



REGIONE LOMBARDIA
PROVINCIA DI BRESCIA



COMUNE DI CAINO

RELAZIONE GEOLOGICA

A SUPPORTO DEL PIANO CIMITERIALE E DI UN EVENTUALE
PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL CIMITERO
IN COMUNE DI CAINO (BS)

COD. 1203264

Giugno 2012

Dott. Geol. Luca Maffeo Albertelli



Cogeo snc di Albertelli & C
Sede Legale: Via Piazza Mercato 5 – 25051 CEDEGOLO (BS)
Uffici: Via montegrappa, 41 – 24060 ROGNO (BG)
tel e fax 035 4340011 luca@cogeo.info

www.cogeo.info

INDICE

PREMESSA	3
INQUADRAMENTO.....	4
1.0 FASE DI INDAGINE	4
1.1 STATO DEI LUOGHI.....	4
1.2 LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI.....	5
1.3 ELENCO INDAGINI ESEGUITE	7
1.3.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT	8
1.3.2 RILIEVI GEOMECCANICI	8
1.3.3 SCANSIONI GEORADAR	9
2.0 FASE DI ANALISI	11
2.1 VINCOLI DI CARATTERE GEOLOGICO	11
2.2 DESCRIZIONE STRATIGRAFIE E PROVE SPT	12
2.3 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA AMMASSI ROCCIOSI	15
2.4 INDAGINE GEORADAR	17
2.5 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	18
2.6 ANALISI SISMICA.....	19
2.6.1 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO.....	19
2.6.2 STIMA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	20
3.0 FASE DI SINTESI.....	23

ALLEGATI:

- ALLEGATO 1. LOCALIZZAZIONE INDAGINI IN SITO (SCALA 1:500)
- ALLEGATO 2. STRATIGRAFIE E FOTO SONDAGGI GEOGNOSTICI
- ALLEGATO 3. ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT (SONDAGGIO S4)
- ALLEGATO 4. REPORT INDAGINE GEORADAR (SCALA 1:500)
- ALLEGATO 5. SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA (SCALA 1:500)

PREMESSA

Il presente elaborato rappresenta uno studio di compatibilità geologica riguardante l'area su cui insiste il cimitero del Comune di Caino (BS) a supporto del Piano Cimiteriale e in previsione di un futuro progetto di ampliamento. Il cimitero si localizza su di un versante in destra idrografica al Torrente Garza, a nord-est dell'abitato di Caino e ad una quota altimetrica di circa 400 mt s.l.m., cfr. figura 1 e 2.

Con lo scopo di definire le caratteristiche geologico-morfologiche dell'area in studio e del suo intorno significativo si è provveduto a:

- eseguire un sopralluogo nell'area oggetto di intervento con rilievi geologici;
- raccogliere dati di carattere geologico inerenti la zona in esame;
- consultare lo studio geologico comunale e i dati bibliografici relativi alla componente sismica (Vs30) del territorio comunale;
- fornire il supporto geologico alla perforazione di n°4 sondaggi geognostici spinti sino alla profondità massima di 10 mt da p.c. con realizzazione di prove Spt (prove penetrometriche in foro di sondaggio). I sondaggi sono stati definiti in prima battuta dal comune di Caino in relazione alla disponibilità economica di bilancio;
- realizzare una campagna di indagine georadar con valutazione della profondità del substrato roccioso e confronto con i dati raccolti nei sondaggi geognostici;
- analizzare i dati raccolti e definire il modello geologico del terreno.

Lo studio effettuato ha lo scopo di definire i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici delle aree in oggetto secondo quanto contenuto nella normativa vigente, con particolare riferimento a:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". Il Comune di Caino si colloca in classe di sismicità 2 (O.P.C.M. 3274 del 2003 e L.R. 12/'05).;
- Testo Unitario – D.M.14/09/2005 di fatto mai entrato in vigore per difficoltà operative;
- D.M. 14 gennaio 2008 Norme tecniche per costruzioni;
- Circolare n. 617 del 2.02.2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

Il presente documento si compone di una parte di raccolta dati e delle informazioni esistenti, di una parte di analisi sulle condizioni di interferenza geologica e di una parte conclusiva con indicazioni progettuali finalizzate a mitigare i rischi di carattere geologico.

INQUADRAMENTO

L'area oggetto di indagine si colloca nella parte settentrionale dell'abitato di Caino su di un versante in destra idrografica al Torrente Garza alla quota di circa 400 mt s.l.m., cfr. figure 1 e 2 (Carta Tecnica Regionale e volo aerofotogrammetrico). Nella cartografia tecnica regionale la zona è localizzabile nel Foglio D5 alla scala 1:50.000 ed in maggior dettaglio nella Sezione D5c4 alla scala 1:10.000.

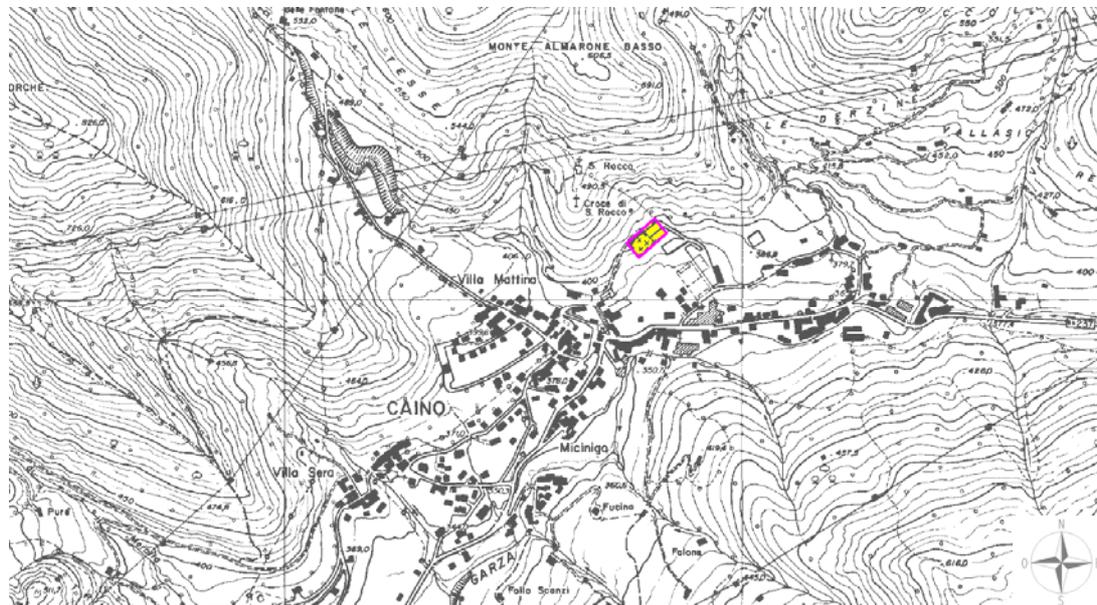


Figura 1. Corografia (Carta Tecnica Regionale)

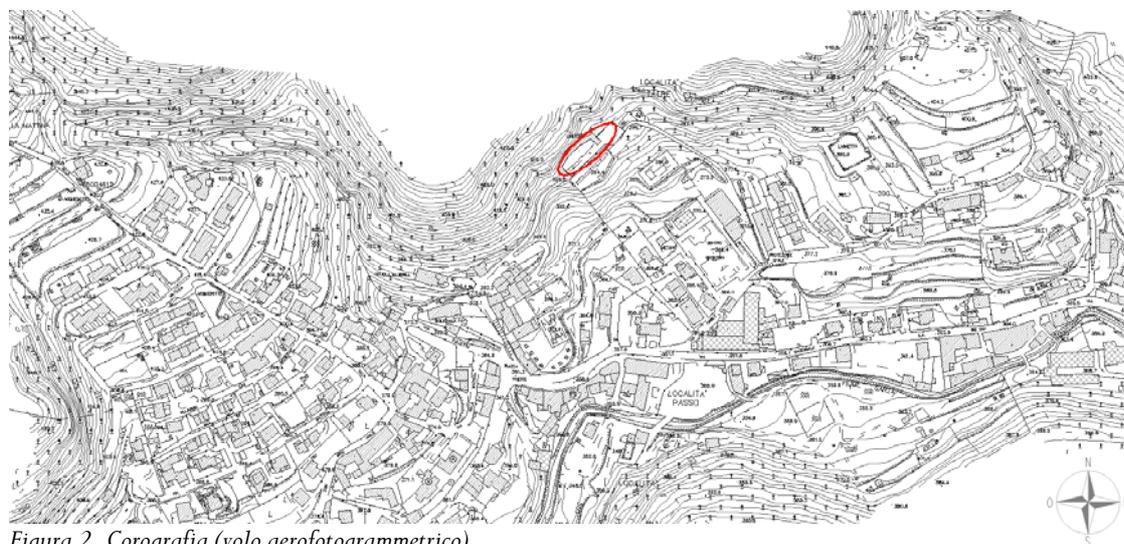


Figura 2. Corografia (volo aerofotogrammetrico)

1.0 FASE DI INDAGINE

1.1 STATO DEI LUOGHI

L'ampliamento del cimitero, sulla base di informazioni fornite dai tecnici comunali potrebbe realizzarsi:

- nel sito a sud-est dell'area cimiteriale più recente con sbancamenti da eseguirsi nell'area di accesso al cimitero e nel pianoro inerbito posto di fronte ai loculi esistenti, laddove sono stati eseguiti 3 sondaggi geognostici (S1, S2 ed S3);
- nel sito posto a nord-est rispetto al vecchio cimitero, lungo il pendio che si imposta a valle del parcheggio esistente, laddove l'Amministrazione comunale ha posizionato e fatto eseguire il sondaggio geognostico (S4).

In generale l'area in studio è caratterizzata da un versante che degrada verso il fondovalle del Torrente Garza, la cui ossatura risulta impostata su di un substrato roccioso calcareo, affiorante a tergo dell'area cimiteriale ed intercettato con i sondaggi geognostici ad una profondità modesta per quanto riguarda i sondaggi S1, S2 ed S3 e ad una profondità di 10 mt nel caso del sondaggio S4 (probabile presenza di materiale di riporto come descritto di seguito).

Le pendenze del pendio a monte dell'area cimitero sono intorno ai 30° di inclinazione ed il substrato roccioso affiorante mostra una giacitura degli strati verso nord.

Di seguito si riporta un quadro fotografico in cui si individuano gli elementi sopra descritti.



Panoramica del versante su cui si imposta il cimitero. Nella fotografia di dettaglio del cimitero, a destra si ha l'ingresso del cimitero più recente a sinistra l'ingresso del vecchio cimitero



Area in esame ed affioramenti rocciosi a tergo del cimitero

1.2 LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

Dal punto di vista geologico il substrato roccioso affiorante nell'area in studio a tergo dell'area cimiteriale ed intercettato con i sondaggi geognostici appare costituito da dolomie e calcari dolomitici, in genere da grigi a giallastri, a stratificazione non molto definita appartenenti alla formazione geologica "Dolomia Principale": di questa formazione si distinguono la facies basale comprendente dolomie e calcari dolomitici molto fratturate (con brecce grossolane) e la facies costituita da dolomie e calcari dolomitici a stratificazione indistinta e a grossi banchi, cfr. figura 3.

Non è da escludere il contatto litologico al di sotto dell'alveo del Torrente Garza tra le formazioni della Dolomia Principale e la Dolomia Principale in facies basale, quest'ultima mostrante una stratificazione da metrica e decimetrica.

Al disopra del substrato roccioso si osserva una copertura superficiale dalla granulometria medio fine (limoso-argilloso) dalle scadenti caratteristiche geotecniche. Per la definizione delle caratteristiche geologiche della coltre superficiale e per la stima della profondità del substrato roccioso si è fatto riferimento a n°4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (concordati con il Comune di Caino) eseguiti nell'area in studio (con prove Spt solo nel sondaggio S4 come descritto di seguito) ed a

indagini georadar realizzate sia nel cimitero più recente che nelle area limitrofe. Le localizzazioni dei sondaggi geognostici, dell'area sottoposta ad indagine radar e dei rilievi geomeccanici su substrato roccioso sono riportate in allegato 01.

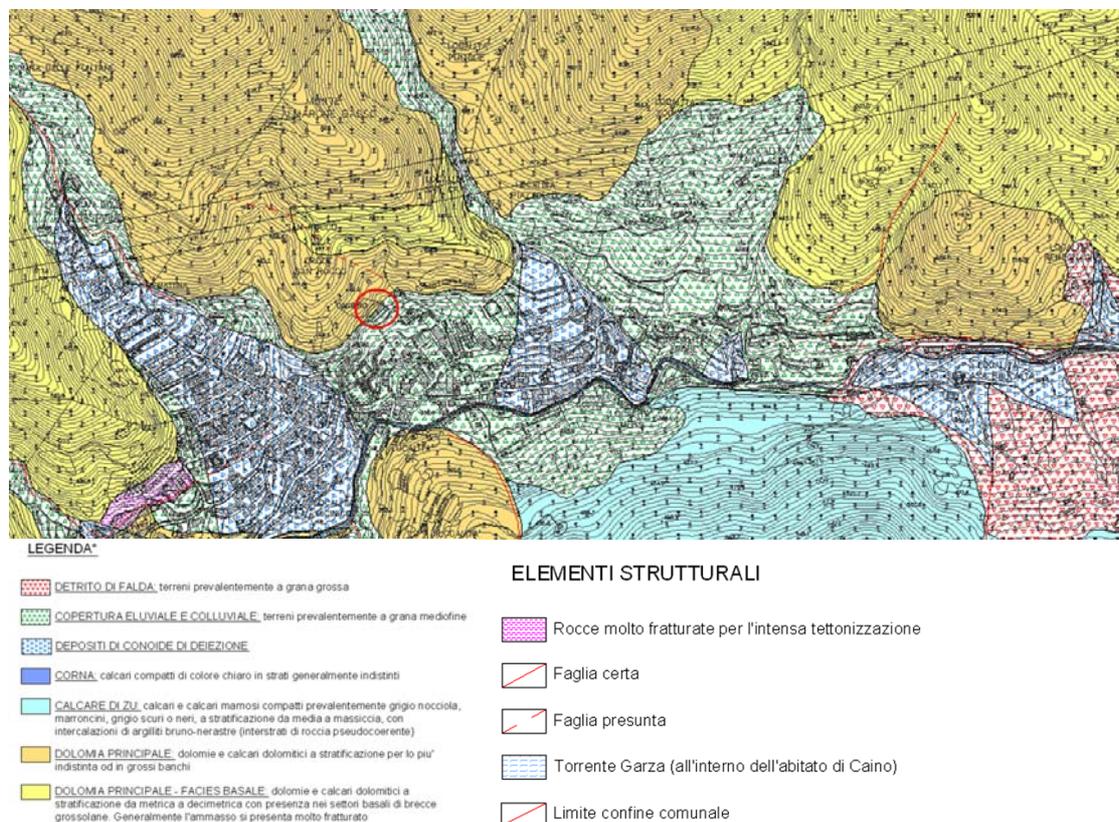


Figura 3. Stralcio carta geologica tratta dal pgt comunale (in cerchio rosso l'area in studio)

Mentre nei tre sondaggi geognostici S1, S2 ed S3 eseguiti a ridosso del cimitero più recente il substrato roccioso risulta molto superficiale, ad una profondità variabile tra 0.15 e 0.50 mt da p.c. nel sondaggio geognostico S4 il substrato roccioso è stato localizzato alla profondità di circa 9 mt da p.c., al di sotto di un probabile materiale di riporto (blocchi rocciosi costituenti lo smarino per la realizzazione del cimitero più recente) dello spessore di circa 7,5 mt e di un orizzonte a granulometria fine limoso sabbioso, argilloso dello spessore di circa 1,5 mt, cfr. allegato 02.

Dal punto di vista morfologico, l'area in studio insiste su un versante esposto a SE in sponda destra idrografica al Torrente Garza. A nord del cimitero lungo il pendio con ossatura rocciosa si impostano due incisioni che al momento del sopralluogo si mostravano asciutte; non è da escludere che in caso di intense e prolungate piogge queste due incisioni possano diventare il recapito delle acque di drenaggio del versante con conseguente scorrimento idrico lungo le stesse e possibile intercettazione del parcheggio del cimitero posto al piede del versante.

I processi di degradazione che si potrebbero sviluppare sono principalmente legati allo scorrimento delle acque superficiali, alla significativa acclività ed alle caratteristiche tecnico strutturali degli ammassi rocciosi e dei depositi superficiali. I fenomeni di dissesto potenziali che potrebbero avere luogo, sono fenomeni di scivolamento della coltre superficiale dagli spessori modesti, poggiante su substrato roccioso, che una volta raggiunta la saturazione tenderebbe a scollarsi ed a scivolare verso il basso.

I depositi che potrebbero essere coinvolti da scivolamenti di tipo superficiale sono costituiti da depositi eluvio-colluviali, poggianti sul substrato roccioso sottostante; è facile immaginare che nella maggior parte dei casi i fenomeni di scivolamento si impostano alla testata dei solchi di erosione e di ruscellamento concentrati dove, in corrispondenza dei fenomeni di precipitazione intensa, si manifestano anche fenomeni di emergenza idrica.

Nel contesto montano in esame la natura del substrato roccioso, legata alla morfologia accidentata, ha sviluppato una idrografia superficiale complessa per lunghezza e numero degli impluvi minori.

Essa infatti è ridotta ad un sistema di drenaggio costituito da più linee d'impluvio che confluiscono direttamente nel collettore di fondovalle, a dare un reticolo idrografico strettamente controllato

dall'assetto tettonico-strutturale; gli impluvi lungo il versante destro del Torrente Garza presentano linee di confluenza (patterns idrografico) a carattere subdendritico, con una direzione preferenziale ad andamento parallelo di alcuni rami, che indica un controllo tettonico, con sistemi di fratture-faglie parallele.

Tali impluvi montani generalmente asciutti, si attivano solamente in concomitanza di precipitazioni meteoriche intense: un regime torrentizio dei corsi d'acqua caratterizzato da lunghi periodi di magre generalmente estreme a brevi ma intense precipitazioni, principali responsabili dei processi erosivi nella morfologia dei torrenti. Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame, va sottolineato il ruolo delle acque di scorrimento superficiale che, infiltrandosi lungo il versante tendono a scorrere subsuperficialmente lungo l'interfaccia substrato roccioso-depositi eluvio colluviali per poi emergere lungo gli spaccati naturali. Laddove le acque riemergono, in corrispondenza delle rotture di pendenza dove maggiore diviene l'acclività, vengono favoriti i fenomeni di mobilizzazione delle coperture a causa della saturazione delle stesse (legata alla bassa permeabilità dei depositi). L'effetto saturazione-appesantimento con insorgere di sovrappressioni neutre risulta tanto più evidente e significativo quanto minore è la permeabilità dei terreni di copertura e, di conseguenza, anche la loro attitudine a favorire il drenaggio delle acque. Nella parte alta del versante a tergo dell'area cimiteriale sono visibili alcuni fenomeni di soliflusso.

1.3 ELENCO INDAGINI ESEGUITE

Il modello geologico del sottosuolo è stato desunto da indagini geognostiche eseguite nell'area di intervento (sondaggi S1, S2, S3 ed S4) e geofisiche, queste ultime dedotte invece dal pgt comunale, realizzate in aree limitrofe al sito in studio (Indagine D-pgt comunale-Cogeo 2009), compatibilmente con le possibilità di indagine riferite alla disponibilità economica del Comune di Caino. Le stratigrafie e le fotografie dei sondaggi geognostiche costituiscono l'allegato 2, mentre i dati di elaborazione delle prove penetrometriche SPT sono sintetizzati nell'allegato 3. Le prove penetrometriche sono state realizzate solo nel sondaggio geognostico S4 in quanto nei primi tre sondaggi il substrato roccioso è risultato quasi superficiale.

Di seguito vengono elencate le indagini eseguite nell'area in studio, prese come riferimento per la stesura del modello geologico:

- n°4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (profondità massima 10 mt da p.c.) con prove SPT nel sondaggio S4;
- n° 2 stazioni di rilievo geomeccanico per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso;
- n° 1 indagine georadar per la definizione del tetto del substrato roccioso nell'area cimiteriale e nel suo intorno;
- n°1 indagine sismica MASW (dato bibliografico, tratto dal pgt comunale Cogeo, 2009) della lunghezza di 70 mt (indagine D) per l'aggiornamento della componente sismica comunale utilizzato per la definizione delle Vs30 (necessaria per la classificazione sismica in base alle nuove normative).

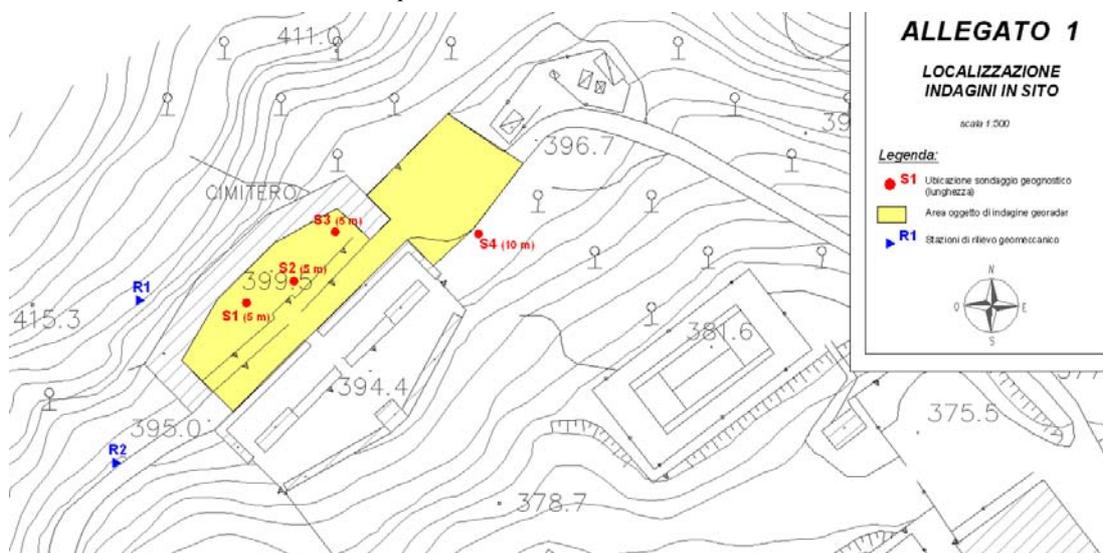


Figura 4. Stralcio allegato 1 (ubicazione indagini)

1.3.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT

L'attività di perforazione, svoltasi nel mese di marzo 2012, si è conclusa con la perforazione di n°4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo della profondità massima di 10 mt, con realizzazione di prove SPT. Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda di marca G.M. 600, con pompa per la circolazione dell'acqua di perforazione. Per i sondaggi a carotaggio continuo sono stati utilizzati aste, carotieri e rivestimenti con diametri compresi tra 127 e 101 mm. I carotieri utilizzati sono di tipo semplice di tre metri di lunghezza. Le corone utilizzate per i carotieri semplici e per le scarpe dei tubi di rivestimento sono di tipo "Widiam", quelle per il carotiere doppio sono di tipo "Diamante". Il materiale carotato è stato riposto in apposite cassette catalogatrici a scomparto, sulle quali sono stati indicati i dati relativi alla commessa lavoro, al committente, alla località, i dati identificativi del numero di sondaggio, il numero della cassa, le profondità di carotaggio. La documentazione fotografica relativa alle cassette catalogatrici e le successioni stratigrafiche rilevate in corso di perforazione costituiscono l'allegato 2. Per la descrizione dei terreni si è fatto riferimento alle normative AGI. Nel corso delle perforazioni verticali sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche: n°3 prove Spt per il solo sondaggio geognostico S4 alla profondità di 4,5-6,0-7,5 mt da p.c.. Le prove SPT consentono di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di una punta, con caratteristiche geometriche note, a partire dal fondo foro di sondaggio. La resistenza è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno. La prova consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63.5 kg, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitata la punta di infissione. Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione pari a 300 mm (dopo 150 mm di infissione dinamica per il posizionamento) è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione NSPT. Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico S4 sono state eseguite alla profondità di 7,5-9 mt da p.c. (orizzonti limoso sabbiosi, argillosi) prove con Pocket Penetrometer e con Pocket Shear vane mentre sul substrato roccioso è stato definito il parametro Rqd, tutti dati riportati nella descrizione delle stratigrafia di sondaggio.



Sondaggio geognostico S1



Esempio di prova Pocket Penetrometer

1.3.2 RILIEVI GEOMECCANICI

La caratterizzazione tecnica degli ammassi rocciosi viene eseguita normalmente in sito attraverso l'esecuzione di alcuni profili di scansione lungo superfici di affioramento esistenti. L'ubicazione delle scansioni di rilievo geomeccanico eseguite a tergo ed a lato del cimitero sono riportate in allegato 1. Il rilievo geomeccanico consente di ricavare in primo luogo l'assetto geometrico dell'ammasso, la presenza di fratturazioni e la loro orientazione nello spazio. Vengono inoltre esaminati alcuni requisiti relativi alle condizioni delle superfici dei giunti di fratturazione lungo i quali avviene il movimento dei blocchi, con particolare riferimento all'alterazione delle superfici, alla presenza di riempimenti che possano agire o meno a favore della resistenza allo svincolo dei blocchi, viene inoltre determinata la rugosità di dette superfici, in quanto una superficie ondulata e rugosa oppone più resistenza allo scivolamento rispetto ad una superficie planare e liscia. Quest'ultima operazione viene eseguita con l'ausilio di uno strumento chiamato "pettine di Barton" che appoggiato sul giunto roccioso ne ricalca la geometria, che per confronto



Rilievo geomeccanico R1

con alcuni profili standardizzati viene parametrizzata.

Il rilievo dell'ammasso roccioso si caratterizza per la raccolta delle seguenti informazioni (secondo le norme ISRM, 1981):

- numero di famiglie di discontinuità: le fessurazioni che interessano gli ammassi sono correlabili a sistemi di fratturazione di carattere regionale e/o locale e sono pertanto ben distinguibili lungo le superfici di affioramento. Ogni famiglia riconosciuta è stata contraddistinta da una sigla Kn ad eccezione della superficie di stratificazione tipica della roccia contraddistinta dalla lettera S; nelle proiezioni sono stati utilizzati colori diversi;
- giacitura: rappresenta l'orientazione nello spazio della frattura, definibile come immersione rispetto al nord geografico (azimut) e pendenza sull'orizzontale (inclinazione);
- spaziatura: è la distanza misurata tra due fessure appartenenti alla stessa famiglia. Si adotta generalmente un valore modale della spaziatura dal momento che spesso a seconda delle porzioni di affioramento la spaziatura può variare da qualche centimetro sino a qualche metro. Tale parametro è di fondamentale importanza per la definizione dei massimi volumi mobilitabili dalle pareti rocciose ed è un parametro richiesto dalle più usate classificazioni geomeccaniche per la definizione della classe di qualità dell'ammasso roccioso;
- persistenza della discontinuità: rappresenta il valore dell'estensione areale del piano di discontinuità individuato. Anche in questo caso, poiché spesso di difficile determinazione se non si ha la possibilità di prendere visione dello spaccato lungo almeno due lati perpendicolari tra loro, si definisce un valore modale di tale parametro, perlopiù determinato dalla lunghezza della discontinuità lungo la superficie di affioramento;
- condizioni geometriche della superficie di discontinuità: ci si riferisce in questo caso alla forma generale della superficie (planare, ondulata, rugosa) e alla microrugosità presente sulla stessa (liscia, rugosa, seghettata). Tale parametro è indicato qualitativamente nelle schede di rilievo geomeccanico ma viene rilevato attraverso l'utilizzo del pettine di Barton, confrontando la traccia del profilo della discontinuità ottenuta con i profili standard proposti da Barton e Choubey (1977);
- apertura della discontinuità: misura della distanza tra le due pareti delimitanti l'apertura (viene generalmente indicata in millimetri);
- riempimento: viene indicata con questo parametro la natura litologica del riempimento della discontinuità (quando presente). Il riempimento può essere di natura minerale (quarzo, calcite), può essere terreno (coesivo o non coesivo). La presenza di riempimento e la natura dello stesso determina la resistenza al taglio lungo la superficie di discontinuità;
- condizioni idrauliche: viene analizzata la presenza di circolazione idrica all'interno delle superfici di discontinuità dell'ammasso, con definizione della tipologia di venuta d'acqua, dalla semplice umidità, allo stillicidio sino al vero e proprio flusso continuo con misurazione della portata;
- dimensione dei blocchi: rappresenta un importante indice dei volumi potenzialmente mobilizzabili dalle pareti (distinto in volume minimo, medio e massimo).

1.3.3 SCANSIONI GEORADAR

Per individuare il limite tra substrato roccioso e copertura superficiale sono state eseguite una serie di scansioni georadar in particolare nella zona del cimitero recente, eseguendo una maglia di scansioni radar longitudinali e trasversali rispetto la geometria della struttura cimiteriale. L'ubicazione delle scansioni georadar e la stesura dei radargrammi principali sono riportate in allegato 4.

Breve descrizione della tecnica radar strumentazione utilizzata

Il radar ad impulso elettromagnetico è un sistema complesso e tecnologicamente avanzato, in grado di indagare i terreni con notevole dettaglio al fine di individuare strutture e corpi sepolti a profondità comprese fra 0 e 15 metri circa, dipendentemente dal materiale costituente il terreno e dal tipo di antenna utilizzata. Nel caso specifico la profondità di investigazione è risultata dell'ordine di 3,0 metri circa, con il preciso scopo di ricavare un maggior dettaglio dell'indagine.

Il radar ad impulso elettromagnetico è costituito da un trasmettitore di impulsi elettromagnetici a larga banda e da un ricevitore, funzionanti in rapida successione.

La strumentazione, le cui caratteristiche tecniche vengono indicate di seguito, comprende :

Unità principale : SIR System -3000

System

Antennas: Compatible with all GSSI antennas
Number of Channels: 1 (one)
Data Storage:
Internal memory: 256 Mb Flash memory card
Compact Flash port: Accepts industry standard CF memory up to 1 GB (user provided).
Processor: 32-bit Intel StrongArm™ RISC processor @ 206 Mhz
Display: Enhanced 8.4" TFT, 800 x 600 resolution, 64K colors
Display Modes: Line scan, O-scope
Data Acquisition
Data Format: RADAN (dzt)
Scan Rate Examples:
300 scans/sec at 256 samples/scan
150 scans/sec at 512 samples/scan
Sample size: 8-bit or 16-bit, user-selectable
Scan Interval: User-selectable.
Number of samples per scan:
256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192
Operating Modes:
Free run, survey wheel, point mode
Time Range:
0-8,000 nanoseconds full scale, user-selectable.
Gain: Manual or automatic, 1-5 gain points (-20 to +80 dB)
Filters:
Vertical: Low-Pass and High-Pass IIR and FIR
Horizontal: Stacking, Background Removal

Operating

Operating Temperature:
-10°C to 40°C ambient (preliminary)
Charging Power Requirements:
15 V DC, 4 amps
Battery: 10.8 V DC, internal.
Transmit Rate: Up to 192 KHz

Input/Output

Available Ports:
Antenna input
DC power input
Ethernet Input/Output
RS232 (GPS port)
Compact Flash memory
USB master/slave

Mechanical

Dimensions:
31.5 (L) x 22 (W) x 10.5 (H) cm
12.4" x 8.7" x 4.1"
Weight: 4.1 kg, (9 lbs) including battery
Environmental: Water resistant

System Includes:

SIR-3000 data acquisition system
Transit case
2 batteries
AC adapter
User manual
Carrying harness (optional)
Sunshade (optional)

Antenna : modello 3102 GSSI con frequenza di 500 MHz

Data collection mode: Continuous

Range: 60 ns

Samples per scan: 512

Resolution : 16 bits

Number of gain points : 5

Vertical High pass Filter: 125 MHz

Vertical Low Pass Filter: 1000 MHz

Scans per second: 64

Transmit Rate: 100 KHz

Carrello : modello 623 Cart

Il terreno viene energizzato da un trasduttore (antenna), predisposto anche per ricevere i segnali riflessi dai corpi sepolti, ed il segnale riflesso viene campionato numericamente a 16 bits (16384 livelli di segnale) ed immagazzinato nella memoria interna dell'unità principale. Il segnale inviato all'antenna dall'apparato trasmittente è costituito da un impulso della durata di pochi nanosecondi e il tempo di ascolto del sistema è variabile a scelta dell'operatore (10-1000 nanosecondi), in funzione della profondità che si vuole esplorare e dell'antenna utilizzata. L'energia di questo impulso è distribuita su uno spettro di frequenza molto ampio. Quando questo impulso viene applicato all'antenna, solo la parte di energia, definibile dalla banda passante dell'antenna, viene trasmessa realmente. Le caratteristiche dell'antenna (frequenza centrale e larghezza di banda) determinano quindi il tipo di energizzazione applicata al terreno e la forma reale dell'impulso trasmesso. Sono disponibili antenne a frequenza centrale da 80 Mhz fino a 1000 Mhz. La scelta dell'antenna da utilizzare è in funzione essenzialmente delle dimensioni e della profondità degli oggetti riflettenti, dell'obiettivo dell'indagine, nonché dei parametri elettrici del terreno (conducibilità e permeabilità magnetica). Risulterà riflettente un corpo le cui dimensioni siano comparabili con la lunghezza d'onda elettromagnetica nel mezzo in cui il corpo è immerso. L'impulso inviato nel terreno si propagerà con una velocità pari a quella tipica del campo elettromagnetico nel mezzo in questione; il valore di velocità dipende essenzialmente dalla costante dielettrica del mezzo attraversato. L'energia ceduta durante il percorso sarà minima nell'aria ed in mezzi dielettricamente molto resistenti, viceversa si avrà una notevole attenuazione in mezzi dielettricamente poco resistenti quali i materiali conduttivi in genere. Parte dell'energia trasmessa dall'antenna verrà quindi riflessa dai corpi sepolti, o dalle discontinuità geologiche eventualmente presenti e verrà ricevuta dall'antenna e registrata.



Strumentazione georadar: unità principale, antenna e carrello

L'energia dell'impulso riflesso sarà direttamente proporzionale al contrasto di valore dei parametri fisici fra il corpo sepolto ed il terreno che lo contiene, nonché alla presenza di una ben precisa superficie di contrasto. La profondità della sezione esplorata dipende innanzitutto dalla frequenza d'impulso immessa nel terreno ed inoltre dalla durata del tempo di ascolto degli "echi"(riflessioni) restituiti dagli strati del sottosuolo. Un tempo di ascolto maggiore offre una maggior profondità della sezione investigata. La profondità di investigazione dipende, tuttavia, anche dalla natura del terreno, ossia dalla sua costante dielettrica. L'energia ceduta dall'onda elettromagnetica dipende dalla conducibilità del mezzo in cui viaggia, per cui, in mezzi conduttivi si avrà un forte assorbimento dell'onda elettromagnetica ed una scarsa penetrazione. In pratica, l'utilizzo del radar si esplica nel muovere l'antenna ricetrasmittente sull'oggetto da indagare, lungo profili ben determinati.

MODALITÀ DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE

L'indagine georadar è stata realizzata con la strumentazione descritta nel paragrafo precedente, percorrendo n° 4 strisciate parallele tra loro di cui n°3 (L1,L2,L3) nel pianoro inerbito del cimitero recente e n°1 (L4) lungo la strada comunale a ridosso del muro che delimita il cimitero. La particolare attenzione dedicata alla fase di acquisizione dati trova giustificazione nel fatto che essa rappresenta una fase particolarmente importante e delicata per qualsiasi indagine geofisica. La scelta dei parametri di misura determina infatti la qualità dei dati acquisiti e condiziona l'efficacia degli algoritmi di calcolo nella successiva fase di elaborazione del segnale digitale. Una sessione di calibrazione, effettuata preliminarmente al rilievo, ha consentito di ottimizzare la curva di guadagno di campo e di stabilire gli intervalli di frequenza delle antenne ricetrasmittenti.

Il radar impiegato, pur fornendo in tempo reale un profilo a colori ben visibile attraverso una unità video, già facilmente interpretabile in fase di acquisizione, è dotato di un sistema di acquisizione digitale di fondamentale importanza per poter eseguire successive elaborazioni sui segnali acquisiti.

La tecnologia di prospezione radar offre, rispetto a quanto è stato disponibile sino ad ora, tutta una serie di vantaggi. Il primo di questi è indubbiamente la rapidità della prospezione. Immediatamente dopo la fase di acquisizione, come descritto sopra, è possibile valutare la natura e struttura del sottosuolo; cosa questa molto difficile con altri metodi di prospezione geofisica. Altri vantaggi risiedono nella tipologia "non distruttiva" dell'indagine, il terreno quindi non viene attraversato da alcun tipo di scavo o perforazione. Riguardo alla accennata rapidità di esecuzione e della visualizzazione in tempo reale delle immagini delle sezioni di terreno offre inoltre il non trascurabile vantaggio di poter controllare direttamente le anomalie che si vanno evidenziando, senza quindi essere costretti a ritornare per una seconda indagine.

2.0 FASE DI ANALISI

2.1 VINCOLI DI CARATTERE GEOLOGICO

Dall'esame della "Carta di Dissesto PAI aggiornata" tratta dal sito del Geoportale della Regione Lombardia, il sito in esame non risulta coinvolto da fenomeni di dissesto riguardanti il versante, cfr. figura 5.

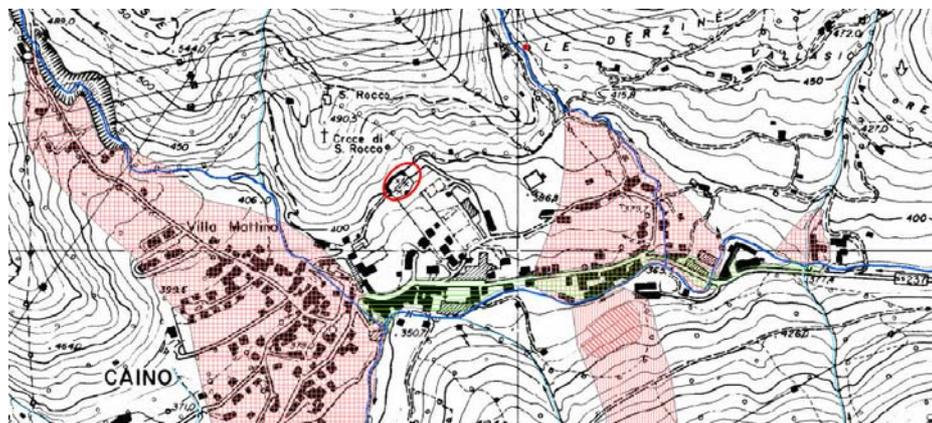


Figura 5. Stralcio Carta Dissesti PAI aggiornata (in cerchio rosso l'ubicazione dell'area in studio)

In riferimento alla Carta di fattibilità geologica tratta dal Geoportale della Regione Lombardia si osserva come l'area su cui insiste il cimitero ricada all'interno della classe 3 di fattibilità geologica (fattibilità con consistenti limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni), cfr. figura 6. Nel pgt comunale l'area ricade in classe di fattibilità 3C riferibile a quelle "aree acclivi o fortemente acclivi; non presentano fenomeni di dissesto. Spessore limitato dei depositi superficiali o substrato roccioso affiorante".



Figura 6. Stralcio Carta fattibilità geologica tratta dal Geoportale della Regione Lombardia (in cerchio rosso l'ubicazione dell'area in studio)

2.2 DESCRIZIONE STRATIGRAFIE E PROVE SPT

Nell'allegato 2 sono raccolte le stratigrafie e foto dei sondaggi geognostici S1, S2, S3 ed S4 a carotaggio continuo, di cui i primi tre realizzati sino alla profondità di 5 mt da p.c. mentre il quarto sino alla profondità di 10 mt da p.c.. Di seguito si riporta una descrizione delle stratigrafie di sondaggio di cui S1, S2 ed S3 eseguiti sul pianoro inerbito del cimitero di recente costruzione mentre S4 realizzato a SE del parcheggio cimiteriale, cfr. allegato 1.

Per quanto riguarda il sondaggio S1 è costituito da un primo livello (livello 1) di terreno vegetale per uno spessore di 0,35 mt al di sopra di un substrato roccioso calcareo. Il substrato roccioso calcareo mostra dei valori di RQD uguali a zero sino alla profondità di 3 mt da p.c. e valori intorno al 40% da 3 a 5 mt (fine sondaggio geognostico).

In riferimento al sondaggio S2 realizzato nella porzione centrale del cimitero, mostra come il sondaggio S1 uno spessore di 0,15 mt di terreno vegetale al di sopra del substrato roccioso calcareo. I valori di RQD mostrano dei valori variabili da 90% a 40% circa lungo la verticale indagata.

Il sondaggio S3 eseguito nella parte nord dell'area cimiteriale mostra uno spessore di terreno vegetale pari a circa 0,5 mt al di sopra di un substrato roccioso calcareo che mostra nulli e bassi valori di RQD, indicando una qualità dell'ammasso roccioso scendente nella parte nord del cimitero rispetto alla parte sud.

Data la presenza di un substrato roccioso localizzato a profondità modeste, non è stato possibile eseguire prove penetrometriche in foro di sondaggio (SPT), realizzate esclusivamente nel sondaggio S4 la cui descrizione è la seguente.

Nel sondaggio S4 al di sotto di una coltre superficiale di terreno vegetale di 0,10 mt di spessore si sono intercettati dei terreni probabilmente ascrivibili a materiale di riporto, poco addensati come mostrano i valori di SPT eseguiti alle profondità di 4,5-6-7,5 mt da p.c.. Il materiale di riporto è costituito da "Ciottoli subangolosi calcarei in clasti ghiaiosi, di origine calcarea, poco addensati alternati a sabbie ghiaiose, di origine calcarea, sciolte, con clasti ghiaiosi subangolosi grigio-biancastri", sino alla profondità di 7,5 mt da p.c..

Dalla profondità di 7,5 sino a 9,0 mt da p.c. prevalgono dei limi sabbiosi alternati a argille limose poggianti sul substrato roccioso calcareo intercettato alla profondità di 9,0 mt da p.c. (e sino a fine sondaggio, 10 mt da p.c.). Il substrato roccioso perforato tra 9 e 10 mt da p.c. mostra dei valori bassi di RQD intorno al 10% indicando una qualità scadente dell'ammasso roccioso nella sua porzione superficiale.

Nel sondaggio geognostico S4 sono state eseguite sia prove penetrometriche in foro (SPT) che prove con Pocket Penetrometer che con Pocket Shear vane, queste ultime sugli orizzonti da 7,5 a 9,0 mt di profondità. Durante l'esecuzione della perforazione non è stato intercettato il livello di falda e nemmeno circolazioni idriche localizzate sottosuperficiali.

Per quanto riguarda le prove penetrometriche in foro (SPT), tale prova consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (o aperta) misurando il numero di colpi N necessari alla penetrazione 15 cm per 3 volte consecutive per un totale di 45 cm. Lo Standard EN ISO prevede che le aste da utilizzare per l'esecuzione delle prove SPT abbiano un peso inferiore ai 10 kg per metro lineare (diametro 50 mm e peso di 7 kg/ml). L'elaborazione delle prove Spt (interpretazione e visualizzazione grafica) consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele. L'Eurocodice prevede che la prova possa essere arrestata quando si raggiungono 50 colpi per la penetrazione di un qualsiasi dei 3 tratti di 150 mm ciascuno (tale procedura è stata adottata per l'esecuzione di ciascuna prova penetrometrica).

Nell'allegato 3 sono riportati i dati relativi alle elaborazioni delle singole prove SPT realizzate con tutti gli autori relativamente ai parametri riportati di seguito suddivisi in terreni incoerenti e in terreni coesivi. L'elaborazione delle prove SPT (interpretazione e visualizzazione grafica) consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Correlazioni terreni incoerenti

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5 \text{ t/mq}$.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15 \text{ t/mq}$.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15 \text{ t/mq}$.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_p)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Correlazioni terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). Cu min-max.
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

Modulo Di Young (Ey)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

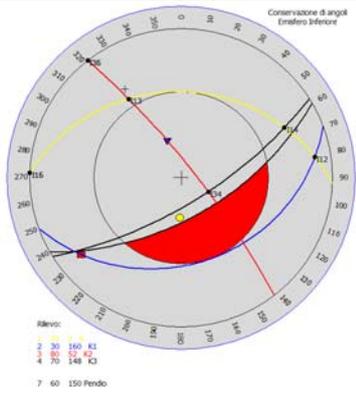
Peso di volume saturo

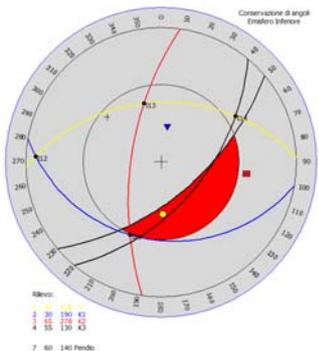
- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa G=2,70 (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

Sarà cura del progettista geotecnico/strutturista, definire i parametri di resistenza in relazione ai carichi agenti e alla tipologia di fondazione.

2.3 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA AMMASSI ROCCIOSI

I rilievi geomeccanici eseguiti (R1 ed R2) hanno rilevato una caratterizzazione del substrato roccioso nell'area in esame così distinta dal punto di vista dei set di fratturazione.

RILIEVO GEOMECCANICO R1		
I.d.	Tipologia di fratturazione	Giaciture
S	Stratificazione	2/30°; 4/28°
K1	Giunto laterale	160/30°; 170/35°
K2	Giunto laterale subverticale	52/80°; 60/85°
K3	Giunto laterale subverticale	140/70°; 150/75°
P	Pendio	150/60°
 <p>Proiezione stereografica</p>		

RILIEVO GEOMECCANICO R2		
I.d.	Tipologia di fratturazione	Giaciture
S	Stratificazione	358/42°; 4/45°
K1	Giunto laterale	190/30°; 180/45°
K2	Giunto laterale subverticale	278/65°; 280/70°
K3	Giunto laterale subverticale	130/55°; 135/70°
P	Pendio	140/60°
 <p>Proiezione stereografica</p>		

Cinematismo dei blocchi

L'assetto geometrico spaziale dei giunti di fratturazione consente di verificare in prima analisi le condizioni geometriche che possono determinare instabilità nei blocchi costituenti gli ammassi rocciosi. Il metodo consente di verificare quali discontinuità possono condurre allo scivolamento a cuneo, planare o al ribaltamento dei blocchi e quali giunti consentono lo svincolo dei blocchi.

I possibili cinematismi che possono condurre all'instabilità di un ammasso roccioso sono essenzialmente:

- scivolamento planare;
- scivolamento a cuneo;
- toppling o ribaltamento.

Di seguito vengono espresse le condizioni minime affinché possano verificarsi i cinematismi principali descritti.

Scivolamento planare

E' possibile alle seguenti condizioni (Hoek & Bray 1981):

- l'immersione del piano di scivolamento deve essere parallela o quasi (+/- 20°) all'immersione del pendio;
- l'inclinazione del piano di scivolamento deve essere minore dell'inclinazione del pendio;
- l'inclinazione del piano di scivolamento deve essere maggiore dell'angolo di attrito sulla discontinuità;
- devono essere presenti discontinuità che possono svincolare lateralmente il blocco e sulle quali è possibile considerare nulla la resistenza allo scivolamento.

Scivolamento a cuneo

E' possibile alle seguenti condizioni (Hoek & Bray 1981):

- l'immersione della linea di intersezione tra le discontinuità deve essere prossima all'immersione del pendio;
- l'inclinazione della linea di intersezione tra le discontinuità deve essere minore dell'inclinazione del pendio;
- l'inclinazione della linea di intersezione tra le discontinuità deve essere maggiore dell'angolo di attrito tra le discontinuità.

Toppling o ribaltamento

E' possibile alle seguenti condizioni (Hoek & Bray 1981):

- la direzione del piano di debolezza deve essere compresa tra +/- 30° rispetto alla direzione del pendio;
- la normale ossia il polo della superficie di ribaltamento deve avere inclinazione minore di quella del pendio diminuita dell'angolo di attrito sui giunti.

Nel caso in esame, attraverso le proiezioni stereografiche è stato possibile individuare la presenza di potenziali scivolamenti. Il valore dell'angolo di attrito dell'ammasso roccioso, si ottiene considerando valori medi tra quelli derivati nel corso dei rilievi geomeccanici.

L'angolo d'attrito è stato ricavato applicando la relazione di Barton, che considera quest'angolo come il risultato della somma dell'angolo di attrito di base, funzione della granulometria e litologia della roccia, con altri parametri riguardanti la rugosità ed il grado di alterazione della superficie di discontinuità:

$$\phi = \phi_b + \text{Log} \frac{J_{cs}}{\sigma_c}$$

dove (angolo d'attrito di base del materiale roccia) è posto pari a 33°, j_{cs} si ricava dal martello di Schmidt (in questo caso è stato ipotizzato dalle condizioni di alterazione delle superfici di discontinuità) e rappresenta il carico litostatico massimo.

Nei casi esaminati, va sottolineato che le famiglie di discontinuità rilevate presentano valori di rugosità molto bassi e i piani di discontinuità si presentano planari e lisci, al punto che il valore di angolo di attrito mobilizzabile lungo tali piani risulta compreso tra 30° e 35° considerando il caso più sfavorevole e quello più favorevole. Pertanto il valore di 30°, è stato utilizzato come valore del cerchio rappresentante l'angolo d'attrito, nelle proiezioni stereografiche.

L'individuazione delle potenziali situazioni di instabilità è stata determinata mediante costruzione geometrica sul reticolo di proiezione con il test di Markland.

In considerazione dell'esame delle proiezioni stereografiche eseguite è possibile ritenere che sussistano possibili fenomeni di crollo a prevalente cinematismo di scivolamento planare e ribaltamento.

Da sottolineare che il cinematismo prevalente che verrà intercettato in fase di scavo è quello del crollo per scivolamento planare lungo il giunto K1 che mostra caratteristiche giaciture simili a quelle del pendio ma inclinazioni inferiori; in alcuni casi potrebbe anche verificarsi il cinematismo di ribaltamento generato dalle stratificazioni S.

In generale si possono considerare le seguenti caratteristiche del materiale roccia come descritto nel modello geologico:

- Angolo d'attrito del materiale roccia = 30° - 35°
- Coesione = 200 - 300 KPa
- Resistenza alla compressione monoassiale (perpendicolare alla scistosità) = 100 - 140 MPa
- G = peso di volume della roccia = 2500-2700 Kg/mc

2.4 INDAGINE GEORADAR

I dati ricavati nel corso delle scansioni sul terreno sono stati elaborati con l'impiego di apposito software dedicato RADAN 6.5 della Geophysical Survey Systems Inc. Il software permette le seguenti elaborazioni:

- rimozione del segnale di background (Filtro orizzontale);
- rimozione del rumore;
- filtro verticale sul profilo (passa basso, alto e banda);
- filtro cepstrum;
- visualizzazione profili radar in fase di elaborazione.

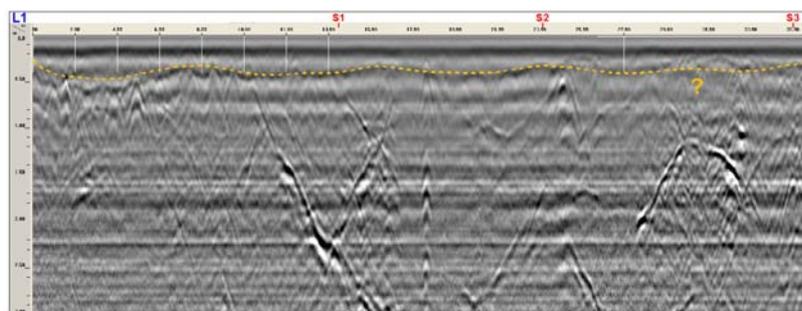
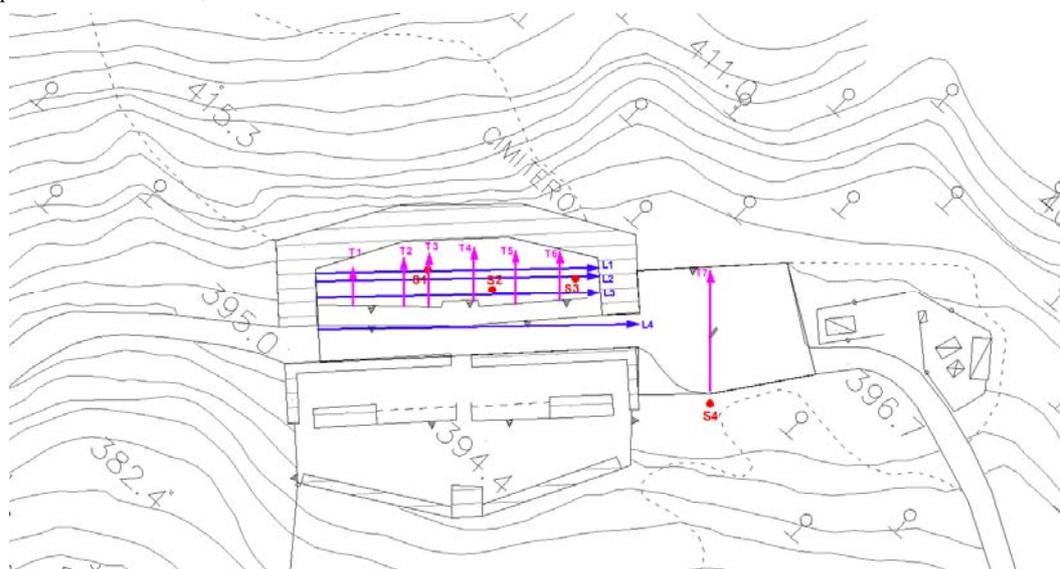
Dall'analisi dei dati radar grezzi si desume che l'energia EM si propaga in modo coerente sino alla profondità di circa 3.0 m rispetto al piano campagna consentendo di localizzare alcuni limiti stratigrafici. Le tracce sono state normalizzate spazialmente ed e' stata rimossa la curva di guadagno applicata in campo. Mediante un filtro a media mobile e' stata attenuato il rumore strumentale e sono state quindi sperimentate diverse combinazioni di algoritmi di filtraggio. Il processo più efficace e' stato un filtraggio in frequenza applicato in due fasi per la rimozione del rumore strumentale ed ambientale.

In generale si può affermare che si sono ottenuti buoni segnali e riflessioni leggibili sino alla profondità di circa 3,0 m da p.c..

Nell'allegato 4 sono riportati i report (radargrammi) relative alle scansioni longitudinali (L1,L2,L3 ed L4) e trasversali (T1,T2...T7).

Per l'analisi di dettaglio degli orizzonti intercettati con l'indagine si rimanda alla visione dei radargrammi dove sono visibili le scansioni effettuate ed è possibile verificare gli spessori degli orizzonti (in verticale) e la progressiva metrica della scansione (in orizzontale).

In sintesi nell'allegato 4 sui radargrammi è possibile riconoscere il tetto del substrato roccioso calcareo (campitura tratteggiata) intercettato a bassa profondità come nei sondaggi geognostici. Rimangono delle zone di incertezza laddove le anomalie di riflessione non risultano continue (contraddistinte da un "punto di domanda"), che andranno verificate nelle fasi successive.



Stralcio planimetria con scansioni georadar e radargramma (cfr. allegato 4)

2.5 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Confrontando i dati dei sondaggi geognostici, delle prove SPT con le indagini sismiche è stato possibile formulare un modello geologico del sottosuolo dell'area in esame, con realizzazione di una sezione geologica schematica, come riportato in allegato 5.

Dal punto di vista geologico le analisi condotte permettono di fare una distinzione tra modello geologico insistente nel cimitero di recente costruzione (laddove sono stati eseguiti i sondaggi geognostici S1, S2 ed S3) ed il modello geologico a valle del parcheggio cimiteriale (a nord del vecchio cimitero, sondaggio S4). Infatti mentre il primo risulta semplicemente caratterizzato da una coltre superficiale sottile di spessori modesti di terreni vegetali (depositi eluvio-colluviali nell'intorno del cimitero) poggiante su un substrato roccioso sub affiorante/affiorante, il secondo presenta uno spessore di depositi (la cui natura verrà spiegata di seguito) di circa 9 mt poggianti su substrato roccioso calcareo. Cautelativamente come modello geologico dell'area in esame è stato considerato quest'ultimo.

La successione litologica verticale per il sondaggio S4 (come descritto precedentemente) è stata distinta in tre unità principali 1,2,3 a partire dal piano campagna.

- **Livello 1.** Tale orizzonte caratterizzato da "Ciottoli subangolosi calcarei in clasti ghiaiosi, di origine calcarea, poco addensati alternati a sabbie ghiaiose, di origine calcarea, sciolte, con clasti ghiaiosi subangolosi grigio-biancastri" si ipotizza appartenente a depositi antropici, probabilmente accumulati lungo la scarpata in studio in seguito alle operazioni di sbancamento per la realizzazione del cimitero più recente. Lo spessore è di circa 7,5 mt con un valore minimo di Nspt medio pari a 8,7 nella prova SPT1 (a 4,5 mt di profondità) del sondaggio S4: si tratta di un materiale dalle scadenti caratteristiche geotecniche, poco addensato;
- **Livello 2.** Tale orizzonte risulta caratterizzato da "Limi sabbiosi di colore bruno scuro con argille limose, mediamente consistenti", poggiante su substrato roccioso calcareo intercettato alla profondità di 9,0 mt da p.c. (e sino a fine sondaggio, 10 mt da p.c.). Nella scheda stratigrafica sono riportati i valori medi dei parametri geotecnici ricavati con Pocket Penetrometer e Pocket Shear vane;
- **Livello 3.** Rappresentato da un substrato roccioso calcareo marnoso fratturato, che nel sondaggio S4 è stato carotato per un metro di spessore mostrante dei livelli di RQD molto bassi intorno al 10%.

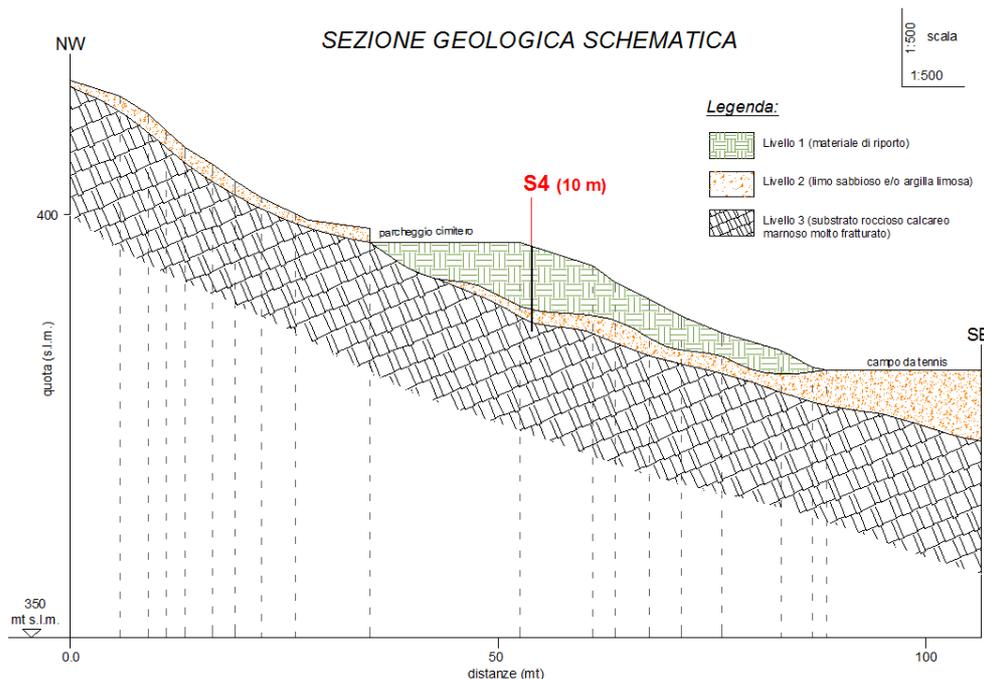
In sintesi dalle prove ed analisi condotte è possibile considerare i seguenti parametri di resistenza (Range di variabilità); si tratta di valori medi ottenuti dalle prove, non sono valori caratteristici di progetto, che il progettista geotecnico potrà ottenere in relazione al grado di sicurezza che si vuole assumere per l'opera in progetto e ai carichi e contesto progettuale geotecnico.

ID Livello	Litologia	Spessori (m)	N spt Medio minimo [n.]	Angolo di resistenza al taglio [°]	Modulo di Poisson	Coesione non drenata [Kg/cmq]	Modulo Edometrico [Kg/cmq]	Coesione [Kg/cmq]	Peso unità di volume [t/mc]	Peso unità di volume saturo [t/mc]	Velocità onde di taglio (m/s)
1	Materiale di riporto	7,5	8,7	29-31	0,34-0,33	--	--	--	1,68-1,72	1,91-1,92	118-141
2	Limo sabbioso e argilla limosa	1,5	10,4	--	--	0,45-0,92	104-108	--	1,98	2,18	150
3	Substrato roccioso calcareo marnoso molto fratturato	--	Rif.	30-35	--	--	--	2-3	21-23	23-25	1239*

*valore ricavato da indagini sismiche MASW in aree prossime a quelle in studio, contenute nell'aggiornamento della componente sismica del Comune di Caino – Indagine D (Cogeo, 2009) -

Si sottolinea che, a favore di sicurezza, nella stesura del modello geologico preliminare sono stati considerati i massimi spessori individuati nell'area di indagine, relativi alle unità dotate di caratteristiche tecniche scadenti. Tale modello è riferito all'ambito indagato con i sondaggi geognostici.

Il modello geologico ricavato e riportato in allegato 5 ha permesso la stesura di una sezione geologica schematica trasversale al pendio proprio in luogo del sondaggio geognostico S4 (di seguito se ne riporta uno stralcio).



Sezione geologica schematica (cfr. allegato 5)

2.6 ANALISI SISMICA

Le zone sismiche del territorio nazionale italiano sono state individuate, in prima applicazione, con l'Ordinanza del presidente del consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 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", pubblicato sulla G.U. n. 105 dell'8 Maggio 2003 Supplemento ordinario n. 72. La Regione Lombardia ha preso atto di tale ordinanza con d.g.r. n.14964 del 7 novembre 2003. Secondo l'Ordinanza del presidente del consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 il Comune di Caino ricade in zona sismica 2. Si specifica a tale proposito che, ai sensi del d.m. 14 gennaio 2008, la determinazione della azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'allegato B del citato d.m.; la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'OPCM 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria. Ai fini della definizione dell'azione sismica si è deciso, seguendo quanto contenuto nei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12" approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivi aggiornamenti, della Regione Lombardia, di procedere:

- alla caratterizzazione del sito, attribuendo all'area interessata dall'intervento in progetto lo scenario di pericolosità sismica locale più appropriato, tra quelli messi a disposizione dalla Regione Lombardia;
- alla stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione, e relativo confronto con i valori soglia messi a disposizione dalla Regione Lombardia.

2.6.1 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

Gli scenari di pericolosità sismica messi a disposizione dalla Regione Lombardia nell'Allegato 5 ai "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12" approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivi aggiornamenti, sono

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa e esposta a rischio di frana	
Z2	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressi, ecc.) Zona con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di sigla H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o sovrapposti: apuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoidi alluvionali e conoidi deltaico-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compres. le colli brescane)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-diluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche facio-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

riassunti nella tabella sopra. Sulla base dei dati disponibili risulta che l'area in esame si possa inserire nella classe di pericolosità sismica Z4d "Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale". Per tale classe in caso di sisma gli effetti attesi sono riconducibili a possibili amplificazioni di carattere litologico e geometrico. Tali amplificazioni vengono di seguito quantificate in termini di Fattore di Amplificazione, confrontando il valore ottenuto per il sito in oggetto con i valori di soglia messi a disposizione dalla Regione Lombardia.

2.6.2 STIMA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per procedere alla stima quantitativa della risposta sismica dei terreni presenti nell'area oggetto del presente studio, si è deciso di utilizzare la procedura semplificata di 2° livello messa a punto dalla Regione Lombardia e contenuta nei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12" approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivi aggiornamenti. Tale procedura consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari di pericolosità sismica locale, fornendo la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (caso in cui il Fattore di Amplificazione Fa calcolato risulta maggiore del Fattore di Amplificazione Fa di soglia).

La procedura semplificata proposta dalla Regione Lombardia richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato.

Il valore di Fa calcolato si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale. In particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili. Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento redatta dalla Regione Lombardia. Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità.

Si procede poi scegliendo, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s o nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Da considerazioni sulla velocità del primo strato si sceglie la formula corretta per il calcolo di Fa tra quelle proposte nelle schede delle diverse litologie.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B,C,D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C, nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nella tabella sotto riportata, vengono riportati i Fattori di Amplificazione Fa di soglia per il Comune di Caino, divisi per categoria di suolo e per gli intervalli di 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s, così come indicato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) della Regione Lombardia.

La scelta di riferirsi all'intervallo di 0.1-0.5 s piuttosto che a quello di 0.5-1.5 s è rimandata al progettista, in base alle caratteristiche delle opere.

COMUNE	INTERVALLO	VALORI FA DI SOGLIA			
		B	C	D	E
CAINO	0.1-0.5 s	1.5	1.9	2.3	2.0
	0.5-1.5 s	1.7	2.4	4.3	3.1

I valori di soglia devono essere utilizzati tenendo in considerazione una variabilità di 0.1.

Si è così proceduto ad un'indagine sismica che ha permesso di caratterizzare il sito fornendo i diversi valori di velocità Vs con la profondità, e di descrivere il tipo di suolo mediante il parametro delle Vs30.

N. STRATO	SPESSORE (m)	Vs (m/sec)
1	7,5	118
2	1,5	150
3	21	1239

Bedrock Vs ≥ 800 m/s (1239 m/s). Valore ricavato da indagini sismiche MASW in aree prossime a quelle in studio, contenute nell'aggiornamento della componente sismica del Comune di Caino – Indagine D (Cogeo, 2009) -

Come detto in precedenza il bedrock è stato posto alla profondità di 9 mt da p.c. come risulta dal sondaggio geognostico S4. Nel modello geologico proposto nel paragrafo precedente il livello 1 mostra un valore delle Vs pari a 118 m/s mentre il livello 2 pari a 150 m/s. Per quanto riguarda le velocità delle onde di taglio del substrato roccioso (livello 3) si sono presi in considerazione i valori ricavati dalle indagini sismiche MASW in aree prossime a quelle in studio, contenute nell'aggiornamento della componente sismica del Comune di Caino – Indagine D (Cogeo, 2009).

Ne risulta una velocità delle onde di taglio nei 30 mt pari a 331 m/s caratterizzante il suolo come tipo C “Depositi di terreni 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 di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)”.

Di seguito vengono riportate le analisi condotte e il confronto con i valori soglia, ipotizzando le fondazioni poste alla stessa quota del piano campagna. Dalle analisi condotte si è giunti alla definizione del bedrock (cioè la velocità Vs maggiore o uguale a 800 m/sec) al di sotto dei 9 mt da p.c..

PIANO DI FONDAZIONE POSTO ALLA STESSA QUOTA DEL P.C.

RISULTATI OTTENUTI DALLE INDAGINI IN SITO

Ipotesi: Profondità del bedrock a 9,0 metri dal piano campagna

ANALISI CONDOTTE

Tipo di suolo calcolato in base alle Vs30: C

Calcolo del periodo T= 0.29

VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE F_a

Scheda di valutazione scelta: SCHEDA PER LA LITOLOGIA GHIAIOSA

Curva di riferimento 1 – Rossa

F_a (0.1-0.5) calcolato = 1.8

F_a (0.1-0.5) soglia per suolo C = $1.9 + 0.1$ verificato (con incertezza del modello sismico in quanto derivante in parte da fonti bibliografiche e non da indagini geofisiche in sito)

F_a (0.5-1.5) calcolato = 1.14

F_a (0.5-1.5) soglia per suolo C = $2.4 + 0.1$ verificato

Il valore di F_a calcolato per il periodo compreso tra 0.1-0.5 risulterebbe inferiore al valore soglia per suolo C.

Il valore di F_a calcolato per il periodo compreso tra 0.5-1.5 risulterebbe inferiore al valore soglia per suolo C.

Poiché i valori di F_a calcolati per i due periodi appaiono inferiori al valore di soglia corrispondente, risulterebbe che la normativa è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica con lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo C.

Tuttavia dato che il valore di F_a (0.1-0.5) è quasi al limite con il valore soglia fornito dalla Regione Lombardia e che i dati utilizzati nel calcolo derivano in parte da fonti bibliografiche, si rende necessario a favore di sicurezza utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (ovvero la D), oppure procedere ad analisi più approfondite di 3° livello.

In ogni caso è comunque facoltà del progettista la scelta di effettuare analisi più approfondite (3° livello).

3.0 FASE DI SINTESI

Il presente elaborato rappresenta uno studio di compatibilità geologica riguardante l'area su cui insiste il cimitero del Comune di Caino (BS) a supporto del Piano Cimiteriale e in previsione di un futuro progetto di ampliamento.

Nel modello geologico preliminare, che è stato possibile ricostruire con i dati di indagine, sono stati considerati i massimi spessori individuati in sito relativi alle unità dotate di caratteristiche tecniche scadenti. Tale modello è riferito all'ambito indagato con i sondaggi geognostici ed in particolare con il sondaggio geognostico S4 posizionato dal tecnico comunale all'esterno dell'area cimiteriale in previsione di un futuro ampliamento.

I sondaggi S1, S2 ed S3, eseguiti all'interno del cimitero mostrano la presenza del substrato roccioso posto a modeste profondità nell'ordine del primo metro, mentre la verticale stratigrafica del sondaggio S4 risulta più articolata con il substrato roccioso localizzato a 9 mt di profondità dal p.c.: il substrato in questo caso risulta ricoperto da due livelli di depositi superficiali di cui il primo dello spessore di 7,5 mt di probabile materiale di riporto, ed il secondo di 1,5 mt di (Limo sabbioso e argilla limosa).

Risulta un certo grado di incertezza riguardo alla continuità laterale e verticale del substrato roccioso intercettato con le indagini geognostiche, che andrà verificata nelle successive fasi.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza dei diversi litotipi, il progettista geotecnico potrà, in relazione al grado di sicurezza da adottare ed ai carichi delle strutture, definire i valori caratteristici per la progettazione delle opere.

Per quanto riguarda la normativa sismica, il territorio comunale di Caino è classificato come zona 2. Per la verifica delle condizioni sismiche del sito si prendano in considerazione le analisi del paragrafo precedente, laddove si sono utilizzati in parte dati di letteratura.

Dai dati raccolti e dalle elaborazioni eseguite si possono formulare le seguenti considerazioni:

- l'area a ridosso dell'esistente cimitero (in cui sono stati eseguiti i sondaggi S1, S2 ed S3) mostra un substrato roccioso posto a modeste profondità variabili tra 0,15-0,5 m al di sotto di una coltre superficiale di terreno vegetale. Il fronte di scavo di un eventuale progetto di ampliamento cimiteriale si imposterebbe in roccia e dovrà essere eseguito con tecniche adeguate valutando costantemente l'assetto e la qualità dell'ammasso roccioso ma tendenzialmente con scavi aperti di pendenza pari a 60°. Al fine di garantire sia la sicurezza delle maestranze al lavoro che la non interferenza con le strutture esistenti (cimitero esistente, strada comunale) lo scavo potrà essere eseguito utilizzando martelli demolitori appropriati, disaggiando blocchi instabili lungo il fronte e realizzando eventuali sottomurazioni;
- il sito a sud del parcheggio cimiteriale, nell'area esterna al cimitero, dove è stato eseguito il sondaggio S4, mostra una verticale stratigrafica molto differente rispetto a quella precedente, con uno spessore di deposito di circa 9 mt di probabile riporto e terreni limoso sabbiosi e argille limose dallo scarso addensamento e dalle caratteristiche geotecniche scadenti, come descritto nei paragrafi precedenti. In tal caso, qualora si volesse eseguire un ampliamento del cimitero lungo la scarpata antistante il parcheggio si potrà valutare l'opportunità di eseguire fondazioni profonde, costituite da micropali che dovranno avere profondità tali da impostarsi nel substrato roccioso compatto per almeno 3-4 mt di profondità. Tale condizione andrà valutata dal progettista geotecnico in relazione ai carichi agenti e alla natura delle opere privilegiando o l'appoggio diretto delle fondazioni su roccia o appunto indiretto su pali.

Di seguito vengono fornite alcune prescrizioni di carattere generale relativamente agli eventuali scavi per l'esecuzione di un ampliamento cimiteriale:

- il fronte di scavo andrà protetto con armature provvisorie (sbatacchi in legno) evitando la formazione di fenomeni di scivolamento di terreni/rocce con conseguente arretramento del ciglio di scavo. A riguardo, in fase di scavo sarà compito della D.L. valutare la necessità di realizzare opere aggiuntive (sottomurazioni, rinforzi, ecc.), per evitare cedimenti e disconnessioni lungo le strutture esistenti;
- proteggere il fronte di scavo e i cigli di scarpata con teli impermeabili evitando la saturazione della copertura superficiale in caso di piogge intense e prolungate;
- puntellare o rimuovere eventuali blocchi instabili lungo il fronte di scavo per la sicurezza delle maestranze. Si sottolinea che interventi attivi di messa in sicurezza (chiodature, reti in fune

semplice armata con funi trasversali, bullonature, ancoraggio, sottomurazioni) lungo il fronte di scavo potranno essere valutati puntualmente e con maggior dettaglio in corso d'opera, direttamente dagli operatori durante le attività di sbancamento al fine di garantire sia la sicurezza della maestranze che la non interferenza con le proprietà confinanti;

- qualora si dovesse riscontrare presenza di acqua di circolazione superficiale proveniente dalle fratture degli ammassi rocciosi e/o di infiltrazioni durante le operazioni di scavo, di curarne lo smaltimento con adeguate opere sino al convogliamento nella fognatura comunale o tramite la rete di scarico delle acque bianche. Periodi di prolungata piovosità potrebbero portare al manifestarsi di venute idriche alla base degli scavi ed al contatto tra coltre superficiale e roccia: la presenza di tali acque andrà controllata ed eliminata con convogliamento nei tombotti di smaltimento delle acque meteoriche;
- l'esecuzione delle nuove opere comporterà anche la riorganizzazione delle acque di scolo relativamente a quelle generate dalle nuove superfici impermeabili in progetto che dovranno essere convogliate in adeguate reti di scarico, evitando fenomeni di ruscellamento lungo il pendio;
- le eventuali operazioni di riporto di materiale per il raggiungimento delle quote di progetto dovranno essere eseguite con accuratezza: i terreni di riporto dovranno avere granulometria eterogenea analoga a quella propria dei terreni ghiaioso-sabbiosi (miscele ghiaioso sabbiose, classe A2-4 della classificazione AASHTO americana, adottata dal C.N.R. -U.N.I. con il n° 10006). I livelli posati dovranno essere addensati a strati successivi sino a raggiungere una buona compattazione tale da non indurre cedimenti nelle strutture, valutando l'utilizzo di tecniche adeguate per la riprofilatura del pendio;
- per quanto riguarda la mitigazione dei fenomeni di erosione superficiale, le scarpate così come i riporti di materiale in progetto, andranno rifiniti con rinverdimento e piantumazione di specie autoctone, che uniranno all'azione drenante propria comunque del manto superficiale erboso un'azione preventiva nei confronti dell'erosione superficiale; si impedirà quindi all'acqua di ruscellare creando dei solchi con conseguente infiltrazione delle acque e peggioramento delle caratteristiche tecniche dei terreni in posto e dei terreni di riporto. Il rinverdimento dovrà essere eseguito quindi anche nelle aree decorticate in fase di realizzazione dei lavori.

Rogno, Giugno 2012

Dott. Geol. Luca Maffeo Albertelli



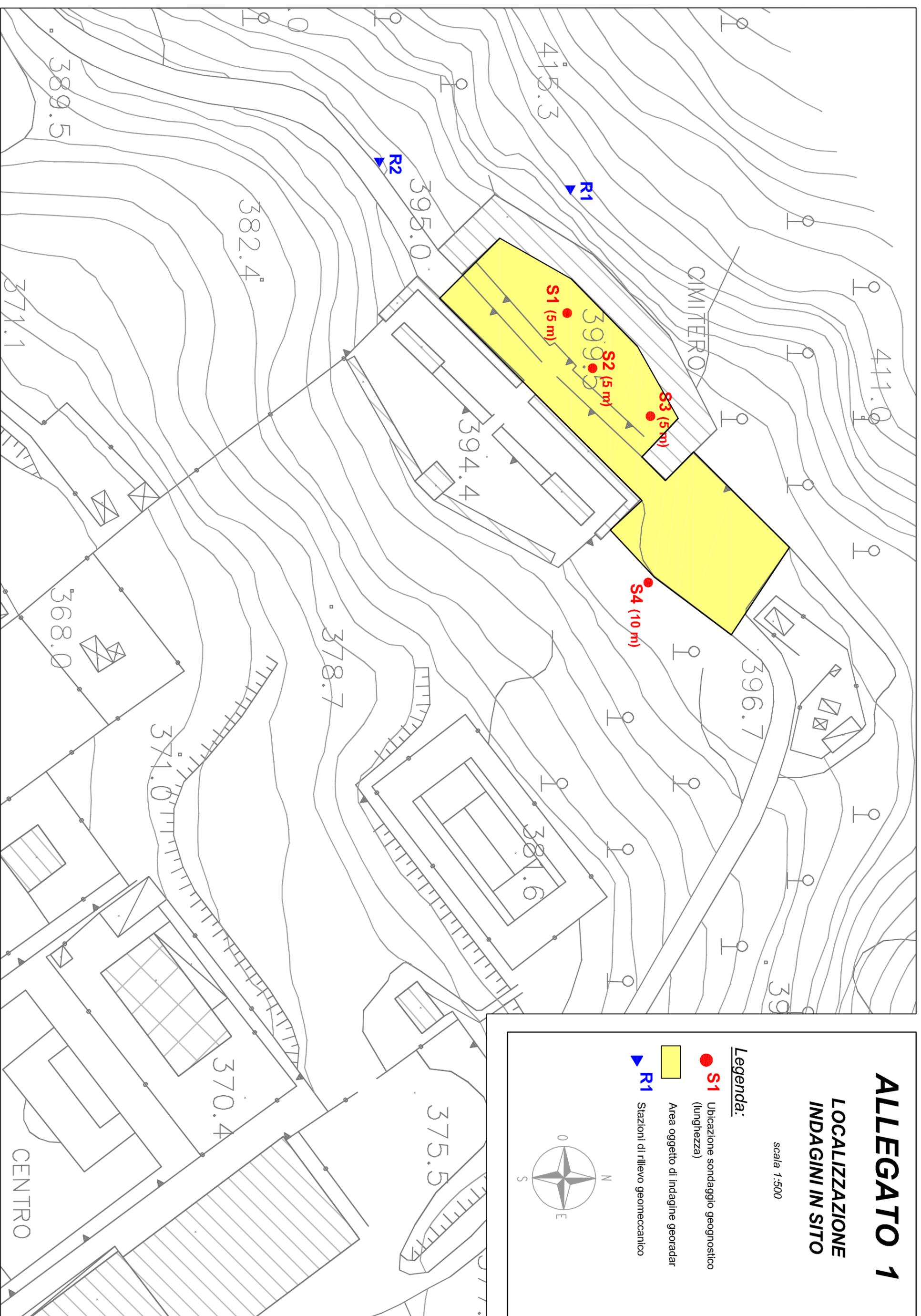
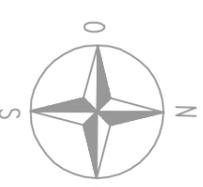
ALLEGATO 1

LOCALIZZAZIONE INDAGINI IN SITO

scala 1:500

Legenda:

-  **S1** Ubicazione sondaggio geognostico (lunghezza)
-  Area oggetto di indagine georadar
-  **R1** Stazioni di rilievo geomeccanico



ALLEGATO 2

***STRATIGRAFIE E
FOTO SONDAGGI
GEOGNOSTICI***



www.cogeo.info
e-mail: cogeo@cogeo.info

Uffici: Via Montegrappa, 41 - 25060 Rogno (BG)
Sede amministrativa: Piazza Mercato, 5 - 25051 Cedegolo (BS)
Tel. e fax 035 4340011

Sondaggio

S3

Committente Comune di Caino	Profondità raggiunta 5 mt da p.c.	Operatore -----	Note:
Località Comune di Caino (BS)	Tipo di carotaggio continuo	Inizio sondaggio 27 marzo 2012	
Cantiere Cimitero comunale	Tipo di sonda G.M. 600	Fine sondaggio 28 marzo 2012	

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore (m)	SPT (n° colpi)	Pocket Penetrometer		Pocket Shear vane		RQD (%)				Metodo perfor.	Falda (m)	Strum. installata
					Ø (mm)	q (Kg/cmq)	Ø (mm)	Cu (Kg/cmq)	20	40	60	80			
0.5		Terreno vegetale	0.5												
1.0		Roccia di origine calcarea con probabile stratificazione sottile (la carota appare non intatta a causa dell'utilizzo del carotiere semplice)	0.5											Carotiere semplice (Widiam) Ø 101mm	
2.0		Roccia di origine calcarea molto fratturata a stratificazione sottile. Patina di alterazione ocra-rossastra (ossidazione) lungo le superfici di frattura	3.0											Carotiere doppio (diamante) Ø101 mm	Nessuna
3.0															
4.0		Roccia di origine calcarea fratturata. Patina di alterazione ocra-rossastra(ossidazione) lungo le superfici di frattura. Fratture con inclinazione di 45° e sub-verticali	1.0												
5.0															



www.cogeo.info
e-mail: cogeo@cogeo.info

Uffici: Via Montegrappa, 41 - 25060 Rogno (BG)
Sede amministrativa: Piazza Mercato, 5 - 25051 Cedegolo (BS)
Tel. e fax 035 4340011

Sondaggio

S4

Committente Comune di Caino	Profondità raggiunta 10 mt da p.c.	Operatore -----	Note:
Località Comune di Caino (BS)	Tipo di carotaggio continuo	Inizio sondaggio 28 marzo 2012	
Cantiere Cimitero comunale	Tipo di sonda G.M. 600	Fine sondaggio 28 marzo 2012	

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore (m)	SPT (n° colpi)	Pocket Penetrometer		Pocket Shear vane		RQD (%)				Metodo perfor.	Falda (m)	Strum. installata	
					Ø (mm)	c (Kg/cmq)	Ø (mm)	Cu (Kg/cmq)	20	40	60	80				100
0.1		Terreno vegetale	0.1													
		Materiale di riporto limoso argilloso con clasti di origine calcarea, subangolosi, poco addensato, con resti di laterizio rosso	0.9													
1.0		Ciottoli subangolosi calcarei in clasti ghiaiosi, di origine calcarea, poco addensati (probabile materiale di riporto, di risulta degli scavi per la realizzazione del cimitero più recente?)	1.0													
2.0		Sabbia ghiaiosa, di origine calcarea, con clasti ghiaiosi subangolosi grigio-biancastri, sciolta. Rari ciottoli subangolosi calcarei, grigio-biancastri, sciolti. Alterazioni dei ciottoli con colorazioni giallo-nocciola (probabile materiale di riporto, di risulta degli scavi per la realizzazione del cimitero più recente?)	5.5	Spt 1 (4.5 m)												
				6												
				5												
				5												
				5												
5.0				Spt 2 (6.0 m)												
				8												
				6												
6.0				Spt 3 (7.5 m)												
				7												
7.0		Limo sabbioso, di colore bruno scuro, con intercalazioni sottili nerastre di origine torbosa, mediamente consistente, con clasti ghiaiosi calcarei, subangolosi	0.9	5												
8.0				10	0.86	25	0.61									
8.4		Argilla limosa, colore bruno, mediamente consistente, con patine di alterazione ocra-nocciola, rari ciottoli subangolosi e clasti ghiaiosi subangolosi	0.6	10	0.52	25	0.39									
9.0		Roccia fratturata di origine calcarea, con patine di alterazione giallastre lungo le fratture	1.0													
10																

Carotiere semplice (Widiam) Ø 101mm

Carotiere doppio (diamante) Ø101 mm

Nessuna

FOTO SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1



Foto 1. Ubicazione sondaggio geognostico S1



Foto 2. Stratigrafia sondaggio S1 (0-5 mt)

FOTO SONDAGGIO GEOGNOSTICO S2



Foto 3. Ubicazione sondaggio geognostico S2



Foto 4. Stratigrafia sondaggio S2 (0-5 mt)

FOTO SONDAGGIO GEOGNOSTICO S3



Foto 5. Ubicazione sondaggio geognostico S3



Foto 6. Stratigrafia sondaggio S3 (0-5 mt)

FOTO SONDAGGIO GEOGNOSTICO S4



Foto 7. Ubicazione sondaggio geognostico S4



Foto 8. Stratigrafia sondaggio S4 (0-5 mt)



Foto 9. Stratigrafia sondaggio S4 (5-10 mt)

ALLEGATO 3

***ELABORAZIONE
PROVE
PENETROMETRICHE
SPT
(SONDAGGIO S4)***

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA- SONDAGGIO S4

Committente: Comune di Caino Cantiere: Studio di compatibilità Località: Caino (BS)	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,76 m
Peso sistema di battuta	4,2 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	0,87
Rivestimento/fanghi	No

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... spt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'ingaggiare nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro D = 50.8 mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro D = 50.5 mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

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

Dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- Rpd = resistenza dinamica punta (area A);
- e = infissione media per colpo (δ/N);
- M = peso massa battente (altezza caduta H);
- P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{(Pa/\sigma'_{v0})} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \times (ER/60) \times C_S \times C_T \times C_d$$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_S : Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d : Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_T : Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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 delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

N_{spt} corretto = $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm q) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm q) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cm q), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP < 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP < 20) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cm q)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVE SPT - SONDAGGIO S4

Strumento utilizzato
 Prova eseguita in data
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

PROVE SPT IN FORO
 28/03/2012

Profondità (m)	Nr. Colpi
4,65	6
4,80	5
4,95	5
6,15	8
6,30	6
6,45	5
7,65	7
7,80	7
7,95	5

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA S1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[3] -	10,44	7,95	0,71	1,31	0,50	0,42	1,03	0,00	0,92	1,24	0,52	0,45	1,31

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[3] -	10,44	7,95	Robertson (1983)	20,88

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[3] -	10,44	7,95	47,90	--	108,27	104,40

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[3] -	10,44	7,95	99,66	104,40

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[3] -	10,44	7,95	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[3] -	10,44	7,95	Meyerhof ed altri	1,98

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[3] -	10,44	7,95	Meyerhof ed altri	2,18

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[3] -	10,44	7,95		0

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Intestazione NSPT\$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	8,7	4,95	27,75	55,3	56,18	30,05
[2] -	9,57	6,45	21,24	46,14	47,21	32,03
[3] -	10,44	7,95	19,77	44,33	46,12	33,95

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	8,7	4,95	8,7	29,49	22,49	30,44	29,79	33,17	0	<30	26,42	29,61	35,78	28,19
[2] -	9,57	6,45	9,57	29,73	22,73	30,68	28,12	33,51	0	<30	26,98	29,87	33,85	28,83
[3] -	10,44	7,95	10,44	29,98	22,98	30,92	27,72	33,84	34,21	<30	27,51	30,13	33,23	29,45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menz enbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	8,7	4,95	8,7	---	69,60	103,36	---	---
[2] -	9,57	6,45	9,57	---	76,56	113,63	---	---
[3] -	10,44	7,95	10,44	230,63	83,52	123,89	258,30	127,20

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	8,7	4,95	8,7	---	45,33	61,77	76,80
[2] -	9,57	6,45	9,57	---	47,12	67,95	80,68
[3] -	10,44	7,95	10,44	62,64	48,91	74,12	84,56

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	8,7	4,95	8,7	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] -	9,57	6,45	9,57	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[3] -	10,44	7,95	10,44	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] -	8,7	4,95	8,7	Meyerhof ed altri	1,68
[2] -	9,57	6,45	9,57	Meyerhof ed altri	1,72
[3] -	10,44	7,95	10,44	Meyerhof ed altri	1,74

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] -	8,7	4,95	8,7	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
[2] -	9,57	6,45	9,57	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
[3] -	10,44	7,95	10,44	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	8,7	4,95	8,7	(A.G.I.)	0,34
[2] -	9,57	6,45	9,57	(A.G.I.)	0,34
[3] -	10,44	7,95	10,44	(A.G.I.)	0,33

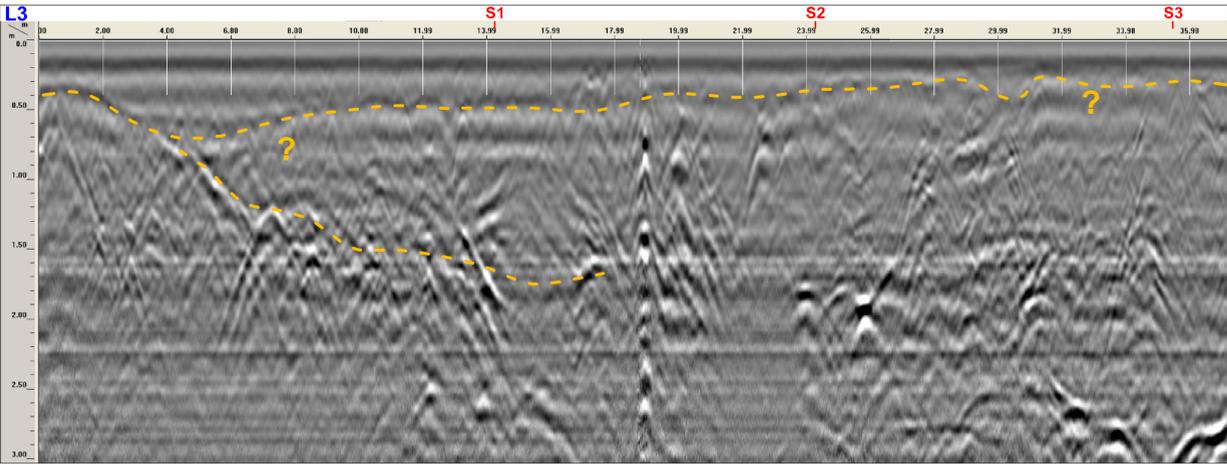
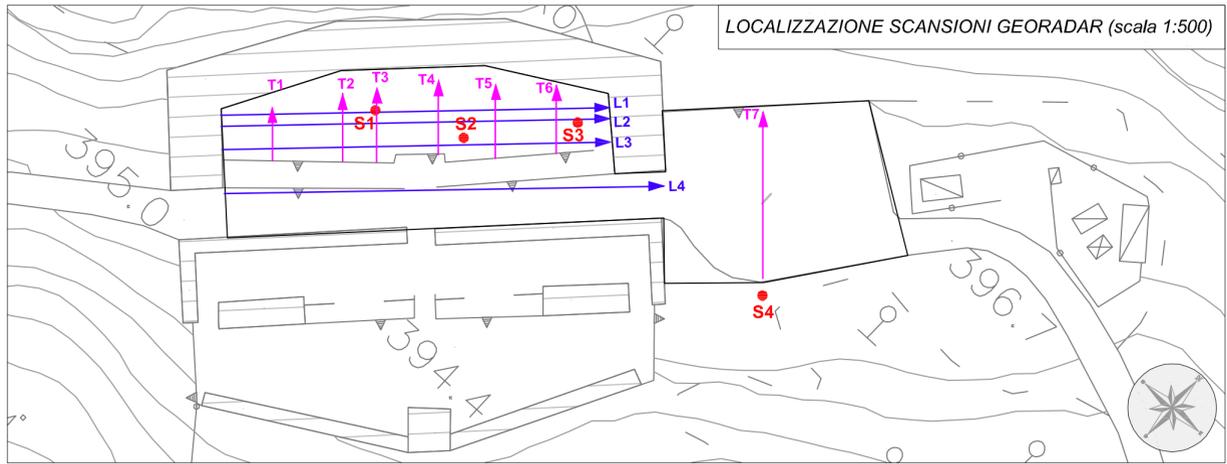
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	8,7	4,95	8,7	496,66	468,77
[2] -	9,57	6,45	9,57	543,21	496,88
[3] -	10,44	7,95	10,44	589,51	524,01

Velocità onde di taglio

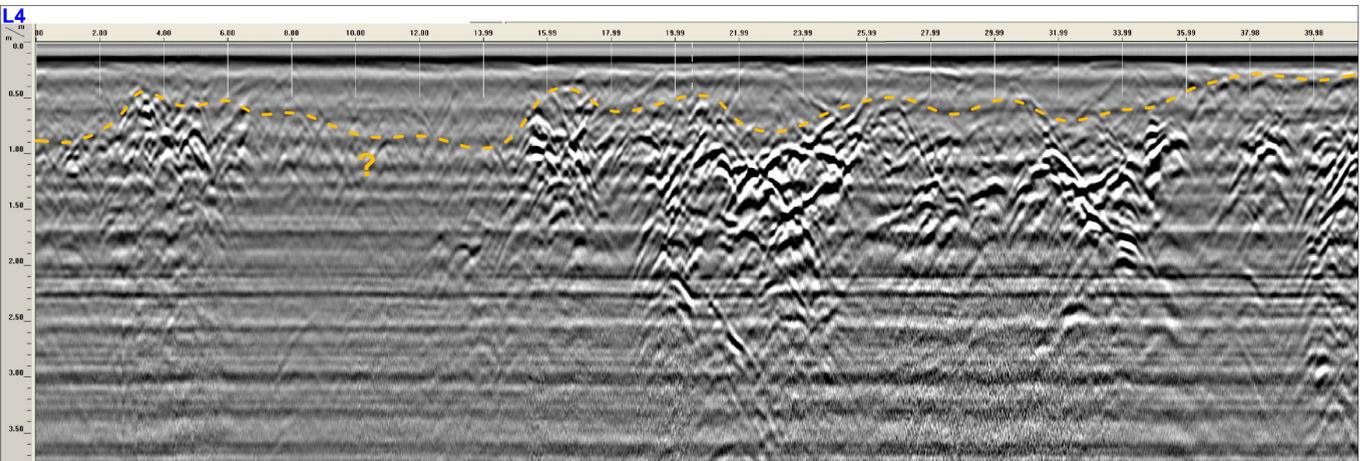
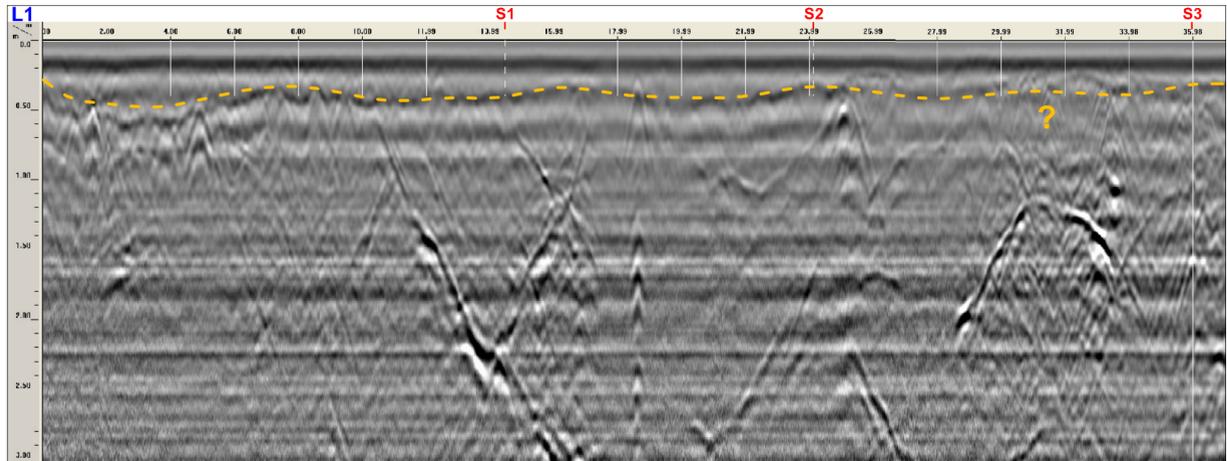
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	8,7	4,95	8,7	Ohta & Goto (1978) Limi	118,47
[2] -	9,57	6,45	9,57	Ohta & Goto (1978) Limi	141,48
[3] -	10,44	7,95	10,44	Ohta & Goto (1978) Limi	150,25

LOCALIZZAZIONE SCANSIONI GEORADAR (scala 1:500)

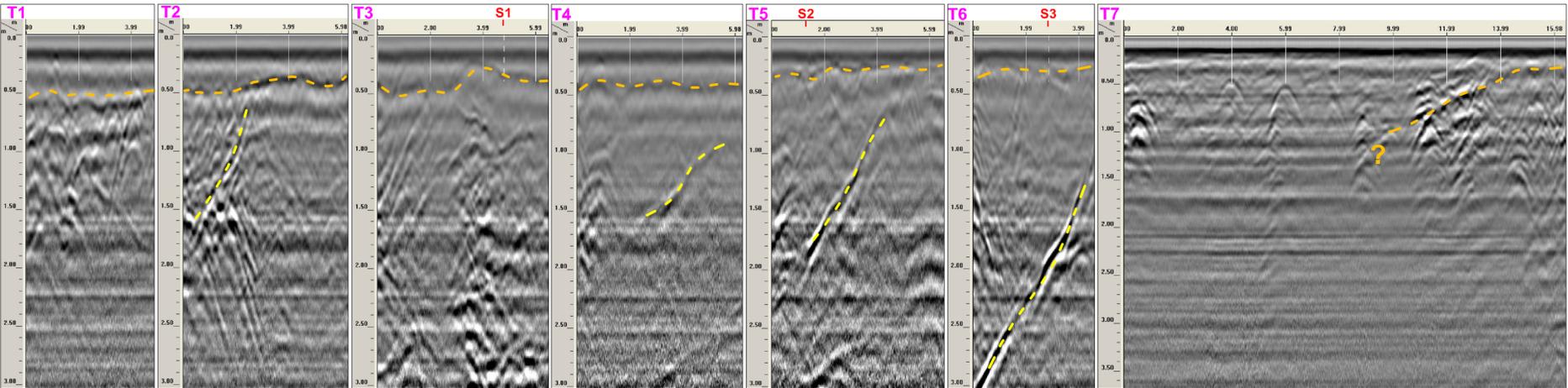
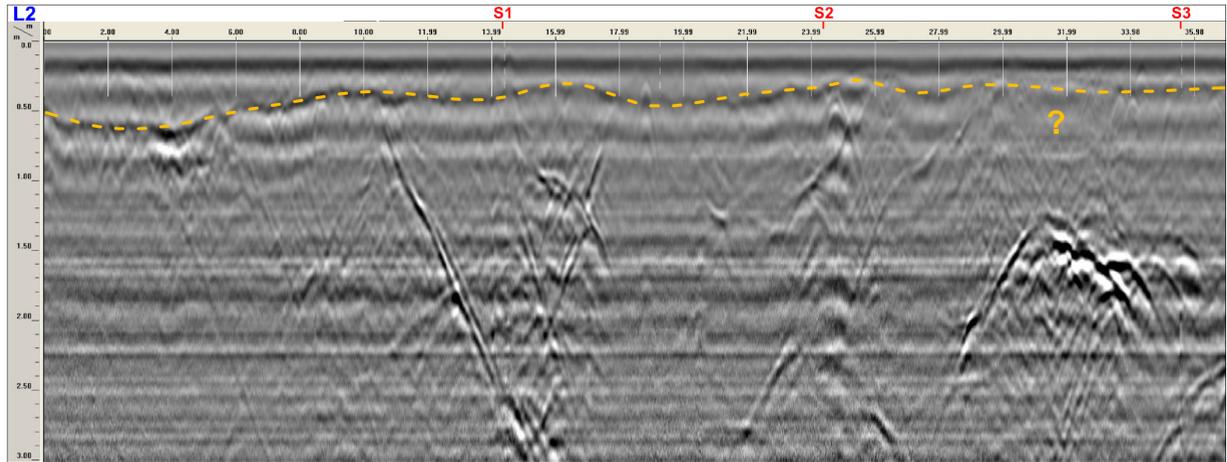


ALLEGATO 4

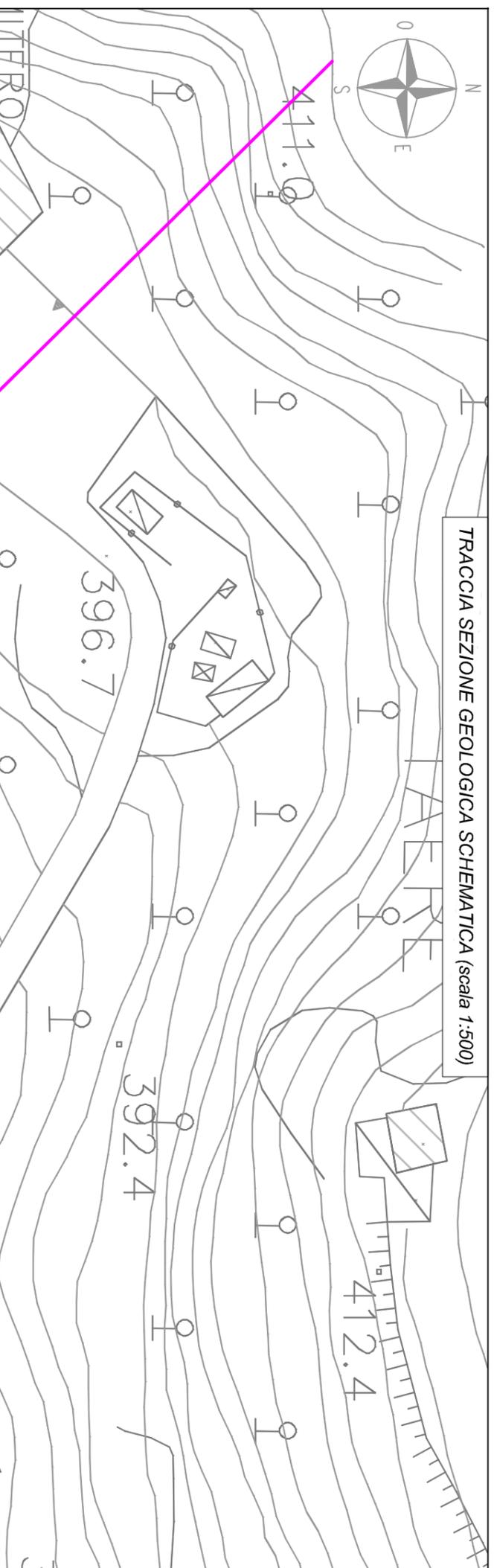
REPORT INDAGINE GEORADAR



- LEGENDA:**
- S1 Sondaggio geognostico verticale a carotaggio continuo
 - L1 Linea di scansione georadar longitudinale al cimitero (la freccia indica il punto di arrivo)
 - T1 Linea di scansione georadar trasversale al cimitero (la freccia indica il punto di arrivo)
 - - - Anomalia di riflessione riferibile al tetto del substrato roccioso
 - - - Probabile linee di stratificazione del substrato roccioso



TRACCIA SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA (scala 1:500)

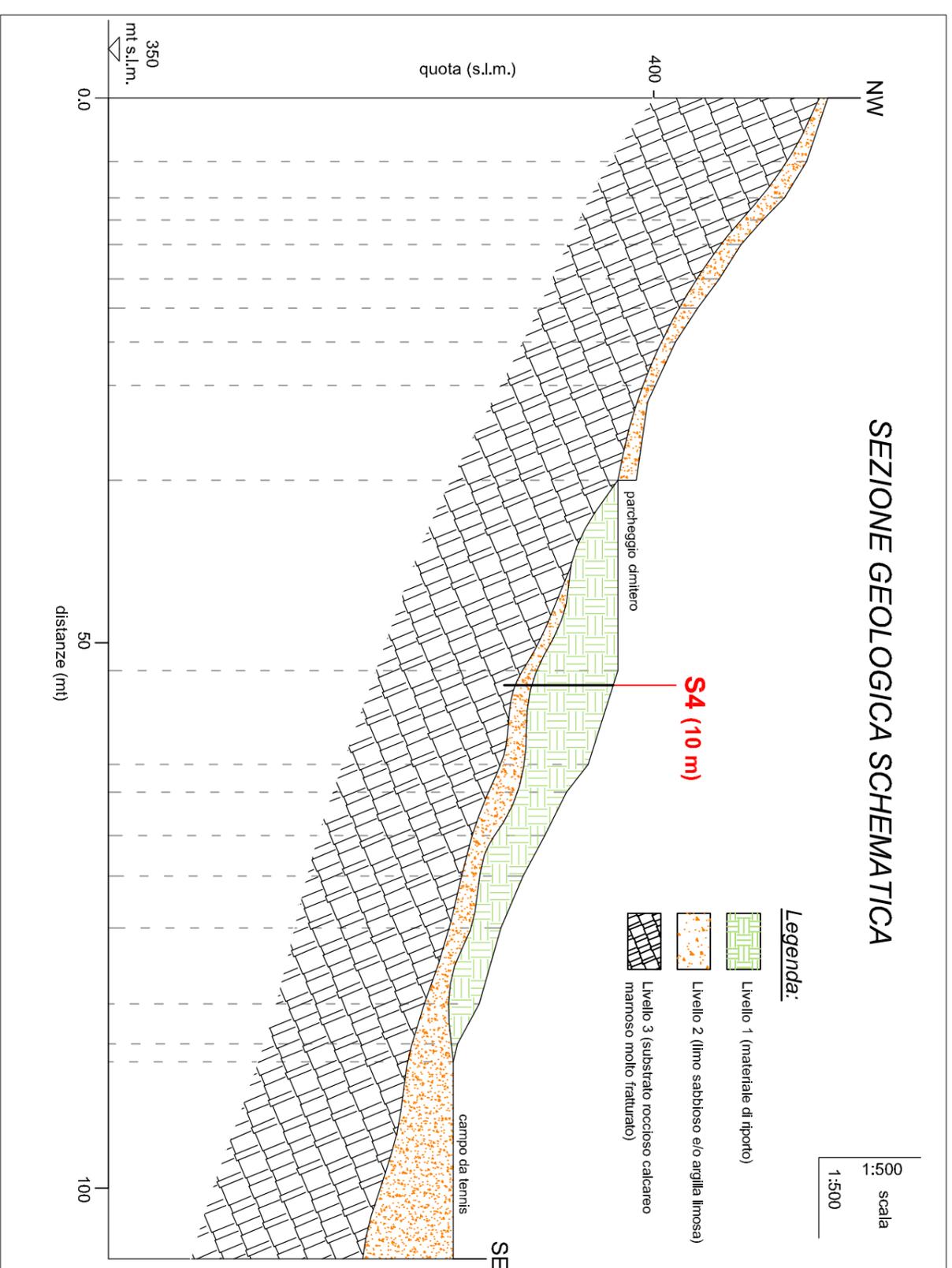


ALLEGATO 5

SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA

scala 1:500

SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA



Legenda:

Traccia sezione geologica schematica

