COMUNE DI CHIARAMONTE GULFI

Libero Consorzio Comunale di Ragusa

COSTRUZIONE DI OSSARI NEL CIMITERO COMUNALE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

nell'ambito della procedura di finanza di progetto (art. 163 D.Lgs. 36/2023)

N. ELABORATO

9

ST_03

PROGETTO STRUTTURALE

RELAZIONE GEOLOGICA OSSARIO

IL PROGETTISTA
ing. Rosario Cappello

Firmato digitalmente da:
Cappello Rosario
Firmato il 07/07/2026 13:07
Seriale Certificato: 5542451
Valido dal 27/01/2026 al 27/01/2029
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

IL RUP
dott. Salvatore Chessari

SALVATORE
CHESSARI
07.07.2026
16:42:54
GMT+02:00

documento firmato digitalmente

Dott. Geol. Giovanni Iacono
Via Brullo n°3 97012 Chiaramonte Gulfi (RG)
Tel. 339/2220570 – Partita I.V.A. 01109330884

COMUNE DI CHIARAMONTE GULFI

OGGETTO

PROGETTO PROJECT FINANCING PER LA REALIZZAZIONE DI OSSARI NEL CIMITERO COMUNALE DI CHIARAMONTE GULFI.

RELAZIONE GEOLOGICA

DITTA

IMPRESA EDILE
CUTELLO GIOVANNI

Chiaramonte Gulfi, febbraio 2026

Il Geologo:
Giovanni Iacono



INDICE

1 – PREMESSA

2 – MORFOLOGIA

3 – IDROGEOLOGIA

4 – GEOLOGIA

5 – LITOSTRATIGRAFIA

6 – PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

7 – RISPOSTA SISMICA LOCALE

7.1 Determinazione della categoria del sottosuolo di fondazione

7.2 Condizioni topografiche del sito

7.3 Parametri di pericolosità sismica

8 – CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

8.1 Parametri geotecnici

8.2 Valori caratteristici

8.3 Valori di progetto

9 – VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

10 – CONCLUSIONI

ALLEGATI :

- corografia dell'area I.G.M. 1:25000
- carta geologica scala 1:10000
- stratigrafia area d'interesse
- stralcio carta dei dissesti n°30 (PAI)
- stralcio carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n°30 (PAI)
- Report delle indagini
  - ubicazione indagine sismica
  - indagine geofisica
  - documentazione fotografica

1 – PREMESSA

Oggetto della presente relazione è lo studio geologico–tecnico del terreno interessato dal progetto di costruzione di n°6 blocchi per ossari da realizzarsi nello spazio sito all'interno del Cimitero Comunale di Chiaramonte Gulfi compreso fra il blocco ossari ed il blocco colombai già esistenti. Inoltre, il progetto prevede la realizzazione di un locale per servizi igienici; per conto della ditta "Impresa Edile Cutello Giovanni".

Lo studio eseguito si prefigge di delineare gli elementi geologici dell'area e di evidenziarne la natura litologica, nonché di fornire le caratteristiche fisico-meccaniche e di portanza dei terreni interessati dai lavori in oggetto. Tale studio è stato avviato, preliminarmente, mediante ricognizioni di campagna, estese in un intorno significativo per definire l'inquadramento geologico e geomorfologico, lungo gli affioramenti rocciosi presenti nell'area interessata dai lavori in oggetto.
Successivamente, è stata eseguita la ricerca delle proprietà geomeccaniche e geotecniche dei litotipi di fondazione che è stata effettuata mediante l'analisi geostrutturale dell'ammasso roccioso nell'area in esame, che sulla scorta di indagini geofisiche eseguite in situ. Tali indagini, allegati alla presente, si riferiscono:

- indagine sismica "Masw attiva" rivolta ad accertare la velocità media delle onde S nei 30 metri.

L'insieme di tutti questi dati, unitamente ai dati noti nell'area di stretto interesse in seguito ai lavori in corso d'opera di edicole funerarie limitrofe a quella in oggetto, ha permesso di avere un quadro abbastanza chiaro delle condizioni geologiche e geotecniche dell'immediato sottosuolo.

Lo studio geologico dell'area di progetto è stato condotto in ottemperanza al D.M. 17/01/2018, al D.M. 11/03/88 e successivi integrazioni e/o aggiornamenti.

2 –MORFOLOGIA

Il territorio in esame con riferimento alla Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare a scala 1:25000 ricade nel foglio 273, II quadrante, tavoletta SO denominata "Giarratana". Il lotto di terreno indagato si colloca all'interno del cimitero comunale posizionato a SE dall'abitato di Chiaramonte Gulfi ad una quota topografica di circa 700 metri s.l.m.

I caratteri morfologici dell'area oggetto di studio sono chiaramente connessi alla litologia dei terreni affioranti e alle vicissitudini strutturali che nel tempo hanno interessato l'intero avampaese ibleo di cui è parte integrante. Quindi, in generale, si è in presenza di una tipica morfologia tabulare frequentemente solcata da incisioni vallive caratteristica dell'altipiano ibleo.
L'area di stretto interesse, parzialmente mascherata dalle opere cimiteriali esistenti, mostra una morfologia a gradoni legata sia alla presenza dell'alternanza calcareo-marnosa della F.ne Ragusa, sia ad attività di terrazzamento antropico. Lungo i vari terrazzamenti sono presenti muretti a secco, realizzati al fine di contenere i materiali detritici superficiali che localmente ricoprono i terreni

calcareo-marnosi in posto. Nel complesso, nel sito strettamente progettuale, non si riscontrano indizi di dissesto in atto, per cui le buone caratteristiche litologiche conferiscono all'area delle buone condizioni di stabilità. Si puntualizza a monte dell'area di stretto interesse progettuale, la presenza di un modestissimo accumulo detritico di origine antropica, potenzialmente instabile ed attualmente contenuto da due muri in cemento armato. Si suggerisce di evitare ulteriori apporti detritici e la rimozione del suddetto materiale di riporto.

3 –IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico i terreni affioranti, di natura calcarea e calcareo-marnosa, presentano un grado di permeabilità medio-alto di tipo misto (sia per porosità che per fratturazione) che permette una rapida infiltrazione delle acque di precipitazione.

Conseguentemente all'assetto morfologico dell'area ed alla medio-alta permeabilità dei terreni, l'area in esame non risulta interessata da significativi fenomeni di scorrimento di acque selvagge, ruscellanti e laminari. In ogni caso le acque di precipitazione atmosferica verranno normalmente smaltite dalle opere urbane.

La circolazione idrica superficiale si presenta dunque pressoché assente, limitandosi nelle incisioni vallive ad un deflusso a carattere torrentizio limitato agli apporti meteorici stagionali. Tali incisioni, che fungono da assi drenanti per l'area, sono situati a est ed a ovest del sito ad una ragguardevole distanza da quest'ultimo.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, da informazioni e dati rilevati nell'area e da quanto riscontrato dall'osservazione diretta di sondaggi geognostici condotti in aree limitrofe, la falda idrica risiede a notevole profondità rispetto al piano delle fondazioni, e quindi si può affermare che non esiste alcun problema d'interazione della falda stessa con la struttura fondale, tenuto conto anche delle modeste oscillazioni stagionali del suo livello statico. Tutto questo contribuisce ad una valutazione positiva di compatibilità tra i lavori da realizzare e le condizioni idrogeologiche della zona studiata.

4 – GEOLOGIA

L'abitato di Chiaramonte Gulfi è inserito nel contesto geologico del plateau ibleo ed appare particolarmente interessato dalle diverse vicissitudini geologico-strutturali interconnesse con la storia geologica dell'Avampaese Ibleo.

In riferimento a quest'ultimo, l'area situata sul suo margine occidentale è caratterizzata da una successione tipica di piattaforma a notevole subsidenza litologicamente composta da un'alternanza calcarenitico-marnosa e calcareo-marnosa riferibile alla Formazione Ragusa di età Oligo-Miocenica.

Dal punto di vista tettonico il settore centro-occidentale dell'altipiano ibleo, rappresenta una fascia di transizione fra l'*Avampaese* e la *fossa*, caratterizzato dal progressivo affondamento del substrato ibleo al di sotto delle coperture Plio-Pleistoceniche, per effetto di sistemi di faglia a direzione media NE-SW. In prossimità dell'area di stretto interesse progettuale non sono state riscontrate faglie.

Il quadro generale dell'assetto stratigrafico, quale si configura allo stato attuale, nell'area di interesse, è stato ricostruito mediante osservazioni su affioramenti e sbancamenti limitrofi, nonché da un rilevamento di dettaglio opportunamente esteso, associato a quanto desumibile dalla consultazione della cartografia ufficiale, nella fattispecie della Carta Geologica del settore centro-meridionale dell'altopiano ibleo, scala 1:50000. Pertanto, per un inquadramento geologico dell'area si veda l'allegata carta geologica.

5 – LITOSTRATIFRAFIA

Il membro Leonardo della F.ne Ragusa, attribuibile al periodo Oligo-Miocenico, costituisce il litotipo affiorante nell'area in studio. I risultati emersi dal rilievo di campagna, unitamente ai dati noti nell'area di stretto interesse in seguito a precedenti sondaggi geognostici ed ai lavori in corso d'opera di edicole funerarie limitrofe, hanno permesso di determinare la litologia dell'area progettuale.

In essa si evince come il terreno fondazionale sia omogeneamente costituito dall'alternanza calcisiltitica-marnosa del Membro Leonardo della Formazione Ragusa, caratterizzato da strati duri di calcisiltiti di colore biancastro, di spessore compreso fra 40 e 100cm, e strati calcareo marnosi di spessore medio intorno ai 10-20cm. La giacitura di questi livelli è regolare con direzione NNE–SSW ed inclinazione medie di pochi gradi verso SE; l'ammasso calcareo si presenta mediamente fratturato. La successione litologica e stratigrafica riconosciuta nell'area di stretto interesse progettuale, pertanto, è la seguente:

da 0.0 a ≈ 0.8 m ***pavimentazione attuale;***

da ≈ 0.8 m a > 30 m ***calcisiltiti di colore biancastro mediamente fratturati di spessore compreso fra 40 cm ed il metro in alternanza con calcari marnosi biancastri di spessore decimetrici (Mb. Leonardo – F.ne Ragusa).***

In base alle osservazioni condotte nell'area e dai dati in possesso lo spessore di quest'ultimi terreni sul sito è notevole (maggiore di 30metri) ed in ogni caso superiore a quello di interesse geotecnico.

6 – PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Per quanto riguarda il quadro di unione, l'area in esame ricade nel Bacino idrografico del Fiume Acate Dirillo (078) **quadro CTR n° 645130**.

CARTA DEI DISSESTI N°30: Il quadro CTR n° 645130 è cartografato e nell'area di stretto interesse progettuale non sono stati rilevati dissesti.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N°30: il quadro CTR n° 645130 è cartografato e nell'area di stretto interesse progettuale non sono stati rilevati pericolosità particolari ne rischi geomorfologici.

Per quanto riguarda le **CARTE IDRAULICHE** si espone quanto segue:

CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO PER FENOMENI DI ESONDAZIONE: il quadro CTR n° 645130 non è cartografato, pertanto non sono stati rilevati rischi idraulici per fenomeni di esondazione;

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA PER FENOMENI DI ESONDAZIONE: il quadro CTR n° 645130 non è cartografato, pertanto non sono stati rilevati pericolosità idrauliche per fenomeni di esondazione.

7 – RISPOSTA SISMICA LOCALE

7.1 Determinazione della categoria del sottosuolo di fondazione

In virtù della nuova normativa sismica (D.M. del 17/01/2018), al fine di definire le azioni sismiche di progetto bisogna classificare le formazioni insistenti nel sito. Le categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II) si dividono in 5 classi (A-B-C-D-E), la cui classificazione è funzione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs_{eq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con: h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano d'imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di

taglio Vs_{eq} è definita da parametro Vs_{30}, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Considerato che le condizioni geologico-stratigrafiche per i primi 30metri sono ben note, è stato possibile poter adottare la sismica di superficie per la determinazione del Vs,eq.

Per conoscere i valori di h_i e V_i è stato effettuato, così come citato in premessa, uno studio sismico del tipo masw. Tale investigazione geofisica eseguita in situ, allegata alla presente, tenuto conto che H risulta essere 13 metri, ha avuto come risultato un valore di: **Vs_{eq} = 535 m/s**, per cui il lotto in esame appartiene al **terreno di fondazione di categoria B**.

7.2 Condizioni topografiche del sito

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab.3.2.III).

Tabella 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Le condizioni topografiche del sito progettuale presentano una configurazione superficiale di tipo semplice, caratterizzata da morfologia regolare, degradante verso est. La pendenza media del sito di interesse progettuale è dell'ordine del 23%, che corrisponde ad un'inclinazione media del versante di

circa 13° < 15°. Da quanto sopra esposto, si evince che la categoria topografica del sito progettuale è T1.

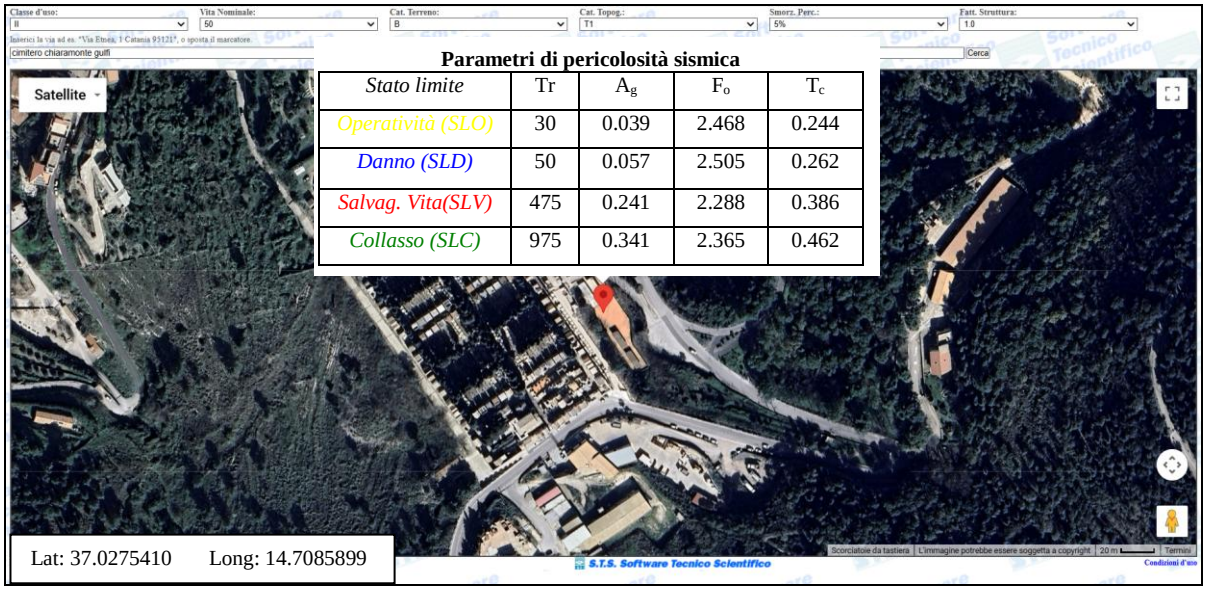
7.3 Parametri di pericolosità sismica

Le azioni sismiche di progetto con le quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

I parametri di pericolosità sismica per il sito di progetto sono stati calcolati mediante il web software messo a disposizione dalla S.T.S. s.r.l. (http://www.stsweb.it/phpscripts/StsWebApplication/index.php).

I risultati ottenuti sono riassunti nell'immagine sottostante dove:

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima del sito;
- F_o è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*c è il periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



Parametri di pericolosità sismica

Stato limite	Tr	A_g	F_o	T_c
Operatività (SLO)	30	0.039	2.468	0.244
Danno (SLD)	50	0.057	2.505	0.262
Salvag. Vita(SLV)	475	0.241	2.288	0.386
Collasso (SLC)	975	0.341	2.365	0.462

8 – CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

L'area su cui insisterà l'opera in progetto è costituita da calcari precedentemente descritti, come anche evidenziato attraverso la sezione stratigrafica allegata, che mostra un spaccato della situazione.

8.1 – Parametri geotecnici

I rilievi sui luoghi hanno evidenziato che i terreni costituenti il substrato di riferimento ai fini fondazionali sono dei materiali calcarei e calcareo-marnosi di tipo litoide, per la cui caratterizzazione geomeccanica si è fatto riferimento alla Geomechanics classification (RMR system) proposta da Bieniawski Z.T. nel 1979, consentendoci di esprimere una valutazione quali-quantitativa delle caratteristiche globali dell'ammasso roccioso.

Il metodo si basa sul calcolo dell'indice RMR attraverso la valutazione dei seguenti parametri:

- Resistenza a compressione monoassiale
- R.Q.D. (Rock Quality Designation)
- Spaziatura delle discontinuità
- Condizioni delle discontinuità (scabrezza, apertura, materiale di riempimento)
- Condizioni idrauliche.

I valori dei parametri sono stati individuati attraverso il rilievo strutturale eseguito col metodo della "scanline" su un fronte nell'area di interesse, rilevando un numero rappresentativo di fratture e le loro caratteristiche. Ad ogni valore assunto dai parametri sopra definiti corrisponde un coefficiente numerico che contribuisce alla definizione per somma dell'indice R.M.R. (Rock Mass Rating) e alla attribuzione della relativa classe di appartenenza.

Per il valore di resistenza a compressione monoassiale si è fatto riferimento ai valori ottenuti attraverso una serie di prove sclerometriche (martello di Schmidt) effettuate in sito, il cui valore più basso è di 260 Kg/cm^2, scelta ritenuta la più cautelativa.

L'indice R.Q.D. è stato ricavato attraverso la formula proposta da Palstrom A. (1975)

$$R.Q.D. = 115 – 3.3\ Jv$$

dove "Jv" rappresenta l'indice volumetrico delle discontinuità.

In base alla distribuzione delle fratture rilevate si hanno un numero di circa 15 giunti per metro cubo a cui corrisponde un valore di R.Q.D. approssimativamente pari a al 64%.

PARAMETRI	*COEFFICIENTE NUMERICO*
Resistenza del materiale (σ =260 Kg/cm^2)	4
R.Q.D. (64%)	10
Spaziatura (S = 0.7m)	16
Condizioni delle discontinuità (striata)	12
Condizioni idrauliche (solo umidità)	8
Orientamento discontinuità (indifferente)	-7
Indice R.M.R. corretto	**43**

Si è così ottenuto un indice corretto dall'orientamento delle discontinuità **RMR_{base} = 47** che ci ha permesso di attribuire i terreni alla IV classe e caratterizzarli con i seguenti parametri geotecnici:

COESIONE	ANGOLO DI ATTRITO	PESO DI VOLUME
C = 1.3 Kg/cm^2	φ' = 33°	γ = 2.1 t/m^3

8.2 – Valori caratteristici

Secondo le prescrizioni della norma dai parametri geotecnici si ricavano i valori medi e da questi i valori caratteristici X_k che rappresentano la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Applicando il metodo statistico in presenza di pochi dati e distribuzione normale i valori caratteristici sono stati calcolati mediante la seguente equazione:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05}\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

x_k è il valore caratteristico desiderato
x con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione
z è la distribuzione normale standardizzata
σ è la deviazione standard della popolazione
n è la numerosità del campione

Poiché il valore di σ andrebbe determinato con l'ausilio di database locali specifici; essendo in presenza di pochi dati è utile esprimere la variabilità in termini di coefficiente di variazione, espressa anche in termini percentuali:

$COV = \sigma / \mu$ dove:

σ = deviazione standard della popolazione;

μ = media della popolazione.

I valori caratteristici dei parametri φ e c sono stati pertanto ricavati assegnando un coefficiente di variazione ricavato dalla letteratura tecnica COV=5%.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori caratteristi (X_k) dei parametri geotecnici ricavati con il metodo e le relazioni descritte; nel caso specifico, avendo a disposizione un solo dato n = 1.

COESIONE	ANGOLO DI ATTRITO	PESO DI VOLUME
C'_k = 1.19 Kg/cm^2	φ'_k = 30.28°	γ_k = 2.1 t/m^3

8.3 – Valori di progetto

I valori dei parametri di progetto X_d da utilizzare nel calcolo delle azioni e delle resistenze di progetto del terreno di fondazione, deriveranno dalla riduzione dei parametri caratteristici X_k tramite applicazione dei coefficienti parziali γ_m riportati nella tabella 6.2.II dal D.M. 17/01/2018, in funzione dell'approccio e della combinazione adottata dal calcolista.

Tabella 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	**(M1)**	**(M2)**
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Quindi i valori di progetto dei parametri di resistenza saranno:

Combinazione 1 (A1 – M1)	**Combinazione 2 (A2 – M2)**
$\varphi'_d = \arctan\left[\frac{\tan 30.28°}{1}\right] = 30.28°$	$\varphi'_d = \arctan\left[\frac{\tan 30.28°}{1.25}\right] = 25.03°$
$C'_d = \frac{1.19}{1} = 1.19\ Kg/cm^2;$	$C'_d = \frac{1.19}{1.25} = 0.95\ Kg/cm^2;$
$\gamma_d = \frac{2.1}{1} = 2.1\ t/m^3$	$\gamma_d = \frac{2.1}{1} = 2.1\ t/m^3$

9 – VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limiti (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) vengono di seguito effettuate nel rispetto del D.M. 17/01/18.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione $Ed \leq Rd$, con

- Ed: valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di calcolo;
- Rd: valore di progetto della resistenza del terreno.

Per risalire allo SLU del terreno di fondazione è stata utilizzata la seguente formula proposta da **Davis e Booker** opportunamente ridotta dal coefficiente R_3:

$SLU = 2\ C\ tg^2(45 + \varphi / 2) / R_3$ dove:

C = coesione

φ = angolo di attrito interno

Il coefficiente R_3 preso in considerazione è pari a 2.3 secondo la tabella 6.4.1.

Tabella 6.4.1 – *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali*

Verifica	**Coefficiente parziale**
	(**R3**)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Secondo la combinazione ($A_1 + M_1 + R_3$) ed avendo tenuto conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II , si avrà: **SLU = 3.1 Kg/cm^2**.

Considerando i risultati ottenuti dal modello geologico, costituito da rocce calcarenitiche, si può asserire senza difficoltà che la natura litoide del substrato consentirà, con un carico non superiore ai 3,1 Kg/cm^2, cedimenti inferiori ai massimi consentiti. Con tali presupposti può ritenersi pienamente accettabile la corrispondenza tra stato limite ultimo e stato di esercizio**:**

SLE = SLU = 3.1 Kg/cm^2.

Per il coefficiente di reazione K (coefficiente di Winkler) si consiglia il valore di **K=30 kg/cm^3**.

Il calcolo del valore di progetto dell'azione Ed dipendente strettamente dai valori dei carichi progettuali G (carico permanente) e Q (carico accidentale), sarà cura del progettista determinarlo per verificare la relazione $Ed \leq Rd$ per ogni stato limite considerato.

10 – CONCLUSIONI

Sulla base dell'indagine eseguita e delle considerazioni tecniche fatte in proposito, si può concludere quanto segue:

- nell'area di interesse progettuale il sedime fondale è composto da terreni di natura calcarea e calcareo-marnosa, appartenenti al Membro Leonardo della Formazione Ragusa;

- le condizioni morfologiche, geologiche e litologiche sono tali da conferire buone caratteristiche di stabilità al sito strettamente di progetto;

- la categoria topografica è T1;

- il valore del $V_s$eq risultante dalla prova sismica eseguita in situ è di Vs_{eq} = 535 m/s, per cui il lotto di interesse appartiene al terreno di fondazione di categoria B;

- secondo la combinazione (A_1 + M_1 + R_3), come valore dello stato limite ultimo si consiglia un valore non maggiore di 3.1 Kg/cm^2, con un valore del coefficiente di reazione (coefficiente di Winkler) K = 30 kg/cm^3;

- si fa presente che, dato il carattere puntiforme delle indagini, in fase di scavo necessita una conferma di quanto esposto nella presente relazione;

- l'area strettamente interessata dall'intervento progettuale non ricade all'interno di aree censite come "aree a rischio" di cui al piano di assetto idrogeologico (P.A.I.);

- di seguito tabella riepilogativa dei principali parametri utilizzati al fine di avere un unico quadro d'insieme:

<table>
<tr><td>Categoria del sottosuolo</td><td>V_{seq} = 535 m/s B</td></tr>
<tr><td>Categoria topografica</td><td>T1</td></tr>
<tr><td>Latitudine
Longitudine</td><td>37.0275410
14.7085899</td></tr>
<tr><td>Parametri di pericolosità sismica</td><td>
<table>
<tr><th>Stato limite</th><th>Tr</th><th>A_g</th><th>F_o</th><th>T_c</th></tr>
<tr><td>Operatività (SLO)</td><td>30</td><td>0.039</td><td>2.468</td><td>0.244</td></tr>
<tr><td>Danno (SLD)</td><td>50</td><td>0.057</td><td>2.505</td><td>0.262</td></tr>
<tr><td>Salvag. Vita(SLV)</td><td>475</td><td>0.241</td><td>2.288</td><td>0.386</td></tr>
<tr><td>Collasso (SLC)</td><td>975</td><td>0.341</td><td>2.365</td><td>0.462</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Valori caratteristici dei parametri di resistenza</td><td>C'_k = 1.19 Kg/cm^2
φ'_k = 30.28°
γ_k = 2.1 t/m^3</td></tr>
<tr><td>Valori di progetto dei parametri di resistenza</td><td>Combinazione 1 (A1-M1)
C'_d = 1.19 Kg/cm^2
φ'_d = 30.28°
γ_d = 2.1 t/m^3
Combinazione 2 (A2-M2)
C'_d = 0.95 Kg/cm^2
φ'_d = 25.03°
γ_d = 2.1 t/m^3</td></tr>
<tr><td>Stato limite ultimo
Stato limite di esercizio</td><td>SLU = 3.1 Kg/cm^2
SLE = 3.1 Kg/cm^2</td></tr>
<tr><td>Coefficiente di reazione (coeff. di Winkler)</td><td>K = 30 Kg/cm^3</td></tr>
<tr><td>PAI
(Carte esistenti per l’area di interesse)</td><td>Bacino idrografico del Fiume Acate-Dirillo (078)
(quadro CTR n°645130)
Carta dei dissesti n°30
Carta della pericolosità e rischio geomorfologico n°30</td></tr>
</table>

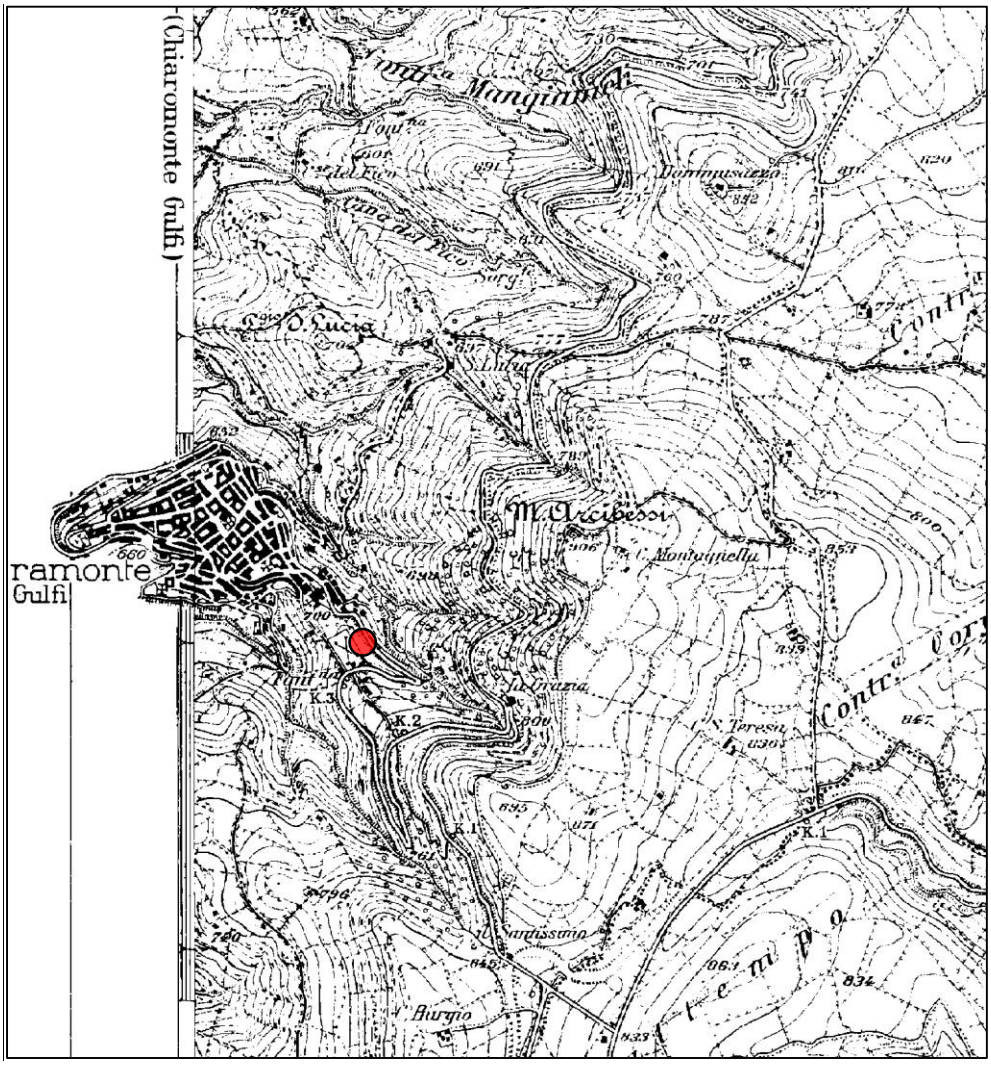
Il Geologo: Giovanni Iacono



ALLEGATI

COROGRAFIA ED UBICAZIONE AREA (SCALA 1:25000)

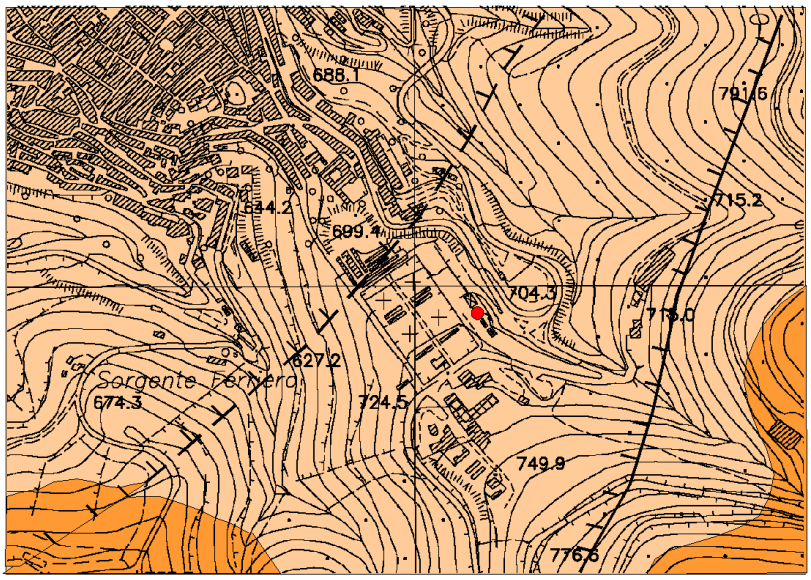
TAV. II S.O. F.273 "GIARRATANA"



Ubicazione area progettuale

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI SICILIA
Dott. Geol. IACONO GIOVANNI N. 2031

CARTA GEOLOGICA (SCALA 1:10000)



LEGENDA

Banconi calcarenitici -Membro Irminio inf. (F.ne Ragusa) Aquitaniano-burdigaliano

Alternanza di calcisiltiti e calcari marnosi. Membro Leonardo - (F.ne Ragusa) Oligocene sup.

Faglie a tratti ove presunte (i trattini indicano la parte ribassata)

Ubicazione area di interesse progettuale

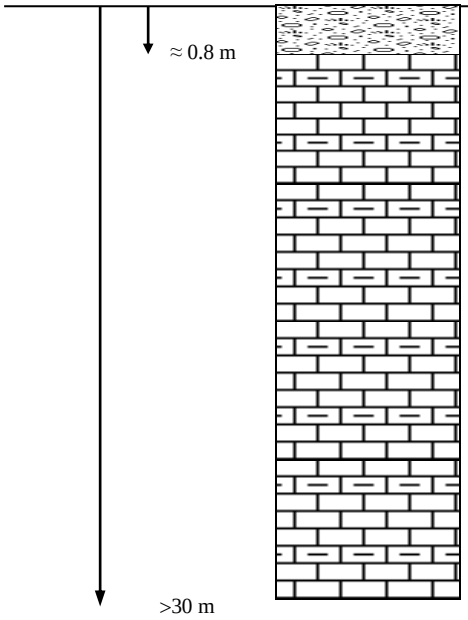
N

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI SICILIA
Dott. Geol. IACONO GIOVANNI N. 2031

STRATIGRAFIA

IN CORRISPONDENZA DELL'AREA PROGETTUALE

Piano campagna (circa 700 m s.l.m.)



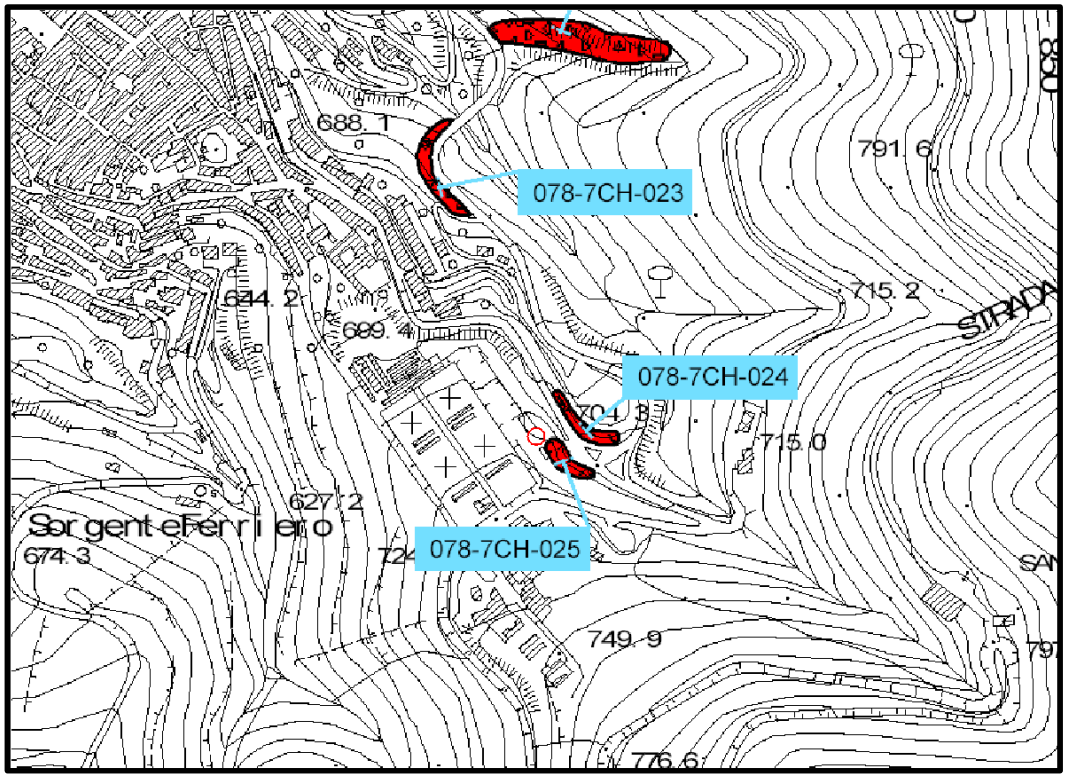
Pavimentazione attuale

Strati di calcisiltiti biancastri mediamente fratturati alternati a strati calcareo-marnosi grigio-giallastri; Membro Leonardo (F.ne Ragusa)



PAI - STRALCIO CARTA DEI DISSESTI N.30

CTR: 645130



Area di interesse progettuale

LEGENDA

FENOMENI FRANOSI

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

STATO DI ATTIVITA'

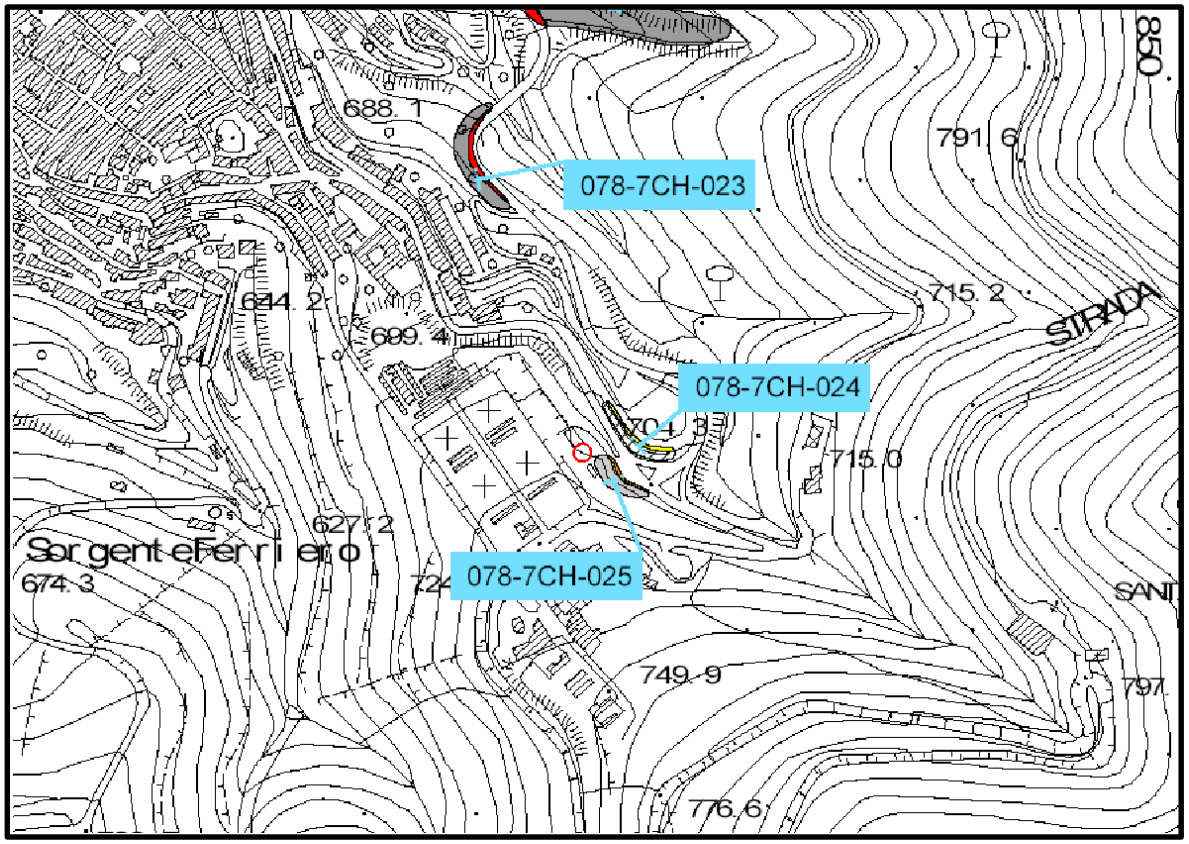
- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

- Limite bacino idrografico
- Limite comunale

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI SICILIA
Dott. Geol. IACONO GIOVANNI N. 2031

PAI - STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N.30

CTR: 645130



Area di interesse progettuale

LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

- P0 molto basso
- P1 moderato
- P2 medio
- P3 elevato
- P4 molto elevato

LIVELLI DI RISCHIO

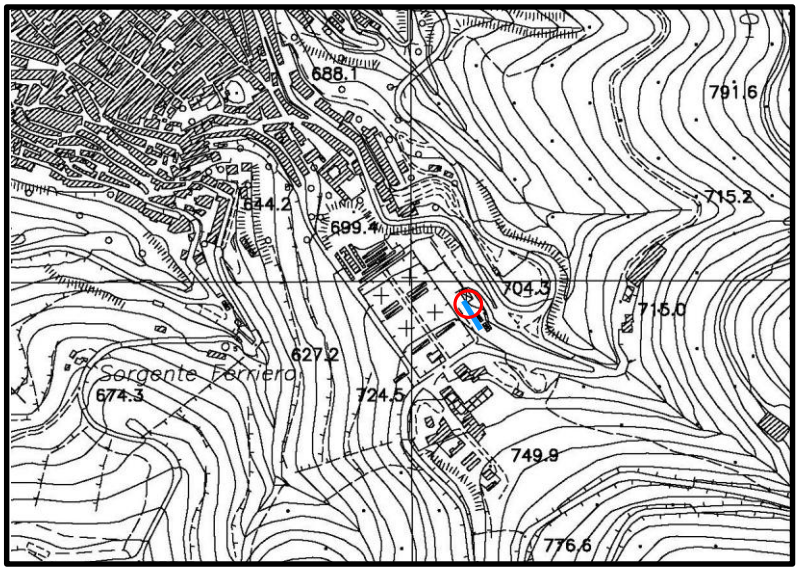
- R1 moderato
- R2 medio
- R3 elevato
- R4 molto elevato

- Limite bacino idrografico
- Limite comunale

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI SICILIA
Dott. Geol. IACONO GIOVANNI N. 2031

REPORT DELLE INDAGINI

UBICAZIONE INDAGINI



LEGENDA

Area di interesse progettuale

Ubicazione stesa sismica (Masw)

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI SICILIA
Dott. Geol. IACONO GIOVANNI N. 2031

INDAGINE GEOFISICA

Dr. Geol. Corrado Caccamo

Studio di geologia applicata

C.da Cipolla, snc- 96017 Noto (SR), cell. 392-1210940 email corrado.caccamo@yahoo.it

Committente: Dott. Geologo Gianni Iacono

Località: Area cimiteriale di Chiaramonte Gulfi - Ragusa (RG)-

Tipologia indagine: Indagine M.A.S.W e rapporto interpretativo

IL GEOLOGO

Corrado Caccamo

Indice generale

PREMESSA.....3
INDAGINE GEOFISICA MASW: 4
DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....4
ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....5
ELABORAZIONE DATI.....5
REPORT.....6
CALCOLO DELLE VSeq.....8
CONCLUSIONI.....10

PREMESSA

Conformemente a quanto stabilito dalle nuove norme tecniche (modifiche del D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018) relative alle indagini geognostiche, è stata condotta una indagine geofisica sismica di tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves per l'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – ad esempio, Park et al., 1999).

L'obiettivo di quest'indagine è la caratterizzazione dinamica del suolo nelle prime decine di metri, con l'identificazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccanico-elastiche, quali la velocità delle onde longitudinali (Vp), la velocità delle onde trasversali (Vs) e i relativi parametri elastici.

Sulla base dei valori di Vs e del modulo di taglio (G), sarà possibile valutare la rigidezza del suolo e fornire le prime indicazioni sul comportamento dinamico della parte superficiale del suolo.

Nel complesso, le procedure adottate sono state eseguite in conformità alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018 (ex DM 14/01/2008). Queste norme, in larga misura, correlano la stima dell'effetto del sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione del sottosuolo viene effettuata in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

hi = spessore dell'i-esimo strato;

VS,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N= numero di strati;

H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS_{30}, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

INDAGINE GEOFISICA MASW:

DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.
Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel "**metodo attivo**" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "**metodo passivo**" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche
geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidezza del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidezza degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 15 geofoni con spaziatura pari a 2 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 16 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 5 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Strumentazione impiegata (*Hardware)*

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 15 canali (prodotto dalla Sara electronic instrument s.r.l.) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2m, 1s di acquisizione, offset minimo di 6 m).

ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (WinMasw 4.1 pro, prodotto dalla eliosoft srl).
Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

I dati acquisiti (Figura 2 e 3) sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS).

REPORT:

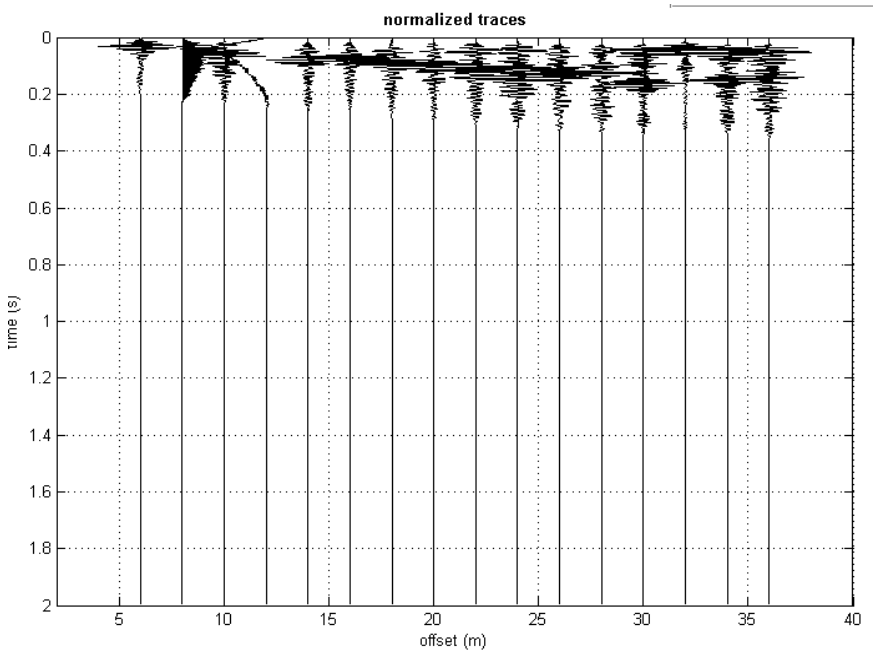


Fig1 .Dataset acquisito. Spaziatura 2m offset minimo 6m

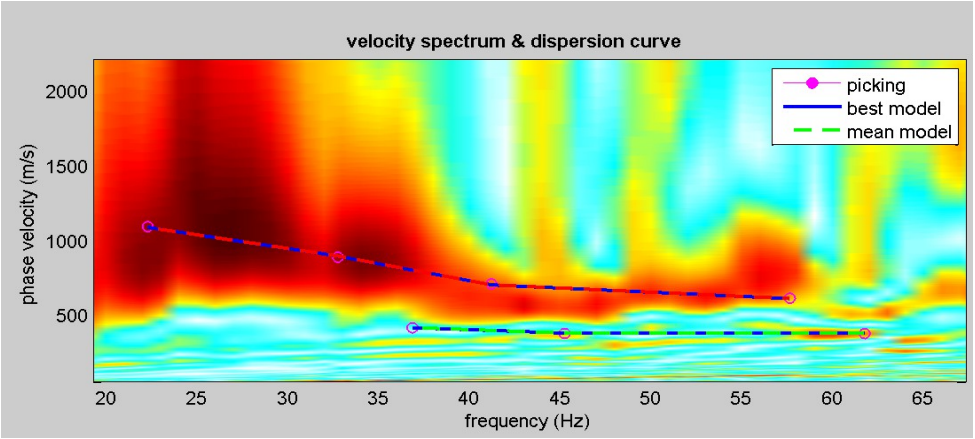


Fig.2 Spettro di inversione risultante con in evidenza il picking della curva di dispersione.

L'immagine mostra lo spettro di velocità di fase (frequenza vs. velocità di fase) derivante dall'indagine MASW. L'elemento più evidente è l'alta velocità di fase nelle frequenze medio-alte (> 25 Hz), con valori che si attestano tra 900 m/s e 1300 m/s. Questo riflette chiaramente l'effetto della pavimentazione in cemento e del sottofondo stabilizzato. La rigidezza del pacchetto superficiale crea una guida d'onda ad alta velocità, L'analisi multimodale ha permesso di scindere l'effetto guida d'onda della pavimentazione rigida superficiale (Vs = 1000 m/s) dalla reale risposta dinamica dei terreni naturali.

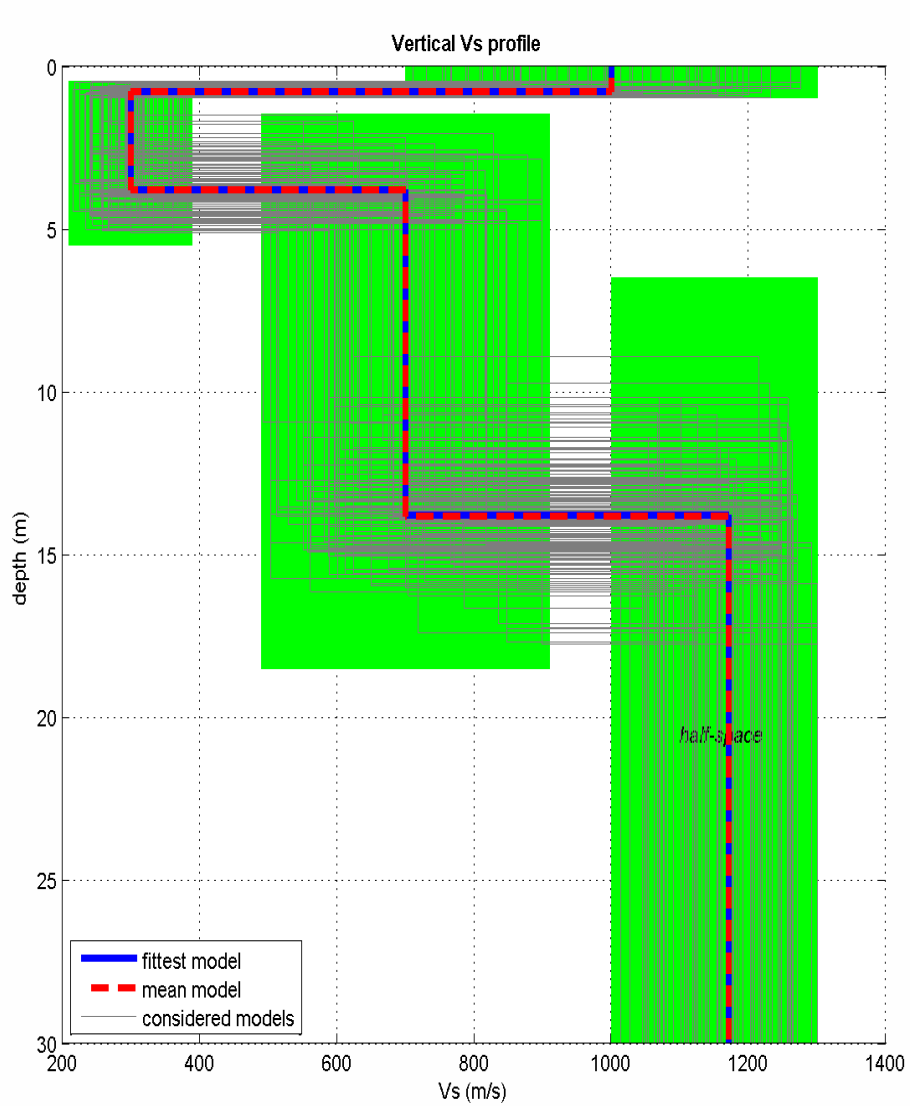


Fig.3 Risultati inversione:Vs

Sismostrati

Spessore (m)	**Profondità**	**VS (m/s)**	**Modulo di taglio stimati (MPa)**
0,8 (pavimentazione)	Da 0 a 0,8m	1000	2185
3	Da 0,8 m a 3,8m	300	175
10	Da 4,8m a 13,8m	700	1050
semi-spazio	-	1170	3140

Tab. 1. Modello medio individuato.

CALCOLO DELLE VSeq

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle $Vs_{,eq}$, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione delle onde di taglio.

Per la stima del parametro $\mathbf{Vs_{eq}}$ si fa riferimento a quanto riportato nel D.M. 17.01.2018; dalla fig.3 risulta che il bedrock sismico con velocità Vs > 800m/s si rinviene a circa 14 m dal piano campagna, inoltre dal calcolo viene eliminato il primo sismostrato.

In base alla normativa sopra citata risulta :

$$VSeq = \frac{13}{\frac{3}{300}+\frac{10}{700}} = 535\, m/s$$

Categorie del suolo di stimate In base al valore della $V_{S,eq}$

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Valori approssimati per V_p, densità & moduli elastici

Spessori (m)	0,8	3	10	semispazio
V_p (m/s)	1710	625	1440	2665
Densità (gr/cm3)	2,2	1,9	2,1	2,3
Modulo di Poisson	0,25	0,35	0,35	0,35
Modulo di Young (MPa)	5430	475	2825	8665

Formule utilizzateper la stima dei parametri elastici.

Modulo di Poisson (adimensionale)	$(V^2_p-2V^2_s)/(2(V^2_p-V^2_s))$
Modulo di Young (in Pa)	$rV^2_s(4-3K^2)/(1-K^2)$
Modulo di Taglio (in Pa)	rV^2_s

I valori sopra riportati (eccezion fatta per il modulo di taglio), sono da ritenersi altamente indicativi.

Valori caratteristici delle onde S nei vari tipi di suolo (cfr. Borcherdt, 1994)

TIPODI SUOLO	Vs min (m/s)	Vs med (m/s)	Vs max (m/s)
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto Poche fratturate)	**1400**	**1620**	**-**
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	**700**	**1050**	**1400**
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee Tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con >20% di ghiaia)	**375**	**540**	**700**
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	**200**	**290**	**375**
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	**100**	**150**	**200**

Conclusioni

L’indagine geofisica di tipo MASW, condotta nel comune di Chiaramonte Gulfi (area cimiteriale), ha permesso di definire la risposta dinamica del sottosuolo nonostante le complessità derivanti dalla presenza di una pavimentazione rigida superficiale.

L'elaborazione multimodale ha evidenziato una successione composta da una crosta artificiale superficiale (Vs ≈ 1000 m/s) di spessore ridotto (0.8 m), sovrapposta a un pacchetto di coltri/riporti meno rigidi (Vs ≈ 300 m/s) che creano un'inversione di velocità tra il primo e il secondo sismostrato. Oltre tale soglia, la rigidezza aumenta progressivamente (Vs ≈ 700 m/s) fino a intercettare il substrato sismico coerente (Vs ≈ 1170 m/s) a una profondità di circa 13.8 metri.

L'integrazione del profilo verticale delle velocità, depurato dall'effetto guida d'onda della pavimentazione, ha fornito un valore di VSeq pari a 535 m/s. Tale valore è stato calcolato come media armonica pesata sulle velocità delle onde S sino al raggiungimento del bedrock sismico (Vs ≥ 800m/s). Ai sensi della Tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018), il sito oggetto di indagine è classificabile come **Categoria di Sottosuolo B** .

IL GEOLOGO

Corrado Caccamo



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

FASI ESECUZIONE INDAGINE SISMICA





ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI SICILIA
Dott. Geol.
IACONO
GIOVANNI
N. 2031