

**Dott. geol. Rosario Spagnolo** - GEOLOGIA TECNICA-IDROGEOLOGIA  
V. Stradella, 35 – Bigarello (MN) 46030  
Tel & Fax 0376. 262759 – 338.2949637 - E-mail: ro.spagnolo@tiscali.it

**PROVINCIA DI MANTOVA**  
**COMUNE DI MOGLIA**  
**PIANO CIMITERIALE**  
**RELAZIONE GEOLOGICA**  
**IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA**



**CIMITERO DEL CAPOLUOGO E DI  
BONDANELLO**

(Regolamento Regionale 9 Novembre 2004 – n° 6 - D.P.R. n° 285 del 1990 –  
L. R. del 18/11/03 - D.M. 11 marzo 1988 - D.M. 14 Settembre 2005)

COMMITTENTE:

Comune di Moglia

IL TECNICO

Dott. Geol. Rosario Spagnolo

Bigarello, LUGLIO 2013

## INDICE DEI CAPITOLI

1	PREMESSA .....	3
2	METODOLOGIA ESEGUITA .....	4
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE - MORFOLOGICHE.....	5
4	IDROGEOLOGIA GENERALE .....	7
5	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE .....	8
6	ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO .....	9
7	INQUADRAMENTO TERRITORIALE CIMITERO CAPOLUOGO .....	13
8	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE .....	15
8.1	COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' .....	16
9	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA .....	17
10	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE dei litotipi .....	23
11	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI .....	24
12	INQUADRAMENTO TERRITORIALE Cimitero BONDANELLO .....	27
13	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE.....	29
14	COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'.....	30
14.1	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA .....	31
15	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI.....	33
16	CONCLUSIONI .....	34

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1: Inquadramento territoriale CTR (Moglia)

Figura 2: Inquadramento territoriale CTR (Bondanello)

Foto aerea con ubicazione dei sondaggi

Figura 3 : Carta della vulnerabilità idrogeologica

Tav. 1: Ubicazione prove

Figura 4: Carta della vulnerabilità idrogeologica

## **INDICE DEGLI ALLEGATI**

Tabella dei parametri geotecnici

Tabella delle valutazioni litologiche

Diagrammi di resistenza

Valori di resistenza

## 1 PREMESSA

Lo studio di seguito illustrato costituisce la relazione geologica e idrogeologica a corredo del Piano Cimiteriale del comune di Moglia.

Il lavoro è stato realizzato in tre fasi distinte e successive:

- prima fase di analisi in cui è stata svolta un'ampia ricerca bibliografica sul territorio in esame;
- seconda fase di campagna in cui sono stati effettuati sopralluoghi e rilievi in sito con lo scopo di accertare le caratteristiche del suolo e sottosuolo;
- terza fase di diagnosi e sintesi, durante la quale i dati ottenuti in fase di analisi e di rilievo sono stati elaborati al fine di evidenziare i parametri caratteristici più significativi dal punto di vista geologico idrogeologico e geotecnico.

Per ciascuno dei due cimiteri sono state definite le caratteristiche litostratigrafiche locali, così come previsto dalla normativa vigente.

Il presente lavoro è stato impostato secondo le linee generali e i dettami della seguente normativa:

- D.P.R. 10 settembre 1990 – n° 285. Approvazione del regolamento di polizia mortuaria;
- R.R. 9 novembre 2004 – n° 6. Regolamento in materia di attività funebri e cimiteriali;
- R.R. 6 febbraio 2007 – n°1. Modifiche al regolamento regionale 9 novembre 2004 – n° 6.

Per quanto riguarda le modalità di svolgimento dello studio geologico e la necessità di specifiche indagini geotecniche in sito, si è fatto riferimento ai contenuti e alle finalità indicate in:

- D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni;

- Circolare del Ministero delle Infrastrutture n° 617 del 2 febbraio 2009.

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litotecnico i depositi e riuscire a definire l'assetto idrogeologico locale, sono state realizzate sia dei pozzetti esplorativi sia una prova penetrometrica, per ogni cimitero, al fine di parametrizzare i depositi intercettati lungo la verticale.

I dati ottenuti e i valori misurati trovano sintesi cartografica nelle tavole monografiche riportate in allegato e descritte nella presente relazione geologica e idrogeologica.

## **2 METODOLOGIA ESEGUITA**

Per parametrizzare i litotipi dell'area in esame è stata realizzata una prova penetrometrica statica (CPT) per ogni cimitero, raggiungendo profondità di 6 m dal piano campagna, utilizzando un penetrometro statico, montato su un mezzo cingolato, caratterizzato da una spinta nominale massima di 20 t e munito di punta conica con angolo di apertura di 60° avente diametro esterno di 51 mm.

La prova, inclusa negli standards ASTM (D3441 – 79) recentemente aggiornata (D3441 – 86), trova generale applicazione nel campo della geotecnica per :

1. rilevare l'andamento stratigrafico lungo una verticale;
2. individuare i tipi di terreno attraversati;
3. interpolare l'andamento degli strati fra verticali di sondaggio.

I valori che si misurano possono inoltre essere utilizzati per valutare:

- l'angolo di attrito e la compressibilità drenata dei terreni granulari;
- la densità relativa;

- il peso di volume saturo del terreno.

I parametri geotecnici, valutati attraverso la prova penetrometrica statica, vengono utilizzati per estrapolare la capacità portante con l'ausilio di formule empiriche.

Sono infine riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici: coesione non drenata, angolo di attrito interno, modulo di deformazione drenato, peso di volume saturo, ecc.

### **3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE - MORFOLOGICHE**

L'evoluzione geologica della pianura padana qui in esame è collegata allo sviluppo delle avanosse alpina e appenninica; questo grande bacino che durante il Pliocene e parte del Pleistocene risulta corrispondere ad un golfo occupato da acque marine e caratterizzato da successive ingressioni e regressioni, presenta un profilo asimmetrico con inclinazione del lato meridionale dove, in prossimità del margine appenninico, lo spessore dei sedimenti plio-pleistocenici supera i 7.000 metri.

Dal Pliocene ad oggi si è pertanto verificato un imponente fenomeno di sedimentazione in presenza di un'accentuata subsidenza. In particolare lo spessore complessivo dei depositi quaternari può raggiungere nel mantovano valori notevoli: la base del Quaternario è infatti segnalata a 500-1000 metri nell'area delle colline moreniche, nella fascia pedecollinare e a sud del fiume Po in destra Secchia, a 1.500 metri nella media pianura e a sud del Po in sinistra Secchia, a 2.000 metri nel settore su occidentale della provincia.

Nel corso del Pleistocene medio-superiore il bacino appare in gran parte colmato e divengono attivi i processi geomorfologici legati in particolare al

reticolo idrografico; durante i vari intervalli interglaciali e soprattutto nel corso dell'ultima fase post-glaciale si verificò il rapido riempimento delle aree esterne agli apparati morenici con depositi fluvioglaciali e fluviali; le conoidi ciottolose-ghiaiose-sabbiose dell'alta pianura (Sandur) passano, per alternanza, ai depositi fluviali con granulometria prevalentemente fine, limosa-argillosa, nella bassa e media pianura.

Le unità geologiche affioranti nel territorio mantovano sono elusivamente di ambiente continentale e costituite da morene, depositi fluvioglaciali ed alluvioni di età compresa tra il Pliocene e l'Olocene.

Morfologicamente l'area di studio è compresa nella: **Zona della bassa pianura mantovana.**

Nel dettaglio il territorio comunale di Moglia è costituito da depositi fluviali di pertinenza del fiume Secchia, che rappresentò il maggiore scaricatore del ghiacciaio gardesano e che ha trasportato una massa enorme di materiale litoide che, a seconda del regime idraulico, è pervenuto a latitudini diverse con granulometrie eterogenee e variamente classate.

#### 4 IDROGEOLOGIA GENERALE

Il territorio di Moglia ricade nel bacino del Fiume Secchia; l'area in esame è ubicata nella Bassa Pianura; l'acquifero sotterraneo risente delle caratteristiche del dominio idrogeologico, che possiamo riassumere così:

- La Media Pianura, interposta tra la fascia pedemontana e la Bassa Pianura, che si sviluppa tra 100 e 50 m s.l.m. Essa corrisponde alla parte medio-inferiore delle conoidi fluvioglaciale, ed è costituita da alternanze di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie) e livelli di materiali fini o finissimi (limi e argille). In questa zona i depositi alluvionali raggiungono spessori di 400 m. Le intercalazioni a granulometria grossolana sono sede di falde in pressione, suddivise dagli strati argillosi, ed alimentate dalla falda freatica dell'Alta Pianura. La struttura idrogeologica è caratterizzata da un sistema multifalde, costituito dall'alternanza di falde acquifere indipendenti, separate da livelli argillosi o bassa permeabilità.

Il flusso sotterraneo è diretto in senso N-S, mentre il gradiente idraulico varia da 1,3‰ a nord a 0,6‰ nell'area a sud del Secchia.

Per gli acquiferi fino a 50 m di profondità il regime piezometrico è caratterizzato da una fase di magra con minimo in giugno e da una fase di piena in dicembre. Per gli acquiferi compresi tra 50 e 80 m i minimi piezometrici si riscontrano in primavera - estate, ed i massimi in giugno. Per gli acquiferi oltre 80 m i minimi piezometrici si rilevano in settembre, mentre i massimi in dicembre.

Il drenaggio verticale è in stretta relazione alla granulometria e pertanto il territorio analizzato presenta deflussi lenti per la prevalenza di materiali argillosi e limosi e sabbie fini.



La falda è alimentata da: acque meteoriche, acque provenienti dalle irrigazioni agrarie e dalla ricarica operata dal fiume Secchia e da altri corsi d'acqua minori .

## **5 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE**

Superficialmente, questo territorio è caratterizzato da depositi alluvionali pleisto-olocenici, la cui genesi è legata principalmente all'attività del Secchia e degli altri corsi d'acqua minori, durante le ultime glaciazioni.

Dal piano campagna, con potenze variabili, l'area è interessata da sedimenti continentali sabbiosi, limosi e argillosi, che dal punto di vista stratigrafico sono compresi in un intervallo di tempo che va dall'olocene antico all'attuale.

Più precisamente, come si può vedere nella tavola, i depositi affioranti in zona sono riferiti a:

- **Olocene antico**: sono i terreni cretosi che formano il livello fondamentale della pianura. Si tratta di limi argillosi impermeabili.
  
- **Olocene recente**: si tratta di terreni argillosi intercalati a sabbia che affiorano in diversi punti del territorio comunale.

## 6 ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali (Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza P.C.M. n° 3519/2006 e D.M. 14 gennaio 2008). Alla legislazione si aggiunge il lavoro dell'Associazione Geotecnica Italiana “aspetti geotecnica della progettazione in zona sismica: linee guida”.

L'Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003 (Allegato1), ha disposto nuovi criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo stabilendo in questo senso:

- una nuova classificazione dei comuni nazionale, secondo quattro diversi gradi di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;
- una nuova classificazione del sottosuolo, in categorie di suolo di fondazione basata sulla stima di alcuni parametri fondamentali ( $V_s$ ,  $N_{spt}$ ,  $c_u$ , profondità del bedrock). Ad ogni categoria sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima La nuova classificazione sismica è stata successivamente integrata dall'Ordinanza P.C.M. n° 3519 del 2006, con la pubblicazione della mappa della pericolosità sismica di riferimento per tutto il territorio nazionale e della seguente tabella che attribuisce i valori di  $a_g$  orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta.

In tale contesto il territorio del Comune di Moglia è stato classificato in zona 3, ( $S = 6$ ).

La nuova normativa (NTC del D.M. 14 gennaio 2008), la valutazione della pericolosità sismica si attua secondo un criterio sito dipendente, che tenga conto delle condizioni locali del sito; la pericolosità sismica deve essere cioè riferita al punto preciso, individuato all'interno del reticolo di riferimento i cui nodi, identificati in termini di latitudine e longitudine, non devono distare più di 10 Km l'uno dell'altro.

Pertanto si rende indispensabile, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare 2 febbraio 2009, n° 617, la verifica agli stati limite.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite in funzione dei tre parametri:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio ( $a_g/g$ );
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( $F_0$ );
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( $T_c$ ).

Questi parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo i cui nodi non distano fra loro più di 10 Km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per i diversi periodi di ritorno.

Dai parametri dell'opera è stato possibile determinare:

- opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale la cui vita nominale è  $V_n \geq 50$  anni;
- classe II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali;

➤ coefficiente d'uso  $C_u = 1$ .

L'accelerazione orizzontale di ancoraggio viene determinata sulla base della classificazione del terreno e può assumere quattro valori funzionali della zona sismica:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Il parametro S dipende invece dalle caratteristiche del suolo di fondazione secondo le seguenti caratteristiche.

- A Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi ( $V_{s30}$  superiori a 800 m/s con coltri di alterazione di spessore non superiore a 5 m).
- B depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti ( $360 \text{ m/s} < V_{s30} < 800 \text{ m/s}$  con spessori di diverse decine di metri –  $N_{spt} > 50$  o coesione non drenata  $c_u > 250 \text{ KPa}$ ).
- C depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza ( $180 \text{ m/s} < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$  con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri -  $15 < N_{spt} < 50$  o coesione non drenata  $70 < c_u < 250 \text{ KPa}$ ).
- D depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti ( $V_{s30} < 180 \text{ m/s}$  –  $N_{spt} < 15$  o coesione non drenata  $c_u < 70 \text{ KPa}$ ).

E profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali ( $V_{s30}$  simili ai tipi C e D e con spessori compresi tra 5 e 20 metri giacenti su un substrato più rigido con  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s).

Sono state inoltre definite due categorie particolari, che prevedono studi speciali per la definizione dell'azione sismica.

S1 depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 metri di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua ( $V_{s30} < 100$  m/s –  $10 < c_u < 20$  KPa).

S2 depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Ad esso sono legati i valori assunti da periodi di vibrazione che caratterizzano la forma dello spettro di risposta. In funzione delle cinque classi di suolo proposte questi parametri assumono i seguenti valori:

Categoria suolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	1.0	0.15	0.40	2.0
B.C.D	1.25	0.15	0.50	2.0
E	1.35	0.2	0.80	2.0

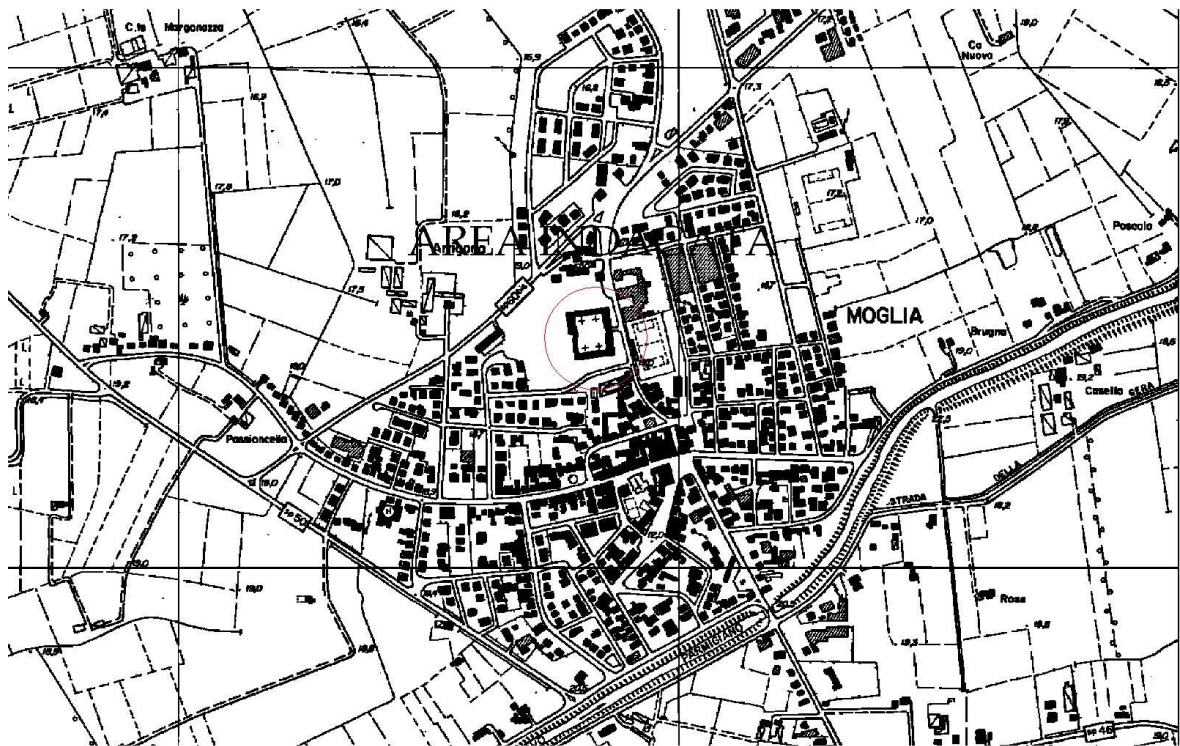
#### **Le aree indagate presentano la categoria di suolo C:**

depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza ( $180$  m/s  $< V_{s30} < 360$  m/s con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri -  $15 < N_{spt} < 50$  o coesione non drenata  $70 < c_u < 250$  KPa).

## 7 INQUADRAMENTO TERRITORIALE CIMITERO CAPOLUOGO

Il cimitero del capoluogo è ubicato a nord dell'abitato di Moglia (fig. 1), ed è cartograficamente individuabile nella sezione n° E8d4, alla scala 1:10.000, della Carta Tecnica Regionale.

Corografia generale con localizzazione del cimitero



Al fine di terminare le caratteristiche del sito in esame è stata realizzata una prova denominata CPT 1 e un pozzetto esplorativo, tale sondaggi sono ubicati nella planimetria allegata.

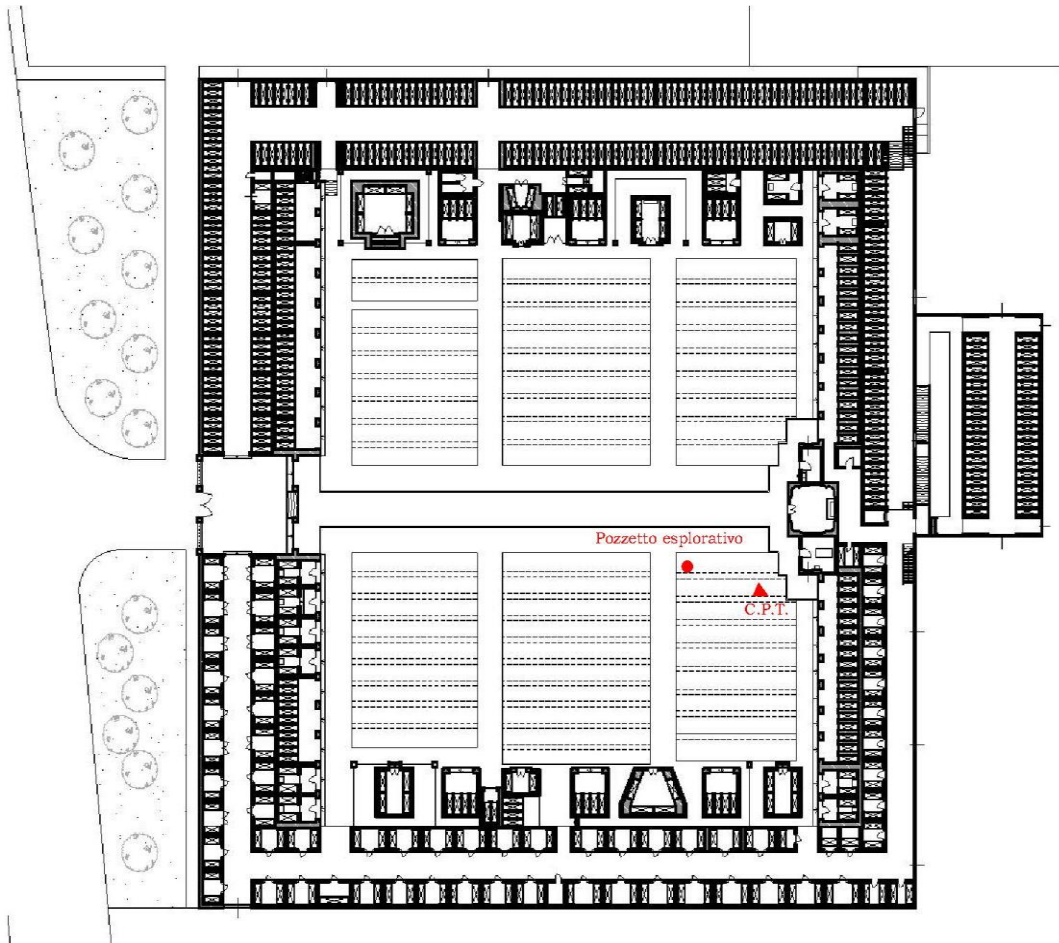


Foto: Cimitero di Moglia



<b>8 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE</b>
--

L'analisi per sedimentazione viene riservata alle frazioni di terra passanti al setaccio UNI 0.075 mm, quando la percentuale di passante è superiore al 10%. Essa trova la sua giustificazione teorica nella legge di Stokes; le dimensioni delle particelle vengono determinate indirettamente, misurando il tempo di sedimentazione all'interno di un cilindro contenente una dispersione delle particelle stese in acqua distillata, secondo la seguente relazione:

$$D = \sqrt{1800 \cdot \eta_L \cdot V / (\gamma_S - \gamma_L)}$$

Dove:

D = diametro della sfera (mm);

$\eta_L$  = viscosità dinamica del liquido (g x sec/cm<sup>2</sup>);

V = velocità di caduta (cm/sec);

$\gamma_S$  = densità specifica della particella (g/cm<sup>3</sup>);

$\gamma_L$  = densità del liquido (g/cm<sup>3</sup>).

Nel corso della prova si tratta dunque di misurare la velocità di caduta della particelle, vale a dire del tempo che la singola particella impiega per percorrere una determinata distanza. Le letture di tale distanza vengono misurate mediante un aerometro, che viene introdotto nel cilindro contenete le particelle in esame.

Così come sopra riportato, sono state realizzate delle analisi granulometriche e di permeabilità che hanno fornito i seguenti risultati:

✓ sabbia	2%
✓ limo	8%
✓ argilla	90%



## 8.1 COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'

Dal prelievo di campioni i terreni presenti nel sito possono essere definiti: miscela di argilla e limo.

Attraverso la curva granulometrica è possibile derivare una valutazione empirica del coefficiente di permeabilità, per mezzo della formula di Breyer. La relazione è la seguente:

$$K = (g C_b D_{10}^2) / \nu$$

Con

$$C_b = 6 \times 10^{-4} \log (500 / U_c);$$

$K$  = (coefficiente di permeabilità) è espresso in cm/s;

$g$  = corrisponde all'accelerazione di gravità, che è stata assunta col valore di  $9.807 \text{ m/s}^2$ ;

$C_b$  è un coefficiente legato al grado di uniformità dimensionale del materiale;

$D_{10}$  è il diametro efficace, espresso in cm;

$\nu$  rappresenta la viscosità cinematica del liquido che attraversa il terreno;

$U_c$  invece è il coefficiente di uniformità.

Il valore ottenuto è il seguente:

$$K = 1.1 \times 10^{-6} \text{ cm/s.}$$

Pozzetto esplorativo: determinazione della granulometria e permeabilità.



## 9 VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

La vulnerabilità idrogeologica concerne la possibilità che le acque di falda possono essere più o meno esposte al rischio d'inquinamento idrico. Esso viene definito come "l'impatto di qualunque attività antropica, volontaria o accidentale, che comporti uno sversamento, in uno o più dei sottosistemi componenti il sistema ambiente, di sostanze tali da causare una variazione negativa di tipo chimico e/o fisico della qualità naturale delle acque, tale da mettere in pericolo la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi".

La metodologia fa riferimento in parte a quella sperimentata e proposta da vari Autori, in parte segue una elaborazione originale in relazione ai dati a disposizione e alla realtà territoriale.

Si è considerato soprattutto quanto proposto nella metodologia CNR-GNDCI e nelle successive modifiche e integrazioni della stessa, proposte da vari enti e ricercatori sia per scopi generali, sia negli ultimi anni, in particolare per lo studio della vulnerabilità da nitrati delle falde, come richiesto dal Dlgs. 152/06. Si è anche considerato quanto messo a punto, sempre dalla linea di ricerca CNR-GNDCI, cioè il metodo Sintacs, metodo parametrico di valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, basato su sette fattori di vulnerabilità.

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque di falda, che dipende dalle caratteristiche naturali, climatiche, pedologiche e idrogeologiche del sistema, tutte le metodologie si basano sull'esame e la sovrapposizione di alcune informazioni tematiche, più o meno approfondite e quantificate, riferite sostanzialmente:

- alle caratteristiche del suolo e la sua capacità di attenuazione della vulnerabilità;
- alle caratteristiche dello strato insaturo, sovrastante la falda, e alla sua capacità di trasmettere gli inquinanti alla falda;
- alle caratteristiche idrogeologiche e alla profondità delle falde idriche.

La vulnerabilità degli acquiferi non dipende solo dai parametri naturali, ma anche dalle pressioni a cui l'ambiente è sottoposto, sotto forma di centri di pericolo e fonti di inquinamento.

Nel caso in esame si è adottata una metodologia di valutazione della vulnerabilità complessiva, basata su più stadi di elaborazione e tematismi.

La vulnerabilità quindi rappresenta il grado di protezione degli acquiferi soggiacenti il territorio più o meno antropizzato, ed indica la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un inquinante

idroveicolato. Essa dipende dalle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero e dalla litologia del terreno non saturo soprastante.

I fattori presi in considerazione per la valutazione della vulnerabilità sono:

- tipo e grado di permeabilità dei depositi;
- tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità;
- presenza di livelli ghiaiosi sotterranei;
- soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero;
- condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleovalvei o di terrazzi fluviali.

I parametri che invece caratterizzano le sostanze inquinanti, e quindi la loro possibilità a spostarsi nelle acque sotterranee e a determinarne il potenziale d'impatto, sono:

- la **densità** (massa dell'unità di volume): pertanto a maggiore densità si ha maggiore spostamento verso il basso;
- **viscosità** (resistenza al moto o attrito interno di un fluido): a maggiore viscosità corrisponde maggiore lentezza negli spostamenti orizzontali e verticali;
- **conducibilità idraulica** , proprietà legata alle due precedenti oltre che alla permeabilità dell'acquifero;
- **solubilità** (massa della sostanza che si dissolve per unità di volume di solvente): quindi a maggior solubilità si ha minor concentrazione dell'inquinante nell'acqua, ma anche maggior dispersione dello stesso;

- **volatilità** (proprietà delle sostanze a passare allo stato di vapore): a maggiore volatilità si ha maggior dispersione della sostanza e quindi una minor persistenza;

**persistenza**, essa è una caratteristica di comportamento che dipende dalla tipologia della sostanza e dalle interazioni che essa ha con l'ambiente. Definisce il tempo di durata che una sostanza mantiene fino alla sua eliminazione dalla corpo idrico. Con il primo approfondimento si è preso in considerazione l'effetto protezione e attenuazione dell'inquinamento offerto dalla presenza dei vari tipi di suoli e dalle loro caratteristiche fisico-chimiche.

Infine, vengono considerati i fattori antropici poichè rappresentano elemento di rischio, quali:

- impianti zootecnici e trattamento con fitofarmaci in aree agricole;
- aree artigianali, cimiteri, reti fognarie e discariche;
- attività estrattiva di inerti.

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero è, come abbiamo visto, legata all'interazione tra i fattori fisici dell'acquifero e quelli della sostanza inquinante, fattori che insieme danno luogo a tre principali processi che si producono all'interno del sistema/sottosuolo e che sono:

- lo spostamento della sostanza inquinante (fluida o solida e idroportata) attraverso lo strato insaturo, fino a raggiungere la superficie freatica sottostante
- la dinamica del flusso sotterraneo della falda e dell'inquinante attraverso lo strato saturo.

La concentrazione residua di un inquinante fluido o idroportato nel suo viaggio dalla sua partenza al suo arrivo nello strato saturo. La capacità del sistema suolo-sottosuolo-acquifero di attenuare l'impatto determinato dall'inquinante, caratterizza il grado di vulnerabilità ed è direttamente proporzionale alla lunghezza del percorso che l'inquinante compie per giungere allo strato saturo ed inversamente proporzionale alla velocità di filtrazione e alla dispersione cinematica che sono invece tipiche del mezzo. Durante il percorso dell'inquinante concorrono alla mitigazione dell'impatto la tipologia dell'insaturo, le interazioni molecolari dell'inquinante con l'ambiente, la diluizione eventuale che viene a determinarsi, ad esempio nel caso di abbondanti piogge.

La complessità e la variabilità dei vari parametri da prendere in considerazione, ha determinato la genesi di una miriade di metodi di valutazione della vulnerabilità, tutti finalizzati a descrivere in un qualsiasi scenario fisiografico, nel modo più semplice e oggettivo possibile, una zonizzazione per aree omogenee della vulnerabilità degli acquiferi dall'inquinamento.

Il principio su cui si basano tutti i metodi esistenti è quello di dare una valutazione ai diversi tipi di parametri presi in considerazione, valutazione che non può che essere arbitraria, con la quale si attribuiscono dei punteggi relativi alla funzione che il parametro assunto svolge nel contesto indagato.

L'assunzione dei parametri è pertanto legata alla possibilità di reperire gli stessi: in modo empirico, da fonti bibliografiche, tramite prove dirette di vario genere (carotaggi, prove di portata, piezometrie, granulometrie, prove di laboratorio ecc.). Sembrerebbe quindi che più parametri si utilizzano più ci si approssima ad un modello teorico vicino alla situazione reale. In realtà ciò vale per aree ristrette, ove la manipolazione di molti dati così complessi garantisce in effetti un risultato in sintonia con la mole di lavoro svolto. Per aree più estese, la comparazione dei diversi metodi su una stessa area campione, con l'utilizzo degli

stessi dati, ha suggerito ai ricercatori che metodi relativamente semplici danno risultati analoghi a metodi di più complessa applicazione.

La scelta del metodo è inoltre condizionata anche dalla possibilità di reperire in modo omogeneo su un territorio i valori necessari alla parametrizzazione. Quindi è inutile utilizzare un metodo complesso quando i valori necessari alla sua applicazione non coprono l'intero territorio d'indagine.

In tale metodo i fondamentali fattori presi in considerazione, che controllano la vulnerabilità sono:

- l'accessibilità idraulica, intesa come l'effettiva possibilità che un inquinante idroportato abbia per giungere nello strato saturo;
- la capacità di attenuazione dell'insaturo, ossia l'insieme dei processi che portano a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Questi fattori si esplicano nella valutazione della vulnerabilità intrinseca tramite i seguenti parametri d'ingresso;
- tipo di acquifero (falda libera, confinata, semiconfinata...);
- litologia e grado di consolidazione dell'insaturo;
- soggiacenza.

La figura 3 mostra come il territorio studiato presenti la classe di vulnerabilità bassa.

GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E <sub>E</sub>	E	A	M	B	B <sub>B</sub>			
						Argilla	< 10 m	Falda a pelo libero o in pressione
						Limo-argilla	> 10 m	Falda in pressione
						Sabbia	> 10 m	Falda in pressione con soggiacenza > 5 m
						Limo	< 10 m	Falda a pelo libero o in pressione
						Sabbia	> 10 m	Falda a pelo libero o in pressione con soggiacenza 0 - 5 m
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda in pressione
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
						Ghiaia	0 m	Alvei fluviali e bacini lacustri disperdenti

E<sub>E</sub> = Estremamente elevato    E = Elevato    A = Alto    M = Medio    B = Basso    B<sub>B</sub> = Bassissimo (non rilevata sul territorio)

Gradi di vulnerabilità

## 10 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI

Dall'analisi delle tabelle relative alle prove penetrometriche statiche è stato possibile ricostruire la seria stratigrafica locale e parametrizzato i depositi individuati fino alla profondità di 6 m dal p.c..

Le correlazioni dei valori forniti dalle prove limitrofe in funzione delle litologie riscontrate, consentono di definire i parametri di progetto seguenti:

da 0.0 a 0.3 m	Terreno pedologico	Limo e argilla
	Modulo edometrico	$M_o = 5 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0,1 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico efficace	$\gamma' = 1,85 \text{ t/m}^3$
da 0.3 a 6 m	Terreno coesivo	Argilla compatta
	Modulo elastico	$E = 70 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0,65 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico efficace	$\gamma' = 0.95 \text{ t/m}^3$
Profondità della falda		2.7 m

Tabella 1: Valori geotecnici di progetto



## 11 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI

Scopo dell'indagine era verificare la compatibilità geologica-idrogeologica delle aree cimiteriali alle pratiche di inumazione e alla fase di scheletrizzazione dei cadaveri, inoltre si sono valutati le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione.

I risultati dell'indagine sono riassumibili come segue:

- i terreni interessati dal previsto intervento non presentano, sotto l'aspetto geomorfologico, nessun condizionamento negativo, essendo la superficie priva di qualsiasi forma di dissesto gravitativo o di erosione superficiale;
- le condizioni idrogeologiche locali, rilevate con indagine in situ escludono l'esistenza di circolazione idrica superficiale e quindi interferenze idriche con il piano di inumazione delle salme;
- dal punto di vista geotecnico, sono stati intercettati delle argille ben compatte con medio-buoni parametri geotecnici, pertanto è possibile intervenire con fondazioni di tipo diretto.

Il sito in progetto presenta le seguenti caratteristiche:

- i terreni che caratterizzano l'area cimiteriale presentano una granulometria fine, le analisi evidenziano terreni costituiti prevalentemente da argilla con un coefficiente di permeabilità pari a  $1.1 \times 10^{-6}$  cm/sec;

- **nell'area d'indagine è stata intercettata la falda a 2,70 m dal p.c..**

Per i casi di inumazione, vista la presenza di argille ben compattate, si dovrà cercare di:

- ❑ **scoticare l'argilla individuata sul fondo della fossa;**
- ❑ **inserire sempre sul fondo della fossa uno strato di circa 30 cm di ghiaietto e sabbia;**
- ❑ **lateralmente il fosso e sovrastante la cassa si dovrà inserire del ghiaietto e sabbia; sopra la cassa lo strato vegetale dovrà essere di 30 cm.**

Tabella dei parametri geotecnici

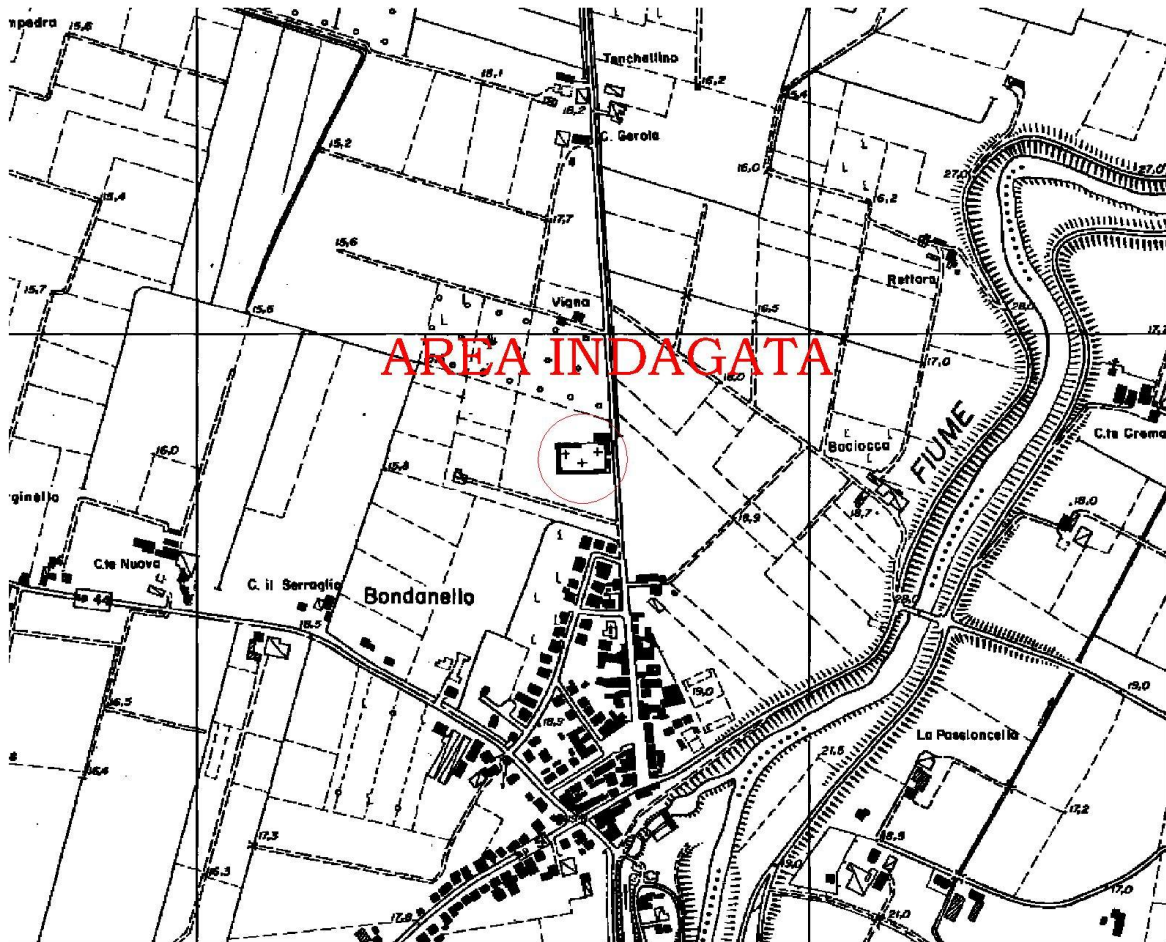
Tabella delle valutazioni litologiche

Diagrammi di resistenza

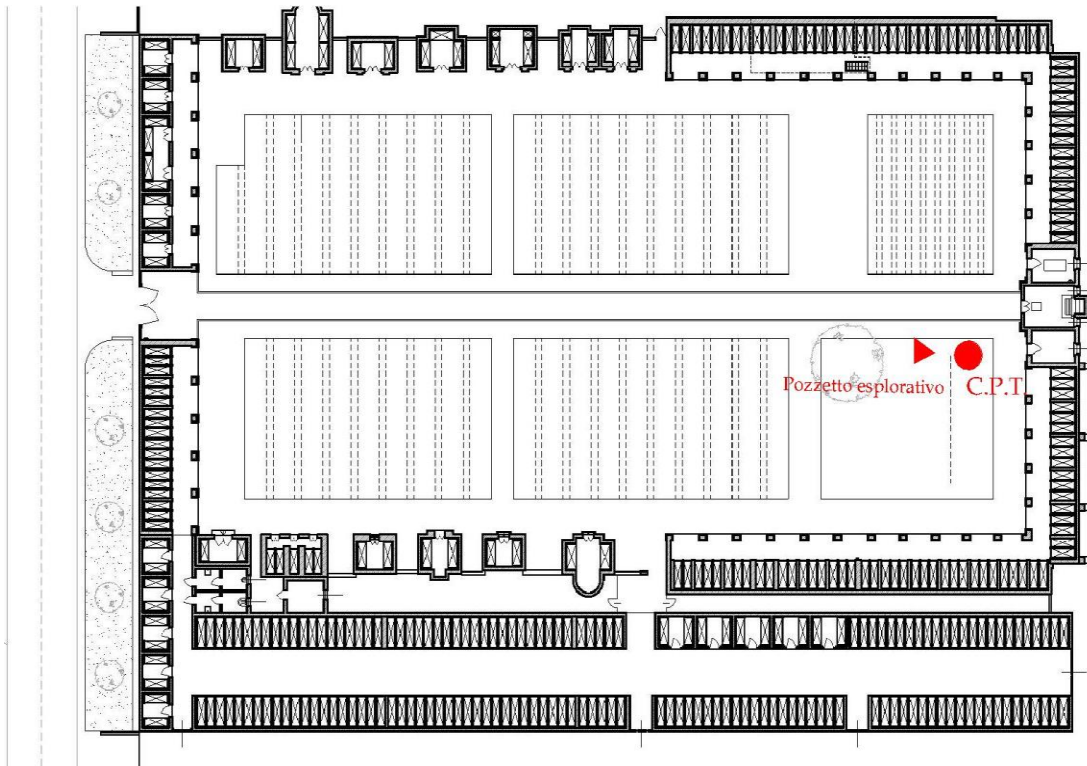
Valori di resistenza

## 12 INQUADRAMENTO TERRITORIALE CIMITERO BONDANELLO

L'area indagata, relativa al cimitero, si colloca a nord dell'abitato di Bondanello (fig. 2), viene individuato nella sezione n° E7d4, alla scala 1:10.000, della Carta Tecnica Regionale.



Al fine di terminare le caratteristiche del sito in esame è stata realizzata una prova penetrometrica denominata CPT 1 e un pozzetto per indagare la natura e la permeabilità dei depositi intercettati, tale ubicazione è individuabile nella planimetria allegata.



Ingresso cimitero



<b>13 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE</b>
---

Anche per il cimitero di Bondanello è stata eseguita l'analisi per sedimentazione, riservata alle frazioni di terra passanti al setaccio UNI 0.075 mm, quando la percentuale di passante è superiore al 10%. Essa trova la sua giustificazione teorica nella legge di Stokes; le dimensioni delle particelle vengono determinate indirettamente, misurando il tempo di sedimentazione all'interno di un cilindro contenente una dispersione delle particelle stese in acqua distillata, secondo la seguente relazione:

$$D = \sqrt{1800 \cdot \eta_L \cdot V / (\gamma_S - \gamma_L)}$$

Dove:

D = diametro della sfera (mm);

$\eta_L$  = viscosità dinamica del liquido (g x sec/cm<sup>2</sup>);

V = velocità di caduta (cm/sec);

$\gamma_S$  = densità specifica della particella (g/cm<sup>3</sup>);

$\gamma_L$  = densità del liquido (g/cm<sup>3</sup>).

Nel corso della prova si tratta dunque di misurare la velocità di caduta della particelle, vale a dire del tempo che la singola particella impiega per percorrere una determinata distanza. Le letture di tale distanza vengono misurate mediante un aerometro, che viene introdotto nel cilindro contenete le particelle in esame.

Così come sopra riportato, sono state realizzate delle analisi granulometriche e di permeabilità che hanno fornito i seguenti risultati:

- |           |      |
|-----------|------|
| • argilla | 91 % |
| • limo    | 9%   |

**14 COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'**

Dal prelievo di campioni i terreni presenti nel sito possono essere definiti: prevalentemente argillosi con deboli intercalazioni di limo.

Attraverso la curva granulometrica è possibile derivare una valutazione empirica del coefficiente di permeabilità, per mezzo della formula di Breyer. La relazione è la seguente:

$$K = (g C_b D_{10}^2) / \nu$$

Con

$$C_b = 6 \times 10^{-4} \log (500/U_c);$$

$K$  = (coefficiente di permeabilità) è espresso in cm/s;

$g$  = corrisponde all'accelerazione di gravità, che è stata assunta col valore di  $9.807 \text{ m/s}^2$ ;

$C_b$  è un coefficiente legato al grado di uniformità dimensionale del materiale;

$D_{10}$  è il diametro efficace, espresso in cm;

$\nu$  rappresenta la viscosità cinematica del liquido che attraversa il terreno;

$U_c$  invece è il coefficiente di uniformità.

Il valore ottenuto è il seguente:

$$K = 1.6 \times 10^{-6} \text{ cm/s.}$$

Pozzetto esplorativo: individuazione delle caratteristiche granulometriche e permeabilità del sito



#### 14.1 VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

Per la determinazione della vulnerabilità idrogeologica, così come fatto per i depositi precedenti, è stata utilizzata la metodologia proposta dal GNDCI-CNR che analizza diversi fattori alcuni dei quali sono:

- tipo e grado di permeabilità dei depositi;
- tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità, che costituiscono elementi di protezione degli acquiferi soggiacenti;
- la soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero ovvero lo spessore della zona insatura, cui corrisponde l'azione depurante ad opera dei depositi litoidi;



- presenza di livelli ghiaiosi sotterranei, elementi che favoriscono la diffusione di sostanze inquinanti;
- le condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleovalvei o di terrazzi fluviali.

Dall'analisi di tutti gli elementi presi in considerazione la classe di vulnerabilità dell'area in esame è bassa (Fig.4).

GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E <sub>E</sub>	E	A	M	B	B <sub>B</sub>			
						Argilla Limo-argilla Sabbia	< 10 m > 10 m > 10 m	Falda a pelo libero o in pressione Falda in pressione Falda in pressione con soggiacenza > 5 m
						Limo Sabbia	< 10 m > 10 m	Falda a pelo libero o in pressione Falda a pelo libero o in pressione con soggiacenza 0 - 5 m
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda in pressione
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
						Ghiaia	0 m	Alvei fluviali e bacini lacustri disperdenti

E<sub>E</sub> = Estremamente elevato   E = Elevato   A = Alto   M = Medio   B = Basso   B<sub>B</sub> = Bassissimo (non rilevata sul territorio)

Carta della vulnerabilità

<b>15 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI</b>
--

Dall'analisi delle tabelle relative alla prova penetrometrica statica è stato possibile ricostruire la seria stratigrafica locale e parametrizzato i depositi individuati fino alla profondità di 6 m dal p.c.

Le correlazioni dei valori forniti dalle prove limitrofe in funzione delle litologie riscontrate, consentono di definire i parametri di progetto seguenti:

da 0,0 a 0,4 m	Terreno coesivo	Terreno pedologico
	Modulo edometrico	$M_o = 10 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0,1 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico efficace	$\gamma' = 1,85 \text{ t/m}^3$
da 0,4 a 6 m	Terreno coesivo	Argilla debolmente limosa
	Modulo elastico	$E = 80 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0,65 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico efficace	$\gamma' = 0,95 \text{ t/m}^3$
Profondità della falda		-2.8 m da p.c.

Tabella 2: Valori geotecnici di progetto

L'indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia del sito analizzato caratterizzando da un punto di vista geotecnico i depositi individuati lungo la verticale.

## 16 CONCLUSIONI

Le indagini effettuate hanno consentito di fornire un quadro organico, complessivo ed esauriente della situazione litostratigrafia, idrogeologica e geotecnica relativa al cimitero di Bondanello, evidenziando una sostanziale omogeneità del sito sotto gli aspetti in esaminati.

L'espletamento dell'indagine ha compreso:

- rilevamento di massima della zona al fine di determinare i caratteri geologici i lineamenti geomorfologici con analisi di eventuali processi in atto;
- esecuzione di n° 1 scavo di prospezione e prelievo di campione da sottoporre ad analisi di laboratorio;
- n° 1 prova penetrometrica statica finalizzata alla determinazione dei parametri geotecnici di progetto.

I terreni che caratterizzano l'area cimiteriale presentano le stesse caratteristiche geologiche dei terreni del cimitero di Moglia, infatti è possibile evidenziare:

- i depositi presentano un coefficiente di permeabilità pari a  $1.6 \times 10^{-6}$  cm/sec;
- una granulometria fine, le analisi evidenziano terreni costituiti da argilla con intercalazioni di limo;
- la falda viene intercettata alla profondità di 2.8 m dal p.c.;
- i terreni presentano una vulnerabilità idrogeologica bassa;
- le caratteristiche geotecniche sono buone in termini di portanza dei terreni.

Dall'analisi delle caratteristiche granulometriche e successivamente del coefficiente di permeabilità (poco permeabili e poco areati), per i casi di inumazione, si rende indispensabile, così come per il cimitero del capoluogo, al fine di migliorare la mineralizzazione delle salme, di:

- ✓ **scoticare l'argilla individuata sul fondo della fossa;**
- ✓ **inserire sempre sul fondo della fossa uno strato di circa 30 cm di ghiaietto e sabbia;**
- ✓ **lateralmente il fosso e sovrastante la cassa si dovrà inserire del ghiaietto e sabbia; sopra la cassa lo strato vegetale dovrà essere di 30 cm.**

Per quanto riguarda l'eventuale realizzazione di strutture fuori terra, i carichi applicati da quest'ultimi non costituiscono alcun problema in quanto i terreni di fondazione presentano parametri geotecnici rassicuranti sia in termini di capacità portante sia come cedimenti attesi.

Lo studio geologico realizzato ai sensi della L.R. 12/2005, fa ricadere l'area cimiteriale in seconda classe di fattibilità per le azioni di piano. La classe presenta modeste limitazioni alla modifica della destinazione d'uso, sono consentite tutte le tipologie di intervento nel rispetto del D.M. 14.01.2008, e che tenga conto della normativa delle zone a sismicità 3, al fine di valutare l'amplificazione sismica locale.

Bigarello, Luglio 2013

IL TECNICO

Dott. Geol. Rosario Spagnolo

Tabella dei parametri geotecnici  
Tabella delle valutazioni litologiche  
Diagrammi di resistenza  
Valori di resistenza