

COMUNE DI BARI

PERMESSO DI COSTRUIRE

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

OGGETTO :

- DEMOLIZIONE FABBRICATO "EX CASA CUSTODE" E RIPRISTINO AREA
- NUOVA COSTRUZIONE DI UN DEPOSITO
- REALIZZAZIONE NUOVA PAVIMENTAZIONE AREA DEPOSITI

COMMITTENTE:

AZIENDA MUNICIPALE GAS S.p.A
VIA ACCOLTIL GIL - Z.I. - BARI
TEL.080 53.90.111

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

A.RG

Data

Dicembre 2017

Aggiornamento

Gennaio 2019

Aggiornamento

Aggiornamento

Aggiornamento

Scala

Progetto

Dr. Ing. Tonia Turitto

via Armando Diaz n. 61 70020 - Cassano delle Murge
C.F. TRTTNO69D51Z133N P.IVA 05894970721
tel. 080 764354 cell. 3332182115

dott. geol. Francesco Bartucci



Via Giuseppe Giusti, 76 - 76123 ANDRIA (BT)
tel. - fax 0883/559632 - E-mail : francescobartucci@libero.it
PEC: francesco.bartucci@epap.sicurezzapostale.it

COMUNE DI BARI

PERMESSO DI COSTRUIRE:

- *DEMOLIZIONE FABBRICATO 'EXCASA CUSTODE' E RIPRISTINO AREA;*
- *NUOVA COSTRUZIONE DI UN DEPOSITO;*
- *REALIZZAZIONE NUOVA PAVIMENTAZIONE AREA DEPOSITI*

RELAZIONE GEOLOGICA

*SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA
DEL SITO N.T.C. 2018 - D.M. 20 FEBBRAIO 2018*

PROGETTO:

Dr. Ing. Tonia Turitto

Committente: *AZIENDA MUNICIPALE GAS S.P.A.*

Andria, 15 Maggio 2018

I N D I C E

RELAZIONE GEOLOGICA	pag.1
1. PREMESSA.....	" 1
2. UBICAZIONE DELL'AREA.....	" 2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE E DI DETTAGLIO.....	" 2
4. IDROGEOLOGIA.....	" 5
5. EMISSIVITA' DEL GAS RADON.....	" 5
6. PROSPEZIONI SISMICHE	" 10
7. CARATTERI GEOTECNICI.....	" 14

RELAZIONE GEOLOGICA

1. PREMESSA

Il seguente studio geologico è stato redatto per conto della 'Azienda Municipale Gas S.p.A.' che nell'area aziendale ubicata nel Comune di Bari in Via Accoltil Gil Z.I., propone l'intervento denominato: *"Permesso di costruire: demolizione fabbricato 'ex casa custode' e ripristino area; nuova costruzione di un deposito; realizzazione nuova pavimentazione area depositi"*.

La relazione geologica si propone di esaminare e descrivere:

- la congruenza con il Piano per l'Assetto Idrogeologico della Puglia;
- i risultati delle indagini in sito;
- l'origine e la natura dei litotipi costituenti l'area di sedime;
- il loro stato di addensamento, alterazione e/o fratturazione;
- le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame;
- i caratteri idrogeologici del sito;
- la caratterizzazione della Categoria di Suolo;
- i caratteri geotecnici dell'area di fondazione.

L'assetto geostratigrafico del sottosuolo è stato ricostruito sulla base di un'indagine sismica passiva *HVSR* che consiste nell'analisi dei rapporti spettrali (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) eseguita dallo scrivente in corrispondenza del sito in esame.

I risultati ottenuti sono stati comparati con gli esti di una prospezione sismica a rifrazione ed indagine geofisica MASW, eseguita nelle immediate vicinanze. Tutti gli elementi acquisiti hanno permesso una ricostruzione attendibile del quadro litostratigrafico dell'area consentendo anche la determinazione della 'Vs-equivalente' e conseguentemente la caratterizzazione della categoria di suolo in base alle N.T.C. 2018.

Le indagini geofisiche con il metodo sismico permettono, in base alle proprietà geosismiche degli orizzonti sismostratigrafici di riconoscere e di ricostruire gli spessori delle coperture sedimentarie recenti o delle coltri di materiali di riporto che, spesso, sovrastano il rigido basamento carbonatico del territorio pugliese.

Nell'eseguire la relazione geologica si è tenuto conto delle indicazioni fornite dal D.M. 20 Febbraio 2018 (*'Norme Tecniche sulle Costruzioni'*).

In particolare si forniscono gli elementi essenziali per la definizione dei seguenti elaborati:

- Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito.

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area esaminata si trova nell'ambito del territorio comunale di Bari e dista circa 3.0 Km dall'abitato in direzione Ovest.

Più precisamente ricade in Via Accoltil Gil Z.I. (figg.1-1/A-1/B-2-2/A). Il sito oggetto di studio è geograficamente individuabile attraverso le seguenti coordinate WGS84: 41.120065; 16.809881. Si eleva ad una quota di 14 m sul livello del mare e dista dalla linea di costa circa 5 Km.

La superficie topografica si presenta in parte modificata dall'apporto di materiali di riporto utilizzati per raccordare il piano topografico di Via Accoltil Gil con i piazzali che compongono l'area aziendale.

In fig.1/A, tratta dal P.A.I. della Regione Puglia, sono evidenziate le aree a rischio di alluvionamento ricadenti nell'ambito del territorio circostante l'area d'intervento. Il sito non è attraversato da depressioni morfologiche di natura alluvionale; non ricade, inoltre, in aree a rischio di alluvionamento o a pericolosità idraulica. L'area d'intervento non rientra tra quelle classificate dall'Autorità di Bacino come a pericolosità geomorfologica.

Dall'esame della documentazione cartografica dell'Autorità di si evince che il sito non ricade in aree a pericolosità idraulica o a rischio idrogeologico. Non è, inoltre, interessata da depressioni morfologiche, impluvi alluvionali, o condizioni idrogeomorfologiche riferibili agli artt. 6 e 10 delle Norme tecniche di Attuazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico .

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE E DI DETTAGLIO

L'area in oggetto è descritta nel Foglio 177 "*BARI*" della Carta Geologica d'Italia, rappresentata in scala 1:100000.

STRALCIO TOPOGRAFICO

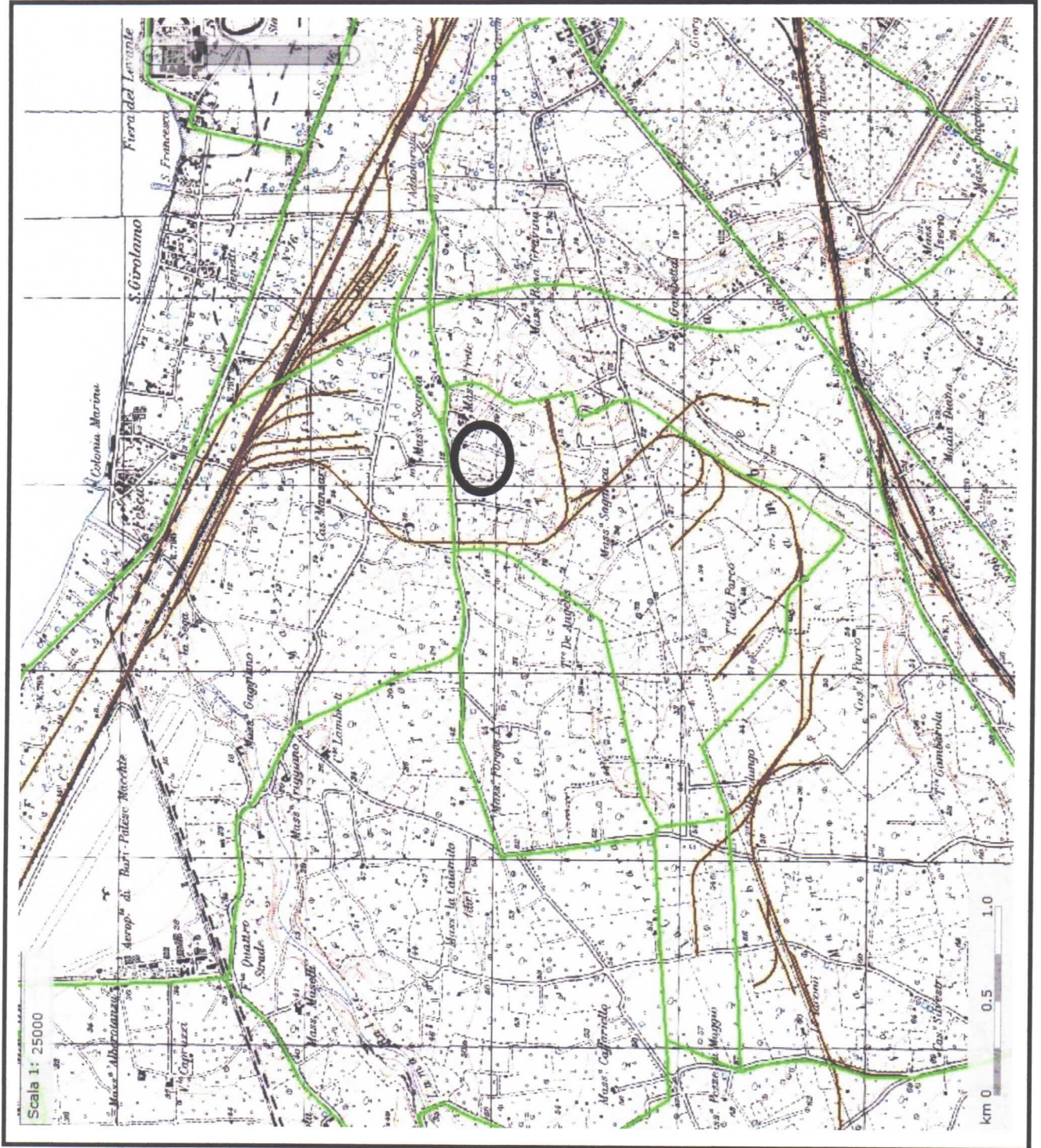


Fig. 1

PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

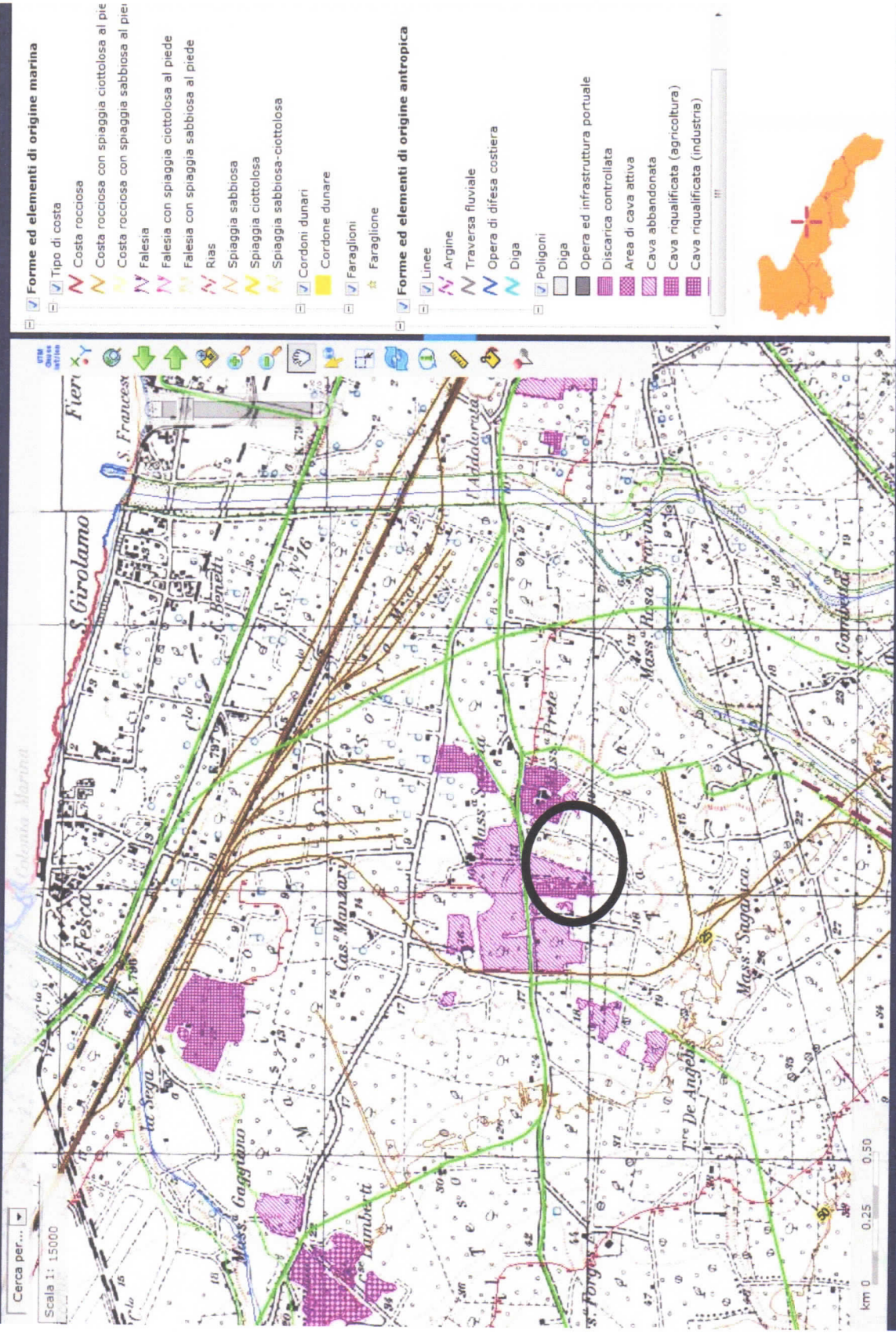


Fig. 1/A

CARTA IDROGEOMORFOLOGICA

WWW.ADB.PUGLIA.IT

WebGIS Carta Idrogeomorfologica della Puglia (agg. il 07-04-2015) Auto Scarica Stampa Link Sema



Sistema di riferimento: WGS84, Coordinate Geografiche -- X: 16.817 Y: 41.14

Fig. 1/B

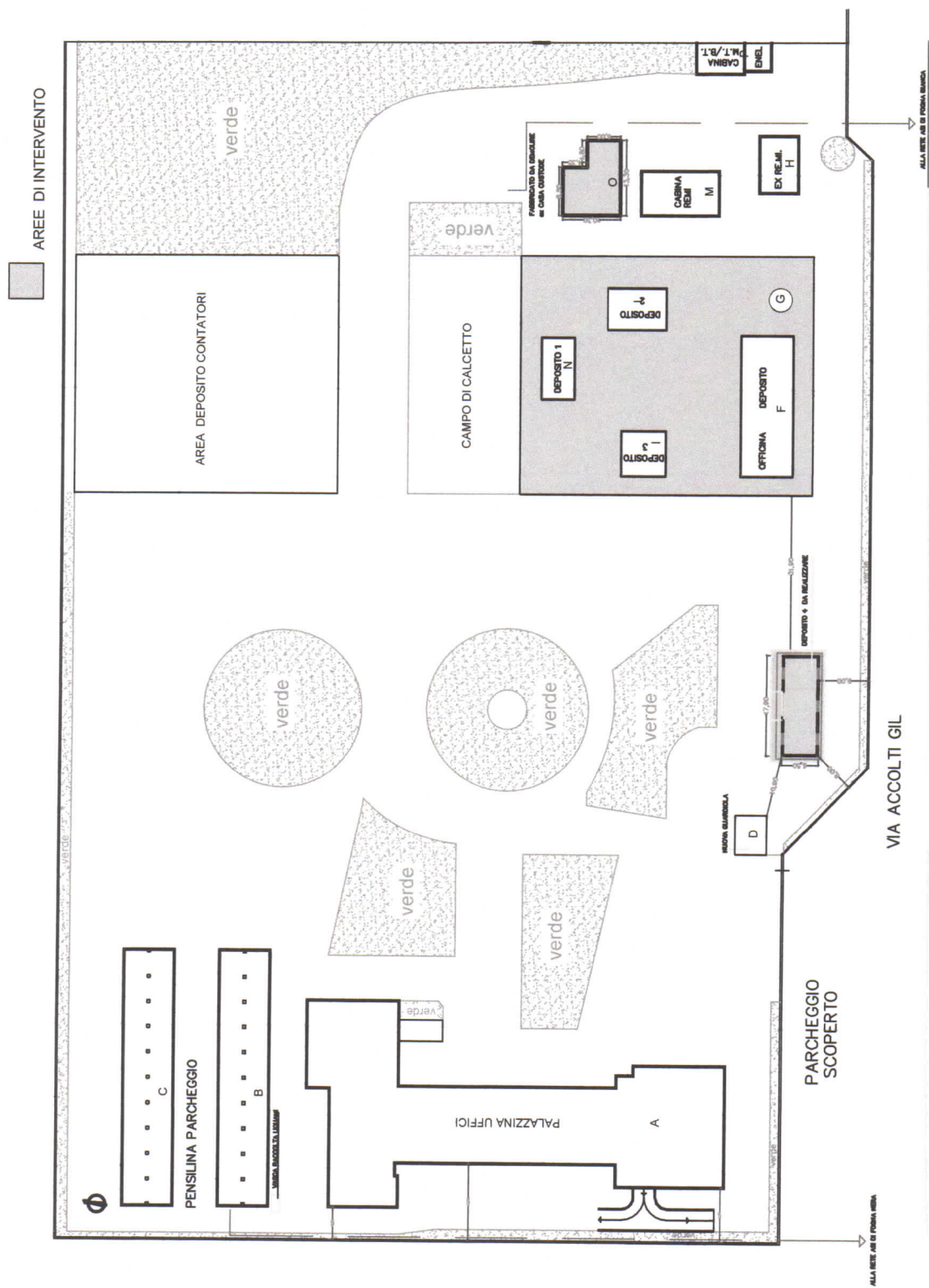
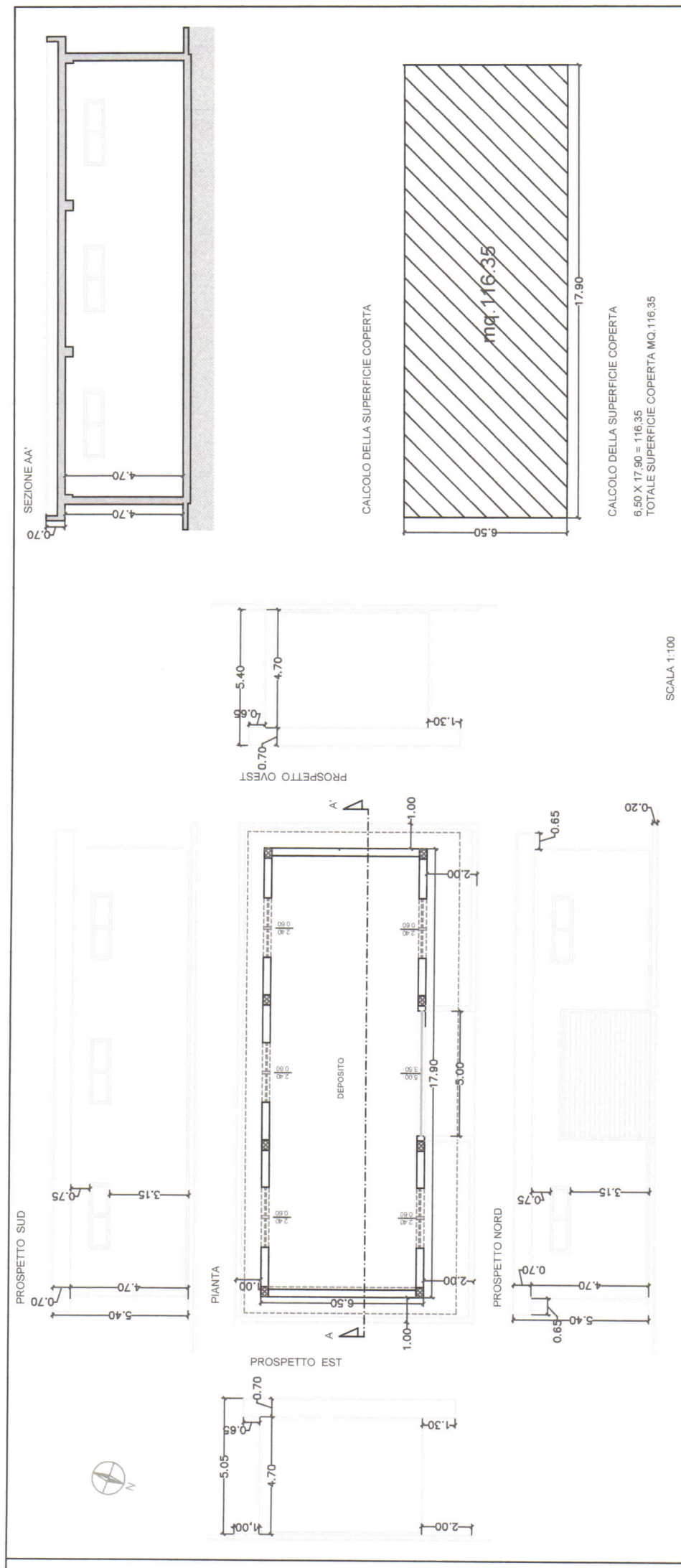
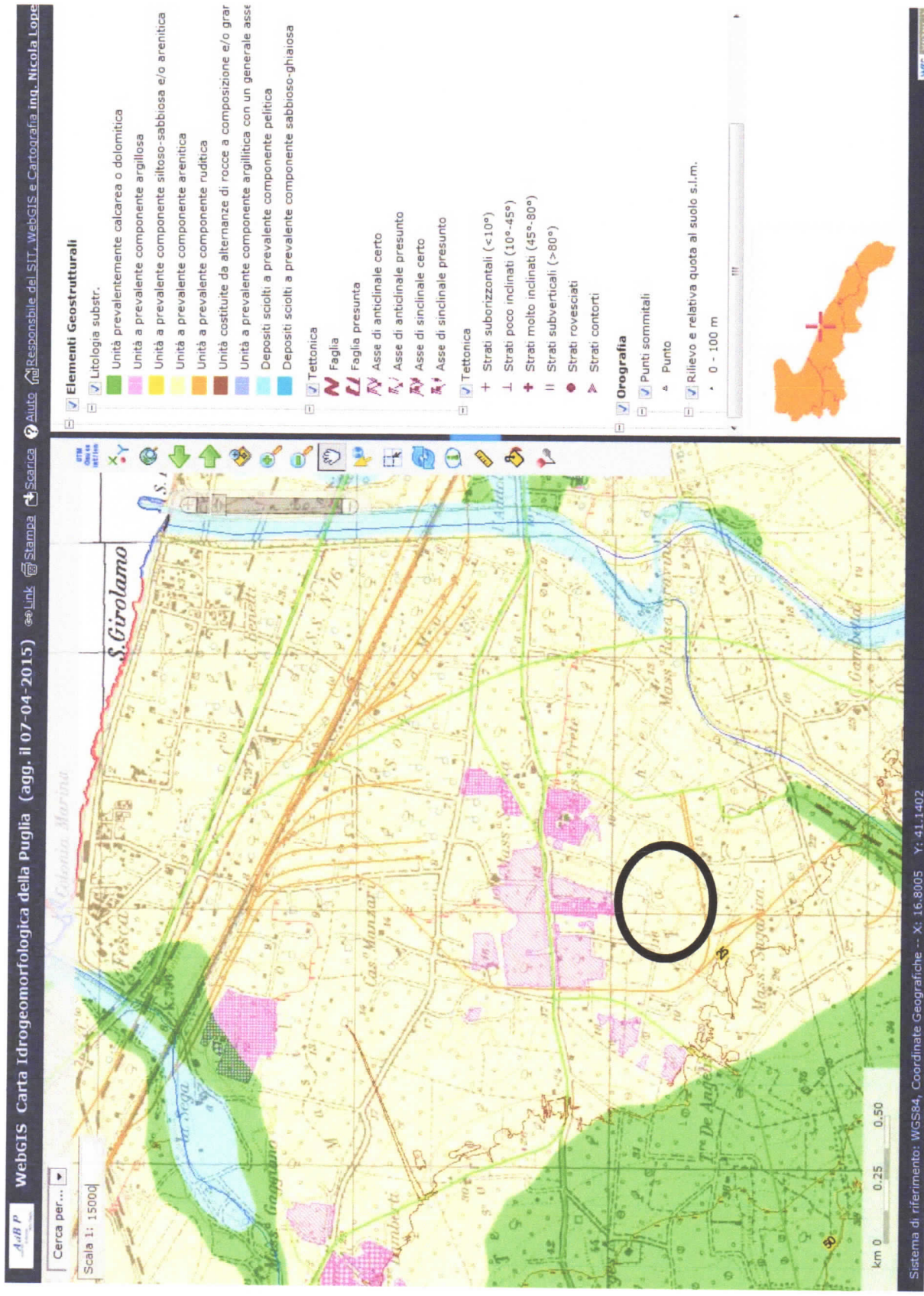


FIG.2





Gli affioramenti dei litotipi, di seguito descritti, vengono rappresentati nella carta geologica di fig.3 su una base topografica in scala 1:25000.

Il territorio immediatamente circostante il sito in esame è essenzialmente caratterizzato da affioramenti di rocce sedimentarie marine.

La formazione più antica che ricade in tale territorio è il Calcare di Bari. Questa formazione cretacea, che raggiunge spessori dell'ordine di 3000 m, è formata da una successione di strati calcareo-dolomitici, in prevalenza detritici, spesso a grana fine e microcristallini di colore biancastro. Si presenta generalmente in strati di pochi decimetri (chiancarelle), caratterizzati da numerose soluzioni di continuità sia suborizzontali (giunti), che obliqui o subverticali (fratture, cavità e vacuoli carsici).

Sovrapposti a tali litotipi, si rinvengono, a luoghi, i depositi trasgressivi quaternari. Si tratta di depositi marini pleistocenici, generalmente terrazzati, formati da sabbie fini, in prevalenza quarzose, gialle o rossastre, con straterelli cementati e da calcareniti grossolane. In alcune aree si rinviene, nella parte alta un livello maggiormente cementato (crosta). La lacuna sedimentaria esistente tra la formazione cretacea e quella pliocenica documenta la lunga emersione cenozoica subita dalla regione, allorquando gli eventi tettonici dell'orogenesi appenninica hanno rimodellato per lungo tempo le rocce mesozoiche formando ampie pieghe associate, spesso, a faglie di grande entità.

Il territorio che comprende l'area in esame è subpianeggiante, con lieve declivio verso il mare, in direzione Nord-Est.

Tra gli accidenti morfologici presenti nella zona si rileva la presenza di terrazzi marini plio-pleistocenici, posti a quote diverse e subparalleli alla linea di costa. Tali ripiani digradano mediante scarpate alte al massimo poche decine di metri.

Gli elementi morfologici minori, quali rilievi e depressioni, sono frequentemente da mettere in relazione a strutture tettoniche tipo pieghe e piccoli "Graben" o "Horst".

Una caratteristica peculiare del vicino territorio murgiano è data dalla presenza di numerosi solchi erosivi, chiamati lame, che si allungano perpendicolarmente alla linea di costa. Questi alvei testimoniano la presenza di linee di impluvio, a volte relitte, formatesi durante il Quaternario e coincidenti, spesso, con accidenti strutturali presenti nel substrato.

Durante eventi meteorici straordinari, caratterizzati da piogge abbondanti, i fondi di

tali impluvi raccolgono e drenano le acque ruscellanti in superficie.

Nel fondo delle lame si rinvencono spesso dei depositi continentali di facies alluvionale, costituiti da limi sabbiosi e argillosi, a volte ciottolosi. L'età di questi depositi è associabile all'Olocene.

STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

La stratigrafia del sito è stata ricostruita sulla base di scavi geognostici visionati in prossimità dell'area di studio, nonché per gli esiti delle indagini geofisiche (figg. 4).

Il sito in oggetto appare con una superficie topografica pianeggiante posta su uno strato di materiali di riporto eterometrici che ha evidenziato uno spessore medio di 3.70 m.

Gli strati calcarenitici sottostanti, aventi uno spessore di 2.80 m si caratterizzano per un elevato grado di addensamento.

Alla base si rinvencono gli ammassi rocciosi carbonatici con elevato grado di fratturazione e/o carsismo. Detti litotipi includono localizzate sacche di materiali non coesivi. Frequentemente la degradazione del substrato lapideo ha modificato gran parte dei caratteri tessiturali originali degli strati calcarei che sono diffusamente sostituiti dai loro prodotti residuali insolubili (terre rosse ed argille). Tale degradazione è associata sia ai fenomeni tettonici postsedimentari, sia alla successiva alterazione carsica.

Il quadro litostratigrafico dell'area risulta, pertanto, estremamente condizionato dagli eventi sedimentari, tettonici e carsici che hanno interessato il territorio che ingloba l'area in esame.

4. IDROGEOLOGIA

L'area studiata è interessata da una falda profonda generalmente 'in pressione' circolante all'interno dei calcari mesozoici.

La sua profondità si aggira intorno ai 15-20 m così come si evince da conoscenze in aree prossime a quelle in esame.

L'acquifero, che è costituito dai già descritti ammassi calcarei intensamente fratturati, è permeabile per fratturazione (in grande) ed è caratterizzato quasi ovunque da una permeabilità elevata ($K > 10^{-1}$ cm/sec).

E' possibile, tuttavia, rinvenire nell'ambito della compagine rocciosa sporadici e ampi accumuli costituiti da sacche di materiali residuali, caratterizzati da una minore permeabilità, che possono costituire, a luoghi, il basamento impermeabile di rare e limitate falde superficiali.

Da quanto detto si evince che i terreni sede di eventuali opere fondazionali non potranno essere intaccati dalla superficie piezometrica della falda profonda.

5. EMISSIVITA' DEL GAS RADON

La Legge Regionale 3 Novembre 2016 n. 30 "Norme in materia di riduzione dalle esposizioni alla radioattività naturale derivante dal gas radon in ambiente confinato", così come modificata dall'art. 25 dalla Legge Regionale 36/2017 del 09/08/2017 (BURP n. 96 del 11/08/2017), prescrive la misura di radon per tutti i luoghi accessibili al pubblico, indipendentemente dalla loro localizzazione, su tutto il territorio regionale.

In particolare la L.R. 36/2017 sancisce che:

"1. Sino all'approvazione del Piano regionale radon e agli adeguamenti degli strumenti urbanistici comunali di cui all'articolo 2, comma 5, e salvo limiti di concentrazione più restrittivi previsti dalla legislazione nazionale, ovvero limiti specifici previsti per particolari attività di lavoro, per le nuove costruzioni, eccetto i vani tecnici isolati o a servizio di impianti a rete, il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso, e in tutti i locali dell'immobile interessato, non può superare 300 Bq/mc, misurato con strumentazione passiva.

2. Il progetto edilizio per le nuove costruzioni di cui al comma 1 deve contenere i dati necessari

a dimostrare la bassa probabilità di accumulo di radon nei locali dell'edificio, ed in particolare una relazione tecnica dettagliata contenente:

- a) indicazioni sulla tipologia di suolo e sottosuolo;*
- b) indicazioni sui materiali impiegati per la costruzione;*
- c) soluzioni tecniche adeguate, in relazione alle tipologie di suolo e di materiali impiegati per la costruzione, idonee ad evitare l'accumulo di gas radon nei diversi locali.*

3. Entro e non oltre sei mesi dal deposito della segnalazione certificata presentata ai fini della agibilità devono essere avviate su ogni locale della nuova costruzione le misurazioni del livello di concentrazione, con le modalità previste dall'articolo 4, commi 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

4. Le caratteristiche tecniche derivanti dalla relazione di cui al comma 2 devono essere

mantenute in caso di successivi interventi edilizi.

5. L'approvazione dei piani urbanistici generali e attuativi deve essere preceduta da studi preliminari del suolo e del sottosuolo, in grado di definire particolari tecniche costruttive, imposte con le norme tecniche di attuazione, ovvero con prescrizioni in materia di costruzione dei manufatti edilizi, da considerare in sede di progettazione dei vespai, del sistema di ventilazione degli interrati e seminterrati, nonché idonee prescrizioni sull'uso di materiali contaminati e cementi pozzolanici, ovvero materiali di origine vulcanica.”;

Per gli edifici strategici di cui al D.M. 20.02.2018 e destinati all'istruzione, compresi gli asili nido e le scuole materne, il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso, e in tutti i locali dell'immobile interessato, non può superare i 300 Bq/mc, misurato con strumentazione passiva.

Per gli interrati, seminterrati e locali a piano terra degli edifici diversi da quelli sopra specificati, e aperti al pubblico, con esclusione dei residenziali e dei vani tecnici isolati al servizio di impianti a rete, il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso non può superare 300 Bq/mc, misurato con strumentazione passiva. Sono esentati dagli obblighi di misurazione i locali a piano terra con superficie non superiore a 20 mq, salvo che in virtù di collegamento strutturale con altri locali non derivi il superamento del limite dimensionale previsto per l'esenzione, purché dotati di adeguata ventilazione.

La misura andrebbe effettuata con strumentazione passiva tramite rivelatori a tracce nucleari del tipo 'CR-39' pronti all'uso: sarà necessario unicamente estrarre i dispositivi dal plico di spedizione e posizionarli ad una altezza compresa fra circa 1 e 3 metri, in un'area lontana dalle fonti di calore e di ricambio d'aria.

IL RADON NELLE ROCCE E NEI SUOLI

La concentrazione di Radon nel suolo e nelle rocce varia a seconda delle caratteristiche geologiche, meteorologiche e climatiche dell'area che si vuole investigare. Qui di seguito si riportano tutti i fattori che influenzano l'emissione di Radon dal terreno (Kojima, 1999), (Verdelocco et al., 2000), (Malvacini & Esposito), (Perrier et al., 2009):

1. permeabilità del suolo;
2. contenuto d'acqua nel suolo;
3. precipitazioni;
4. umidità del suolo;
5. porosità del suolo;
6. temperatura del suolo;
7. presenza di Uranio e Radio nelle rocce e nel suolo;
8. presenza di materia organica nel suolo;
9. diametro dei grani;
10. pressione atmosferica;
11. pressione differenziale;
12. velocità del vento;
13. temperatura dell'aria;
14. presenza del manto nevoso;
15. presenza e profondità del permafrost.

L'Uranio e il Radio contenuti nelle rocce in superficie e nei suoli dipendono non solo dalla composizione delle rocce da cui si sono formati, ma anche dagli stessi meccanismi di disaggregazione e alterazione chimico-fisica e dai processi organici che portano alla loro formazione: assumono quindi un ruolo molto importante il pH, l'umidità relativa, la temperatura, la porosità e la permeabilità della roccia madre, nonché le condizioni climatiche del sito. Ciò può determinare mobilizzazione, rideposizione e fenomeni di adsorbimento di Uranio e di Radio con conseguenti impoverimenti o arricchimenti relativi.

Vi sono due particolari contesti geologici in cui si possono verificare concentrazioni anomale dei progenitori del Radon: le zone idrotermali e le aree interessate da fenomeni di carsismo. Nelle aree idrotermali si determinano circolazioni di fluidi di tipo convettivo che raggiungono la superficie da profondità anche elevate. Tali fluidi entrano in contatto con le rocce serbatoio e possono arricchirsi di Uranio e Radio ed anche dello stesso Radon di origine profonda, soprattutto quando sono legate a masse di rocce magmatiche in fase terminale di raffreddamento.

Il carsismo, processo di dissoluzione chimica si sviluppa generalmente su rocce calcaree povere in Uranio e Radio, determina invece l'accumulo di residui insolubili ricchi in ossidi che possono contenere elevati tenori in Uranio e Radio. La concentrazione media dell'Uranio sulla crosta terrestre è di ca. 3 ppm (parti per milione), mentre quella del Radio è di ca. 1-2 ppt (parti per trilione) (Ciotoli & Lombardi).

Per quanto riguarda la tipologia di suolo si può osservare che i suoli composti da gneiss, quarzo, granito e porfido sono i suoli che emettono le maggiori concentrazioni di Radon (Vinay et al., 1999). Infatti, esiste una correlazione tra le caratteristiche litostratigrafiche e i valori di radiazioni naturali emesse dal suolo, ad esempio:

- **rocce sedimentarie**: nel Calcere e nella Arenaria sono molto basse l'emissioni, mentre per suoli ricchi in Scisti e Dolomia le emissioni sono intermedie (Malvacini & Esposito). Invece, le rocce e i suoli con elevata concentrazione di fosfato contengono alti quantitativi di isotopi che provengono dalla serie del ^{238}U , quindi l'emissione di radiazione sono elevate;

- **rocce metamorfiche**: il marmo ha bassi valori di radiazioni, invece lo Gneiss e il Micascisto hanno concentrazioni intermedie;

- **rocce ignee**: Granito, Sieniti e Fonoliti hanno elevate emissioni di radiazioni. Il contenuto di Uranio, Radio e Torio nelle rocce ignee è elevato (ca. 0.05 Bq/g), soprattutto nei Graniti (ca. 0.05-0.2 Bq/g), nella Sienite e nella Fonolite (ca. 0.2-1 Bq/g di ^{226}Ra).

Molte rocce e minerali contengono un certo quantitativo di Uranio e di Torio, quindi si è cercato di dividere i depositi, le rocce e le miniere in 4 categorie (Malvacini & Esposito).

Il Radon e la presenza di faglie e fratture

Le prime osservazioni sui gas del suolo in corrispondenza di discontinuità tettoniche risalgono agli anni 20 e furono eseguite in Germania da R. Ambronn, il quale per primo sottolineò l'importanza di

affiancare prospezioni di Radon nel suolo alle indagini geologico – strutturali (Ambronn, 1921).

Successivamente numerosi lavori permisero di segnalare elevate anomalie di Radon in corrispondenza di faglie profonde, anche in presenza di potenti coperture sedimentarie (Ciotoli et al.)

La concentrazione di Radon nel terreno può essere maggiore in vicinanza di faglie, rotture e strutture attive superficiali (Ciotoli & Lombardi). La distribuzione anisotropa e la magnitudo delle anomalie di Radon, non originate dalla sola produzione in situ

(decadimento del ^{226}Ra), e di Anidride carbonica indicano la migrazione di questi gas lungo i sistemi di frattura.

Infatti, si è trovata una correlazione tra l'aumento dell'attività sismica o vulcanica, tra l'attività geologica e tettonica delle faglie e l'aumento della concentrazione di Radon (Vaupotic et al., 2010). Comunque, l'aumento del Radon nel terreno in corrispondenza di una faglia non è rapido perché dipende dalla direzione della faglia, dal tasso di emissione e dalla concentrazione di Radon nel terreno (Vaupotic et al., 2010).

Ad esempio, da un lavoro eseguito da Walia et al. nel 2008 nel NW dell'Himalaya in India, sono stati registrate delle concentrazioni Radon pari a 60 kBq/m^3 in un'area alluvionale in prossimità di una faglia.

Il Radon nei materiali da costruzione

E' noto che le emissioni di radon dai materiali da costruzioni siano correlate oltre che alla composizione chimica e dallo stato fisico dei componenti, anche dalla origine geologica delle cave da cui provengono, nonché dai processi di trasformazione legati al ciclo di produzione.

Si riporta una tabella riepilogativa della emissività di taluni materiali da costruzioni (OHO).

materiale	concentrazione di attività tipica/(Bq/kg)			concentrazione di attività massima/(Bq/kg)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
<i>Materiali edilizi comuni</i>						
Calcestruzzo	40	30	400	240	190	1600
Calcestruzzo aerato e alleggerito	60	40	430	2600	190	1600
Mattone argilloso (rosso)	50	50	670	200	200	2000
Mattone di sabbia e calce	10	10	330	25	30	700
Pietra naturale da costruzione	60	60	640	500	310	4000
Gesso naturale	10	10	80	70	100	200
<i>Sottoprodotti industriali comuni impiegati in materiali edilizi</i>						
Derivati del gesso (fosfogesso)	390	20	60	1100	160	300
Scorie di altoforno	270	70	240	2100	340	1000
Ceneri di carbone volanti	180	100	650	1100	300	1500

IL RADON NELL'AREA D'INTERVENTO

- INDICAZIONI SULLA TIPOLOGIA DI SUOLO E SOTTOSUOLO:

Il cantiere insiste su un substrato geologico calcareo per il quale sono attese concentrazioni di Radon con valori $\leq 30 \text{ Bq/Kg}$.

- INDICAZIONI SUI MATERIALI IMPIEGATI PER LA COSTRUZIONE:

La struttura portante dell'edificio sarà in calcestruzzo armato, pertanto è attesa una concentrazione di Radon di 40 Bq/Kg.

- SOLUZIONI TECNICHE ADEGUATE, IN RELAZIONE ALLE TIPOLOGIE DI SUOLO E DI MATERIALI IMPIEGATI PER LA COSTRUZIONE, IDONEE AD EVITARE L'ACCUMULO DI GAS RADON NEI DIVERSI LOCALI:

I locali a diretto contatto col suolo ed i piani di calpestio saranno dotati di vespaio in grado disperdere il Radon attraverso i naturali flussi di aria circolanti negli interspazi tra i clasti e nei pori intergranulari.

Le pareti contro terra saranno isolate da materiali isolanti e da un'intercapedine areata.

6. PROSPEZIONI SISMICHE

6.1 - INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI (HVSR)

- **Generalità sul metodo**

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e in particolar modo l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione più compatta, generalmente, coincidente con il bedrock geofisico. Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti (sismica passiva).

Le comuni vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremiti) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di $10^{-4} - 10^{-2}$ mm.

Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. L'indipendenza dinamica delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore.

Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità

dell'analisi.

Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva trovano una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, esse permettono di individuare situazioni sismo stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, valutandone qualitativamente l'entità, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.

Esistono sostanzialmente due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico: la configurazione a *stazione singola* e quella ad *antenna sismica* ('Array').

La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni dello spazio, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (Array) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno.

La prova a *stazione singola*, nota anche come prova *Nakamura* (1989) o *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione.

Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

La determinazione della curva *HVSR* in sito prevede i seguenti steps:

1) Misura delle tre componenti *X*, *Y*, *Z* del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata di almeno 20 minuti;

- 2) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale;
- 3) Definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR;
- 4) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto;
- 5) Operazione di *smoothing* degli spettri di Fourier;
- 6) Somma delle due componenti orizzontali X e Y;
- 7) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli 'N' intervalli temporali stazionari;
- 8) Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

In sintesi, i risultati che si possono ottenere da una registrazione basata sulla tecnica di *Nakamura* e del rapporto spettrale H/V, sono:

- stratigrafia del sottosuolo, intendendo come 'strato' una unità geofisica distinta sulla base del rapporto di impedenza dagli strati sovrastanti e sottostanti;
- frequenza caratteristica di risonanza del sito;
- velocità media delle onde di taglio;
- quantificazione dell'amplificazione sismica di sito.

Dal punto di vista dell'interpretazione stratigrafica è opportuno evidenziare come la frequenza 'v' di risonanza del sismostrato dipenda dallo spessore H dello strato e dalla velocità media (V_s) delle onde S nel sedimento secondo la relazione $v = V_s/4H$.

Acquisizione dei dati sismici ed elaborazione degli spettri

L'indagine HVSR è stata eseguita con la tecnica della *stazione singola* adoperando uno strumento di acquisizione del segnale sismografico ('*Tromografo*') denominato '*Theremino*' dotato delle seguenti caratteristiche tecniche:

- *Frequenza di campionamento 125–250, 500 hz*
- *Configurazione adc 24 Bit*
- *Durata acquisizione 20 minuti*
- *Acquisizione, visualizzazione dati e registrazione in tempo reale*
- *Formato dati acquisiti *.saf*
- *Sensori velocimetrici 4.5 hz*

- Velocità trasmissione dato 12 Mega baud
- Porta USB
- Gain 10000 X
- Il rumore dell'amplificatore è minore di 0.019 μV
- Filtro banda passante 0.25 – 80 hz

Il sondaggio è stato effettuato ponendo il geofono 3D sul piano topografico. Pertanto le profondità sotto riportate si riferiscono ad una quota di riferimento corrispondente a tale quota operativa.

L'elaborazione informatizzata effettuata con software 'Geopsy' ha fornito i grafici interpretativi riportati in Figg. 3/A-3/B.

Risultati dell'elaborazione del sondaggio HVSR

L'elaborazione dei dati sismici ha permesso una analisi congruente con le informazioni geostatigrafiche dell'area di studio.

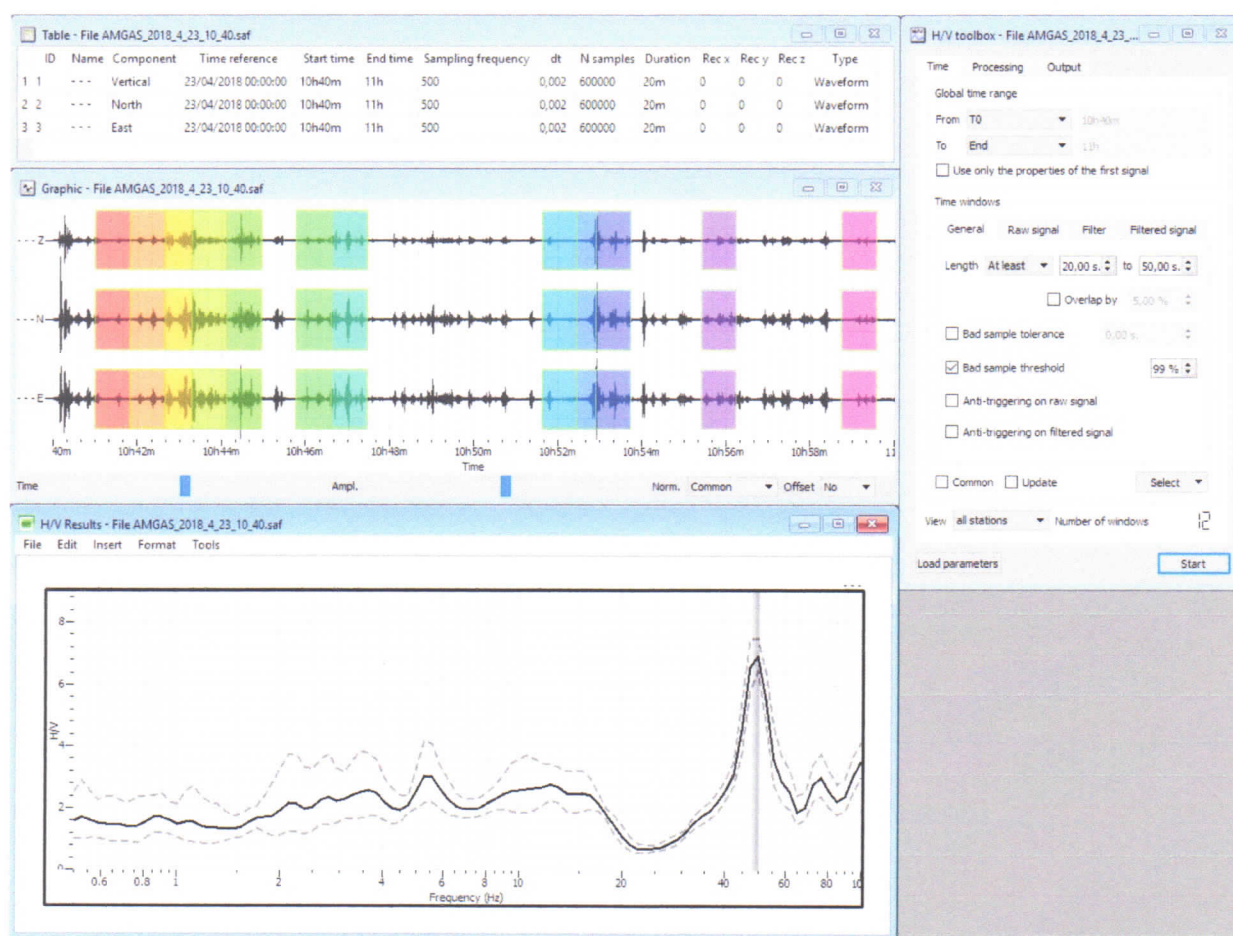
La ricostruzione delle correlazione tra le frequenze e ed i dati geolitologici sono sintetizzati nella seguente tabella.

La frequenza di risonanza del sito è di 11.50 Hz ed il periodo oscillatorio fondamentale è di 0.09s.

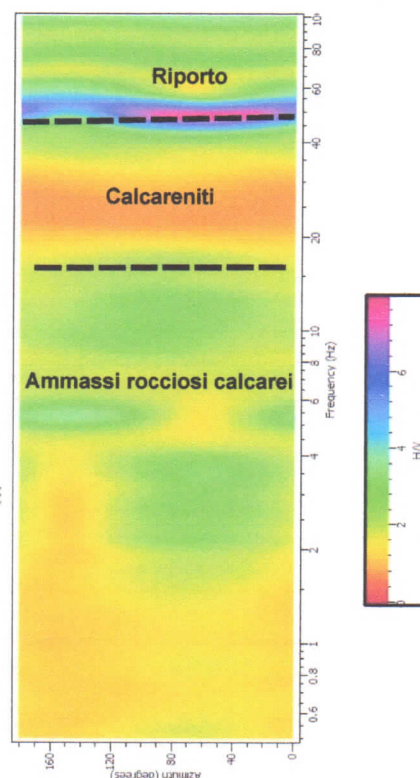
FREQUENZA (Hz)	PROFONDITÀ (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	P _v (Kg/m ³)	LITOLOGIA ASSOCIABILE
100-50.16	3.70	300	150	1800	Materiali di riporto
50.16-11.50 Hz	3.70-6.50	700	390	1900	Calcareniti cementate
<11.50 Hz	>6.50	1600	850	2300	Ammassi calcarei fratturati (bedrock)

COMUNE DI BARI

SONDAGGIO SISMICO HVSR - AMGAS VIA ACCOLTIL GIL Z.I. BARI



**TROMOGRAFO
Geofono 3d**



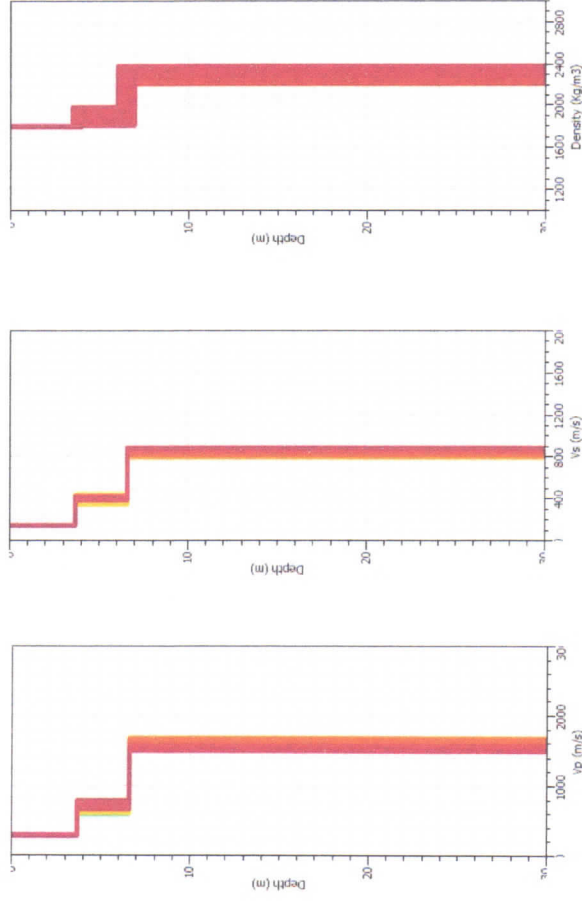
$F_r = 11.50$ Hz (Frequenza di risonanza del sottosuolo)
 $T = 0.09$ s (Periodo di risonanza)

Fig. 3/A

CURVA DI DISPERSIONE



PROFILI VERTICALI



CATEGORIA DI SUOLO (N.T.C. 2018)

Orizzonti sovrapposti al bedrock sism. H totale=				
Strato 1 =	H1=	2.8	Vs1 =	390
Strato 2 =	H2=	0	Vs2 =	0
Strato 3 =	H3=	0	Vs3 =	0
Strato 4 =	H4=	0	Vs4 =	0
Strato 5 =	H5=	0	Vs5 =	0

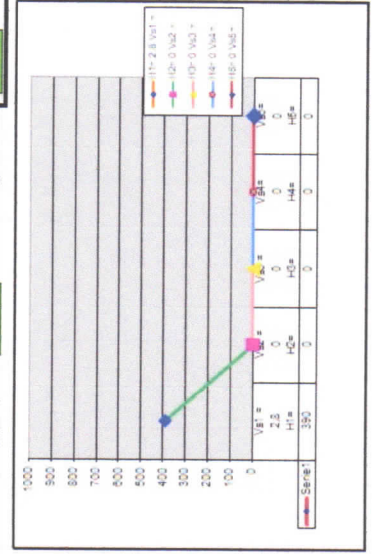
Spessore residuo
dello strato dopo
lo sbancamento

Vseq (m/s) =

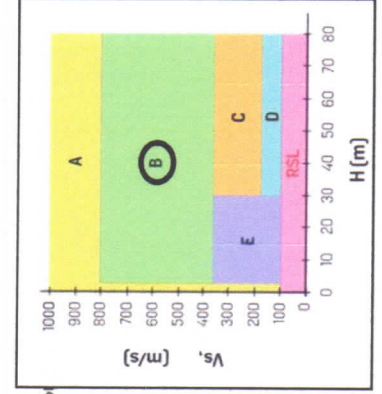
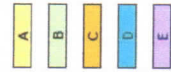
390

Categoria di suolo

B



Categorie di sottosuolo



CLASSIFICAZIONE DEL SITO

(DM 20/02/2018)

Vs-eq = 390 m/s

Categoria di suolo "B"

7. CARATTERI GEOTECNICI

Le indagini geofisiche ed il rilevamento geologico di superficie hanno consentito la ricostruzione del quadro litostratigrafico dell'area in esame. La stratigrafia relativa al sottosuolo è riportata in fig. 4.

La modellazione geotecnica del sottosuolo può essere riassunta attraverso i seguenti parametri:

Strato 1

- **Descrizione: materiali di riporto**
- **Spessore: 3.70 m**
- **Peso unità di volume (N/cm³)= 0.0176**
- **Costante di sottofondo Z (N/cm³)= 28.24**
- **Costante di sottofondo X (N/cm³)= 15.81**
- **Costante di sottofondo Y (N/cm³)= 15.81**
- **Resistenza di progetto allo SLU (N/mm²)= 0.10**
- **Angolo di attrito = 23°**
- **Coesione non drenata (N/mm²)= 0**
- **Coesione efficace (N/mm²)= 0**
- **Modulo edometrico (N/mm²)= 50**
- **Modulo elastico in condizioni non drenate (N/mm²)= 38.5**

Strato 2

- **Descrizione: calcareniti mediamente addensate**
- **Spessore: 2.80m**
- **Peso unità di volume (N/cm³)= 0.0186**
- **Costante di sottofondo Z (N/cm³)= 128.37**
- **Costante di sottofondo X (N/cm³)= 71.89**
- **Costante di sottofondo Y (N/cm³)= 71.89**
- **Resistenza di progetto allo SLU (N/mm²)= 0.24**
- **Angolo di attrito = 35°**
- **Coesione non drenata (N/mm²)= 0.008**
- **Coesione efficace (N/mm²)= 0.06**
- **Modulo edometrico (N/mm²)= 227.51**
- **Modulo elastico in condizioni non drenate (N/mm²)= 175.05**

COMUNE DI BARI

AMGAS - Via Accoltil Gil - Z.I.

Colonna litostratigrafica

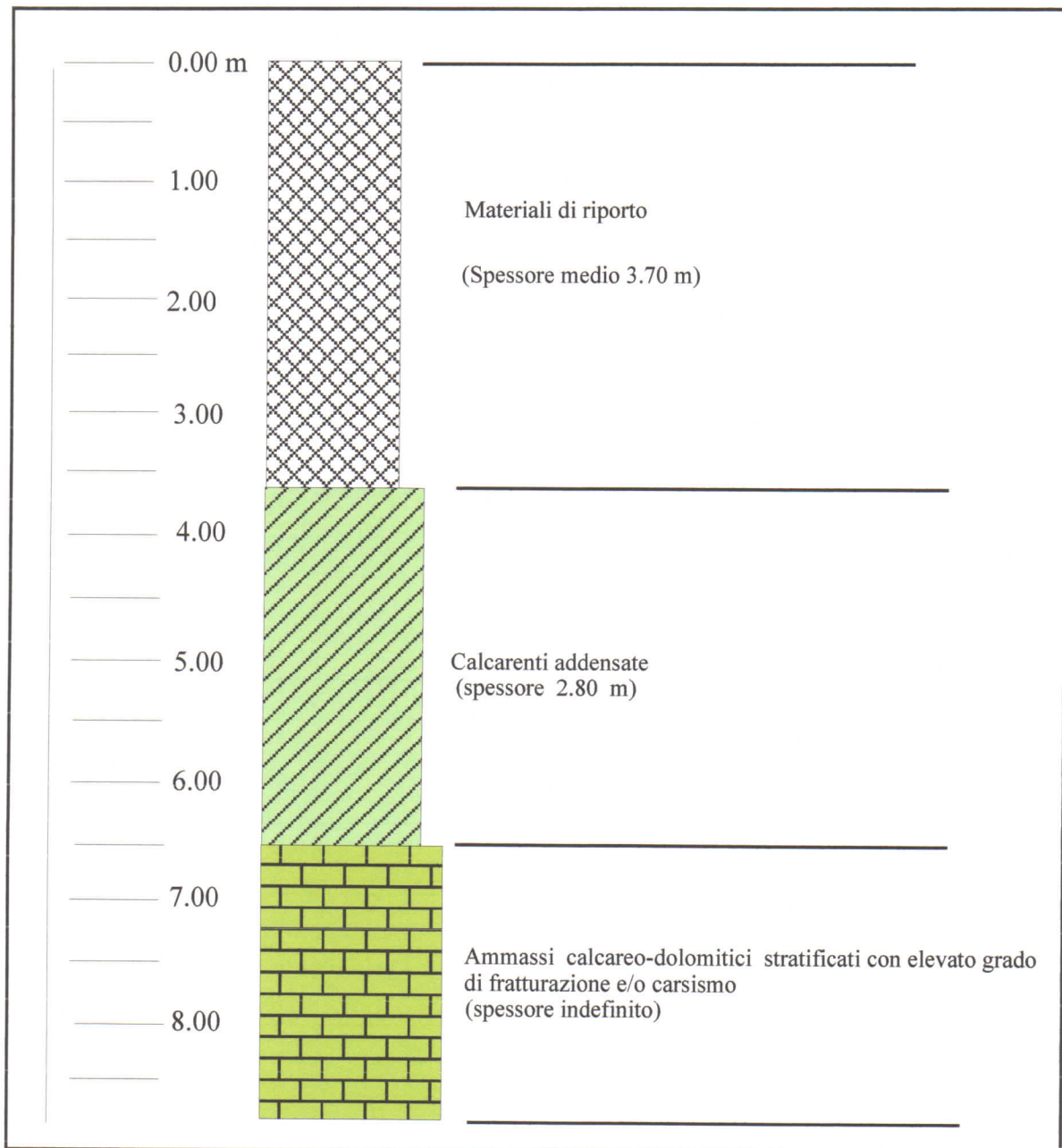


Fig. 4

Strato 3

- **Descrizione:** ammassi calcarei fratturati
- **Spessore:** indefinito
- **Peso unità di volume (N/cm³)= 0.022**
- **Costante di sottofondo Z (N/cm³)= 210.16**
- **Costante di sottofondo X (N/cm³)=327.9**
- **Costante di sottofondo Y (N/cm³)=327.9**
- **Resistenza di progetto allo SLU (N/mm²)=0.39**
- **Angolo di attrito =37°**
- **Coesione non drenata (N/mm²)=0.015**
- **Coesione efficace (N/mm²)=0.01**
- **Modulo edometrico (N/mm²)=372.65**
- **Modulo elastico in condizioni non drenate (N/mm²)=286.64**

Le fondazioni saranno collocate ad una profondità di circa 3.7 m dalla superficie topografica e si attesteranno sulle calcareniti mediamente addensate con livelli cementati.

Il modello geologico (Fig. 4) mostra, graficamente, la successione dei litotipi nei primi metri di profondità ed evidenzia la presenza del bedrock sismico ad una profondità di 6.50 m dal p.c..

Le indagini hanno rilevato un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

Il sottosuolo in esame si caratterizza in base alla normativa vigente (D.M. 20/02/2018) per valori di V_s -eq di 390 m/s; è pertanto, classificabile in base alla normativa vigente, in *Categoria "B"*.

Dal punto di vista della risposta sismica locale, così come dispongono le *Norme Tecniche per le Costruzioni*, si tratta di litotipi equivalenti a "*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*".

All'area includente l'immobile in considerazione è possibile attribuire la Categoria Topografica '*TI*'.

L'analisi della pericolosità sismica di base e della pericolosità sismica di sito valutata per i differenti 'Stati Limite' viene riportata nella specifica relazione sulla modellazione sismica.

Le conoscenze afferenti l'assetto geostratigrafico, idrogeologico e geotecnico dell'area su cui verrà realizzato l'intervento in oggetto, così come ampiamente descritte nei paragrafi precedenti, consentono di ritenere i terreni di fondazione idonei al progetto previsto.

Le computazioni del carico di rottura dei terreni di fondazione, in funzione dell'interazione terreno-struttura, da eseguirsi nella relazione geotecnica, potranno quantificare i *carichi limite* da tener presenti nel dimensionamento delle opere in progetto.



Andria, 15 Maggio 2018

dr. geol. Francesco Bartucci