



PIANO REGOLATORE CIMITERIALE

ai sensi:

art. 6
Regolamento Regionale
9.11.2004 n°6
come novellato dal
Regolamento Regionale n°1/2007

e
D.P.R.
10.9.1990 n°285
capo X°

PROVINCIA DI BRESCIA



Marco Turati Architetto

Via Grado n°11
26100 CREMONA
tel/fax 0372 28417
P. IVA 01013350192
architetto@marcoturati.it



ubicazione:
Cimitero comunale:
Strada per Offlaga
Manerbio (BS)

committente:
Comune di Manerbio
P.zza C. Battisti n° 1
25025 Manerbio (BS)

Sindaco:
dott. Samuele Alghisi

Assessore all'Urbanistica:
slg. Glandomenlco Preti

Resp. Servizio Sviluppo del Territorio:
arch. Maria Vittoria Tisi

iscrizione all'Agenzia del Territorio:
Cimitero di Manerbio:
foglio: 6
mapp: A - B - 44 - 80 - 81- 107p 134p - 136 p

data:
8 gennaio 2015

RELAZIONE TECNICA GEOLOGICA

COMUNE DI MANERBIO

Provincia di Brescia

Studio geologico a supporto del Piano Regolatore Cimiteriale

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

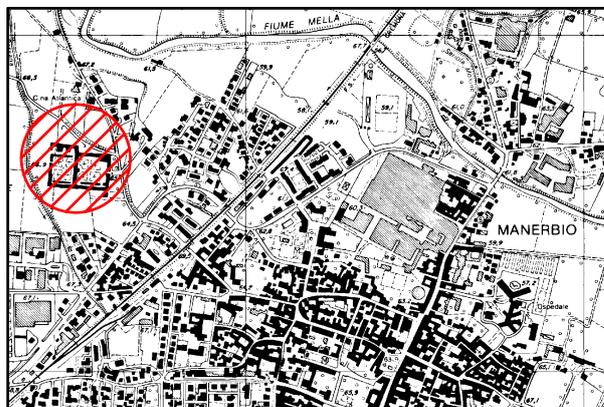
Regolamento Regionale 06/2004 - Regolamento Regionale 01/2007 - DPR
n.285 del 10.09.1990 - DM 14.01.2008

Determinazione Dirigenziale n.300 del 05.08.2014

RELAZIONE

Il Committente: Amministrazione Comunale

**Il geologo:
Dott. Corrado Aletti**



 **A. & P. sas**
Via Ponticella, 20
25020 SENIGA (BS)
e-mail alettic@tin.it
tel. 030/9955044
fax 030/9955044

DATA: AGOSTO 2014



INDICE

1. Introduzione.....	2
2. Inquadramento geografico.....	3
3. Inquadramento geologico idrogeologico e sismico	4
3.1. Litostratimetria.....	7
3.2. Idrogeologia.....	8
3.3. Sismicità.....	10
3.4. Indagine sismica.....	13
3.4.1. Tecnica di misurazione e strumentazione	13
3.4.2. Effetti di sito: risposta sismica locale.....	14
3.4.3. Profilo velocità delle onde S e classificazione del sottosuolo secondo il d.m. 14.01.2008.....	14
3.4.4. Vulnerabilità sismica dell'opera	16
3.4.5. Risultati dell'analisi.....	17
3.4.6. Verifica alla liquefazione	19
3.5. Fattibilità.....	21
4. Geotecnica	23
4.1. Modello geotecnico.....	26
4.2. Analisi delle soluzioni fondali	28
5. Caratteristiche granulometriche dei suoli	29
6. Terre da scavo.....	32
7. Conclusioni	34



1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Manerbio e riguarda gli aspetti geologici e geotecnici inerenti il Piano Regolatore Cimiteriale. Lo studio è stato eseguito ai sensi della normativa vigente, in particolare si è fatto riferimento alla L.R. 12/2005, alla D.G.R. 8/7374/08, al D.P.R. 285/1990, al Regolamento Regionale 06/2004 così come modificato dal Regolamento Regionale 01/2007, al D.M. 14/01/2008 e alla Circolare 02/02/09 "Istruzioni pe l'applicazione nelle NTC" Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Questo documento amplierà la conoscenza del territorio oggetto di studio e delle differenti fonti di rischio in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche. Considerata la situazione al contorno ampiamente urbanizzata si è ritenuto sufficiente lo studio delle aree direttamente interessate dalle strutture cimiteriali ed un minimo intorno e quindi si è passati allo sviluppo in stretta chiave geotecnica. Allo scopo di determinare le caratteristiche geolitologiche e litotecniche dei terreni sono state eseguite due prove penetrometriche e sono stati prelevati due campioni da destinarsi ad analisi di laboratorio. È stata effettuata anche una verifica sismica mediante la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). L'ubicazione delle indagini è riportata in Tavola 1.

La relazione è stata corredata dai seguenti elaborati cartografici:

Tavola 1 – Ubicazione indagini – scala 1:1.000

Sono stati prodotti inoltre i seguenti allegati:

Allegato 1 - Prove penetrometriche

Allegato 2 – Analisi granulometriche

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	2 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Manerbio è sito nella pianura bresciana centrale ed interessa una superficie di 27.86 km². La porzione abitata si concentra nel settore centrale e non sono presenti frazioni. Per questo motivo il cimitero comunale è unico ed è localizzato nel distretto settentrionale dell'abitato comunale a margine della strada provinciale SP 33 per Offlaga così come rappresentato in Figura 1.

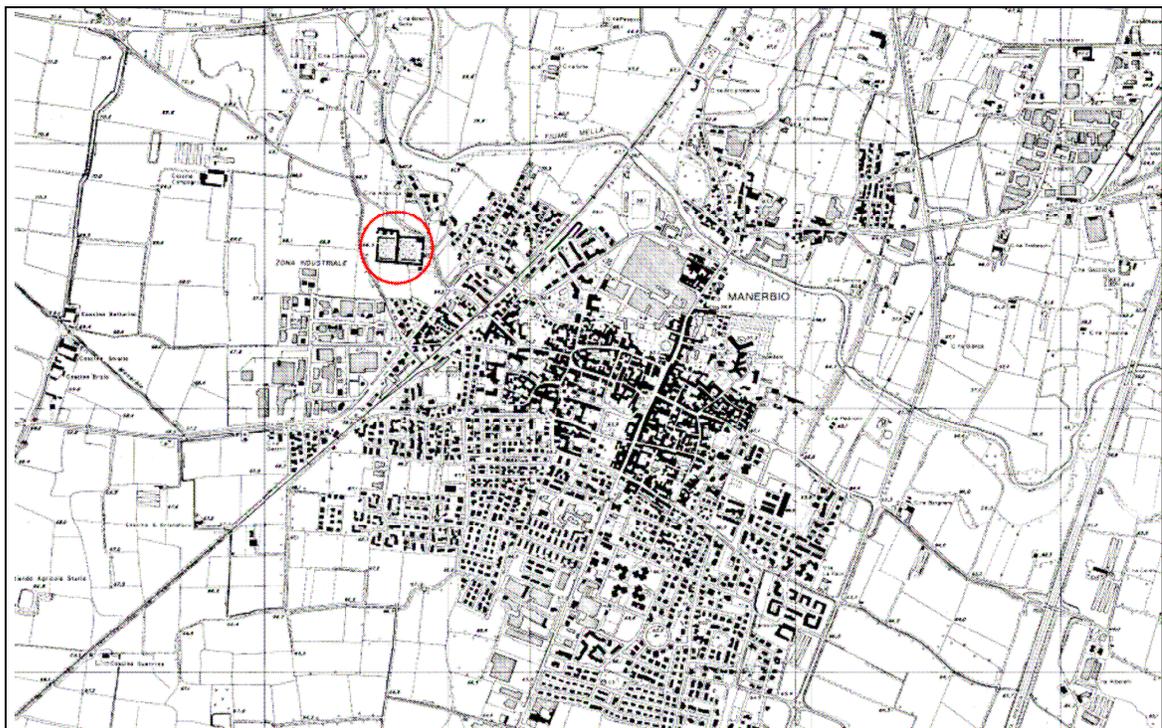


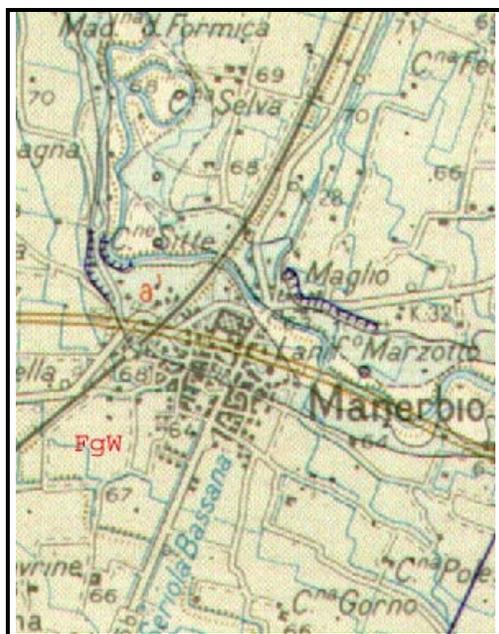
Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

Il cimitero è stato interessato da successivi ampliamenti che hanno portato ad uno sviluppo delle strutture in direzione ovest.



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO E SISMICO

L'assetto geologico dell'area d'intervento è stato determinato durante il Quaternario continentale dagli intensi eventi deposizionali che hanno portato a colmamento il bacino Padano. In particolare, ci si riferisce al Pleistocene e all'Olocene, in cui la nota climatica dominante fu rappresentata da un ripetuto alternarsi di climi caldi e freddi, con una netta tendenza al progressivo raffreddamento, reso evidente con l'avvento delle glaciazioni. I depositi di quest'area sono legati alle dinamiche caratteristiche dell'ambiente fluvio-glaciale e fluviale riferibili come età al Wurm (Alluvioni fluvio-glaciali Wurm – cfr. Figura 2) e costituenti il "**livello fondamentale della pianura**" (S. Tagliavini e F. Petrucci – Carta Geologica d'Italia Foglio "Cremona").



Legenda:

F_G^w Alluvioni Fluvio-glaciali

Figura 2 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia foglio Brescia

La fase fluviale würmiana ha originato l'ultimo esteso colmamento della pianura nel Pleistocene. La successiva fase erosiva, iniziata nell'Olocene, è responsabile della zona ribassata delimitata da scarpate entro cui oggi scorre il fiume Mella, che attraversa il territorio comunale lungo il limite nord. La geologia profonda (sedimenti pre-quaternari), le cui strutture

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	4 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



non condizionano le forme superficiali, è caratterizzata da un'ampia monoclinale che immerge verso Sud, con pendenza decrescente all'aumentare della profondità. La diminuzione della pendenza della monoclinale è localmente favorita dall'intersezione di sedimenti pliocenici, che risultano aver smussato le irregolarità dovute all'antecedente tettonica alpina. Importanti anomalie all'andamento regolare della monoclinale sono rappresentate dalla dorsale orientata SW-NE ovvero da Orzinuovi a Mazzano. Detta dorsale sepolta è responsabile dell'emergenza dei rilievi di Pievedizio–Monte Netto-Castenedolo-Ciliverghe. Allo stato attuale si può affermare che il territorio comunale di Manerbio è interessato soltanto da una debole subsidenza che per il suo carattere regionale, non influenza i manufatti già realizzati o da realizzarsi.

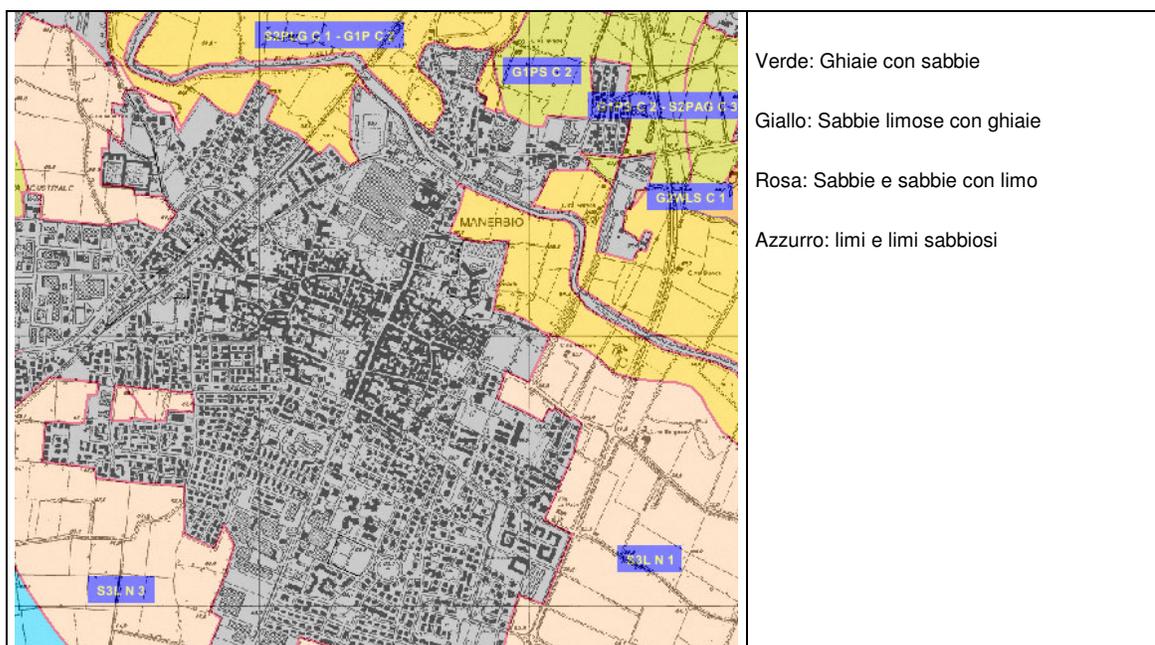


Figura 3 – Stralcio della Carta litologica della Regione Lombardia

La litologia superficiale (Figura 3) risulta costituita da terreni essenzialmente sabbioso-limosi alternati senza l'evidenza di un limite preciso proprio perché legati alle dinamiche deposizionali fluviali, che costituiscono generalmente depositi gradati in senso orizzontale con diminuzione della granulometria allontanandosi dalle zone ad elevata energia. I limiti

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	5 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



evidenziati sono quindi indicativi e sostanzialmente determinano la prevalenza di un litotipo sull'altro (% di sabbia e % di limo). L'attuale assetto del territorio è correlato ai processi legati all'azione delle acque superficiali prevalentemente incanalate ovvero all'azione di erosione, deposito e trasporto dei corsi d'acqua, variamente influenzati dalle oscillazioni climatiche e dalla tettonica. Morfologicamente l'area risulta pianeggiante, alla quota di circa 67.0 m.s.m., con cadente topografica verso NE e gradiente nell'ordine dello 0.3 % in ragione della vicinanza con l'area terrazzata del fiume Mella posta subito a nord. Il corso d'acqua scorre a circa 300 metri di distanza in direzione nord ed a quote inferiori del p.c. di oltre 10.0 metri. Per questo motivo si esclude il rischio di esondabilità dell'area.

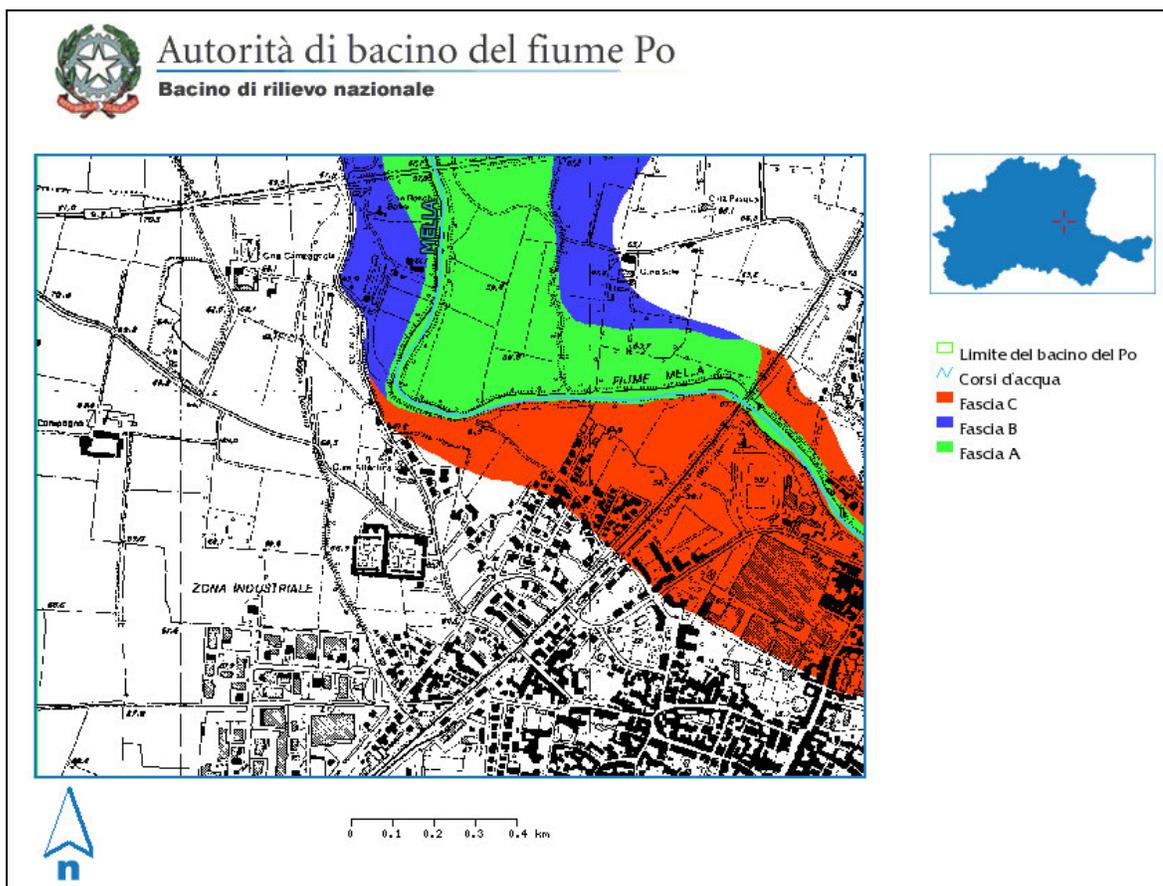


Figura 4 – Fasce di esondazione fiume Mella (da GIS ADBPO)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	6 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Questa indicazione è avvalorata dagli studi eseguiti dall'Autorità di Bacino nell'ambito del Piano stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) che ha individuato le varie zone di esondazione in funzione del tempo di ritorno delle piene. Come si può notare in Figura 4, l'area del cimitero è esterna alle fasce di esondazione. Viste l'attuale assetto geoclimatico non sono stati rilevati forme o processi geomorfologici attivi e si esclude l'esondabilità dell'area.

3.1. Litostratimetria

La litostratimetria dell'area è stata desunta dagli studi effettuati nella zona, ed in particolare dai dati riportati nei Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque n.28. Sulla base dei dati acquisiti l'assetto stratigrafico si configura come rappresentato in Figura 5, conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dalla dinamica fluvioglaciale e fluviale legata ad ambienti ad alta energia, con significative variazioni d'alveo e ad buona competenza.

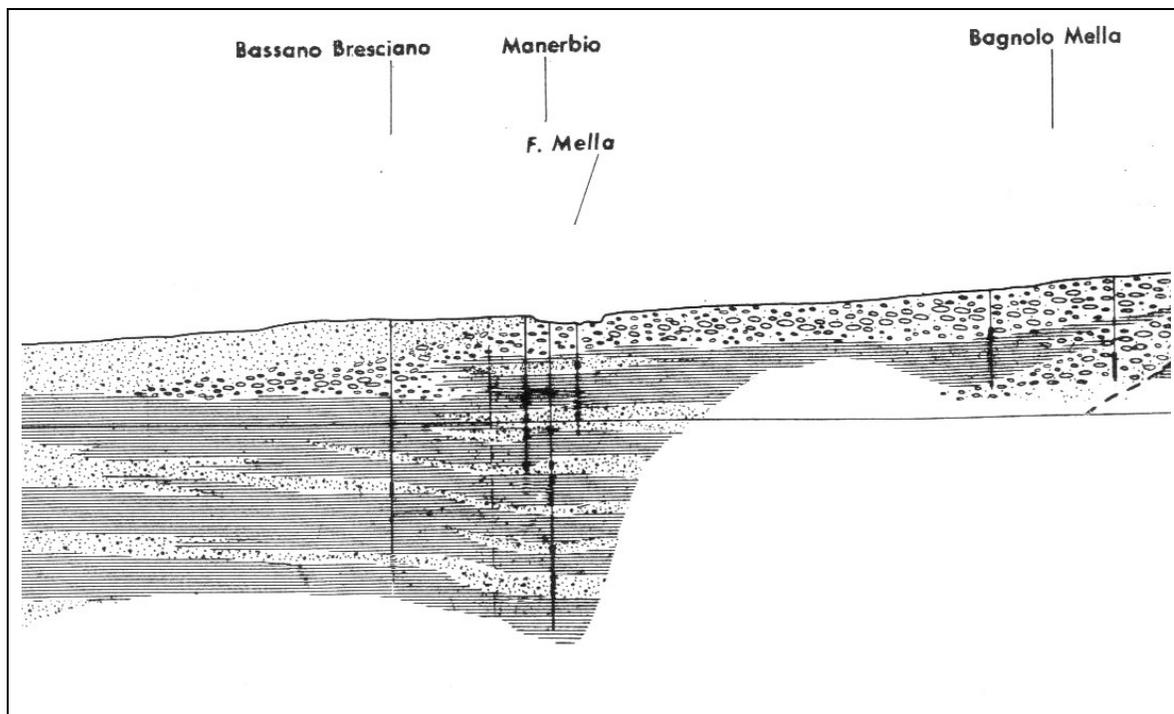


Figura 5 – Sezione S - N dell'area in studio

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	7 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Ben visibile il passaggio litologico in corrispondenza del territorio comunale di Manerbio, dove si passa dalle ghiaie e sabbie alle sabbie prevalenti. Per la caratterizzazione litostratimetrica di dettaglio si è fatto riferimento ai dati di alcuni pozzi ed ai risultati delle prove penetrometriche. Nei primi quaranta metri da p.c. sono prevalenti le sabbie, accompagnate da frazioni variabili di ghiaie, intercalate da livelli limoso/argilloso dello spessore variabile tra 2 e 6 metri. Più in profondità si assiste invece alla prevalenza di litologie fini, limi e argille intercalate a livelli sabbiosi di ridotto spessore. Per il dettaglio dei primi metri da piano campagna si è fatto riferimento ai risultati delle prove penetrometriche. In generale si assiste alla presenza di una copertura sabbioso/limosa fittamente stratificata dello spessore di circa 0.6/0.8 metri seguita da un livello variamente addensato di sabbie, talora accompagnato da ghiaie minute sino a alla profondità massima raggiunta di 6.60 metri da p.c..

3.2. Idrogeologia

Le informazioni relative ai sondaggi penetrometrici e gli studi eseguiti nell'area e nel suo contorno, permettono di definire con sufficiente precisione le caratteristiche idrogeologiche sia generali che locali. L'acquifero sottostante l'area di intervento rappresenta un sistema multistrato variamente suddiviso in comparti, sviluppato a scala regionale, e che l'indagine in oggetto ha esaminato solamente per la sua porzione più superficiale. Gli strati permeabili, ad eccezione del primo, sono delimitati a tetto ed a letto, da livelli fini la cui presenza determina un deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi più permeabili e di conseguenza la circolazione idrica si sviluppa prevalentemente in livelli sovrapposti. Questi setti a permeabilità ridotta non presentano una continuità tale da separare gli acquiferi che possono essere ricondotti ad un'unica circolazione idrica sotterranea. L'unità più superficiale è caratterizzata da depositi sabbiosi con intercalazioni ghiaiose e limoso-argillose ed è presente fino a 30-40 m di profondità. Considerata la permeabilità della copertura si può classificare del tipo a pelo libero. A partire da circa 30-40 m di profondità la granulometria dei depositi diminuisce sensibilmente e sono presenti livelli sabbiosi, più raramente sabbioso-ghiaiosi, intercalati a

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	8 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



livelli limoso-argillosi che assumono spessori anche notevoli e sufficienti a renderli confinati ed a impedire rapidi scambi con gli orizzonti contigui, assumendo nel contempo carattere artesiano. Ulteriori differenze tra l'acquifero superficiale, con falda freatica a pelo libero, e quelli profondi, con falda confinata, sono da ritrovare nei regimi di ricarica :

- la ricarica dell'acquifero superficiale avviene dall'infiltrazione delle precipitazioni e dalla dispersione di subalveo dei corsi d'acqua principali e dei canali artificiali con cui è in diretta connessione idraulica;

- la ricarica degli acquiferi più profondi proviene dalle aree a monte, dove i depositi fluvioglaciali affiorano.

Sulla base di numerosi studi effettuati nell'area si evince che l'andamento della superficie della falda risulta piuttosto regolare, indicando una debole pendenza in direzione SE con gradiente dello 0.2 - 0.3% come indicato in Figura 6. Tuttavia vista la vicinanza della valle fluviale si presume che localmente la superficie freatica risenta dell'azione di richiamo del fiume e quindi assuma un andamento leggermente differente, maggiormente orientata verso l'alveo del fiume e quindi in direzione NNE. In questo tratto di pianura il Mella assume un carattere prevalentemente drenante ovvero i livelli freatici sono costantemente ad una quota superiore ai livelli del fiume, per cui si ha un flusso dalla falda al fiume.

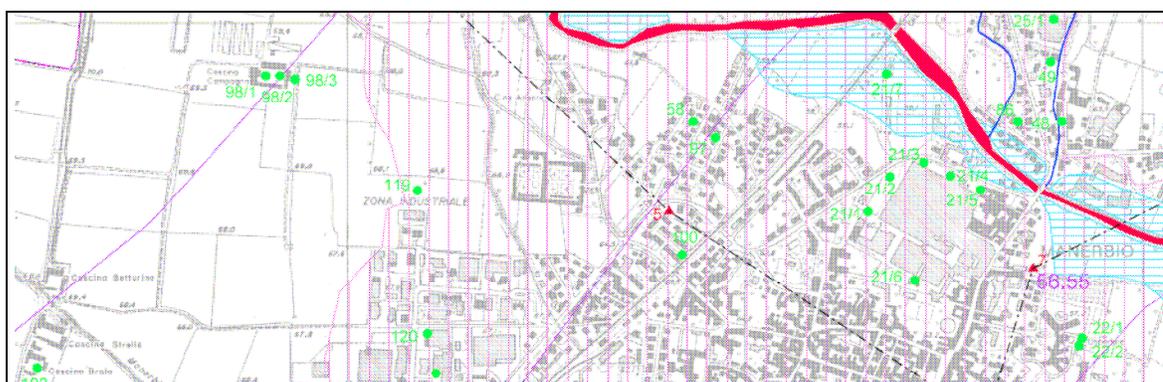


Figura 6 - Carta delle isopieze da PGT

Dalla cartografia idrogeologica allegata alla componente geologica del PGT si desume che la soggiacenza della superficie freatica è posta a circa 8/9 metri da p.c. (nella Figura 6 il

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	9 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



cimitero è compreso tra le isopieze 60 e 58). Durante l'indagine geognostica dell'Agosto 2014 la falda non è stata intercettata dalle prove penetrometriche, pertanto si presume depressa oltre la profondità massima raggiunta (6.60 m da p.c.). In ragione della mancanza di uno strato di protezione a bassa permeabilità e della contenuta soggiacenza della falda, la vulnerabilità a fenomeni di inquinamento e contaminazione per infiltrazione dalla superficie dell'acquifero freatico si configura alta in accordo con quanto indicato nella cartografia tematica sviluppata a corredo del P.G.T.

3.3. Sismicità

La verifica del rischio sismico si è resa altresì necessaria in merito alla recente adozione, con Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08 maggio 2003, dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e delle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, così come modificata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316.

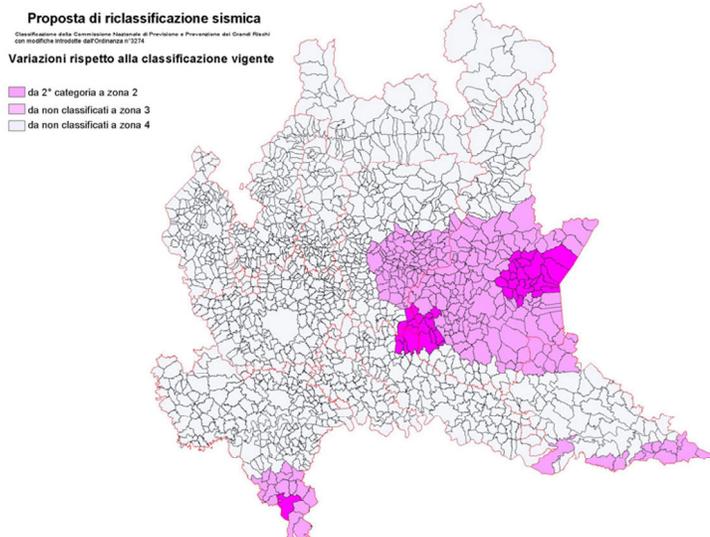


Figura 7 - Proposta di riclassificazione sismica 2003

Secondo tale ordinanza, in prima applicazione, ovvero sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche sono individuate sulla base del documento "Proposta di

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	10 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



riclassificazione sismica del territorio nazionale” elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997. L'entrata in vigore di tale ordinanza è stata più volte prorogata sino al 23 ottobre 2005, quando con l'entrata in vigore delle “Norme tecniche per le costruzioni” il grado di sismicità è stato riconfermato, così come modificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316 e n° 3431. La classificazione proposta ordina il territorio comunale di Manerbio (codice ISTAT 03017103) come ricadente nella zona 3 (cfr. Figura 7) a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale compresa tra 0,05 e 0,15 a_g/g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Anche la recentissima Delibera della Giunta Regionale n. X/2129 del 11.07.2014 ha riconfermato Manerbio in zona 3.

In riferimento alla pericolosità sismica locale, l'area ricade nella classe Z4a, ovvero *Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi e* quindi classe di pericolosità sismica H2 conseguente a possibili amplificazioni sismiche dovute alla litologia. In base agli approfondimenti effettuati dal PGT volti alla misurazione delle Vs30 con la profondità per la definizione dell'eventuale amplificazione litologica degli eventi sismici è risultato comune a tutte le linee effettuate che i valori di Fa calcolati sono sempre inferiori a quelli forniti dalla Regione Lombardia. In tutte le aree indagate soggette a predominante rischio di tipo litologico (scenario di PSL Z4) non sono pertanto necessarie indagini di III livello. Di seguito sono riportati i valori delle accelerazioni corrispondenti ai diversi stati limite attesi (SLO, SLD, SLV, SLC) calcolati per l'area in studio. I parametri utilizzati sono leggibili direttamente nello schema di Figura 8. Per il calcolo dei fattori il cimitero è stato considerato come un edificio di classe 3 in ragione dei possibili significativi affollamenti che si possono raggiungere seppure in modo occasionale.

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	11 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Coordinate WGS84

Latitudine

Longitudine Cerca

Isole -- Seleziona --

Classe dell'edificio

III. Affollamento significativo... Cu = 1.5

Vita nominale 50

(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione Media ponderata

Calcola

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0,045	2,445	0,231
Danno (SLD)	75	0,057	2,461	0,251
Salvaguardia vita (SLV)	712	0,150	2,440	0,281
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,195	2,442	0,286
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo C

Categoria topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,48	1,41
Cc* Coeff. funz categoria	1,70	1,66	1,60	1,59
St* Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,017	0,053	0,066
kv	0,007	0,009	0,027	0,033
Amax [m/s ²]	0,661	0,842	2,173	2,693
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Figura 8 – Calcolo dei parametri sismici dell’area di lottizzazione

Con riferimento alle nuove costruzioni si rimanda alle indicazioni ed ai criteri di calcolo previsti dalla nuova normativa.



3.4. Indagini sismica

3.4.1. Tecnica di misurazione e strumentazione

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui. La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un tromografo digitale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza). Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito;
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità;

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	13 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

3.4.2. Effetti di sito: risposta sismica locale

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici durante un evento sismico. Infatti, mentre le onde di compressione (P) agiscono sulle sovrastrutture in direzione prevalentemente verticale (moto sussultorio), le onde S sollecitano le stesse con forze di taglio lungo il piano orizzontale (moto ondulatorio), dove gli elementi strutturali sono più vulnerabili. Nelle analisi di pericolosità sismica è quindi fondamentale esaminare in dettaglio in che modo le onde S si propagano. E' infatti ampiamente dimostrato che questo tipo di oscillazione durante il percorso verso la superficie può subire un'azione di filtraggio che tende a ridistribuire l'energia associata al treno d'onda, concentrandola in determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione dei terreni attraversati. L'effetto finale è quello di amplificare le onde S che andranno a sollecitare l'opera. Questo fenomeno può essere dovuto sia a particolarità topografiche del sito (amplificazione topografica), come valli sepolte o zone di cresta o di versante in pendii naturali o artificiali, sia a variazioni brusche nelle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati lungo la verticale (amplificazione stratigrafica). Lermo e Chavez-Garcia (1993), basandosi sul lavoro di Nakamura (1989), suggeriscono che lo spettro H/V possa essere visto, a tutti gli effetti, come rappresentativo della funzione di trasferimento del moto sismico dal bedrock alla superficie. Secondo questi Autori quindi le ampiezze dei picchi stratigrafici nello spettro H/V possono essere interpretate direttamente come fattori di amplificazione del moto sismico, almeno per quanto riguarda la componente stratigrafica.

3.4.3. Profilo velocità delle onde S e classificazione del sottosuolo secondo il d.m. 14.01.2008

Il D.M. 14.01.2008 propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, il metodo di Borchardt (1994) basato sulla

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	14 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



stima del parametro V_{s30} . Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Sulla base del valore calcolato di V_{s30} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO					
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	Vs (m/s)	Nspt	Cu (kPa)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	≥ 800		
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	≥ 360 ≤ 800	>50	>250
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	≥ 180 ≤ 360	>15 <50	>50 <250
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	< 180	<15	>70
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ($V_{s30} > 800$ m/s).	Fino a 20 m	\approx C e D	\approx C e D	\approx C e D
CATEGORIE AGGIUNTIVE DI SOTTOSUOLO					
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.				
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.				

Una valutazione del parametro V_{s30} può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il tromografo digitale. In pratica viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (Vs):



dove h è la profondità della base dello strato. Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata. Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche profonde. Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, non da origine a picchi nello spettro H/V, queste non possono essere rilevate direttamente. Un indizio della presenza di inversioni di velocità può essere fornito però, indirettamente, dall'andamento dello spettro H/V: ampi intervalli di frequenza in cui costantemente il rapporto H/V si mantiene minore di uno sono spesso associabili a variazioni negative delle velocità con la profondità. Si tenga presente infine che in realtà i microtremori sono costituiti in parte da onde di superficie e non solo quindi da onde di taglio, ma poiché le velocità dei due tipi di oscillazione sono confrontabili la procedura descritta può essere impiegata senza introdurre errori significativi.

3.4.4. Vulnerabilità sismica dell'opera

Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma. E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di edificazione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende a aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura. In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera.

Nel caso di edifici in fase di progettazione o di realizzazione la frequenza di risonanza fondamentale dell'opera può essere valutata con formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 14.01.2008:

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	16 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}}$$

in cui C_1 è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva.

Tipologia	C_1
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

La relazione è valida per edifici con Z non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza. Negli edifici esistenti il valore della frequenza fondamentale di risonanza può essere invece misurato direttamente con il tromografo digitale. In questo caso è necessario misurare il rapporto H_i/H_0 , dove H_0 è lo spettro della componente orizzontale, lungo X o Y , riferita al piano terra e H_i la stessa componente misurata al piano i -esimo. Nella pratica spesso si eseguono solo due misure, ubicate lungo la stessa verticale, una al piano terra e una all'ultimo piano dell'edificio. Il picco positivo massimo dello spettro H_i/H_0 indica direttamente la frequenza di risonanza fondamentale della struttura.

3.4.5. Risultati dell'analisi

Si riportano di seguito in Figura 9 gli spettri H/V e V registrati nel sito di misura. Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

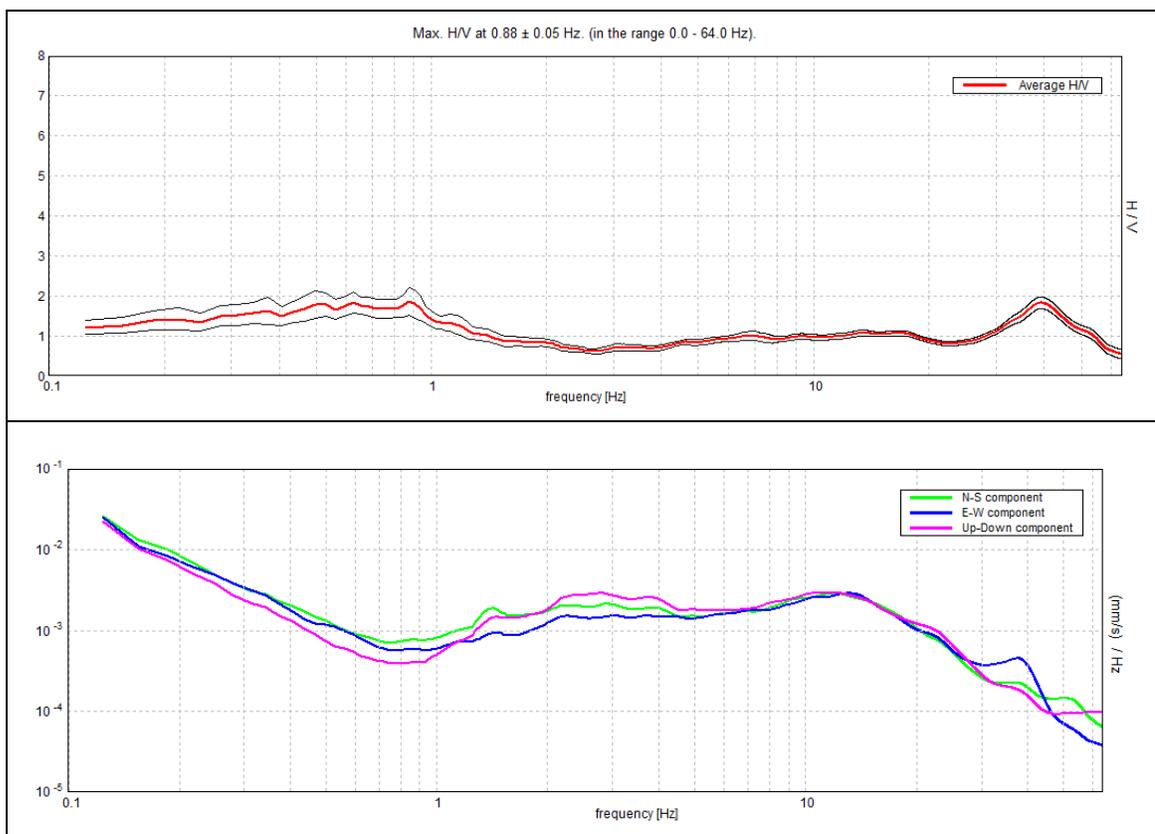


Figura 9 – Andamento degli spettri

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati (Figura 10).

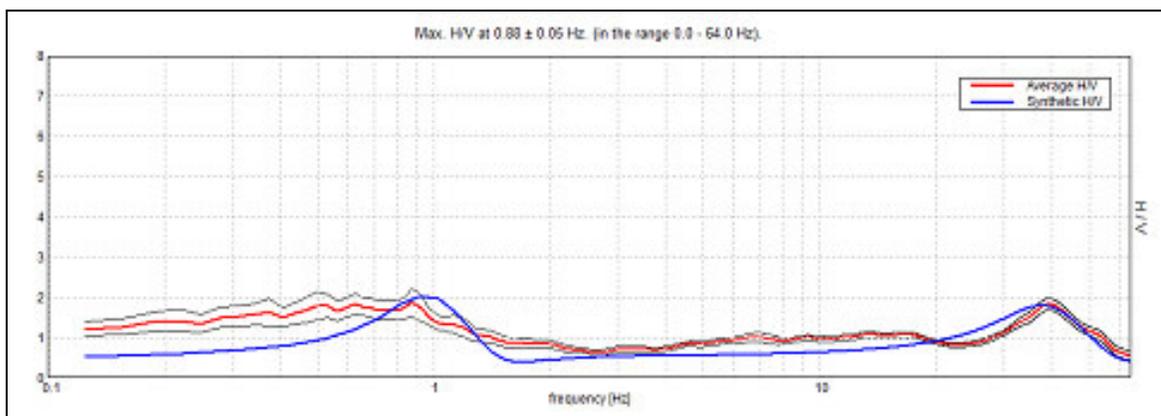


Figura 10 – Andamento della frequenza caratteristica



L'inversione ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità. Il valore di V_{s30} calcolato è risultato uguale a 370 m/s (Figura 11) che pone il sito nella categoria di sottosuolo C secondo il D.M. 14.01.2008.

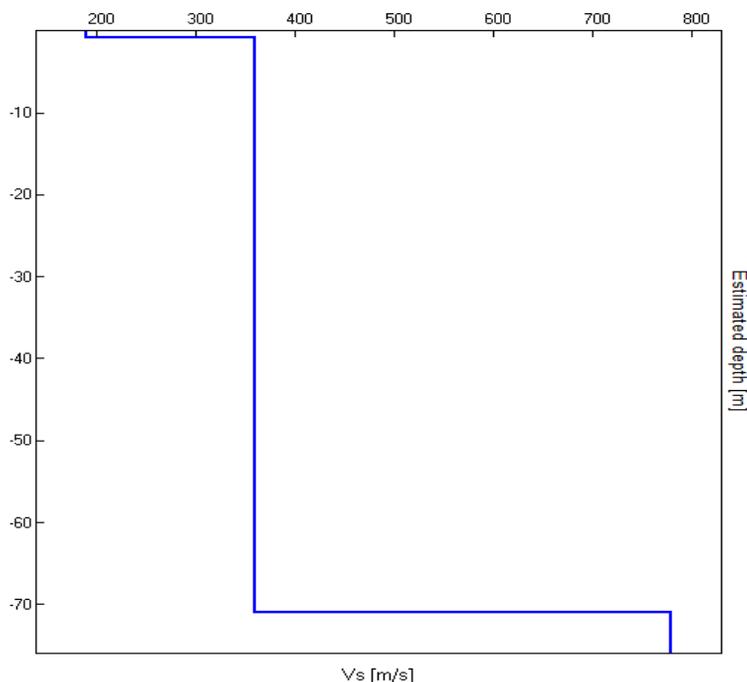


Figura 11 – Andamento Vs30 con la profondità

3.4.6. Verifica alla liquefazione

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	19 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



profondità. Quindi, maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

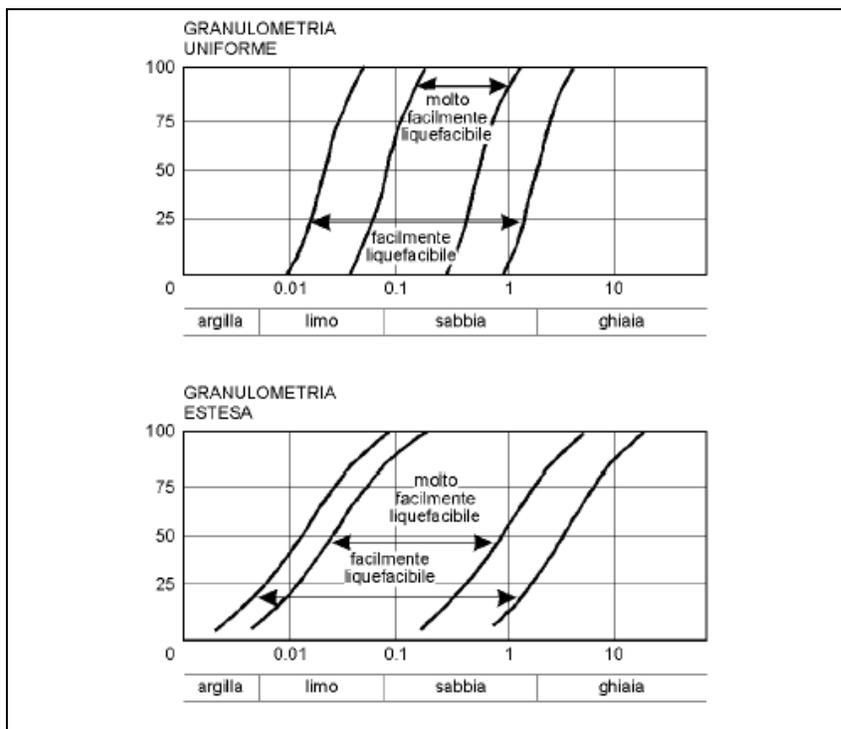


Figura 12 – Valutazione della suscettibilità alla liquefazione – fasce granulometriche critiche

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e



bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. I depositi sabbiosi sotto falda sono i terreni con più alto potenziale di liquefazione in particolare se sono di recente (in termini geologici) deposizione, e di granulometria fine o media come riportato nella Figura 12. Il metodo utilizzato per esprimere la suscettibilità alla liquefazione è quello elaborato da Seed ed Idriss (1982) che verifica il rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T) attraverso un coefficiente di sicurezza, che deve risultare almeno pari a 1.3. Cioè in pratica si avrà:

$$F_s = R / T \geq 1.3$$

La grandezza T viene ricavata dalla:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d MSF ;$$

1

La grandezza R viene ricavata dalla:

$$R = Na / 90$$

dove:

$$N_a = N_{sp} \left(\frac{1.7}{\sigma_v + 0.7} \right) + N_1$$

In ragione della soggiacenza della falda e del grado di addensamento dei depositi si esclude la possibilità che si inneschino fenomeni di liquefazione. Si ritengono pertanto verificate le condizioni di sicurezza di cui sopra.

3.5. Fattibilità

L'area in studio è identificata nel PGT con la classe di fattibilità 3d ovvero fattibilità con consistenti limitazioni (Figura 13) per motivi idrogeologici. In particolare le prescrizioni dettate dalle Norme tecniche di attuazioni sono le seguenti: "La realizzazione di insediamenti produttivi assoggettati alla disciplina di cui all'art. 3 del Regolamento regionale 24 marzo 2006

¹ Metodo del GNDT - CNR

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	21 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



n.4 (per quanto concerne lo smaltimento delle acque di prima pioggia) è subordinata all'effettuazione di un'indagine idrogeologica di dettaglio che accerti la compatibilità dell'intervento con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee e, se necessario, dia apposite prescrizioni sulle modalità di attuazione degli interventi stessi.”

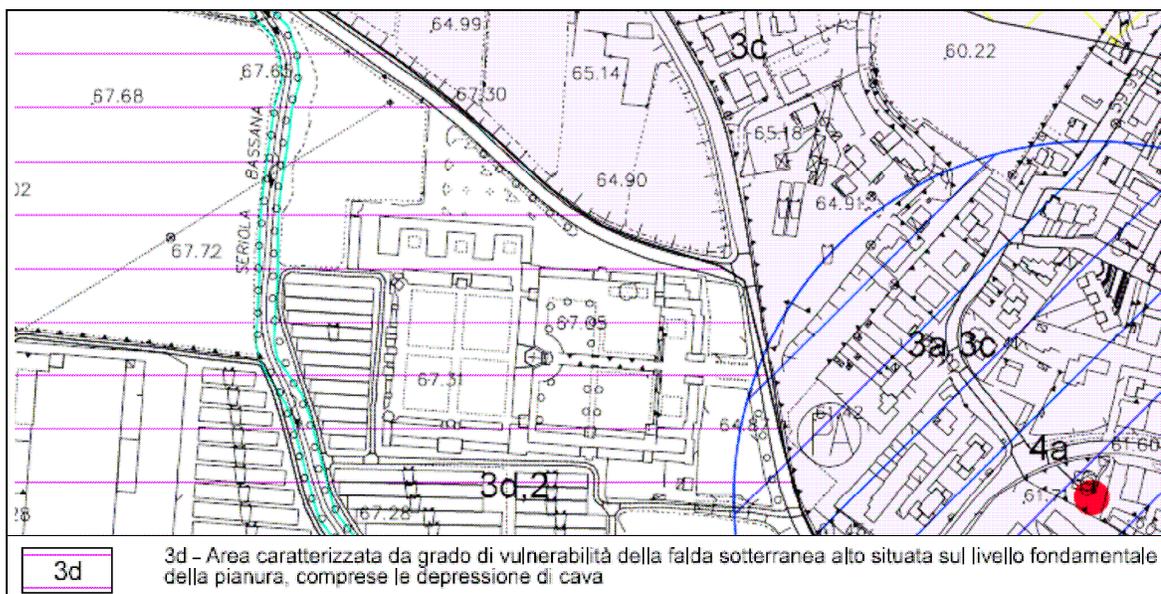


Figura 13 – Stralcio della carta della fattibilità di PGT

Al riguardo si deve rilevare che la soggiacenza della falda è nell'ordine dei 7.0 metri o superiore e pertanto sufficiente a garantire tutti i requisiti minimi di sicurezza proposti dalla vigente normativa. In particolare l'art. 57 del DPR 285/90 e l'art. 15 del RR 06/2004 fanno riferimento ad una distanza minima dal livello di falda delle fosse di inumazione, che non deve essere inferiore a 50 cm.



4. GEOTECNICA

La definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione è stata effettuata sulla base dei risultati dei valori di resistenza penetrometrica delle prove eseguite e dai dati bibliografici validi per litologie simili. Sono state effettuate due prove penetrometriche una statica e una dinamica per caratterizzare i terreni di fondazione sino ad una profondità di circa 6.60 metri da piano campagna. La prova penetrometrica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando la forza necessaria (prova statica) o il numero di colpi N necessari (prova dinamica) (Figura 14).

DIMENSIONI E PESI				DATI TECNICI		
	DP	CPT	DP + CPT			
H [mm]	1600	1480	1600	Motore	Tipo	Benzina; 2 cil.; V
L [mm]	2450	2200	2450		Potenza [HP (kW) - RPM]	16 (12) - 3600
P [mm]	1040	1040	1040		Raffreddamento	Aria
Peso [kg]	910	810	980	Traslazione	Cingolato a trasmissione idrostatica	Cingolato Gommato
					Velocità di traslazione [km/h]	0 ÷ 1.8
					Pendenza Max %	25
				Pompa Idraulica	Numero di Pompe	2
					Max. pressione operativa [bar]	245
				Stabilizzatori	Numero	3
					Tipo	Idraulico



Figura 14 – Penetrometrica dinamico superpesante e statico da 20 ton

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un’immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. Nella prova penetrometrica statica lo sforzo necessario per l’infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica o attraverso una cella di carico a lettura digitale. La



punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**". Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica \varnothing = 35,7 mm
- area di punta A_p = 10 cm²
- angolo di apertura del cono α = 60 °
- superficie laterale del manicotto A_m = 150 cm²

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione. Nella prova penetrometrica dinamica invece lo sforzo necessario per l'infissione è misurato dal numero dei colpi del maglio le cui caratteristiche tecnico-strumentali sono le seguenti (DPSH):

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	7 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	8 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1.15
Rivestimento/fanghi	Si
Angolo di apertura punta	60°

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta uno dei mezzi più diffusi per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti



riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova (differente da quelle eseguite), pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove: $\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.



Figura 15 – Ubicazione prove

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	25 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Le risultanze stratigrafiche delle prove penetrometriche dinamiche sono riportate in Allegato 1 complete dei diagrammi e delle letture. L'ubicazione delle indagini invece è riportata in Tavola 1 ed in Figura 15. Non è stato possibile eseguire entrambe le prove statiche perché nel settore settentrionale esterno al cimitero sono presenti diffusi riporti anche grossolani che hanno impedito l'ancoraggio del penetrometro.

4.1. Modello geotecnico

Per la definizione dei parametri geotecnici si è fatto riferimento alle usuali correlazioni semiempiriche che definiscono i valori di coesione non drenata c_u , angolo di attrito interno ϕ , densità γ , e modulo elastico E , in relazione alla resistenza penetrometrica. Sulla base delle correlazioni effettuate e delle litologie individuate si può affermare che i depositi presentano comportamento granulare predominante. In particolare la densità relativa si attesta su valori elevati sin dai primi metri, raggiungendo il 70% ed oltre dopo i 2.60 metri da p.c.. L'andamento è rappresentato in Figura 16.

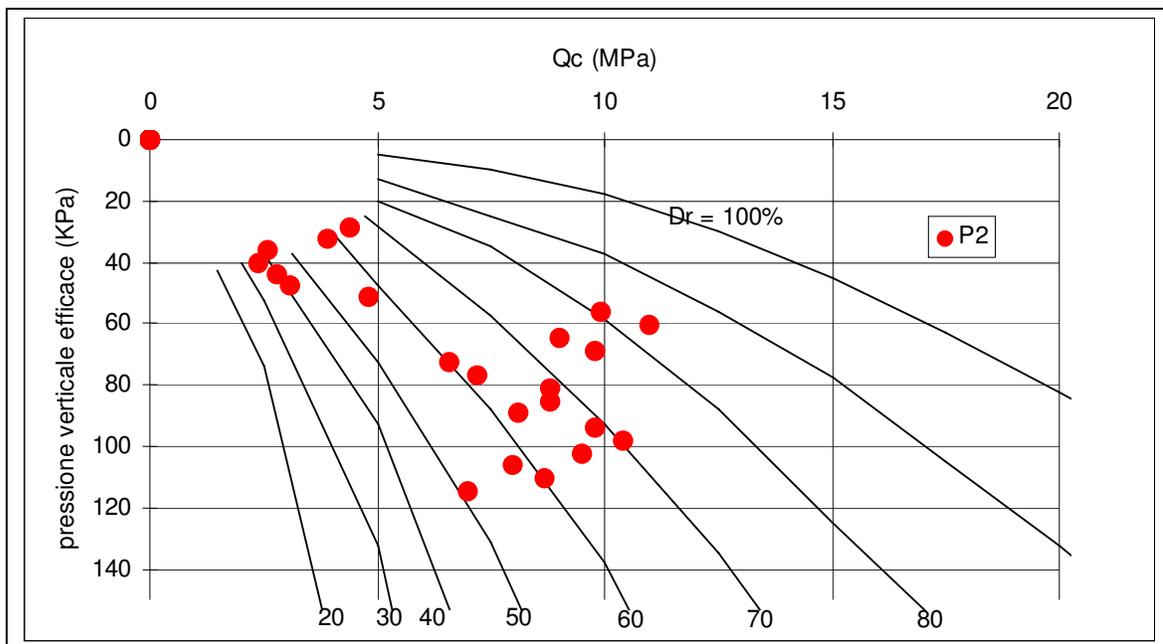


Figura 16 – Andamento della densità relativa in P2



Lo studio dei parametri deve essere però sviluppato in termini non più deterministici ma bensì aleatori, cioè ciò che prima era identificato da un valore adesso è descritto da una variabile che rappresenta un insieme di numeri riferiti alla stessa grandezza fisica. La distribuzione di questa grandezza può quindi essere rappresentata da una funzione continua di tipo normale (gaussiano) dove sulle ascisse sono riportati i valori della variabile (F_s) e sulle ordinate la loro frequenza. Una evoluzione di questa particolare funzione è chiamata distribuzione di Student che ben si adatta nei casi in cui si può assistere a compensazione. Nel caso in esame per compensazione si intende il seguente concetto: il volume della eventuale massa interessata dal sovraccarico delle fondazioni è maggiore della scala di fluttuazione dei parametri che la governano, cioè di quelle porzioni di terreno che presentano geometrie o valori di resistenza differenti. E' pertanto plausibile che nel volume della massa instabile siano presenti porzioni di terreno con caratteristiche differenti. In questi casi maggiore è la tendenza a compensare le zone deboli con le forti giustificando il riferimento a valori prossimi ai valori medi. Tutte queste considerazioni sono ritenute valide in assenza di superfici di rottura preferenziali come nel caso in esame. Al fine di operare a favore di sicurezza è stato estratto il valore riferito al 5° percentile della distribuzione, ovvero **il valore caratteristico** tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%. Questa procedura è peraltro documentata negli Eurocodici EC7 ed EC8 ed è stata ripresa nella stesura delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2008. Sulla base delle correlazioni effettuate e della omogeneità dei depositi è stato definito un unico modello geotecnico che può essere così schematizzato partendo dal piano campagna originale:

STRATO A: da p.c. sino a -0.60 m: suolo e/o terreni di riporto. Parametri caratteristici:

$$\gamma = 1.7 \text{ kg/cm}^3.$$

STRATO B : da -0.60 m sino a -2.80 m: depositi granulari mediamente densi.

$$\text{Parametri caratteristici: } \Phi_k = 30^\circ \gamma = 1.9 \text{ kg/cm}^3.$$

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	27 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



STRATO C: da -2.80 m. sino a -5.00 m: depositi granulari densi. Parametri caratteristici: $\Phi_k = 34^\circ$ $\gamma = 1.9 \text{ kg/cm}^3$.

STRATO D: da -5.00 m. sino a -6.60 m: depositi granulari mediamente densi. Parametri caratteristici: $\Phi_k = 30^\circ$ $\gamma = 1.8 \text{ kg/cm}^3$.

La diminuzione dei valori di resistenza e densità è evidente nel settore esterno (P1), mentre internamente (P2) lo strato C potrebbe essere esteso sino a 5.80 m da p.c.

4.2. Analisi delle soluzioni fondali

L'applicazione di un carico concentrato sulla superficie del terreno produce un fascio di reazioni con intensità decrescente allontanandosi in orizzontale ed approfondendosi sulla verticale rispetto al punto di applicazione. In funzione della geometria e delle dimensioni della fondazione o del piano di appoggio, i carichi saranno diffusi a profondità differenti. Le buone proprietà geotecniche dei terreni permettono l'impiego di fondazioni superficiali di qualsiasi tipologia, a plinto, nastriformi o a platea, impostate ad una profondità non inferiore ai 70/80 cm da p.c. in modo da oltrepassare il suolo più rimaneggiato. Durante le operazioni di scavo delle fondazioni si dovrà riservare attenzione alla natura dei depositi e dovranno essere segnalate eventuali difformità o repentine variazioni litologiche non rilevabili dall'indagine svolta. Dovrà essere posta particolare attenzione all'assetto stratigrafico del settore nord interessato da riporti diffusi.

In riferimento all'aggressività dei terreni di fondazione (UNI EN 206-1) questi possono essere classificati come XC2. Il calcestruzzo impiegato per le opere di fondazione dovrà garantire le prestazioni minime riportate nella tabella seguente.

Denom. della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	2a	0,60	30	300

Non essendo previste opere e fondazioni, al momento non è possibile eseguire il calcolo della capacità portante.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	28 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



5. CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEI SUOLI

Attualmente la norma di riferimento con le prescrizioni tecniche riguardanti gli insediamenti cimiteriali è il Decreto del Presidente della Repubblica 10 settembre 1990, n. 285 (G.U. 12.10.1990) ed il Regolamento Regionale 06/2004. Si citano alcune indicazioni di interesse del DPR:

Art. 57.

.....

5. Il terreno dell'area cimiteriale deve essere sciolto sino alla profondità di metri 2,50 o capace di essere reso tale con facili opere di scasso, deve essere asciutto e dotato di un adatto grado di porosità e di capacità per l'acqua, per favorire il processo di mineralizzazione dei cadaveri.

6. Tali condizioni possono essere artificialmente realizzate con riporto di terreni estranei.

7. La falda deve trovarsi a conveniente distanza dal piano di campagna e avere altezza tale da essere in piena o comunque col più alto livello della zona di assorbimento capillare, almeno a distanza di metri 0,50 dal fondo della fossa per inumazione.

Gli articoli del Regolamento Regionale riprendono sostanzialmente i medesimi concetti. A prescindere dagli aspetti geotecnici, sismici e idromorfologici (stabilità e esondabilità) già ampiamente trattati nei capitoli precedenti, assume fondamentale importanza l'idoneità del terreno all'inumazione. La valutazione dell'attitudine di un terreno a favorire una corretta mineralizzazione delle salme dipende da diversi fattori, tra i quali sicuramente i più importanti sono la granulometria, la porosità e la permeabilità del terreno. La letteratura tecnica in merito è piuttosto scarna di studi: nel 1966 Keller diede delle indicazioni circa la granulometria dei terreni adatti a favorire una "decomposizione secca" dei corpi (terreni sabbiosi tra 0.2 e 2 mm di diametro dei clasti), fornendo anche prescrizioni in merito alla distanza minima da mantenere fra profondità di inumazione e quota massima della

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	29 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



superficie di falda e dello strato di risalita capillare. Altri Autori, tedeschi ed olandesi in primo luogo, approfondirono poi l'argomento, ma focalizzando l'attenzione sulla possibilità di contaminazione delle acque di falda da parte dei prodotti della decomposizione. Esiste poi un fuso granulometrico ottimale per il terreno di inumazione messo a punto dalla Provincia Autonoma di Bolzano; tale fuso non è stato pubblicato ufficialmente ma è comunque reperibile in varie pubblicazioni tecniche. La letteratura tecnica è comunque concorde nell'asserire che i terreni più adatti per favorire la mineralizzazione delle salme appaiono essere quelli a composizione prevalentemente sabbiosa, ma contenenti una percentuale di frazione fine (limo + argilla) tale per cui il terreno risulti dotato di una certa coesione, in modo che le pareti di scavo non franino facilmente ma restino compatte durante l'escavazione. Inoltre una eccessiva porosità del terreno, nel caso esso fosse carente di frazione fine, farebbe fuoriuscire all'esterno i gas prodotto della decomposizione. Altre caratteristiche che hanno effetti favorevoli sui processi di decomposizione (Santarsiero et al., 2000) sono un'alta permeabilità del terreno e una bassa umidità dello stesso.

Al fine di verificare gli aspetti sopra descritti sono stati prelevati 2 campioni a profondità comprese tra 1.00 e 1.50 da p.c. e sono stati sottoposti ad analisi granulometrica per via umida e verifica delle proprietà indice. I valori sono riportati in Allegato 2. Il campione C1 è stato prelevato in corrispondenza della prova P1, mentre il C2 in corrispondenza della P2. Per il prelievo sono stati impiegati i dispositivi di ancoraggio del penetrometro che consistono in eliche autoaffondanti del diametro di 10 centimetri. I campioni sono stati inquartati in cantiere e quindi confezionati e conservati in vasi di vetro a chiusura ermetica, in modo da preservare i valori di umidità. Trattasi di sabbie con limo debolmente ghiaiose con caratteristiche come da tabella seguente.

	γ naturale (t/mc)	γ secco (t/mc)	W umidità	N porosità	e indice dei vuoti	CNR UNI 10006
C1	1.52	1.42	6.9	0.46	0.87	A2-4
C2	1.60	1.49	7.2	0.44	0.77	A2-A

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	30 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Come si può notare le caratteristiche dei campioni prelevati sono circa uguali a sottolineare la buona omogeneità e uniformità dei depositi. I valori di permeabilità possono essere ricavati attraverso la formula di Hazen di seguito riportata:

$$K = C * D_{10}^2$$

Il valore risultante è indicativo in quanto i parametri di uniformità ed il valore di D_{10} non rientrano nel range ottimale di utilizzo della formula. I valori della permeabilità si attestano tra 1×10^{-4} m/s e 1×10^{-5} m/s.

E' stato poi sovrapposto il fuso granulometrico dei due campioni con il fuso di riferimento cimiteriale per rilevarne la corrispondenza (Figura 17).

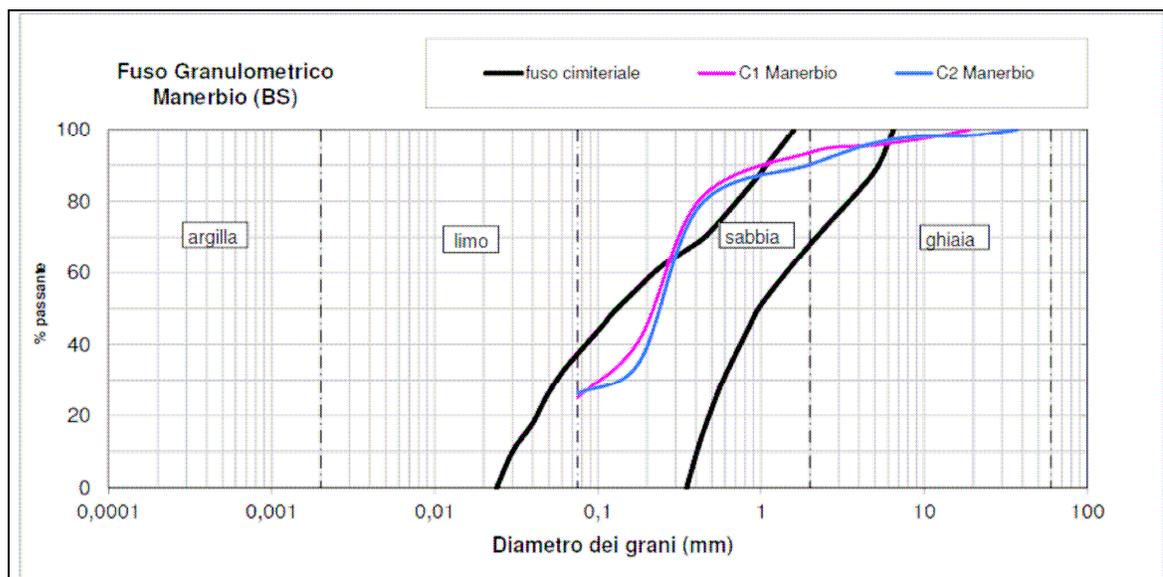


Figura 17 – Fusi granulometri

In ragione dell'assortimento granulometrico e dei parametri sopra riportati i terreni risultano di tipo sciolto (poca matrice coesiva) e a litologia sabbiosa, quindi idonei alla inumazione delle salme. La permeabilità è sufficiente ad evitare il ristagno delle acque e garantire un'adeguata areazione.



6. TERRE DA SCAVO

Si ricorda che tutte le opere che prevedono la produzione di terre da scavo (fondazioni, interrati, sbancamenti etc) sono normate dal D.Lgs 3 aprile 2006 n. 152 (Norme in materia ambientale) e dai relativi Allegati come modificato dal D. lgs. 4/2008 dal D. lgs. 205/2010, dal D.M. 10.08.2012 n.161 e recentemente dalla Legge n.98 del 09.08.2013 conversione del Decreto del Fare. In sostanza la legislazione prevede che le terre prodotte dagli scavi siano considerate rifiuto e come tale debbano essere smaltite, ovvero debbano essere conferite alle discariche autorizzate con la compilazione del formulario. La norma prevede altresì che le terre possano essere esonerate dal regime dei rifiuti purché siano rispettate contemporaneamente le seguenti condizioni:

1. presenza di inquinanti nei limiti di legge
2. effettivo riutilizzo
3. esclusione da preventivi trattamenti per il riutilizzo, ad eccezione delle normali pratiche industriali e di cantiere.

Un ulteriore differenza risiede nella natura autorizzativa dell'opera in progetto che configura scenari diversi nel caso in cui si tratti di Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) o di Verifica di Impatto Ambientale (VIA). In questi casi si applica l'iter previsto dal D.M. 10.08.2012 n.161. Pertanto in tutti gli altri casi, fatte salve le condizioni sopra riportate, i materiali da scavo (di cui all'art.1, comma1, lettera b del D.M. 161/2012) sono sottoposti al regime dei sottoprodotti di cui all'art. 184-bis del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. In base a quanto stabilito dal comma 2 dell'art. 41-bis (legge 98/2013), il proponente o il produttore deve attestare il rispetto delle suddette condizioni tramite dichiarazione resa all'Agenzia regionale per la protezione ambientale (ARPA) ai sensi e per gli effetti del Testo Unico del DPR 445/2000. L'Arpa si riserva la facoltà di effettuare il controllo sia su base documentale, attraverso gli atti in possesso dell'Agenzia, sia attraverso controlli diretti in campo ove lo ritenga necessario e provvedere ad effettuare sopralluoghi ed eventuali campionamenti in contraddittorio con il Proponente, finalizzati a verificare il rispetto dei limiti previsti dalla norma

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	32 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



e come dichiarato nella certificazione. Qualora in accordo al comma 3 dell'art.71 del DPR 445/2000 Arpa rilevi nelle dichiarazioni ricevute e per gli aspetti ambientali di competenza “ delle irregolarità o delle omissioni rilevabili d'ufficio, non costituenti falsità, dà notizia all'interessato di tale irregolarità. Questi è tenuto alla regolarizzazione o al completamento della dichiarazione; in mancanza il procedimento non ha seguito” e, conseguentemente, i materiali da scavo devono essere considerati rifiuti, e come tali trattati. Medesima conclusione è prevista qualora dai controlli effettuati si dimostri che i materiali di scavo non rispettano i requisiti previsti dall'art.41-bis e dall'art.41, comma 3 della L.98/2013, decadendo le condizioni per poterli considerare quali sottoprodotti. In questi casi rientrando nel regime normativo dei rifiuti dovranno essere valutate le conseguenti eventuali ipotesi di reato per il Proponente, il Ricevente, il Trasportatore.

Si ricorda che i reati in campo ambientale sono soggetti a procedimento penale oltre che amministrativo.

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	33 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



7. CONCLUSIONI

L'indagine effettuata e i rilievi eseguiti consentono di trarre le seguenti conclusioni:

1. L'area su cui insiste il cimitero comunale di Manerbio è localizzata su depositi fluvioglaciali e fluviali di natura sabbiosa prevalente.
2. L'area non è interessata da processi geomorfologici attivi o in evoluzione e si esclude l'esondabilità del Mella.
3. Nell'area la falda è depressa oltre i 6.60 metri da p.c.. In ragione della litologia prevalentemente sabbiosa e permeabile la vulnerabilità idrogeologica è alta.
4. La direzione di deflusso della falda è orientata in direzione NNE, in ragione dell'effetto drenante del fiume Mella.
5. L'area in studio ricade nel comune di Manerbio, classificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003 n.3274 come di classe 3.
6. Secondo i disposti dell'Ordinanza Presidente del Consiglio n.3274/2003 i terreni di fondazione sono classificabili come di tipo C.
7. Le buone caratteristiche geotecniche dei terreni permettono l'impiego di fondazioni superficiali di qualsiasi tipologia: lineari, platee, plinti.
8. I terreni presenti nei primi 1.50/2.00 metri da p.c. presentano una granulometria e una porosità idonea all'inumazione delle salme. Il grado di addensamento nei primi metri non è elevato definendo terreni mediamente densi.
9. Le terre da scavo dovranno essere trattate nel rispetto della normativa vigente.

Dr. Geol. Corrado Aletti

Seniga 29.08.2014

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Agosto 2014	0	34 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

A. & P. sas di Dr. Aletti Corrado

Via Ponticella 20

25020 SENIGA (BS) - 3356833813 - alettic@tin.it

Committente: Amministrazione Comunale

Località: Manerbio (BS)

Data: 13.08.2014

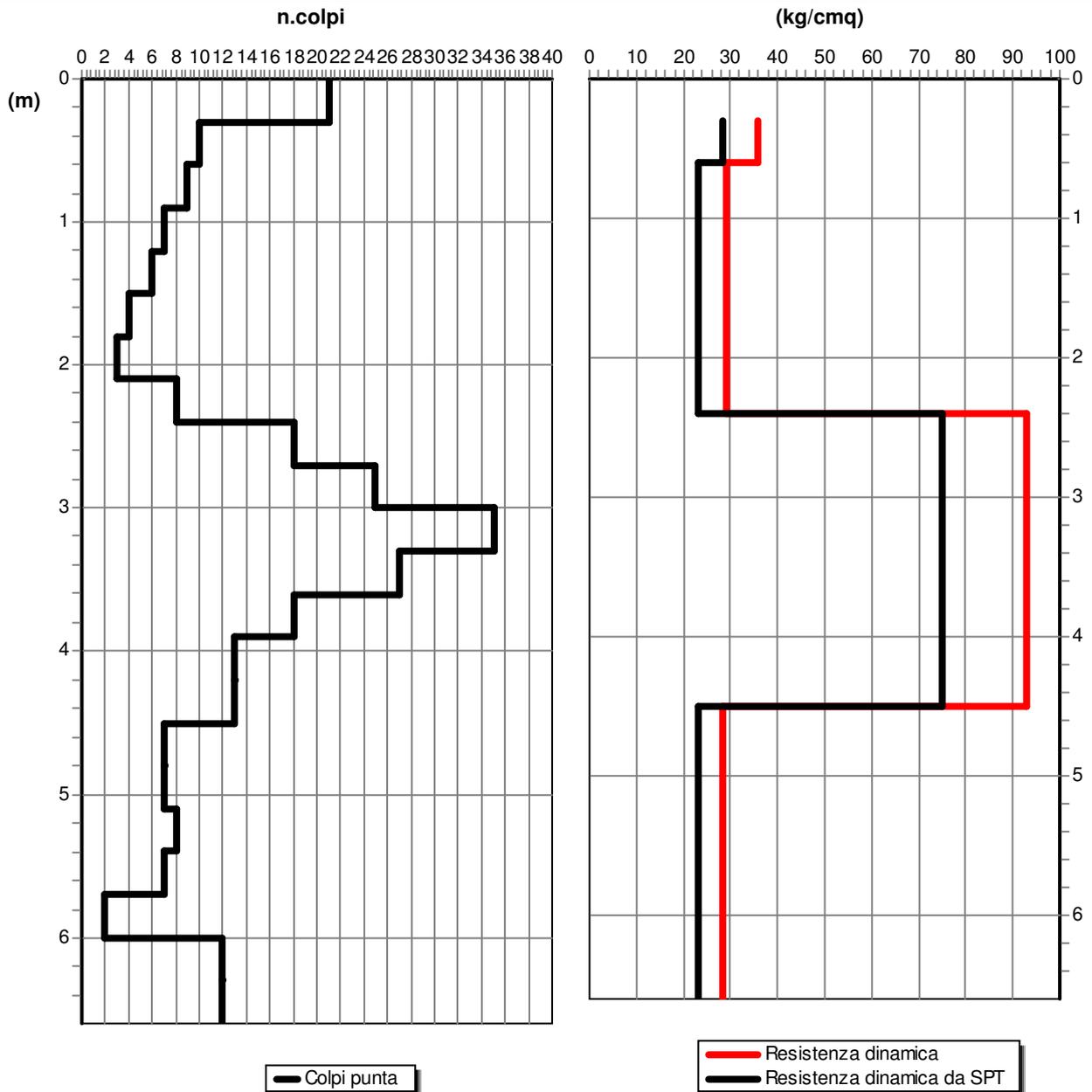
Attrezzatura: Pagani Tg63/2000

Note: Piano Regolatore Cimiteriale

Quota(m): p.c.

Sigla: \P1

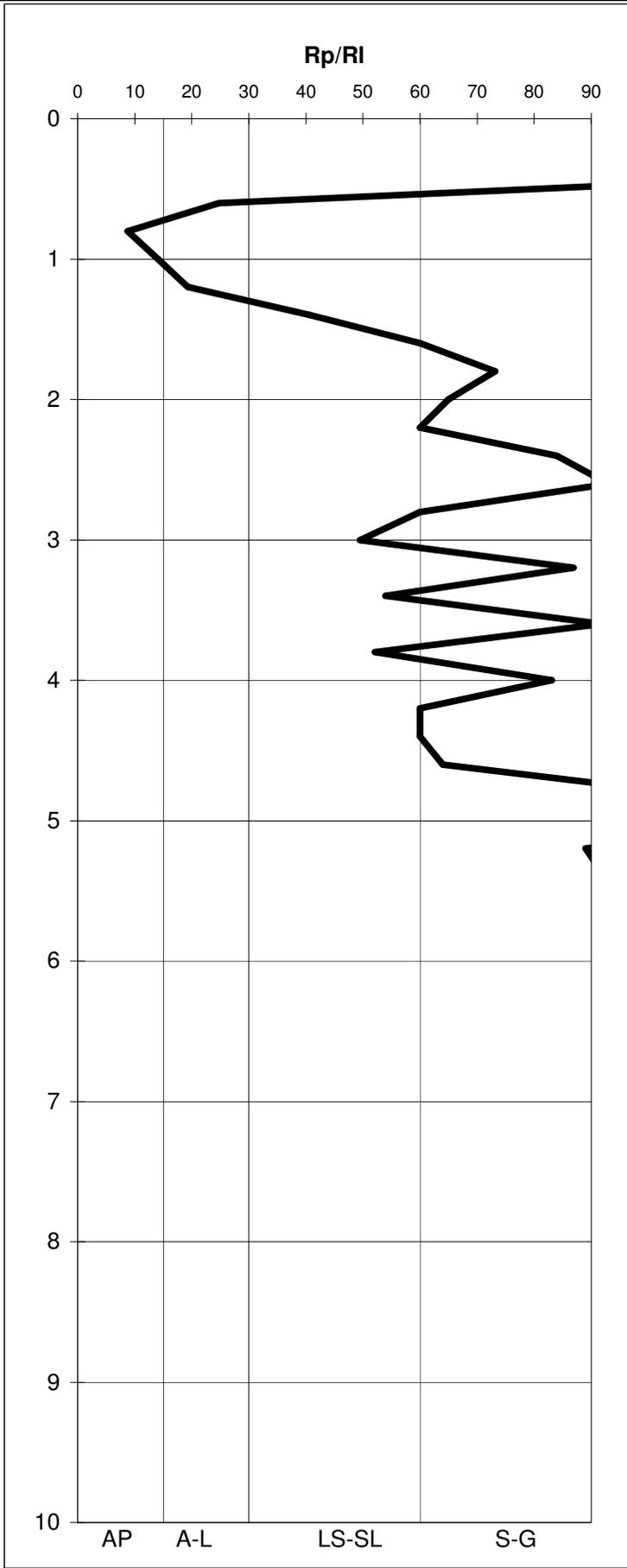
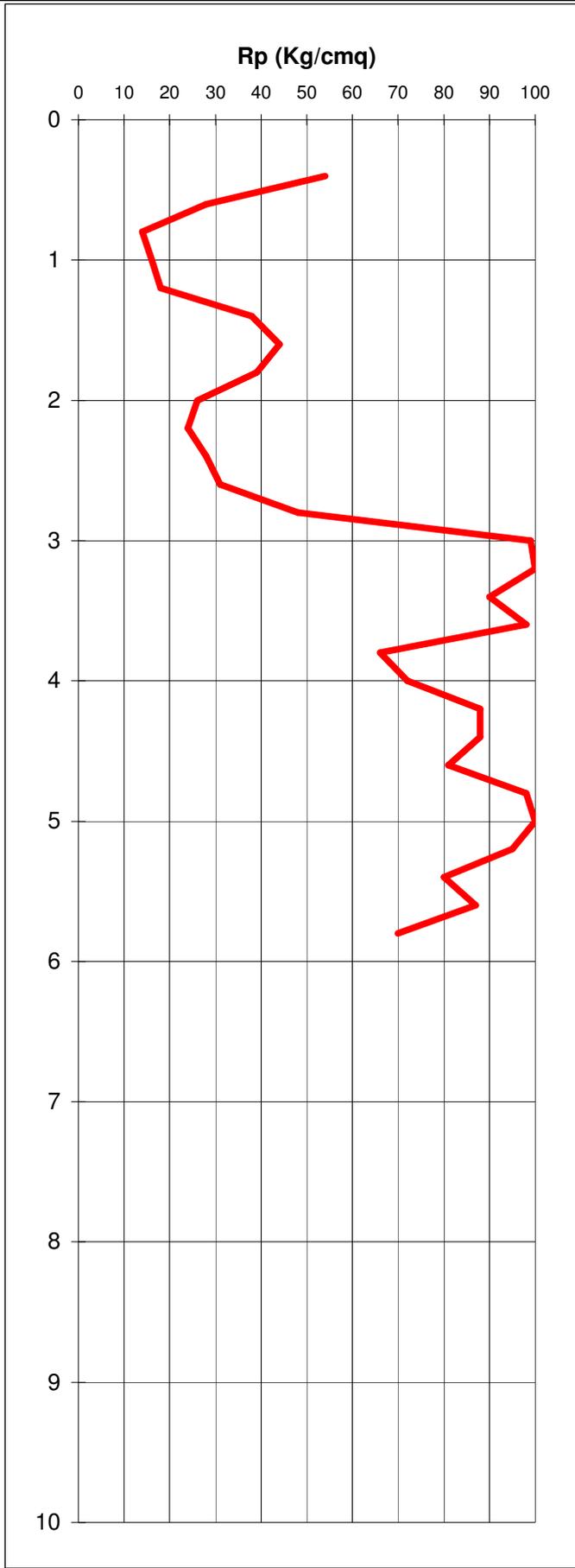
Grafico n.colpi - resistenza dinamica



Prova n° 2 **Data** 13/08/2014
Committente Amm. Comunale **Falda** assente
Comune Manerbio (BS) **Quota** p.c.
Cantiere Piano regolatore cimiteriale

pag. 1

Prof. m	P Kg/cmq	P+L Kg/cmq	Rt Kg/cmq	Rp Kg/cmq	RI Kg/cmq	Rp/RI	litologia (A.G.I. 1977)
0,0							
0,2							
0,4	54	60		54	0,40	135	sabbie e ghiaie
0,6	28	45		28	1,13	25	argille e limi
0,8	14	38		14	1,60	9	argille plastiche
1,0	16	33		16	1,13	14	argille plastiche
1,2	18	32		18	0,93	19	argille e limi
1,4	38	52		38	0,93	41	sabbie lim. e limi sabb.
1,6	44	55		44	0,73	60	sabbie lim. e limi sabb.
1,8	39	47		39	0,53	73	sabbie e ghiaie
2,0	26	32		26	0,40	65	sabbie e ghiaie
2,2	24	30		24	0,40	60	sabbie lim. e limi sabb.
2,4	28	33		28	0,33	84	sabbie e ghiaie
2,6	31	36		31	0,33	93	sabbie e ghiaie
2,8	48	60		48	0,80	60	sabbie lim. e limi sabb.
3,0	99	129		99	2,00	50	sabbie lim. e limi sabb.
3,2	110	129		110	1,27	87	sabbie e ghiaie
3,4	90	115		90	1,67	54	sabbie lim. e limi sabb.
3,6	98	114		98	1,07	92	sabbie e ghiaie
3,8	66	85		66	1,27	52	sabbie lim. e limi sabb.
4,0	72	85		72	0,87	83	sabbie e ghiaie
4,2	88	110		88	1,47	60	sabbie lim. e limi sabb.
4,4	88	110		88	1,47	60	sabbie lim. e limi sabb.
4,6	81	100		81	1,27	64	sabbie e ghiaie
4,8	98	112		98	0,93	105	sabbie e ghiaie
5,0	104	116		104	0,80	130	sabbie e ghiaie
5,2	95	111		95	1,07	89	sabbie e ghiaie
5,4	80	93		80	0,87	92	sabbie e ghiaie
5,6	87	95		87	0,53	163	sabbie e ghiaie
5,8	70	80		70	0,67	105	sabbie e ghiaie
6,0							
6,2							
6,4							
6,6							
6,8							
7,0							
7,2							
7,4							
7,6							
7,8							
8,0							
8,2							
8,4							
8,6							
8,8							
9,0							
9,2							
9,4							
9,6							
9,8							
10,0							



Studio di Geologia Applicata
dott. geol. Daniela Chiarini

Via G. Randaccio, 21 25128 Brescia tel/fax 0303702821 e-mail daniela.chiarini@geo3studio.it

PROVE DI LABORATORIO

Committente : A. & P. sas di Dr. Aletti Corrado
Località: Manerbio (Bs)
Cantiere : Piano regolatore cimiteriale
Data: 25/08/2014

DESCRIZIONE CAMPIONI E PROVE ESEGUITE

Scavo	Campione	Profondità [m]	Pocket [kg/cm ²]	Vane test [kg/cm ²]	Colore Munsell. Chart	USCS	Descrizione campione secondo le norme A.G.I. ed esami eseguiti
1	1	1.0	-	-	7.5YR 4/3 Bruno	SM	Sabbia con limo debolmente ghiaioso; clasti poligenici da subangolari a subarrotondati prevalentemente carbonatici. RIC + W + GN + GS + CF + GRAN
2	2	1.5	-	-	7.5YR 4/3 Bruno	SM	Sabbia con limo debolmente ghiaioso; clasti poligenici da subangolari a subarrotondati prevalentemente carbonatici.. RIC + W + GN + GS + CF + GRAN

PROVE GEOTECNICHE

Riconoscimento RIC, caratteristiche fisiche generali CF, umidità W, densità naturale GN, densità secca GS, analisi granulometrica GRAN, Sedimentometria SED, limiti di Atterberg ATT, espansione laterale libera ELL.

TABELLE RIASSUNTIVE DELLE PROVE DI LABORATORIO
PROPRIETA' INDICE E CLASSIFICAZIONE

Scavo n.	Camp n.	Prof. [m]	W [%]	γ naturale [t/m ³]	γ secco [t/m ³]	e	n	Sr [%]	Class. USCS
1	1	1.0	6.9	1.52	1.42	0.87	0.46	21	SM
2	2	1.5	7.2	1.60	1.49	0.77	0.44	29	SM

W = umidità naturale γ = peso di volume e = indice dei vuoti n = porosità Sr = grado di saturazione

PROVE DI IDENTIFICAZIONE

Analisi granulometriche

Scavo	Camp.	Prof. [m]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo + Argilla [%]	CNR UNI 10006
1	1	1.0	6,46	68,52	25,02	A2-4
2	2	1.5	9,86	64,06	26,08	A2-4

CLASSIFICAZIONE CNR UNI

CNR UNI 10006	Proprietà in base alla classificazione CNR UNI
A 2-4	<ul style="list-style-type: none">sabbia limosa o argillosaqualità portanti da eccellenti a buoneazione del gelo mediaritiro o rigonfiamento nullo o lievepermeabilità media o scarsa



CARATTERISTICHE FISICHE DEL TERRENO

Committente	:	a.&p. sas di Aletti Corrado
Località	:	Manerbio (Bs)
Cantiere	:	Piano regolatore cimiteriale
Scavo	:	1
Campione	:	1
Profondità	:	1,0 m

Umidità naturale (W_n %)

Provino n	Tara	Peso lordo umido (g)	Peso lordo secco (g)	W_n %	W_n media %
1	26,06	71,09	68,25	6,73	6,88
2	23,62	68,11	65,2	7,00	
3	23,66	66,22	63,47	6,91	

Densità naturale (γ_n)

Provino n	Peso netto umido (g)	Volume (cm ³)	γ_n (g/cm ³)	γ_n media (g/cm ³)
1	45,03	29	1,55	1,52
2	44,49	29	1,53	
3	42,56	29	1,47	

Densità secca (γ_d)

Provino n	γ_n (g/cm ³)	W_n %	γ_d (g/cm ³)	γ_d media (g/cm ³)
1	1,55	6,73	1,45	1,42
2	1,53	7,00	1,43	
3	1,47	6,91	1,37	

Indice dei vuoti (e)

Provino n	γ_s (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	e	e medio
1	2,65	1,45	0,82	0,87
2	2,65	1,43	0,85	
3	2,65	1,37	0,93	

Porosità (n %)

Provino n	n %	n medio %
1	45,1	46,4
2	45,9	
3	48,2	

Grado di Saturazione (S_r %)

Provino n	S_r %	S_r medio %
1	21,7	21,1
2	21,9	
3	19,7	

Umidità di saturazione (W_{sat} %)

Provino n	W_{sat} %	W_{sat} medio %
1	31,0	32,7
2	32,0	
3	35,1	

CARATTERISTICHE FISICHE DEL TERRENO

Committente	:	a.&p. sas di Aletti Corrado
Località	:	Manerbio (Bs)
Cantiere	:	Piano regolatore cimiteriale
Scavo	:	2
Campione	:	2
Profondità	:	1,5 m

Umidità naturale (W_n %)

Provino n	Tara	Peso lordo umido (g)	Peso lordo secco (g)	W_n %	W_n media %
1	22,73	69,51	66,44	7,02	7,16
2	22,62	68,33	65,39	6,87	
3	23,78	70,61	67,31	7,58	

Densità naturale (γ_n)

Provino n	Peso netto umido (g)	Volume (cm ³)	γ_n (g/cm ³)	γ_n media (g/cm ³)
1	46,78	29	1,61	1,60
2	45,71	29	1,58	
3	46,83	29	1,61	

Densità secca (γ_d)

Provino n	γ_n (g/cm ³)	W_n %	γ_d (g/cm ³)	γ_d media (g/cm ³)
1	1,61	7,02	1,51	1,49
2	1,58	6,87	1,47	
3	1,61	7,58	1,50	

Indice dei vuoti (e)

Provino n	γ_s (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	e	e medio
1	2,65	1,51	0,76	0,77
2	2,65	1,47	0,80	
3	2,65	1,50	0,77	

Porosità (n %)

Provino n	n %	n medio %
1	43,1	43,6
2	44,3	
3	43,4	

Grado di Saturazione (S_r %)

Provino n	S_r %	S_r medio %
1	24,5	24,6
2	22,9	
3	26,2	

Umidità di saturazione (W_{sat} %)

Provino n	W_{sat} %	W_{sat} medio %
1	28,6	29,2
2	30,1	
3	28,9	

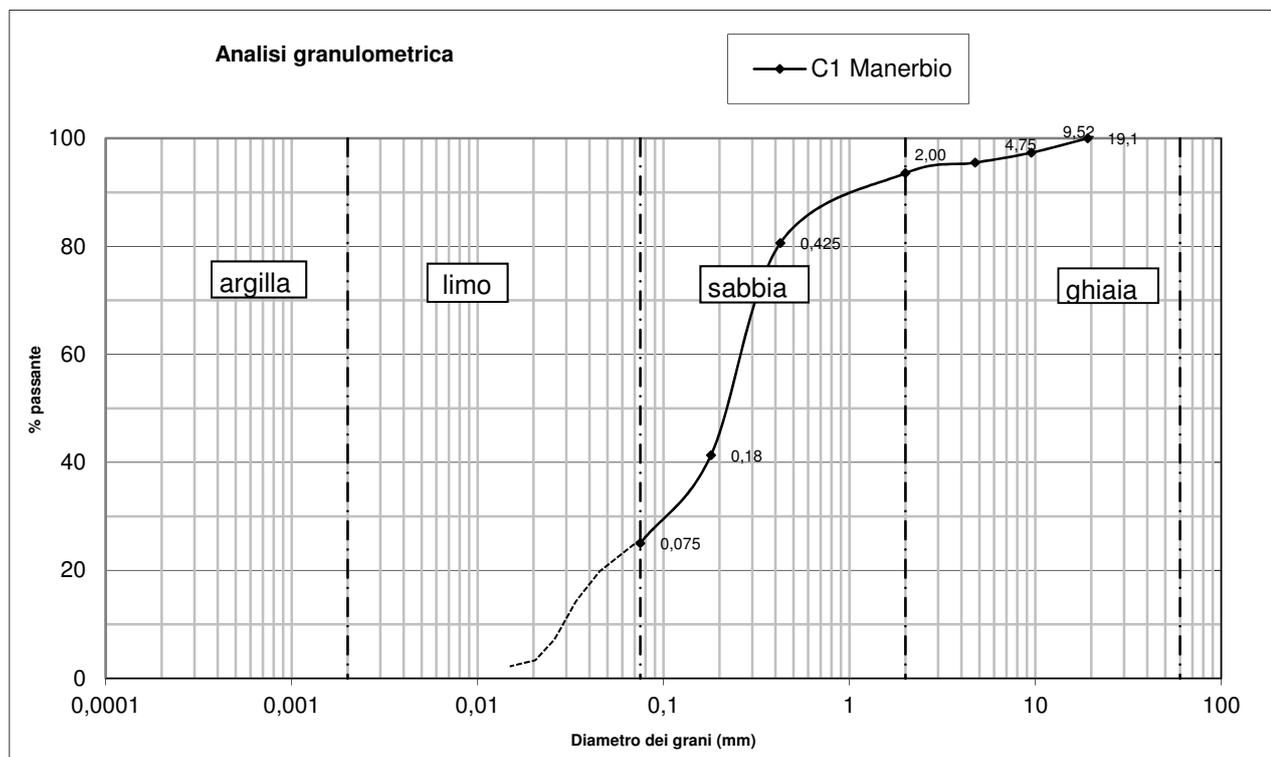
Analisi granulometrica

Committente: a.&p. sas di Aletti Corrado
 Località: Manerbio (Bs)
 Lavoro: Piano regolatore cimiteriale

Campione: C1 Manerbio
 Profondità: 1,0 m
 Data prelievo: 13/08/2014

Peso netto secco iniziale (g): **685,78**

Diametri (mm)	peso trattenuto (g)	peso parziale (g)	% passante
100	0,00	0,00	100,00
76,2	0,00	0,00	100,00
60	0,00	0,00	100,00
37,5	0,00	0,00	100,00
19,1	0,00	0,00	100,00
9,52	18,24	18,24	97,34
4,75	12,69	30,93	95,49
2,00	13,39	44,32	93,54
0,425	88,65	132,97	80,61
0,18	269,38	402,35	41,33
0,075	111,87	514,22	25,02



ghiaia %
6,46

sabbia %
68,52

argilla+limo %
25,02

classificazione	
AGI	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa
USCS	SM
CNR UNI	A2-4

D10 mm
0,030

D30 mm
0,10

D60 mm
0,28

coeff. di uniformità C_u = 9,3
 coeff. di concavità C_c = 1,2

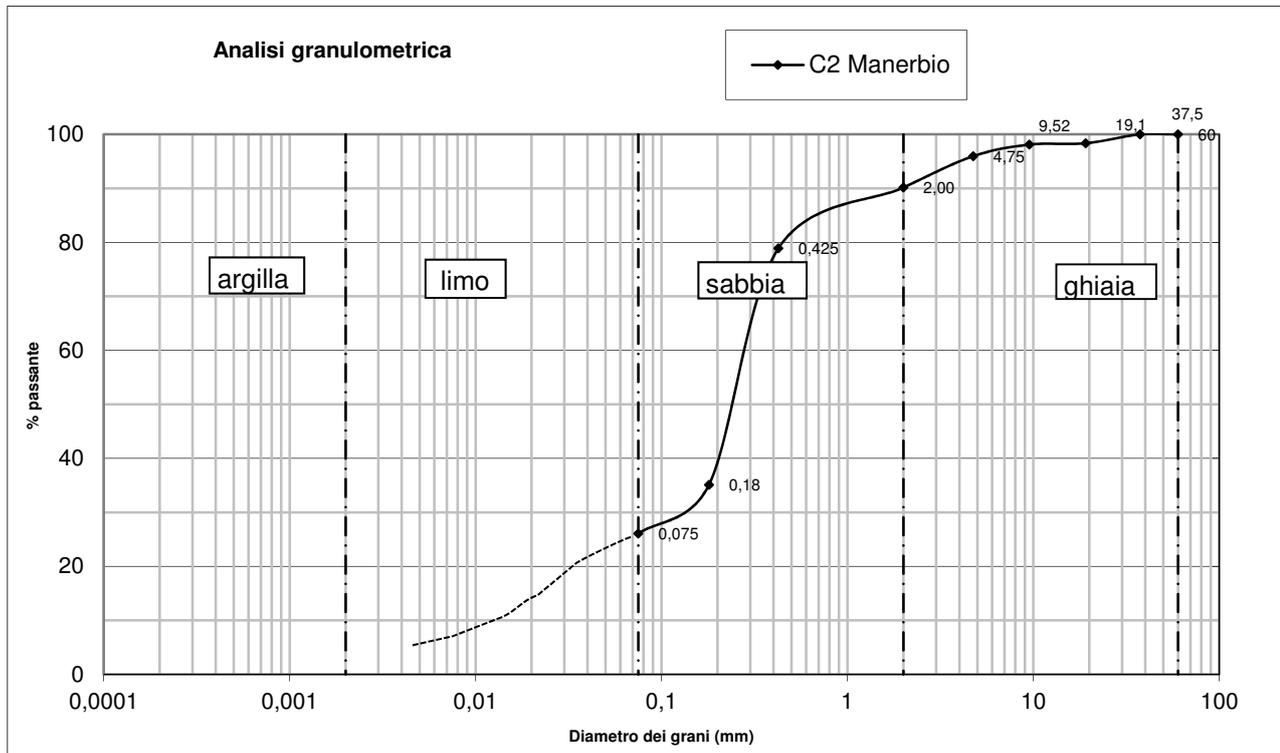
Analisi granulometrica

Committente: a.&p. sas di Aletti Corrado
 Località: Manerbio (Bs)
 Lavoro: Piano regolatore cimiteriale

Campione: C2 Manerbio
 Profondità: 1,5 m
 Data prelievo: 13/08/2014

Peso netto secco iniziale (g): **692,21**

Diametri (mm)	peso trattenuto (g)	peso parziale (g)	% passante
100	0,00	0,00	100,00
76,2	0,00	0,00	100,00
60	0,00	0,00	100,00
37,5	0,00	0,00	100,00
19,1	11,50	11,50	98,34
9,52	1,68	13,18	98,10
4,75	14,88	28,06	95,95
2,00	40,18	68,24	90,14
0,425	77,94	146,18	78,88
0,18	303,17	449,35	35,08
0,075	62,30	511,65	26,08



ghiaia % **sabbia %** **argilla+limo %**
9,86 **64,06** **26,08**

classificazione	
AGI	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa
USCS	SM
CNR UNI	A2-4

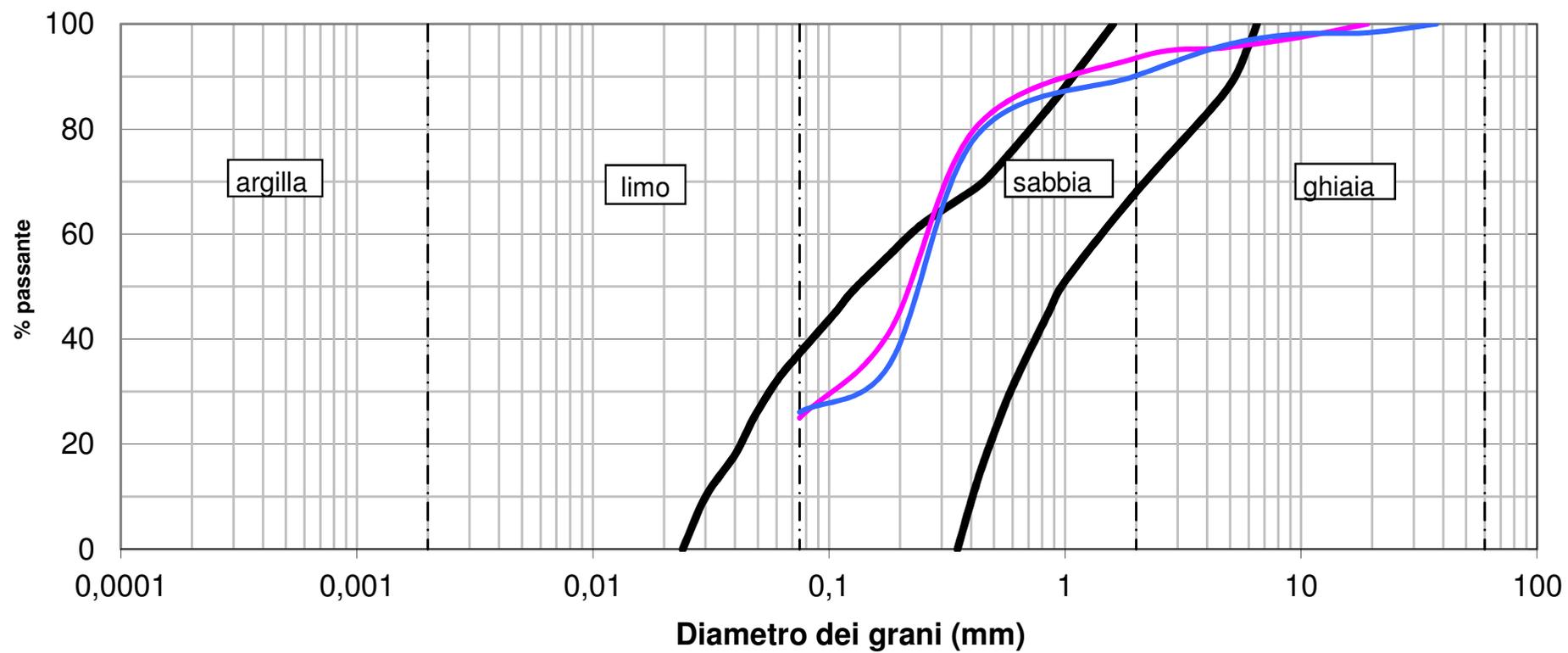
D10 mm D30 mm D60 mm coeff. di uniformità $C_u =$ 25,5
 0,011 0,12 0,28 coeff. di concavità $C_c =$ 4,7

Fuso Granulometrico Manerbio (BS)

— fuso cimiteriale

— C1 Manerbio

— C2 Manerbio



Comune di Manerbio

Provincia di Brescia

Determinazione Dirigenziale n.300 del 05.08.2014

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

**Studio geologico a supporto del
Piano Regolatore Cimiteriale**

Il Committente: Amministrazione Comunale

Tavola 1

scala 1:1.000

Ubicazione indagini

Legenda:

Prove penetrometriche



Indagine sismica HVSR



Il Geologo:
Dr. Corrado Aleotti



03	codice file: bs-manerbio-prgcimiteriale	
02		
01	27/08/14	emissione - Revisione 00
N	data	descrizione

