

PROVINCIA DI MANTOVA

COMUNE DI CURTATONE

PIANO CIMITERIALE

CIMITERI DI

SAN SILVESTRO - BUSCOLDO MONTANARA

RELAZIONE GEOLOGICA IDROGEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

(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 gennaio 2008)

COMMITTENTE:

Comune di Curtatone

IL TECNICO

Dott. Geol. Rosario Spagnolo

INDICE DEI CAPITOLI

1	PREMESSA.....	1
2	METODOLOGIA ESEGUITA.....	2
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	2
4	IDROGEOLOGICA GENERALE.....	4
5	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO.....	5
6	LITOSTRATIGRAFIA TERRITORIALE.....	6
7	SISMICITA'.....	8
8	AZIONE SISMICA.....	11
9.	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA	12
	CIMITERO DI SAN SILVESTRO.....	16
9	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	16
10	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE	17
11	CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI	20
12	IDROGEOLOGIA DEL SITO INDAGATO.....	21
12.1	PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'.....	21
13	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA	21
14	ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO.....	23
15	STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA	24
16	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI.....	25
17	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25
	CIMITERO DI BUSCOLDO	27
18	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	27
19	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE	28
20	CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI.....	31
21	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO	32
22	IDROGEOLOGIA DEL SITO INDAGATO	32
22.1	pericolosita' e fattibilita'	33
23	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA.....	33

24	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI	34
25	CONCLUSIONI	36
	CIMITERO DI MONTANARA.....	37
26	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	37
27	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE	38
28	CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI	40
29	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO	41
30	IDROGEOLOGIA DEL SITO INDAGATO	41
30.1	PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'	42
31	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA	42
32	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI	43
33	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	43

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Inquadramento territoriale

Figura 2: Planimetria con ubicazione del pozzetto esplorativo e le prove penetrometriche

INDICE DELLE TABELLE

Tabella dei parametri geotecnici

Tabella dell'andamento della capacità portante all'aumentare dell'accelerazione sismica orizzontale

INDICE DELLE FOTO

1 PREMESSA

Il presente lavoro, commissionato dall'Amministrazione comunale di Curtatone, è volto alla definizione delle caratteristiche litologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dei terreni interessati al nuovo Piano Cimiteriale. L'illustrazione delle caratteristiche suddette ha lo scopo di verificare che gli eventuali interventi urbanistico-edilizi nei cimiteri interessino aree geologicamente compatibili e che le variazioni indotte sull'ambiente non producano danni, più o meno irreversibili, alle risorse naturali e all'ambiente.

La valutazione delle caratteristiche geologiche-idrogeologiche è stata eseguita in ottemperanza al Regolamento Regionale n°6 del 9 novembre 2004, D.P.R. n° 285 del 10 settembre 1990 (regolamento di polizia mortuaria) e al D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce...", relativa circolare applicativa (Circ. LL.PP. n° 30483 del 24/09/88), D.M. 14 gennaio 2008 D.Lgs. 152 del 03.04.2006 "Norme in materia ambientale".

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litotecnico i depositi e riuscire a definire l'assetto idrogeologico locale, sono stati realizzati diversi pozzetti esplorativi e prelevato dei campioni per la classificazione granulometrica dei depositi intercettati, e analizzato diverse prove penetrometriche statiche realizzate in vicinanza dei relativi cimiteri, al fine di parametrizzare i depositi intercettati lungo la verticale e classificare i terreni intercettati da un punto di vista sismico associando la categoria di suolo ai depositi di ogni cimitero.

Le indagini geognostiche hanno ricostruito la situazione stratigrafica del primo sottosuolo e parametrizzato le litozone individuate, fornendo un quadro complessivo del lotto di terreno interessato al piano, individuando la categoria di suolo.

Il presente lavoro è stato quindi così articolato:

- indagine sulla litostratigrafia ed idrogeologia dell'ambito territoriale relativa ai quattro cimiteri, al fine di inquadrare la situazione locale

nel contesto della struttura litostratigrafica ed idrogeologica generale;

- inquadramento litostratigrafico, idrogeologico, geotecnico e sismico di dettaglio, sulla base dell'elaborazione dei dati disponibili relativi alle indagini eseguite a supporto della progettazione, di prove e verifiche in situ quali: sondaggi geognostici, prove di permeabilità e trincee geognostiche esplorative.

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 sono stati realizzati pozzetti esplorativi, con mezzo meccanico, spinti alla profondità di circa 3 m da p.c. e sono state analizzate diverse prove penetrometriche statiche, realizzate in zone limitrofe ai cimiteri per determinare i parametri geotecnici degli orizzonti stratigrafici. Per ogni cimitero sono state considerate prove che hanno raggiunto profondità di circa 6 m dal piano campagna, utilizzando un penetrometro statico-dinamico, 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.

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

La storia geologica dell'area in esame è caratterizzata da ripetuti fenomeni di espansione e successivo ritiro dei ghiacciai; la costituzione di un sistema morenico, tipo quello gardesano di cui l'area oggetto di studio fa parte, deriva dalla

sovrapposizione ed interazione di più eventi deposizionali ed erosivi legati alle diverse glaciazioni, generate da ripetute oscillazioni climatiche.

Le glaciazioni a cui corrispondono altrettante espansioni glaciali, sono intervallate da fasi interglaciali che determinano il ritiro del fronte dei ghiacci a quote maggiori.

L'anfiteatro morenico si divide in due momenti ben precisi: un periodo glaciale che porta all'avanzamento verso regioni più meridionali del fronte del ghiacciaio, trasportando materiali litoidi che cadono sulla sua superficie o che vengono strappati alle rocce di base e che costituiscono le cerchie moreniche una volta abbandonati alla fronte dopo che il ghiacciaio ha raggiunto la sua massima espansione.

Questo momento è seguito da un periodo interglaciale o postglaciale, caratterizzato dal ritiro dei ghiacci verso monte con conseguente fusione del corpo glaciale che porta all'accentuazione di fenomeni erosivi e trasporto di materiale nella piana antistante.

L'area studiata è costituita da una successione di alluvioni gradate da monte a valle (Pleistoceniche) lungo un piano inclinato, la cui lieve pendenza ha favorito una cernita granulometrica dei sedimenti.

La pianura pedemorenica si caratterizza per la presenza di sedimenti a granulometria grossolana (Wurmiano), alternati ad altri più antichi, che identificano brevi stasi del processo di costruzione della pianura.

Le unità geologiche affioranti, di ambiente continentale, sono costituite da morene, depositi fluvioglaciali e alluvioni di età compresa tra il Pleistocene e l'Olocene.

Dall'Olocene ad oggi l'elemento geomorfologico principale è costituito dai corsi d'acqua che, erodendo i depositi morenici a monte, hanno deposto i sedimenti a valle, contribuendo all'assetto attuale del territorio.

Le alluvioni del Chiese risultano ben gradate a seconda della competenza delle correnti fluviali: ciottolose e ghiaiose nelle parti alte del Chiese, sabbiose nella porzione terminale.

4 IDROGEOLOGICA GENERALE

Le elaborazioni effettuate hanno sostanzialmente permesso di correlare tali dati ricostruendo, con buona approssimazione, la distribuzione areale, l'andamento, le caratteristiche litologiche e i reciproci rapporti dei livelli permeabili e impermeabili, che, data la loro origine alluvionale, costituiscono un complesso sistema possedente accentuati caratteri di discontinuità per la presenza di digitazioni laterali e di variazioni verticali.

L'acquifero ha uno spessore di circa 300-400 m ed è contenuto in depositi continentali glaciali, fluvioglaciali e fluviali, che hanno colmato il bacino padano durante il Pliocene e il Pleistocene.

All'interno di questo grande serbatoio si possono distinguere varie unità idrogeologiche e sub-sistemi, che non corrispondono a dei limiti ben precisi, ma piuttosto a zone d'influenza o di dominio prevalente di un determinato corso d'acqua o di una determinata formazione geologica.

Sotto il piano campagna è presente un livello impermeabile di argille grigio-chiare, talora debolmente limose e torbose, potente dai 10 ai 20 m. La prima falda, il cui letto è localizzato a 30-35 m di profondità, è contenuta in ghiaie medio-grosse, frammiste a sabbie pure medio-grosse di colore grigio-chiaro al tetto e grigio scure al letto.

Questa falda è separata dalla successiva da un livello di argille marnose, grigio-scure, potente dai 5 ai 10 m.

La seconda falda, presente tra i 40 e i 50 m circa, ha sede in sabbie medio-grosse, di colore scuro, accompagnate da piccole percentuali di ghiaia medio-fine.

La terza falda presenta al tetto un pacco di argille scure dello spessore variabile dai 5 ai 9 m e ha sede in un livello, compreso tra i 55-60 e gli 80 metri, costituito da sabbie e ricco di acqua.

Le falde sospese risultano contenute in più distinti orizzonti discontinui e lentiformi all'interno della litozona argillosa superficiale e sono o debolmente in pressione o localmente libere.

Sulla base delle ricostruzioni litostratigrafiche di dettaglio effettuate sulla scorta dei numerosi dati puntuali disponibili, è possibile stabilire l'inesistenza di rapporti di comunicazione diretta tra le lenti sabbioso-limose, ospitanti le falde sospese, e la litozona sabbiosa, ospitante la falda principale, nonché la marcata discontinuità areale di tali lenti.

5 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

La pianura mantovana occidentale degrada dolcemente da nord-ovest verso sud-est con un gradiente intorno al 0.28%. La quota massima si attesta sui 90 m s.l.m., mentre la minima è di circa 25 m s.l.m..

L'area studiata è caratterizzata da due unità fisiografiche, il "Livello Fondamentale della Pianura" e le valli alluvionali dei fiumi attuali e dei paleoalvei.

Le conoidi ghiaiose formate da materiali fluvioglaciali grossolani caratterizzano l'alta pianura pedemorenica, che presenta una morfologia leggermente convessa.

La media pianura è caratterizzata da porzioni di pianura stabili per la presenza di un'idrografia organizzata di tipo meandriforme; i depositi sono di tipo sabbioso e privi di pietrosità in superficie.

I dossi della media pianura sono ritenuti l'ultima fase prima del ciclo erosivo che ha portato alla formazione delle principali incisioni dei fiumi attuali.

In questa parte di pianura è possibile osservare delle depressioni allungate con direzione nord-sud, che rappresentano tracce di antichi paleoalvei.

Numerosi lobi di meandro si rinvencono all'interno delle valli attuali, che si caratterizzano per la presenza di depositi alluvionali, sabbie e sabbie limose; le valli sono delimitate da scarpate con dislivelli differenti in funzione dei corsi d'acqua.

L'azione antropica, nel corso dei secoli, ha modificato il regime idrologico. Inoltre, la costruzione di canali a scopo irriguo e di bonifica, l'imbrigliamento dei fontanili e la realizzazione di arginature hanno modificato la morfologia superficiale.

6 LITOSTRATIGRAFIA TERRITORIALE

Geologicamente la zona è caratterizzata da formazioni continentali quaternarie costituite da depositi interglaciali di origine fluvio-lacustre e di origine fluviale, che formano l'esteso livello fondamentale della Pianura Padana, a sud della zona delle risorgive. In corrispondenza delle aste fluviali principali, i depositi appartenenti al Wurm risultano erosi e le aree circostanti, depresse rispetto al Livello Fondamentale, si raccordano alla Pianura attraverso ripide scarpate, che costituiscono gli orli di terrazzi fluviali. Questi sono presenti anche in più ordini, senza soluzione di continuità per effetto dell'intervento antropico.

I depositi del Wurm, tipici di un ambiente deposizionale fluviale, sono caratterizzati da una maggior energia deposizionale e presentano una frazione granulometrica sabbioso-argillosa prevalente, costituita da lenti ghiaiose a ciottoli. Essi risultano generalmente coperti da una coltre di suolo brunastro.

Lungo le aste principali, i depositi più recenti possono essere suddivisi in Alluvioni antiche, Alluvioni medio-recenti e Alluvioni attuali: le prime costituiscono un basso e ristretto terrazzo, talora con ridotte scarpate; i depositi medio-recenti sono terrazzati e di poco sospesi sugli alvei attuali; le Alluvioni attuali si trovano nel greto dei corsi d'acqua. In tutti i tre casi si tratta di terreni sabbioso-argillosi con lenti ghiaiose.

Il territorio comunale è caratterizzato da depositi appartenenti all'interglaciale Wurm-Riss. Si tratta di depositi fluviolacustri argillosi di colore biancastro-giallastro, con rari ciottoli e concrezioni calcaree. I depositi argillosi suddetti sono stati erosi e successivamente ricoperti dal Fluviale wurmiano, che è presente a nord del territorio comunale. In destra idrografica sono molto sviluppati depositi alluvionali (Alluvioni antiche), spesso separati, per mezzo scarpate di modesta altezza, dai terreni dei depositi che costituiscono il Livello Fondamentale della Pianura. Essi formano bassi e ristretti terrazzi, che qui si sviluppano con una certa continuità.

L'assetto litostratigrafico dell'area oggetto di pianificazione è caratterizzata da :

- una litozona prevalentemente limosa, caratterizzata da un'ampia estensione areale, intercettata a nord, sud-est e nord-est di Asola. In genere, tale litozona è contraddistinta da una porzione più superficiale costituita da limi prevalenti e limi argillosi, passanti verso il basso a limi, limi-argillosi, talora debolmente sabbiosi, di color grigio;
localmente, all'interno di tali depositi limosi superficiali, sono presenti orizzonti marcatamente lenticolari e discontinui di sabbie debolmente limose (lenti sabbiose-limose), con estensione areale in genere piuttosto ridotta e spessore variabile, solo in alcuni casi apprezzabile (da più decimetri a qualche metro);
- una litozona sabbiosa, coincidente con il primo acquifero principale individuato a scala territoriale. Si tratta di un orizzonte che si intercetta ad ovest, nord-ovest, e a sud di Asola, con una grossa lente a sud-est; esso presenta spessori variabili tra 1 e 15 m: il letto è localizzato a quote assolute comprese tra 9 e 15 m s.l.m.;
- una litozona argillosa: su tutta l'area indagata sono state individuate delle lenti ad ovest e sud-ovest. Tale litozona risulta contraddistinta da bassi valori del coefficiente di permeabilità, che risultano dell'ordine di 10^{-5} - 10^{-7} cm/s; l'orizzonte è contraddistinto da una porzione più superficiale costituita da argille prevalenti e limi

argillosi di color giallo-ocra, passanti verso il basso a limi, limi-argillosi, talora debolmente sabbiosi di color grigio. Lo spessore di questa litozona superficiale varia nella zona oggetto di studio nel *range* 5 – 13 m circa.

7 SISMICITA'

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, entrata in vigore il 23/10/2005 contestualmente al Decreto Ministeriale 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni", individuava in prima applicazione le zone sismiche del territorio nazionale.

La Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7/11/2003, ha preso atto e confermato la classificazione fornita dalla suddetta ordinanza; successivamente, con D.d.u.o. n. 19904 del 21/11/2003 ha stabilito l'elenco degli edifici e opere infrastrutturali e il programma delle verifiche di cui all'art. 2 dell'O.P.C.M. n. 3274.

In tale contesto il territorio del Comune di Curtatone è stato classificato in zona 4, indicando pertanto condizioni di "sismicità bassa" ($S = 6$). **Con la D.G.R. 11 luglio 2014, n° 2129, il territorio comunale è stato inserito in zona sismica 3 e non più 4.**

Con il termine rischio sismico vengono identificati e valutati gli effetti prodotti da un terremoto. I fattori che intervengono nella definizione di tali danni sono:

- ❑ la pericolosità sismica di base e locale intesa come la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito, è legata alle caratteristiche sismotettoniche, alle modalità di rilascio dell'energia alla sorgente, al percorso di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e alla loro interazione con la geologia e geomorfologia;
- ❑ la vulnerabilità sismica intesa come la propensione di un edificio a subire un danneggiamento a seguito di un evento sismico, è legata alle caratteristiche costruttive dell'edificio stesso.

La normativa sismica (O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.03 e successive modifiche) consente di valutare l'azione sismica, da assumere a base della progettazione, tenendo conto dell'accelerazione massima stimata per il territorio in esame (scuotimento al basamento) e delle caratteristiche geologiche locali (amplificazione dovuta alla stratigrafia) l'azione sismica viene stimata sulla base di due parametri principali:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio (a_g/g);
- fattore di stratificazione del suolo di fondazione (S).

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 (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/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 $70 < c_u < 250$ KPa).

D depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti ($V_{s30} < 180$ m/s – $N_{spt} < 15$ o coesione non drenata $c_u < 70$ 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

8 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_r espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
- Ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $s_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nei periodi di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale.

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

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 paleoalvei 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 interazione 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 soggiacente;
- 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:

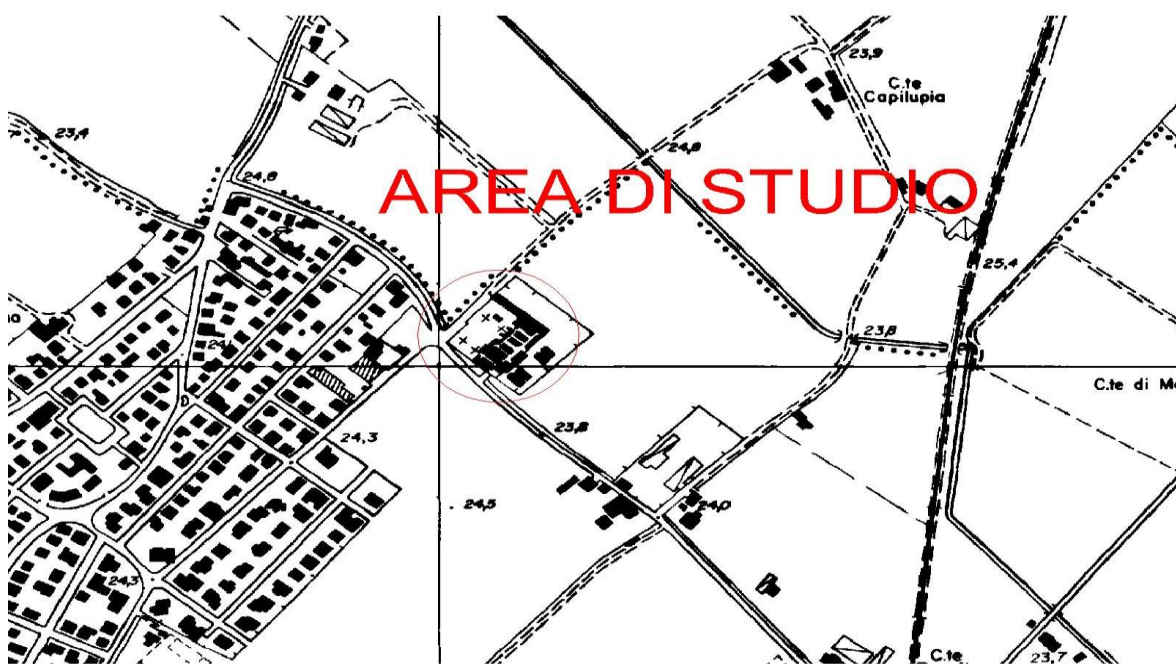
- **l'accessibilità idraulica**, intesa come l'effettiva possibilità che un inquinante idroportato abbia per giungere nello strato saturo;
- **la capacità di attenuazione** dell'insaturo, ossia l'insieme dei processi che portano a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Questi fattori si esplicano 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.

CIMITERO DI SAN SILVESTRO

9 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il cimitero in esame è ubicato a est dell'abitato di San Silvestro (fig. 1), ed è cartograficamente individuabile nella sezione n° D7d3, elemento Curtatone, alla scala 1:10.000, della Carta Tecnica Regionale.

Immagine del sito indagato





10 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE

Al fine di determinare le caratteristiche litologiche e granulometriche dei terreni studiati è stato prelevato un campione, determinando il coefficiente di permeabilità con la relativa classificazione granulometrica.

Il livello si caratterizza per la presenza di sabbia, nello scavo non è stato osservato la presenza di acqua di falda freatica fino alla profondità di 2.5 m da p.c. (documentazione fotografica allegata).

La determinazione di K è stata effettuata tramite una prove di permeabilità tipo Lefranc a livello variabile, secondo le norme AGI 1977. Essa è stata realizzata durante l'esecuzione del sondaggio geognostico.

Si tratta di una prova puntuale la quale ha interessato lo strato di terreno compreso tra 0.6 fino al fondo scavo. Tra 1 e 2 m si è costruita la lanterna entro la quale si è calcolata K, mentre la parte rimanente del foro è stata rivestita con tubo in PVC. L'esecuzione della prova consiste nel riempire con acqua pulita la parte vuota del tubo, ovvero la parte sopra falda. Quindi, all'istante in cui si sospende

l'immissione dell'acqua si misura l'altezza del livello e si fa partire il contasecondi annotando ora e minuti di partenza. Poi successivamente, si eseguono le letture del livello a intervalli di tempo annotando sia il livello dell'acqua che il tempo di ciascuna lettura.

Per la sabbia il valore di K trovato è:

sondaggio	Intervallo di prova (m dal p.c.)	litozona	K (cm/s)
S1	0.5 – 1.5	sabbia	1.10^{-3}

All'interno del pozzetto è stato prelevato un campione rappresentativo, su cui è stata eseguita anche un'analisi granulometrica. La granulometria è stata eseguita mediante setacciatura a umido ed hanno dato l'esito seguente:

1) sabbia	93%
2) limo	5%
3) argilla	2%

Pertanto i depositi intercettati, che si rinvencono in tutto il territorio in esame, presentano una discreta permeabilità.

Localizzazione sondaggio geognostico



Ubicazione pozzetto



Pozzetto esplorativo spinto oltre 2.8 m dal p.c.



11 CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI

Sullo stesso campione litologico, di cui sopra sono state descritte le caratteristiche granulometriche, sono stati determinati i seguenti parametri:

- modulo di deformazione E ;
- peso di volume secco Y_d ;
- angolo di attrito interno ϕ

- $E = 150 \text{ Kg/cm}^2$;
- $Y_d = 1.85 \text{ t/m}^3$;
- $\phi = 30^\circ$.

12 IDROGEOLOGIA DEL SITO INDAGATO

La struttura idrogeologica è caratterizzata da un sistema multifalde, costituita dall'alternanza di falde acquifere indipendenti, separate da livelli argillosi o a bassa permeabilità di spessore variabile.

Nel complesso i corpi sabbiosi appaiono prevalenti e tra loro intercomunicanti; i livelli a bassa permeabilità (limi argillosi) sono discontinui e di spessore ridotto e molto spesso eteropici a limi.

Il particolare tipo di deposizione lenticolare dei sedimenti fluviali determina, infatti, soluzioni di continuità tra depositi permeabili e depositi poco permeabili o impermeabili dando luogo ad un sistema di falde sovrapposte che, tuttavia, può essere ricondotto ad un unico sistema acquifero di tipo monostrato compartimentato.

12.1 PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

Lo studio geologico, realizzato a supporto del Piano di Governo del Territorio, inserisce il sito in terza classe di fattibilità, la zona presenta delle limitazioni alle condizioni di modifica delle destinazioni d'uso dei terreni; lo studio, ai sensi della L.R. 12/2005, prevede approfondimenti di carattere idrogeologico, per la verifica della vulnerabilità dell'acquifero superficiale.

13 VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

La metodologia utilizzata per la redazione della carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi prende spunto dalla legenda proposta dal GNDCI-CNR, che valuta la vulnerabilità idrogeologica intrinseca, tramite sovrapposizione e intersezione di carte tematiche d'analisi dei seguenti fattori:

- ✓ 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 sottiacenti;
- ✓ 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 paleoalvei o di terrazzi fluviali.

GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E _E	E	A	M	B	B _B			
						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_E = Estremamente elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso B_B = Bassissimo (non rilevata sul territorio)

Carta della vulnerabilità

Il sito indagato, in relazione alle caratteristiche idrogeologiche, presenta classe di vulnerabilità idrogeologica media.

14 ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO

La campagna di indagini ha avuto come obiettivo la definizione dell'assetto geologico, stratigrafico ed idrogeologico e sismico dei terreni presenti, per la valutazione all'idoneità dei depositi del sottosuolo al tipo di intervento in progetto.

La fase di indagini sono consistite nella realizzazione di n° 1 sondaggio meccanico, che ha permesso il riconoscimento diretto dei terreni dell'immediato sottosuolo ed il prelievo di campioni per le successive prove di laboratorio, inoltre, sono state analizzate diverse prove penetrometriche statiche per la parametrizzazione dei terreni in situ .

Al fine di valutare le proprietà fisiche e geotecniche dei depositi presenti nell'immediato sottosuolo, è stato prelevato un campione per l'esecuzione delle prove descritte di seguito e analizzate delle prove masw per la determinazione della categoria di suolo.

L'indagine analizzata ha permesso di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri dalla superficie (V_{s30}), e della determinazione della categoria di suolo di fondazione, in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio (N.T.C. 23/09/05), al D.M. 14/09/05 ("Norme Tecniche per la Costruzione") e D.M. 14 gennaio 2008.

Il programma delle attività si è articolato nelle seguenti fasi:

- ricerca bibliografica e raccolta di dati esistenti;
- individuazione delle aree campione e programmazione delle indagini in sito;
- analisi delle indagini con raccolta in campo dei dati stratigrafici e idrogeologici;
- analisi della prova geofisica;
- analisi e interpretazione dei dati acquisiti;
- calcolo del valore di V_{s30} .

15 STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite la prova pregressa Masw, realizzata in occasione del P.G.T., ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione indagata.

Secondo normativa (D.M.14.01.2008) **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:** *Depositi di terreno a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori v_s , 30 compresi tra 180m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{NSP,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina).*

TIPO DI COSTRUZIONE		2
VITA NOMINALE	VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1
VITA DI RIFERIMENTO	VR	50 anni

Parametri sismici

Categoria di suolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50 anni
 Coefficiente d'uso: 1

16 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI

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

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

Tabella 1: Valori geotecnici di progetto

da 0.00 a 0.4 m	terreno pedologico	Argilla organica
	Modulo di deformaz.	$E = 10 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico	$\gamma' = 1,85 \text{ t/m}^3$
da 0.5 a 3.2 m	terreno granulare	sabbie
	Modulo edometrico.	$M_o = 150 \text{ Kg/cm}^2$
	Angolo di attrito interno	$\phi = 30^\circ$
	Peso specifico	$\gamma' = 1.85 \text{ t/m}^3$
da 3.2 a 6 m	terreno granulare	Sabbia-limosa
	Modulo edometrico.	$M_o = 130 \text{ Kg/cm}^2$
	Angolo di attrito interno	$\phi = 29^\circ$
	Peso specifico	$\gamma' = 0.95 \text{ t/m}^3$

17 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio è stato realizzato ai sensi del D.M. 11.03.1988 – D.M. 14 gennaio 2008 e del D.P.R. n° 285/90 – art. 57, che prevede le seguenti prescrizioni:

- il terreno dell'area cimiteriale deve essere sciolto sino alla profondità di metri 2.5, 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;

- 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 0.5 m dal fondo della fossa per inumazione.

L'analisi di tutte le componenti studiate (litologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche) consente di affermare che:

- nel momento dell'indagine, non è stato individuato il livello della falda freatica posto verosimilmente oltre i 3 metri da piano campagna;
- i terreni che caratterizzano l'area cimiteriale presentano una granulometria media (sabbia), fino alla profondità di 3.2 m dal p.c., i depositi sono adatti alla inumazione perché sabbiosi sciolti e dotati di una buona permeabilità e quindi facilmente attraversabili sia da fluidi che da aria;
- i terreni in esame presentano in generale buoni parametri geotecnici in termini di portanza.

La raccolta e lo smaltimento delle acque piovane, ricadenti in area cimiteriale, dovrà escludere il verificarsi di ristagni nell'area delle inumazioni.

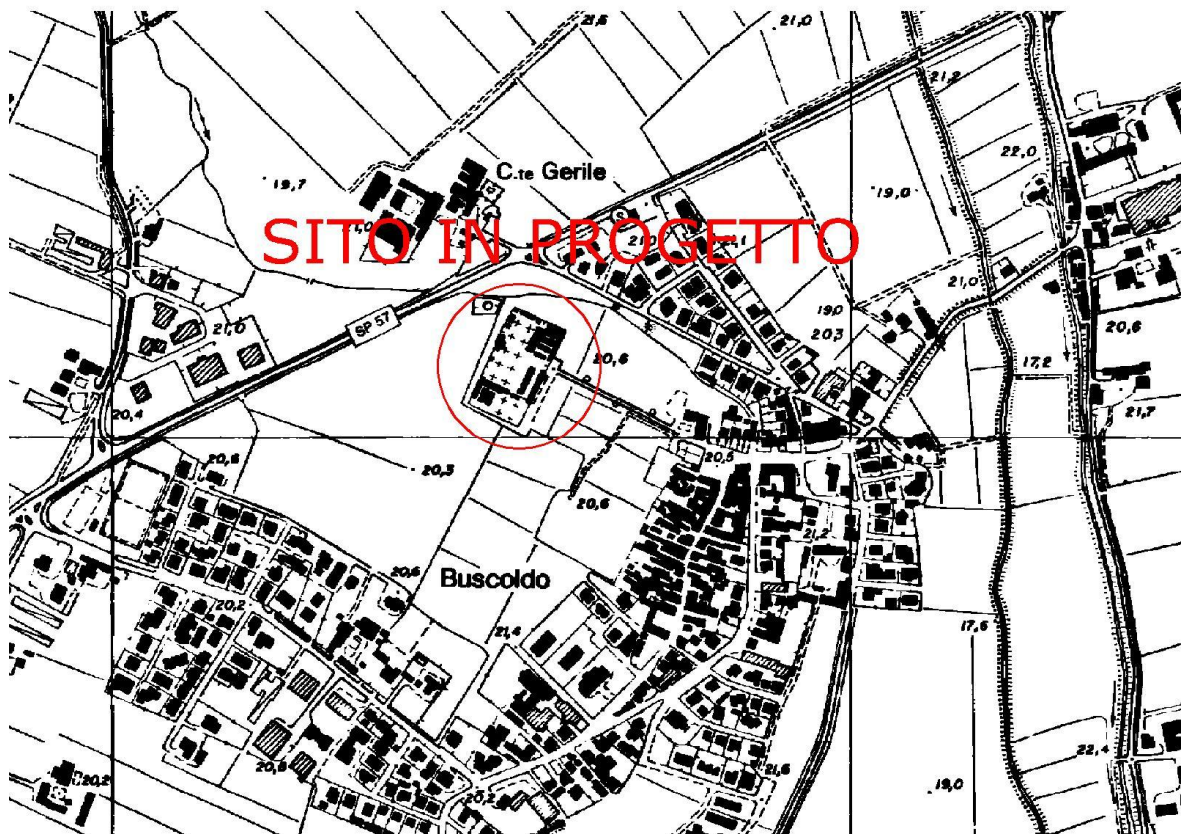
In relazione a quanto previsto dalla normativa vigente, i terreni studiati favoriscono il processo di mineralizzazione delle salme, per i casi di inumazione, mentre per le strutture fuori terra i depositi presentano medi parametri geotecnici.

CIMITERO DI BUSCOLDO

18 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area indagata si colloca nell'abitato di Buscoldo (fig. 3), viene individuata nella sezione n° E8b1, elemento Curtatone, alla scala 1:10.000, della Carta Tecnica Regionale.

Immagine dell'area cimiteriale interessata all'inumazione





19 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE

Anche per il cimitero di Buscoido 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);

η_L = viscosità dinamica del liquido (g x sec/cm²);

V = velocità di caduta (cm/sec);

γ_S = densità specifica della particella (g/cm³);

γ_L = densità del liquido (g/cm³).

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	5%
□ limo	55%
□ argilla	45%.

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:

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

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 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;

v rappresenta la viscosità cinematica del liquido che attraversa il terreno;

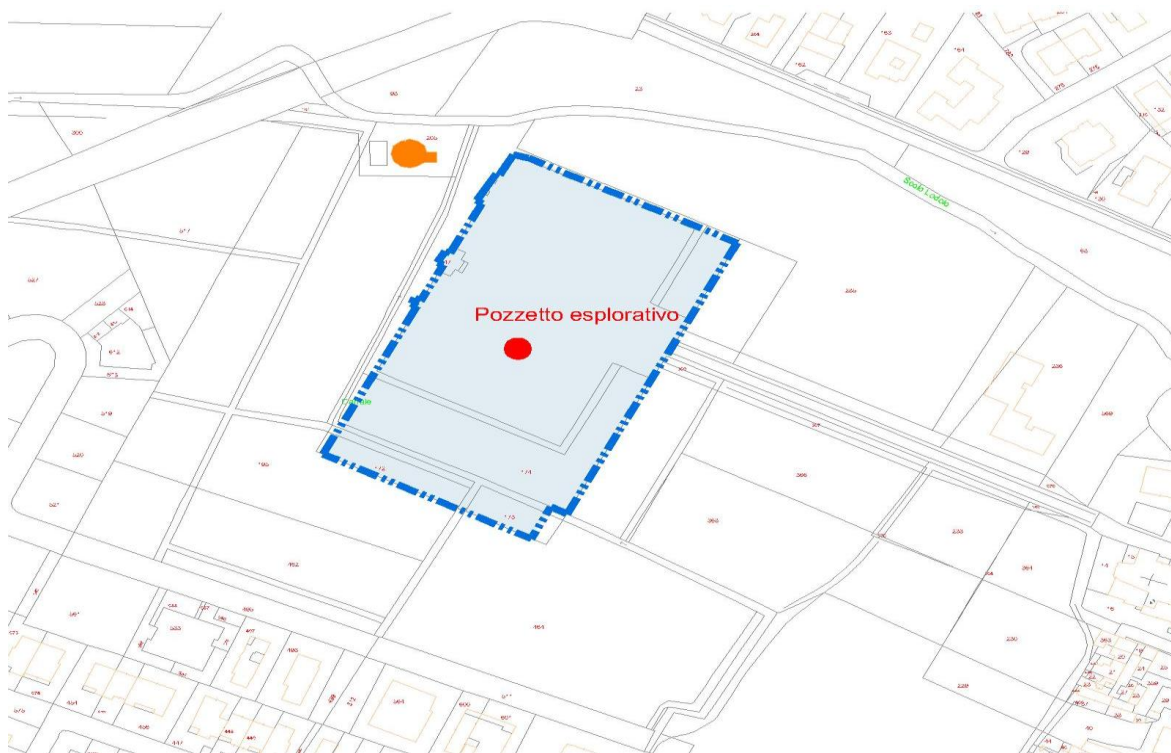
U_c invece è il coefficiente di uniformità.

Il valore ottenuto è il seguente:

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

Il deposito intercettato presenta una litostratigrafia omogenea e una bassa permeabilità.

Estratto di mappa con ubicazione sondaggio geognostico



Ubicazione pozzetto



Pozzetto esplorativo: deposito limo-argilloso (fig.4)



20 CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI

Sul campione prelevato sono state eseguite una serie di indagini finalizzate alle determinazione dei seguenti parametri:

- modulo di deformazione E ;
- peso di volume secco Y_d ;
- Coesione C_u
- $E = 60 \text{ Kg/cm}^2$;
- $Y_d = 1.85 \text{ t/m}^3$;
- $C_u = 0.7 \text{ Kg/cm}^2$.

21 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite la prova pregressa Masw ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione indagata.

Secondo normativa (D.M.14.01.2008) **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:** *Depositi di terreno a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori v_s , 30 compresi tra 180m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{NSP,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina).*

TIPO DI COSTRUZIONE		2
VITA NOMINALE	VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1
VITA DI RIFERIMENTO	VR	50 anni

Parametri sismici

Categoria di suolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1

22 IDROGEOLOGIA DEL SITO INDAGATO

La struttura idrogeologica locale è caratterizzata da forti contenuti in limo e argilla ed è spesso compattato, i depositi di contatto, ed ancor più quelli fluvioglaciali, essendo legati ad acque che hanno cernito i materiali, sono caratterizzati da depositi che possono costituire acquiferi estremamente produttivi.

Sulla base delle ricostruzioni litostratigrafiche di dettaglio effettuate sulla scorta dei numerosi dati puntuali disponibili, è possibile stabilire l'inesistenza di rapporti di comunicazione diretta tra le lenti sabbioso-limose e la litozona sabbiosa, ospitante la falda principale, nonché la marcata discontinuità areale di tali lenti.

Questi depositi in profondità danno luogo ad acquiferi con capacità produttive estremamente diverse.

22.1 PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

Anche per l'area cimiteriale di Buscoldo l'indagine geologica, realizzata a supporto del P.G.T., inserisce il sito in terza classe di fattibilità (zona con limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni,), la zona presenta una elevata vulnerabilità della falda freatica, pertanto, in relazione alla tipologia di intervento sono state effettuate delle indagini volte alla caratterizzazione idrogeologica dell'area in esame.

23 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 sottostanti;
- 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 paleoalvei o di terrazzi fluviali.

GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E _E	E	A	M	B	B _B			
						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_E = Estremamente elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso B_B = Bassissimo (non rilevata sul territorio)

Carta della vulnerabilità

Dall'analisi di tutti gli elementi presi in considerazione la classe di vulnerabilità dell'area in esame è medio-bassa.

24 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI

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

Vengono di seguito riportate i parametri geotecnici che vengono utilizzati per determinare la capacità portante dei depositi intercettati lungo la verticale.

Tabella 2: Valori geotecnici di progetto

da 0.00 a 0.3 m	terreno pedologico	Argilla organica
	Modulo di deformaz.	$E = 20 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico	$\gamma' = 1,85 \text{ t/m}^3$
da 0.3 a 2.6 m	terreno coesivo	Limi-argillosi
	Modulo edometrico.	$M_o = 60 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0.6 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico	$\gamma' = 1.85 \text{ t/m}^3$
da 2.6 a 4.3 m	Terreno granulare	Sabbia-limosa
	Modulo edometrico.	$M_o = 180 \text{ Kg/cm}^2$
	Angolo di attrito interno	$\phi = 30^\circ$
	Peso specifico	$\gamma' = 0.95 \text{ t/m}^3$
da 4.3 a 6.0 m	terreno coesivo	limi
	Modulo edometrico.	$M_o = 80 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0.7 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico	$\gamma' = 0.85 \text{ t/m}^3$

Le proprietà tecniche del sottosuolo vengono in seguito esaminate in ordine all'individuazione delle tipologie fondali idonee alla salvaguardia dell'integrità e funzionalità dei futuri fabbricati, secondo la prassi corrente di verificare primariamente la compatibilità tecnica con l'ambiente geologico di fondazioni dirette.

25 CONCLUSIONI

Dall'analisi delle componenti geologiche, idrogeologiche e geotecniche si sottolinea:

- la massima escursione della falda freatica, in relazione alla natura litologica del sito in esame, è di 2.6 m dal p.c. ed è confinata sotto i limi-argillosi;
- i terreni che caratterizzano l'area cimiteriale presentano una granulometria fine (argille-limi), fino alla profondità di 2.6 m dal p.c., i depositi si presentano poco permeabili e poco areati;
- i depositi in esame, per la tipologia progettuale, presentano parametri geotecnici medi in termini di portanza.

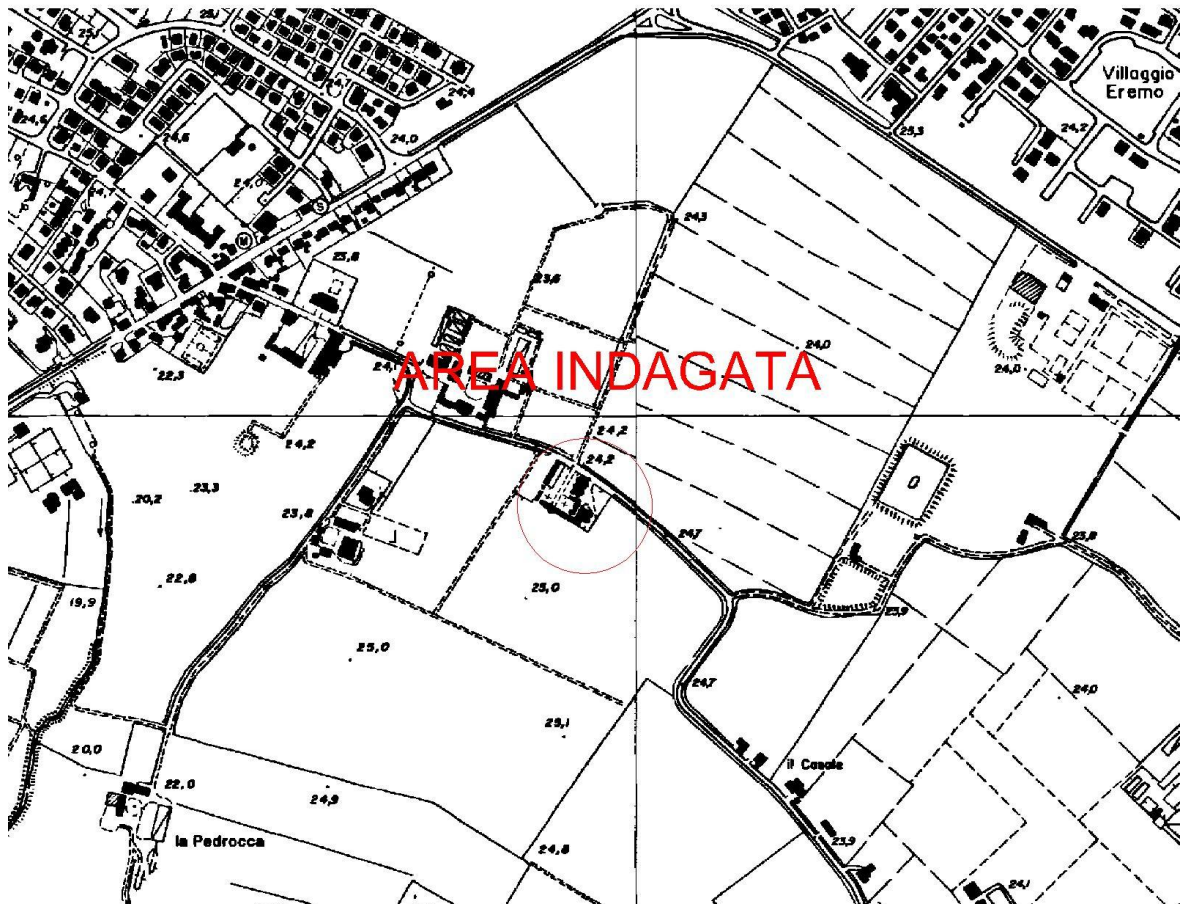
Al fine di migliorare la mineralizzazione delle salme si rende indispensabile:

1. *scoticare i limi-argillosi individuate sul fondo della fossa;*
2. *inserire sempre sul fondo della fossa uno strato di circa 40 cm di ghiaietto e sabbia;*
3. *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;*
4. *si rende necessario non oltrepassare lo strato limo-argilloso (individuato fino a 2.6 dal p.c.) per non intercettare la falda e far risalire la piezometrica, quindi bisogna lasciar confinata la falda.*

CIMITERO DI MONTANARA

26 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area cimiteriale è localizzata a sud-est dell'abitato di Montanara, come visibile nella C.T.R. e nella foto aerea di seguito esposta, ed è cartograficamente individuabile nella sezione n° E7b5, elemento Curtatone, alla scala 1:10.000, della Carta Tecnica Regionale.





27 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GRANULOMETRICHE

Per il cimitero di Montanara sono state analizzate diverse prove penetrometriche realizzate in occasione di un piano di lottizzazione e prelevato dei campioni grazie ad un pozzetto esplorativo (fig. 6), spinto fino alla profondità di 3 m dal p.c. Oltre alla ricostruzione litostratigrafia è stato possibile calcolare il coefficiente di permeabilità dei litotipi riscontrati, fino a fondo scavo.

La composizione granulometrica dei depositi individuati è la seguente:

□ sabbia	81%
□ limo	14%
□ argilla	5%

La permeabilità riscontrata è la seguente:

$$K = 2 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

Il deposito intercettato presenta una litostratigrafia omogenea e una alta permeabilità.

Estratto di mappa con ubicazione del pozzetto esplorativo



Ubicazione pozzetto esplorativo



Pozzetto esplorativo: sabbia debolmente limosa



28 CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI

I depositi presentano caratteristiche fisico-meccaniche buone con i seguenti parametri:

- Modulo edometrico M_o ;
- peso di volume secco Y_d ;
- angolo di attrito interno ϕ

- $M_o = 180 \text{ Kg/cm}^2$;
- $Y_d = 1.85 \text{ t/m}^3$;
- $\phi = 31^\circ$.

-

29 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO

Anche per il cimitero di Montanara l'intera area, ai sensi del D.M.14.01.2008, **appartiene alla categoria C**: Depositi di terreno a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori v_s , 30 compresi tra 180m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{NSP,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina).

TIPO DI COSTRUZIONE		2
VITA NOMINALE	VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1
VITA DI RIFERIMENTO	VR	50 anni

Parametri sismici

Categoria di suolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50 anni
 Coefficiente d'uso: 1

30 IDROGEOLOGIA DEL SITO INDAGATO

Dalla stratigrafia di pozzi ubicati in vicinanza dell'area cimiteriale (circa 100 m dal cimitero) è possibile evidenziare due unità con caratteristiche differenti. In verticale troviamo:

- unità sabbiosa caratterizzata da permeabilità alta, l'orizzonte viene intercettato a varie profondità.
- unità limo-argillosa presente fino alla profondità di 100 m dal p.c..

E' possibile evidenziare, dalle sezioni idrogeologiche esaminate, uno spessore uniforme di argilla-limosa, per poi passare in profondità a depositi sabbiosi.

Questi depositi in profondità danno luogo ad acquiferi con capacità produttive estremamente diverse. La falda freatica la si individua oltre i 3 m da p.c..

30.1 PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

La carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (studio geologico a supporto del P.G.T. – L.R. 12.2005), fa ricadere parte del cimitero in classe di fattibilità prima e parte in classe terza. La classe prima non presenta nessuna limitazione alla trasformazione d'uso dell'area in esame, mentre la classe terza viene definita per l'elevata vulnerabilità dell'acquifero freatico, pertanto, alla luce delle prescrizioni contenute nel piano delle regole del P.G.T., è stato effettuato uno studio di dettaglio che verifichi il rischio in relazione al tipo di intervento da realizzare.

31 VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

L'area cimiteriale presenta una vulnerabilità idrogeologica media; i fattori presi in considerazione 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 sottostanti;
- ✓ 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 paleoalvei o di terrazzi fluviali.

32 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI

I parametri geotecnici riportati nella tabella sottostante rappresentano i valori caratteristici del sito in esame.

Tabella 3: parametri geotecnici

da 0.00 a 0.2 m	terreno pedologico	Argilla organica
	Modulo edometrico.	$M_o = 10 \text{ Kg/cm}^2$
	Coesione non drenata	$C_u = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$
	Peso specifico	$\gamma' = 1,85 \text{ t/m}^3$
da 0.2 a 6 m	terreno granulare	sabbia
	Modulo edometrico.	$M_o = 150 \text{ Kg/cm}^2$
	Angolo di attrito interno	$\phi = 30^\circ$
	Peso specifico	$\gamma' = 1.85 \text{ t/m}^3$

33 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I terreni che caratterizzano l'area cimiteriale presentano una granulometria media, le analisi evidenziano terreni costituiti da sabbia intercalati a limo, con un coefficiente di conducibilità pari a 10^{-2} cm/sec .

Si tratta di terreni a medio-alta permeabilità e areati, quindi idonei all'inumazione delle salme in quanto questi tipi di depositi aumentano i tempi di mineralizzazione delle salme.

In merito alla falda freatica preme sottolineare come la massima escursione della falda si attesti alla profondità di 2.7 m da p.c..

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

Bigarello, Febbraio 2015

IL TECNICO

Dott. Geol. Rosario Spagnolo