



REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI TARANTO
COMUNE DI CASTELLANETA

**PROGETTAZIONE ED APPROFONDIMENTO MEDIANTE INDAGINI
INTEGRATIVE DI CARATTERIZZAZIONE ED ELABORAZIONE DI
ANALISI DI RISCHIO, FINALIZZATI ALL'AGGIORNAMENTO DELLE
CONOSCENZE SULLO STATO DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE
DEL SITO INDIVIDUATO IN CATASTO AL FOGLIO 59
P.LLE 572, 219, 220 NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA).**

Progetto esecutivo

ELABORATO		TAV.
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA		14
Supporto al R.U.P.		DATA
Dott.Geol. Giuseppe MASILLO		Novembre 2018
		Responsabile Unico del Procedimento
<u>Elaborazioni grafiche</u>  EKOTEK srls Via S.Croce,66 - 72020 Erchie (BR) Tel. 0831.768752 – Fax 0831.763749 mail: ekotek.ambiente@gmail.com		CAPO AREA QUINTA Arch. DE FINIS Pantaleo

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO DEL SITO	3
3.	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E TETTONICHE DELL'AREA.....	4
4.	IDROGRAFIA DELL'AREA	7
5.	RAPPORTI DELL'AREA OGGETTO DI BONIFICA CON IL P.A.I.	8
6.	LA FALDA SOTTERRANEA.....	9
7.	INDAGINE SISMICA	9
6.1	Sismicità del territorio.....	10
6.2	Risultati dell'indagine sismica	11
6.3	Strumentazione e metodologia	13
6.4	Interpretazione delle misure eseguite	15
6.5	Modello sismico locale	18
6.6	Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche.....	19
8.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE ROCCE DI SEDIME.....	20
9.	CONCLUSIONI	21

1. PREMESSA

La presente Relazione geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica è stata svolta a corredo del progetto esecutivo per **L'APPROFONDIMENTO MEDIANTE INDAGINI INTEGRATIVE DI CARATTERIZZAZIONE ED ELABORAZIONE DI ANALISI DI RISCHIO, FINALIZZATO ALL'AGGIORNAMENTO DELLE CONOSCENZE SULLO STATO DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE DEL SITO INDIVIDUATO IN CATASTO AL FOGLIO 59 P.LLE 572, 219, 220 NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA)**, allo scopo di risolvere la problematica di degrado ambientale creatasi nell'area in oggetto, ubicata in Via Verga.

Nel 2008 è stato svolto dal Geologo Donato PERNIOLA uno studio geologico preliminare per definire i rapporti stratigrafici tra i materiali/rifiuti abbandonati e la stratigrafia tipica dell'area interessata. In base a quelle indagini fu costruito il Modello Concettuale del sito, che rimane tuttora valido.

2. INQUADRAMENTO DEL SITO

Il sito oggetto di discarica abusiva è ubicato alla Via Verga, nel Comune di Castellaneta e copre una superficie di circa **8.049 mq.** Dal punto di vista topografico l'area in oggetto è caratterizzata da un profilo altimetrico irregolare quasi a mezzacosta, lungo un terrazzo morfologico parzialmente naturale.



Fig.1 - Inquadramento dell'area su base ortofotogrammetrica

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E TETTONICHE DELL'AREA

Lo Studio geologico è stato svolto approfonditamente nel 2008 dal Dott.Geol.Donato PERNIOLA (che si allega integralmente). Le litologie affioranti nell'area e nei suoi dintorni sono:

- **Calcari** , appartenenti alla Formazione del Calcare di Altamura . Essi si presentano stratificati con spessori variabili da 20 a 50 cm, talora si rinvencono banchi fino a 1.5 metri. Essi si rinvencono al letto della formazione più superficiale delle calcareniti.
- **Calcarenite di Gravina** (Calabriano), che localmente è conosciuta come "tufo": questa formazione affiora in gran parte dell'area in studio con spessori sino a circa 10 metri, come è facile notare nelle cave di via Verga, ormai fuori uso adibite a piccoli orti, sul fondo di questi ultimi è stato possibile individuare il contatto con i sottostanti calcari.
- **Argille Subappennine** (Calabriano), esse affiorano nella parte Sud-occidentale dell'area rilevata;



Fig.4 – Vecchie cave di calcarenite a sud-ovest del campo di calcio

Le argille non interessano direttamente l'area in questione.

La ricostruzione stratigrafica del sottosuolo del sito è stata possibile grazie alle indagini geognostiche dirette ed agli stendimenti geotecnici. Pertanto è stato riscontrato uno spessore di materiale inerte/rifiuto variabile tra 0 e 4 metri nella parte più a sud dell'area e la massa ha una forma di cuneo. All'epoca dell'esecuzione del Piano di Caratterizzazione, furono stimati circa 6200 mc di rifiuti vari depositati nell'area.

La carta idrogeomorfologica della Regione Puglia, individua in corrispondenza del salto di quota, una linea di faglia diretta proprio nell'area dell'abbancamento dei rifiuti. Sicuramente trattasi di faglia inattiva come tutte le faglie presenti a ridosso degli altipiani di quest'area.

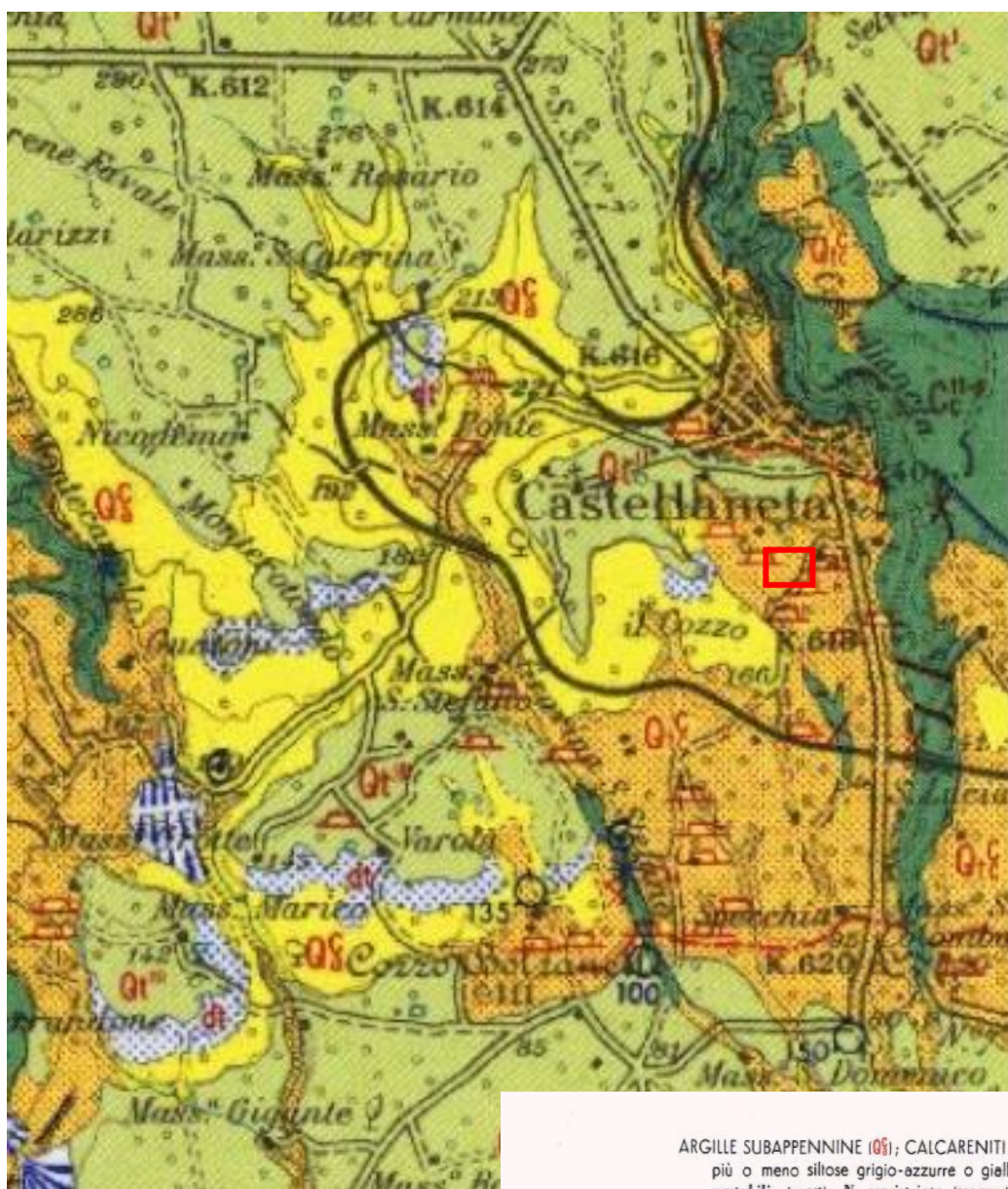


Fig.5 –Carta geologica in scala 1:100.000



ARGILLE SUBAPPENNINE (Q5); CALCARENITI DI GRAVINA (Q6). - Argille marnose, più o meno siliose grigio-azzurre o giallastre (Q5), con fossili marini: *Nassa mutabilis* (LINNÉ), *N. semistriata* (BROCCHI), *Chenopus pespelecani pespelecani* (LINNÉ), *Turritella tricarinata* (BROCCHI), *Natica* sp., *Triton* sp., *Aequipecten opercularis* (LINNÉ), *Dentalium* sp., *Cardium* sp., *Pectunculus* sp., *Macra* sp., *Arca* sp., *Venus* sp., *Arctica islandica* (LINNÉ). Microfauna con: *Hyalinea balthica* (SCH), *Pyrgo depressa* D'ORB., *Bolivina alata* SEG.; in parziale eteropia con (Q6) CALABRIANO.

Calcareniti ("Tufo") bianco-giallastre più o meno cementate, con conglomerato alla base, trasgressive su (C6*). Macrofauna a: *Pecten* sp., *Ostrea* sp., *Briozoi*, *Coralli*, frammenti di *Echini*; microfauna con: *Hyalinea balthica* (SCH), *Elphidium crispum* (LINNÉ), *E. decipiens* (COSTA), *Discorbis advena* (CUSH). CALABRIANO (e PLIOCENE SUP.?).

CALCARE DI ALTAMURA - Calcarei stratificati bianchi granulari, a luoghi ceroidi, con Rudiste (*Durania martellii* FAR., *Radiolites* sp., *Sauvagesia* sp.). Microfauna con: *Dicyclina schlumbergeri* MUNIER-CHALMAS, *Murgella lata* LUPERTO SINNI, *Acordiella conica* FARINACCI, *Minouxia lobata* GEN., *M. conica* GEN., *Dictyopsella kiliani* MUNIER-CHALMAS, *Lockhartia ramanae* TEN DAN, *L. daviesi* TEN DAN, *Nummofallotia* sp., *Goupillaudina debourluei* MAR., *Navarella joaquina* CINT & RAT, *Aeolisaccus katori* RADOVIC, *Thaumatoporella parvovesiculifera* RAINERI; al letto e verso il tetto, prevalenza di calcari dolomitici stratificati grigio-scuri. SENONIANO.



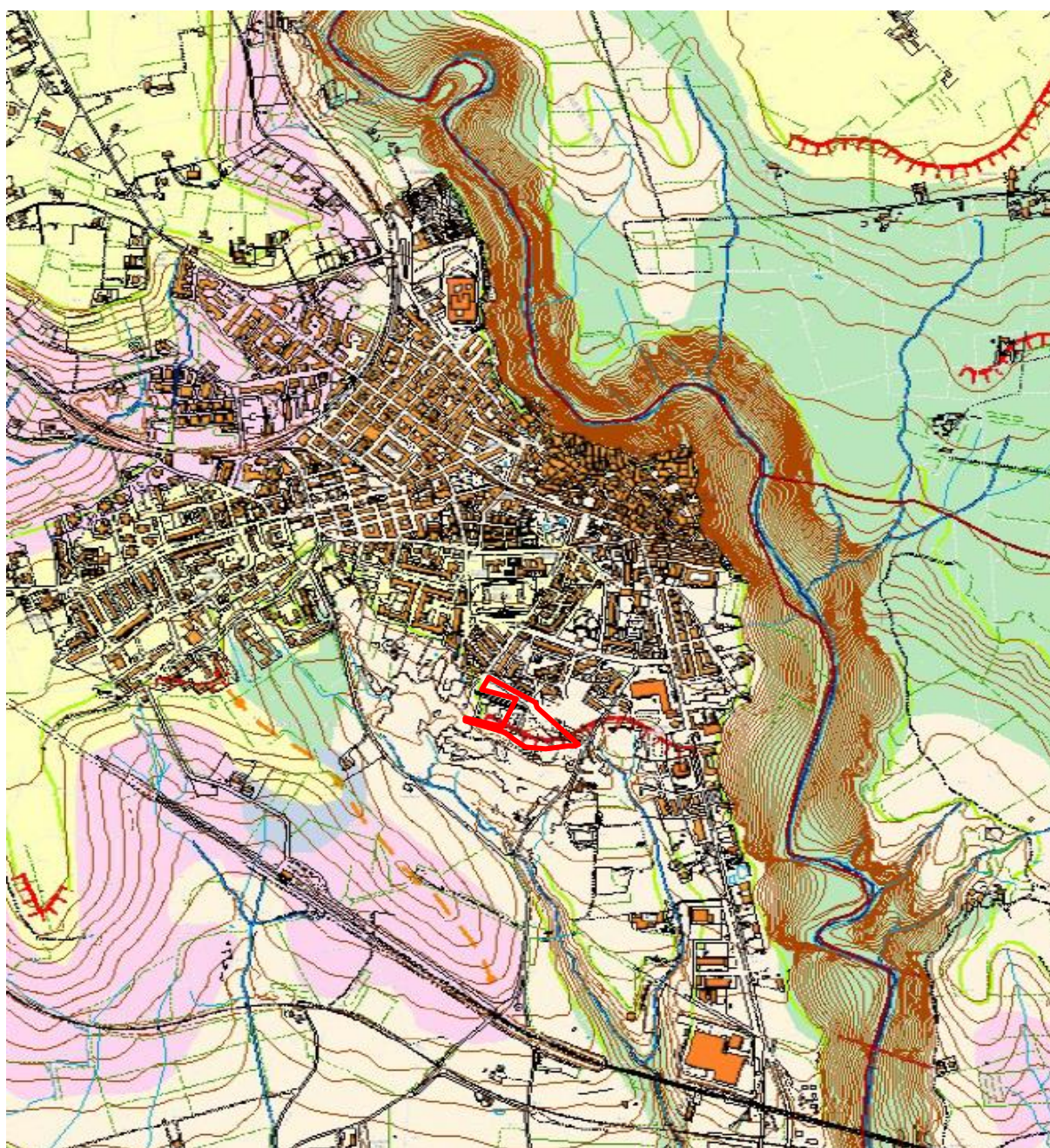
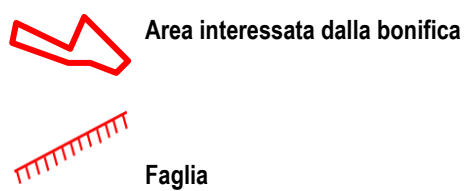


Fig.6 –Carta Idrogeomorfologica della regione Puglia



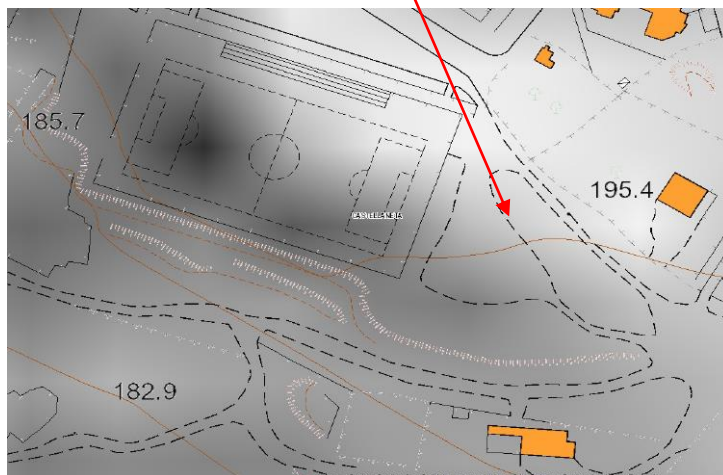
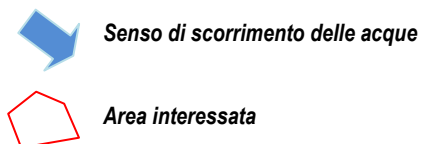
4. IDROGRAFIA DELL'AREA

Il sito si trova ad una quota di circa 195 m s.l.m.

Si rileva la presenza di solchi erosivi che si manifestano solo in concomitanza di eventi piovosi particolarmente intensi. La direzione di scorrimento dei solchi erosivi presenti è prevalentemente Nord-Ovest/Sud-Est e corrisponde agli allineamenti tettonici principali. Come si evince dalla figura seguente, i lineamenti idrografici interessano aree ad est, a sud e ad ovest dell'area, ma non interessano direttamente l'area.



Fig.7 –Lineamenti idrografici



5. RAPPORTI DELL'AREA OGGETTO DI BONIFICA CON IL P.A.I.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità dei versanti necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

In considerazione degli obiettivi che il PAI si propone, il presente studio ha lo scopo di analizzare gli effetti che l'intervento proposto ha sul regime idraulico locale e l'eventuale rischio che ne deriva in concomitanza di eventi piovosi in relazione anche alla morfologia del terreno ed alle condizioni topografiche.

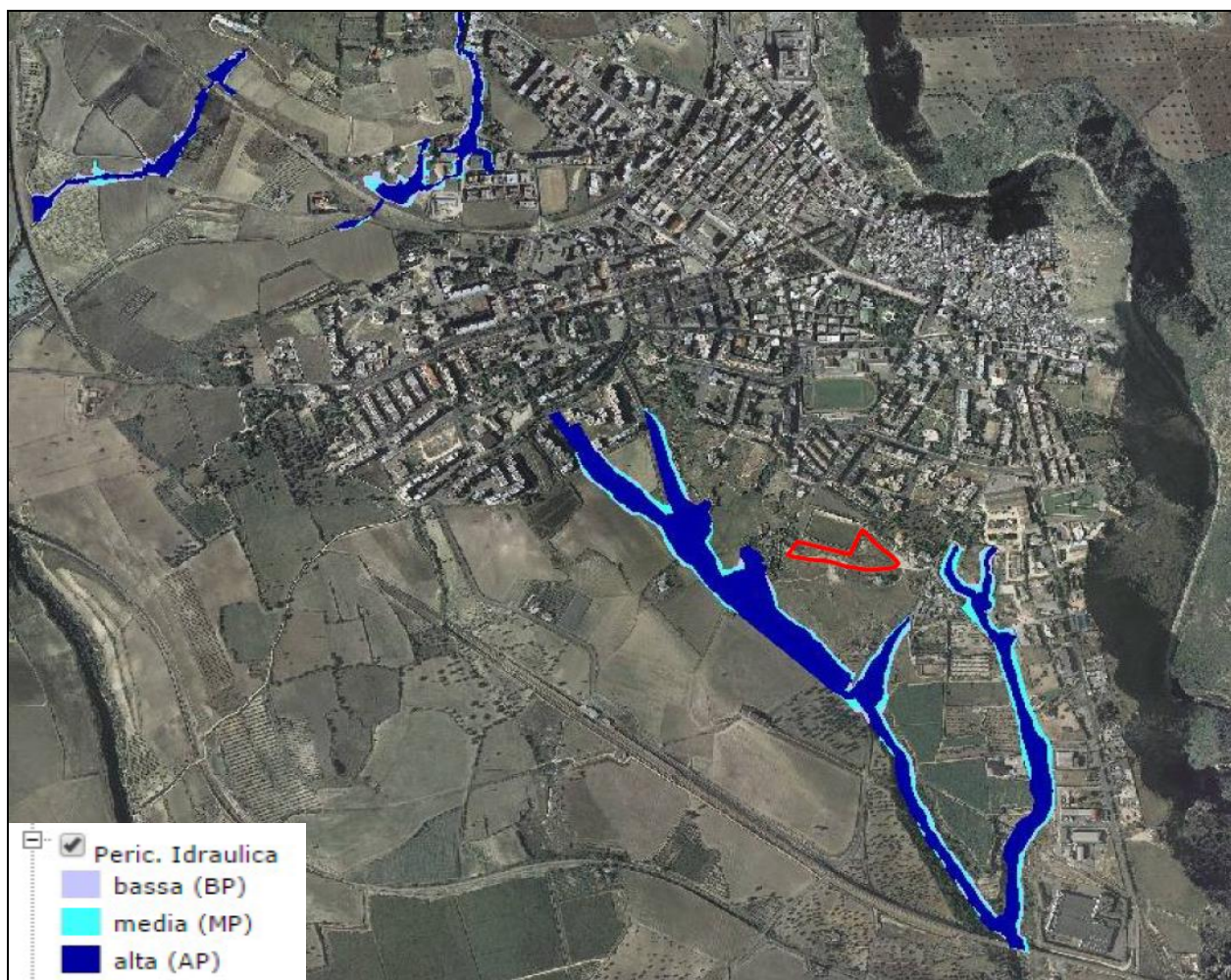


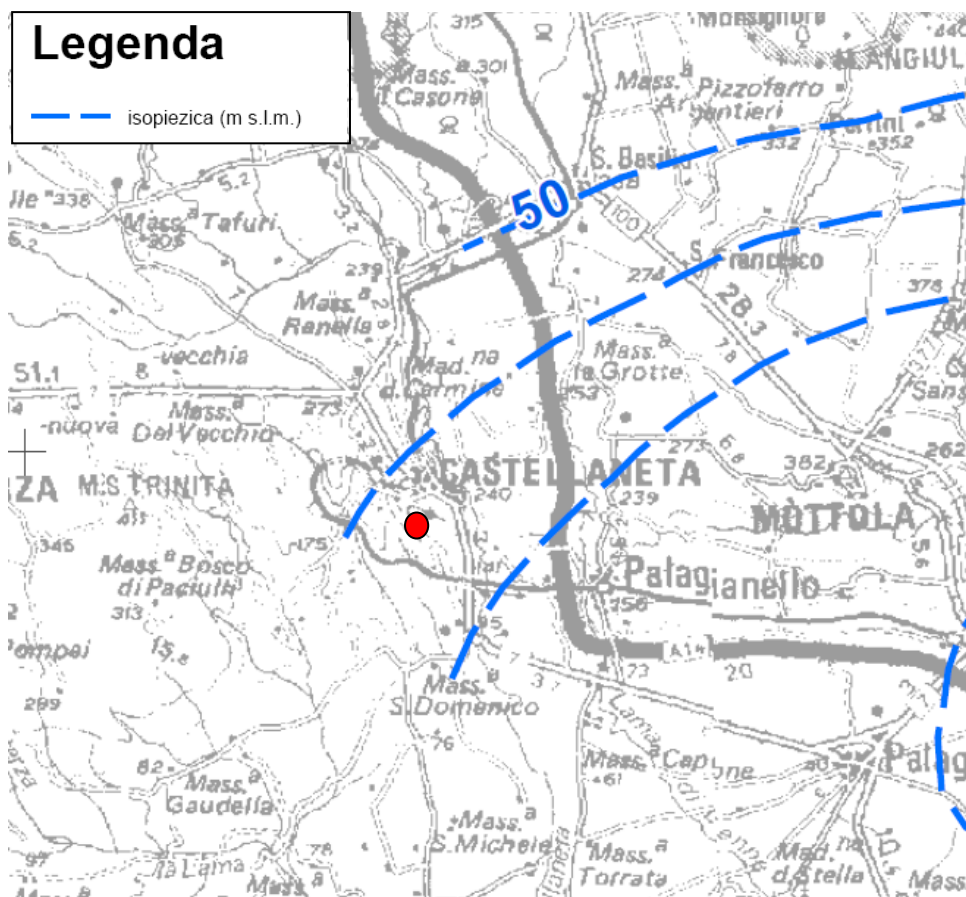
Fig.8 – Inquadramento dell'area rispetto alle perimetrazioni del PAI

6. LA FALDA SOTTERRANEA

In questa zona del territorio non affiora la falda idrica superficiale.

La maggior parte dell'acqua meteorica, ad esclusione di quella evapotraspirata, va ad alimentare l'acquifero profondo.

Questa falda ha come sede i calcari cretatici e si attesta ad una profondità di circa 200 m dal piano campagna.



Carta dei carichi piezometrici (da P.T.A. Regione Puglia)

7. INDAGINE SISMICA

Con il Testo unico "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008, ed ultimo aggiornamento con DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, si definiscono le procedure con cui effettuare una modellazione geologica e geotecnica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce. Perciò in ottemperanza alle prescrizioni del suddetto decreto sono state svolte delle indagini per la caratterizzazione dell'area in oggetto, per la definizione del modello geologico del terreno, per la definizione delle caratteristiche geotecniche, definizione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici. Il programma delle indagini è stato articolato come segue:

- Consultazione dei dati geotecnici stratigrafici e idrogeologici relativi a indagini eseguite dallo scrivente su tutto il

territorio di Castellaneta;

- Rilievo geologico e geomorfologico speditivi;
- Elaborazione geotecnica dei parametri ricavati in base alla tipologia delle strutture che si intendono realizzare.

In particolare l'indagine eseguita è stata mirata alla definizione delle successioni stratigrafiche e dei rapporti intercorrenti tra i vari litotipi che direttamente o indirettamente condizionano le opere in progetto, individuando in particolare:

- la stratigrafia dell'area e l'eventuale spessore dei terreni di copertura da sbancare;
- presenza o meno di falda d'acqua superficiale.
- le caratteristiche meccaniche e la capacità portante del banco di fondazione;
- categoria del suolo e Vs30 determinata mediante utilizzo di tromografo portatile Mod. Tromino, il quale: - misura delle frequenze di risonanza dei suoli, effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura), stratigrafia sismica passiva, Vs30 da fit vincolato della curva H/V e doppia risonanza suolo-struttura.

6.1 Sismicità del territorio

Il territorio comunale di Castellaneta è classificato sismico ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 in categoria sismica 4.

L'O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006 ha definito i "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)"

La mappa riportata di seguito individua la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione del suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s (ovvero categoria A).

In tale quadro il comune di Castellaneta rientra in un'area caratterizzata da valori di accelerazione del suolo (a_g) compresa tra 0.025 e 0.050 m/s.

Nella seguente Tabella 1 è individuata ciascuna zona secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 1

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla

quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

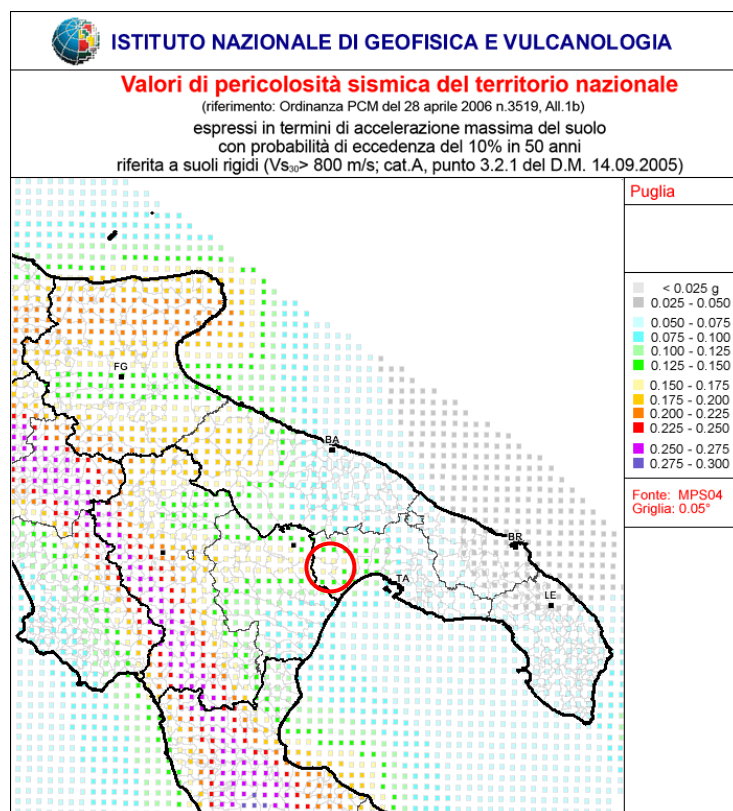


Figura 1: Valori di pericolosità sismica

6.2 Risultati dell'indagine sismica

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V. La tecnica dei rapporti spettrali o HVS (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- ❖ la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di “doppia risonanza” estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- ❖ la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello

stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

❖ la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

❖ la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso;

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtrempi. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

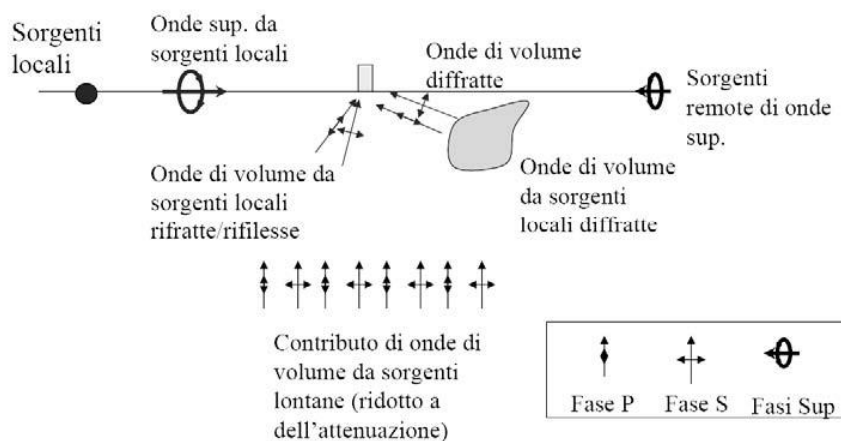
1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché

riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.



Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSr che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

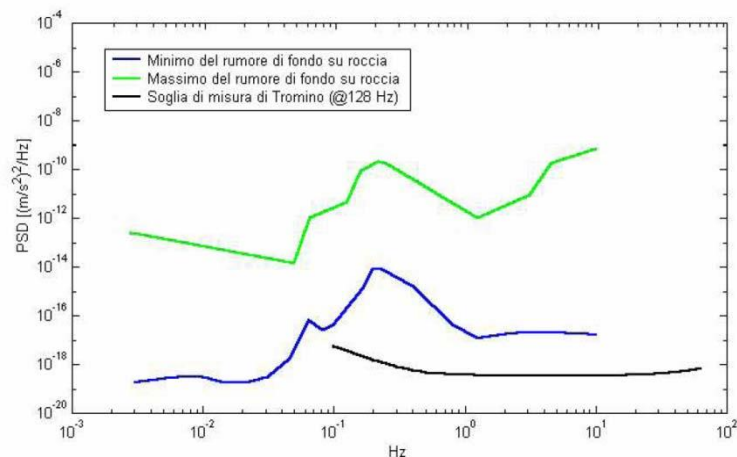
6.3 Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.



Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.



In fase operativa, non molto distante dall'area in oggetto, sono state eseguite le seguenti operazioni:

1. *il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti),*
2. *la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,*
3. *per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,*
4. *per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,*
5. *vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.*

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. *i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato,*
2. *gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti",*
3. *la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno)*

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSr) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori). Operativamente si costruisce un modello teorico HVSr avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano una serie d'esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure H/V a stazione singola. In tutti i siti descritti, la stratigrafia è nota da sondaggi e prove penetrometriche e il profilo Vs è ricavato anche con metodi alternativi.

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	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 - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, 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

6.4 Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell' onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle medie frequenze (circa 1,5 Hz) e associabile a contatto copertura – roccia. La sovrapposizione degli spettri sismici acquisiti (figura a seguire) mostra un andamento monodimensionale del substrato roccioso mentre per frequenze maggiori (minori profondità) si osservano sostanziali diversità.

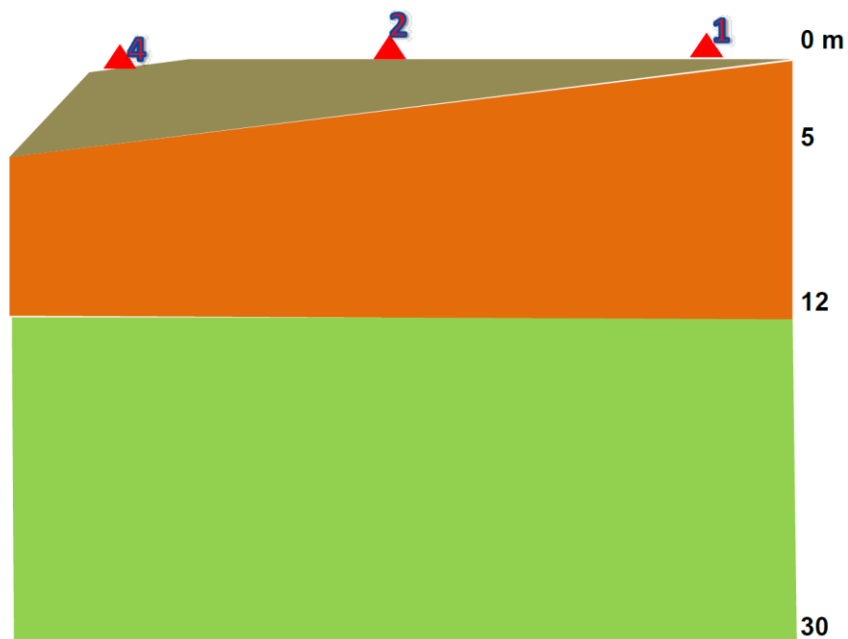
L'utilizzo del codice di calcolo sintetico ha, in questo caso, evidenziato un'elevata discontinuità sismica a 10-12 Hz (circa 10 – 12 m dal p.c.) e una successiva graduale crescita delle velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità poiché lo spettro sismico si stabilizza costantemente su di un rapporto spettrale H/V > di 2.

La crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche è correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo. Il bedrock geofisico si localizza ad una profondità di circa 5 m dal p.c. ed è caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde Vs = 900m/s.



Misurazioni sismiche mediante Tromino

È stato quindi possibile stimare, tramite la formula $V_{s30} = 30 / \sum h_i / V_i$, la velocità delle onde Vs nei 30 m dal p.c., come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008:



SONDAGGIO SISMICO N.1			
Spessore sismostrati [m]	Profondità [m]	Velocità onde Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
1	0,0 – 1	155	RIFIUTI
11	1-12	630	calcarenite
18	12 – ≈30	1000	Strato rigido (calcare)
Tabella 1			

SONDAGGIO SISMICO N.2			
Spessore sismostrati [m]	Profondità [m]	Velocità onde Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
3	0,0 – 3	275	RIFIUTI
9	3 - 12	645	calcarenite
18	12 ≈30	973	Strato rigido (calcare)
Tabella 2			

SONDAGGIO SISMICO N.3			
Spessore sismostrati [m]	Profondità [m]	Velocità onde Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
2,5	0,0 – 2,5	227	RIFIUTI
10	2,5 - 12,5	625	calcarenite
17,5	12,5 – ≈30	1050	Strato rigido (calcare)
Tabella 3			

SONDAGGIO SISMICO N.4			
Spessore sismostrati [m]	Profondità [m]	Velocità onde Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
5	0,0 – 5	185	RIFIUTI
9	5 - 14	670	calcarenite
16	14 – ≈30	980	Strato rigido (calcare)
Tabella 4			

SONDAGGIO SISMICO N.5			
Spessore sismostrati [m]	Profondità [m]	Velocità onde Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
2	0,0 – 2	290	RIFIUTI
7	2 - 9	645	calcarenite
21	9 – ≈30	1150	Strato rigido (calcare)
Tabella 5			

Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$,		S1
1	155	0,006
11	630	0,017
18	1000	0,018
		0,042
30	715,79	

Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$,		S2
3	275	0,011
9	645	0,014
18	973	0,018
		0,043
30	691,85	

Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$,		S3
2,5	227	0,011
10	625	0,016
17,5	1050	0,017
		0,044
30	686,82	

Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$,		S4
5	185	0,027
9	670	0,013
16	980	0,016
		0,057
30	528,30	

Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$,		S5
2	290	0,007
7	645	0,011
21	1150	0,018
		0,036
30	833,10	

6.5 Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008):

Perciò si è resa necessaria la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno.

Per ogni categoria del suolo (A-B-C-D-E), così come riportato nella tabella seguente, è fissata una descrizione litostratigrafica, con ad essa associati i parametri di riferimento geotecnici e sismici.

Grazie alla tecnica di Refraction Microtremor (ReMi) descritta precedentemente è stato possibile giungere all'individuazione della categoria del suolo per l'area indagata.

La Vs30 è stata calcolata con la seguente espressione: $V_{s30} = 30 / \sum h_i / V_i$

Da tale relazione sono emerse caratteristiche medie di Vs30 > 800 m/s solo per il sondaggio **S5 (Categoria A)**, mentre per gli altri hanno restituito valori al disotto di 800 m/s (**Categoria B**).

6.6 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle **categorie definite nella Tab. 3.2.II del DECRETO 17 gennaio 2018**, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai 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 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 di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE ROCCE DI SEDIME

I parametri geotecnici dei terreni, in relazione alla progettazione delle opere previste, sono stati desunti dall'indagine sismica e dalle indagini svolte in occasione del Piano di Caratterizzazione del 2008.

Nello specifico è stato possibile stimare i seguenti parametri geotecnici attraverso le correlazioni dirette con i valori di Vs e Vp:

Litologia	Profondità (m da p.c.)	γ <i>KN/ m³</i>	ϕ' (°)	C (Kpa)
calcareniti ben cementate	1	17,5	30	0

Valori dei parametri geomeccanici e fisici

L'insieme dei dati ottenuti è sufficiente a delineare le linee guida progettuali, connesse con le peculiarità geotecniche dei litotipi.

Da premettere che il carico limite rappresenta quel carico che, applicato alla fondazione, produce la rottura del complesso terreno-opera di fondazione e che è dipendente dalle caratteristiche fisiche e di resistenza (c, ϕ) del terreno nonché dalla geometria della fondazione (D, B).

Si escludono pertanto problemi di cedimenti dello strato calcarenitico, non essendo state rilevate cavità o depressioni tali che possano far pensare all'innescio di problematiche di natura statica delle opere a realizzarsi.

I carichi che si andranno a concretizzare sull'area sono certamente inferiori a quelli attuali, dovendo essere i materiali – rifiuti asportati.

9. CONCLUSIONI

Lo studio geologico è stato redatto al fine di definire in maniera più approfondita le condizioni geologiche, idrogeologiche e, idrografiche e sismiche dell'area.

Esso è stato svolto in ottemperanza alle prescrizioni del nuovo Testo Unico "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008, il quale definisce le procedure per eseguire una modellazione geologica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce.

Le indagini eseguite dallo scrivente, unitamente allo Studio Geologico effettuato dal Dott. Perniola nel 2008 ai fini della caratterizzazione dell'area interessata da sversamento di rifiuti, hanno consentito di giungere alle seguenti conclusioni:

- L'ammasso roccioso sottostante i rifiuti accumulati è rappresentato da calcareniti con elevata portanza;
- La falda superficiale è assente. La falda profonda è attestata ad una profondità di circa 200m;
- Le caratteristiche fisiche della roccia di fondazione sono le seguenti:
 - peso di volume 17,5 Kg/cm³
 - angolo d'attrito interno 30°
 - coesione 0 kPa
- Le caratteristiche di portanza che ne derivano, sono di gran lunga superiori ai carichi che derivano dalla realizzazione del progetto di che trattasi;
- L'indagine REMI eseguita con Tromografo digitale "Tromino" nell'area interessata, ha permesso di classificare il sottosuolo di fondazione in esame nella categoria "B", poiché i valori della Vs30 misurati sono inferiori a 800 m/s (tab. 3.2.II delle NTC 2008);
- Non si palesano rischi idraulici come verificato in base alla Carta Idrogeomorfologica e quella delle Aree a Rischio Idraulico.

Dott. Geol. Giuseppe MASILLO