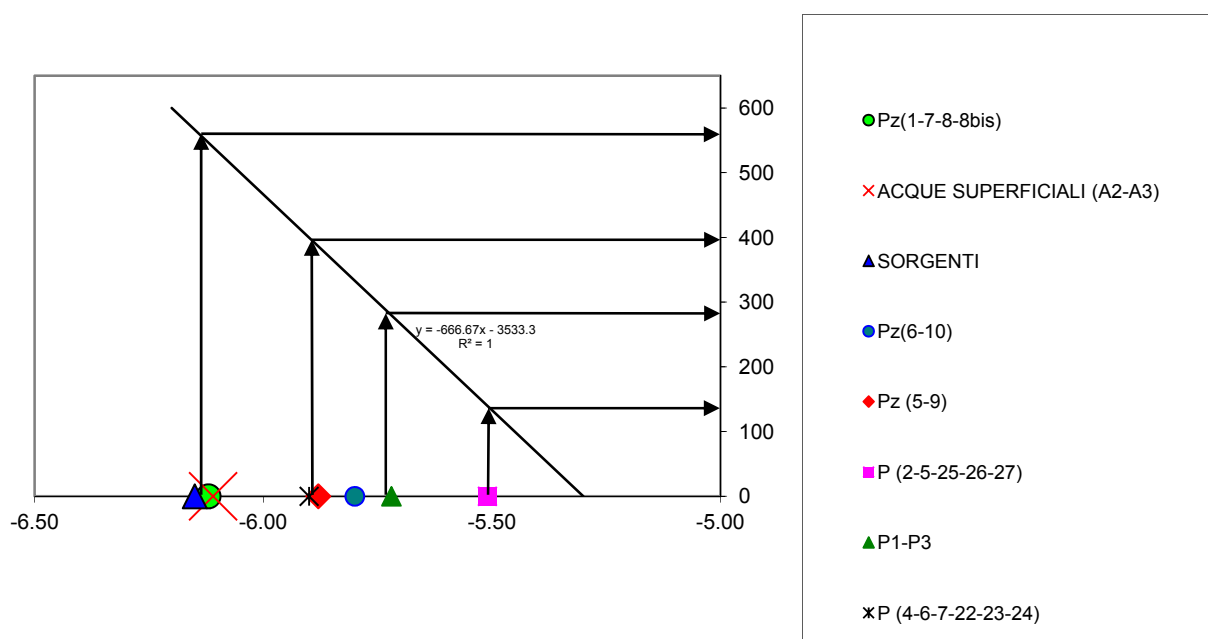


Fig. 8.10 - Grafico $\delta^{18}O\%$ - quota media d'infiltrazione stimata.

Questo dato conferma alcune considerazioni, di natura idrogeologica, effettuate nei paragrafi precedenti, riguardanti l'estensione del bacino di alimentazione delle sorgenti.

Infatti se la quota media d'infiltrazione delle acque che alimentano il circuito carbonatico che si manifesta nelle sorgenti a solfati di Porta è compresa fra 500 e 600m s.l.m., dato che le litologie presenti a monte delle sorgenti a quote superiori ai 200m s.l.m. sono costituite da rocce prevalentemente impermeabili, l'area di alimentazione non può essere ristretta alle zone ed ai versanti posti a ridosso

del sito di discarica, ma vanno ricercate in sistemi acquiferi, con le stesse caratteristiche di quelle delle sorgenti, posti anche a distanze considerevoli.

Anche il gruppo di acque prelevate dai piezometri Pz1, Pz7, Pz8 e quello costituito dalle acque superficiali A2 e A3, mostrano le stesse caratteristiche isotopiche medie delle acque delle sorgenti e, conseguentemente, la stessa quota media d'infiltrazione.

Il punto A3, per le modalità di prelievo, può essere influenzato dalle precipitazioni e/o da interventi antropici sui fossi vicini nei periodi siccitosi.

Appare evidente che, in particolare, il gruppo dei piezometri sia riconducibile allo stesso sistema acquifero delle sorgenti, mentre le acque superficiali, essendo state prelevate all'interno della Fossa Fiorentina, dopo l'immissione delle acque di tutte e tre le sorgenti di Porta, e del Fosso Colatore destro, a monte del quale è presente una piccola "risorgiva", siano da queste direttamente influenzate.

Ad avvalorare questa ultima ipotesi sono le concentrazioni isotopiche delle acque superficiali A1, campionate all'interno della Fossa Fiorentina, a monte dell'immissione delle acque delle sorgenti, che risultano totalmente diverse da tutti i gruppi sopra descritti e correlabili sia ad una componente meteorica che alle acque immesse nella fossa stessa dagli insediamenti industriali ed artigianali presenti.

Per tale motivo il punto di prelievo delle acque superficiali A1 non è stato inserito nel grafico.

La composizione isotopica delle acque campionate all'interno dei piezometri Pz6 e Pz10, confrontate con la retta meteorica locale, fornisce una quota media d'infiltrazione di circa 270m s.l.m., compatibile con un'area di alimentazione circoscritta a quella posta immediatamente a monte.

I piezometri Pz5 e Pz9, come già evidenziato dai diagrammi di caratterizzazione chimica, presentano valori intermedi fra il gruppo delle sorgenti e dei piezometri sopra descritti e la composizione media dell'acqua di circolazione locale, rappresentata dal Pz6 e dal Pz10.

Dalle analisi effettuate nel mese di settembre 2007 sui pozzi della pianura dei Comuni di Montignoso e Pietrasanta è emerso che:

- i pozzi P1 e P3, ubicati in località Renella, nel Comune di Montignoso, mostrano una quota media d'infiltrazione di circa 270-280m s.l.m., poco correlabile all'alimentazione della falda da parte del Torrente Montignoso che ha contenuti isotopici medi su due prelievi di -6.07 e più probabilmente attribuibile alle acque di infiltrazione diretta nel massiccio carbonatico costituito dal Calcere Cavernoso, affiorante nell'intorno del sito di discarica, come per i piezometri Pz6 e Pz10.
- i pozzi P4, P6 e P7 posti sempre in località Renella, a valle del sito di discarica, mostrano una quota media d'infiltrazione intermedia fra quella delle acque delle sorgenti di Porta e i pozzi P1 e P3.
- i pozzi P2 e P5 ubicati in località Renella e i pozzi P25, P26 e P27, ubicati in località Montiscendi, nel Comune di Pietrasanta, mostrano una quota media d'infiltrazione di circa 130m s.l.m., direttamente correlabile ad acque d'infiltrazione meteorica prossime a quelle della zona di pianura.
- i pozzi P22, P23 e P24, posti sempre in località Montiscendi, mostrano una quota media d'infiltrazione leggermente inferiore a quella delle acque delle sorgenti di Porta (410m s.l.m.), spiegabile con un apporto di acque di infiltrazione a quote inferiori.
- il percolato non viene rappresentato nel grafico, poichè il suo contenuto isotopico, più positivo di tutti gli altri punti d'acqua, rappresenta le acque che ricadono all'interno della discarica, soggette al fenomeno dell'evapotraspirazione.

9 - MODELLAZIONE SISMICA

9.1 Definizione della sismicità di base, regionale e locale

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana, realizzato nel 2014 (con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, è stata approvata la classificazione sismica regionale, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012), sia il territorio comunale di Montignoso che quello di Pietrasanta ricadono nella Zona 3.

Nell'ambito di questa classificazione, il territorio dei due comuni viene indicato come soggetto a classificazione sismica, ma caratterizzato da livelli di pericolosità relativamente ridotti.



Fig. n.9.1 Classificazione sismica delle Regione Toscana. Il cerchio rosso indica la posizione dei Comuni di Montignoso e Pietrasanta.

Nella nuova carta di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, le accelerazioni massime orizzontali caratterizzate da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni risultano, per l'area in cui è ubicata la discarica, sia per la parte ricadente nel Comune di Montignoso, che di Pietrasanta, dell'ordine di 0.125-0.150g (Fig. 10.2).

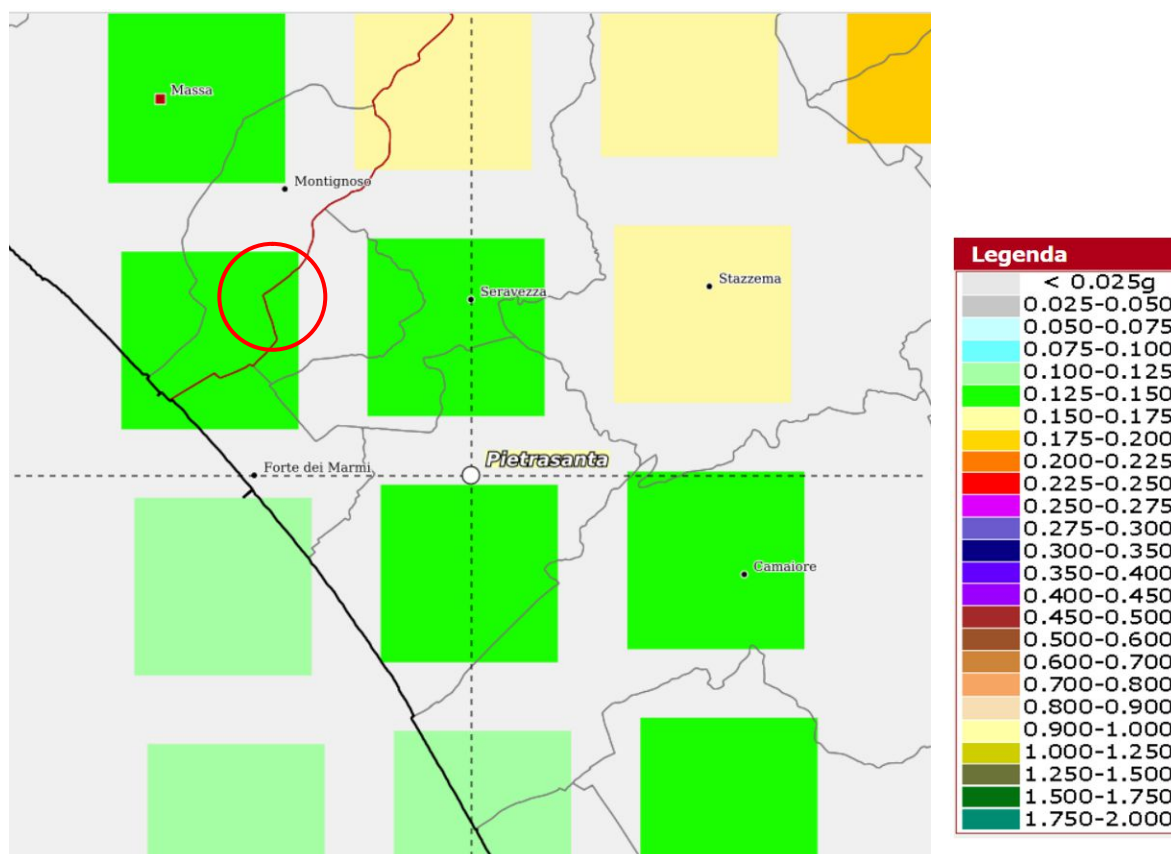
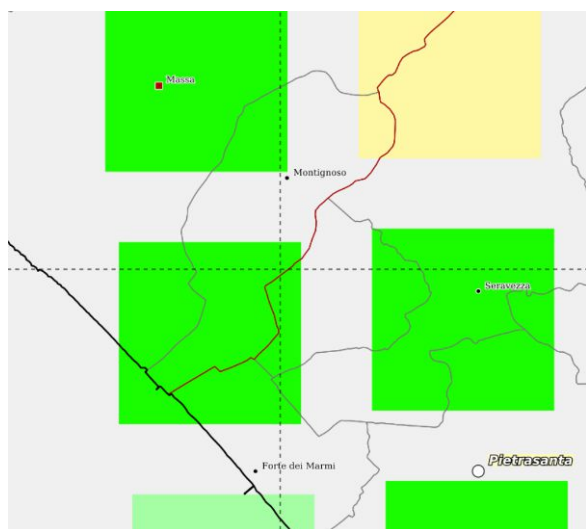


Fig. n.9.2 Carta di pericolosità sismica dell'area della Toscana Nord Occidentale. I colori si riferiscono alle accelerazioni orizzontali (in frazioni dell'accelerazione di gravità) caratterizzate da una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

La mappa di cui è stato allegato lo stralcio per l'area in esame rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, $V_{s30} > 800$ m/s) e pianeggiante.

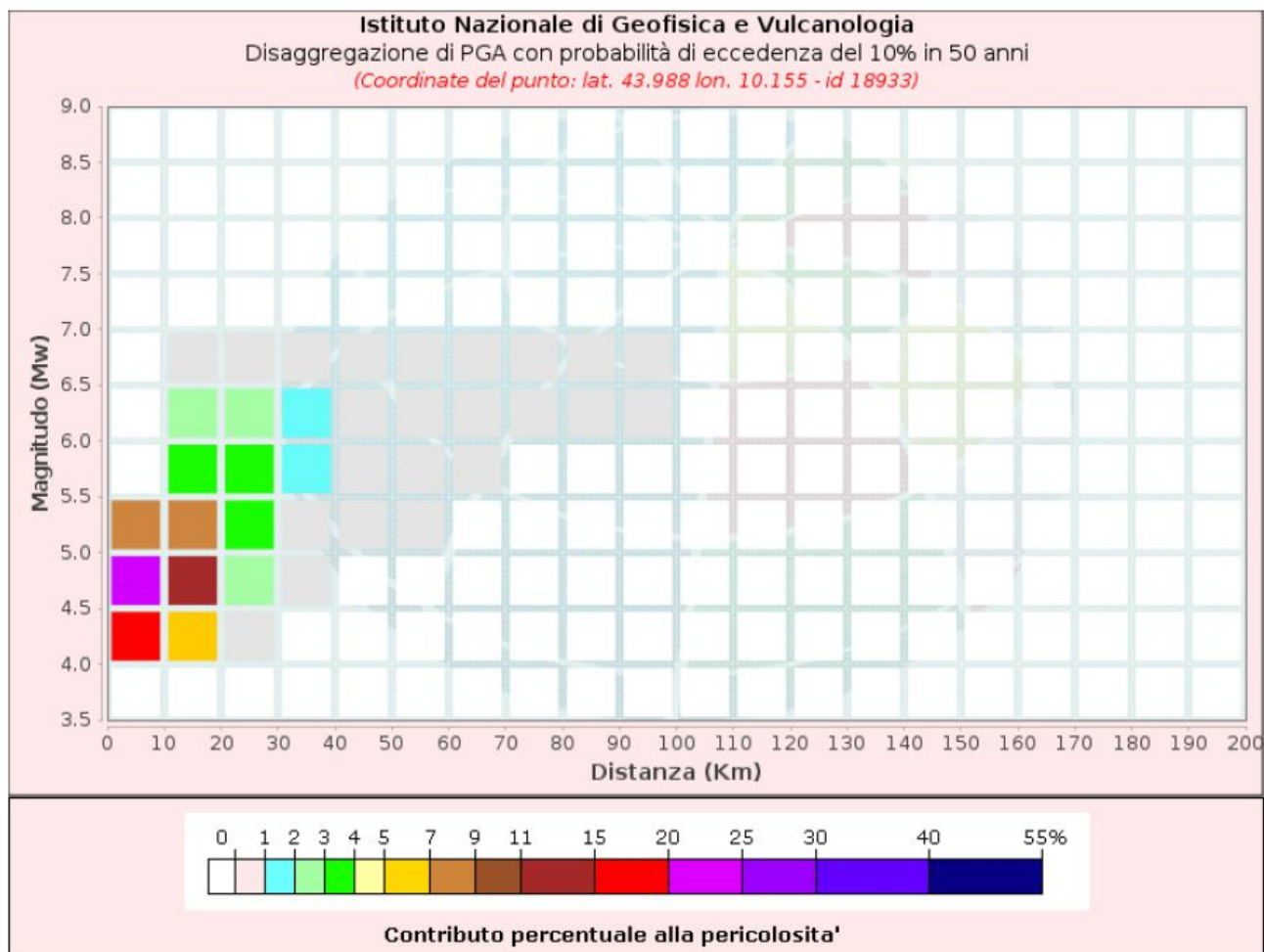


Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 18933 (posto al centro della mappa).

Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Il grafico successivo rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza	Magnitudo										
in Km	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	19.5000	24.1000	7.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	5.1900	11.5000	8.2000	3.6700	2.1500	0.2790	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2320	2.2400	3.6900	3.2800	2.5300	0.3860	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0468	0.8170	1.3800	1.4300	0.2560	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0713	0.4760	0.6270	0.1280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0034	0.1080	0.1830	0.0437	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0110	0.0615	0.0187	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0159	0.0079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.96 ; distanza = 12.4 ; epsilon = 1.1

Questo tipo di analisi è utile per l'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di microzonazione; nel caso in esame i calcoli svolti permettono di definire una $MI = Mw = 5.5-6.0$ (92.3%).

Nelle successive figure sono riportate le storie sismiche dei Comuni di Montignoso e di Pietrasanta, così come dedotte dal Database Macrosismico Italiano DBMI2015 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).

Le informazioni disponibili, che riguardano solo il periodo successivo al 1900, individuano per il Comune di Montignoso un solo evento caratterizzato al sito da effetti di VII-VIII grado MCS.

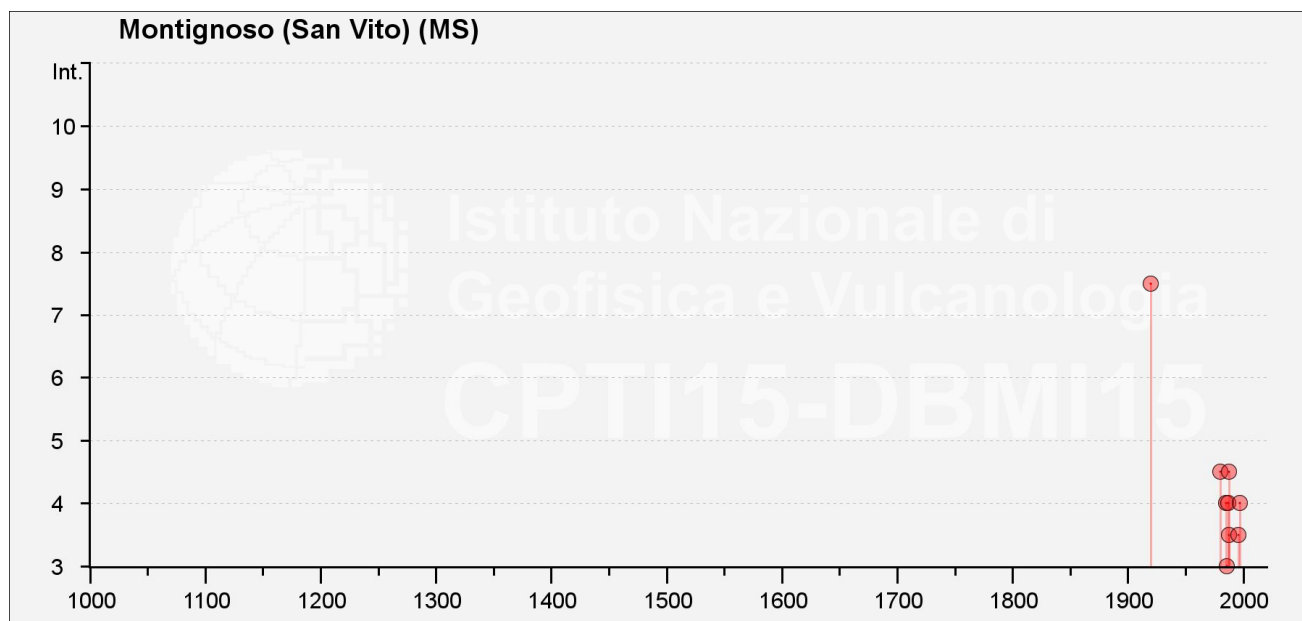


Fig.n.9.3 – Storia sismica del Comune di Montignoso, dedotta dal DBMI2015 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Erco-
lani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti
E., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vul-
canologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>); in corrispondenza di ciascuna data (in ascissa) è riportata
l'intensità dei risentimento documentato nel capoluogo comunale secondo la scala macrosismica Mercalli-Cancani-
Silberg (MCS)

Per quanto riguarda il Comune di Pietrasanta, le informazioni disponibili, che riguardano solo il periodo successivo al 1700, individuano almeno quattro eventi caratterizzati al sito da effetti di VI-VII grado MCS.

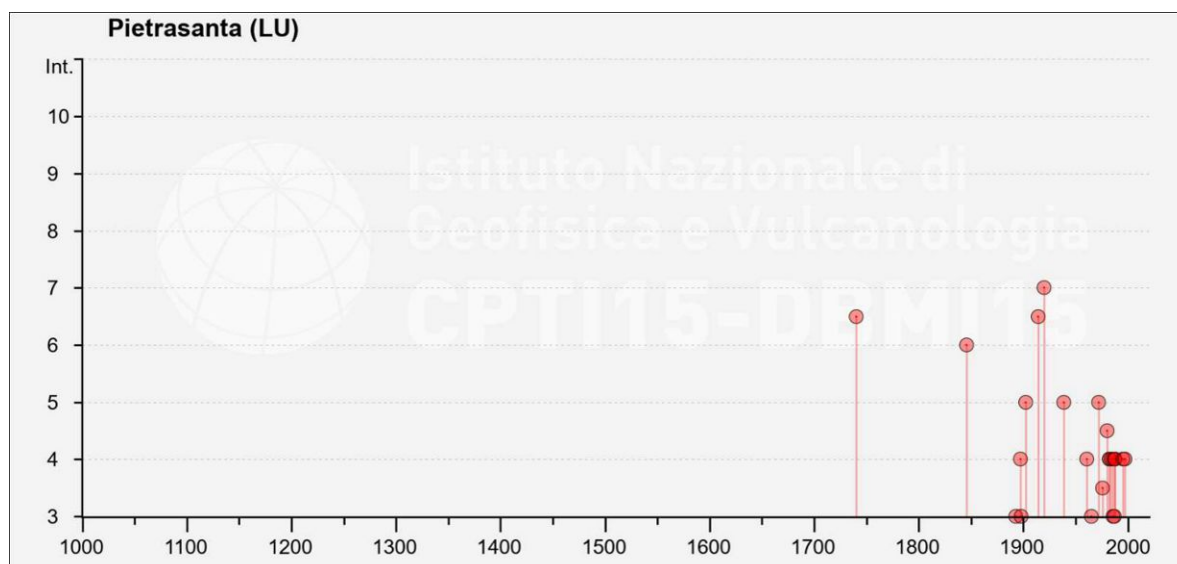


Fig. n.9.4 – Storia sismica del Comune di Pietrasanta, dedotta dal DBMI2015 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Erco-
lani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti
E., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vul-
canologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>); in corrispondenza di ciascuna data (in ascissa) è riportata
l'intensità dei risentimento documentato nel capoluogo comunale secondo la scala macrosismica Mercalli-Cancani-
Silberg (MCS)

Nella tabella sottostante sono riportate le indicazioni di dettaglio, riguardo ai principali terremoti riportati nella figura precedente, che hanno interessato il Comune di Montignoso.

Come di vede, l'evento principale è caratterizzato da una sorgente sismica posta nell'area della Garfagnana (evento del 1920).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74
7-8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4-5	1980	06	07	18	35	0	Garfagnana	102	6-7	4.64
4	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
3	1986	10	01	19	53	3	Lunigiana	68	5	4.46
4	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
3-4	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
4-5	1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
3-4	1996	07	11	19	09	2	Lunigiana	80	5	4.06
4	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
2-3	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
3	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61

Tab.9.1 – Dettagli relativi agli eventi sismici principali che hanno interessato il Comune di Montignoso

Nella tabella sottostante sono riportate le indicazioni di dettaglio, riguardo ai principali terremoti riportati nella figura precedente, che hanno interessato il Comune di Pietrasanta.

Come di vede, dei quattro eventi principali, tre sono caratterizzati da sorgenti sismiche poste nell'area della Garfagnana (eventi del 1740 e del 1920) e della Lucchesia (evento del 1914); solo un evento è legato a sorgenti non appenniniche (terremoto delle Colline Pisane del 1846).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1740	03	06	05	40		Garfagnana	32	8	5.64
6	1846	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04
3	1893	10	20	20	15		Appennino parmense	25	4-5	4.04
4	1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
3	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
5	1902	08	04	22	36	1	Lunigiana	60	6	4.78
F	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
NF	1913	02	13	16	39		Corno alle Scale	26	5	4.18
6-7	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
2	1916	07	27	18	38		Garfagnana	22	5-6	4.56
7	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
2	1925	03	15	17	15		Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
5	1939	10	15	14	05		Garfagnana	62	6-7	4.96
4	1961	08	03	10	26	2	Lunigiana	22	5	4.18
3	1965	05	10	05	01	5	Appennino reggiano	11	4-5	4.29
5	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
3-4	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45
4-5	1980	06	07	18	35	0	Garfagnana	102	6-7	4.64
4	1982	09	01	15	33	1	Valle del Serchio	47	5-6	4.21
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
3	1986	10	01	19	53	3	Lunigiana	68	5	4.46
3	1987	01	22	05	10	5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
4	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
4	1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	1996	07	11	19	09	2	Lunigiana	80	5	4.06
4	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
F	2016	08	24	01	36	3	Monti della Laga	221	10	6.18

Tab.9.2 – Dettagli relativi agli eventi sismici principali che hanno interessato il Comune di Pietrasanta

La geometria e la collocazione delle faglie sismogenetiche potenzialmente responsabili di questi eventi è riportata nella figura successiva; sembra quindi che la zona sismogenetica potenzialmente più pericolosa sia quella associata ai due graben appenninici della Garfagnana e della Lunigiana, posti rispettivamente a destra e a Nord dell'area di discarica, capaci di generare eventi con magnitudo relativamente elevata (circa 5.6-6.5 Mw).

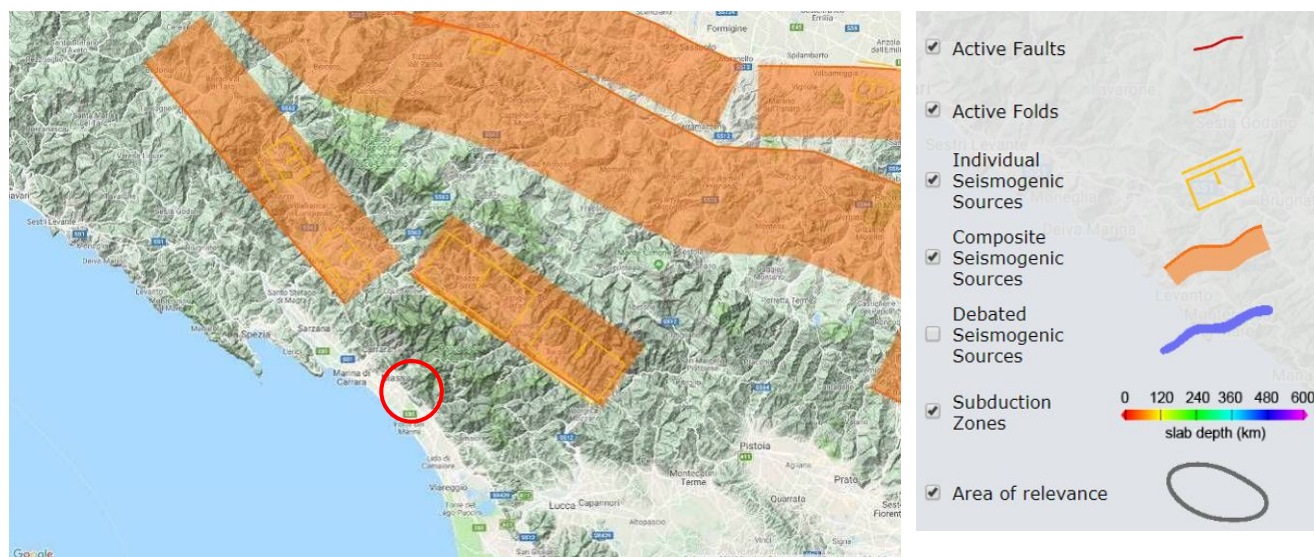


Fig.n.10.5 – Distribuzione delle faglie sismogenetiche potenzialmente responsabili dei massimi risentimenti sismici documentati nei Comuni di Montignoso e Pietrasanta, così come riportati nella banca dati DISS dell'Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>). Come si vede nessuna delle strutture si trova in prossimità dell'area di discarica.

Nel catalogo delle faglie capaci realizzato da ISPRA (Progetto Ithaca), disponibile in rete all'indirizzo <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>, viene riportata l'esistenza di una faglia capace orientata NO-SE alla base del versante tirrenico delle Apuane, che passando per la pianura dei Comuni di Pietrasanta e Montignoso, si interromperebbe in prossimità dell'abitato di Massa.

Le osservazioni di campagna geologiche, geomorfologiche e morfotettoniche non evidenziano alcun elemento utile all'individuazione di deformazioni superficiali associabili all'attività recente di una faglia, né nel settore di pianura, né nel settore interno.

Inoltre i dati di sismicità storica, rilevati nell'area, non presentano epicentri registrati lungo l'andamento della faglia capace.

Anche i dati di sottosuolo non sembrano confortare l'ipotesi della presenza di una struttura sepolta sotto i depositi alluvionali e di costa, che presenti un rigetto del contatto tra il substrato e la copertura alluvionale.

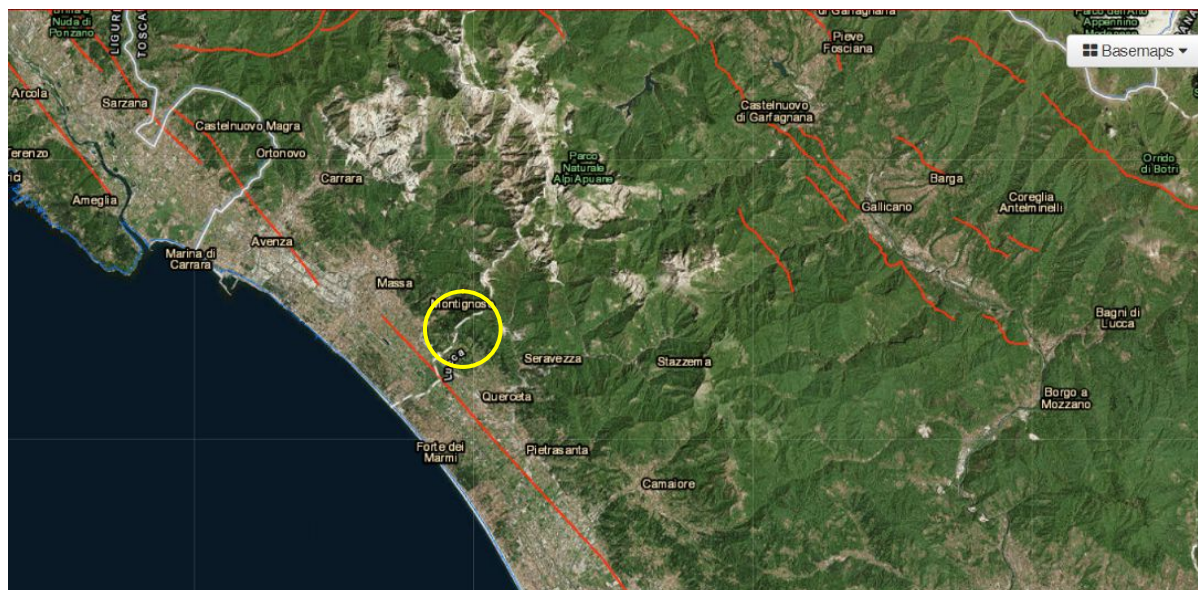


Fig.n.9.6 – Ubicazione della faglia capace (in rosso) nell'area di Pietrasanta - Montignoso
(<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>)

9.2 Pericolosità sismica di base

Con Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018, pubblicato sulla GU n.42 del 20/02/2018, è stato approvato il testo aggiornato delle “*Norme tecniche per le costruzioni*”, le cui norme sostituiscono quelle approvate con D.M. 14 gennaio 2008 che, recependo ed integrando le indicazioni contenute nell'O.P.C.M. n.3274, hanno modificato l'approccio alla classificazione sismica del territorio.

La valutazione della “pericolosità sismica di base”, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido con superficie topografica orizzontale (suolo di categoria A con $V_{s30} > 800\text{m/sec}$), viene adesso definita mediante un approccio “**sito dipendente**” e non più tramite un criterio “**zona dipendente**” così come adottato dalle precedenti normative.

Per il generico sito in esame la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene infatti effettuata utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella Tabella 1 dell'Allegato B del D.M.).

Le forme spettrali sono definite in funzione dei seguenti tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Relativamente all'area in oggetto nelle successive tabelle sono riportati i parametri suddetti, riferiti ai vari periodi di ritorno, ricavati tramite media pesata rispetto ai quattro vertici del reticolo di riferimento all'interno del quale si trova il sito.



WGS84: Lat 43.999211 - Lng 10.173134

ED50: Lat 44.000172 - Lng 10.174145



Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

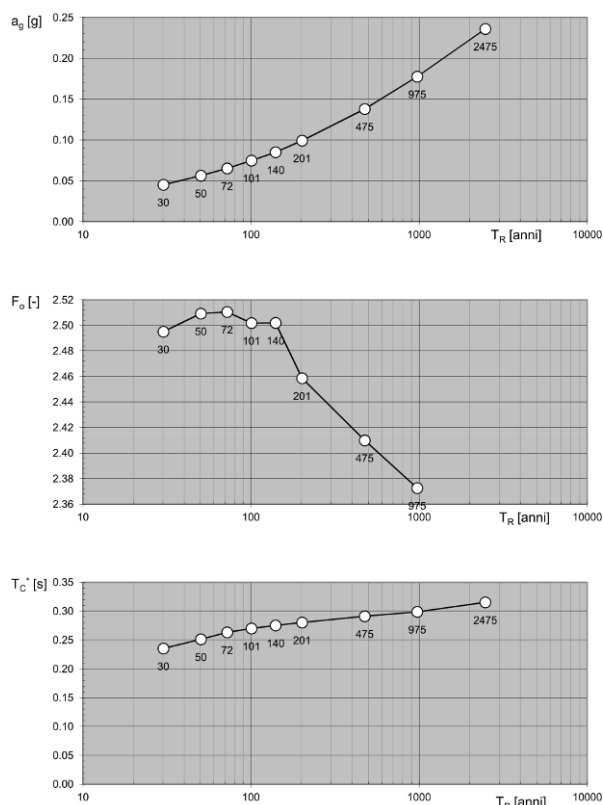
T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.045	2.495	0.235
50	0.056	2.509	0.251
72	0.065	2.511	0.263
101	0.075	2.502	0.270
140	0.085	2.502	0.275
201	0.099	2.459	0.280
475	0.138	2.410	0.291
975	0.177	2.373	0.299
2475	0.236		0.315

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

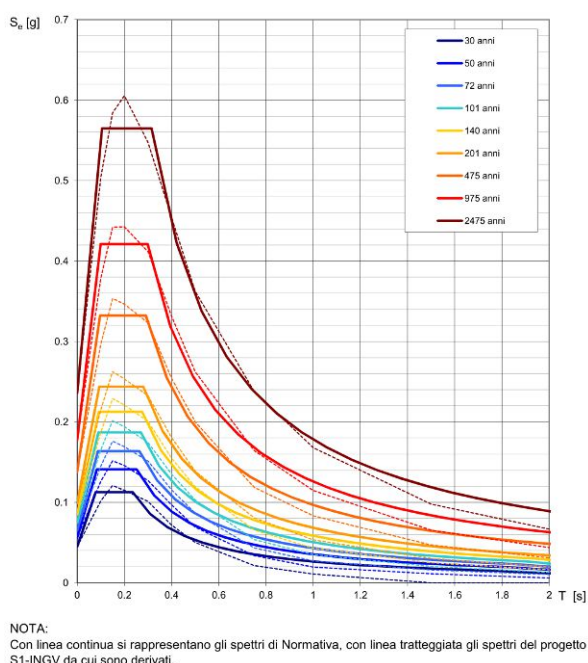
Tab.9.3

Utilizzando i valori sopra riportati si ricava lo spettro di risposta elastico in accelerazione valido per il sito in oggetto su suolo rigido (suolo di categoria A con $V_{S30} > 800\text{m/sec}$).

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C : variabilità col periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



9.3 Individuazione della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione massima prevista

Dato che le condizioni del sito di riferimento non corrispondono a quelle presenti nell'area, è necessario, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito in oggetto, in quanto entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su suolo rigido di riferimento con superficie topografica orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

La "**risposta sismica locale**" esprime quindi l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite nel percorso dal substrato rigido al sito in oggetto.

In assenza di analisi più dettagliate, per quanto riguarda l'effetto delle condizioni stratigrafiche, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo del sito in oggetto.

Le *Norme Tecniche Costruzioni 2018* prevedono le seguenti categorie di sottosuolo di riferimento:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

All'interno dell'area di discarica è stata appositamente eseguita, nel maggio 2011, un'indagine di sismica a rifrazione con onde SH, che ha permesso di ricostruire la seguente situazione sismostratigrafica:

1. per spessori variabili da 14.0 a 18.0m sono presenti i rifiuti già abbancati in discarica, caratterizzati da una velocità media di 220m/sec
2. al di sotto è presente il substrato roccioso, caratterizzato da una velocità media di 1600m/sec.

Come è possibile osservare dai risultati ottenuti il fondo della discarica è costituito da una roccia massiva, in cui la velocità delle onde SH è risultata notevolmente superiore a 800m/sec, valore limite per gli ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, mentre relativamente ai rifiuti già abbancati è risultata una velocità $V_{s,eq}$ (in m/s) di 220m/sec, tipica di terreni a grana fina mediamente consistenti.

Pertanto dato che i rifiuti già abbancati, il cui spessore non superava, nel periodo in cui è stata eseguita l'indagine geofisica, i 20.0m, hanno evidenziato una velocità delle onde di taglio caratteristica dei sottosuoli di tipo C, posti su un substrato di riferimento caratterizzato da V_s molto > 800m/sec, la situazione stratigrafica descritta rientra fra quelle previste dalla categoria di sottosuolo "E".

Per il sito di discarica in progetto si può quindi ipotizzare, ai fini della definizione delle azioni sismiche, man mano che il rifiuto sarà abbancato sui gradoni, che la categoria di sottosuolo passerà da "A", nella fase iniziale, a "E", durante la prima fase di realizzazione della discarica e, quindi a "C" durante la seconda fase e quella finale.

Categoria "A": *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800m/sec, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri.*

Categoria "E": *terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.*

Categoria "C": *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360m/sec.*



Foto n.9.1 – Fase di energizzazione dello stendimento sismico “Discarica Programma Ambiente Apuana – (onde SH)”

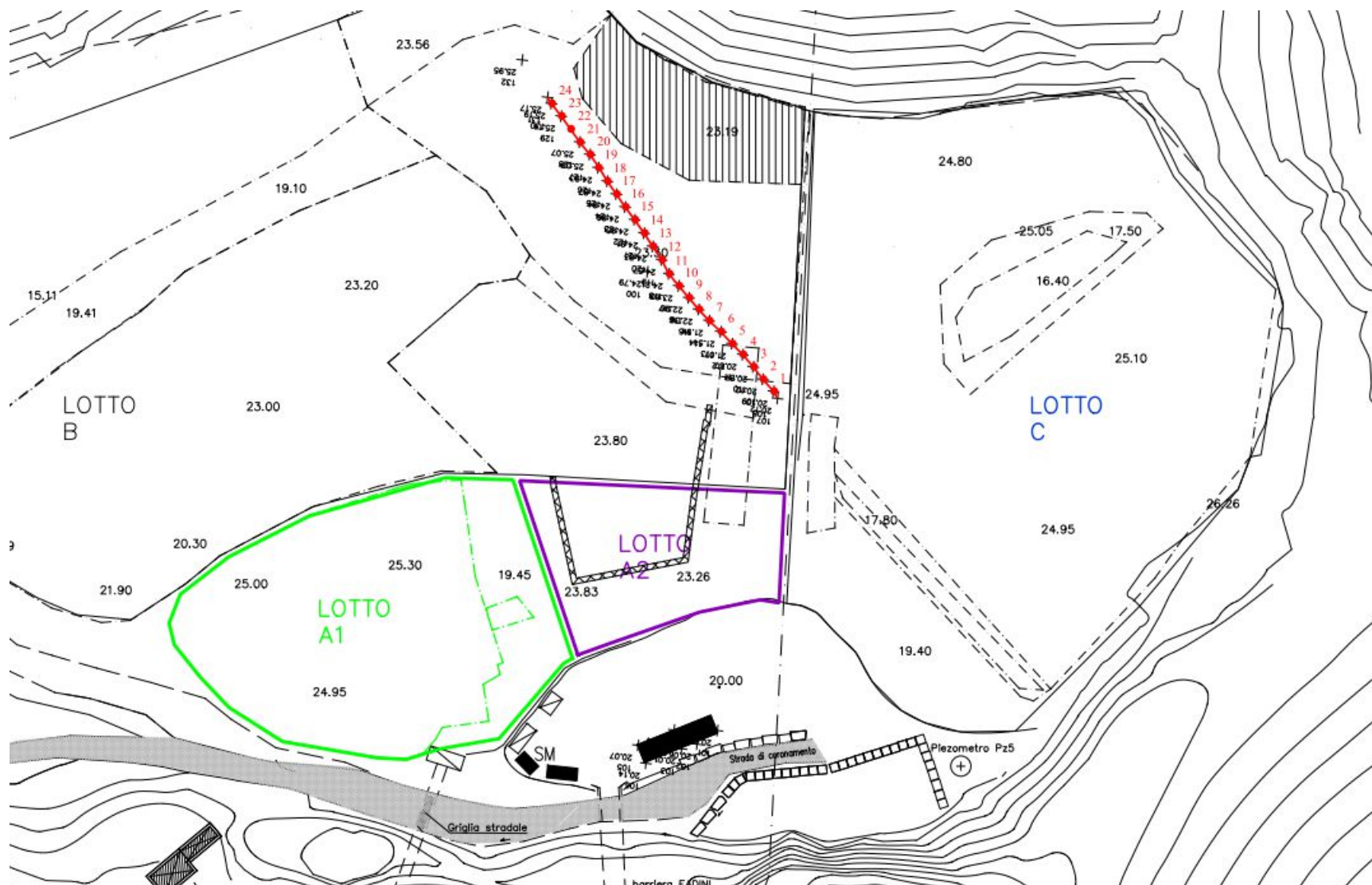


Fig. n.9.7 – Ubicazione indagine geofisica

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Sezione sismica interpretativa: DISCARICA PROGRAMMA AMBIENTE APUANE 1-1' (ONDE SH)

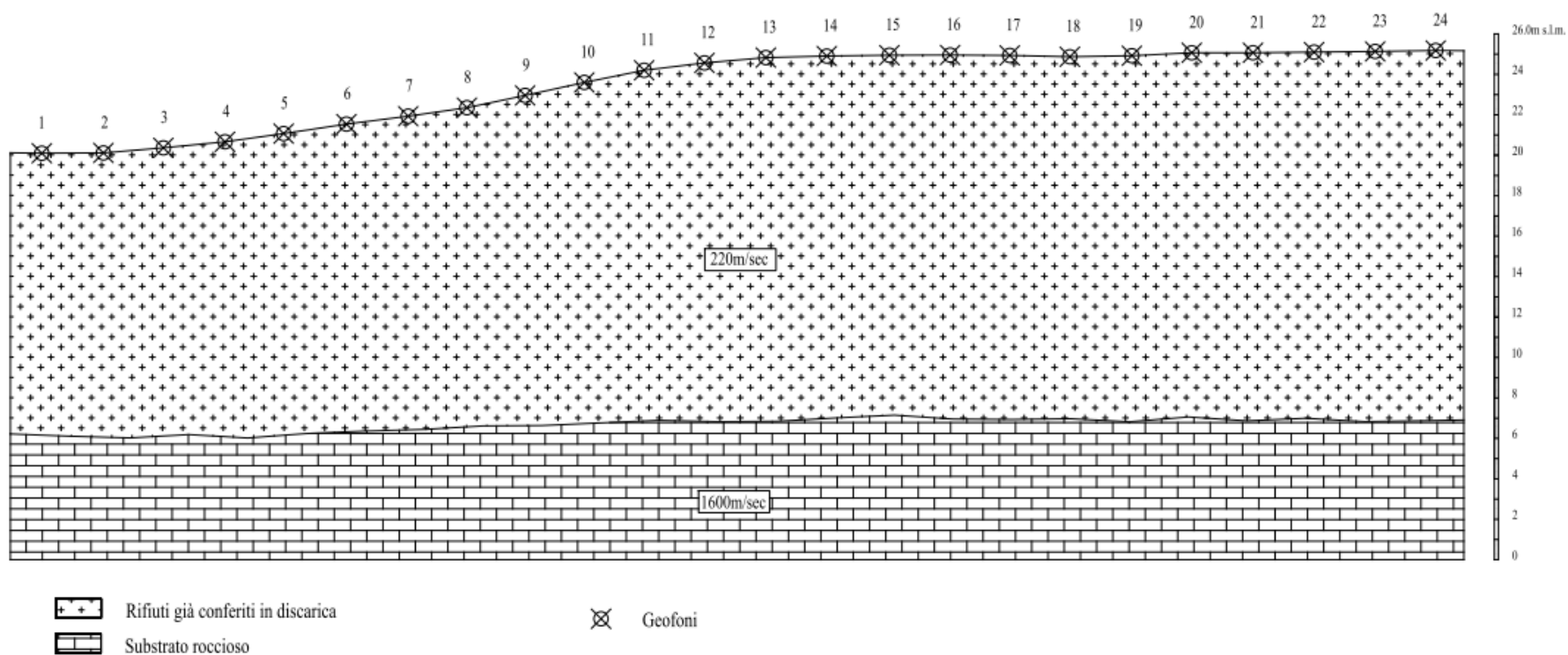


Fig. n.9.8 – sezione sismica interpretativa

Nello spettro di risposta di progetto le caratteristiche di sito sono introdotte tramite un coefficiente S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione:

$$S = S_S \times S_T$$

dove S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

Il coefficiente S_S si può ricavare dalla seguente tabella che lo lega alla categoria di sottosuolo di riferimento.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Relativamente al coefficiente di amplificazione topografica S_T , si può fare riferimento alle seguenti tabelle in cui sono indicate le varie caratteristiche della superficie topografica che possono generare amplificazione sismica.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Nel caso in oggetto, essendo l'area della discarica caratterizzata da pendenze medie minori o uguali a 30°, si ricade all'interno della categoria topografica T2, per cui S_T vale 1.2.

Ipotizzando per la discarica in esame una vita nominale V_N pari a 50 anni, una Classe d'uso III, quindi un coefficiente d'uso pari a 1.5, otteniamo un periodo di riferimento V_R della costruzione pari a 75.

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

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi.

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

In riferimento ai quattro stati limite per l'azione sismica (SLO, SLE, SLD, SLC) e alla relativa probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R , si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma, utilizzando la seguente relazione:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati Limite		Valori di P_{VR}	Valori di T_R corrispondenti
		($C_U=1.5$)	
SLE	SLO	81.00%	$0.60 \times V_R$
	SLD	63.00%	V_R
SLU	SLV	10.00%	$9.50 \times V_R$
	SLC	5.00%	$19.50 \times V_R$

Tabella 3.2.V, modificata, delle NTC

Sulla base del **periodo di ritorno T_R** calcolato per lo stato limite d'interesse, si può ricavare il coefficiente S, utilizzando i parametri a_g/g e F_0 riportati in **Tabella 2**.

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,053	2,511	0,247
SLD	75	0,065	2,518	0,264
SLV	712	0,156	2,389	0,295
SLC	1462	0,197	2,381	0,306

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Tabella 2**9.4 Coefficiente sismico orizzontale e verticale**

Nel § 7.11.4 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) vengono definite le modalità di esecuzione delle analisi di stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati.

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W$$

$$F_v = k_v \times W$$

dove:

- k_h = coefficiente sismico orizzontale
- k_v = coefficiente sismico verticale

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} \qquad k_v = \pm 0.5 \times k_h$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$\beta_s = 0.38$ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)

$\beta_s = 0.47$ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).

9.5 Scuotibilità sismica dell'area di Montignoso - Pietrasanta

Per quel che riguarda la scuotibilità sismica dell'area in esame si fa riferimento alla relazione del Prof. Paolo Scandone, Ordinario di Geologia Regionale del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, appositamente predisposta a seguito di quella redatta dal Prof. M. Marroni, dal Dott. L. Pandolfi e dal Prof. M. Rosi, dello stesso dipartimento, nell'ambito dell'Inchiesta Pubblica del 2009.

In questa relazione, dopo ampia disamina degli argomenti tecnico-scientifici, il Prof. Scandone concludeva che...*"nella relazione Marroni, Pandolfi & Rosi non viene portata alcuna evidenza geologica di superficie o di sottosuolo che giustifichi l'affermazione che il sistema di faglie a direzione NO-SE/NNW-SSE che limita il Bacino di Viareggio sia ancora attivo e quindi potenzialmente simo-genetico"*.

Più avanti affermava ancora che *"in Versilia non ci sono i benché minimi indizi geologici e/o sismologici per parlare di una tettonica attiva che porterebbe ad una valutazione del rischio sismico sensibilmente diversa da quella espressa fino ad oggi, dagli esperti che si sono occupati del problema"*.

Data la complessità delle argomentazioni trattate, non facilmente riassumibili, per una migliore comprensione si rimanda al testo integrale della relazione del Prof. Scandone e ai documenti del contraddittorio avvenuto tra lo scrivente ed il Prof. Marroni, durante l'Inchiesta Pubblica.

Da quanto fin qui esposto, per quanto riguarda la caratterizzazione sismica dell'area di disarica, non vi sono state sostanziali variazioni rispetto a quanto già indicato nelle precedenti relazioni della V.I.A. 2009 e dell'A.I.A. 2011.

10 – VALUTAZIONE DEI CARICHI IDRICI RACCOLTI DALLA DISCARICA E SULLE MODALITA' DEL LORO SMALTIMENTO

10.1 Valutazione dei massimi carichi idrici che possono essere intercettati dalla strada di arroccamento interna al sito di discarica

A monte dell'area di discarica sono state realizzate opere idrauliche che consentono di intercettare le acque meteoriche di ruscellamento superficiale e di farle infiltrare, tramite trincee drenanti soffici, all'interno del substrato roccioso.

Inoltre le acque vengono raccolte all'interno di un "fosso di guardia", presente a monte del tratto di viabilità sterrata che conduce alla sommità della discarica, che le immette nell'impluvio posto a Nord-Ovest dell'area di discarica.

Questo fosso, scavato quasi interamente nel calcare cavernoso, consente l'infiltrazione di buona parte dell'acqua che vi scorre all'interno.

Le acque di pioggia, che cadono sui fronti di scavo della vecchia cava di inerti, in parte si infiltrano nel sottosuolo, andando ad alimentare la rete idrica sotterranea.

Le acque che cadono nel piazzale, e nel primo tratto di viabilità, a valle della griglia presente sulla strada di arroccamento, continueranno ad essere raccolte e smaltite insieme al percolato.

Le piogge che cadono nelle aree in cui sono abbancati i rifiuti sono raccolte all'interno della vasca del percolato, prima di essere prelevate e smaltite, insieme ad esso, in impianto autorizzato.

Il tratto di viabilità d'arroccamento che consente di raggiungere i gradoni sommitali dell'ex-cava (foto n.10.1) è completamente impermeabilizzato e provvisto di due cordoli laterali che fanno confluire le acque meteoriche all'interno di una griglia a tutta strada, presente nel tratto iniziale (foto n.10.2); tale griglia è collegata ad uno scatolare in c.a., delle dimensioni di 0.6×1.6m, dal quale le acque vengono immesse in un pozzetto di raccolta (delle dimensioni di 1.5×1.5×2.0m) e quindi all'interno di un tubo fnsider con diametro $\phi=1200\text{mm}$ (foto n.10.3).



Foto n.1 Viabilità di arroccamento alla parte alta della discarica, a monte della griglia a tutta strada. La presenza dei cordoli impedisce alle acque di riversarsi lungo le scarpate.



Foto n.2 Griglia a tutta strada realizzata su tutta la larghezza della carreggiata della viabilità d'arroccamento. Le acque intercettate vengono immesse all'interno di un pozzettone.



Foto n.3 Le acque intercettate dalla griglia entrano nel pozzettone e quindi all'interno della tubazione in finsider che le immette all'interno della galleria.



Foto n.4 Galleria dalla quale fuoriescono le acque di ruscellamento superficiale intercettate dalla griglia presente sulla viabilità d'arroccamento.



Foto n.5 Una volta fuori dalla galleria le acque ristagnano in questa "volumetria d'accumulo" nella quale hanno la possibilità di decantare.



Foto n.6 Le acque decantate, una volta sormontato questo modesto argine, entrano nella griglia rivestita da tessuto-non tessuto visibile sullo sfondo. Da questa, tramite una pompa, vengono immesse all'interno della Fossa Fiorentina, in ritardo rispetto al picco di piena.

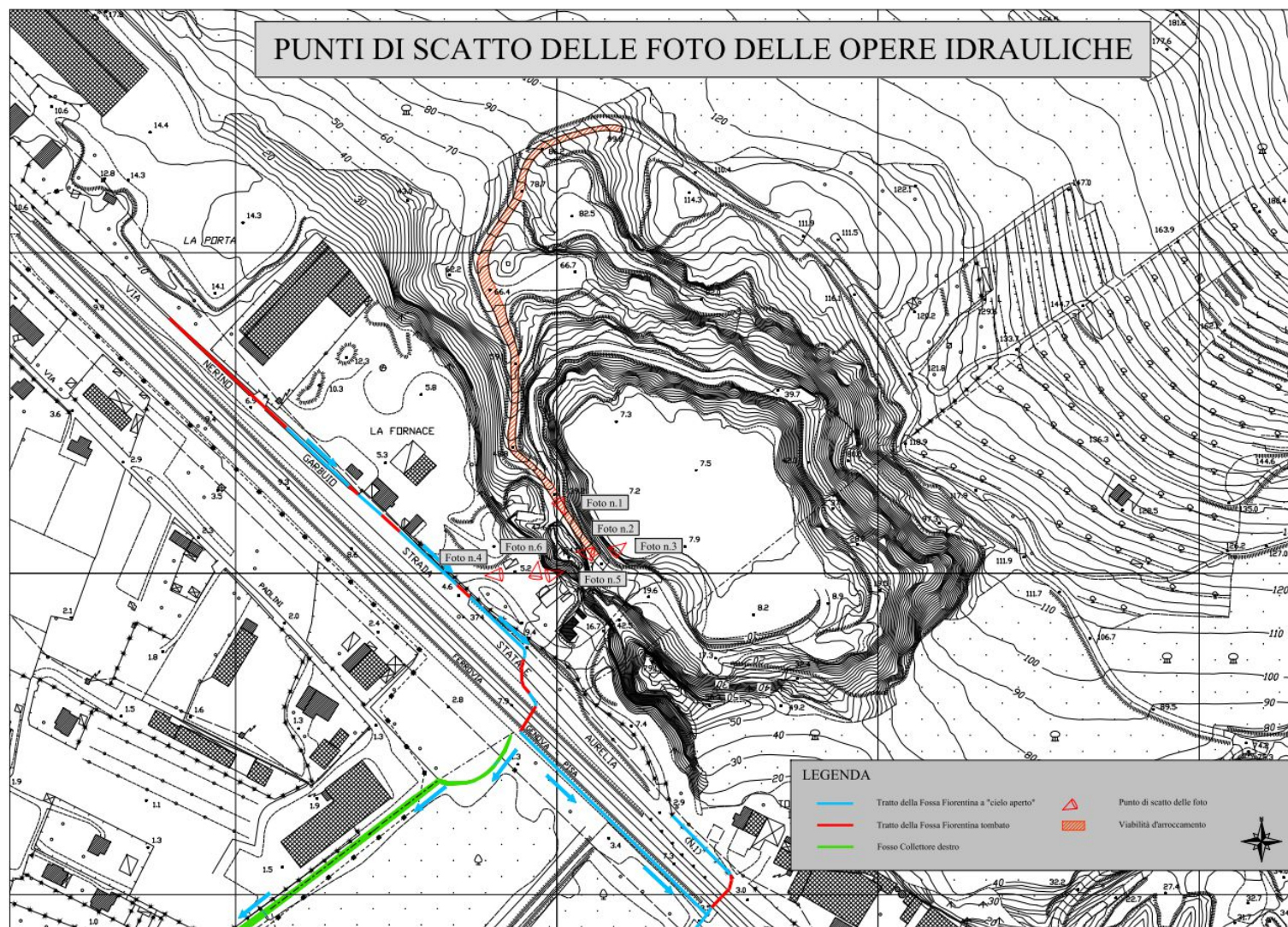


Fig. n.10.1 – Punti di scatto delle foto delle opere idrauliche

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:ca.turba1949@gmail.com

La griglia a tutta strada, che è realizzata in un tratto di viabilità in contropendenza, è sicuramente in grado di raccogliere tali quantitativi e di immetterli nel pozzettone posto lateralmente.

Anche nell'eventualità che minime quantità di acque meteoriche non dovessero essere raccolte dalla griglia, queste saranno intercettate da quelle sottostanti, poste all'inizio della viabilità d'arrocamento e nel piazzale, ed immesse all'interno delle vasche per la raccolta del percolato.

Dal tubo fnsider, collegato al pozzettone, le acque sono convogliate all'interno di una galleria, che sbocca in una volumetria di accumulo, appositamente realizzata, posta nella zona compresa tra le rupi di Porta e la S.S. n.1 Aurelia (foto n.10.4-5).

In questo modo viene laminata la totalità delle acque meteoriche, provenienti dalla fognatura sopra descritta che, dai calcoli eseguiti per l'evento duecentennale, sulla base dello ietogramma di progetto utilizzato, che prevede una pioggia critica di 136.89mm nelle 2 ore e la viabilità con una superficie di circa 1100mq, risultano al massimo di circa 150mc, per tutta la durata della pioggia.

Il piazzale antistante lo sbocco della galleria, confinante con le vasche per la raccolta del percolato, attualmente ha una superficie utilizzabile per l'invaso delle acque meteoriche di circa 535mq (foto n.10.5).

L'accesso alla volumetria d'accumulo è garantito da una rampa con dosso centrale che, oltre ad avere la stessa altezza del nuovo argine, si raccorda perfettamente con la sua sommità.

È da precisare che le acque che si riversano all'interno del settore più ampio della volumetria d'accumulo subiscono una prima decantazione nella fase di riempimento parziale della superficie a disposizione e, successivamente, tracimano nel secondo settore all'interno del quale è presente un pozzetto.

Quest'opera ha pareti di altezza tali da permettere un'ulteriore decantazione delle acque prima che queste possano cadere al suo interno.

Nella parte sommitale del pozzetto è presente un filtro, in tessuto non tessuto, che consente l'esclusivo passaggio delle acque, trattenendo l'eventuale frazione fine presente (foto n.10.6).

Le acque dal pozzetto sono immesse all'interno della Fossa Fiorentina, utilizzando la fognatura esistente a ridosso delle vasche per la raccolta del percolato già collegata all'asta idrica suddetta.

10.2 Valutazione dei carichi idrici raccolti dalla discarica nel corso delle varie fasi di lavoro

Nella seconda e nella terza fase di lavoro della discarica il quantitativo di acque meteoriche da smaltire tenderà via via ad aumentare, con valori massimi al termine delle fasi operative.

Le acque meteoriche, intercettate dal paramento esterno dei primi gradoni, sono stoccate all'interno della volumetria d'accumulo già realizzata nella zona compresa fra le Rupi di Porta e la Via Aurelia.

Con l'aumento della superficie del paramento esterno della discarica, le acque da invasare nella volumetria d'accumulo aumenteranno per cui, in questo paragrafo, verranno analizzate le modalità di smaltimento e gli accorgimenti necessari per immettere, all'interno della Fossa Fiorentina, un carico idrico inferiore a quello che l'area scolante della discarica vi immetterebbe.

Per raggiungere tale obiettivo è stato elaborato lo ietogramma della pioggia critica duecentennale, utilizzando le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP- aggiornamento al 2012), disponibili sul sito www.sir.toscana.it, riferite alla stazione pluviografica di Strettoia, nel Comune di Pietrasanta, a breve distanza dall'area di discarica.

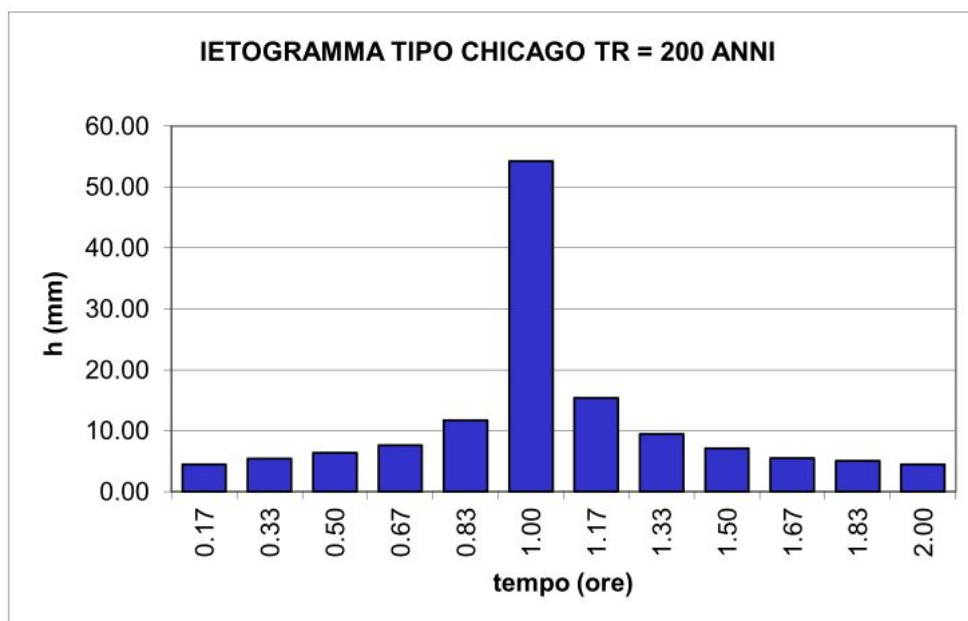
Lo ietogramma di progetto, utilizzato per valutare il carico idrico proveniente dall'area di discarica, è stato costruito considerando una pioggia critica della durata di due ore, con un passo temporale di 10 minuti; il modello utilizzato è quello tipo CHICAGO che presenta un picco di pioggia centrale

fortemente pronunciato; anche nell'ipotesi di una pioggia critica di durata pari a 24 ore, il picco centrale non potrà mai essere superiore a quello considerato.

Per ricostruire l'idrogramma di piena dell'area di scarica, non potendo essere assimilata ad un vero e proprio bacino idrografico, i carichi idrici nel tempo sono stati valutati in funzione dei millimetri di pioggia che cadono in ogni intervallo temporale considerato.

PIOGGIA SINTETICA DI PROGETTO
IETOGRAMMA TIPO CHICAGO
TEMPO DI RITORNO 200 ANNI
CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA $h = 105.49 \times t^{0,37587}$
STAZIONE DI STRETTOIA

DT (ore)	I (mm/ore)	h (mm)	hcum (mm)	h del passo temporale (mm)
0.17	0.45	4.48	4.48	54.20
0.33	0.54	5.43	9.91	69.54
0.50	0.64	6.41	16.32	81.29
0.67	0.76	7.61	23.93	90.75
0.83	1.18	11.75	35.68	98.35
1.00	5.42	54.20	89.88	105.49
1.17	1.53	15.34	105.22	111.90
1.33	0.95	9.45	114.67	117.43
1.50	0.71	7.14	121.81	122.86
1.67	0.55	5.52	127.33	127.92
1.83	0.51	5.06	132.39	132.39
2.00	0.45	4.50	136.89	136.89



Discarica al termine della II° Fase

Area del paramento esterno = 25450mq

L'area scolante che convoglierà le acque all'interno della volumetria d'accumulo presente esternamente all'area di discarica può essere schematicamente suddivisa in due parti:

- ❑ il tratto di strada di arroccamento, compreso tra la griglia di quota 32m s.l.m. e la zona dove termina il fosso di guardia;
- ❑ la superficie del paramento esterno della discarica al termine della seconda fase.

Le acque intercettate dalla viabilità, come già ricordato, vengono già immesse all'interno della volumetria d'accumulo presente esternamente alla discarica.

Questo tratto di viabilità ha il fondo in cemento ed è provvista di due cordoli laterali che fanno confluire le acque meteoriche all'interno di una griglia a tutta strada presente alla quota di circa 32m s.l.m.

Essendo la viabilità completamente impermeabilizzata possiamo considerare che tutte le acque da essa intercettate giungano all'interno della volumetria d'accumulo; questo tratto di viabilità occupa un'area di circa **1100 metri quadrati**.

Per quanto riguarda la superficie della discarica i rifiuti, nella fase di ripristino ambientale, saranno ricoperti da uno spessore di terreno vegetale di circa 1 metro.

Dato che in questa fase dovranno essere messe a dimora specie vegetali tipiche dei luoghi, il terreno che verrà sistemato dovrà essere in grado di assorbire e contenere quantitativi d'acqua per favorire la crescita delle essenze impiantate.

Questa copertura, inoltre, servirà anche come serbatoio temporaneo delle acque di pioggia.

Le modalità costruttive della discarica, che prevedono la realizzazione di gradoni con pendenza contro monte e un leggero cordolo verso valle, consentiranno alle acque meteoriche, prima di essere raccolte nel sistema di drenaggio posto alla base di ogni scarpata delle terrazze, di ristagnare temporaneamente sugli stessi, diminuendo notevolmente la velocità e, quindi, il tempo di arrivo nella volumetria d'accumulo.

Queste, infatti, una volta infiltrate, incontreranno la copertura impermeabile e cominceranno a scorrere verso il sistema di drenaggio previsto, in modo diffuso su tutta l'area di discarica, per poi confluire nei pozzetti di raccolta e da questi, tramite il canale di deflusso di piede delle acque superficiali, nella volumetria d'accumulo appositamente predisposta.

Le acque immagazzinate, in questo modo, arriveranno alla volumetria d'accumulo in un tempo molto più lungo di quelle che ruscellano superficialmente, quindi il loro volume può essere trascurato nel calcolo delle portate da invasare durante la fase critica dell'evento duecentennale.

Di tutta la pioggia caduta possiamo comunque considerare, in modo estremamente cautelativo, che solo il 30% venga immagazzinata nel terreno e restituita in ritardo.

Nella seguente tabella sono riassunti, in ogni intervallo temporale di 10 minuti:

- i carichi idrici dovuti rispettivamente al tratto impermeabilizzato della strada di arroccamento
- i carichi idrici dovuti all'area di discarica, dalla quale è stato detratto il 30% delle precipitazioni trattenute temporaneamente dalle coperture e dai gradoni
- i carichi idrici totali, dovuti alla strada di arroccamento e all'area di discarica.

Dai dati forniti dal Progettista risulta che, nella seconda fase, l'area complessiva occupata dal paramento esterno sarà di circa **25.450 metri quadrati**.

Tempo	Altezza di pioggia	Carico idrico strada di arroccamento	Altezza di pioggia ridotta del 30%	Carico idrico area di scarica II° fase	Carico idrico totale
		Area = 1100mq		Area = 25450mq	
(minuti)	(mm)	(mc/sec)	(mm)	(mc/sec)	(mc/sec)
0-10	4.48	0.0082	3.133	0.133	0.141
10-20	5.43	0.0100	3.802	0.161	0.171
20-30	6.41	0.0118	4.489	0.190	0.202
30-40	7.61	0.0139	5.325	0.226	0.240
40-50	11.75	0.0216	8.228	0.349	0.371
50-60	54.20	0.0994	37.937	1.609	1.709
60-70	15.34	0.0281	10.741	0.456	0.484
70-80	9.45	0.0173	6.617	0.281	0.298
80-90	7.14	0.0131	4.995	0.212	0.225
90-100	5.52	0.0101	3.866	0.164	0.174
100-110	5.06	0.0093	3.541	0.150	0.159
110-120	4.50	0.0082	3.147	0.133	0.142

I carichi idrici totali sopra tabellati, correlati con i vari tempi, corrispondono ai volumi d'acqua da invasare; il volume totale da invasare al termine della seconda fase, durante l'evento duecentennale, risulta pari a circa **2590** metri cubi.

Per operare in condizioni di massima sicurezza, lo smaltimento delle acque meteoriche provenienti dal sito di scarica, sarà effettuato nel seguente modo:

- 1) realizzazione di una volumetria d'accumulo in grado di contenere i carichi idrici provenienti dalla viabilità interna e dal paramento esterno della scarica
- 2) immissione all'interno della Fossa Fiorentina di una quantità d'acqua che nel frattempo sarà invasata nella volumetria d'accumulo.

A tal scopo sarà ampliata la volumetria esistente, sfruttando tutto lo spazio a disposizione fino in prossimità della strada di accesso, così da ottenere una superficie complessiva di 865mq.

Per smaltire una parte delle acque, che man mano si accumuleranno all'interno della volumetria, sarà creato un tratto di fognatura in grado di condottarle, per gravità, all'interno della Fossa Fiorentina; tale fognatura sarà costituita da un tubo in pvc, del diametro $\phi=500\text{mm}$, da posizionare sul fondo della vasca.

Da un rilievo effettuato si è potuto verificare che, sulla base del dislivello previsto fra la tubazione in uscita dalla volumetria d'accumulo e quella in arrivo all'interno della fognatura esistente, della lunghezza e del diametro riassunti nella seguente tabella, il carico massimo condottabile è risultato:

diametro tubazione	$\phi=500\text{mm}$	carico massimo condottabile $\approx 0.7\text{mc/sec}$
dislivello fognatura	1.15m	
lunghezza fognatura	25m	
pendenza fognatura	2.2%	
coeff. di scabrezza di Gaukler- Strikler	120	

Dati di calcolo

D m = Diametro interno del canale
w % = Livello percentuale riempimento del canale
i m/m = Pendenza del canale
k = Coefficiente di scabrezza

Calcola

Reset

Q m³/s = Portata della condotta

Tabella diametri interni tubazioni

$$v = k R^{2/3} i^{1/2}$$

Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler:

120 Tubi Pe, PVC, PRFV
100 Tubi nuovi gres o ghisa rivestita
80 Tubi con lievi incrostazioni, cemento ord.
60 Tubi con incrostazioni e depositi
40 Canali con ciottoli e ghiaia sul fondo

Nella seguente tabella sono riportati i volumi corrispondenti a ciascun intervallo temporale considerato, quello in uscita dalla fognatura e quello residuo da accumulare:

Tempo (minuti)	Carico idrico totale di- scarica (mc/sec)	Volume da imma- gazzinare (mc)	Volume in uscita dalla fognatura (mc)	Volume residuo da accumulare (mc)
0-10	0.141	84.653	420	-335.35
10-20	0.171	102.725	420	-317.27
20-30	0.202	121.295	420	-298.71
30-40	0.240	143.877	420	-276.12
40-50	0.371	222.342	420	-197.66
50-60	1.709	1025.101	420	605.10
60-70	0.484	290.250	420	-129.75
70-80	0.298	178.810	420	-241.19
80-90	0.225	134.964	420	-285.04
90-100	0.174	104.470	420	-315.53
100-110	0.159	95.691	420	-324.31
110-120	0.142	85.023	420	-334.98
VOLUME TOTALE				≈605.10mc

Se lo smaltimento delle acque meteoriche avverrà secondo lo schema proposto, nella II° fase la vasca prevista sarà sufficiente ad invasare temporaneamente tutti i carichi idrici provenienti dalla strada di arroccamento e dall'area del paramento esterno della discarica.

Infatti, potendo smaltire 0.7mc/sec con la nuova fognatura, i volumi residui pari a circa 605mc, come ben evidenziato dalla precedente tabella, sono sicuramente invasabili nella volumetria d'accumulo in progetto.

Inoltre, essendo il carico idrico proveniente dall'area di discarica già considerato nel calcolo della portata al colmo con tempo di ritorno duecentennale della Fossa Fiorentina, tale dispositivo permetterà di diminuire notevolmente i deflussi durante il picco di piena e, quindi, migliorare le condizioni di pericolosità nelle zone a valle, smaltendo i volumi che si accumuleranno all'interno della vasca, dal fondo fino alla base della tubazione in uscita, in ritardo rispetto all'evento meteorico.

Nella planimetria della **Fig. 10.2** viene riportata l'ubicazione della vasca che verrà utilizzata per invasare i volumi d'acqua previsti al termine della II fase.

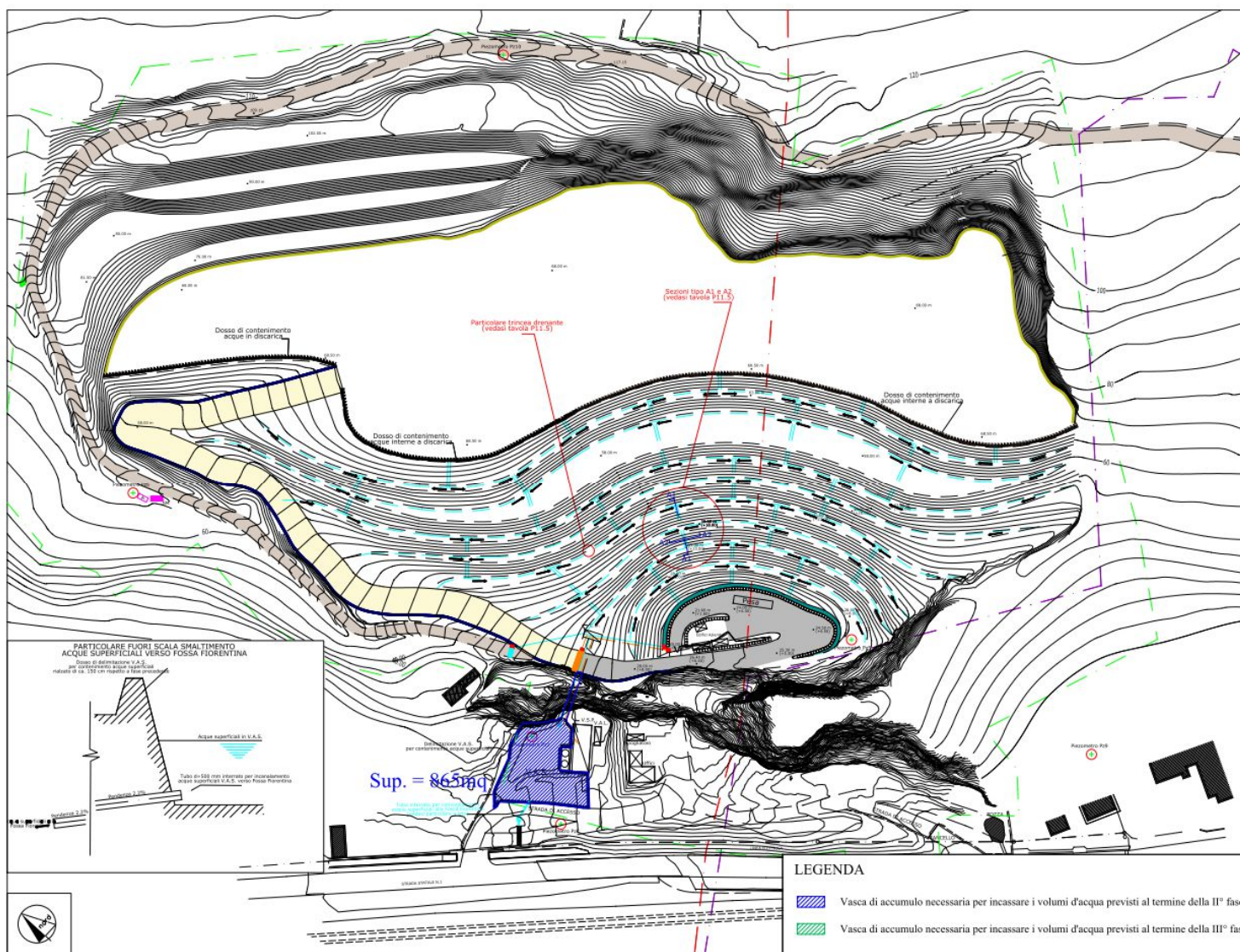


Fig. n.10.2 – Ubicazione vasca di accumulo.

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:ca.turba1949@gmail.com

Discarica al termine della III° fase

Area complessiva compresi i piazzali = 58650mq

Nella seguente tabella sono riassunti, in ogni intervallo temporale di 10 minuti:

- i carichi idrici dovuti rispettivamente al tratto impermeabilizzato della strada di arroccamento
- i carichi idrici dovuti all'area di discarica, dalla quale è stato detratto il 30% delle precipitazioni trattenute temporaneamente dalle coperture e dai gradoni
- i carichi idrici totali, dovuti alla strada di arroccamento e all'area di discarica.

In realtà nella fase finale il computo dei volumi d'acqua da immagazzinare nella volumetria d'accumulo esterna è ancora più cautelativo in quanto la bassa pendenza dei gradoni posti nella parte sommitale favoriranno una maggiore infiltrazione delle acque meteoriche.

Dai dati forniti dal Progettista, al termine della terza fase l'area complessiva occupata dal paramento esterno sarà di circa **58650 metri quadrati**.

Tempo	Altezza di pioggia	Carico idrico strada di arroccamento	Altezza di pioggia ridotta del 30%	Carico idrico area di discarica III° fase	Carico idrico totale
		Area = 1100mq		Area = 58650mq	
(minuti)	(mm)	(mc/sec)	(mm)	(mc/sec)	(mc/sec)
0-10	4.48	0.0082	3.133	0.306	0.314
10-20	5.43	0.0100	3.802	0.372	0.382
20-30	6.41	0.0118	4.489	0.439	0.451
30-40	7.61	0.0139	5.325	0.520	0.534
40-50	11.75	0.0216	8.228	0.804	0.826
50-60	54.20	0.0994	37.937	3.708	3.808
60-70	15.34	0.0281	10.741	1.050	1.078
70-80	9.45	0.0173	6.617	0.647	0.664
80-90	7.14	0.0131	4.995	0.488	0.501
90-100	5.52	0.0101	3.866	0.378	0.388
100-110	5.06	0.0093	3.541	0.346	0.355
110-120	4.50	0.0082	3.147	0.308	0.316

I carichi idrici totali sopra tabellati, correlati con i vari tempi, corrispondono ai volumi d'acqua da invasare.

Anche in questa fase, per operare in condizioni di massima sicurezza, lo smaltimento delle acque meteoriche provenienti dal sito di discarica, sarà effettuato nel seguente modo:

- 3) realizzazione di una volumetria d'accumulo in grado di contenere i carichi idrici provenienti dalla viabilità interna e dal paramento esterno della discarica
- 4) immissione all'interno della Fossa Fiorentina di una quantità d'acqua che nel frattempo sarà invasata nella volumetria d'accumulo.

Il volume totale da invasare al termine della III fase, durante l'evento duecentennale, risulta pari a circa **9617 metri cubi**.

A tal scopo sarà ampliata la volumetria esistente, abbassando il fondo e alzando gli argini perimetrali realizzati nella II fase, mentre non sarà variata la quota della tubazione in uscita.

Nella seguente tabella sono riportati i volumi corrispondenti a ciascun intervallo temporale considerato, quello in uscita dalla fognatura e quello residuo da accumulare:

Tempo	Carico idrico totale di- scarica	Volume da imma- gazzinare	Volume in uscita dalla fognatura	Volume residuo da accumulare
(minuti)	(mc/sec)	(mc)	(mc)	(mc)
0-10	0.314	188.662	420	-231.34
10-20	0.382	228.939	420	-191.06
20-30	0.451	270.325	420	-149.68
30-40	0.534	320.652	420	-99.35
40-50	0.826	495.524	420	75.52
50-60	3.808	2284.595	420	1864.60
60-70	1.078	646.867	420	226.87
70-80	0.664	398.505	420	-21.49
80-90	0.501	300.788	420	-119.21
90-100	0.388	232.828	420	-187.17
100-110	0.355	213.262	420	-206.74
110-120	0.316	189.488	420	-230.51
VOLUME TOTALE				≈ 2166.99mc

Anche in questa fase per smaltire una parte delle acque, che man mano si accumuleranno all'interno della volumetria, sarà utilizzata la fognatura realizzata in precedenza, in grado di condottarle, per gravità, all'interno di quella esistente.

Se lo smaltimento delle acque meteoriche avverrà secondo lo schema proposto, anche nella III fase la vasca ampliata sarà sufficiente ad invasare temporaneamente tutti i carichi idrici provenienti dalla strada di arroccamento e dall'area del paramento esterno della discarica.

Infatti, potendo smaltire 0.7mc/sec con la fognatura, i volumi residui pari a circa 2167mc, come ben evidenziato dalla precedente tabella, sono sicuramente invasabili nella volumetria d'accumulo prevista.

Come già riportato precedentemente, essendo il carico idrico proveniente dall'area di discarica già considerato nel calcolo della portata al colmo con tempo di ritorno duecentennale della Fossa Fiorentina, tale dispositivo permetterà di diminuire notevolmente i deflussi durante il picco di piena e, quindi, migliorare le condizioni di pericolosità nelle zone a valle, smaltendo i volumi che si accumuleranno all'interno della vasca, dal fondo fino alla base della tubazione in uscita, in ritardo rispetto all'evento meteorico.

Nella planimetria della **Fig. 10.3** viene riportata l'ubicazione della vasca che verrà utilizzata per invasare i volumi d'acqua previsti.

Discarica al termine della fase operativa

Se lo smaltimento delle acque meteoriche, provenienti dal sito di discarica, verrà effettuato secondo lo schema proposto in progetto, consistente nella realizzazione di una volumetria d'accumulo, che sarà svuotata tramite una fognatura "a gravità" all'interno della Fossa Fiorentina, nella fase post-operativa saranno necessari esclusivamente interventi di manutenzione ordinaria per la pulizia del fondo della vasca dal materiale solido depositatosi.

In corrispondenza degli argini perimetrali, nella fase post-operativa, verranno installati parapetti di protezione e affisse le opportune segnaletiche.

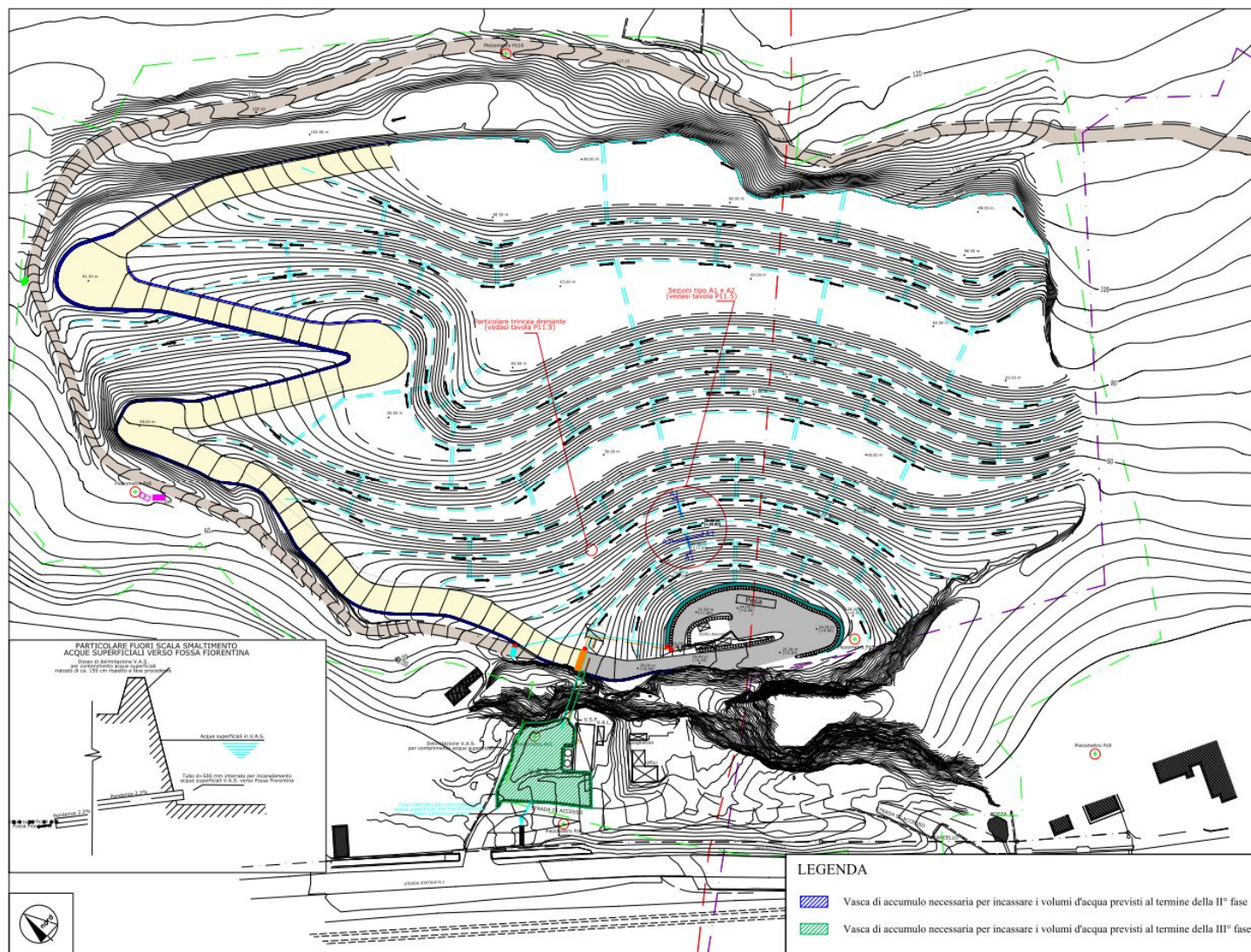


Fig. n.10.3 – Ubicazione vasca di accumulo

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
 e-mail: ca.turba1949@gmail.com

11 – CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI PRESENTI IN DISCARICA

Nell'anno 2009 è stata eseguita la "Caratterizzazione geotecnica" dei rifiuti già conferiti in discarica e delle miscele ottenute mescolando in diverse proporzioni i rifiuti che si prevedeva di conferire in discarica.

In questo paragrafo vengono riassunti, in tabelle riepilogative, i parametri geotecnici più significativi ottenuti.

All'epoca delle suddette indagini la discarica era suddivisa in 4 lotti separati, denominati "A1", "A2", "B" e "C"; all'interno del Lotto B, inoltre, erano presenti due tipologie distinte di rifiuto, i campioni analizzati sono stati prelevati all'interno delle due tipologie di rifiuto conferite nel Lotto B e all'interno di quelli presenti nel Lotto C.

Complessivamente sono stati prelevati n.19 campioni di rifiuto così distribuiti:

- Lotto "B" in cui erano presenti rifiuti misti: **Sondaggio S5, S6, e S7**, con prelievo dei campioni C1, C2, C3, C4, C5 e C6.
- Lotto "B" in cui erano presenti i rifiuti costituiti da marmettola di marmo-resine: **Sondaggio S8 e S9**, con prelievo dei campioni C7, C8, C9 e C10.
- Lotto "C" in cui erano presenti i rifiuti costituiti da marmettola di marmo e granito: **Sondaggio S10, S11, S12 e S13**, con prelievo dei campioni C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17 e C18.
- A ridosso dell'argine del Lotto "C", dove è presente marmettola stoccata in discarica da circa 3 anni, è stato prelevato il campione C19.

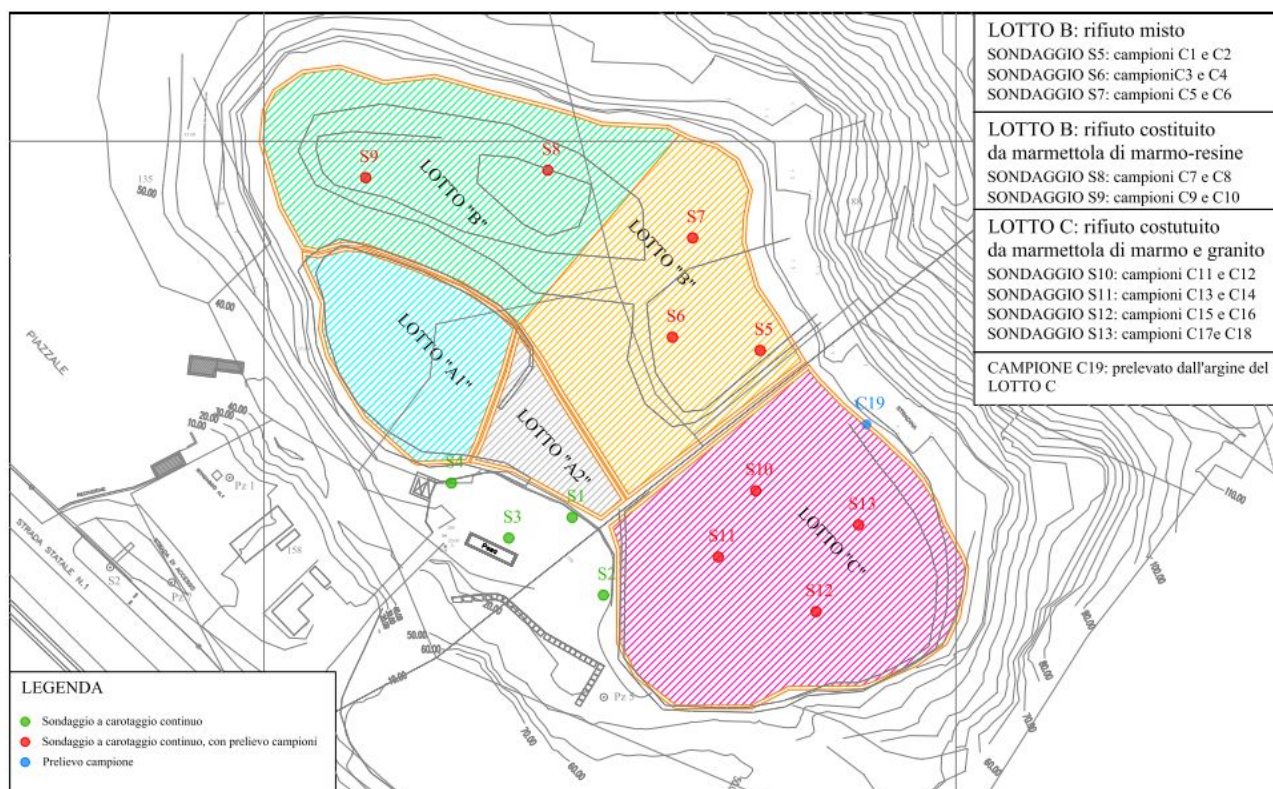


Fig. n.11.1 – Ubicazione sondaggi a carotaggio continuo

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche dei rifiuti che si prevedeva di conferire in discarica, non avendo a disposizione depositi di questo materiale, perché non ancora autorizzato, è stato approntato un campo prove all'interno di un impianto autorizzato in località Fossadello di Carso, in Provincia di Piacenza.

Su due miscele opportunamente preparate con quantità prefissate di tipologie di rifiuti, sono state eseguite due prove penetrometriche statiche e prelevati quattro campioni.

I campioni sono così classificati:

- **Miscela n.1:** sono stati prelevati due campioni denominati **M1-C1** e **M1-C2**;
- **Miscela n.2:** sono stati prelevati due campioni denominati **M2-C1** e **M2-C2**.

11.1 Campioni prelevati nel "Lotto B" all'interno di rifiuti misti

In questa tipologia di rifiuto sono stati realizzati i sondaggi denominati **S5**, **S6** e **S7**.

In ogni sondaggio sono state prelevate due fustelle per un totale di sei campioni; il prelievo dei campioni è stato spesso difficoltoso per l'elevata resistenza offerta dal rifiuto alla penetrazione della fustella Shelby.

Per questo motivo i campioni prelevati sono risultati, talvolta, di lunghezza inferiore a quella del campionatore.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella figura precedente, mentre di seguito vengono riassunte le profondità alle quali sono stati prelevati i campioni:

- **Sondaggio S5** campione **C1**: prelevato alla profondità compresa fra **3.85** e **4.0m** dal p.c.
- **Sondaggio S5** campione **C2**: prelevato alla profondità compresa fra **5.0** e **5.2m** dal p.c.
- **Sondaggio S6** campione **C3**: prelevato alla profondità compresa fra **5.0** e **5.3m** dal p.c.
- **Sondaggio S6** campione **C4**: prelevato alla profondità compresa fra **6.0** e **6.4m** dal p.c.
- **Sondaggio S7** campione **C5**: prelevato alla profondità compresa fra **3.0** e **3.3m** dal p.c.
- **Sondaggio S7** campione **C6**: prelevato alla profondità compresa fra **4.0** e **4.4m** dal p.c.

11.1.1 Analisi granulometrica

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati ottenuti per i sei campioni analizzati.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA MECCANICA

Analisi granulometrica	Diametro setaccio (mm)	Campione					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
% passante totale	25.000	100.0	100	91.2	100.0	94.3	91.9
	10.000	84.6	80.4	85.1	94.7	77.4	82.7
	5.000	73.8	66.1	82.3	91.7	69.9	77.1
	2.000	64.1	59.0	79.5	88.2	64.4	72.8
	0.420	47.3	34.7	69.1	74.9	45.7	58.5
Setaccio ASTM N.200	0.075	37.8	20.9	35.2	41.1	21.6	33.4

Tabella 11.1: Risultati analisi granulometrica per setacciatura

Nella tabella precedente sono evidenziate le percentuali di passante al setaccio ASTM n.200, con maglia da 0.075mm, che evidenziano, per tutti i campioni, la preponderanza della frazione grossolana su quella fine e molto fine.

I passanti all'ultimo setaccio sono stati analizzati per sedimentazione.

Sulla base delle percentuali di passante sopra ricordate e delle dimensioni dei granuli, ottenute tramite il processo di sedimentazione, è stato possibile eseguire una classificazione granulometrica dei campioni.

La classificazione è stata effettuata seguendo le raccomandazioni A.G.I.

Dato che la maggior parte dei campioni sono risultati prevalentemente sabbiosi, la classe delle sabbie è stata ulteriormente distinta in **sabbia grossa** (diametro dei grani compreso tra 0.5 e 2.0mm), **sabbia media** (diametro dei grani compreso tra 0.25 e 0.5mm) e **sabbia fine** (diametro dei grani compreso tra 0.06 e 0.25mm).

	Campione											
Litologia	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
% Ghiaia	35.9		41.0		20.5		11.8		35.6		27.2	
% Sabbia grossa	32.7	15.0	41.6	22.0	51.6	10.0	52.4	11.0	46.5	17.0	43.7	14.0
% Sabbia media		6.0		7.0		10.0		10.0		10.0		9.0
% Sabbia fine		11.7		12.6		31.6		31.4		19.5		20.7
% Limo	27.4		15.2		22.8		29.8		14.7		24.1	
% Argilla	4.0		2.2		5.1		6.0		3.2		5.0	

Tabella 11.2: Classi granulometriche secondo le raccomandazioni A.G.I.

L'esame delle percentuali mette in evidenza come i campioni appartengano alla classe granulometrica delle sabbie, ad eccezione del campione n.1 che presenta un maggior contenuto di elementi attribuibili alla classe delle ghiaie.

Nella frazione fine il limo è sempre predominante sulla parte argillosa, presente in percentuali piuttosto basse.

La suddivisione delle sabbie ha invece permesso di verificare che in queste prevalgono a volte quelle grossolane, più spesso quelle fini, mentre la classe media è quella meno rappresentata.

Sulla base delle percentuali granulometriche sopra riportate, seguendo la nomenclatura suggerita dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), i campioni sono così denominati.

Campione C1	"Ghiaia con sabbia e limo"
Campione C2	"Sabbia grossa con ghiaia limosa"
Campione C3	"Sabbia fine limosa e ghiaiosa debolmente argillosa"
Campione C4	"Sabbia fine con limo debolmente ghiaiosa e argillosa"
Campione C5	"Sabbia fine con ghiaia debolmente limosa"
Campione C6	"Sabbia fine con ghiaia limosa debolmente argillosa"

Tabella 11.3: Nomenclatura secondo le raccomandazioni A.G.I.

11.1.2 Analisi della frazione fine

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti analizzando la frazione fine.

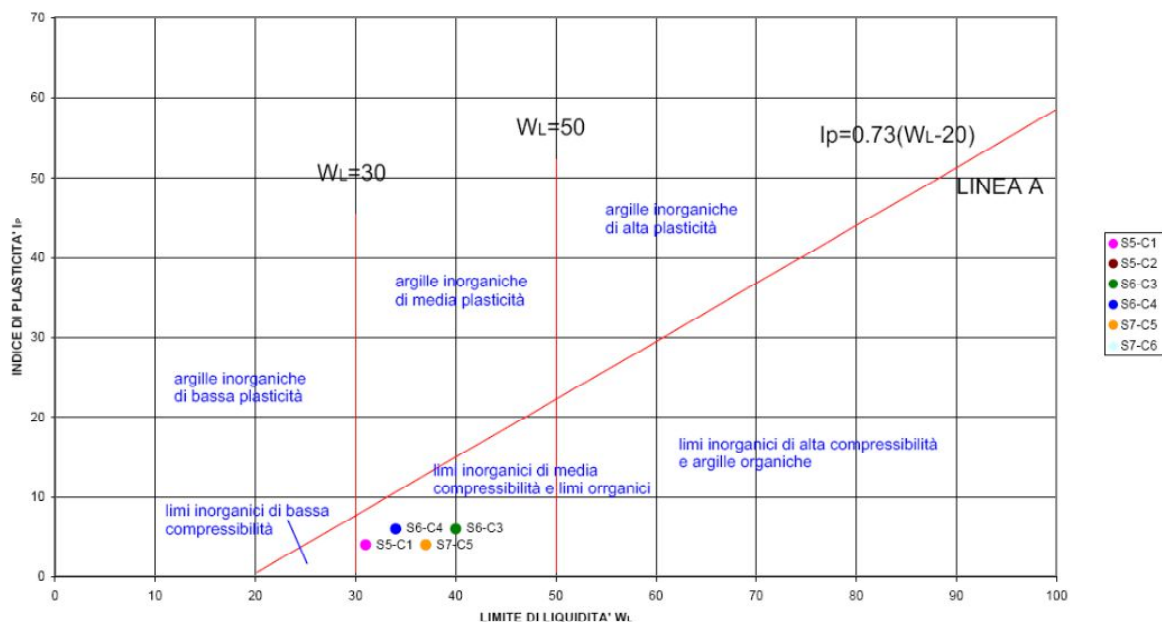
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Umidità naturale (w_n)	25.39	25.39	30.77	30.77	31.58	31.58
Limite liquido (w_l)	31	n.d.	40	34	37	n.d.
Limite plastico (w_p)	27	n.d.	34	28	33	n.d.
Indice di plasticità (IP)	4	n.d.	6	6	4	n.d.
Indice di consistenza (IC)	1.4	n.d.	1.54	0.54	1.35	n.d.
Classificazione in base a IP	Non plastico	n.d.	Poco plastico	Poco plastico	Non plastico	n.d.
Classificazione in base a IC	Semisolido	n.d.	Semisolido	Plastico	Semisolido	n.d.

Tabella 11.4: Tabella riassuntiva limiti di Atterberg

Dalla tabella si nota come i rifiuti presenti in questa parte del lotto B siano costituiti da materiali prevalentemente granulari, caratterizzati da un comportamento variabile da poco plastico a non plastico.

11.1.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande

I campioni per i quali è stato possibile determinare i Limiti di Atterberg ricadono, nella Carta di plasticità di Casagrande, all'interno del campo dei **"Limi inorganici di media compressibilità"**.



11.1.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti utilizzando la classificazione CNR-UNI 10006.

Campioni	Indice di gruppo I.G.	Gruppo	Classificazione in base a I.G.	Tipo di terreno
C1	1	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C2	0	A1-b	Terreno buono	Sabbia grossa
C3	0	A4	Terreno buono	Limo poco compressibile
C4	1	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C5	0	A1-b	Terreno buono	Sabbia grossa
C6	0	A2-4	Terreno buono	Sabbia con ghiaia limosa

Tabella 11.5: Tabella riassuntiva classificazione CNR-UNI 10006

Questa classificazione mette in risalto la natura prevalentemente granulare e la buona qualità complessiva, dal punto di vista geotecnico, dei rifiuti stoccati in questa parte del Lotto B.

In particolare il basso valore dell'indice di gruppo indica che questi materiali hanno un buon comportamento statico e, quindi, anche una buona portanza.

11.1.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche

Come visto in precedenza nel rifiuto stoccato all'interno di questa parte del Lotto B sono stati prelevati n.6 campioni.

Data la natura prevalentemente granulare del rifiuto ed il suo elevato grado di compattezza, i campioni recuperati con le fustelle sono risultati di lunghezza generalmente inferiore a 60cm.

Per ogni sondaggio è stato possibile ricostruire un solo provino ottenuto miscelando la frazione fine di ciascun campione, le prove edometriche sono state, quindi, solamente tre.

Ogni provino da sottoporre alla prova è stato ottenuto "miscelando" la frazione passante al setaccio di apertura 5mm di ciascun campione, ricompattata alle condizioni di massa volumica e contenuto d'acqua naturali medi.

Di seguito sono riassunti, in un'unica tabella, i risultati medi ottenuti per questa tipologia di rifiuto dalle tre prove edometriche eseguite,

Nella tabella riassuntiva sono riportati solamente i dati relativi agli incrementi di carico e modificate alcune unità di misura per renderle più facilmente correlabili ai parametri generalmente utilizzati in geotecnica.

Incrementi di carico	Variazioni di altezza	Deformazione percentuale	Indice dei vuoti	Indice di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione secondaria
σ'_v	δH	ϵ	e	a_v	M	C_v	K	C_α
(Kg/cm ²)	(mm)	(%)		(Kg/cm ²) ⁻¹	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)	(%)
0.254	0.0577	0.2883	0.9250					
0.509	0.0840	0.4200	0.9227	1.0140×10^{-4}	307.8	1.44×10^{-3}	1.41×10^{-10}	0.080
1.019	0.1627	0.8133	0.9150	1.5064×10^{-4}	154.2	5.84×10^{-3}	4.75×10^{-10}	0.0197
2.039	0.3107	1.5533	0.9007	1.4059×10^{-4}	150.5	3.02×10^{-3}	2.49×10^{-10}	0.0403
4.079	0.4910	2.4550	0.8833	8.4807×10^{-5}	239.3	2.74×10^{-3}	1.38×10^{-10}	0.0543
8.157	0.7650	3.8250	0.8567	6.4060×10^{-5}	357.1	2.39×10^{-3}	7.70×10^{-11}	0.0703
16.315	1.2313	6.1567	0.8107	5.3270×10^{-5}	392.0	1.88×10^{-3}	1.88×10^{-10}	0.1780
32.630	1.9637	9.8183	0.7383	4.0363×10^{-5}	506.5	6.01×10^{-3}	2.06×10^{-10}	0.2687

Tabella 11.6: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove edometriche

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Le prove mostrano un modulo edometrico elevato ed un coefficiente di consolidazione alto, che consente un andamento delle sovrappressioni abbastanza rapido nel tempo.

11.1.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio

Anche in questo caso, per ogni sondaggio, sono state miscelate le frazioni fini di ciascun campione e, quindi, eseguita un'unica prova di taglio.

Data la presenza di elementi grossolani i provini sono stati ricavati sulla frazione passante al setaccio di apertura 5mm mediante costipamento manuale; di seguito sono riassunti, in un'unica tabella, i risultati ottenuti dalle tre prove di taglio eseguite.

Campioni	Angolo di attrito interno efficace	Coesione efficace
	(ϕ')	(c')
Sondaggio S5 miscela campioni C1-C2	40°	0.483 kg/cm ²
Sondaggio S6 miscela campioni C3-C4	38°	0.223 kg/cm ²
Sondaggio S7 miscela campioni C5-C6	37°	0.340 kg/cm ²

Tabella 11.7: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di taglio diretto consolidate drenate (CD).

I risultati delle prove mostrano angoli di attrito interno piuttosto elevati e valori medi della coesione.

11.2 Campioni prelevati nel "Lotto B" all'interno del rifiuto costituito da marmettola di "marmo-resine"

In questa tipologia di rifiuto sono stati realizzati i sondaggi denominati **S8** e **S9**.

In ogni sondaggio sono state prelevate due fustelle, per un totale di quattro campioni; il prelievo dei campioni è stato spesso difficoltoso per l'elevata resistenza offerta dal rifiuto alla penetrazione della fustella Shelby.

Per questo motivo i campioni prelevati sono risultati, talvolta, di lunghezza inferiore a quella del campionatore.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella tavola di Fig.11.1, mentre di seguito sono riassunte le profondità alle quali sono stati prelevati i campioni:

- **Sondaggio S8** campione **C7**: prelevato alla profondità compresa fra **3.0** e **3.5m** dal p.c.
- **Sondaggio S8** campione **C8**: prelevato alla profondità compresa fra **4.7** e **5.2m** dal p.c.
- **Sondaggio S9** campione **C9**: prelevato alla profondità compresa fra **4.6** e **5.1m** dal p.c.
- **Sondaggio S9** campione **C10**: prelevato alla profondità compresa fra **6.0** e **6.5m** dal p.c.

11.2.1 Analisi granulometrica

Di seguito, nelle tabelle, sono riassunti i risultati ottenuti per i quattro campioni analizzati.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA MECCANICA

Analisi granulometrica	Diametro setaccio (mm)	C7	C8	C9	C10
% passante totale	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0
	10.000	100.0	100.0	100.0	100.0
	5.000	100.0	100.0	100.0	100.0
	2.000	96.4	97.1	95.9	99.5
	0.420	86.3	83.5	88.3	99.0
Setaccio ASTM N.200	0.075	64.5	61.7	78.0	96.3

Tabella 11.8: Risultati analisi granulometrica per setacciatura

Per questi campioni le percentuali di passante al setaccio ASTM n.200, con maglia da 0.075mm, hanno evidenziato la netta prevalenza della frazione fine su quella grossolana.

Sulla base delle percentuali di passante sopra ricordate e delle dimensioni dei granuli, ottenute tramite il processo di sedimentazione, è stato possibile eseguire una classificazione granulometrica dei campioni, seguendo le raccomandazioni A.G.I.

	Campione			
Litologia	C7	C8	C9	C10
% Ghiaia	2.9	3.6	4.1	0.5
% Sabbia	42.1	37.7	21.5	7.7
% Limo	47.0	47.8	59.6	73.5
% Argilla	8.0	10.9	14.8	18.3

Tabella 11.9: Classi granulometriche secondo le raccomandazioni A.G.I.

Nella tabella in grassetto viene evidenziata la granulometria preponderante.

L'esame delle percentuali mette in evidenza come i campioni appartengano alla classe granulometrica dei **limi**, seguiti in subordine dalle sabbie, con basse percentuali di argilla.

Sulla base delle percentuali granulometriche sopra riportate i campioni sono così denominati.

Campione C7	"Limo con sabbia debolmente argilloso"
Campione C8	"Limo con sabbia debolmente argilloso"
Campione C9	"Limo sabbioso debolmente argilloso"
Campione C10	"Limo argilloso debolmente sabbioso"

Tabella 11.10: Nomenclatura secondo le raccomandazioni A.G.I.

11.2.2 Analisi della frazione fine

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti analizzando la frazione fine.

	C7	C8	C9	C10
Umidità naturale (w_n)	23.4	26.8	23.5	21.2
Limite liquido (w_l)	30	29	30	28
Limite plastico (w_p)	25	23	24	24
Indice di plasticità (IP)	5	6	6	4
Indice di consistenza (IC)	1.32	0.37	1.08	1.70
Indice di attività (I_a)	0.62	0.55	0.40	0.21
Classificazione in base a IP	Poco plastico	Poco plastico	Poco plastico	Non plastico
Classificazione in base a IC	Semisolido	Molle plastico	Semisolido	Semisolido
Classificazione in base a I_a	Inattivo	Inattivo	Inattivo	Inattivo

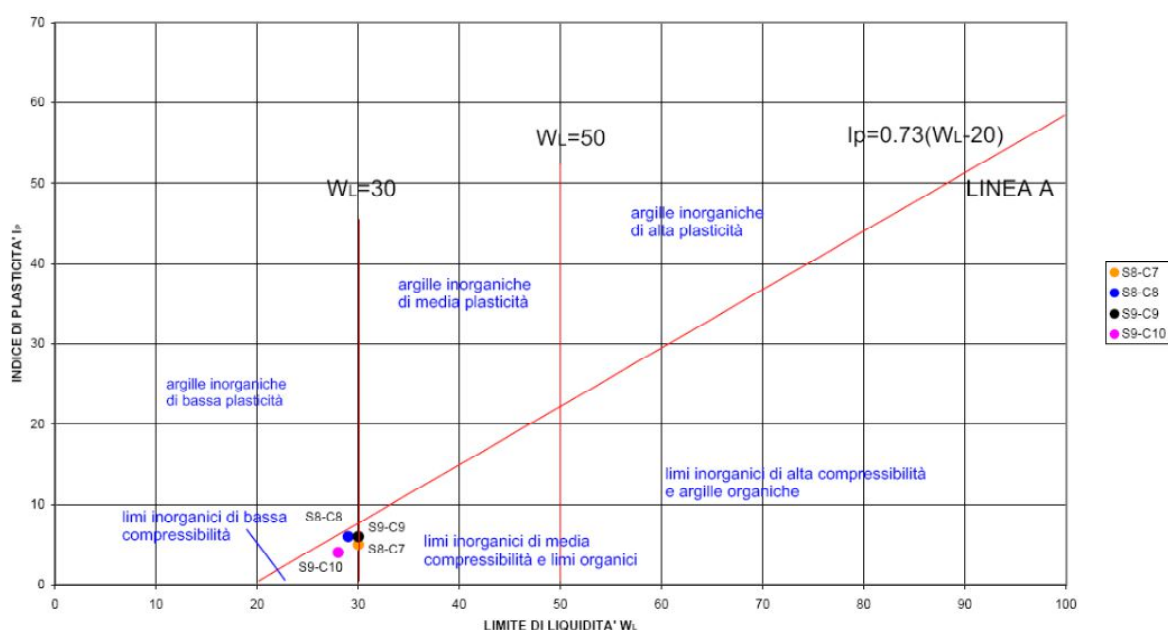
Tabella 11.11: Tabella riassuntiva limiti di Atterberg

Dalla tabella si nota come i rifiuti di questa zona del lotto B, pur essendo costituiti prevalentemente da **limo**, presentano comunque un comportamento variabile da "poco plastico" a "non plastico".

Per quanto riguarda l'indice di consistenza il campione C8 presenta un comportamento "molle-plastico", non riferibile alle caratteristiche geotecniche intrinseche del materiale, ma ad un maggiore contenuto di acqua interstiziale.

11.2.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande

Tutti i campioni prelevati nella marmettola, costituita da "marmo-resine", ricadono nella Carta di plasticità di Casagrande all'interno del campo dei **"Limi inorganici di bassa compressibilità"**.



11.2.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti utilizzando la classificazione CNR-UNI 10006.

Campioni	Indice di gruppo I.G.	Gruppo	Classificazione in base a I.G.	Tipo di terreno
C7	6	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C8	5	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C9	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C10	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile

Tabella 11.12: Tabella riassuntiva classificazione CNR-UNI 10006

Questa classificazione mette in risalto che la marmettola, pur essendo costituita prevalentemente da **limo**, presenta un basso valore dell'indice di gruppo e, quindi, una discreta portanza.

11.2.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche

Su ognuno dei 4 campioni prelevati è stata eseguita una prova edometrica.

Per ottenere un valore caratteristico dei parametri geotecnici di questo rifiuto è stata eseguita una media dei valori.

Nella tabella riassuntiva sono riportati solamente i dati relativi agli incrementi di carico e modificate alcune unità di misura per renderle più facilmente correlabili ai parametri generalmente utilizzati in geotecnica.

Incrementi di carico	Variazioni di altezza	Deformazione percentuale	Indice dei vuoti	Indice di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione primaria	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione secondaria
σ'_v	δH	ε	e	a_v	M	C_v	K	C_α
(Kg/cm ²)	(mm)	(%)		(Kg/cm ²) ⁻¹	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)	(%)
0.254	0.2085	1.0425	0.7683					
0.509	0.3325	1.6625	0.7573	4.368×10^{-4}	43.21	3.14×10^{-3}	3.37×10^{-10}	0.0735
1.019	0.5200	2.6000	0.6950	3.267×10^{-4}	57.88	1.04×10^{-3}	1.85×10^{-10}	0.1047
2.039	0.7663	3.8313	0.7188	2.118×10^{-4}	83.97	1.47×10^{-3}	1.76×10^{-10}	0.1600
4.079	1.0513	5.2563	0.6930	1.207×10^{-4}	144.29	1.81×10^{-3}	2.63×10^{-10}	0.3592
8.157	1.4245	7.1225	0.6569	7.746×10^{-5}	219.56	1.38×10^{-3}	6.38×10^{-11}	0.2610
16.315	1.8453	9.2263	0.6223	4.266×10^{-5}	388.76	1.36×10^{-3}	3.49×10^{-10}	0.3182
32.630	2.3218	11.6088	0.5795	2.353×10^{-5}	690.40	1.27×10^{-3}	1.85×10^{-10}	0.3467

Tabella 11.13: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove edometriche

Le prove mostrano un modulo edometrico che tende a migliorare all'aumentare delle tensioni applicate.

Il coefficiente di consolidazione, piuttosto alto, consente la dissipazione delle sovrappressioni in un tempo abbastanza rapido.

11.2.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio

Di seguito sono riassunti, in un'unica tabella, i risultati ottenuti dalle quattro prove di taglio e-seguite.

Campioni	Angolo di attrito interno efficace	Coesione efficace
	(ϕ')	(c')
Sondaggio S8 campione C7	24°	0.295
Sondaggio S8 campione C8	25°	0.235
Sondaggio S8 campione C9	28°	0.260
Sondaggio S8 campione C10	29°	0.230

Tabella 11.14: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di taglio diretto consolidate drenate (CD).

Le prove hanno fornito valori di angolo di attrito e coesione più bassi rispetto a quelli dei rifiuti misti presenti nel lotto "B".

11.3 Campioni prelevati nel "Lotto C" all'interno del rifiuto costituito da marmettola di marmo e granito

In questa tipologia di rifiuto sono stati realizzati i sondaggi denominati **S10**, **S11**, **S12** e **S13**, in ogni sondaggio sono state prelevate due fustelle per un totale di otto campioni.

Il prelievo di questi campioni è stato spesso difficoltoso per l'elevata resistenza offerta dal rifiuto alla penetrazione della fustella Shelby.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella tavola di Fig.11.1, mentre di seguito sono riassunte le profondità alle quali sono stati prelevati i campioni:

- **Sondaggio S10** campione **C11**: prelevato alla profondità compresa fra **3.3** e **3.9m** dal p.c.
- **Sondaggio S10** campione **C12**: prelevato alla profondità compresa fra **8.0** e **8.6m** dal p.c.
- **Sondaggio S11** campione **C13**: prelevato alla profondità compresa fra **2.1** e **2.7m** dal p.c.
- **Sondaggio S11** campione **C14**: prelevato alla profondità compresa fra **4.0** e **4.4m** dal p.c.
- **Sondaggio S12** campione **C15**: prelevato alla profondità compresa fra **3.4** e **4.0m** dal p.c.
- **Sondaggio S12** campione **C16**: prelevato alla profondità compresa fra **6.4** e **7.0m** dal p.c.
- **Sondaggio S13** campione **C17**: prelevato alla profondità compresa fra **2.7** e **3.3m** dal p.c.
- **Sondaggio S13** campione **C18**: prelevato alla profondità compresa fra **7.0** e **7.6m** dal p.c.

11.3.1 Analisi granulometrica

Nelle tabelle sono riportati i risultati ottenuti per gli otto campioni analizzati.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA MECCANICA

Analisi granulometrica	Diametro setaccio (mm)	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
% passante totale	25.000	100.0	100.0	94.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	10.000	100.0	97.9	93.8	98.8	100.0	100.0	100.0	98.9
	5.000	100.0	95.7	92.7	97.0	100.0	100.0	97.3	98.2
	2.000	99.7	94.1	91.5	95.8	100.0	98.9	94.4	95.3
	0.420	99.0	89.8	88.3	93.4	99.1	94.8	87.1	86.4
Setaccio ASTM N.200	0.075	95.8	78.0	82.1	72.2	90.0	86.3	75.9	69.7

Tabella 11.15: Risultati analisi granulometrica per setacciatura

Per questi campioni le percentuali di passante al setaccio ASTM n.200, con maglia da 0.075mm, hanno evidenziato, la netta prevalenza della frazione fine su quella grossolana.

Sulla base delle percentuali di passante e delle dimensioni dei granuli, ottenute tramite il processo di sedimentazione, è stato possibile eseguire una classificazione granulometrica dei campioni.

Di seguito si riporta la classificazione eseguita secondo le raccomandazioni A.G.I.

	Campione							
Litologia	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
% Ghiaia	0.3	5.9	8.5	4.2	0.0	1.1	5.6	4.7
% Sabbia	6.4	21.3	13.2	31.2	15.9	16.5	23.4	33.0
% Limo	75.1	61.1	62.7	54.0	70.9	66.3	56.8	54.9
% Argilla	18.2	11.7	15.6	10.6	13.2	16.1	14.2	7.4

Tabella 11.16: Classi granulometriche secondo le raccomandazioni A.G.I.

Nella tabella in grassetto viene evidenziata la granulometria preponderante; l'esame delle percentuali di ogni classe mette in evidenza come i campioni appartengano alla classe granulometrica dei **limi**.

Sulla base delle percentuali granulometriche sopra riportate i campioni sono così denominati.

Campione C11	"Limo argilloso debolmente sabbioso"
Campione C12	"Limo sabbioso debolmente argilloso e ghiaioso"
Campione C13	"Limo argilloso debolmente sabbioso e ghiaioso"
Campione C14	"Limo con sabbia fine debolmente argilloso"
Campione C15	"Limo sabbioso debolmente argilloso"
Campione C16	"Limo sabbioso e argilloso"
Campione C17	"Limo sabbioso debolmente argilloso e ghiaioso"
Campione C18	"Limo con sabbia fine debolmente argilloso"

Tabella 11.17: Nomenclatura secondo le raccomandazioni A.G.I.

11.3.2 Analisi della frazione fine

Di seguito sono riassunti, in due tabelle distinte, i risultati ottenuti analizzando la frazione fine.

	C11	C12	C13	C14
Umidità naturale (w_n)	30.5	26.2	26.5	21.1
Limite liquido (w_l)	27	29	29	23
Limite plastico (w_p)	23	24	25	20
Indice di plasticità (IP)	4	5	4	3
Indice di consistenza (IC)	<0	0.56	0.62	0.63
Indice di attività (I_a)	0.22	0.43	0.26	0.28
Classificazione in base a IP	Non plastico	Poco plastico	Non plastico	Non plastico
Classificazione in base a IC	Fluidico	Plastico	Plastico	Plastico
Classificazione in base a I_a	Inattivo	Inattivo	Inattivo	Inattivo

Tabella 11.18: Tabella riassuntiva limiti di Atterberg dei primi quattro campioni

	C15	C16	C17	C18
Umidità naturale (w_n)	25.2	27.5	26.4	26.9
Limite liquido (w_l)	26	27.0	29	25
Limite plastico (w_p)	21	23.0	24	23
Indice di plasticità (IP)	5	4	5	2
Indice di consistenza (IC)	0.16	<0	0.52	<0
Indice di attività (I_a)	0.38	0.25	0.35	0.27
Classificazione in base a IP	Poco plastico	Non plastico	Non plastico	Non plastico
Classificazione in base a IC	Fluidico-plastico	Fluidico	Plastico	Fluidico
Classificazione in base a I_a	Inattivo	Inattivo	Inattivo	Inattivo

Tabella 11.19: Tabella riassuntiva limiti di Atterberg degli ultimi quattro campioni

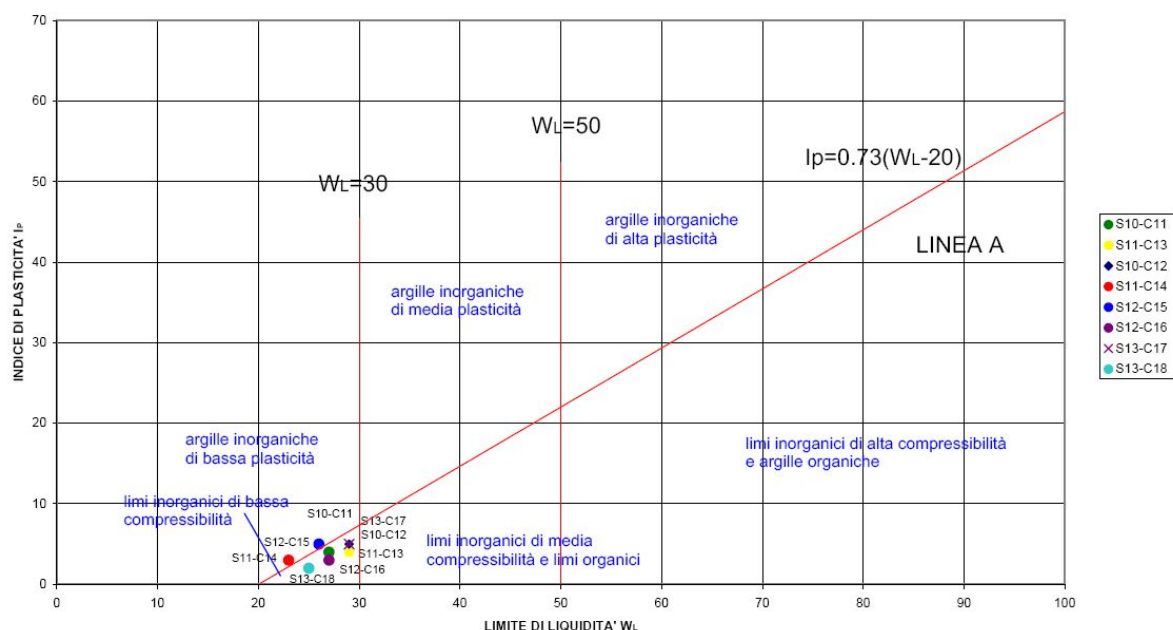
Dalla tabella si nota come la marmettola conferita nel "Lotto C" presenta complessivamente caratteristiche granulometriche leggermente più scadenti rispetto ai terreni presenti nel lotto B.

In particolare, in base all'indice di plasticità, tutti i campioni possono essere definiti come "non plastici" o "poco plastici".

Per quanto riguarda l'indice di consistenza, definito come il grado di compattezza raggiunto dal terreno in rapporto al suo contenuto d'acqua allo stato naturale e non riferibile alle caratteristiche geotecniche intrinseche del materiale, alcuni campioni sono stati classificati come "fluidici", in quanto non hanno ancora avuto il tempo di perdere il proprio contenuto d'acqua interstiziale.

11.3.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande

Tutti i campioni prelevati nella marmettola, costituita da "marmo-resine", ricadono nella Carta di plasticità di Casagrande all'interno del campo dei **"Limi inorganici di bassa compressibilità"**.



11.4.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti utilizzando la classificazione CNR-UNI 10006.

Campioni	Indice di gruppo I.G.	Gruppo	Classificazione in base a I.G.	Tipo di terreno
C11	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C12	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C13	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C14	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C15	7	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C16	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C17	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
C18	8	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile

Tabella 11.20: Tabella riassuntiva classificazione CNR-UNI 10006

Anche questa classificazione evidenzia che la marmettola, pur essendo costituita prevalentemente da **limo**, presenta un basso valore dell'indice di gruppo e, quindi, una discreta portanza.

11.4.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche

Su ognuno degli 8 campioni prelevati nel rifiuto del "Lotto C", costituito da marmettola di marmo e granito, è stata eseguita una prova edometrica.

Per ottenere un valore caratteristico dei parametri geotecnici di questo rifiuto è stata eseguita una media dei valori.

Nella tabella riassuntiva sono riportati solamente i dati relativi agli incrementi di carico e modificate alcune unità di misura per renderle di facile lettura e correlabili ai parametri generalmente utilizzati in geotecnica.

Incrementi di carico	Variazioni di altezza	Deformazione percentuale	Indice dei vuoti	Indice di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione secondaria
σ'_v	δH	ε	e	a_v	M	C_v	K	C_α
(Kg/cm ²)	(mm)	(%)		(Kg/cm ²) ⁻¹	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)	(%)
0.254	0.175	0.874	0.820					
0.509	0.330	1.649	0.803	5.5951×10^{-4}	35.9	3.33×10^{-3}	5.06×10^{-10}	0.0976
1.019	0.568	2.839	0.781	4.2451×10^{-4}	45.4	4.51×10^{-3}	1.95×10^{-10}	0.1300
2.039	0.878	4.391	0.753	2.7301×10^{-4}	68.0	5.37×10^{-3}	1.25×10^{-10}	0.1677
4.079	1.273	6.364	0.716	1.7011×10^{-4}	105.7	7.12×10^{-3}	1.00×10^{-10}	0.2078
8.157	1.732	8.658	0.674	1.9218×10^{-4}	181.3	4.99×10^{-3}	4.99×10^{-11}	0.2408
16.315	2.271	11.356	0.625	5.5020×10^{-5}	306.6	3.92×10^{-3}	2.19×10^{-11}	0.2423
32.630	2.896	14.482	0.567	3.0710×10^{-5}	527.7	5.63×10^{-3}	1.45×10^{-11}	0.3480

Tabella 11.21: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove udometriche

Le prove hanno fornito un valore del modulo edometrico che tende a migliorare all'aumentare delle tensioni applicate.

Il coefficiente di consolidazione primaria è invece tale da consentire un rapido dissipamento delle sovrappressioni interstiziali.

11.4.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio

Di seguito sono riassunti, in un'unica tabella, i risultati ottenuti dalle tre prove di taglio eseguite.

Campioni	Angolo di attrito interno efficace	Coesione efficace
	(ϕ')	(c')
Sondaggio S10 campione C11	30°	0.305 kg/cm ²
Sondaggio S10 campione C12	31°	0.190 kg/cm ²
Sondaggio S11 campione C13	27°	0.220 kg/cm ²
Sondaggio S11 campione C14	24°	0.255 kg/cm ²
Sondaggio S12 campione C15	26°	0.325 kg/cm ²
Sondaggio S12 campione C16	23°	0.130 kg/cm ²
Sondaggio S13 campione C17	25°	0.195 kg/cm ²
Sondaggio S13 campione C18	24°	0.080kg/cm ²

Tabella 11.21: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di taglio diretto consolidate drenate (CD).

Le prove hanno fornito valori di angolo di attrito e coesione più bassi rispetto a quelli presenti nel lotto "B".

11.5 Campione prelevato sull'argine del "Lotto C" costituito da marmettola conferita in discarica da diversi anni

Per valutare le caratteristiche granulometriche e geotecniche della marmettola conferita in discarica da diversi anni, è stato prelevato un campione di terreno (**C19**) anche nell'argine del Lotto C, da **0.0 a 0.4m** di profondità.

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Il prelievo è stato eseguito con l'ausilio di una benna meccanica, che ha consentito di infiggere la fustella nell'argine, partendo dalla sua sommità.

L'ubicazione della zona di prelievo del campione è sempre riportata nella tavola di Fig.11.1.

11.5.1 Analisi granulometrica

Di seguito, nelle tabelle, sono riportati i risultati ottenuti per il campione analizzato.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA MECCANICA

Analisi granulometrica	Diametro setaccio (mm)	C19
% passante totale	25.000	100.0
	10.000	100.0
	5.000	100.0
	2.000	97.9
	0.420	82.4
Setaccio ASTM N.200	0.075	60.5

Tabella 11.22: Risultati analisi granulometrica per setacciatura

Anche per questo campione le percentuali di passante al setaccio ASTM n.200, con maglia da 0.075mm, hanno evidenziato la netta prevalenza della frazione fine su quella grossolana.

Sulla base delle percentuali di passante e delle dimensioni dei granuli, ottenute tramite il processo di sedimentazione, è stato possibile eseguire una classificazione granulometrica del campione.

Di seguito si riporta la classificazione effettuata secondo le raccomandazioni A.G.I.

Litologia	C19
% Ghiaia	2.1
% Sabbia	43.8
% Limo	46.4
% Argilla	7.7

Tabella 11.23: Classi granulometriche secondo le raccomandazioni A.G.I.

Sulla base della nomenclatura proposta dall'AGI il campione può essere denominato come **"Limo con sabbia debolmente argilloso"**.

11.5.2 Analisi della frazione fine

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti analizzando la frazione fine.

	C19
Umidità naturale (w_n)	19.01
Limite liquido (w_l)	28
Limite plastico (w_p)	22
Indice di plasticità (IP)	6
Indice di consistenza (IC)	1.498
Indice di attività (I_a)	0.78
Classificazione in base a IP	Poco plastico

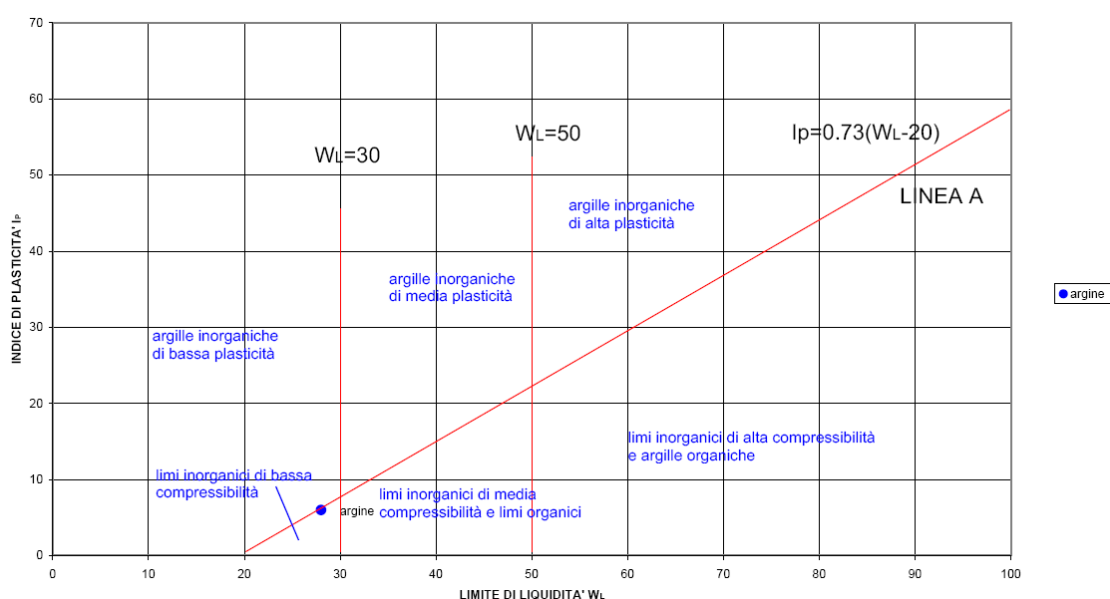
Classificazione in base a IC	Semisolido
Classificazione in base a I_a	Normale

Tabella 11.24: Tabella riassuntiva limiti di Atterberg

Le analisi eseguite su questo campione hanno evidenziato che, con il tempo, la consistenza del rifiuto costituito da marmettola, aumenta notevolmente, raggiungendo un comportamento simile a quello di un materiale pressoché litificato.

11.5.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande

Il campione prelevato sull'argine del Lotto C ricade, nella Carta di plasticità di Casagrande, all'interno del campo dei "**Limi inorganici di bassa compressibilità**".



11.5.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti utilizzando la classificazione CNR-UNI 10006.

Campione	Indice di gruppo I.G.	Gruppo	Classificazione in base a I.G.	Tipo di terreno
C19	5	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile

Tabella 11.25: Tabella riassuntiva classificazione CNR-UNI 10006

Anche questa classificazione evidenzia che la marmettola campionata sull'argine, pur essendo costituita prevalentemente da **limo**, presenta un basso valore dell'indice di gruppo e, quindi, una discreta portanza.

11.5.5 Risultati ottenuti dalla prova edometrica

Nella tabella riassuntiva di seguito riportata sono elencati solamente i dati relativi agli incrementi di carico e modificate alcune unità di misura per renderle più facilmente correlabili ai parametri generalmente utilizzati in geotecnica.

Incrementi di carico	Variazioni di altezza	Deformazione percentuale	Indice dei vuoti	Indice di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione primaria	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione secondaria
σ'_v	δH	ε	e	a_v	M	C_v	K	C_α
(Kg/cm ²)	(mm)	(%)		(Kg/cm ²) ⁻¹	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)	(%)
0.254	0.212	1.060	0.657					
0.509	0.322	1.610	0.648	3.625×10^{-4}	46.3			
1.019	0.436	2.180	0.638	1.868×10^{-4}	89.4	1.65×10^{-2}	1.85×10^{-9}	0.047
2.039	0.581	2.905	0.626	1.179×10^{-4}	140.6	1.41×10^{-2}	1.00×10^{-9}	0.093
4.079	0.752	3.760	0.612	6.890×10^{-5}	238.5	2.11×10^{-2}	8.85×10^{-10}	0.116
8.157	1.008	5.040	0.590	5.089×10^{-5}	318.7	1.61×10^{-2}	5.05×10^{-10}	0.160
16.315	1.347	6.735	0.562	3.309×10^{-5}	481.3	1.09×10^{-2}	2.27×10^{-10}	0.202
32.630	1.848	9.240	0.520	2.380×10^{-5}	651.3	1.45×10^{-2}	2.23×10^{-10}	0.335

Tabella 11.26: Tabella riassuntiva dei risultati della prova edometrica

La prova ha fornito un valore di modulo edometrico che tende a migliorare all'aumentare delle tensioni applicate, evidenziando un comportamento simile a quello della marmettola presente in discarica da poco tempo.

Il coefficiente di consolidazione primaria è piuttosto alto e consente una rapida evoluzione del cedimento nel tempo.

11.5.6 Risultati ottenuti dalla prova di taglio

Sul campione prelevato sull'argine del Lotto C è stata eseguita la prova di taglio i cui risultati sono di seguito riportati:

Campione	Angolo di attrito interno efficace	Coesione efficace
	(ϕ')	(c')
Prelievo sull'argine campione C19	33°	0.305 kg/cm ²

Tabella 11.27: Tabella riassuntiva del risultato della prova di taglio diretto consolidata drenata (CD).

La prova ha mostrato valori dell'angolo di attrito intermedi fra quelli del rifiuto misto presente nel Lotto B e quelli della marmettola conferita nel Lotto C.

11.6 Campioni prelevati all'interno delle miscele predisposte nell'impianto autorizzato di Fossadello di Caorso

Nell'impianto "Furia" di Fossadello di Caorso, sono state preparate due ipotetiche miscele di rifiuto, utilizzando le tipologie di terreni che si prevedeva di conferire in discarica.

All'interno di ogni miscela sono stati prelevati, con il penetrometro utilizzato per effettuare le prove statiche, due campioni su ciascuna miscela.

I campioni sono stati prelevati infiggendo una fustella tipo "Shelby", a partire dalla sommità del cumulo, utilizzando la spinta del penetrometro.

- **Miscela n.1** campione **C1**: prelevato alla profondità compresa fra **0.0** e **0.6** dal p.c.
- **Miscela n.1** campione **C2** prelevato alla profondità compresa fra **0.0** e **0.6** dal p.c.
- **Miscela n.2** campione **C1**: prelevato alla profondità compresa fra **0.0** e **0.6** dal p.c.
- **Miscela n.2** campione **C2** prelevato alla profondità compresa fra **0.0** e **0.6** dal p.c.

11.6.1 Analisi granulometrica

Nelle successive tabelle sono riassunti i risultati ottenuti per i quattro campioni analizzati.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA MECCANICA

Analisi granulometrica	Diametro setaccio (mm)	M1 C1	M1 C2	M2 C1	M2 C1
% passante totale	25.000	100.0	100.0	100.0	84.2
	10.000	95.3	93.8	90.2	77.7
	5.000	91.0	91.4	87.3	74.4
	2.000	87.5	89.0	84.4	71.7
	0.420	80.7	83.6	77.5	64.6
Setaccio ASTM N.200	0.075	57.3	59.5	45.4	44.8

Tabella 11.28: Risultati analisi granulometrica per setacciatura

Per i campioni prelevati nella miscela n.1 le percentuali di passante al setaccio ASTM n.200, con maglia da 0.075mm, hanno evidenziato la prevalenza della frazione fine su quella grossolana.

Per i campioni prelevati nella miscela n.2, invece, si è riscontrata la prevalenza della frazione grossolana su quella fine.

Sulla base delle percentuali di passante sopra ricordate e delle dimensioni dei granuli, ottenute tramite il processo di sedimentazione, è stato possibile eseguire una classificazione granulometrica dei campioni.

Data la presenza di un'elevata percentuale di sabbia, questa classe è stata ulteriormente distinta in **sabbia grossa** (diametro dei grani compreso tra 0.5 e 2.0mm), **sabbia media** (diametro dei grani compreso tra 0.25 e 2.0mm) e **sabbia fine** (diametro dei grani compreso tra 0.06 e 0.25mm).

Litologia	M1 C1		M1 C2		M2 C1		M2 C3	
% Ghiaia	12.5		11.0		15.6		28.3	
% Sabbia grossa	31.9	8.5	33.6	6.0	47.6	6.4	33.6	7.0
% Sabbia media		5.0		5.0		10.0		6.0
% Sabbia fine		18.4		22.6		31.2		20.6
% Limo	45.9		45.3		30.0		31.4	
% Argilla	9.7		10.1		6.8		6.7	

Tabella 11.29: Classi granulometriche secondo le raccomandazioni A.G.I.

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail: geognostica.apuana@gmail.com

Nella tabella in grassetto viene evidenziata la granulometria preponderante.

L'esame delle percentuali mette in evidenza come la prima miscela sia costituita da terreni appartenenti principalmente alla classe granulometrica dei **limi**, mentre nella seconda siano prevalenti le **sabbie**.

Sulla base delle percentuali granulometriche sopra riportate i campioni sono così denominati.

Campione M1 C1	"Limo con sabbia fine debolmente ghiaioso e argilloso"
Campione M1 C2	"Limo con sabbia fine debolmente ghiaioso e argilloso"
Campione M2 C1	"Sabbia fine con limo debolmente ghiaiosa e argillosa"
Campione M2 C2	"Sabbia fine con limo debolmente ghiaiosa e argillosa"

Tabella 11.30: Nomenclatura secondo le raccomandazioni A.G.I.

11.6.2 Analisi della frazione fine

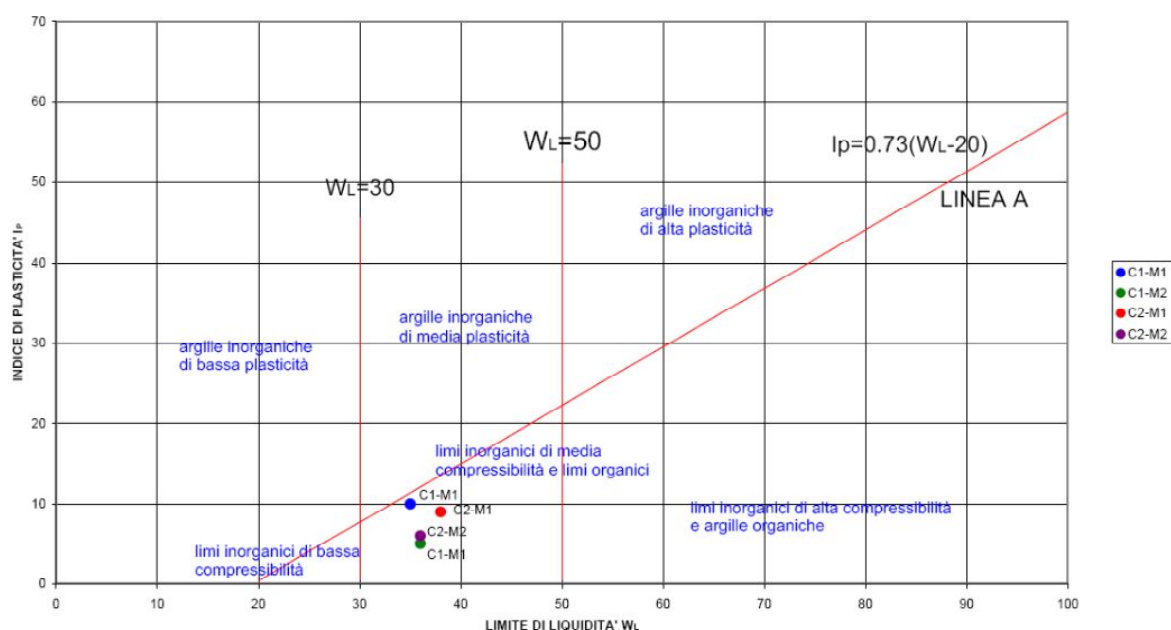
Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti analizzando la frazione fine.

	M1 C1	M1 C2	M2 C1	M2 C2
Umidità naturale (w_n)	28.3	27.0	26.8	26.7
Limite liquido (w_l)	35	38	36	36
Limite plastico (w_p)	25	29	31	30
Indice di plasticità (IP)	10	9	5	6
Indice di consistenza (IC)	0.67	1.22	1.84	1.55
Indice di attività (I_a)	1.0	0.89	0.73	0.89
Classificazione in base a IP	Poco plastico	Poco plastico	Poco plastico	Poco plastico
Classificazione in base a IC	Plastico	Semisolido	Semisolido	Semisolido
Classificazione in base a I_a	Normale	Normale	Inattivo	Normale

Tabella 11.31: Tabella riassuntiva limiti di Atterberg

11.6.3 Classificazione secondo la Carta di plasticità di Casagrande

I campioni prelevati nelle "miscele" ricadono, nella Carta di plasticità di Casagrande, all'interno del campo dei **"Limi inorganici di media compressibilità"**.



11.6.4 Classificazione secondo le Norme CNR-UNI 10006

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati ottenuti utilizzando la classificazione CNR-UNI 10006.

Campioni	Indice di gruppo I.G.	Gruppo	Classificazione in base a I.G.	Tipo di terreno
M1 C1	4	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
M1 C2	5	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
M2 C1	2	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile
M2 C2	2	A4	Terreno mediocre	Limo poco compressibile

Tabella 11.32: Tabella riassuntiva classificazione CNR-UNI 10006

Con questa classificazione entrambe le miscele rientrano all'interno dei **limi** poco compressibili; le analisi eseguite su tutti i campioni hanno permesso di attribuire indici di gruppo bassi e, quindi, discreti valori di portanza.

11.6.5 Risultati ottenuti dalle prove edometriche

Su ogni miscela sono stati prelevati due campioni, per ognuno dei quali è stata eseguita la prova edometrica.

Dato che le due miscele sono risultate costituite da terreni granulometricamente differenti, nelle seguenti tabelle sono stati mediati i risultati di ciascuna miscela.

Come in precedenza sono riportati i dati relativi agli incrementi di carico e modificate alcune unità di misura per renderle più facilmente correlabili ai parametri generalmente utilizzati in geotecnica.

Incrementi di carico	Variazioni di altezza	Deformazione percentuale	Indice dei vuoti	Indice di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione secondaria
σ'_v	δH	ε	e	a_v	M	C_v	K	C_α
(Kg/cm ²)	(mm)	(%)		(Kg/cm ²) ⁻¹	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)	(%)
0.254	0.1220	0.6100	0.7255					
0.509	0.2185	1.0925	0.7170	3.852×10^{-4}	54.4	4.75×10^{-3}	1.05×10^{-9}	0.0150
1.019	0.4440	2.2200	0.6970	3.658×10^{-4}	45.3	4.96×10^{-3}	1.09×10^{-9}	0.0600
2.039	0.7355	3.6775	0.6720	2.416×10^{-4}	70.0	7.29×10^{-3}	1.04×10^{-9}	0.1125
4.079	1.1090	5.5450	0.6400	1.520×10^{-4}	109.2	4.98×10^{-3}	4.56×10^{-10}	0.1285
8.157	1.5535	7.7675	0.6010	8.671×10^{-5}	183.6	4.45×10^{-3}	2.43×10^{-10}	0.1940
16.315	2.1455	10.7275	0.6495	5.670×10^{-5}	275.6	3.58×10^{-3}	1.30×10^{-10}	0.1665
32.630	2.8615	14.3060	0.4875	3.184×10^{-5}	456.4	9.77×10^{-3}	2.15×10^{-10}	0.3530

Tabella 11.33: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove edometriche della Miscela n.1

Incrementi di carico	Variazioni di altezza	Deformazione percentuale	Indice dei vuoti	Indice di compressibilità	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità	Coefficiente di consolidazione secondaria
σ'_v	δH	ε	e	a_v	M	C_v	K	C_α
(Kg/cm ²)	(mm)	(%)		(Kg/cm ²) ⁻¹	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)	(%)
0.254	0.054	0.268	0.771					
0.509	0.083	0.415	0.769	1.043×10^{-4}	188.5			
1.019	0.170	0.848	0.761	1.520×10^{-4}	147.0	5.16×10^{-3}	5.51×10^{-10}	0.027
2.039	0.327	1.633	0.747	1.368×10^{-4}	146.6	8.69×10^{-3}	7.15×10^{-10}	0.077
4.079	0.586	2.930	0.725	1.118×10^{-4}	157.9	3.35×10^{-3}	2.18×10^{-10}	0.082
8.157	0.914	4.570	0.695	6.948×10^{-5}	248.7	4.06×10^{-3}	1.64×10^{-10}	0.132
16.315	1.453	7.173	0.649	5.364×10^{-5}	313.5	3.80×10^{-3}	1.21×10^{-10}	0.158
32.630	2.159	10.795	0.585	3.587×10^{-5}	450.4	7.35×10^{-3}	1.63×10^{-10}	0.280

Tabella 11.34: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove edometriche della Miscela n.2

Le prove hanno fornito valori di modulo edometrico che tendono a migliorare all'aumentare delle tensioni applicate.

Il coefficiente di permeabilità, nonostante la granulometria maggiore, è risultato invece leggermente inferiore a causa di una maggiore compattazione.

11.6.6 Risultati ottenuti dalle prove di taglio

Su ciascun campione è stata eseguita la prova di taglio, per un totale di 4 prove; di seguito sono riportati i parametri di resistenza al taglio ottenuti.

Campioni	Angolo di attrito interno efficace	Coesione efficace
	(ϕ')	(c')
Miscela N.1 campione C1	34°	0.183 kg/cm ²
Miscela N.1 campione C2	37°	0.188 kg/cm ²
Miscela N.2 campione C1	36°	0.242 kg/cm ²
Miscela N.2 campione C2	35°	0.203 kg/cm ²

Tabella 11.35: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di taglio diretto consolidate drenate (CD).

I risultati delle prove mostrano angoli di attrito interno piuttosto elevati e valori medi della coesione.

11.7.1 Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti misti presenti all'interno del "Lotto B"

11.7.1.1 Caratteristiche granulometriche

In questa tipologia di rifiuto si trovano frammisti i materiali inerti, derivanti dagli scarti dell'edilizia, insieme a marmettola di varia provenienza.

La descrizione macroscopica dei campioni prelevati tramite le fustelle riporta quanto segue:

Descrizione: materiale ghiaioso, sabbioso, limoso contenente frammenti di vetro, laterizi (mattoni e piastrelle) calcestruzzo e plastica.

Dal punto di vista granulometrico i campioni appartengono prevalentemente alla classe delle "sabbie", seguite in subordine dalle ghiaie e dai limi.

Le percentuali di argilla sono quasi sempre molto basse e prossime al 5%; di conseguenza il comportamento di questo rifiuto è più simile a quello di un terreno granulare che non a quello di un terreno coesivo.

L'analisi della frazione fine mostra infatti un comportamento non plastico o, al limite, poco plastico.

11.7.1.2 Caratteristiche geotecniche

Su questa tipologia di rifiuto sono state eseguite, su sei campioni, analisi di classificazione granulometrica mentre la prova edometrica e quella di taglio sono state realizzate su tre miscele ricostruite in laboratorio.

Nelle tabelle riassuntive, per fornire un'indicazione di massima sulle proprietà geotecniche del rifiuto, sono riportati i valori medi ottenuti dall'elaborazione di tutti i campioni.

Le analisi eseguite su questi materiali, presenti in discarica già da diversi anni e con natura prevalentemente granulare, hanno evidenziato un comportamento tale da essere assimilabili ad un terreno pressoché litificato.

Rifiuto misto

Descrizione litologica media: "Sabbia fine ghiaiosa e limosa debolmente argillosa"

Risultati analisi di laboratorio eseguite dalla Società **"Tecno Piemonte"**

Peso di volume umido medio	(γ_u)	=	1.846	t/m ³
Peso di volume secco medio	(γ_s)	=	1.42	t/m ³
Contenuto d'acqua allo stato naturale medio	(W)	=	29.43	%
Porosità totale media	(n_{tot})	=	47.6	%
Indice dei vuoti medio	(e)	=	0.93	
Grado di saturazione medio	(S_n)	=	89.3	%
Angolo di attrito interno efficace medio (ricavato da prova di taglio CD)	(ϕ')	=	38°	
Coesione efficace drenata media (ricavata da prova di taglio CD)	(c')	=	0.348	kg/cm ²

Tabella 11.35: Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici

I parametri ottenuti dalla prova edometrica sono risultati variabili in funzione delle diverse pressioni a cui sono stati soggetti i provini durante la fase di carico.

Nella seguente tabella sono riassunti i parametri più importanti in funzione degli incrementi di carico a cui sono stati sottoposti i campioni.

Incrementi di carico	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità
σ'_v	M	C_v	K
(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)
0.254			
0.509	307.8	1.44×10^{-3}	1.41×10^{-10}
1.019	154.2	5.84×10^{-3}	4.75×10^{-10}
2.039	150.5	3.02×10^{-3}	2.49×10^{-10}
4.079	239.3	2.74×10^{-3}	1.38×10^{-10}
8.157	357.1	2.39×10^{-3}	7.70×10^{-11}
16.315	392.0	1.88×10^{-3}	1.88×10^{-10}
32.630	506.5	6.01×10^{-3}	2.06×10^{-10}

Tabella 11.36: Tabella riassuntiva dei principali parametri ricavati dalle prove edometriche

I risultati delle prove mostrano un modulo edometrico generalmente elevato ed un coefficiente di consolidazione che consente un andamento delle sovrappressioni abbastanza rapido nel tempo.

L'andamento delle prove edometriche ed il grado di consistenza riscontrato nei campioni analizzati, permettono di asserire che questo rifiuto potrà essere soggetto, nelle successive fasi operative della discarica, ad assestamenti molto limitati.

Il coefficiente di permeabilità ricavato invece, nonostante la natura prevalentemente granulare del rifiuto, è risultato piuttosto basso, a causa della notevole compattazione subita nel tempo.

11.7.1.3 Risultati della prova penetrometrica statica eseguita precedentemente

Nel mese di Luglio 2008 su questa tipologia di rifiuto era stata realizzata una prova penetrometrica statica i cui risultati possono essere come di seguito riassunti.

Prova penetrometrica statica n.4 (rifiuti depositati in discarica da circa due anni)

- fino a 1.6m di profondità è presente un detrito in matrice limo-argillosa con sabbia e ghiaia; l'elevata resistenza incontrata è probabilmente legata all'essiccamento, al costipamento dovuto al passaggio di automezzi pesanti ed alla presenza di frazioni a granulometria più grossolana;
- da 1.6m fino alla profondità di 2.6m, invece, è stato attraversato uno strato di marmettola, costituito da limo argilloso, con caratteristiche geotecniche più scadenti.

In questo tipo di marmettola, caratterizzata da una forte componente coesiva, diversa da quella presente alla profondità a cui sono stati prelevati i campioni, la prova ha fornito i seguenti parametri:

Parametri strumentali prova penetrometrica n.4

Coefficiente di compressibilità di volume	(m_v)	=	0.0192	cmq/kg
Modulo edometrico	(Ed)	=	52	kg/cmq
Angolo di attrito interno	(ϕ)	=	34°	
Coesione non drenata	(c)	=	0.68	kg/cmq

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

Rifer. 14-08

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 4

2.01PG05-079

- committente :	Programma Ambiente Apuane S.p.a.	- data :	24/06/2008
- lavoro :	Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti	- quota inizio :	Piano Campagna
- località :	Discarica di Porta - Comune di Montignoso	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :	Rifiuti "ex-Rimavi" stoccati da circa 1 anno	- pagina :	1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	42,0	----	42,0	1,27	33,0	1,60	19,0	37,0	19,0	0,60	32,0
0,40	26,0	45,0	26,0	1,00	26,0	1,80	11,0	20,0	11,0	0,60	18,0
0,60	29,0	44,0	29,0	1,47	20,0	2,00	12,0	21,0	12,0	0,53	22,0
0,80	28,0	50,0	28,0	1,20	23,0	2,20	15,0	23,0	15,0	0,53	28,0
1,00	22,0	40,0	22,0	1,93	11,0	2,40	19,0	27,0	19,0	0,73	26,0
1,20	32,0	61,0	32,0	0,67	48,0	2,60	18,0	29,0	18,0	-----	----
1,40	39,0	49,0	39,0	1,20	32,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostrutturali

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail: geognostica.apuana@gmail.com

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

Rifer. 14-08

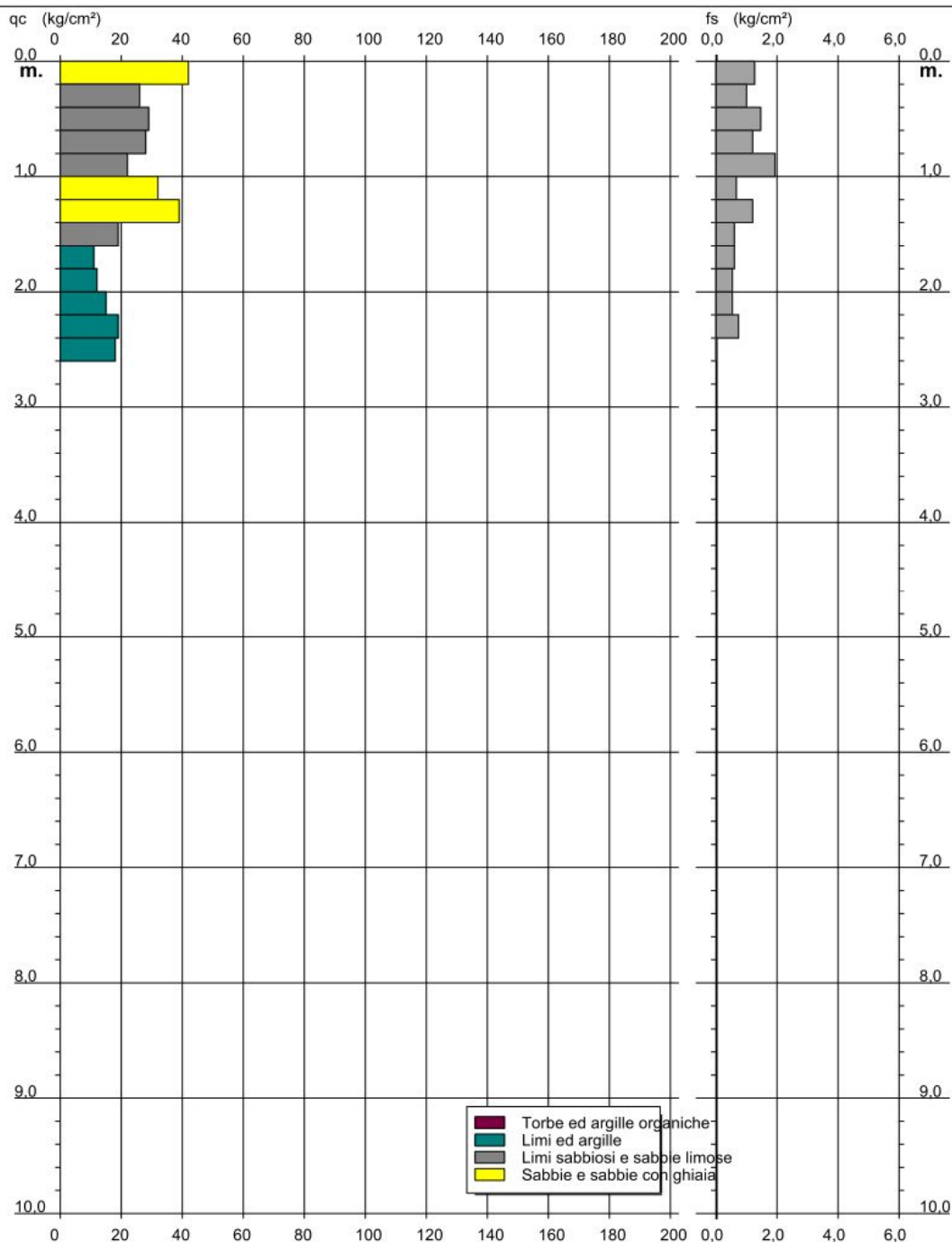
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

2.01PG05-079

- committente : Programma Ambiente Apuane S.p.a.
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti
- località : Discarica di Porta - Comune di Montignoso
- note : Rifiuti "ex-Rimavi" stoccati da circa 1 anno

- data : 24/06/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostutturali

11.7.2 Caratterizzazione geotecnica del rifiuto costituito da marmettola di "marmo-resine" presente all'interno del "Lotto B"

11.7.2.1 Caratteristiche granulometriche

In questa tipologia di rifiuto si trova principalmente marmettola.

La descrizione macroscopica dei campioni prelevati tramite le fustelle riporta quanto segue:

Descrizione: matrice limo-sabbiosa con subordinata frazione argillosa e rara ghiaia.

Dal punto di vista granulometrico i campioni appartengono alla classe dei "Limi", seguiti in subordine dalle sabbie.

La percentuale di argilla è compresa tra il 10 ed il 20%, mentre quella della ghiaia è sempre inferiore al 5%.

In questo caso il comportamento del rifiuto è più simile ad un terreno coesivo che non ad uno granulare.

L'analisi della frazione fine mostra un comportamento poco plastico.

Anche questi rifiuti presentano una consistenza tale da essere assimilabili ad un terreno pressoché litificato; l'elevata compattezza è stata osservata anche durante il prelievo dei campioni, che è risultato estremamente difficoltoso.

11.7.1.2 Caratteristiche geotecniche

Su questa tipologia di rifiuto le prove sono state eseguite su tutti i quattro campioni prelevati.

Nelle tabelle riassuntive, per fornire un'indicazione di massima sulle proprietà geotecniche del rifiuto, sono riportati i valori medi ottenuti dall'elaborazione di tutti i campioni.

Rifiuto costituito da marmettola di marmo-resine

Descrizione litologica media: "Limo sabbioso debolmente argilloso"

Risultati analisi di laboratorio eseguite dalla Società "**Tecno Piemonte**"

Peso di volume umido medio	(γ_u)	=	1.89	t/m ³
Peso di volume secco medio	(γ_s)	=	1.53	t/m ³
Contenuto d'acqua allo stato naturale medio	(W)	=	23.72	%
Porosità totale media	(n_{tot})	=	0.44	%
Indice dei vuoti medio	(e)	=	0.79	
Grado di saturazione medio	(S_n)	=	82.0	%
Angolo di attrito interno efficace medio (ricavato da prova di taglio CD)	(ϕ')	=	26°	
Coesione efficace drenata media (ricavata da prova di taglio CD)	(c')	=	0.255	kg/cm ²

Tabella 11.37: Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici

Per quanto riguarda i parametri ottenuti dalla prova edometrica questi sono risultati variabili in funzione delle diverse pressioni a cui sono stati soggetti i provini durante la fase di carico.

Di conseguenza nella seguente tabella sono stati riportati i parametri più importanti in funzione degli incrementi di carico a cui sono stati sottoposti i campioni.

Incrementi di carico	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità
σ'_v	M	C_v	K
(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)
0.254			
0.509	43.21	3.14×10^{-3}	3.37×10^{-10}
1.019	57.88	1.04×10^{-3}	1.85×10^{-10}
2.039	83.97	1.47×10^{-3}	1.76×10^{-10}
4.079	144.29	1.81×10^{-3}	2.63×10^{-10}
8.157	219.56	1.38×10^{-3}	6.38×10^{-11}
16.315	388.76	1.36×10^{-3}	3.49×10^{-10}
32.630	690.40	1.27×10^{-3}	1.85×10^{-10}

Tabella 11.38: Tabella riassuntiva dei principali parametri ricavati dalle prove edometriche

L'andamento delle prove edometriche ed il grado di consistenza riscontrato nei campioni analizzati, permettono di asserire che questo rifiuto potrà essere soggetto, nelle successive fasi operative della discarica, a limitati assestamenti.

L'alto valore del coefficiente di consolidazione consente di affermare che questi assestamenti si esauriranno in breve tempo.

Il coefficiente di permeabilità ricavato è risultato basso.

11.7.3 Caratterizzazione geotecnica del rifiuto, costituito da marmettola di marmo e granito, presente all'interno del "Lotto C"

11.7.3.1 Caratteristiche granulometriche

In questa tipologia di rifiuto si trova principalmente marmettola.

La descrizione macroscopica dei campioni prelevati tramite le fustelle riporta quanto segue:

Descrizione: matrice limo-sabbiosa-argillosa e rara ghiaia con alternanze di lenti e livelli di colore grigio scuro, grigio chiaro e bianco.

Dal punto di vista granulometrico i campioni appartengono prevalentemente alla classe dei "Limi", ed in subordine a quelle delle sabbie e delle argille.

Le percentuali di argilla sono comprese tra il 10 ed il 20%, mentre quella della ghiaia è quasi sempre inferiore al 5%.

In questo caso il comportamento del rifiuto è più simile ad un terreno coesivo che non ad uno granulare

L'analisi della frazione fine mostra un comportamento variabile dal poco plastico al non plastico.

Per quanto riguarda l'indice di consistenza, definito come il grado di compattezza raggiunto dal terreno in rapporto al suo contenuto d'acqua allo stato naturale e non riferibile alle caratteristiche geotecniche intrinseche del materiale, la maggior parte dei campioni sono stati classificati come "plastici", mentre altri sono risultati "fluidi", in quanto non hanno ancora avuto il tempo di perdere il proprio contenuto d'acqua interstiziale.

11.7.3.2 Caratteristiche geotecniche

Su questa tipologia di rifiuto le prove sono state eseguite su tutti gli otto campioni prelevati.

Nelle tabelle riassuntive, per fornire un'indicazione di massima sulle proprietà geotecniche del rifiuto, sono riportati i valori medi ottenuti dall'elaborazione di tutti i campioni.

Rifiuto costituito da marmettola di marmo e granito

Descrizione litologica media: "Limo sabbioso e argilloso"

Risultati analisi di laboratorio eseguite dalla Società "**Tecno Piemonte**"

Peso di volume umido medio	(γ_u)	=	1.93	t/m ³
Peso di volume secco medio	(γ_s)	=	1.50	t/m ³
Contenuto d'acqua allo stato naturale medio	(W)	=	26.3	%
Porosità totale media	(n_{tot})	=	0.45	%
Indice dei vuoti medio	(e)	=	0.83	
Grado di saturazione medio	(S_n)	=	95.1	%
Angolo di attrito interno efficace medio (ricavato da prova di taglio CD)	(ϕ')	=	26°	
Coazione efficace drenata media (ricavata da prova di taglio CD)	(c')	=	0.21	kg/cm ²

Tabella 11.39: Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici

I parametri ottenuti dalla prova edometrica sono risultati variabili in funzione delle diverse pressioni a cui sono stati soggetti i provini, durante la fase di carico.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri più importanti, in funzione degli incrementi di carico a cui sono stati sottoposti i campioni.

Incrementi di carico	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità
σ'_v	M	C_v	K
(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)
0.254			
0.509	35.9	3.33 x 10⁻³	5.06 x 10 ⁻¹⁰
1.019	45.4	4.51 x 10⁻³	1.95 x 10 ⁻¹⁰
2.039	68.0	5.37 x 10⁻³	1.25 x 10 ⁻¹⁰
4.079	105.7	7.12 x 10⁻³	1.00 x 10 ⁻¹⁰
8.157	181.3	4.99 x 10⁻³	4.99 x 10 ⁻¹¹
16.315	306.6	3.92 x 10⁻³	2.19 x 10 ⁻¹¹
32.630	527.7	5.63 x 10⁻³	1.45 x 10 ⁻¹¹

Tabella 11.40: Tabella riassuntiva dei principali parametri ricavati dalle prove edometriche

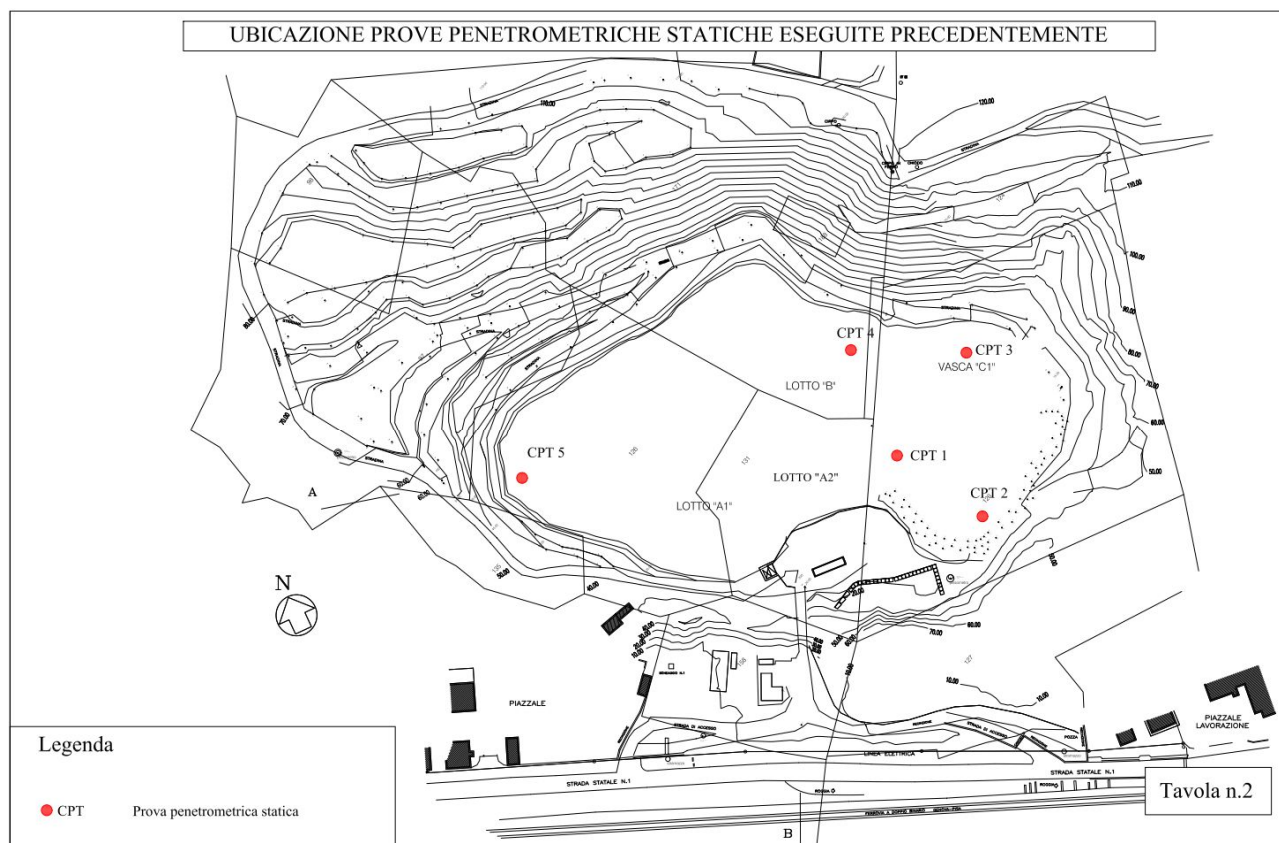
L'andamento delle prove edometriche ed il grado di consistenza riscontrato nei campioni analizzati, permettono di asserire che questo rifiuto potrà essere soggetto, nelle successive fasi operative della discarica, a limitati assestamenti.

L'alto valore del coefficiente di consolidazione consente di affermare che questi assestamenti si esauriranno in breve tempo.

Il coefficiente di permeabilità ricavato è risultato piuttosto basso.

11.7.3.3 Risultati delle prove penetrometriche statiche eseguite precedentemente

Nel mese di Luglio 2008 su questa tipologia di rifiuto sono state realizzate tre prove penetrometriche i cui risultati possono essere come di seguito riassunti.



Prova penetrometrica statica n.1 (eseguita su marmettola depositata da circa un mese)

- la prova ha attraversato marmettola, costituita da limo sabbioso e argilloso, non ancora compattata, con scadenti caratteristiche geotecniche; in alcuni tratti la resistenza all'avanzamento della punta è risultata talmente bassa da essere correlabile con argille organiche.

Prova penetrometrica statica n.2 (eseguita su marmettola depositata da circa due mesi)

- fino a 0.6m di profondità è presente un livello di marmettola più compatto, formatosi probabilmente in seguito all'essiccamento ed all'azione di costipamento provocata dal transito di automezzi pesanti;
- da 0.6m fino a termine prova, alla profondità di 3.4m, è stato attraversato uno strato di marmettola, costituito da limo sabbioso e argilloso, non ancora compattata, con caratteristiche geotecniche leggermente migliori rispetto a quelle della prova precedente.

Prova penetrometrica statica n.3 (eseguita su marmettola depositata da oltre un anno)

- in questa prova la marmettola, costituita da limo sabbioso e argilloso, ha offerto una notevole resistenza all'avanzamento della punta dello strumento fino ad impedire, alla profondità di 1.6m, la sua prosecuzione.

Di seguito, per ogni terreno indagato, sono riportati e confrontati, con particolare riferimento ai parametri di resistenza al taglio (angolo di attrito interno e coesione), i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove penetrometriche.

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

Rifer. 14-08

PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-079

- committente :	Programma Ambiente Apuane S.p.a.	- data :	24/06/2008
- lavoro :	Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti	- quota inizio :	Piano Campagna
- località :	Discarica di Porta - Comune di Pietrasanta	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :	Marmettola "fresca" depositata da circa 1 mese	- pagina :	1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	6,0	----	6,0	0,27	22,0	1,40	4,0	9,0	4,0	0,20	20,0
0,40	5,0	9,0	5,0	0,27	19,0	1,60	4,0	7,0	4,0	0,20	20,0
0,60	6,0	10,0	6,0	0,27	22,0	1,80	4,0	7,0	4,0	0,13	30,0
0,80	3,0	7,0	3,0	0,20	15,0	2,00	2,0	4,0	2,0	0,20	10,0
1,00	9,0	12,0	9,0	0,33	27,0	2,20	3,0	6,0	3,0	0,27	11,0
1,20	4,0	9,0	4,0	0,33	12,0	2,40	9,0	13,0	9,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostrutturali

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

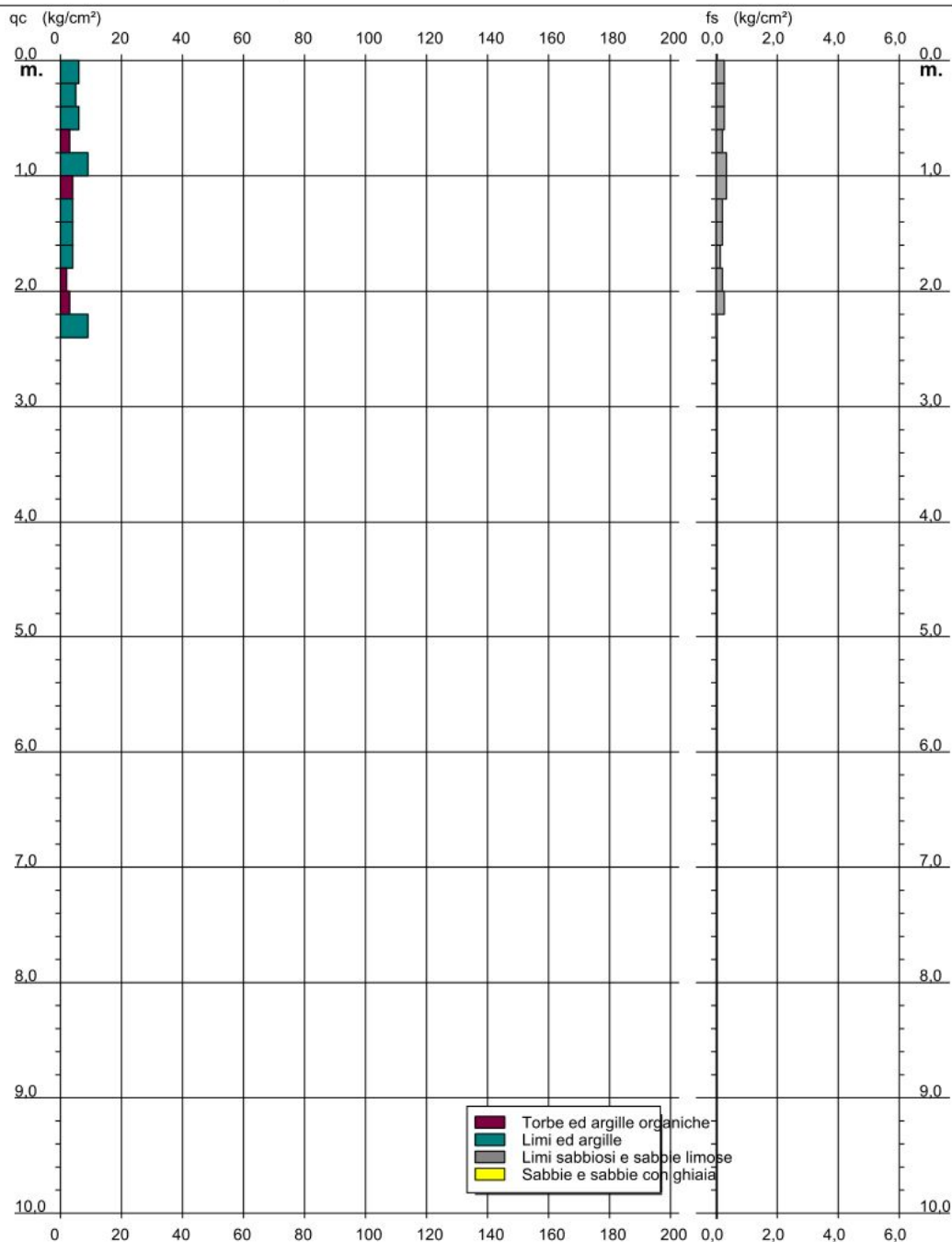
Rifer. 14-08

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-079

- committente :	Programma Ambiente Apuane S.p.a.	- data :	24/06/2008
- lavoro :	Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti	- quota inizio :	Piano Campagna
- località :	Discarica di Porta - Comune di Pietrasanta	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :	Marmettola "fresca" depositata da circa 1 mese	- scala vert.:	1 : 50



Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostrutturali

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-079

- committente : Programma Ambiente Apuane S.p.a.
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti
 - località : Discarica di Porta - Comune di Pietrasanta
 - note : Marmettola "fresca" depositata da circa 2 mesi

- data : 24/06/2008
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	100,0	----	100,0	5,87	17,0	2,00	8,0	17,0	8,0	0,53	15,0
0,40	72,0	160,0	72,0	4,20	17,0	2,20	9,0	17,0	9,0	0,60	15,0
0,60	47,0	110,0	47,0	3,60	13,0	2,40	9,0	18,0	9,0	0,47	19,0
0,80	19,0	73,0	19,0	0,67	28,0	2,60	10,0	17,0	10,0	0,67	15,0
1,00	15,0	25,0	15,0	0,53	28,0	2,80	17,0	27,0	17,0	0,67	25,0
1,20	13,0	21,0	13,0	0,67	19,0	3,00	12,0	22,0	12,0	0,73	16,0
1,40	10,0	20,0	10,0	0,67	15,0	3,20	11,0	22,0	11,0	0,67	16,0
1,60	10,0	20,0	10,0	0,47	21,0	3,40	17,0	27,0	17,0	-----	----
1,80	14,0	21,0	14,0	0,60	23,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\varnothing = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

Rifer. 14-08

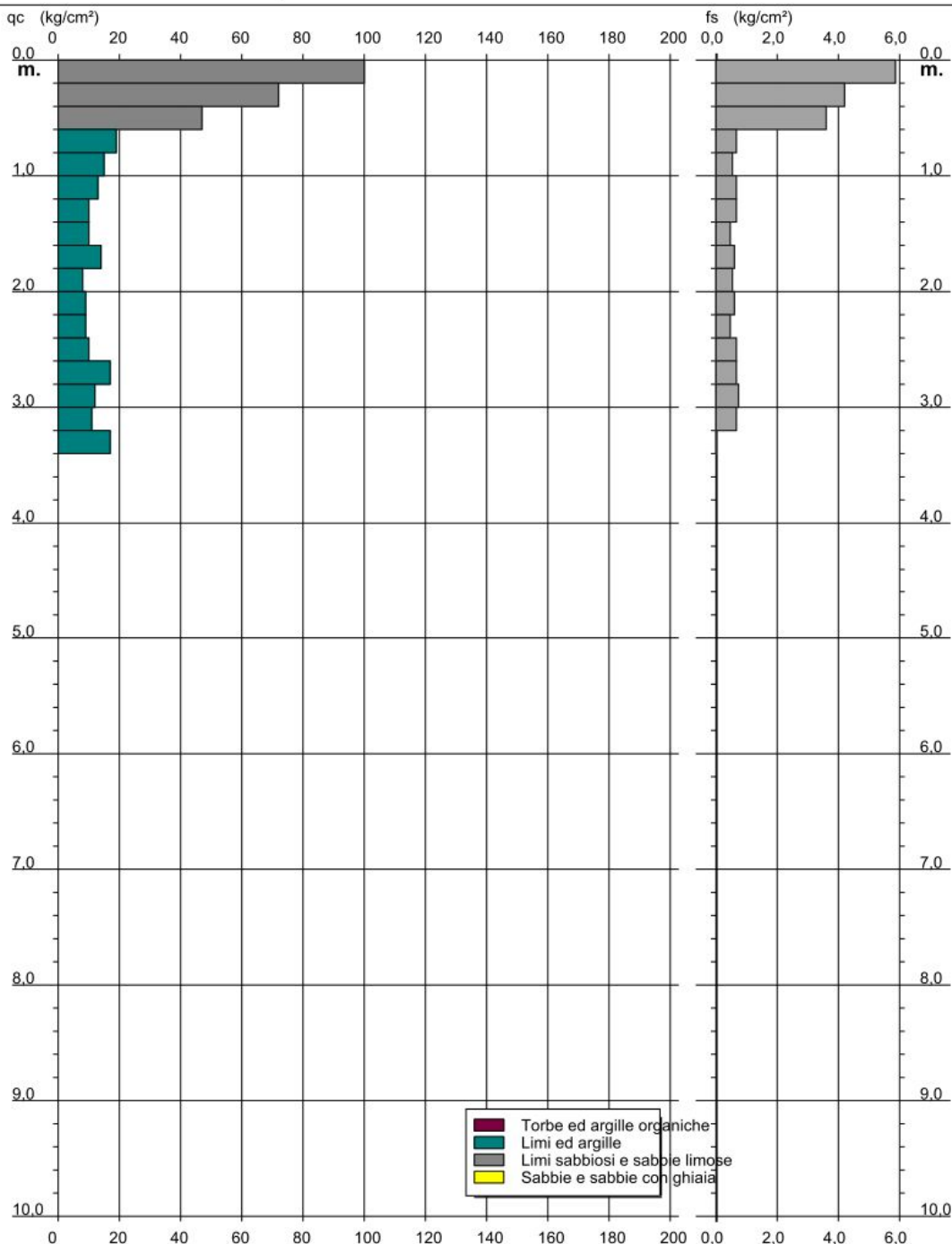
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-079

- committente : Programma Ambiente Apuane S.p.a.
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti
- località : Discarica di Porta - Comune di Pietrasanta
- note : Marmettola "fresca" depositata da circa 2 mesi

- data : 24/06/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostutturali

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

Rifer. 14-08

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 3

2.01PG05-079

- committente :	Programma Ambiente Apuane S.p.a.	- data :	24/06/2008
- lavoro :	Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti	- quota inizio :	Piano Campagna
- località :	Discarica di Porta - Comune di Pietrasanta	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :	Marmettola "stagionata" depositata da circa 1 anno	- pagina :	1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	79,0	----	79,0	4,00	20,0	1,00	120,0	180,0	120,0	4,00	30,0
0,40	85,0	145,0	85,0	3,27	26,0	1,20	128,0	188,0	128,0	5,47	23,0
0,60	102,0	151,0	102,0	3,40	30,0	1,40	118,0	200,0	118,0	4,00	30,0
0,80	109,0	160,0	109,0	4,00	27,0	1,60	170,0	230,0	170,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostrutturali

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail: geognostica.apuana@gmail.com

Geognostica Apuana S.n.c.
Via Tinelli, 25/A - 54100 Massa
Tel. & Fax.: 0585/40997 P.I.: 00702030453

Rifer. 14-08

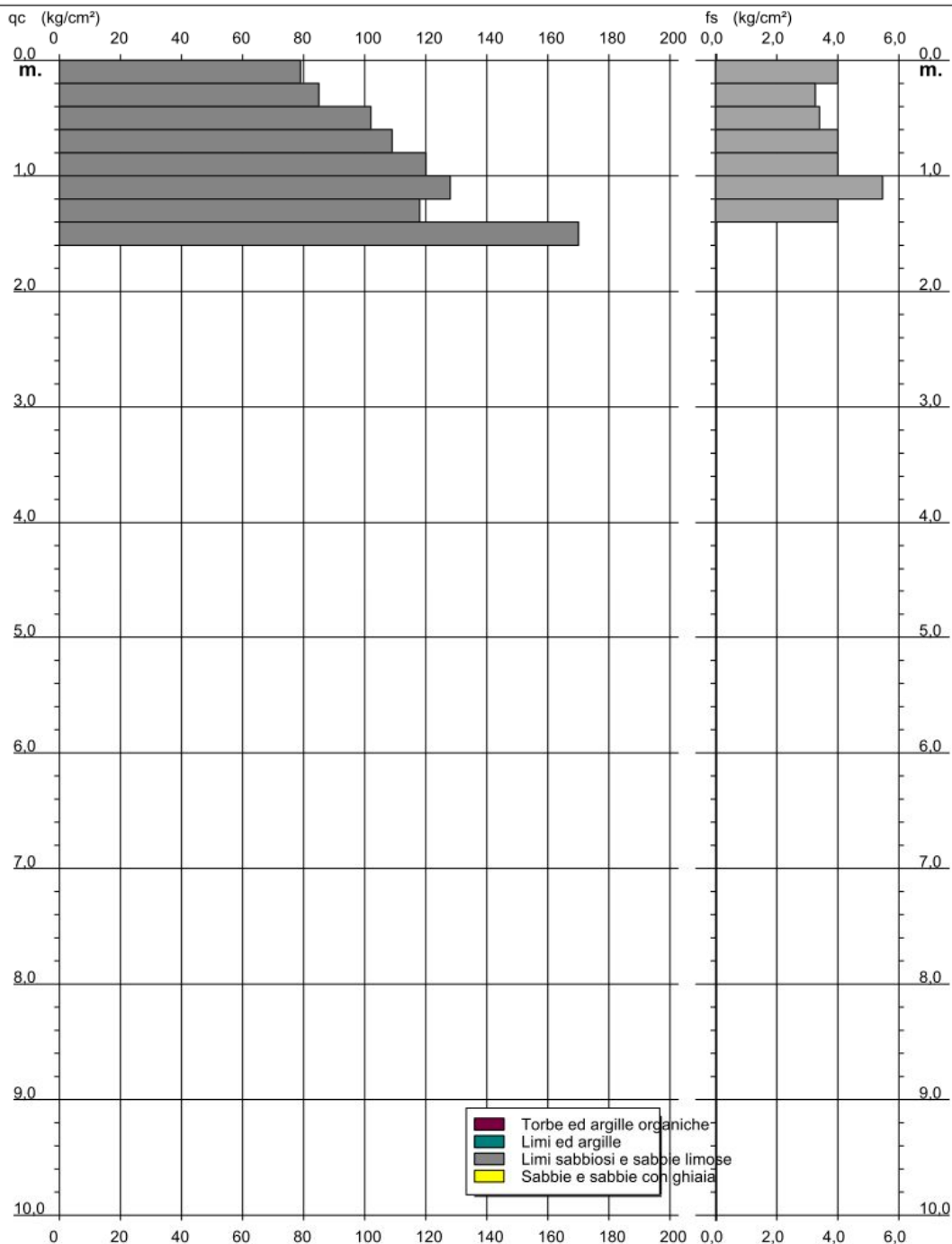
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.01PG05-079

- committente : Programma Ambiente Apuane S.p.a.
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica dei rifiuti
- località : Discarica di Porta - Comune di Pietrasanta
- note : Marmettola "stagionata" depositata da circa 1 anno

- data : 24/06/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

Prospezioni geofisiche, indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geostrutturali

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

Parametri strumentali prova n.1 eseguita sulla marmettola depositata da circa 1 mese

Coefficiente di compressibilità di volume	(m_v)	=	0.0370	cmq/kg
Modulo edometrico	(E_d)	=	27	kg/cmq
Angolo di attrito interno	(ϕ)	=	28°	
Coesione non drenata	(c)	=	0.25	kg/cmq

Parametri strumentali prova n.2 eseguita sulla marmettola depositata da circa 2 mesi

Coefficiente di compressibilità di volume	(m_v)	=	0.0222	cmq/kg
Modulo edometrico	(E_d)	=	45	kg/cmq
Angolo di attrito interno	(ϕ)	=	31°	
Coesione non drenata	(c)	=	0.57	kg/cmq

Parametri strumentali prova penetrometrica n.3 eseguita sulla marmettola depositata da oltre un anno

Coefficiente di compressibilità di volume	(m_v)	=	0.00315	cmq/kg
Modulo edometrico	(E_d)	=	317	kg/cmq
Angolo di attrito interno	(ϕ)	=	42°	
Coesione non drenata	(c)	=	3.5	kg/cmq

L'esame dei risultati ottenuti mostra un notevole miglioramento delle caratteristiche geotecniche nel tempo.

I rifiuti di marmettola, infatti, giungono in discarica ricchi di umidità e subiscono nel tempo un processo di consolidazione che ne migliora sensibilmente le caratteristiche geotecniche e li rende estremamente compatti.

Pertanto questo rifiuto non potrà più subire, nel tempo, significativi assestamenti.

11.7.4 Caratterizzazione geotecnica del rifiuto a ridosso dell'argine del "Lotto C" (marmettola conferita in discarica da diversi anni)**11.7.4.1 Caratteristiche granulometriche**

In questa tipologia di rifiuto si trova principalmente marmettola; la descrizione macroscopica del campione riporta quanto segue:

Descrizione: matrice limo-sabbiosa con subordinata frazione argillosa e rara ghiaia.

Dal punto di vista granulometrico il campione può essere classificato come un "Limo con sabbia debolmente argilloso"; il suo comportamento è, quindi, più simile a quello di un terreno coesivo che non ad uno granulare.

L'analisi della frazione fine mostra un comportamento poco plastico.

In base all'indice di consistenza ottenuto il rifiuto mostra un comportamento tale da essere assimilabile ad un terreno pressoché litificato.

L'elevata compattezza del terreno è stata osservata anche durante il prelievo del campione con la benna dell'escavatore, che ha addirittura causato la deformazione della fustella Shelby.

11.7.4.2 Caratteristiche geotecniche

Su questa tipologia di rifiuto è stato prelevato un solo campione, le cui principali caratteristiche geotecniche sono riportate nelle seguenti tabelle riassuntive.

Rifiuto costituito da marmettola conferita in discarica da diversi anni

Descrizione litologica media: "Limo con sabbia debolmente argilloso"

Risultati analisi di laboratorio eseguite dalla Società "Tecno Piemonte"

Peso di volume umido medio	(γ_u)	=	1.945	t/m ³
Peso di volume secco medio	(γ_s)	=	1.634	t/m ³
Contenuto d'acqua allo stato naturale medio	(W)	=	19.2	%
Porosità totale media	(n_{tot})	=	0.40	%
Indice dei vuoti medio	(e)	=	0.67	
Grado di saturazione medio	(S_n)	=	77.1	%
Angolo di attrito interno efficace medio (ricavato da prova di taglio CD)	(ϕ')	=	33°	
Coesione efficace drenata media (ricavata da prova di taglio CD)	(c')	=	0.305	kg/cm ²

Tabella 11.41: Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici

I parametri ottenuti dalla prova edometrica sono risultati variabili in funzione delle diverse pressioni a cui è stato soggetto il provino durante la fase di carico.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri più importanti in funzione degli incrementi di carico.

Incrementi di carico	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità
σ'_v	M	C_v	K
(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)
0.254			
0.509	46.3		
1.019	89.4	1.65×10^{-2}	1.85×10^{-9}
2.039	140.6	1.41×10^{-2}	1.00×10^{-9}
4.079	238.5	2.11×10^{-2}	8.85×10^{-10}
8.157	318.7	1.61×10^{-2}	5.05×10^{-10}
16.315	481.3	1.09×10^{-2}	2.27×10^{-10}
32.630	651.3	1.45×10^{-2}	2.23×10^{-10}

Tabella 11.42: Tabella riassuntiva dei principali parametri ricavati dalle prove edometriche

I risultati delle prove mostrano come il modulo edometrico sia piuttosto basso con limitate pressioni, mentre tende a crescere notevolmente all'aumentare delle stesse.

Il coefficiente di consolidazione primaria consente una rapida evoluzione del cedimento nel tempo.

Il coefficiente di permeabilità ricavato è risultato maggiore rispetto a quelli determinati nei rifiuti precedenti.

11.7.4.3 Risultati della prova penetrometrica statica eseguita precedentemente

Nel mese di Luglio 2008, sull'argine del "Lotto B", è stata realizzata una prova penetrometrica statica i cui risultati sono di seguito riassunti.

Prova penetrometrica statica n.5

- in questa prova la marmettola, costituita da limo sabbio-argilloso, ha offerto una notevole resistenza all'avanzamento della punta dello strumento fino ad impedirne, alla profondità di 1.2m dal piano campagna, la prosecuzione.

Dalla prova sono stati ricavati i seguenti parametri geotecnici.

Parametri strumentali prova penetrometrica statica n.5

Coefficiente di compressibilità di volume	(m_v)	=	0.00251	cmq/kg
Modulo edometrico	(Ed)	=	398	kg/cmq
Angolo di attrito interno	(ϕ)	=	42°	
Coesione non drenata	(c)	=	4.3	kg/cmq

I parametri ottenuti mostrano come, col passare del tempo, le caratteristiche geotecniche di questi terreni migliorino notevolmente, così come confermato da tutti i dati a disposizione.

11.7.5 Caratterizzazione geotecnica delle miscele di rifiuto predisposte nell'impianto autorizzato di Fossadello di Caorso

Dato che le due miscele sono risultate granulometricamente differenti, di seguito verranno tra loro distinte.

11.7.5.1 Caratteristiche granulometriche "Miscela n.1"

La miscela è stata prodotta artificialmente in discarica, quindi, la sua composizione è nota a priori e corrisponde alle seguenti percentuali:

Miscela 1

Marmettola	50%
Fanghi dragaggio	5%
Scorie di caldaia e inceneritori	10%
Terra e rocce da bonifica	30%
Baritina	5%

La descrizione macroscopica dei campioni riporta quanto segue:

Descrizione: materiale limoso, sabbioso, ghiaioso contenente frammenti di varia natura (principalmente vetro e laterizi).

Dal punto di vista granulometrico i campioni prelevati sono risultati costituiti da "Limo con sabbia fine, debolmente ghiaioso e argilloso".

Le percentuali di argilla sono risultate comprese tra il 5 ed il 10% mentre quella della ghiaia è prossima al 12%.

In questo caso il comportamento del rifiuto è più simile ad un terreno coesivo che non ad uno granulare.

L'analisi della frazione fine mostra un comportamento poco plastico ed un indice di consistenza variabile da "plastico" a "semisolido".

11.7.5.2 Caratteristiche granulometriche "Miscela n.2"

Anche in questo caso la miscela è stata prodotta artificialmente in discarica, per cui la sua composizione è nota a priori e corrisponde alle seguenti percentuali:

Miscela 2

Marmettola	30%
Fanghi dragaggio	10%
Scorie di caldaia e inceneritori	10%
Terra e rocce da bonifica	45%
Baritina	5%

La descrizione macroscopica dei campioni riporta quanto segue:

Descrizione: materiale limoso, sabbioso, ghiaioso contenente frammenti di varia natura (principalmente vetro e laterizi).

Dal punto di vista granulometrico i campioni sono risultati costituiti da "Sabbia fine con limo, debolmente ghiaiosa e argillosa".

Le percentuali di argilla sono risultate inferiori al 10%, mentre quella della ghiaia è variabile tra il 15 ed il 30%; il comportamento di questo rifiuto è più simile a quello di un terreno granulare che non ad uno coesivo.

L'analisi della frazione fine mostra un comportamento poco plastico ed un indice di consistenza che classifica questo materiale come "semisolido".

11.7.5.3 Caratteristiche geotecniche della Miscela n.1

Nelle tabelle riassuntive sono riportati i valori medi ottenuti dall'elaborazione dei due campioni analizzati.

MISCELA N.1

Descrizione litologica: " Limo con sabbia fine, debolmente ghiaioso e argilloso "

Risultati analisi di laboratorio eseguite dalla Società "**Tecno Piemonte**"

Peso di volume umido medio	(γ_u)	=	2.022	t/m ³
Peso di volume secco medio	(γ_s)	=	1.574	t/m ³
Contenuto d'acqua allo stato naturale medio	(W)	=	27.0	%
Porosità totale media	(n_{tot})	=	0.42	%
Indice dei vuoti medio	(e)	=	0.75	
Grado di saturazione medio	(S_n)	=	101.1	%
Angolo di attrito interno efficace medio (ricavato da prova di taglio CD)	(ϕ')	=	35°	
Coesione efficace drenata media (ricavata da prova di taglio CD)	(c')	=	0.185	kg/cm ²

Tabella 11.43: Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici
Dott. Geol. Carlo Alberto Turba - Studio Via Tinelli n.25/A - 54100 MASSA - Tel. e Fax n. 0585/40997
e-mail:geognostica.apuana@gmail.com

I parametri ottenuti dalla prova edometrica sono variabili in funzione delle diverse pressioni a cui sono stati soggetti i provini durante la fase di carico.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri più importanti in funzione degli incrementi di carico a cui sono stati sottoposti i campioni.

Incrementi di carico	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità
σ'_v	M	C_v	K
(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)
0.254			
0.509	54.4	4.75×10^{-3}	1.05×10^{-9}
1.019	45.3	4.96×10^{-3}	1.09×10^{-9}
2.039	70.0	7.29×10^{-3}	1.04×10^{-9}
4.079	109.2	4.98×10^{-3}	4.56×10^{-10}
8.157	183.6	4.45×10^{-3}	2.43×10^{-10}
16.315	275.6	3.58×10^{-3}	1.30×10^{-10}
32.630	456.4	9.77×10^{-3}	2.15×10^{-10}

Tabella 11.44: Tabella riassuntiva dei principali parametri ricavati dalle prove edometriche

L'andamento delle prove edometriche ed il grado di consistenza riscontrato nei campioni analizzati, permettono di asserire che anche le miscele di rifiuto potranno essere soggette, se conferite in discarica, a limitati assestamenti.

L'alto valore del coefficiente di consolidazione consente di affermare che questi assestamenti si esauriranno in breve tempo.

Il coefficiente di permeabilità ricavato è risultato piuttosto basso.

11.7.5.4 Caratteristiche geotecniche della Miscela n.2

Nelle tabelle riassuntive sono riportati i valori medi ottenuti dall'elaborazione dei due campioni analizzati.

MISCELA N.2

Descrizione litologica: " Sabbia fine con limo, debolmente ghiaiosa e argillosa "

Risultati analisi di laboratorio eseguite dalla Società "**Tecno Piemonte**"

Peso di volume umido medio	(γ_u)	=	1.972	t/m ³
Peso di volume secco medio	(γ_s)	=	1.543	t/m ³
Contenuto d'acqua allo stato naturale medio	(W)	=	26.75	%
Porosità totale media	(n_{tot})	=	0.44	%
Indice dei vuoti medio	(e)	=	0.78	
Grado di saturazione medio	(S_n)	=	98	%
Angolo di attrito interno efficace medio (ricavato da prova di taglio CD)	(ϕ')	=	35°	
Coesione efficace drenata media (ricavata da prova di taglio CD)	(c')	=	0.222	kg/cm ²

Tabella 11.45: Tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici

I parametri ottenuti dalla prova edometrica sono variabili in funzione delle diverse pressioni a cui sono stati soggetti i provini durante la fase di carico.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri più importanti in funzione degli incrementi di carico a cui sono stati sottoposti i campioni.

Incrementi di carico	Modulo edometrico	Coefficiente di consolidazione	Coefficiente di permeabilità
σ'_v	M	C_v	K
(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm ² /s)	(m/s)
0.254			
0.509	188.5		
1.019	147.0	5.16 x 10⁻³	5.51 x 10 ⁻¹⁰
2.039	146.6	8.69 x 10⁻³	7.15 x 10 ⁻¹⁰
4.079	157.9	3.35 x 10⁻³	2.18 x 10 ⁻¹⁰
8.157	248.7	4.06 x 10⁻³	1.64 x 10 ⁻¹⁰
16.315	313.5	3.80 x 10⁻³	1.21 x 10 ⁻¹⁰
32.630	450.4	7.35 x 10⁻³	1.63 x 10 ⁻¹⁰

Tabella 11.46: Tabella riassuntiva dei principali parametri ricavati dalle prove edometriche

Per questa miscela le prove hanno evidenziato come il modulo edometrico sia già elevato anche alle basse tensioni, come succede generalmente per i terreni di natura prevalentemente granulare.

L'andamento delle prove edometriche ed il grado di consistenza riscontrato nei campioni analizzati, inoltre, permettono di asserire che questo rifiuto potrà essere soggetto, se conferito in discarica, a limitati assestamenti.

L'alto valore del coefficiente di consolidazione consente di affermare che questi assestamenti si esauriranno in breve tempo.

Il coefficiente di permeabilità, nonostante la granulometria più grossolana, è risultato invece leggermente inferiore a causa di una maggiore compattazione.

Massa, 21/12/2022

Dott. Geol. Carlo Alberto Turba