# COMUNE DI UTA

Città Metropolitana di Cagliari

# PIANO REGOLATORE CIMITERIALE

STAZIONE APPALTANTE
Amministrazione Comunale di Uta

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Ing. Marcello Figus

RTP FIORI
Ing. Fiorenzo Fiori
Geol. Iosto Lecca

ORDINE DEI GEOLOGI
REGIONE SARDEGNA
SEZIONE A
N. 798 Dott. Geol. IOSTO LECCA

Via San Nicolò n°123, Selargius (CA) c.a.p. 09047
tel. 070 847 70 63 fax 1782 786620 e.mail: fiorenzo.fiori@gmail.com

Relazione geologica e geotecnica.

R.11

data: 11/03/2019 revisione 16/07/2019

1. PREMESSA ..... 3
2. GENERALITÀ ..... 4
3. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO ..... 5
2.1 Tipologia di sepoltura ..... 9
3. OBIETTIVI DELLO STUDIO ..... 12
4. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA E TOPOGRAFICA ..... 13
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ..... 16
6. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO ..... 18
7. IDROGRAFIA ..... 20
8. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE ..... 22
9. CARATTERISTICHE GENERALI GEOPEDOLOGICHE ..... 23
10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE ..... 24
11. Descrizione e ubicazione delle indagini ..... 25
Successione stratigrafica ..... 26
Pozzetto geognostico PZ1 ..... 27
Pozzetto geognostico PZ2 ..... 28
Pozzetto geognostico PZ3 ..... 29
12. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO ..... 32
Classificazione delle terre ..... 32
Contenuto d'acqua ..... 32
Analisi granulometrica ..... 32
Limiti di Atterberg ..... 34
13. Prove penetrometriche ..... 35
Tipo di strumentazione ..... 35
Metodologia di elaborazione ..... 35
Interpretazione Dei Dati ..... 36
14. CONCLUSIONI ..... 37
15. REPERTORIO FOTOGRAFICO ..... 39

## 1. PREMESSA

Su incarico conferito dal comune di Uta allo scrivente Dott Geol.Iosto Lecca, iscritto all'Ordine dei Geologi della Sardegna con il n° 798, è stato eseguito uno studio geologico preliminare per i lavori di ampiamento del cimitero comunale di Uta.

A tal fine è stata redata una relazione geologica preliminare con lo scopo di acquisire un primo modello geologico, geotecnico e idrogeologico, in modo da poter programmare le indagini per la fase definitiva-esecutiva dell'opera.

Lo studio è stato impostato nel rispetto della normativa vigente:

**D.M. 17 Gennaio 2018**
NTC2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.

**NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI**
D. M. 14 Gennaio 2008, Circolare 2 Febbraio 2009, n°617, C.S.LL.PP.

**Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003**
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

**Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.**
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

**Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.**
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.

**D.P.R. 10/09/1990 n° 285**
Approvazione del regolamento di Polizia mortuaria

**D.M. LL.PP. del 11/03/1988**
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**D.P.R. 21/10/1975 n° 285 (Regolamento di polizia Mortuaria);**
Regolamento di polizia mortuaria

**Regio Decreto 27/07/1934 n° 1265**
Approvazione del testo unico delle leggi sanitarie

## 2. GENERALITÀ

Per la definizione dello schema geologico, l'area studiata è stata estesa oltre i limiti esclusivamente interessati dal progetto. Si è provveduto a stilare una relazione geologica preliminare attraverso un'indagine di dettaglio delle condizioni litologiche, stratigrafiche e morfologiche della zona.

I dati geologici sono stati acquisiti da pubblicazioni esistenti e dall'effettuazione di un rilevamento geologico di dettaglio sul terreno, integrati dai dati ottenuti da indagini qualitative e quantitative eseguite attraverso l'interpretazione di fotografie aeree.

## 3. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Dai dati di progetto risulta che l'area cimiteriale ha una estensione complessiva pari a circa 7.983m², presenta una forma rettangolare, occupata da colombari ovvero tumulazioni a terra e loculi. Essa è interamente recintata da muratura in blocchi di cls.

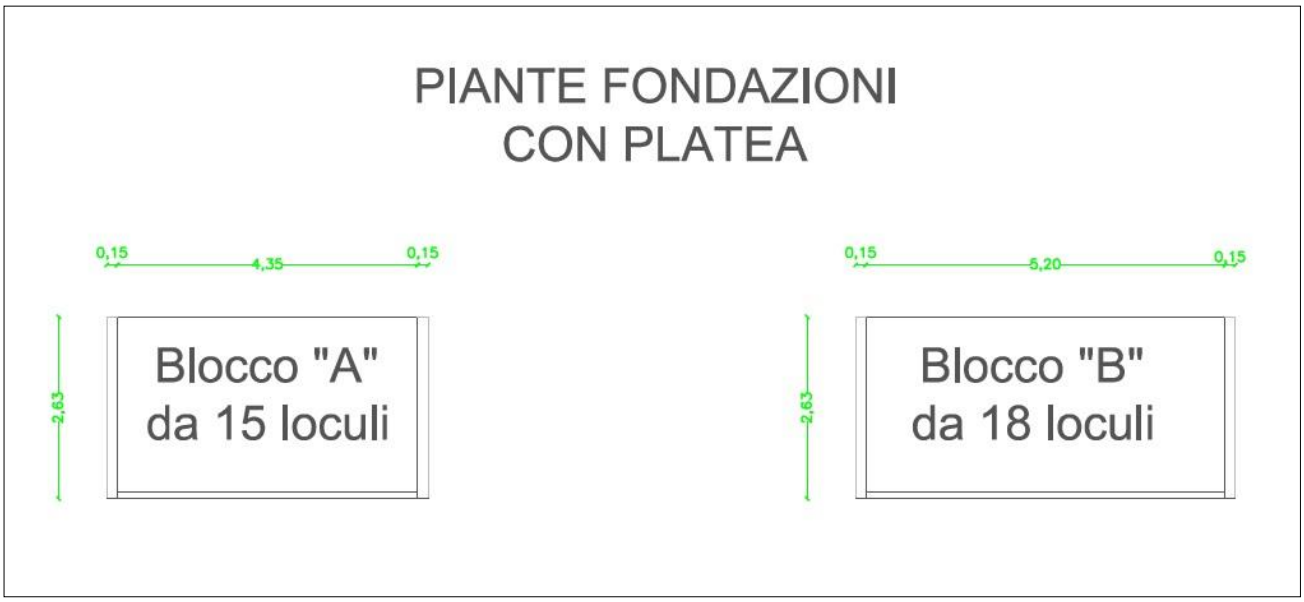
L'area cimiteriale su cui è previsto l'ampliamento presenta una estensione complessiva pari a circa 2.897 m², di forma trapezoidale ed è interamente recintata da un muro perimetrale in blocchetti di cls.

In tale area è prevista la costruzione di 33 loculi a schiera disposti su tre file, i quali sono statti suddivisi in 2 blocchi differenti denominati A e B.

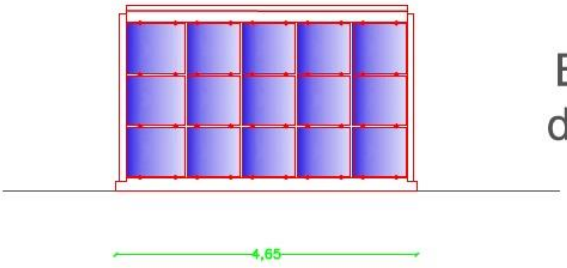
In particolare i lavori d'interesse per lo studio geologico previsti nel presente progetto riguardano:

- Il blocco A che avrà dimensioni di 4,75m di larghezza, 2,63 m di profondità e 2,96 m di altezza, e ospiterà 15 loculi.
- Il blocco B di dimensioni di 5,20 m di larghezza, 2,63 m di profondità e 2,96 m di altezza, e ospiterà 18 loculi.
- La delimitazione degli spazi destinati ad ospitare i colombari.
- Realizzazione delle platee in calcestruzzo armato sulle quali andranno ad essere collocati i nuovi colombari.

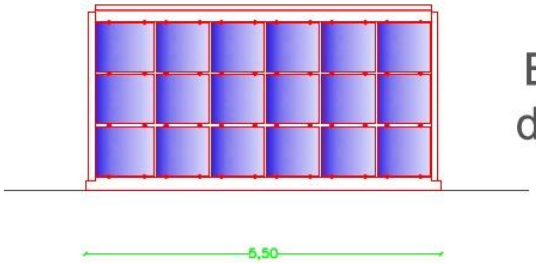
Si rimanda agli elaborati di progetto per il dettaglio di quanto sopra esposto.



# PROSPETTO COLOMBARIO LOCULI




Blocco "A"
da 15 loculi




Blocco "B"
da 18 loculi

**Descrizione zone esistenti.**

- E.01, Area tombe con loculo interrato
- E.02, Area tombe con loculo interrato
- E.03, Colombari su tre livelli
- E.04, Area tombe con loculo interrato
- E.05, Colombari su tre livelli
- E.06, Area tombe con loculo interrato
- E.07, Area tombe con loculo interrato
- E.08, Area tombe con loculo interrato
- E.09, Cappella
- E.10, Colombari su tre livelli
- E.11, Colombari su tre livelli
- E.12, Area tombe con loculo interrato
- E.13, Area tombe con loculo interrato
- E.14, Area tombe con loculo interrato
- E.15, Area tombe con loculo interrato
- E.16, Colombari su tre livelli
- E.17, Colombari su tre livelli
- E.18, Servizi igienici
- E.19, Servizi igienici
- E.20, Colombari su tre livelli
- E.21, Colombari su tre livelli
- E.22, Colombari su tre livelli
- E.23, Colombari su tre livelli
- E.24, Colombari su tre livelli
- E.25, Colombari su tre livelli
- E.26, Colombari su tre livelli
- E.27, Colombari su tre livelli
- E.28, Colombari su tre livelli
- E.29, Colombari su tre livelli
- E.30, Colombari su tre livelli
- E.31, Sala commiato

**Descrizione zone di ampliamento**

- Blocco 01 colombari
- Blocco 02 colombari
- Blocco 03 colombari
- Blocco 04 colombari
- Blocco 05 colombari
- Blocco 06 colombari
- Blocco 07 colombari
- Blocco 08 colombari
- Blocco 09 colombari
- Blocco 10 colombari
- Blocco 11 colombari
- 12 Inumazioni
- 13 Loculi a terra
- 14 Area culti diversi
- 15 Area parti anatomiche
- Muro di cinta esistente
- Cimitero attuale
- Cimitero con ampliamento e muro di progetto 2019
- Area a verde ingresso principale
- Area a verde e parcheggi

1495594,47
1495694,47
4348852,13
4348752,13
4348652,13
E.01
E.02
E.03
E.04
E.05
E.06
E.07
E.08
E.09
E.10
E.11
E.12
E.13
E.14
E.15
E.16
E.17
E.18
E.19
E.20
E.21
E.22
E.23
E.24
E.25
E.26
E.27
E.28
E.29
E.30
E.31
01
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
1:800

### 2.1 Tipologia di sepoltura

Le possibili tipologie di sepoltura previste nel progetto sono:

1. Per inumazione: collocazione della salma, racchiusa in apposito feretro di solo legno, nella terra nuda. L'inumazione viene effettuata in apposite aree deputate chiamate campi di inumazione.

2. Per tumulazione: consiste nell'alloggiamento e custodia entro un vano chiuso su tutti i lati, interrato o in elevazione di feretri, racchiusi in una duplice cassa (una di legno, l'altra di metallo ed ermeticamente sigillata). Possono essere tumulati anche i contenitori di esiti di fenomeni cadaverici trasformativi conservativi 3.

Poiché un cimitero a prevalente sistema di inumazione è assimilabile, per gli effetti sull'ambiente, ad una discarica di materiale organico, senza membrana sotterranea di protezione e con possibilità di diluizione e dispersione della materia organica nel terreno e nelle falde circostanti.

Il progetto oggetto del presente lavoro in realtà prevede come principale forma di sepoltura delle salme la tumulazione, pertanto gli effetti relativi all'inumazione al suolo si ritiene siano ridotti, ciononostante, poiché la decomposizione dei cadaveri determina potenziali inquinanti chimici in cui prevalgono composti a base di carbonio, ammoniaca, cloruri, solfati, sodio, potassio ne risulta che gli effetti sull'ambiente possono comunque essere importanti. Pertanto gli aspetti geologi rivestono un'importanza fondamentale nella verifica di idoneità del sito cimiteriale.

Gli aspetti idrogeologici sono tra quelli più delicati da affrontare, infatti la contaminazione delle acque può seguire due strade:

1. dall'alto, per effetto della lisciviazione dei terreni conseguenti la percolazione delle acque meteoriche (per pioggia), che scendendo nel terreno lambiscono il corpo in degradazione, trascinano taluni composti verso il basso e in particolare verso la falda acquifera. L'elemento più importante per la garanzia dall'inquinamento delle acque è la zona di terreno compresa tra la falda acquifera e il piano di posa della bara. Questo strato di terreno fa da filtro per i germi patogeni che vengono trattenuti, soprattutto se il terreno è limoso o argilloso;

2. dal basso, se la falda acquifera è talmente alta da lambire, nei periodi di massimo carico (nelle stagioni delle piogge) la zona di sepoltura del corpo. Per ridurre gli effetti del possibile inquinamento delle falde acquifere si scelgono terreni dove realizzare cimiteri con particolari caratteristiche del suolo e soprattutto con la falda acquifera, nel punto di sua massima risalita, a distanza dal piano di appoggio della bara.

In termini di protezione dell'ambiente il suolo migliore è quello ricco di argilla, perché rende difficile la percolazione dei liquami cadaverici verso le falde, ma ciò è esattamente l'opposto del tipo di suolo che occorre per facilitare la scheletrizzazione, cioè sciolto, poroso.

Per cui l'ideale sarebbe disporre di uno strato di terreno superficiale sciolto e poroso e sotto di esso, prima della falda freatica, un livello poco permeabile ricco di argilla.

Altra garanzia dall'inquinamento delle falde è quello di distanziare opportunamente il cimitero da corsi d'acqua (almeno 30 metri), da pozzi per il consumo d'acqua da bere da parte dell'uomo o di animali (almeno 200-250 metri, secondo le indicazioni di diversi Paesi), da scoline di campi coltivati (almeno 10 metri).

I fattori geologici che influenzano il processo di scheletrizzazione possono essere così riassunti:

**a**) caratteristiche dei suoli, in particolare quelle microbiologiche e quelle fisiche (es.: tessitura, struttura, porosità e giusta aerazione);

**b**) pH: condizioni di pH neutro sono l'ideale per i processi di decomposizione;

**c**) profondità di sepoltura, che incide sia per l'ossigenazione, sia per l'accesso di vertebrati ed invertebrati, che possono agire sul corpo;

**d**) grado di umidità dei terreni: che incide peggiorando le condizioni di scheletrizzazione, se l'umidità è alta;

**e**) andamento stagionale delle falde (oscillazioni verticali stagionali, loro direzione di moto);

**f**) caratteristiche climatiche.

In particolare, gli aspetti geologici che le fosse per l'inumazione devono rispettare sono i disposti del D.P.R. 10/09/90 n°285, in particolare i criteri illustrati all' Art. 57:

- [p.to.5]. Il terreno dell’area cimiteriale deve essere sciolto sino alla profondità di metri 2,50 o capace di essere reso tale con facili opere di scasso, deve essere asciutto e dotato di un adatto grado di porosità e di capacità per l'acqua, per favorire il processo di mineralizzazione dei cadaveri.
- [p.to 6]. Tali condizioni possono essere artificialmente realizzate con riporto di terreni estranei.
- [p.to 7]. La falda deve trovarsi a conveniente distanza dal piano di campagna e avere altezza tale da essere in piena o comunque col più alto livello della zona di assorbimento capillare, almeno a distanza di metri 0,50 dal fondo della fossa per inumazione.

## 3. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Allo scopo di stilare la relazione geologica preliminare il presente studio si propone i seguenti obbiettivi:

1. Studio delle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geopedologiche generali del territorio;

2. Descrizione geologica di dettaglio dell'area interessata dai lavori;

3. Programmazione delle indagini in situ e in laboratorio.

L'acquisizione di tali elementi si è basato sullo studio bibliografico e sopralluoghi nell'area d'intervento.

Tali informazioni hanno permesso di acquisire alcuni parametri geologici per ricostruire un primo modello geologico, geotecnico e idrogeologico del sottosuolo.

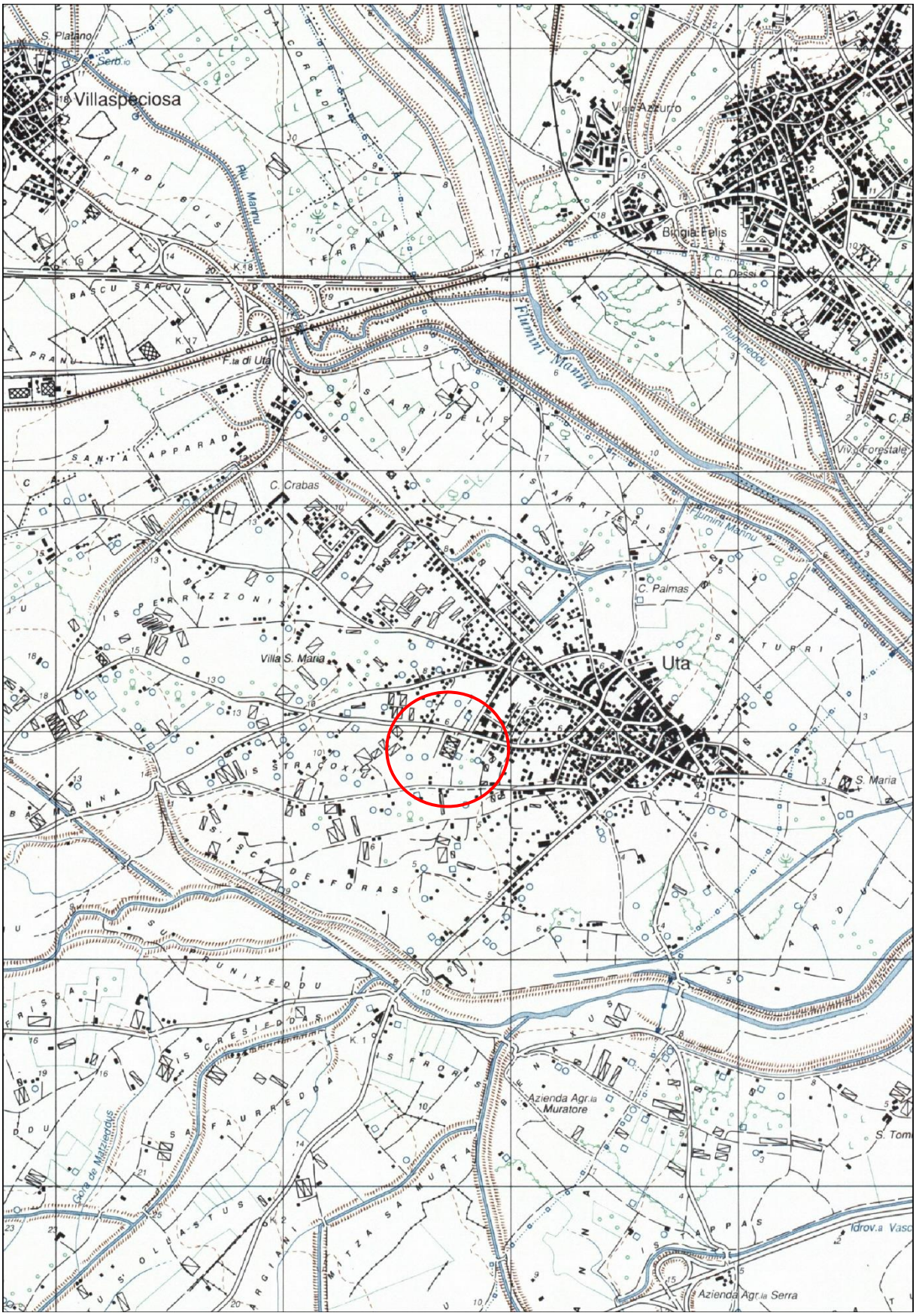
## 4. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA E TOPOGRAFICA

L'area oggetto del presente studio è situata nella Sardegna Meridionale, nel Campidano di Cagliari, appartiene amministrativamente al Comune di Uta della Provincia di Cagliari.

Il settore è compreso tra il Foglio 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia 233 (Carbonia) e il foglio 243 (Cagliari); nella carta geologica in scala 1:50.000 CARG n° 556 (Assemini); ricade nella Tavoletta I.G.M. in scala 1:25.000 n° 556, sezione II, e nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 n° 556 120.

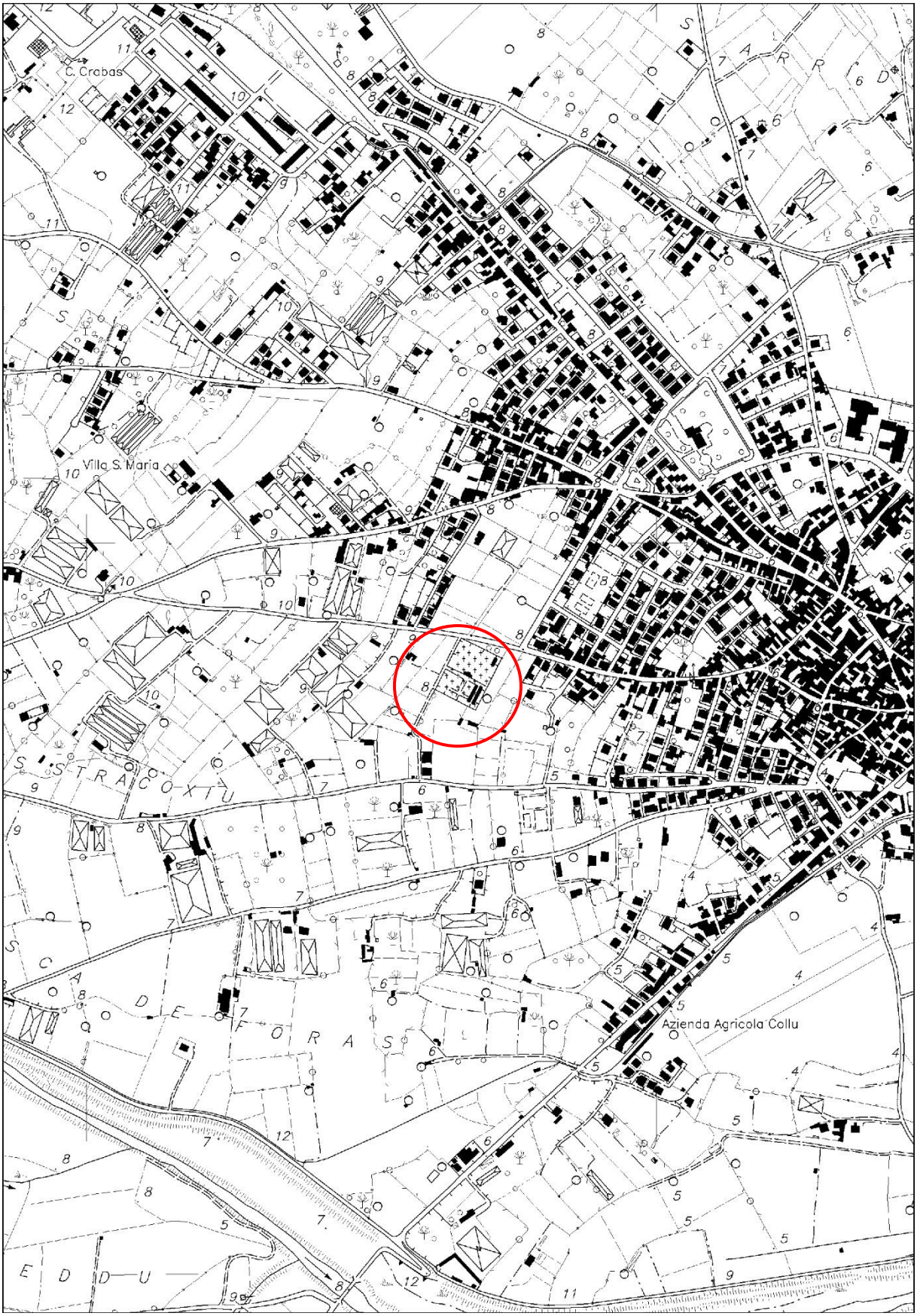
**Ubicazione dell'area d'interesse su ortofoto aerea**

**Inquadramento topografico sul cartografia IGM**




*Inquadramento dell'area in studio su base IGM scala 1:25.000*

**Inquadramento topografico sul cartografia CTR**




*Inquadramento dell'area in studio su base IGM scala 1:10.000.*

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio e quella circostante è caratterizzata dalla presenza di sedimenti alluvionali olocenici, in genere ghiaiosi e localmente con intercalazioni di lenti e livelli di sabbie, formanti i depositi fluviali del Flumini Mannu e del rio Cixerri. In particolare le successioni alluvionali sono costituita da depositi alluvionali terrazzati da poco a mediamente cementati, costituiti da ghiaie e sabbie grossolane (bna) presenti soprattutto nella parte a N dell'area oggetto di studio, i depositi costituiti da sabbie con subordinati limi e argille (bnb) si ritrovano in gran parte sull'area di indagine e sull'abitato di Uta, i depositi terrazzati costituiti per lo più da limi e argille (bnc) sono presenti a W dell'area oggetto di studio. Mentre i depositi alluvionali terrazzati più recenti sono presenti a N dell'abitato di Uta, costituiti da limi ed argille (bc), a S in località S' Isca de foras, si riscontra la presenza di depositi formati da sabbie con subordinati limi e argille (bb), sempre nella stessa località ma in maniera più estesa sono presenti depositi alluvionali costituiti da ghiaie grossolane e medie con lenti di sabbie (ba).

Sulla base di quanto riportato nell'elaborato cartografico, si descrivono, di seguito, le principali caratteristiche sedimentarie delle principali Formazioni nell'area in studio.

**ba** – Depositi alluvionali recenti costituito da ghiaie da grossolane a medie. Olocene.

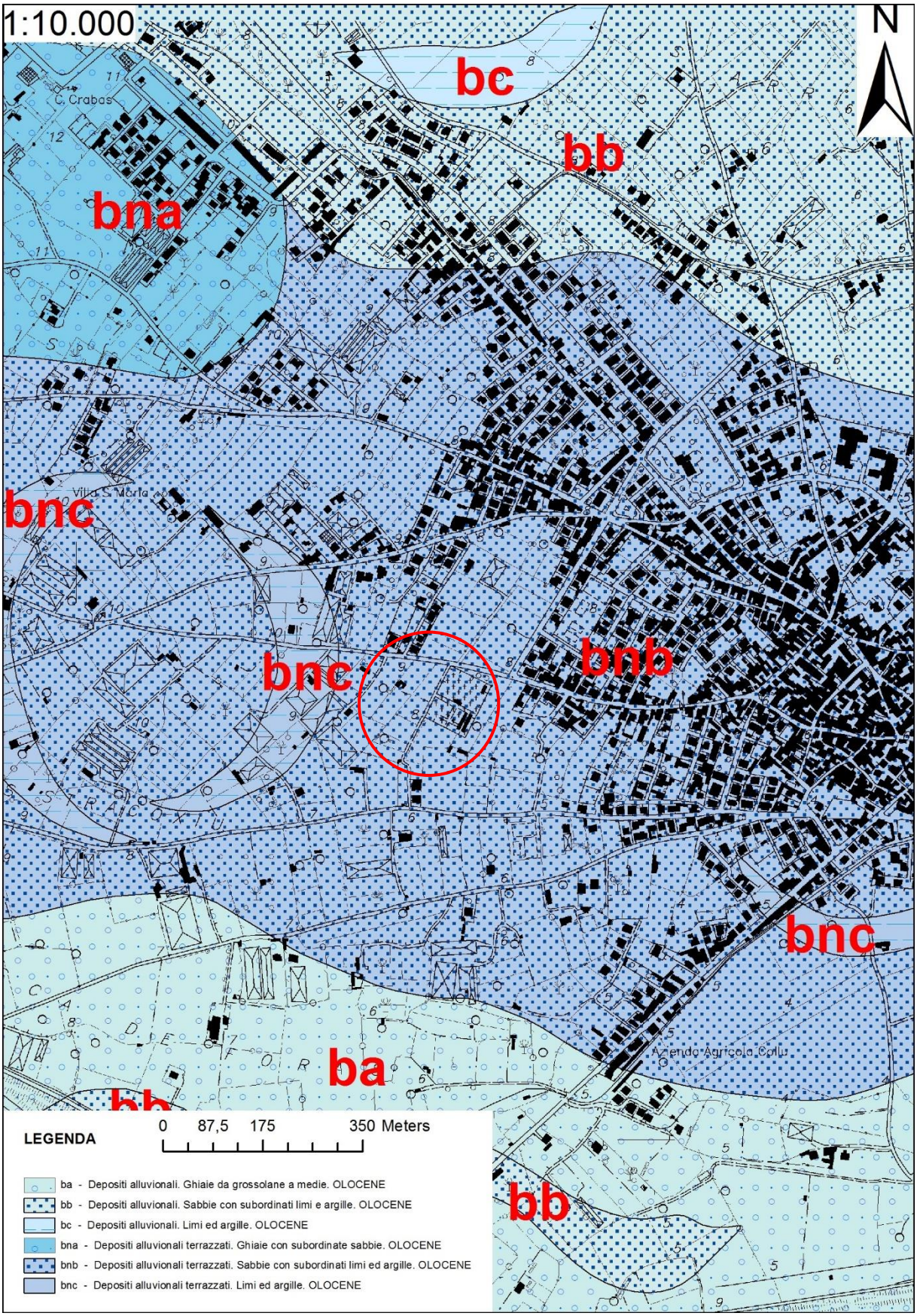
**bb** – Depositi alluvionali recenti, costituti da sabbie con subordinati limi e argille. Olocene.

**bc** – Depositi alluvionali recenti, costituti in prevalenza da limi e argille. Olocene.

**bna** - Depositi alluvionali terrazzati, costituiti da ghiaie a stratificazione piano parallela con subordinate sabbie a stratificazione incrociata, con matrice sabbioso limosa di colore arancio scuro per fenomeni di pregressa ossidazione. Olocene.

**bnb** - Depositi alluvionali terrazzati costituiti da livelli sabbiosi a stratificazione incrociata con subordinati limi e lenti di argille. Olocene.

**bnc** – Depositi alluvionali terrazzati più antichi, costituti prevalentemente da limi e argille. Olocene.




Stralcio della Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, curata dalla RAS; il cerchio di colore rosso racchiude l'area in studio.

## 6. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

I principali caratteri morfologici del settore nord-orientale del territorio del comune di Uta sono contraddistinti da un paesaggio sub-pianeggiante. L'acclività essendo praticamente nulla (2-5%) non si individuano zone soggette a franosità nonostante la litologia dell'area risulti in facies sedimentarie sciolte dal diverso comportamento litotecnico e che per effetto della diversa predisposizione all'erosione portano all'evoluzione di superfici con forme di dilavamento diffuse.

L'azione delle acque di ruscellamento areale e le esondazioni del Flumini Mannu e del rio Cixerri durante l'Olocene, hanno formato le principali morfologie dell'area costituite da coltri alluvionali e orli di terrazzo fluviale.

Il comune di Uta risulta inserito nel piano di mappatura per il rischio idrogeologico per criticità idraulica definita dal piano di Assetto idrogeologico per pericolo idraulico, pertanto è stata eseguita una analisi idrogeologica consultando le carte e i dati forniti da SardegnaGeoportale. Come mostra la l'immagine sottostante l'area di indagine non ricade in nessuna zona di rischio. Pertanto non sussiste la necessità di eseguire uno studio di compatibilità idraulica ai sensi dell'art 24 delle norme di attuazione del Pai.

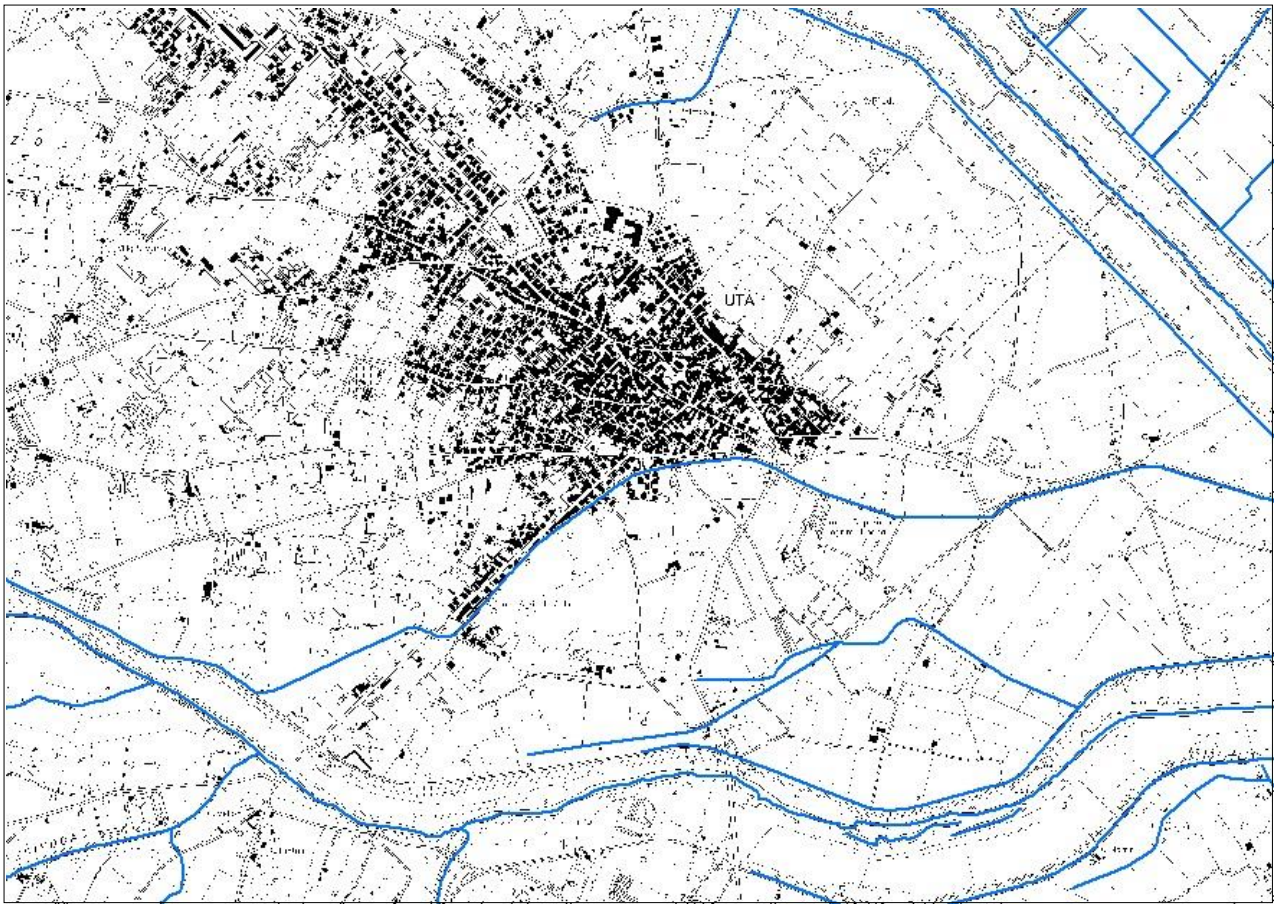
Stralcio della carta del pericolo idraulico (SardegnaGeoportale), in rosso l'area oggetto di indagine

## 7. IDROGRAFIA

L'idrografia dell'area d'indagine si presenta piuttosto complessa in quanto ricade su un territorio su cui ricadono più aree di bacino come: Flumini Mannu di Assemini e Decimo Mannu, stagno di Santa Gilla e Rio Cixerri. In particolare l'elemento principale della circolazione superficiale nell'area oggetto di studio è da ricondurre a i due fiumi principali: Il Rio Cixerri e il Flumini Mannu e, ai numerosi torrenti secondari presenti nel territorio i quali sono a carattere fortemente torrentizio.

***Il Flumini Mannu*** nasce nel Sarcidano in prossimità del territorio di Laconi, subito dopo prosegue nel territorio di Nurallao dove in questi chilometri iniziali prende il nome di rio Sarcidano. Successivamente scorre nel campidano tra Serrenti,Serramanna e altri comuni, presso l'abitato di Uta il Fumini Mannu confluisce nel Rio Mannu di San Sperate. Inoltre lungo il suo percorso riceve apporti idrici da corsi minori. La superficie drenata dal fiume è di 593,3 $km^2$ e l'estensione (compresi gli affluenti ed i bacini) è di 1710,25 $km^2$. Il modulo annuo del Flumini Mannu è di circa 3 $m^3/s$, con massime dell'ordine di 10 $m^3/s$ e minime di 0,1 $m^3/s$.

***Il Rio Cixerri*** nasce sul monte Croccoriga a circa 300 m s.l.m., nel comune di Iglesias, nel comune di Siliqua trova lo sbarramento della diga di Genna Is Abis, subito dopo prosegue per il territorio comunale di Uta e Assemini, infine sfocia nello stagno di Cagliari. L'asta principale misura circa 40 km e riceve apporti idrici da diversi corsi minori, riceve da destra il rio de Bauliana, il rio de su Casteddu e il rio Salamida, mentre da sinistra il rio s'Arriali, il rio Figu, il rio s'Arrixeddu e il rio Forresu. Ha un carattere fortemente torrentizio, con portate massime dell'ordine dei 100 $m^3/s$, mentre la portata medio annua è di circa 2,6 $m^3/s$.




Idrografia superficiale dell’area in studio, su scala 1:10.000.

## 8. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE

Le caratteristiche geologiche (sedimenti costituiti da ghiaie e sabbie) su cui ricade l'area in studio risultano permeabili, per cui si presume che la circolazione delle acque sotterranee sia ben sviluppata.

A tal fine è stato eseguito uno studio bibliografico sulla ricerca idrica sotterranea nel quale sono stati consultati dati esistenti online nel sito dell'ispra ed è stata eseguita una ricerca su bibliografia esistente con lo scopo di accertare la presenza della falda e la sua profondità.

Da tali dati si rileva che presso l'abitato di Uta si riscontra che vi sono vari pozzi in cui è accertato che la falda freatica si trova a circa -40m. Inoltre date le caratteristiche geologiche su cui ricade l'area in studio, le quali risultano permeabili e da ulteriori dati forniti nel portale del Servizio Geologico Italiano non è da escludere quindi che anche nell'area in studio vi sia la possibilità della presenza di una falda freatica. Questo verrà accertato durante le indagini sul campo, al fine di verificare o escludere la presenza di una falda freatica nell'area in studio.

## 9. CARATTERISTICHE GENERALI GEOPEDOLOGICHE

Da un'analisi cartografica, bibliografica e di studio sul campo sul campo si riscontrano i suoli dove nella carta delle Note Illustrative della Sardegna vengono distinti in unità 26 e 28.

Tali suoli si impostano principalmente sui depositi alluvionali antichi, caratterizzati da aree sub-pianeggianti derivanti principalmente dalle caratteristiche geologiche, morfologiche e all'attività agricola.

I suoli caratterizzati riconosciuti come unità 26 sono caratterizzati da i profili A-Bt-C e A-btg-Cg si presentano con orizzonti argillici ben evidenziati. A tratti sono ben cementati, la tessitura risulta da franco-sabbiosa a franco-sabbiosa-argillosa in superficie e da franco-sabbiosa-argillosa a argillosa in profondità. Sono suoli che risultano permeabili a poco permeabili in quanto la permeabilità è condizionata da dalla illuviazione dei materiali costituiti da argille e dal grado di cementazione dei vari orizzonti. La sostanza organica come i carbonati risultano scarsi. Inoltre nonostante l'abbondanza di scheletro, questi suoli presentano problemi di drenaggio.

I suoli dell'unità 28 è presente su limitate aree nella zona in studio, e come gli altri suoli si imposta sulle alluvioni terrazzate antiche. Le caratteristiche pedogenetiche di questi suoli sono più o meno come quelle dei suoli dell'unità 26 ma questi hanno in profondità una tessitura che va da franco-sabbiosa-argillosa a sabbiosa argillosa. Inoltre hanno una permeabilità che va da elevata a mediamente elevata, sono caratterizzati da una scarda credibilità, i carbonati sono da assenti ad elevati a seconda dell'orizzonta e la sostanza organica è media o scarsa. Inoltre sono variamente dotati in scheletro.

## 10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Le indagini geotecniche hanno lo scopo di fornire i dati e le informazioni necessarie per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce ad un livello di approfondimento adeguato alle necessità del progetto.

Per caratterizzazione geotecnica s'intende l'insieme delle informazioni e dei dati ricavati dalle indagini geotecniche svolte sui terreni, sulle rocce e sulle falde del sito e dell'area circostante, in modo da avere un'adeguata descrizione geotecnica della loro disposizione nel sottosuolo ed un affidabile valutazione dei valori dei parametri geotecnici da impiegare nella progettazione.

La finalità delle indagini è quella di definire i parametri necessari per il calcolo della capacità portante e dei cedimenti delle fondazioni.

***Indagini in sito***

Per le indagini in sito verranno eseguiti dei pozzetti geognostici, prove penetrometriche e prove sismiche.

I pozzetti geognostici consistono in scavi con mezzi meccanici che permettono l'osservazione diretta del terreno al fine di determinarne la stratigrafia fino a circa 3 m di profondità. Inoltre è possibile determinare la presenza di falde superficiali o frange capillari di risalita della falda.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione, misurando il numero di colpi N necessari. La prova penetrometrica permette di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde, e lo stato di addensamento del terreno.

## 11. DESCRIZIONE E UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Il sito del previsto ampliamente è adiacente all'attuale cimitero Lo stesso è ubicato alla periferia del paese.

La morfologia dell'area si presenta pianeggiante, con quote intorno ai 7m s.l.m.

Il substrato superficiale del sito è rappresentato esclusivamente dalle alluvioni antiche terrazzate le quali hanno spessori variabili dai 10m a 12m.

La circolazione sotterranea come già accennato nei paragrafi precedenti risulta abbastanza complessa anche se nell'area intorno alla zona di studio non sono presenti ne pozzi ne sorgenti.

Data la semplicità della stratigrafia riscontrata durante i sopralluoghi e vista la modesta dimensione dell'ampliamento in progetto, si ritiene che entro l'area di sedime non vi siano sostanziali variazioni litostrigrafiche, si è quindi ritenuto opportuno procedere all'acquisizione delle caratteristiche geognostiche dell'area interessata dai lavori di ampliamento dell'area cimiteriale con la realizzazione di 3 prove penetrometriche, una prova HVSR per la caratterizzazione sismica locale, 3 pozzetti geognostici opportunamente distribuiti per definire l'assetto stratigrafico dell'area di sedime del progetto, per una profondità d'indagine di circa 3,50 - 4 m ciascuno, da questi sono stati prelevati 2 campioni di terreno per le analisi di laboratorio, consistenti in una classificazione granulometrica e composizionale per ciascun campione.

Lo mappa sottostante illustra i punti di esecuzione dei pozzetti geognostici, delle prove penetrometriche e della prova HVSR.

Successione stratigrafica (dall'alto verso il basso)

1. Suolo agrario di colore marroncino-bruno chiaro, con screziature rosso arancio, matrice sabbioso con materiale organico
2. Depositi alluvionali mediamente addensati di color marrone chiaro, costituiti da una matrice di sabbie medie feldspatiche e limi, con sparsi ciottoli elaborati di origine paleozoica. Tale deposito deriva dalle alluvioni più recenti del dominio del Cixerri.
3. Livello conglomeratico addensato, clasto sostenuto con poca matrice sabbiosa – limosa, di colore marroncino – rossastro, i ciottoli di origine paleozoica risultano embricciati e elaborati, di dimensioni di circa 5 – 8 cm. Questo strato deriva sempre dal dominio fluviale del Cixerri ma si è formato in un ambiente con energia maggiore.
4. Corpo alluvionale conglomeratico addensato, di colore rossastro per la presenza degli ossidi di ferro e alluminio derivati dall'alterazione dei minerali primari, matrice sostenuto (sabbie e limi), con la presenza di ciottoli e blocchi elaborati di origine paleozoica di circa 10 – 20 cm.
5. Strato alluvionale ci color rossastro, costituito da sabbie molto grosse e argille, con piccoli ciottoli di 2 -3 cm. La frazione sabbiosa derivata dall'alterazione dei litotipi granitici e metamorfici, ben classata e con granuli elaborati.

Pozzetto geognostico PZ1
Profondità 3,50 m

6. 0 – 15 cm: Suolo agrario di colore marroncino-bruno chiaro, con ciottoli in matrice sabbiosa.
7. 15 – 55 cm: deposito di colore marrone chiaro, , con sparsi ciottoli di circa 8 cm immersi in matrice sabbiosa – limosa.
8. 55 – 130 cm: Livello conglomeratico clasto sostenuto, i clasti sono ben elaborati di crica 5 – 6 cm, con poca matrice sabbiosa – limosa, di colore marroncino – rossastro.
9. 130 – 350 cm: Strato alluvionale matrice sostenuto di colore rossastro, con ciottoli e blocchi di circa 10 – 20 cm. La matrice è costituita da sabbie e argille.

Pozzetto geognostico PZ2

10. Profondità 3,50 m
11. 0 – 15 cm: Suolo agrario di colore marroncino-bruno chiaro, con ciottoli in matrice sabbiosa.
12. 15 – 55 cm: deposito di colore marrone chiaro, con sparsi ciottoli di circa 8 cm immersi in matrice sabbiosa – limosa.
13. 55 – 110 cm: Livello conglomeratico clasto sostenuto, i clasti sono ben elaborati di crica 5 – 6 cm, con poca matrice sabbiosa – limosa, di colore marroncino – rossastro.
14. 110 – 350 cm: Strato alluvionale matrice sostenuto di colore rossastro, con ciottoli e blocchi di circa 10 – 20 cm. La matrice è costituita da sabbie e argille.

Pozzetto geognostico PZ3

15. Profondità 4,10 m
16. 0 – 17 cm: Suolo agrario di colore marroncino-bruno chiaro, con ciottoli in matrice sabbiosa.
17. 17 – 52cm: deposito di colore marrone chiaro, con sparsi ciottoli di circa 4 cm immersi in matrice sabbiosa – limosa.
18. 52 – 107 cm: Livello conglomeratico clasto sostenuto, i clasti sono ben elaborati di crica 5 – 6 cm e qualche raro blocco di 15cm, con poca matrice sabbiosa – limosa, di colore marroncino – rossastro.
19. 107 – 370 cm: Strato alluvionale conglomeratico, matrice sostenuto di colore rossastro, con abbondanti ciottoli e blocchi di circa 10 – 20 cm. La matrice è costituita da sabbie e argille.
20. 370 – 410 cm: strato di colore rossastro costituito da sabbie grosse - molto grosse con argille, con piccoli ciottoli di 2 -3 cm.

**Prove di permeabilità**

La permeabilità è la proprietà dei terreni di lasciarsi attraversare dall'acqua per effetto di un carico idraulico, il coefficiente di permeabilità K è la costante di proporzionalità che lega la velocità di filtrazione al gradiente idrauliche nella legge di Darcy:

$$Q = K \cdot A \cdot i$$

Dove Q = portata nell'unità di tempo, K = coefficiente di permeabilità, A = sezione perpendicolare alla direzione di flusso, i = gradiente idraulico.

Da tutto ciò risulta evidente come tale elemento indichi la suscettibilità del terreno a farsi attraversare dall'acqua, e quindi permette di definire se il terreno è permeabile o poco permeabile.

I suoli dell'area destinata all'ampliamento sono caratterizzati da permeabilità per porosità, le cui unità idrogeologiche sono state divise secondo le seguenti classi di permeabilità:

- Impermeabile $K < 10^{-7}$ cm/sec
- Scarsamente permeabile $10^{-4} > K > 10^{-7}$ cm/sec
- Mediamente permeabile $10 > K > 10^{-4}$ cm/sec
- Altamente permeabile $K > 10$ cm/sec

## Metodologia utilizzata e risultati

Sono state eseguite 3 prove di permeabilità a carico variabile in pozzetto, una è stata eseguita all'interno dei pozzetti geognostici ad una profondità di 2.5 m mediante un piccolo scavo di forma quadrata, dal lato di 15 cm e profondo 18 cm, le pareti sono state lasciate scoperte per misurare la velocità di infiltrazione complessiva; prima di iniziare le misure si è versato nel pozzetto dell'acqua, in maniera tale da indurre un moto di filtrazione stazionario, dopodiché sono stati versati ad intervalli regolari 1,5 litri di acqua.

Si è applicata la seguente formula:

$$K = \frac{(h^1 - h^2)}{(t^2 - t^1)} \cdot \left[ \frac{1 + \left( \frac{2h_m}{b} \right)}{27 \cdot \left( \frac{2h_m}{b} \right) + 3} \right]$$

Le misurazioni hanno dato i seguenti risultati:

| | **Prova n° 1** **($Pz_1$)** | **Prova n° 2** **($Pz_2$)** | **Prova n° 3** **($Pz_3$)** |
|---|---|---|---|
| **$h^1$** (altezza iniziale del livello dell'acqua: cm) | 15 | 15 | 15 |
| **$h^2$** (altezza finale del livello dell'acqua: cm) | 7 | 14 | 14 |
| **$t^2$ - $t^1$** (tempo trascorso per il raggiungimento di $h^2$: min) | 45 | 150 | 150 |
| **$h_m$** (altezza media tra $h^1$ e $h^2$: cm) | 11 | 16,5 | 16 |
| **b** (lato della base del pozzetto: cm) | 10 | 10 | 10 |
| **K** (coefficiente di permeabilità: cm/sec) | **$2.9 \cdot 10^{-4}$** | **$4.8 \cdot 10^{-5}$** | **$2.9 \cdot 10^{-5}$** |
| **K medio** | **$1.2 \cdot 10^{-4}$** | | |

Da tale prova risulta evidente come il terreno in oggetto sia poco permeabile, quindi anche nel caso di un eventuale dispersione di liquidi inquinanti queste rimangono in posizioni circoscritte e il terreno può essere bonificato con poca difficoltà.

## 12. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, tramite le prove di laboratorio, rappresenta l'approccio più avanzato e puntuale per lo studio e la verifica dei parametri caratteristici e del comportamento meccanico del materiale.

Le prove geotecniche sono consistite nell'esecuzione di due classificazioni delle terre con analisi granulometrica.

### Classificazione delle terre

Il comportamento del terreno è marcatamente influenzato dalla sua struttura, che è il risultato di un processo di interazione tra le varie particelle e tra queste e l'ambiente circostante. La determinazione delle caratteristiche geotecniche di un terreno non possono prescindere dalla conoscenza di questi elementi.

Le indagini di laboratorio sono state eseguite su 3 campioni; il C1, è stato prelevato dal pozzetto geognostico Pz1 alla profondità dal piano di campagna di 0.50 m, il campione C2 è stato prelevato dal pozzetto geognostico Pz2 alla profondità dal piano di campagna di 2,50m, mentre il campione C3 è stato prelevato dal pozzetto geognostico Pz3 ad una profondità di circa 3,70m. Per quest'ultimo è stata eseguita una classificazione granulometrica e composizionale.

### Contenuto d'acqua

Indica la percentuale in peso di acqua contenuta nel campione prelevato (**$W_n$**). Tale valore può essere fortemente condizionato dal punto di prelevamento (se superficiale o profondo) e dalle condizioni di conservazione.

**$C_1$** $W_n = 1,1\ \%$

**$C_2$** $W_n = 1,6\ \%$

Il campionamento è stato effettuato in pieno periodo primaverile, dopo un periodo con scarse piogge, si ritiene quindi che i valori dei misurati possano essere solo parzialmente rappresentativi delle condizioni naturali del terreno durante tutto il corso dell'anno.

### Analisi granulometrica

Nel caso di un terreno granulare il comportamento è correlato alle dimensioni dei granuli che lo compongono, l'analisi granulometrica permette di stabilire le percentuali in peso delle varie frazioni che rientrano entro certi limiti prefissati.

Il procedimento per determinare la granulometria e la composizione è stato il seguente:

1. Preparazione dei campioni e pesata iniziale;
2. Lavaggio dei campioni:
3. Setacciatura umida;
4. Asciugatura dei sedimenti deposti nei vari setacci;
5. Pesatura tramite bilancia di precisione delle varie granulometrie;
6. Determinazione delle varie classi granulometriche in percentuali;
7. Analisi composizionale dei sedimenti.

L'analisi granulometrica del campione C1, prelevato dal pozzetto geognostico Pz1 a circa 50 cm di profondità ha dato i seguenti percentuali:

Ghiaie 35,3%

Sabbie 42,2%

Limi 22,6%

Da tali parametri il campione è classificato come una "sabbia con ghiaiosa limosa". L'analisi composizionale evidenzia che i componenti che formano lo strato sono costituiti da frammenti di graniti, scisti e quarzi.

L'analisi granulometrica del campione C2 prelevato a 2,50m dal pozzetto geognostico Pz2 ha dato le seguenti percentuali:

Ghiaia 62,3%

Sabbia 28,5%

Limi e argille 9,2%

Da tali parametri il campione è classificato come una "sabbia ghiaiosa debolmente limosa. L'analisi composizionale evidenzia che i componenti che costituiscono lo strato sono composti da frammenti di graniti, scisti e quarzi.

Mentre per il campioneC3, prelevato ad una profondità di circa 3,70 m l'analisi granulometrica ha dato le seguenti percentuali:

Ghiaia 30%

Sabbie 57%

Limi 13%

Da tali parametri il campione è classificato come una "sabbia ghiaiosa debolmente fangosa". L'analisi composizionale evidenzia che i componenti che formano lo strato anche in questo caso sono costituiti da frammenti di graniti, scisti e quarzi.

Dai tali dati e da quelli riscontrati durante le altre analisi, si può affermare che anche gli altri strati siano composti dagli stessi elementi composizionali e le matrici siano costituite da sabbie e ghiaie limose. Un parametro differente è la percentuale dei ciottoli e dei blocchi, che risulta variabile a seconda dello strato che si indaga.

## Limiti di Atterberg

Le caratteristiche meccaniche di compressibilità e di resistenza al taglio di un terreno coesivo sono caratterizzate dal suo contenuto d'acqua, a seconda del suo contenuto un terreno può essere: solido, semisolido, plastico, liquido. Il valore del contenuto d'acqua corrispondente al passaggio da uno stato all'altro è definito limite e varia da un materiale all'altro. Pertanto i limiti di Atterberg sono utilizzati come mezzo di identificazione e classificazione.

Atterberg (1911) definì tali limiti come:

- limite di ritiro LR *limite tra solido e semisolido*
- limite plastico LP *limite tra semisolido e plastico*
- limite liquido LL *limite tra stato plastico e liquido*

Il limiti di atterberg misurati per i due campioni hanno dato i seguenti valori:

| | | |
|---|---|---|
| C1 | *LL=22%* | *LP=16% Ip=6%* |
| C2 | *LL=39%* | *LP=19% Ip=20%* |

I limiti liquidi e plastico vengono di solito determinati per i terreni coesivi e sono usati, assieme alla stima del contenuto d'acqua naturale, per giudicare in via qualitativa se un terreno coesivo è sovraconsolidato.

L'indice plastico *Ip* è definito come la differenza LL - LP ed è correlato alla resistenza del suolo, poiché un terreno sovraconsolidato è più denso e il suo indice dei vuoti è più piccolo che non nel terreno rimaneggiato:

| | |
|---|---|
| Wn è prossimo a LL | il terreno è normalmente consolidato |
| Wn è prossimo a LP | il terreno è parecchio sovraconsolidato |
| Wn è intermedio | il terreno è sovraconsolidato |
| Wn è maggiore di LL | il terreno è sul punto di trasformarsi in un liquido viscoso |

I risultati evidenziano come i terreni in studio siano alquanto sovraconsolidati, cioè sono stati sottoposti in tempi passati ad una pressione geostatica superiore a quella attuale.

## 13. PROVE PENETROMETRICHE

Le prove penetrometriche sono attualmente molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione poiché può essere svolta in tutti i tipi di terreno, coesivo o granulare (dalle argille alle ghiaie), comprese le rocce tenere, fornendo lo stato d'addensamento di terreni incoerenti e la consistenza di terreni coerenti, attraverso la valutazione della resistenza dinamica alla punta degli strati attraversati.

È però necessario tenere sempre ben presente che le prove dinamiche continue sono state ideate per lo studio dei terreni incoerenti, i dati elaborati per gli strati coesivi quindi, sono da considerarsi utili solo per un primo inquadramento del problema.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione (per tratti consecutivi di 10 cm) misurando il numero di colpi N necessari. La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano di campagna, ma in alcuni casi può essere condotta, con l'impiego di speciali accorgimenti, a partire dal fondo di fori di sondaggio.

### Tipo di strumentazione

Nella fattispecie la prova è stata eseguita con un penetrometro mod. DeepDrill DM30, azionato da un gruppo oledinamico alimentato da un motore a scoppio da 4 Hp, provvisto di una massa battente di 30 Kg, classificabile quindi come tipo medio, lo strumento utilizzato per la presente indagine è composto da:

- una batteria d'aste ognuna lunga 1 m e dal peso di 2,93 Kg/m;
- una punta conica, avvitata (se a recupero) o semplicemente incastrata (se a perdere) nell'estremità inferiore della batteria d'aste interne, dal diametro di 35,7 mm ed un angolo di apertura di 60°; la superficie della punta può essere di 5 o di 10 cm2;
- un maglio da 30 Kg con una volata di 20 cm.

### Metodologia di elaborazione

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,

- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

## Interpretazione Dei Dati

La prova consistite nell'infissione nel terreno della punta per tratti standard di 10 cm, misurando il numero di colpi N10 necessari alla sua penetrazione. I litotipi attraversati hanno permesso l'esecuzione della prova in totale assenza di attrito laterale, non si è così reso necessario l'utilizzo delle aste di rivestimento antiattrito.

Principali parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche

DIN 1

| Strato | Prof. Strato (m) | Nspt | Tipo | Gamma (t/m³) | Gamma Saturo (t/m³) | Fi (°) | Cu (Kg/cm²) | Modulo Edometrico (Kg/cm²) | Modulo Elastico (Kg/cm²) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.3 | 35.0 | Incoerente | 2.18 | 2.5 | 37.00 | 0 | 248.5 | 422.28 | 0.28 | 1837.97 |

DIN 2

| Strato | Prof. Strato (m) | Nspt | Tipo | Gamma (t/m³) | Gamma Saturo (t/m³) | Fi (°) | Cu (Kg/cm²) | Modulo Edometrico (Kg/cm²) | Modulo Elastico (Kg/cm²) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.9 | 44.0 | Incoerente | 2.22 | 2.5 | 39.57 | 0 | 312.4 | 473.47 | 0.27 | 2279.08 |

DIN 3

| Strato | Prof. Strato (m) | Nspt | Tipo | Gamma (t/m³) | Gamma Saturo (t/m³) | Fi (°) | Cu (Kg/cm²) | Modulo Edometrico (Kg/cm²) | Modulo Elastico (Kg/cm²) | Modulo Poisson | Modulo di taglio G (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.8 | 48.0 | Incoerente | 2.23 | 2.5 | 40.71 | 0 | 340.8 | 494.53 | 0.26 | 2473.32 |

## 14. CONCLUSIONI

Lo studio geologico evidenzia come l'area in questione, ove sorgerà la nuova ala del cimitero, insiste su un substrato le cui facies sono state studiate attraverso un rilevamento geologico di dettaglio sul campo e con tre pozzetti geognostici, distribuiti attraverso il settore su cui si ha in progetto l'ampliamento. Tale indagine ha evidenziato la presenza di un substrato costituito da corpi alluvionali sabbiosi e subordinatamente limoso argillosi piuttosto addensati di età olocenica e un suolo agrario rimaneggiato dalla lavorazione agricola.

In particolare si evince che:

- le condizioni meteoclimatiche, asciutte per gran parte dell'anno, sono favorevoli per il processo di mineralizzazione delle salme.
- sono assenti manifestazioni sorgentizie e la piccola falda superficiale rilevata, data la bassa permeabilità dei terreni, la sua profondità e le caratteristiche dell'opera in progetto non subirà alcuna alterazione relativamente al suo assetto idrogeologico attuale;
- non sussiste nell'area il rischio di fenomeni franosi;
- il settore in esame non è soggetto ad un vincolo idrogeologico;
- non è stata riscontrata una falda superficiale e sulla base delle indicazioni ottenute dalle indagini effettuate si ritiene che l'eventuale falda giaccia ad una profondità ben maggiore rispetto ai 0.5 m previsti dalla norma come distanza minima dal feretro inumato;

Le caratteristiche dei terreni sono state desunte attraverso l'analisi di laboratorio di alcuni campioni prelevati dai pozzetti geognostici, con la misura dei limiti di Atterberg e analisi granulometrica i quali indicano la presenza di terreni caratterizzati da un Ph neutro, poco umidi, molto addensati in profondità e mediamente addensati più in superficie, adatte per l'inumazione delle salme.

La misura della permeabilità del terreno con tre pozzetti all'interno dei pozzetti geognostici la quale è risultata piuttosto bassa, inoltre le sabbie a prevalente composizione quarzoso feldspatica con una discreta quantità di argille interstiziali favoriscono la mineralizzazione delle salme con una

minima interazione con il terreno circostante, pertanto l'inumazione delle salme nel sottosuolo non arrecheranno un'alterazione delle condizioni naturali del terreno, sia in superficie che in profondità.

Dalle analisi precedentemente esposte si evince come l'opera proposta si inserisce in un contesto geologico stabile rispetto a fenomeni di dissesto gravitativo. Non comporta alterazioni dello stato morfologico attuale poiché l'opera insisterà in un'area sostanzialmente pianeggiante, non comporterà alterazioni al deflusso delle acque di scorrimento superficiale o dell'assetto idrologico sotterraneo.

L'analisi degli elementi descritti evidenzia come l'opera in progetto presenti un basso impatto geoambientale che non comporta un alterazione importante del territorio rispetto allo stato attuale.

Le caratteristiche generali del settore individuato risulta geologicamente compatibile con le opere previste in progetto.

## 15. REPERTORIO FOTOGRAFICO