

COMUNE DI SOLETO
Provincia di Lecce

LOCALITA': ZONA INDUSTRIALE - VIA BRUXELLES 44



Proprietà:

MACERO SUD di Luigi
Chirivì & C. S.a.s.

Progettista:

Dott. Ing. Massimo Corianò

Elaborato:
GEO IDRO 01

Data:
Novembre 2024

PROGETTO DI AMPLIAMENTO DI UN ESISTENTE IMPIANTO DI
RECUPERO E SMALTIMENTO DI RIFIUTI (ART. 208 D.LGS. 152 / 06 E S.M.I.)

RELAZIONE GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA

STUDIO GEOLOGICO LIGORI
GEOLOGIA - GEOTECNICA - AMBIENTE
Dott. Geol. Francesco Ligori

Via Roma 227 - 73013 Galatina
tel. 0836210018 cell. 3391215874

INDICE

1. Premessa.....	1
2. Ubicazione e caratteristiche generali dell'area.....	2
3. Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e strutturali	3
3.1 Tettonica.....	3
3.2 Stratigrafia.....	4
3.3 Geomorfologia.....	9
4. Caratteristiche idrogeologiche.....	10
4.1. Permeabilità dei litotipi	10
4.2. Struttura idrogeologica	15
4.3. Caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero	15
4.4. Vulnerabilità dell'acquifero	18
4.5. Ricostruzione ed interpretazione della morfologia piezometrica reale della falda profonda.....	20
5. Individuazione Pozzi di Monitoraggio	29
6. Caratterizzazione Geotecnica e Sismica.....	31
6.1. Indagine geofisica: Sismica a rifrazione.	31
6.2. Indagine geofisica: Tomografia elettrica di superficie (T.E.S.).	36
6.3 Caratterizzazione Geotecnica.	41
6.4.Caratterizzazione del suolo ai sensi del D.M. 17/01/18.....	46
6.5 Pericolosità sismica di base del sito – Parametri sismici-	55
7. Sintesi Conclusiva	61

1. Premessa

Con riferimento all'incarico professionale conferito dalla MACERO SUD di Luigi Chirivì & C. S.a.s., lo scrivente illustra i risultati dell'indagine geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica effettuata nell'area sede dell'azienda, situata nella Zona Industriale di Soleto, prospiciente Via Bruxelles, civico 44, lotti n. 333, 334, 337, 338 del Consorzio ASI Lecce, dove secondo il *“Progetto di ampliamento di un esistente impianto di recupero e smaltimento di rifiuti (art. 208 d.lgs. 152 / 06 e s.m.i.)”*, a firma dell'Ing. Massimo Corianò, la società richiede una variante sostanziale della propria attività autorizzata, prevedendo l'ampliamento dell'area (lotti n° 339, 340, 343, 344) ove esercitare l'attività di recupero/smaltimento rifiuti.

Sinteticamente, la variante di progetto riguarderà:

- l'ampliamento del lotto attualmente autorizzato;
- l'inserimento di nuovi codici CER, e rimodulazione complessiva dei quantitativi di stoccaggio istantaneo e di capacità annua;
- la realizzazione di un capannone industriale in struttura prefabbricata, una tettoia con struttura portante in metallo ed infine un fabbricato aderente al capannone, da adibire ad uffici e servizi;
- la realizzazione di locali da adibire ad uso tecnico (vano idrico ed antincendio);
- l'introduzione sul piazzale di un tritatore per rifiuti;
- la realizzazione di un ulteriore impianto di trattamento acque meteoriche, a servizio esclusivo della nuova area assegnata;
- la realizzazione di tutti gli impianti tecnologici necessari (idrico-fognante, elettrico, antincendio, videosorveglianza).

Al fine di completare ed integrare la documentazione geologico-idrogeologica sin ora allegata al progetto e di adempiere alle specifiche richieste di ARPA Puglia e del Servizio Tutela Ambientale e Transizione Ecologica della Provincia di Lecce, la MACERO SUD di Luigi Chirivì S.a.s., ha conferito allo scrivente, Dott. Geol. Francesco Ligori, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia con numero 325, l'incarico per la redazione della presente Relazione con il preciso intento di chiarire il locale assetto idrogeologico sulla base di dati di sito, in special modo per quanto attiene la ricostruzione, in un adeguato ambito circostante l'azienda, della attuale morfologia della superficie piezometrica della falda profonda e della locale direzione di deflusso delle acque sotterranee, al fine di una

corretta scelta della rete di monitoraggio della falda. Nella Sintesi conclusiva si è cercato di riassumere tutti gli aspetti relativi ai rilievi in ambito geologico-idrogeologico effettuati da ARPA Puglia e del Servizio Tutela Ambientale e Transizione Ecologica della Provincia di Lecce sia nei pareri di competenza che durante le Conferenze di Servizi.

2. Ubicazione e caratteristiche generali dell'area

L'area oggetto degli interventi ricade nella zona centro-occidentale del territorio di Soletto, al confine con quello di Galatina; si rinviene nella zona industriale dei due comuni ed è prospiciente su via Bruxelles. La superficie topografica nell'immediato intorno del sito ha quota media sul livello del mare pari a m 66.

Nella Carta d'Italia in scala 1:25.000 dell'Istituto Geografico Militare è rinvenibile nel Foglio 214, tavoletta II S.E. "Galatina" (area ex masseria Scalelle vedi FIG.1 - COROGRAFIA IGM-). Nella Carta Tecnica Regionale della Regione Puglia, redatta in scala 1:5000, il sito è rinvenibile nel foglio 512 "Lecce" elemento n.512153 denominato "Le Monache" (FIG.2 – COROGRAFIA C.T.R.).

Di seguito si riportano le coordinate geografiche dei due punti baricentrici riferiti all'impianto esistente ed alla parte in ampliamento espresse nel sistema di riferimento WGS84 UTM 33N:

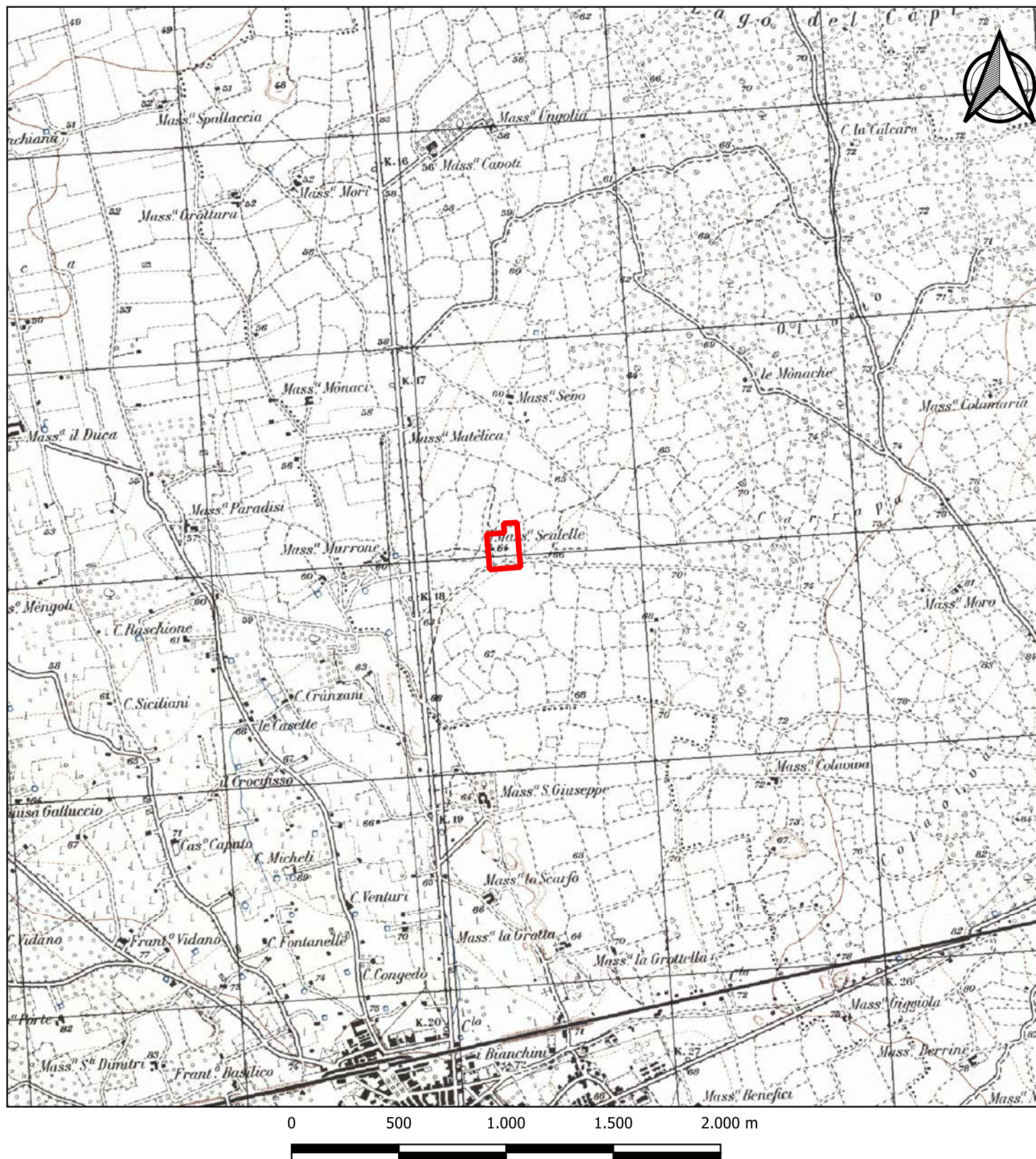
X: 770004.82 Est	Y: 4454874.58Nord	(esistente)
X: 770009.85 Est	Y: 4454796.23Nord	(di progetto)

L'area d'intervento risulta libera dai principali vincoli geologici, geomorfologici, idraulici e paesaggistici. Infatti nel vigente Piano Stralcio Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI), redatto dall'ex Autorità di Bacino della Regione Puglia oggi Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia, l'area d'intervento non ricade né in area a pericolosità idraulica, né in area a pericolosità geomorfologica e conseguentemente non ricade in area a rischio (FIG.3 - PERIMETRAZIONE PIANO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.))


Nella Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia, anch'essa redatta dall'ex Autorità di Bacino della Regione Puglia, il sito ricade nel foglio 512 -Lecce-; sia l'area d'impianto esistente che quella in ampliamento non sono interessati da emergenze e forme geomorfologiche di alcun tipo. (FIG.4 – CARTA IDROGEOMORFOLOGICA)

Per quanto attiene il vigente Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia (PPTR) il sito d'intervento e l'ambito a destinazione industriale che lo circonda non è interessato

FIG. 1 - COROGRAFIA IGM -



Legenda

 Area d'intervento

I.G.M.: Foglio 214 - Quadrante IV - Tavoletta S.E. Galatina

DATI CATASTALI: Comune di Soletto, Foglio 12 particelle 162, 274 (Impianto esistente)

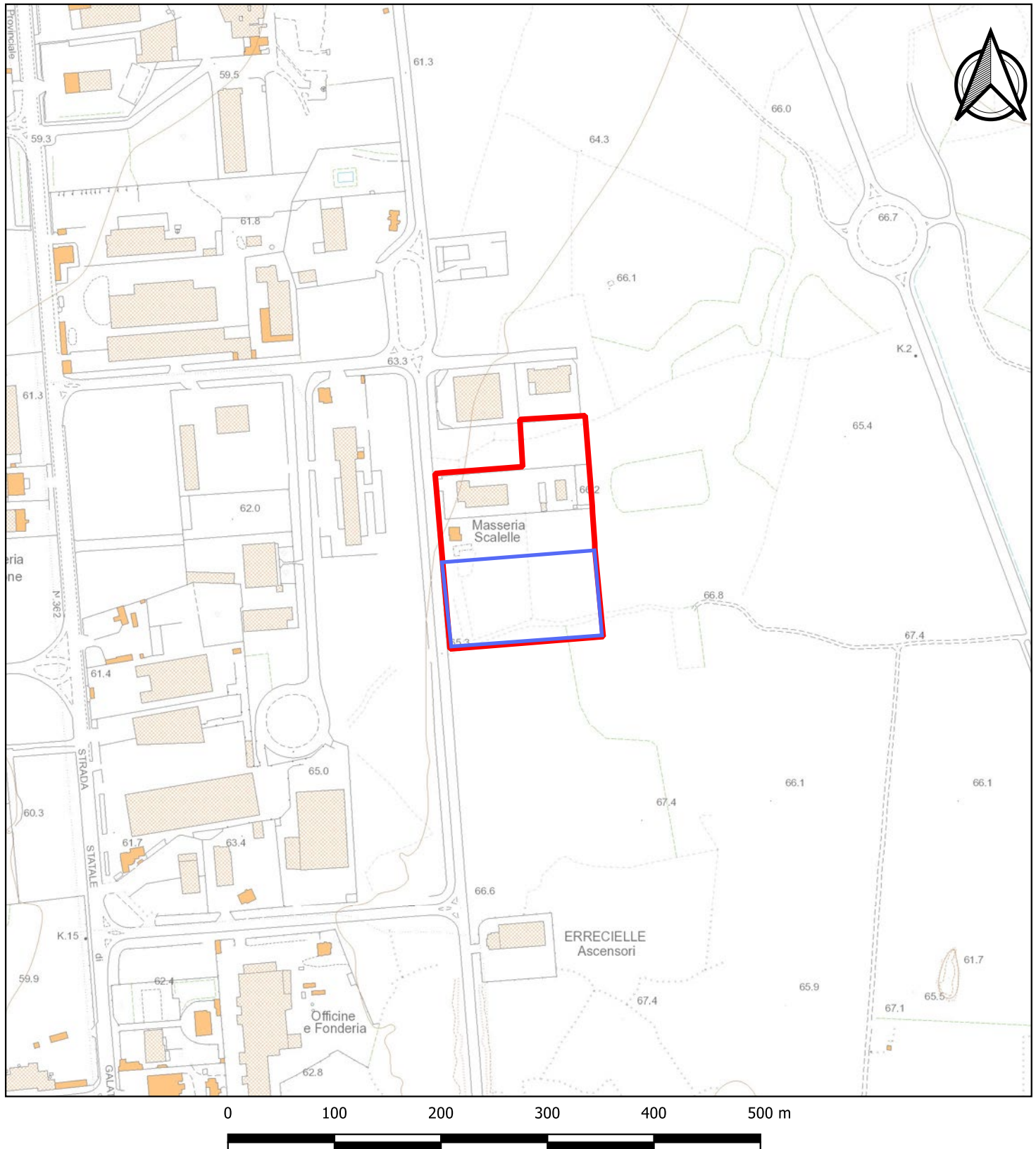
particelle 375, 376, 377, 378, 379, 372, 373, 285, 290, 284, 289, 369, 370 (Impianto in ampliamento).

RICHIEDENTE: MACERO SUD di Luigi Chirivì & C. S.a.s.

Coordinate geografiche di un punto baricentrico della parte in ampliamento nel sistema di riferimento

WGS 84 UTM 33 Nord: 770009.85 Est ,4454796.23 Nord

FIG. 2 - COROGRAFIA CARTA TECNICA REGIONALE PUGLIA 2006 -



Legenda

- Impianto
- Parte in ampliamento

Carta Tecnica Regione Puglia Foglio n.512 Lecce Elemento n.512153 Le Monache

FIG.3 -PERIMETRAZIONE PIANO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)



0 100 200 300 400 500 m



Legenda








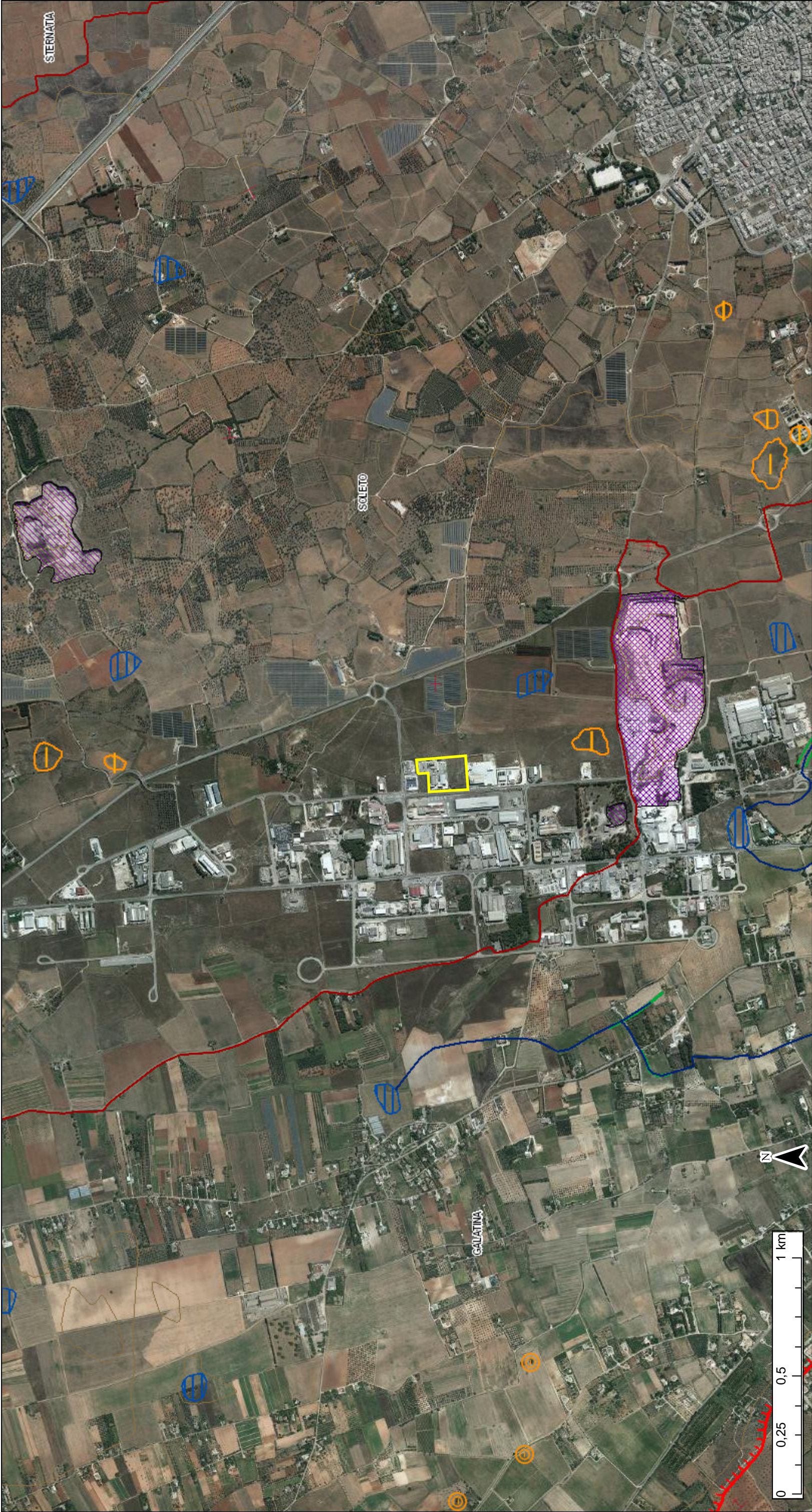
-  Area a pericolosità geomorfologica moderata PG1
-  Area a pericolosità geomorfologica elevata PG2
-  Area a pericolosità geomorfologica molto elevata PG3
-  Area a bassa pericolosità idraulica BP
-  Area a media pericolosità idraulica MP
-  Area ad alta pericolosità idraulica AP
-  Area d'intervento

FIG. 4 - CARTA IDROGEOMORFOLOGICA REGIONE PUGLIA

S.I.T. Puglia -- 13/11/2024



	Confini Comunali		Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede		Spiaggia sabbiosa-ciottolosa		Punto sommitale		500		Strati subverticali (>80°)		Faglia presunta
	Geosito		Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede		Opera di difesa costiera		<all other values>		600		Strati rovesciati		Area d'intervento
	Ingresso di grotta naturale		Falesia		Cordone Dunare		100		700		Strati contorti		
	Voragine, inghiottitoio o pozzo di crollo		Falesia con spiaggia ciottolosa al piede		Faraglione		1000		800		Asse di an ticlinale certo		
	Orlo di depressione carsica a morfologia complessa		Falesia con spiaggia sabbiosa al piede		0 - 100 m. s.l.m.		1100		900		Asse di anticlinale presunto		
	Dolina		Rias		100 - 300 m. s.l.m.		200		Strati suborizzontali (<10°)		Asse di sinclinale certo		
	Dolina		Spiaggia sabbiosa		300 - 700 m. s.l.m.		300		Strati poco inclinati (10°-45°)		Asse di sinclinale presunto		
	Costa rocciosa		Spiaggia ciottolosa		700 - 1200 m. s.l.m.		400		Strati molto inclinati (45° - 80°)		Faglia		

Ortofoto: riprese AGEA 2019

dalla presenza di beni paesaggistici di cui all'art. 134 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, né da ulteriori contesti di cui all'art. 143 co. 1 lett. e) del suddetto Codice . (FIG.5 – P.P.T.R.)

Secondo quanto indicato nella tavola C06 del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia, recentemente aggiornato con DCR n.154 del 23/05/2023, *-Aree di vincolo d'uso degli acquiferi-* il sito ricade nelle *Aree di tutela quali-quantitativa* in cui possono realizzarsi le opere di captazione per tutti gli usi previsti dalla norma. Inoltre secondo quanto indicato nella tavola C07 del PTA il sito non ricade in *Zona di protezione speciale idrogeologica* di alcun tipo ed in un vasto intorno dello stesso, non sono rinvenibili opere di captazione AQP di qualsiasi grado di priorità (vedi FIG.6 - P.T.A.).

3. Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e strutturali

3.1 Tettonica

La Penisola Salentina rappresenta, sotto i profili geodinamico e geostrutturale, l'estrema propaggine sud-orientale emersa dell'Avampaese apulo, regione posta ad oriente della catena appenninica e non ancora raggiunta dalla deformazione orogenica appenninica.

Essa è caratterizzata prevalentemente da affioramenti di rocce calcaree mesozoiche, la cui origine viene riferita allo sviluppo della cosiddetta “piattaforma carbonatica”, la Piattaforma Apula. Questa era un vasto altofondo intraoceanico, di esigua profondità, caratterizzato esclusivamente da sedimentazione carbonatica intrabacinala, cioè da un accumulo sedimentario non derivante da apporti esterni ma ricco di particelle costituite da carbonato di calcio che si deponevano sul fondo o per precipitazione diretta dalla colonna d'acqua o, in maniera preponderante, attraverso l'accumulo di resti di organismi marini a guscio o costituzione calcarei.

La regione è stata interessata, a partire dalla fine del Cretaceo, da una tettonica disgiuntiva che dislocando il basamento carbonatico ha dato luogo ad una struttura ad “horst” (serre) e “graben” (depressioni), con la conseguente deposizione di un ciclo sedimentario carbonatico-detritico di piattaforma aperta, risalente al Miocene, nonché un ciclo di avanfossa di età infrapleistocenica. Su tutti questi sedimenti si sono accumulati depositi marini terrazzati, di età da mediopleistocenica ad olocenica.

Una contemporanea tettonica plicativa ha interessato, oltre che il basamento carbonatico mesozoico, le formazioni di copertura, originando blande pieghe anticlinali e sinclinali.

FIG. 5 - P.P.T.R.

Sistema Informativo Territoriale - Regione Puglia -- 13/11/2024



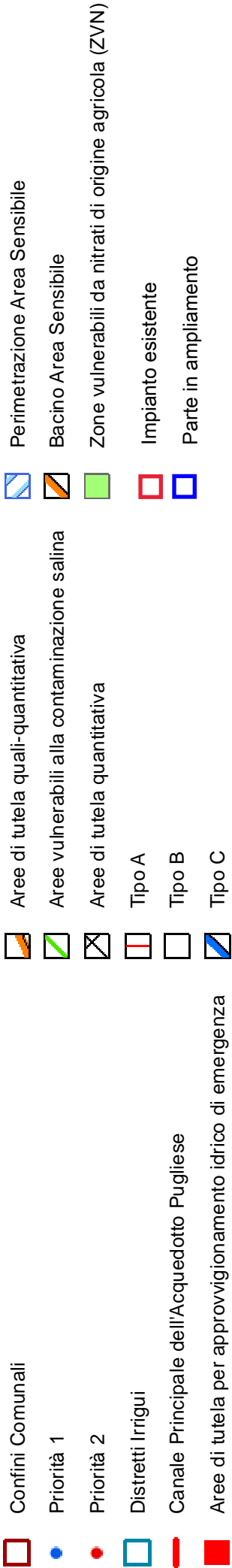
	Confini Comunali		Territori costieri		Zone gravate da usi civici		Citta consolidata
	Lame e gravine		Aree contermini ai laghi				Paesaggi rurali
	Doline		Fiumi e torrenti, acque pubbliche				Impianto esistente
	Geositi (fascia tutela)		Sorgenti				Parte in ampliamento
	Inghiottoi		Reticolo idrografico di connessione della R.E.R.				
	Cordoni dunari		Vincolo idrogeologico				
	Grotte		Boschi				
	Versanti		Zone umide Ramsar				

	ZSC		Aree di rispetto dei boschi				Zone gravate da usi civici
	ZPS_ZSC		Aree umide				Zone di interesse archeologico
	ZPS MARE		Prati e pascoli naturali				a - siti interessati da beni storico culturali
	ZSC MARE		Formazioni arbustive in evoluzione naturale				b - aree appartenenti alla rete dei tratturi
	ZPS_ZSC MARE		Aree e riserve naturali marine				c - aree a rischio archeologico
	Aree di rispetto dei parchi e delle riserve regionali		Parchi nazionali e riserve naturali statali				Rete tratturi
	Immobili e aree di notevole interesse pubblico		Parchi e riserve naturali regionali				Siti storico culturali
	Zone gravate da usi civici validate		ZPS				Zone interesse archeologico

Ortofoto: riprese AGEA 2019

FIG. 6 - PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE - PUGLIA

Sistema Informativo Territoriale - Puglia -- 13/11/2024



Il motivo caratteristico dell'ambito territoriale in studio è dato da horst e graben allungati grossomodo in direzione nordovest-sudest.

Il sito oggetto di studi è collocato al margine occidentale della “Serra di Soleto e Corigliano”, un alto strutturale avente asse d’allungamento di direzione nordovest-sudest. All’attuale configurazione dell’area hanno contribuito, numerosi fasi tettoniche sino al tardo Miocene ed al Pleistocene. Un sistema di faglie di tipo distensivo, anch’esso orientato secondo la direzione nordovest-sudest, ha scompaginato sia il rigido substrato mesozoico sia le coperture mioceniche. La dorsale è bordata da depressioni di origine tettonica ad essa parallele, colmate da una successione di depositi calcareo-calcarenitici e sabbiosi di età da miocenica a plio-pleistocenica.

3.2 Stratigrafia

Di un adeguato intorno dell’area in oggetto, è stato eseguito un rilevamento geologico/geomorfologico di dettaglio, nel corso del quale sono state individuate le diverse unità geologiche e riportati i limiti dei vari affioramenti in superficie.

Ai fini del presente lavoro si è ritenuto opportuno evidenziare oltre agli aspetti geologici anche quelli litologici e geotecnici delle varie formazioni affioranti, rimandando per la descrizione biostratigrafica e per le caratteristiche paleontologiche alle numerose pubblicazioni specializzate esistenti.

I risultati di tale indagine sono stati cartografati in FIG. 7 -CARTA GEOMORFOLOGICA-redatta in scala 1:10.000 sulla base topografica della storica Carta Tecnica della Provincia di Lecce.

Dal basso verso l’alto, in senso cronologico, è stata riconosciuta la seguente successione litostratigrafica:

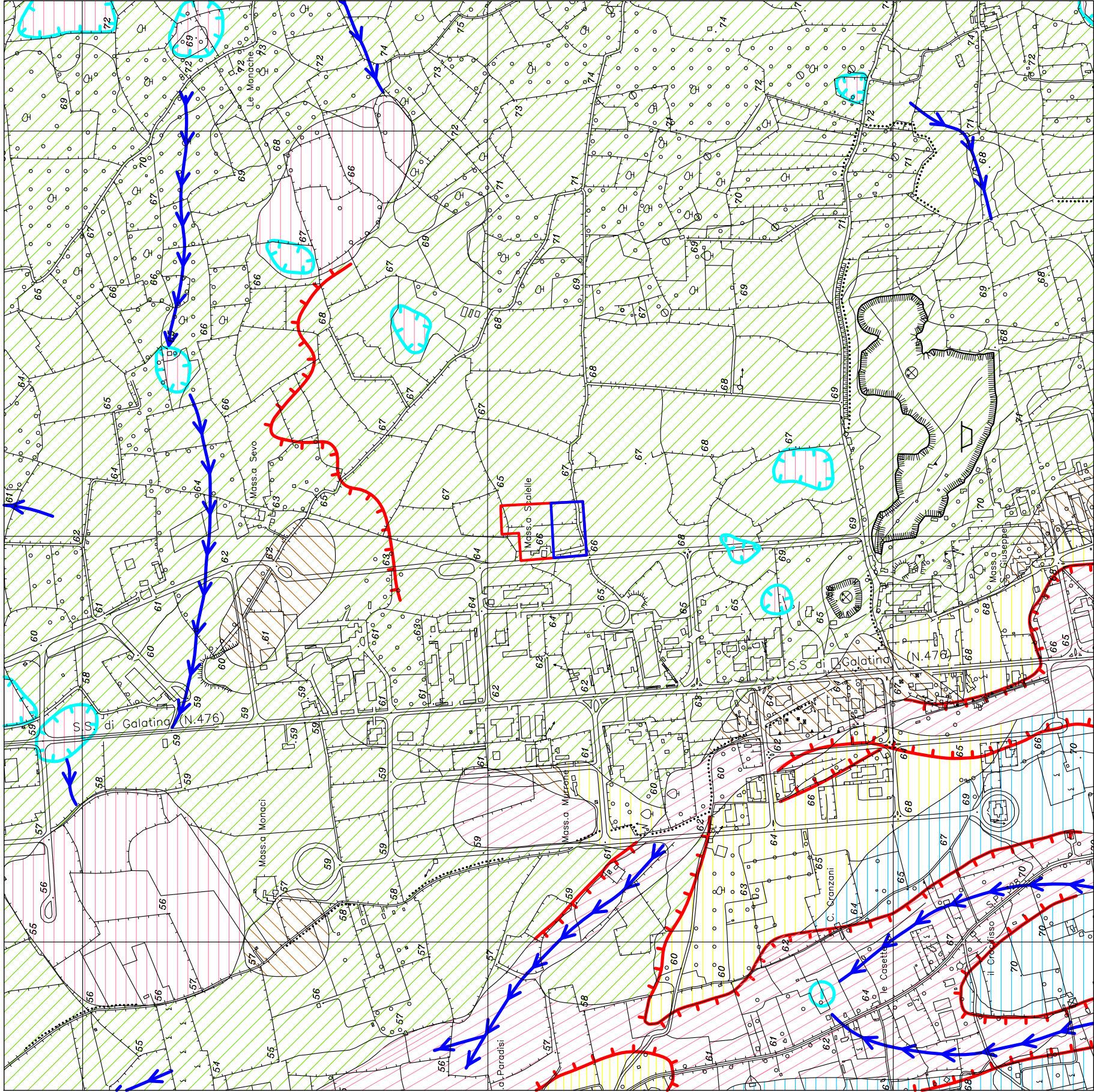
a)DEPOSITI CRETACEI DI PIATTAFORMA INTERNA:

Calcare di Altamura (Cretaceo)

Rappresenta il basamento dell’intera regione ed è costituito da una potente successione carbonatica il cui affioramento condiziona l’area d’intervento e la gran parte del territorio cartografato.

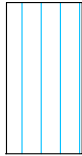
L’unità è costituita da una serie di strati a composizione calcarea, calcareo-dolomitica e dolomitica, a struttura subsaccaroide e sovente vacuolare, alternantisi con calcari micritici e

Fig. 7 - CARTA GEOMORFOLOGICA - scala 1:10.000



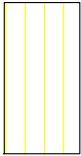
LEGENDA

LITOLOGIA

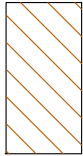


Sabbie più o meno argillose passanti inferiormente ad argille. Pleistocene medio superiore.

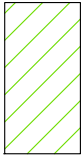
DEPOSITI MARINI TERRAZZATI.



Calcareniti. Pliocene medio (?) - Pleistocene inf. CALCARENITE DI GRAVINA.



Calcareniti marnose. Miocene. PIETRA LECCESE.



Calcari, calcari dolomitici e dolomie. Cretaceo. CALCARE DI ALTAMURA.

IDROGRAFIA



Linea di preferenziale deflusso superficiale delle acque.

MORFOLOGIA



Ciglio di gradino morfologico con pendenza nel verso dei trattini.

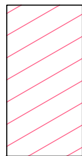


Dolina e/o depressione doliniforme.



Voragine.

DEPOSITI DOVUTI ALL'AZIONE DELLE ACQUE



Depositi alluvionali costituiti prevalentemente da sabbie e argille.

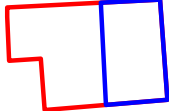


Depositi eluviali costituiti prevalentemente da "terra rossa".

FORME ANTROPICHE



Cava.



Area oggetto dell'intervento (in blu la parte in ampliamento)

bioclastici, talora brecciati. Il colore varia in relazione alla composizione chimica: dal grigio al nocciola per i banchi dolomitici fino al bianco per gli strati in cui la percentuale di carbonato di magnesio è minima rispetto a quella di carbonato di calcio. La giacitura è generalmente orizzontale o sub-orizzontale; non è infrequente però che in alcune cave circostanti l'area si riescano a ritrovare strati con immersione in direzione ovest-sud-ovest e inclinazione contenuta entro i 10°.

Dal punto di vista petrografico i calcari sono rappresentati in prevalenza da intramicriti, talora fossilifere, e da biomicriti intraclastiche.

Calcari, calcari dolomitici e dolomie si presentano variamente fessurati e carsificati con possibili inclusioni di terra rossa nelle fratture e cavità carsiche. Le proprietà meccaniche di questi litotipi, pertanto, sono notevolmente condizionate dal grado di incarsimento e fessurazione.

In generale per tali litotipi possono assumersi i seguenti parametri geomeccanici:

- peso dell'unità di volume $\gamma=19\div25.5 \text{ kN/m}^3$;
- grado di compattezza $0.9\div0.97$;
- carico unitario a rottura per compressione monoassiale $\sigma_a(\text{ult})=49\div196 \text{ MN/m}^2$.

La velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali, relativamente bassa (1.000-2.300 m/s) negli strati superficiali (3-5 dal p.c.) a causa di un diffuso carsismo epidermico, aumenta con la profondità fino a valori di 3.500-4.000 m/s, tipici del calcare quasi integro.

La successione descritta è indicata nella seconda edizione della Carta Geologica d'Italia, pubblicata dal Servizio Geologico Nazionale, con il nome formazionale di Dolomie di Galatina, la cui età, in base alle Note illustrative della stessa C.G.I., è generalmente attribuita all'intervallo Cenomaniano-Turoniano inf.. In accordo con quanto suggerito da numerosi autori, allo scopo di snellire la nomenclatura stratigrafica del territorio pugliese, si è preferito adottare il termine Calcare di Altamura in considerazione delle strette analogie stratigrafiche, di facies e di età, con la formazione codificata nell'area murgiana.

b) DEPOSITI MIOCENICI DI MARGINE E DI PIATTAFORMA APERTA:

Pietra Leccese (Burdigaliano –Messiniano inf.)

Questa unità affiora poco a nord-ovest, poco a sud-ovest ed a sud dell'area d'intervento ed è diffusamente presente nel sottosuolo, laddove non affiora il basamento cretaceo, condizionando notevolmente la circolazione idrica ipogea.

Si tratta di una calcarenite marnosa di colore biancastro tendente al giallo, che si presenta generalmente a stratificazione indistinta o in grosse bancate. Se affiorante, assume proprietà tali da rappresentare una varietà denominata *leccese mazzaro* (struttura eterogenea e talvolta brecciforme, notevole compattezza, peso specifico elevato); dove invece è ricoperta dalle calcareniti plio-pleistoceniche è caratterizzata da una notevole anisotropia, poiché si presenta a struttura sabbioso-arenacea con durezza e tenacità molto variabili, oppure è costituita da un'alternanza di calcari detritici biancastri, vacuolari, calcareniti biancastre fossilifere e calcareniti marnose.

Alla base della formazione, a contatto con il calcare cretaceo, si rinvencono spesso banchi di lignite, d'argilla grigio-giallastra o depositi bauxitici (*bolo*).

Per caratteristiche paleontologiche la parte inferiore dell'unità può appartenere al Langhiano e quella superiore all'Elveziano-Tortoniano (Miocene).

I principali parametri geotecnici della Pietra leccese sono:

- peso dell'unità di volume $\gamma=15.4\div16 \text{ kN/m}^3$;
- grado di compattezza $0.57\div0.62$;
- carico unitario a rottura per compressione monoassiale $\sigma_{(ult)}=3.9\div11.7 \text{ MN/m}^2$;
- velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali $1600\div2500 \text{ m/s}$.

La successione descritta è indicata nella seconda edizione della C.G.I., pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia, con la stessa denominazione formazionale.

c) DEPOSITI DEL CICLO PLIO-PLISTOCENICO DELLA FOSSA BRADANICA:

Calcarenite di Gravina (Pliocene medio-Pleistocene inferiore)

In trasgressione sulle formazioni più antiche affiorano depositi marini costituiti da calcareniti organogene in grossi banchi. Si tratta di sedimenti calcareo-detritici, a granulometria da media a grossolana, di norma friabili e porosi, che rappresentano la fase di apertura del ciclo sedimentario quaternario. L'unità è denominata "Calcarenite di Gravina".

Nelle zone topograficamente depresse le calcareniti, volgarmente denominate “*tufo*”, sono ricoperte dai depositi sciolti più recenti.

Lo spessore massimo riscontrato è dell'ordine di m 20. Considerazioni di tipo paleontologico indicano per questi litotipi un'età compresa tra il Pliocene medio e il Pleistocene inferiore.

Le caratteristiche meccaniche generali sono state ricavate da numerose prove in sito e di laboratorio su litotipi affioranti in diverse località del territorio di Galatina:

- peso dell'unità di volume (γ) compreso tra 14.7 e 17.7 kN/m³;
- grado di compattezza 0.48-0.70;
- coefficiente d'imbibizione riferito al volume 0.30-0.35
- carico unitario a rottura per compressione monoassiale $\sigma_{a(ult)}=1.2\div3.9$ MN/m².

Relativamente alla velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali, indicative delle caratteristiche fisico-meccaniche dell'ammasso roccioso, nelle facies calcarenitiche si distinguono tre distinti campi di valori: 2.0-2.5 km/s per le calcareniti tenaci, 1.0-2.0 km/s per le calcareniti mediamente cementate e 0.9-1.0 km/s per le calcareniti poco cementate. Tali valori tendono ad aumentare sino a 2.6 km/s oppure a decrescere sino a 0.5 km/s a seconda che le calcareniti siano molto tenaci o che esse siano assimilabili a sabbioni calcarei.

La successione descritta è indicata nella seconda edizione della C.G.I., pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia, con la denominazione formazionale Calcareniti del Salento.

d) DEPOSITI MARINI TERRAZZATI (*Pleistocene medio – superiore*)

Questi depositi, affioranti nella zona centrale dell'abitato e a ovest e sud-ovest del sito d'intervento, sono stati riconosciuti e cartografati per la prima volta da Ciaranfi et al.¹ (1988) e sono da porre in relazione a differenti brevi cicli sedimentari trasgressivo - regressivi.

Essi sono costituiti prevalentemente da sabbie calcaree più o meno argillose passanti inferiormente a limi argillosi e/o argille limose con livelli di sabbie fini alla base, di colore compreso fra il giallo ocra e il verde-grigiastro. Sovente, però, a tale successione piuttosto

⁽¹⁾ CIARANFI N. – PIERI P. – RICCHETTI G. (1988) – Nota alla Carta Geologica delle Murge e del Salento (Puglia Meridionale) – Mem. Soc. Geol. It. 41, 449-460 – Roma.

uniforme si sostituisce un'alternanza di livelli argillosi, argilloso-limosi, limoso-sabbiosi e sabbiosi che si susseguono senza alcun ordine apparente.

In seno a detta successione i livelli più grossolani tendono tuttavia a prevalere nella parte superiore, dove sono frequenti anche livelli corticali ciottolosi calcarenitici e livelli arenacei discontinui.

Per i terreni incoerenti i principali parametri geotecnici sono:

- peso dell'unità di volume: $\gamma=18.6\div19.6 \text{ kN/m}^3$;
- angolo di attrito $\varphi=27^\circ\div40^\circ$;
- pressione limite $P_l=6\div13 \text{ bar}$;
- modulo pressiometrico $E_p=42\div190 \text{ bar}$.

Per i terreni coesivi:

- peso dell'unità di volume $\gamma=19.8\div20.5 \text{ kN/m}^3$;
- coesione non drenata $c_u=24\div98 \text{ kN/m}^2$;
- coesione efficace $c'=4.9\div29 \text{ kN/m}^2$;
- angolo di attrito efficace $\varphi'=5^\circ\div16^\circ$;
- modulo edometrico $E'=2.4\div30 \text{ MN/m}^2$.

La successione descritta è indicata nella seconda edizione della C.G.I., pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia, con il nome formazionale di Formazione di Gallipoli.

e) Depositi Alluvionali

Nei pressi dei canali che attraversano l'area galatinese e nelle aree depresse, si rinvencono spessori anche metrici di sedimenti prevalentemente limoso-argillosi di colore rossastro che sono il risultato dell'accumulo operato dalle acque superficiali. Questi sedimenti occupano prevalentemente le aree depresse e la loro litologia dipende essenzialmente da quella dei terreni attraversati dalle acque superficiali: argillosa, sabbiosa e ciottolosa a seconda che vengano dilavate argille, sabbie o calcareniti e calcari. Affioranti poco a ovest del sito d'intervento in una lunga fascia che borda la dorsale mesozoica, si rinvencono con spessori variabili dal poche decine di centimetri a diversi metri. I principali parametri geotecnici sono:

- peso unità di volume $\gamma=17,65\div19,61 \text{ kN/m}^3$;
- angolo di attrito $\varphi=28^\circ\div32^\circ$;
- coesione non drenata $c_u=49\div147.1 \text{ kN/m}^2$;

- coesione efficace $c' = 14.7 \div 19.6 \text{ kN/m}^2$;
- pressione limite $Pl = 7 \div 11 \text{ bar}$;
- modulo pressiometrico $Ep = 43 \div 103 \text{ bar}$.

3.3 Geomorfologia

Per quel che concerne gli aspetti geomorfologici, l'area d'intervento non presenta particolarità di rilievo e non si osservano fenomeni evolutivi in atto. Il territorio ha un assetto tabulare che digrada dolcemente verso nord-ovest ove si rinvergono due blande incisioni fluviali entro cui scorrono linee di deflusso delle acque meteoriche una delle quali recapita nella voragine/inghiottitoio di località Cranzani.

L'area d'intervento si attesta ad una quota media pari a circa $66 \div 67 \text{ m}$ sul l.m.m e ricade in una fascia di territorio situata a nord di Galatina, in cui sono ben visibili gli effetti del carsismo superficiale che interessa il basamento calcareo mesozoico affiorante. Numerose sono infatti le forme di dissoluzione carsica presenti in un ampio intorno del sito di intervento e nell'area rilevata che si presentano quasi esclusivamente sotto forma di voragini, come quella presente a sud-ovest del sito in località Cranzani (*Vora te li Cranzani*) e quella a sud del sito in località Grotta (sebbene alterata da successivi lavori di realizzazione del recapito finale fogna bianca), ma soprattutto di doline e depressioni doliniformi circolari e sub-circolari il cui fondo è occupato da spessori, talvolta consistenti, di depositi rossastri di origine prevalentemente eluviale.

4. Caratteristiche idrogeologiche

I risultati delle indagini finalizzate all'accertamento della situazione idrogeologica evidenziano come nelle illustrate unità litostratigrafiche la circolazione idrica sotterranea si espliciti con modalità differenti a seconda che si tratti dei depositi appartenenti alla copertura post-cretacea o alla litofacies carbonatica del Mesozoico.

4.1. Permeabilità dei litotipi

Fondamentale per lo studio delle caratteristiche idrogeologiche è la conoscenza della permeabilità dei litotipi presenti poiché da essa dipendono principalmente la percolazione e la circolazione delle acque nel sottosuolo.

È opportuno precisare che dal punto di vista idrogeologico le rocce possono essere distinte in permeabili ed impermeabili, in relazione alla loro attitudine a lasciarsi attraversare dai fluidi. Le rocce permeabili possono esserlo per porosità, per fessurazione e carsismo o per tutti questi motivi contemporaneamente.

Dal punto di vista fisico la permeabilità di un sedimento può essere espressa attraverso un coefficiente k (coefficiente di permeabilità) avente le dimensioni di una velocità (cm/s). Una roccia è considerata permeabile quando $k \geq 10^{-7}$ cm/s; per valori inferiori la roccia è ritenuta praticamente impermeabile.

Si è cercato di attribuire a ciascun litotipo affiorante o presente nel sottosuolo dell'area in esame un certo grado di permeabilità deducendolo direttamente da prove eseguite per la misura del coefficiente di permeabilità o indirettamente dalla osservazione e correlazione di diversi elementi come porosità, fessurazione, spessore, giacitura, grado di incarsimento, valori delle cadenti piezometriche ecc.

La sequenza geolitologica descritta comprende rocce permeabili per porosità, per fessurazione o per entrambe.

La permeabilità del primo tipo, pur con grado variabile localmente in relazione all'assortimento granulometrico ed al grado di diagenesi del sedimento, è tipica degli ammassi calcarenitici.

Nell'ambito delle litofacies calcarenitiche i terreni di età plio-pleistocenica vanno distinti da quelli di età miocenica. Nei depositi plio-pleistocenici, fossiliferi, a struttura estremamente porosa e grana media-grossolana, il grado di permeabilità può ritenersi nel complesso

discreto poiché il relativo coefficiente di permeabilità, normalmente, si aggira intorno a valori compresi tra 10^{-2} e 10^{-4} cm/s.

La permeabilità delle litofacies mioceniche, in special modo quella della tipica “Pietra leccese”, risulta, per contro, pressoché nulla o estremamente ridotta per via di un non trascurabile contenuto argilloso e un più elevato grado di diagenesi. Il suo ruolo di impermeabile relativo viene tuttavia condizionato negativamente dalle soluzioni di continuità derivanti da frequenti eteropie di facies o da discontinuità tettoniche che gli conferiscono permeabilità mista. Frequentemente il coefficiente di permeabilità k varia tra 10^{-5} e 10^{-7} cm/s.

Risulta invece difficilmente quantificabile la permeabilità dei calcari, calcari dolomitici e dolomie a causa dell’elevata eterogeneità del mezzo acquifero. Essa dipende dalla distribuzione e percentuale delle litoclasti che non di rado raggiungono il 15% a cui bisogna aggiungere la porosità intrinseca della roccia. Tuttavia lo stato di fratturazione e di incarsimento, l’assenza di “bolo” che gioca un ruolo determinante nel modificare la permeabilità del mezzo, la bassissima cadente piezometrica, le trascurabili depressioni del livello della falda determinate da emungimenti anche cospicui, fanno ritenere piuttosto elevata la permeabilità della formazione.

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità dei litotipi che costituiscono l’immediato sottosuolo del sito di progetto è stata presa in considerazione, una prova di assorbimento a carico variabile in pozzetto superficiale effettuata dallo scrivente nei pressi di via Portogallo il 14/11/2023 previa escavazione di un pozzetto a sezione quadrata avente lato di m 1.50 ed altezza di m 1.20 (foto 1).

Il rilievo effettuato sui fronti di roccia visibili a seguito dell’apertura dello scavo evidenzia che il pozzetto per i primi 0.8 m è scavato in parte nelle dolomie grigie fratturate (fondo, fianco sud ed est-vedi foto 1 e 2) ed in parte nei depositi eluviali (terra rossa-fianchi nord e ovest foto 1) che ricoprono il badrock mesozoico e che nel fianco settentrionale hanno provocato fenomeni di franamento costringendo all’allargamento del pozzetto oltre la consueta misura di m 1×1; per i restanti 0.4 m il pozzetto è scavato in materiale di riporto frammisto a terreno vegetale.

Prima della prova si è proceduto all’immissione di acqua nel pozzetto in modo da saturare adeguatamente l’intorno.



Foto 1- Pozzetto -



Foto 2- Dolomie di colore variabile fra il grigio ed il grigio scuro in blocchi fratturati e tenaci
Successivamente il pozzetto è stato riempito d'acqua per un'altezza massima pari 0.62 m dal fondo ed è stato misurato l'abbassamento del livello in funzione del tempo (foto 4-5); si fa rilevare che il riempimento è stato interrotto a tale altezza in quanto si è constatato che

la continua immissione non produceva innalzamenti del livello, probabilmente a causa di una frattura nei depositi sciolti poco stabili del fianco nord .



Foto 3- Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto - riempimento



Foto 4- Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto -

Assimilando lo scavo realizzato ad un pozzetto a base quadrata avente la stessa superficie e lato di 1.50 m, le misure eseguite hanno consentito di calcolare il coefficiente di permeabilità, k , del terreno mediante la relazione, valida per pozzetti a base quadrata e per prove a carico variabile:

$$k = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \times \frac{1 + \left(\frac{2h_m}{b} \right)}{\left(\frac{27h_m}{b} \right) + 3} \text{ cm/s}$$

dove:

- h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto (cm);
- b = lato di base del pozzetto (cm);
- $t_2 - t_1$ = intervallo di tempo durante il quale si è misurato l'abbassamento del livello dell'acqua nel pozzetto (sec);
- $h_2 - h_1$ = variazione del livello dell'acqua nel pozzetto nell'intervallo di tempo $t_2 - t_1$.

Relativamente alla prova effettuata nel pozzetto, in 130 minuti ($t_2 - t_1 = 7800$ s) si è registrata una variazione del livello dell'acqua nel pozzetto di 0.62 metri ($h_2 - h_1 = 62$ cm).



Foto 5- Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto – pozzetto vuoto dopo 130 minuti

La circolazione idrica si esplica generalmente a pelo libero secondo livelli idrici preferenziali coincidenti con orizzonti rocciosi carsificati, a partire da quote di poco superiori all'orizzonte marino; ciò avviene nell'area d'intervento ed in gran parte della zona industriale di Galatina Soletto (FIG.8 -SEZIONE IDROGEOLOGICA SCHEMATICA). È possibile però che in ristrette aree dell'ambito in studio, ad esempio la zona circostante via Portogallo, la presenza di dolomie calcaree compatte, tenaci e poco fratturate, e pertanto a ridotta permeabilità, sino a ben oltre il livello del mare, crei le condizioni per cui la falda è rinvenibile in pressione a profondità ben oltre il livello medio marino (circa -15 m al di sotto del l.m.m).

L'alimentazione idrica della falda si compie per infiltrazione diffusa delle precipitazioni ricadenti sugli affioramenti permeabili, ovvero concentrata laddove le acque di ruscellamento vengono drenate nel sottosuolo ad opera di apparati carsici.

E' un acquifero tipico delle regioni peninsulari dove è diffuso il fenomeno del galleggiamento dell'acqua dolce di falda su quella marina, di maggiore densità, di invasione continentale.

Per fattori connessi alle modalità di alimentazione e di scarica la falda assume una sezione lenticolare, con spessori massimi verso l'entroterra. La superficie teorica di separazione tra i due liquidi a diversa densità è chiamata interfaccia.

La legge di Ghyben-Herzberg regola, nella ipotesi di assenza di deflusso, l'equilibrio acqua dolce-acqua salata:

$$h = \frac{d_f}{d_m - d_f} t$$

Nella formula si designano:

t - altezza del livello di falda sul livello del mare

h - profondità dell'interfaccia dal livello del mare

d_m - densità dell'acqua di mare

d_f - densità dell'acqua dolce di falda

Lo spessore della falda e la profondità dell'interfaccia risultano pertanto correlate all'altezza della superficie freatica sul livello del mare e alla densità dei due liquidi. Se si pone

$$d_m = 1.028 \text{ g/cm}^3$$

$$d_f = 1.0028 \text{ g/cm}^3$$

Fig.8-SEZIONE IDROGEOLOGICA SCHEMATICA-

Committente MACERO SUD di Luigi Chirivì & C. S.a.s.	Profondità raggiunta m 170	Quota Ass. P.C. m 66	Pagina
Operatore	Indagine Sezione idrogeologica schematica	Note1 Caratterizzazione idrogeologica piano di monitoraggio	

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	Falda	Note
		Terreno vegetale	0.50		
5					
10		Calcari e calcari dolomitici di colore variabile fra il bianco ed il grigio intensamente fratturati anidri. Calcare di Altamura C.G.I. Dolomie di Galatina (Cretaceo sup.)			
15					
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					
60			63.97	63.97	Livello statico falda profonda (+ 2.03 m.s.l.m)
65		Calcari e calcari dolomitici di colore variabile fra il bianco ed il grigio intensamente fratturati con acqua. Calcare di Altamura C.G.I. Dolomie di Galatina (Cretaceo sup.)			63.97
70					
75					
80					
85					
90					
95					
100					
105					
110					
115					
120					
125			128.00		
130		Calcari e calcari dolomitici di colore variabile fra il bianco ed il grigio intensamente fratturati con acqua salmastra (Zona di Transizione) . Calcare di Altamura C.G.I. Dolomie di Galatina			
135					
140			144.00		
145		Calcari e calcari dolomitici di colore variabile fra il bianco ed il grigio intensamente fratturati con con acqua salata di intrusione marina. Calcare di Altamura C.G.I. Dolomie di Galatina			
150					
155					
160			167.00		

N.B. C.G.I.= Carta Geologica d'Italia del Servizio Geologico Nazionale

Il tecnico



si ottiene che

$$h \approx 40 \text{ t}$$

Limitatamente all'area d'intervento, in base alle misure eseguite l'11/11/2024 nel pozzo aziendale (foto 6-7) si è ottenuto che l'altezza piezometrica sul livello del mare nell'area d'intervento risulta pari a circa m 2.03, per cui la soggiacenza della falda è pari a m 63.97 mentre lo spessore dell'acquifero è orientativamente valutabile in m 80.



Foto 6 e 7 – Misura piezometrica nel pozzo aziendale (Pozzo n. 12 - 11/11/2024)

La salinità dell'acqua di falda, minima nei primi metri, cresce con la profondità, pur conservando, entro i 4/5 del suo spessore, un tenore salino inferiore a 5 g/l. Nel quinto successivo essa si innalza rapidamente fino ai valori caratteristici dell'acqua marina.

Per il sito di progetto, avente quota topografica media di circa 66 m, può teoricamente ritenersi che la zona di transizione occupi gli ultimi 16 m dell'acquifero e sia pertanto compresa tra le profondità di 128 e 144 m dal piano di campagna.

Come detto in precedenza secondo quanto indicato nella tavola C06 del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia, recentemente aggiornato con DCR n.154 del 23/05/2023, *-Aree di vincolo d'uso degli acquiferi-* il sito ricade nelle *Aree di tutela quali-quantitativa* in cui possono realizzarsi le opere di captazione per tutti gli usi previsti dalla norma. Inoltre

secondo quanto indicato nella tavola C07 del PTA il sito non ricade in *Zona di protezione speciale idrogeologica* di alcun tipo (vedi Fig. 6).

Per quanto riguarda la piezometria della falda, la TAV. C05 del P.T.A., della quale l'allegata FIG.9 -DISTRIBUZIONE MEDIA DEI CARICHI PIEZOMETRICI DEGLI ACQUIFERI - costituisce parziale riproduzione, indica che nell'area oggetto di studio, la morfologia della superficie piezometrica dell'acquifero, compresa tra le isopieze 2 e 3 m. s.l.m., risulta interessata da un alto idrogeologico centrato sull'abitato di Galatina.

La direzione preferenziale del deflusso sotterraneo, nell'area d'intervento, risulta orientata verso da est verso ovest e più generalmente verso la costa ionica.

Le sinuosità riscontrabili nelle isofreatiche sono indicative di locali eterogeneità dell'acquifero in relazione a difformi condizioni di fratturazione ed incarsimento dell'ammasso carbonatico.

La TAV. C05 del P.T.A. pur essendo l'unico riferimento ufficiale e pur essendo di largo uso per la determinazione delle direzioni di flusso delle acque di falda, ha forti limiti di attendibilità sia perché realizzata sulla base di un numero di misure non particolarmente elevato in rapporto al territorio considerato, sia perché realizzata in un contesto di alimentazione ben diverso da quello attuale caratterizzato da un prolungato periodo di siccità.

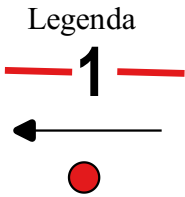
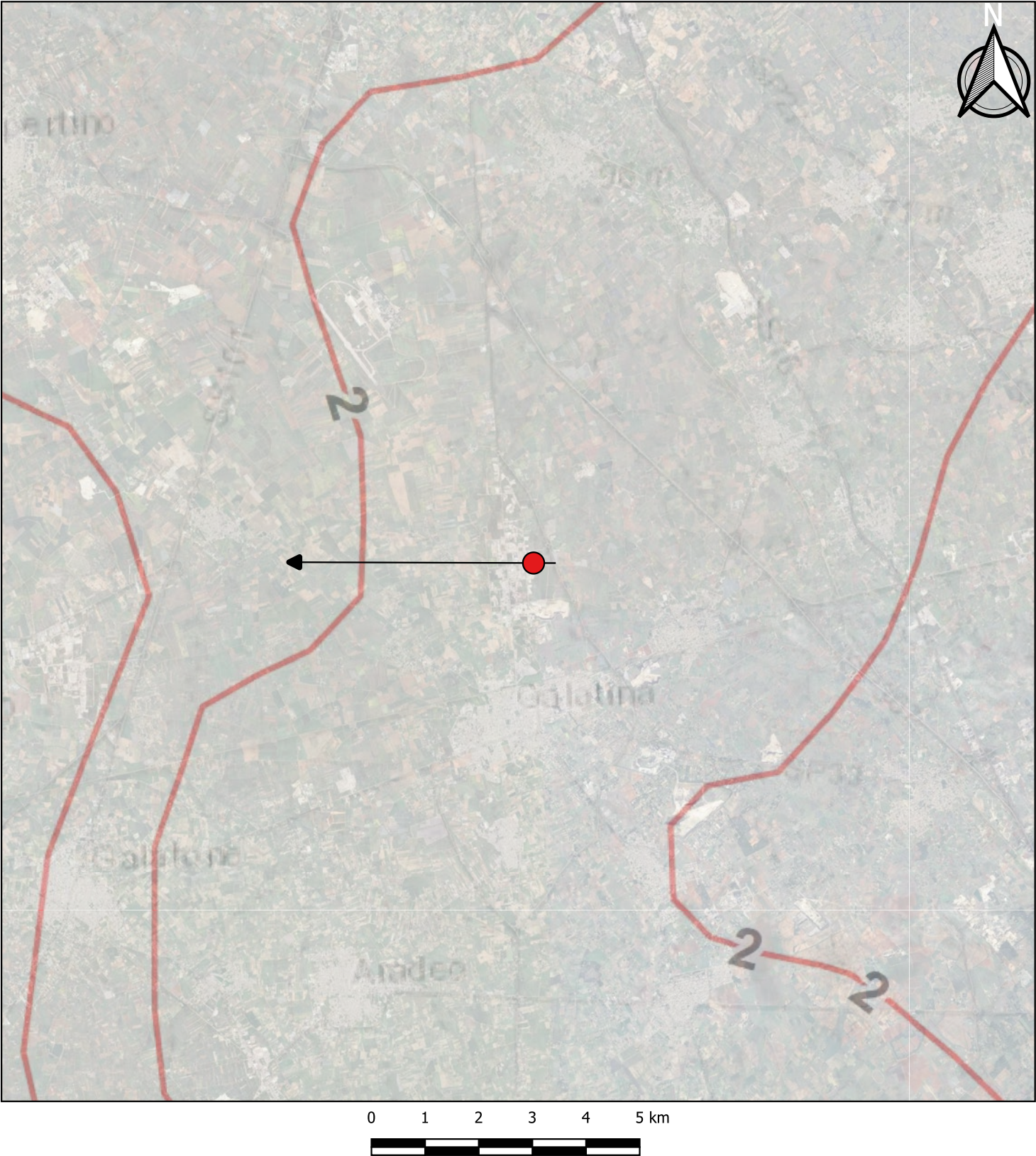
4.4. Vulnerabilità dell'acquifero

La valutazione della vulnerabilità di un acquifero permette di individuare le zone in cui maggiore è la facilità di contaminazione delle acque sotterranee da parte di un focolaio inquinante.

I fattori da prendere in considerazione nella valutazione del grado di vulnerabilità degli acquiferi, come noto legata alle possibilità di penetrazione e di propagazione di un inquinante nell'acquifero stesso, risultano:

- la capacità di penetrazione, legata allo spessore, alla litologia e permeabilità del non saturo;
- la capacità di propagazione, legata essenzialmente alle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero.

FIG. 9 - DISTRIBUZIONE MEDIA DEI CARICHI PIEZOMETRICI DEGLI ACQUIFERI



Isopiezica media in m s.l.m

Direzione di flusso della falda

Area d'intervento

Le metodologie proposte per la valutazione del grado di vulnerabilità prendono in considerazione separatamente l'uno o l'altro dei fattori menzionati o, con diverso peso, entrambi.

Ritenendosi, nel caso di specie, prioritari gli aspetti connessi alla facilità con cui l'acquifero può essere raggiunto da inquinanti immessi dalla superficie del suolo, il problema è stato affrontato in termini di vulnerabilità verticale.

In questa fase la penetrazione avviene mediante un tragitto prevalentemente verticale attraverso la zona non satura. La vulnerabilità verticale così definita è legata essenzialmente alla litologia, allo spessore ed alla permeabilità della zona non satura; il parametro più adatto a quantificarne il grado è rappresentato dal tempo teorico di arrivo di un eventuale inquinante dalla superficie del suolo all'acquifero. Esso è stato calcolato in funzione delle permeabilità misurate della zona non satura, come rapporto tra i valori di soggiacenza e la velocità di infiltrazione, con la relazione:

$$t_a = \frac{S}{V_i}$$

dove: t_a è il tempo di arrivo S è la soggiacenza V_i è la velocità di infiltrazione.

Nell'ipotesi che il terreno interposto tra superficie del suolo e livello statico della falda sia in condizioni di completa saturazione (gradiente idraulico pari a 1) la velocità di infiltrazione può essere assunta pari al coefficiente di permeabilità.

Seguendo tale approccio De Luca e Verga^[2], hanno distinto, in base al tempo teorico di arrivo in falda di un inquinante, le seguenti sei diverse classi di vulnerabilità verticale crescente.

<i>Tempo di arrivo</i>	<i>Vulnerabilità verticale</i>
> 20 anni	molto bassa
20 ÷ 10 anni	bassa
10 ÷ 1 anno	media
1 anno ÷ 1 settimana	alta
1 settimana ÷ 24 ore	elevata
< 24 ore	molto elevata

^[2] De Luca, Verga: *Una metodologia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*

Per il caso in esame, assumendo che i 63.97 m circa di franco roccioso interposto tra piano campagna e pelo libero della falda (Fig. 8) siano costituiti solo da calcari, calcari dolomitici e dolomie, aventi permeabilità media $k=1.31 \times 10^{-3}$ cm/s cm/s risulta:

$$t_a = \frac{6397}{1.31 \times 10^{-3}} = 4883206 \text{ s} = 57 \text{ giorni}$$

Pertanto l'area in esame è caratterizzata da un alto grado di vulnerabilità verticale dell'acquifero.

È opportuno sottolineare che il risultato è stato ottenuto sulla base di ipotesi conservative, atteso che il terreno tra la superficie del suolo e la falda è stato considerato completamente saturo.

4.5. Ricostruzione ed interpretazione della morfologia piezometrica reale della falda profonda

Per lo studio delle caratteristiche idrodinamiche reali della falda profonda sono stati scelti una serie di pozzi ritenuti idonei per effettuare delle misure del livello piezometrico attendibili.

Il censimento si è svolto in due fasi distinte: la prima è consistita nell'individuazione di tutti i pozzi e piezometri presenti in un adeguato intorno dell'area di interesse.

La seconda fase, invece, ha riguardato la verifica della situazione di tali pozzi; per ogni pozzo censito è stata verificata la posizione topografica, le condizioni al contorno e quelle d'utilizzo, l'accessibilità e l'idoneità ad effettuare le misurazioni previste.

Fra i tantissimi pozzi presenti nell'area in oggetto sono stati scelti quelli non utilizzati e, pertanto, sprovvisti di impianto di sollevamento; tali pozzi rappresentano gli unici idonei alle misurazioni sia per l'assenza di ostacoli all'immissione della sonda freaticometrica, sia perché, non essendo utilizzati, forniscono la reale profondità della superficie freaticometrica della falda profonda, senza negative influenze provocate da emungimenti e prelievi a scopi residenziali, agricoli o industriali. Solo in tre casi (pozzo Macero Sud, piezometro AQP e pozzo Pietro De Pascalis Divisione Plastiche) sono stati utilizzati pozzi equipaggiati per i quali ci si è accertati che gli emungimenti fossero stati sospesi almeno 12 ore prima della misura. Tutte le opere di presa considerate, con l'esclusione di quello De Pascalis Divisione Plastiche, di grande diametro e che fa parte dei numerosi pozzi a scavo presenti nell'agro galatinese realizzati al massimo sino alla metà degli anni '70, sono pozzi realizzati con il

metodo a percussione o più raramente a rotazione, rivestiti in lamiera d'acciaio del diametro di mm 300 e spessore di mm 3÷4 eseguiti in gran parte dall'Ente Irrigazione, sebbene per alcuni non sia possibile ormai comprenderne l'origine, come per il pozzo n.6, e mai utilizzati.

Tutti i 12 pozzi di misurazione, sono sufficientemente distanziati da altre captazioni autorizzate e non, e pertanto, sono da considerarsi punti di misura più che attendibili.

Per quanto attiene l'individuazione della quota topografica del sedime immediatamente circostante il punto di misura sono state prese come riferimento le informazioni topografiche contenute nella Carta Tecnica e nel Modello Digitale del Terreno della Regione Puglia disponibili sul sito <http://www.sit.puglia.it/>.

Le misure dei livelli freatici sono state eseguite nella giornata del 11/11/2024 dalle ore 8:00 alle ore 15:00 per tutti i punti d'acqua censiti. La scelta di eseguire le misure in un'unica giornata è stata ovviamente dettata dalla necessità di rilevare i livelli di falda nel minor tempo possibile, in condizioni di tempo stabile, con scarsi emungimenti in corso al fine di ottenere misure il più possibile attendibili e fra loro comparabili.

Le variazioni delle condizioni meteorologiche, infatti, possono provocare repentini cambiamenti del livello sia a causa di differenti valori di pressione, sia per apporti anche consistenti da parte di piogge intense ed improvvise. Allo stesso modo emungimenti, soprattutto per scopi irrigui e industriali, possono modificare in maniera significativa i livelli freatici e talvolta impedire una corretta ricostruzione della superficie della falda.

Per tali motivazioni durante le ore di misura è stata costantemente controllato il valore della pressione atmosferica, mantenutasi stabilmente ad un valore pari a 1007 hPa, ed inoltre si è fatta particolare attenzione alla presenza, intorno ai punti di misura, di captazioni contemporaneamente attive che potessero costituire elemento di disturbo e falsare i risultati. Come detto in precedenza per quanto attiene il pozzo Macero Sud è stata tolta l'alimentazione all'impianto per tutta la notte precedente; per il Piezometro AQP ci si è accertati personalmente che l'impianto installato non era stato utilizzato nelle ultime 48 ore mentre il pozzo a scavo della Pietro De Pascalis Divisione Plastiche era fermo da settimane. Le misure, eseguite con sonda freatimetrica GESTECNO modello FRE da 100 metri, sono riportate nella tabella seguente:

Pozzo n°	Comune	Località	Data	Foto	Quota in m s.l.m.	Profondità dal p.c. in m	Livello statico in m s.l.m.
1	Galatina	Mass. La Grotta	11/11/24	8	66.0	63.05	2.95
2	Soletto	De Pascalis Div. Plast. Mass. Murrone	11/11/24	9	57.8	59.72	1.82
3	Soletto	Mass. Monaci	11/11/24	10	56.5	54.63	1.92
4	Galatina	S. Elia	11/11/24	11	49.6	47.24	2.36
5	Galatina	C. Siciliani	11/11/24	12	67.0	65.28	1.72
6	Galatina	Guidano	11/11/24	13	85.0	--	--
7	Galatina	Lo Vita	11/11/24	14	80.6	78.82	1.78
8	Soletto	Imp. Dep. AQP	11/11/24	15	75.0	72.13	2.87
9	Sternatia	Lago del Capraro	11/11/24	16	72.5	--	--
10	Sternatia	Spirito Santo	11/11/24	17	80.0	78.5	1.5
11	Galatina	Mass. Chiusura Grande	11/11/24	18	49.6	46.39	3.21
12	Soletto	Scalelle Via Bruxelles Macero Sud	11/11/24	19	66.0	63.97	2.03

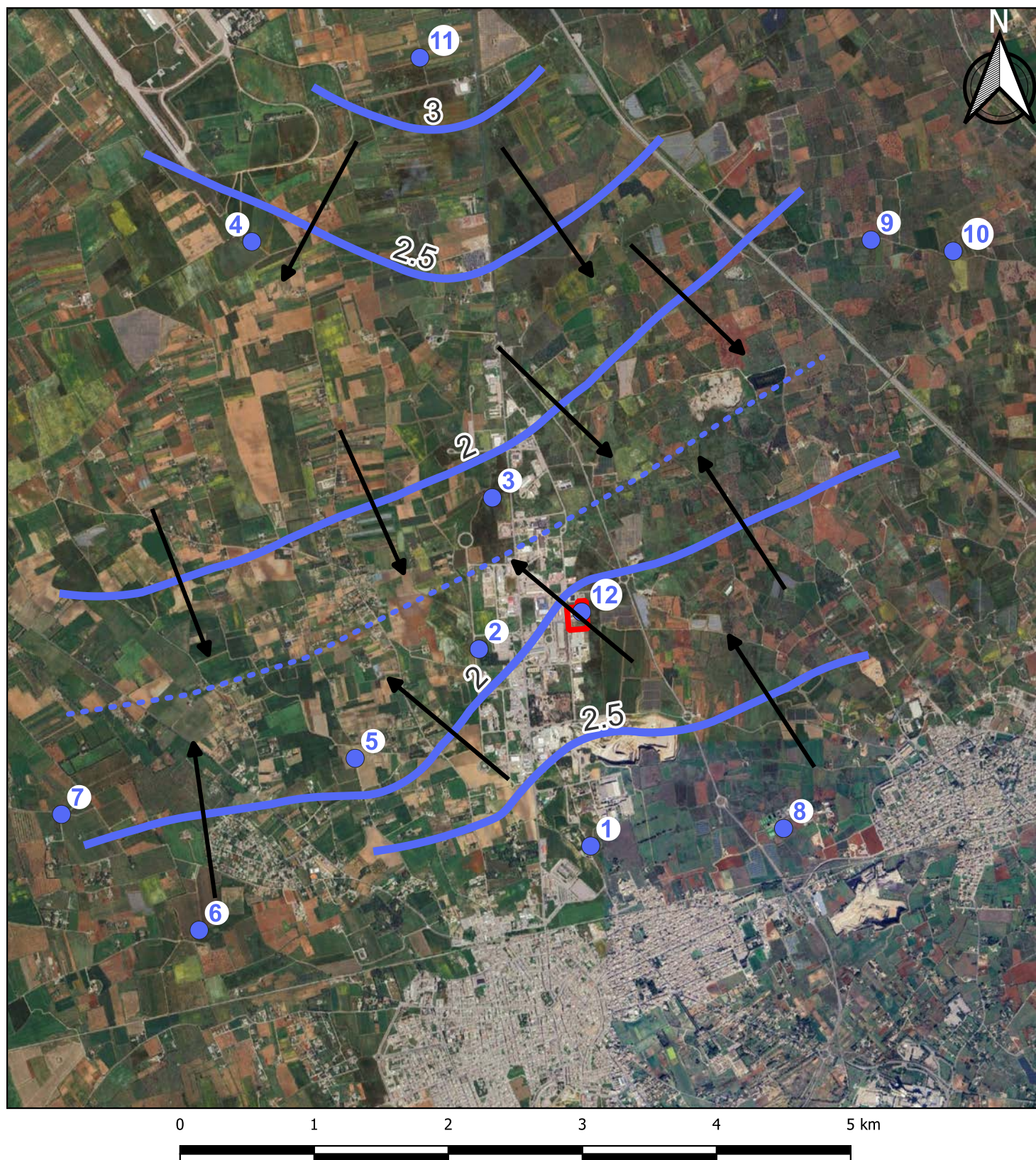
Tab. 1 – Pozzi della rete di misura dei livelli piezometrici

Nella seguente documentazione fotografica sono riportati tutti i 12 pozzi considerati. Come evidente dalla precedente tabella nei pozzi n. 6 e 9 sono risultati vuoti. Per quanto attiene il pozzo n.6 si ritiene che l'evidente danneggiamento della colonna di rivestimento e della piazzola di protezione, probabilmente operato da sconsiderate manovre di grossi trattori agricoli, ha compromesso l'integrità del pozzo provocandone il suo crollo o la sua occlusione. Il pozzo numero 9 invece, pur essendo integro e ben protetto, è risultato stranamente vuoto, nonostante si ritiene di aver raggiunto e superato la profondità di attestazione della superficie piezometrica.

La rappresentazione grafica della morfologia della superficie piezometrica di una falda si effettua tramite curve isopiezometriche costruite per interpolazione delle quote dei livelli della falda nei vari punti di misura.

La Fig.10 - ISOPIEZOMETRICHE DELLA FALDA PROFONDA– redatta in scala 1:40.000, è il risultato di tale interpolazione eseguita sulla base delle misure raccolte nella tabella precedente. Sia l'interpolazione che la ricostruzione delle isolinee è stata eseguita con software QGIS utilizzando le note funzioni di interpolazione con generazione di un DEM da cui estrarre delle curve di livello e preferendo l'interpolazione TIN a quella DWL.

FIG. 10 -ISOPIEZOMETRICHE DELLA FALDA PROFONDA



Legenda

— 2.0

Isopiezometrica in m s.l.m. (misure 11.11.24)

.....

Asse di drenaggio preferenziale

←

Direzione di flusso della falda

● 1

Pozzi della rete di misura del livello piezometrico

□

Area d'intervento



Foto 8 e 9 – Misure piezometriche nei pozzi n. 1 e 2 (11/11/2024)



Foto 10 e 11 – Misure piezometriche nei pozzi n. 3 e 4 (11/11/2024)



Foto 12 e 13 – Misure piezometriche nei pozzi n. 5 e 6 (11/11/2024)



Foto 14 e 15 – Misure piezometriche nei pozzi n. 7 e 8 (11/11/2024)



Foto 16 e 17 – Misure piezometriche nei pozzi n. 9 e 10 (11/11/2024)



Foto 18 e 19 – Misure piezometriche nei pozzi n. 11 e 12 (11/11/2024)

L'interpolazione Triangulated Irregular Network (TIN), infatti, crea una superficie formata da triangoli di punti vicini di cui è nota una quota. In sostanza il software genera delle

circonferenze intorno ai punti campione selezionati e le loro intersezioni sono collegate ad una rete di triangoli non sovrapposti e il più possibile compatti. L'algoritmo crea sia lo strato raster dei valori interpolati che lo strato di linee vettoriali con i confini della triangolazione. Di contro nell'interpolazione Inverse Distance Weighted (IDW) i punti campione sono pesati durante l'interpolazione in modo tale che l'influenza di un punto rispetto ad un altro diminuisca con la distanza dal punto sconosciuto che si vuole creare. Si fa presente che l'interpolazione TIN è stata preferita sia perché la metodologia è identica a quella classica suggerita dai testi storici di idrogeologia ^[3], sia perché i risultati apparivano coerenti, mentre quelli con l'interpolazione IDW restituivano risultati dubbi soprattutto nella interpolazione dei dati fra i pozzi più distanti.

Le curve isopiezometriche rappresentate altro non sono che linee equipotenziali e cioè linee che uniscono punti aventi uguale carico idraulico. Il dislivello esistente fra due curve isopiezometriche adiacenti è detto *equidistanza* e nel caso in esame è pari a m 0.5, mentre la distanza topografica che le divide si definisce *spaziamento*.

Ortogonalmente alla suddette isolinee, e quindi lungo la linea di massima pendenza, si individua la *direzione di flusso* delle acque di falda, mentre spostandosi dall'isopiezometrica più alta a quella più bassa si identifica il *verso di flusso*.

Analizzando questi parametri unitamente alle condizioni generali di circolazione idrica, all'uso del territorio e dell'acquifero e alle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e di permeabilità, si può interpretare la morfologia della superficie piezometrica, ottenendo notizie utili sullo stato dell'acquifero, sul suo uso, sull'idonea ubicazione di punti di captazione e prevedere la propagazione degli inquinanti che possono raggiungerlo.

Analizzando la FIG. 10 - ISOPIEZOMETRICHE DELLA FALDA PROFONDA-, si possono fare numerose osservazioni; in primo luogo la porzione di territorio interessata dai rilievi può essere divisa in tre zone, due comprendenti rispettivamente l'area poco a nord della ferrovia che lambisce l'abitato galatinese e quella poco ad est e sud-est dell'aeroporto di Galatina, in cui la falda raggiunge i massimi valori di carico idraulico e la superficie piezometrica si rinviene a quote anche superiori ai 3 m s.l.m. (pozzo n.11 +3.21 m s.l.m), ed una terza zona situata centralmente fra quelle suddette, in cui la superficie piezometrica si deprime visibilmente raggiungendo, nel pozzo n.10, il valore di carico minimo pari a 1.5 m s.l.m..

^[3] Pietro Celico: Prospezioni Idrogeologiche volume I – Liguori Editore

Le prime due zone si definiscono *zona di alimentazione* o *alto idrogeologico* e da esse i flussi idrici tendono a muoversi radialmente in maniera divergente in tutte le direzioni (falda a linee di flusso divergenti), mentre la terza si definisce *zona di drenaggio* o *basso idrogeologico* e verso essa si ha convergenza dei flussi idrici.

Quest'ultima rappresenta, generalmente, quella più interessante per una corretta installazione degli impianti di captazione; infatti, la convergenza dei flussi assicura un'abbondante presenza di acque sotterranee ed elevati valori di portata unitaria.

La presenza di situazioni così diverse, nell'ambito del territorio analizzato, deve essere ricondotta probabilmente a cause sia di tipo antropico che di tipo naturale. Si può rilevare, infatti, l'alto idrogeologico meridionale oltre ad essere vicino all'abitato galatinese, ove è certo un più limitato sfruttamento della falda profonda, è lontano da aree in cui è marcato il fenomeno del microfrazionamento delle proprietà agricolo/residenziali private dove ci si aspetta, e realmente si ritrova, una maggiore presenza di pozzi.

Inoltre, nella zona di alimentazione settentrionale (zona aeroporto) si rileva la presenza di estese superfici agricole poco frazionate o utilizzate con l'ausilio di pochi pozzi.

Infine, nell'ambito della zona d'alimentazione galatinese esistono almeno due voragini carsiche ancora attive (vora di via Puglia/Campania, vora di Frantoio Basilico) ed i tre recapiti finali delle acque bianche dell'abitato (di cui uno impiantato sulla vora di Masseria La Grotta) che drenano le acque meteoriche nel sottosuolo certamente alimentando anche indirettamente l'acquifero profondo.

Tutte queste considerazioni farebbero pensare che la morfologia della superficie piezometrica risulta notevolmente condizionata, nelle due aree, più che da fattori legati alla permeabilità dell'acquifero, che invece è poco variabile come testimonia la regolare spaziatura delle isopiezometriche, dall'alimentazione e dall'infiltrazione sia naturale che artificiale, dagli emungimenti e dalle esigenze agricolo/industriali.

Se infatti si analizzano gli stessi aspetti nella zona di drenaggio si nota che in essa la situazione è completamente ribaltata.

Infatti, nell'area suddetta non esistono strutture di alimentazione più o meno diretta della falda e sono presenti numerosi pozzi, generalmente autorizzati, legati alle numerose attività artigianali o industriali, talvolta aventi fabbisogni idrici piuttosto elevati e impianti di sollevamento potenti.

Oltre alle suddette considerazioni è importante eseguire un rapido confronto fra la morfologia della superficie piezometrica rilevata ed i rilievi già esistenti.

Come detto in precedenza l'unico rilievo ufficiale tuttora riconosciuto è quello della TAV. C05 del P.T.A., della quale l'allegata FIG.9 -DISTRIBUZIONE MEDIA DEI CARICHI PIEZOMETRICI DEGLI ACQUIFERI- costituisce parziale riproduzione.

Si può rilevare che fra le due carte esiste una marcata differenza sia per quanto riguarda i valori di carico idraulico sia per quanto attiene la direzione ed il verso di flusso delle acque di falda. Inoltre, non esiste corrispondenza fra le posizioni delle aree di alimentazione e di drenaggio, mentre la spaziatura fra le isolinee risulta notevolmente più elevata nel rilievo del P.T.A..

Ciò farebbe pensare all'inattendibilità di uno dei due rilievi. È opportuno precisare, però, che fra le due ricostruzioni intercorrono diversi anni, con condizioni di piovosità differenti, e che il rilievo del P.T.A. è stato eseguito con una rete di misura che contava una densità di punti di misura decisamente inferiore.

In ogni caso, in adempimento a quanto richiesto dalla committenza, da ARPA Puglia e dal Servizio Tutela Ambientale e Transizione Ecologica della Provincia di Lecce è stata verificata la reale direzione di flusso nell'area d'intervento al fine di una corretta scelta della rete di monitoraggio della falda. Dall'analisi della Fig.10 si evince chiaramente che i lotti di proprietà di Macero Sud si rinvergono poco a sud-sudest della zona di drenaggio o basso idrogeologico e la direzione di flusso della falda si esplica chiaramente da sud-est verso nord-ovest.

5. Individuazione Pozzi di Monitoraggio

Come detto in precedenza dall'analisi della Fig.10 si evince chiaramente che i lotti di proprietà di Macero Sud si rinvencono poco a sud-sudest della zona di drenaggio e la direzione di flusso della falda si esplica chiaramente da sud-est verso nord-ovest.

Sulla base di tale risultato sono stati ricercati due pozzi lungo la suddetta direttrice di flusso della falda in modo da individuarne, in senso idrogeologico, uno a monte ed uno a valle del sito. Per quanto attiene il pozzo di monte, non avendo individuato alcun pozzo disponibile (sia per distanza utile che per disponibilità dei proprietari) si è scelto di programmare la realizzazione di un nuovo piezometro, non equipaggiato di impianto di sollevamento, nel quale sarà possibile eseguire agevolmente tutti i campionamenti e le misure del livello di falda necessari. Il piezometro sarà ubicato al vertice sud-est della attuale proprietà Macero Sud (Soleto Foglio. 12 part. 280) poco ad est dell'area di ampliamento dell'attività (vedi Fig.11 – POZZI DELLA RETE DI MONITORAGGIO- redatta in scala 1:2000). Per quanto attiene il pozzo di valle si è scelto il pozzo di proprietà della ditta Zincogam S.p.a che risulta ubicato in posizione ideale in riferimento alla suddetta direzione di flusso (vedi Fig. 11). Si fa presente che nella suddetta figura è stata riportata la posizione reale del pozzo Zincogam, diversa da quella censita nell'archivio provinciale già conosciuta e verificata dallo scrivente in sito. Nella tabella seguente si riportano le coordinate dei tre pozzi espresse nel sistema di riferimento WGS 84 UTM 33 Nord

Pozzo di monitoraggio	Coord. X	Coord. Y
P1 - Pozzo di monte Piezometro da realizzare	770180.597	4454771.17
P2 - Pozzo aziendale Macero Sud	770044.205	4454883.527
P3 - Pozzo di valle Zincogam S.p.a.	769866.1	4454943.03

Tab. 2 – Pozzi di monitoraggio -

Come si evince anche dalle fig.10 e 11, i pozzi P1 e P2, essendo in proprietà Macero Sud, saranno di immediata accessibilità per i monitoraggi richiesti, mentre per il P3 Zincogam sarà necessario solo avvisare la ditta, che ha dato piena disponibilità, in tempo utile.

Per quanto riguarda le caratteristiche tecnico-costruttive del piezometro P1 è da rilevare che la perforazione sarà eseguita con il metodo a rotazione o rotoperussione a distruzione di nucleo, del diametro di mm 250 sino alla profondità massima di m -90 dal p.c. ($90 - 66 = 24 < 40.6 = 2.03 \times 20$, pertanto attestazione sotto il l.m. < 20 t); il perforo sarà rivestito con tubazione del diametro esterno di mm 140 in P.V.C. atossico, dello spessore minimo di mm 6.7. La tubazione, del tipo a giunti filettati o a bicchiere, sarà posta in opera in modo da avere un'unica tubazione cieca sino alla quota in cui sarà rinvenuto l'acquifero; oltre questa

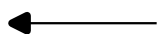
FIG. 11- POZZI DELLA RETE DI MONITORAGGIO -



Legenda

2.0

Isopiezometrica in m s.l.m. (misure 11.11.24)



Direzione di flusso della falda



Area d'intervento

Pozzi di monitoraggio

● P1 - Pozzo di monte Piezometro da realizzare

● P2 - Pozzo aziendale Macero Sud

● P3 - Pozzo di valle Zincogam S.p.a.

profondità e fino a fine foro la tubazione sarà microfessurata per consentire un adeguato passaggio delle acque.

Successivamente, si eseguirà il bloccaggio della tubazione riempiendo il vuoto anulare fra il perforo e il rivestimento con un adeguato dreno (ghiaietto calibrato isolato nella parte alta da sabbia sottile) sino alla profondità di m -64 dal p.c., e saturando il restante spazio sino al p.c. con boiaccia cementizia bentonitica. A pozzo realizzato la falda si attesterà staticamente a m – 64 circa dal p.c. (vedi fig. 12 – STRATIGRAFIA E PROGETTO PIEZOMETRO P1).

Per verificare che il pozzo sia stato eseguito a regola d'arte dovrà essere eseguita una prova di collaudo; nel pozzo verrà temporaneamente installata una pompa di adeguata potenza tramite la quale si eseguirà sia lo spurgo che una prova di portata a tre gradini durante la quale si eseguirà la verifica delle depressioni finalizzata alla ricostruzione della curva caratteristica del pozzo.

Fig. 12 –STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE DEL PIEZOMETRO P1 DA REALIZZARE-.

Dott. Francesco Ligori - GEOLOGO-

via Roma 227- Galatina LE

Tel. 0836 210018

email: geologicogalatina@libero.it

Committente MACERO SUD di Luigi Chirivì & C.	Profondità raggiunta m 90 massima	Quota Ass. P.C. m 66	Pagina
Operatore	Indagine Perforazione piezometro P1	Note1 Stratigrafia presunta	

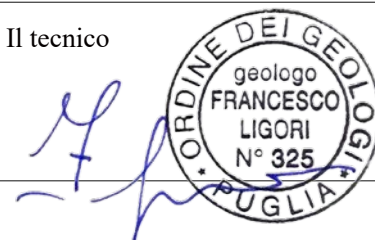
Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Quota Elem. Pozzo	Pozzo	Note Elem. Pozzo	Falda	Impianto di sollevamento
		Terreno vegetale	0.50					
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60			63.97	64.00			63.97	
65								
70								
75								
80								
85								
90				90.00				
95								
100								
105								
110								
115								
120								
125			128.00					
130								
135								
140			144.00					
145								
150								
155								
160			167.00					

Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande

N.B.: C.G.I. = Carta Geologica d'Italia

L'impresa

Il tecnico



6. Caratterizzazione Geotecnica e Sismica

Ai fini della ricostruzione litostratigrafica, della caratterizzazione geotecnica dei litotipi costituenti l'immediato sottosuolo dell'area d'intervento, oltre che della definizione della "categoria di sottosuolo" è stata presa in considerazione una campagna di indagini condotte dallo scrivente nel 2013 per conto della dott.ssa Geol. Elena Inguscio durante la progettazione del primo ampliamento dell'impianto. Sono stati realizzati un profilo sismico mediante metodologia MASW, due profili sismici a rifrazione e due tomografie elettriche di superficie. L'ubicazione delle indagini eseguite in sito è riportata in FIG. 13 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI IN SITO-.

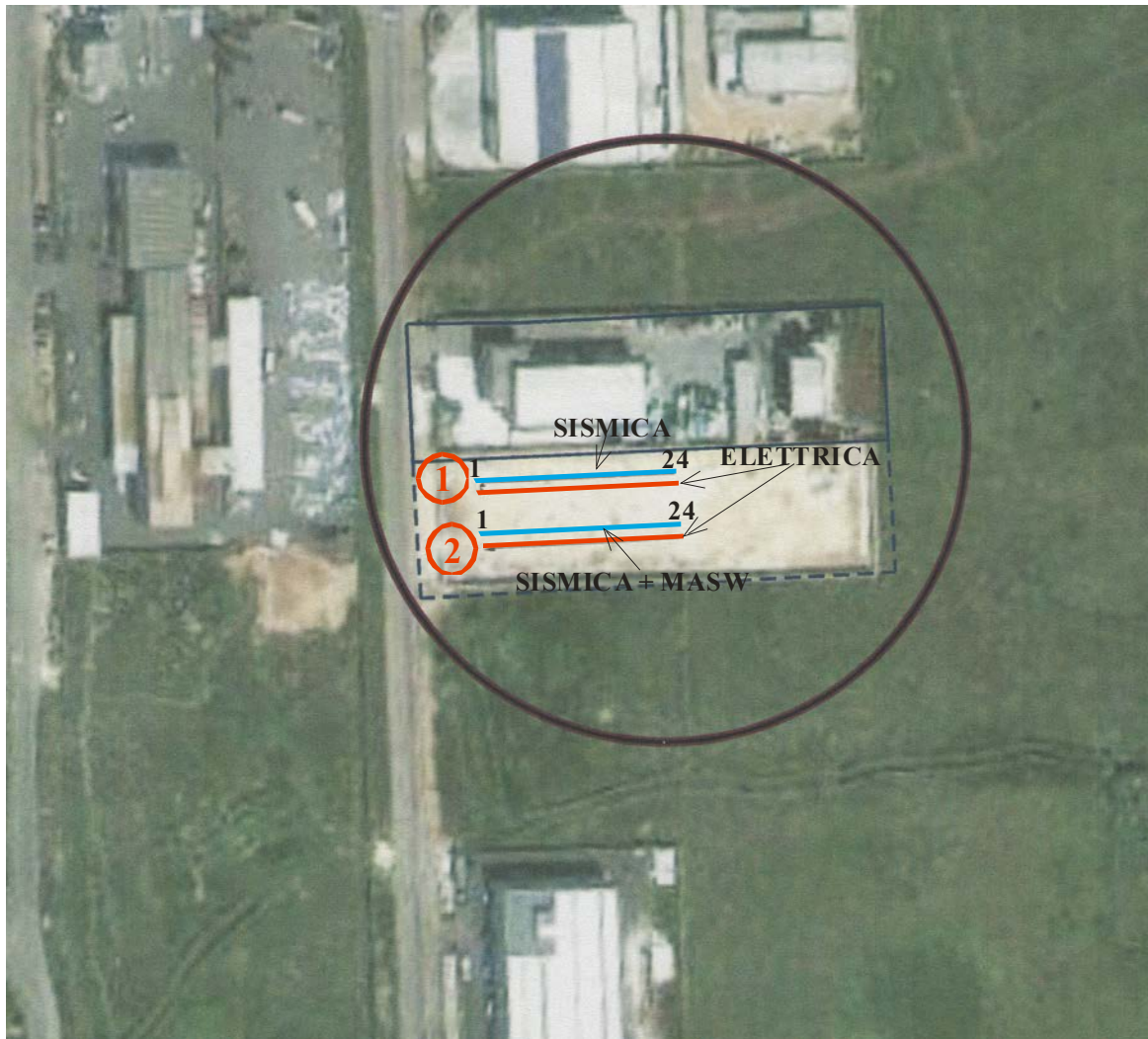
6.1. Indagine geofisica: Sismica a rifrazione.

Il metodo della sismica a rifrazione, basato sullo studio delle caratteristiche di propagazione delle perturbazioni elastiche, si presenta di estrema utilità nel campo della tecnica delle fondazioni in quanto fornisce al progettista utili indicazioni sulla qualità del sedime di fondazione. Tale metodo consiste nel provocare delle onde elastiche per mezzo di una sorgente, captarle per mezzo di appositi rilevatori (geofoni) posti lungo una linea retta (stendimento) a distanze variabili dalla sorgente e in ultimo registrarne l'ampiezza in funzione del tempo per mezzo di uno strumento (sismografo).

Diagrammando i ritardi con cui il segnale arriva ai vari geofoni in funzione delle distanze reciproche fra essi, è possibile tracciare una serie di involuppi rettilinei. Tali involuppi individuano a loro volta una spezzata (dromocrona) in cui ciascun segmento rettilineo rappresenta uno spessore di terreno caratterizzato da un valore medio della velocità delle onde elastiche, il cui valore assoluto è espresso dal reciproco della pendenza della relativa dromocrona.

I vari strati presenti nel sottosuolo investigato vengono differenziati in base alla velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno di ciascuno di essi; tali velocità dipendono essenzialmente dalle caratteristiche elastiche del terreno. Tali proprietà a loro volta derivano dalla densità e dallo stato di compattezza di ogni singolo strato di terreno.

FIG. 13 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI IN SITO-.

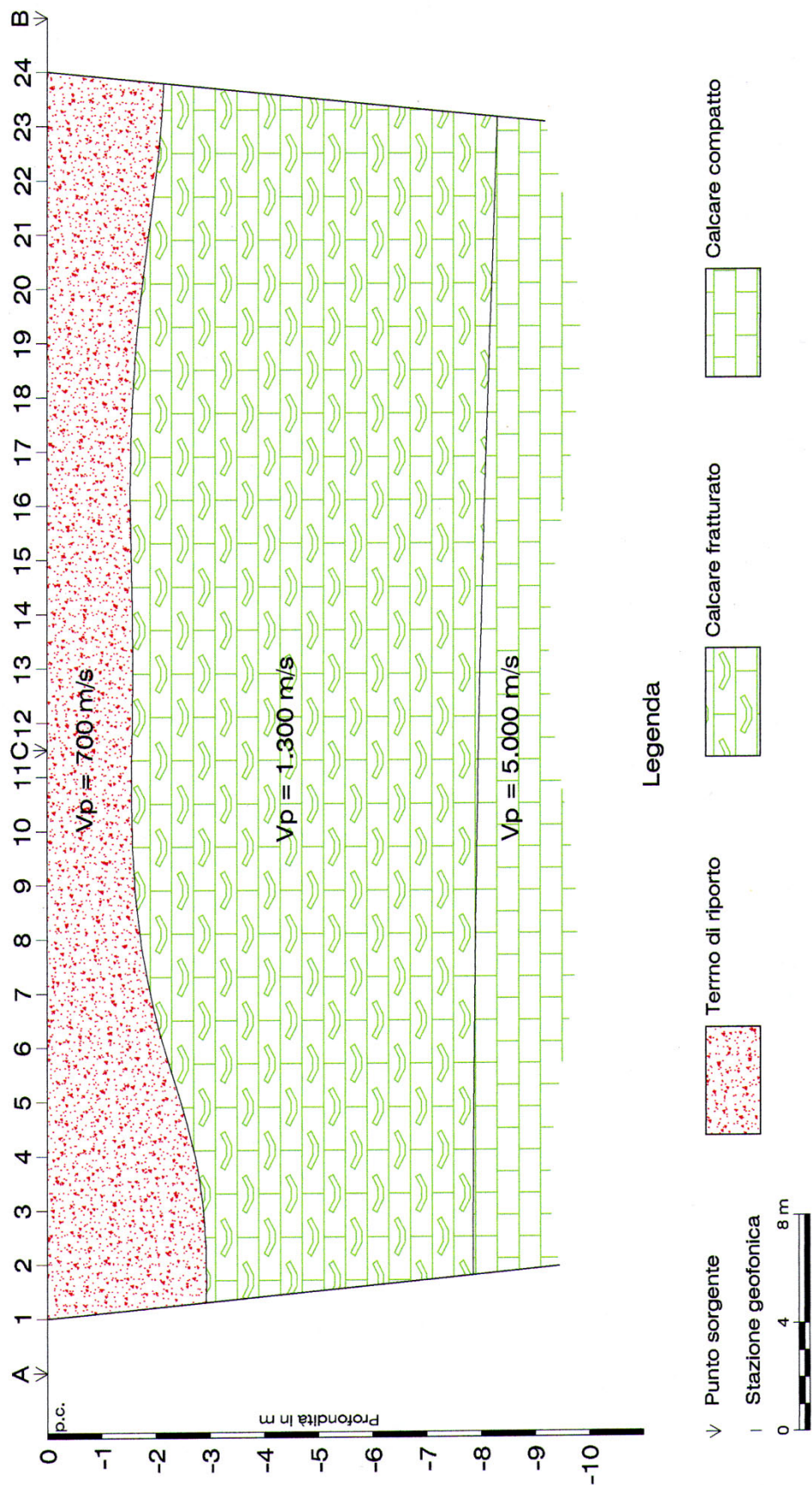


In corrispondenza dell'area in esame sono stati eseguiti due profili sismici, della lunghezza di 46 m, ubicati come da allegata planimetria (Fig. 13). L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza del peso di Kg 8 battente su un apposito piattello metallico; le onde rilevate dai geofoni sono state registrate per mezzo di un sismografo a 24 canali, modello A6000S della M.A.E s.r.l. In allegato vengono riportate anche le sezioni sismostratigrafiche. Quest'ultime evidenziano la distribuzione delle velocità sismiche lungo il tracciato. La massima profondità di prospezione è dell'ordine di m 10 dal p.c.

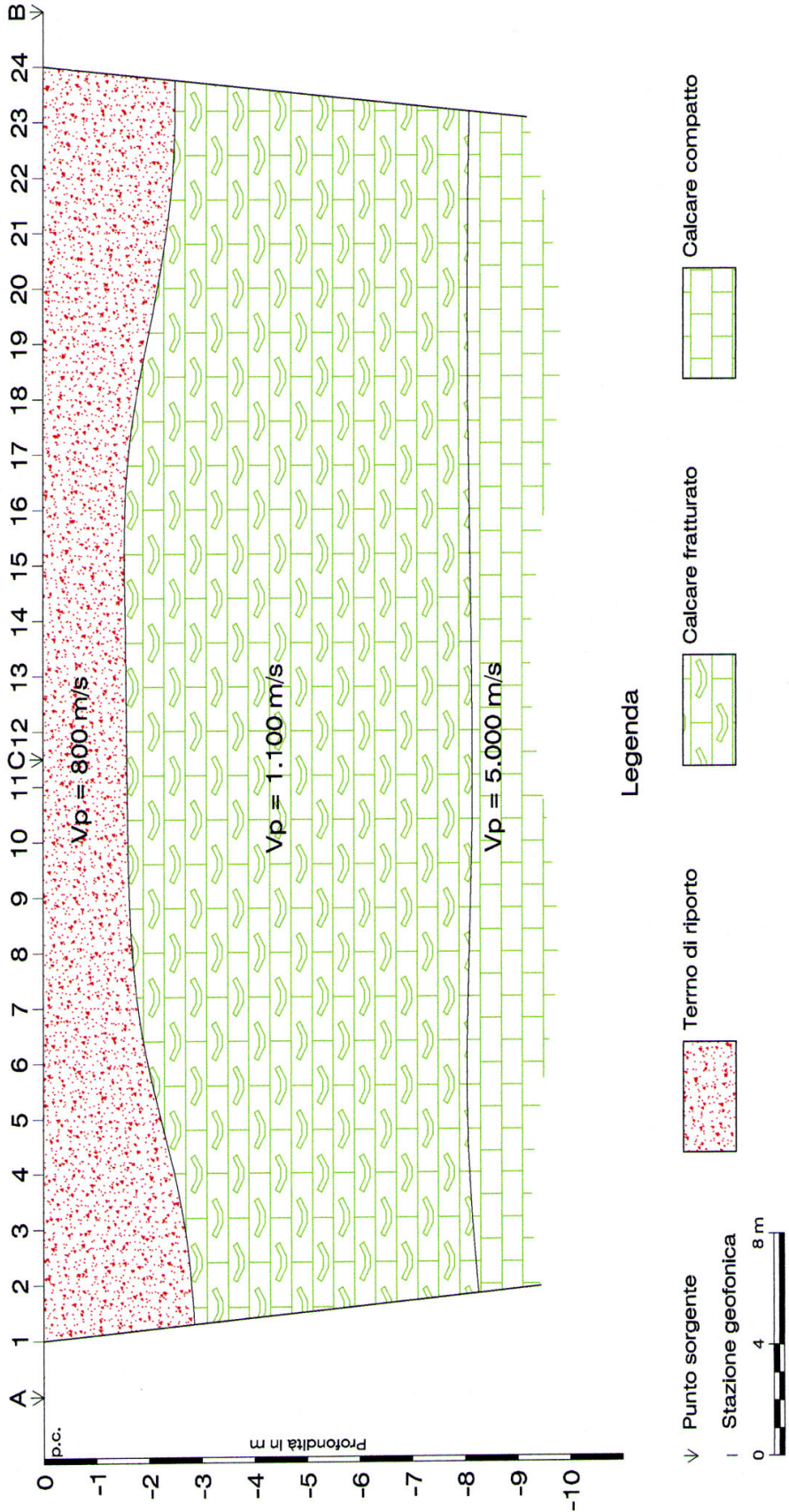
I risultati delle prospezioni sismiche hanno messo in evidenza, nel sottosuolo della zona in esame, la presenza di tre orizzonti a differenti caratteristiche sismiche, litologiche e geomeccaniche; è da sottolineare che questi orizzonti non sempre corrispondono a delle strutture fisicamente ben distinte e separate nell'ammasso roccioso. L'orizzonte

superficiale, associabile a terreno di riporto, è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde sismiche pari a 700 m/s; dalle differenti misure e dall'andamento delle dromocrone, realizzate effettuando le misure sia lungo una direzione che lungo la direzione opposta, si evince che questo orizzonte si rinviene fino ad una profondità variabile fra m -2 a m -3 dal p.c. Il secondo orizzonte individuato è caratterizzato da velocità delle onde sismiche pari a 1300 m/s e può essere associato ad una roccia calcarea fratturata, rinvenibile dalle suddette profondità sino alla profondità di -8 m dal p.c. Il terzo orizzonte, rinvenibile sino alla profondità investigata, è caratterizzato da velocità delle onde sismiche di 5000 m/s ed è assimilabile ad un calcare compatto.

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA
Località: Soletto "Zona Industriale" Macero Sud
Profilo sismico a rifrazione n. 1-1'



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA
Località: Soletto "Zona Industriale" Macero Sud
Profilo sismico a rifrazione n. 2-2'



6.2. Indagine geofisica: Tomografia elettrica di superficie (T.E.S.).

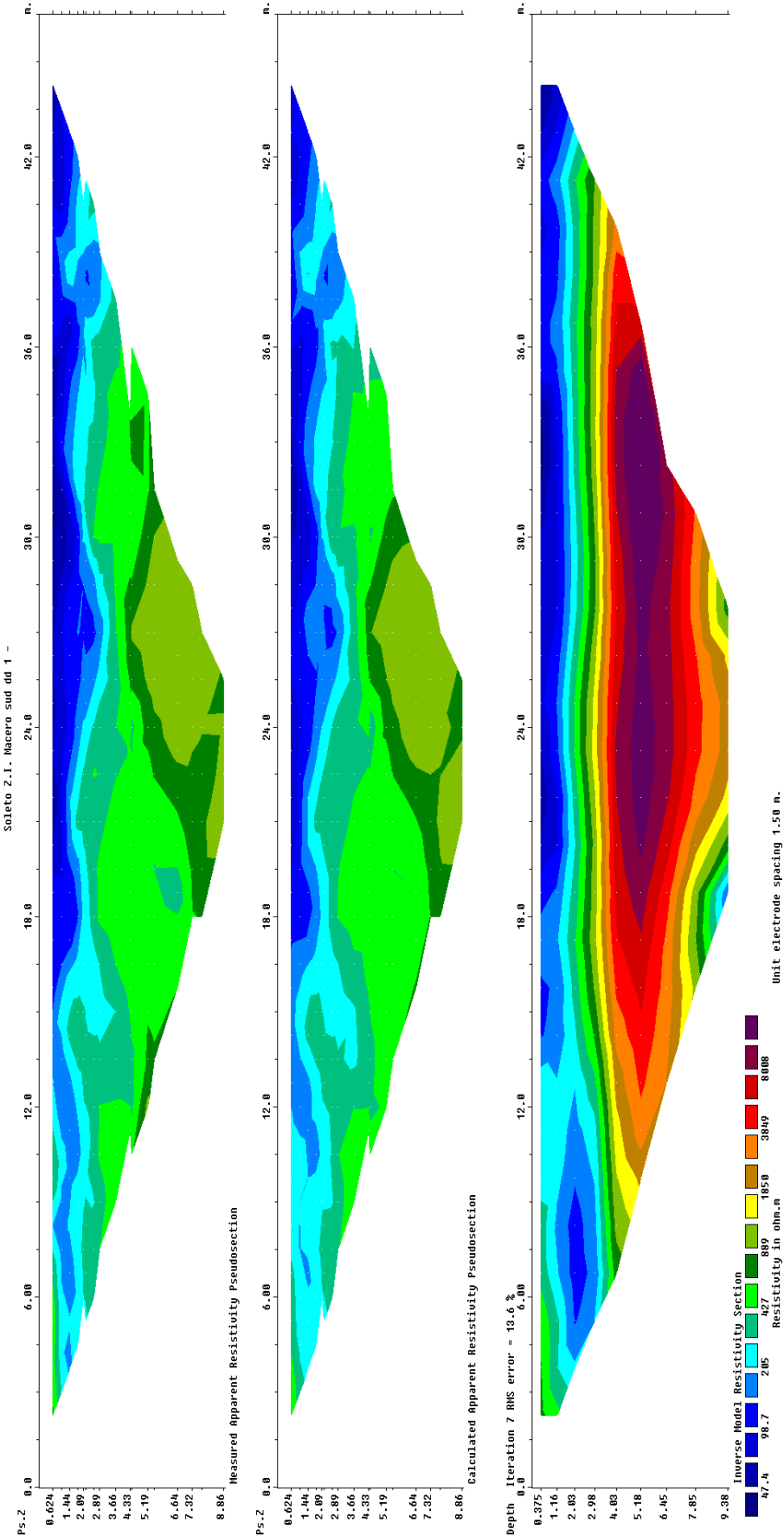
Le prospezioni geofisiche di tipo elettrico, realizzate con il metodo della tomografia elettrica di superficie (T.E.S.), sono state eseguite con il duplice scopo di ricostruire nel miglior modo le caratteristiche litostratigrafiche dei sedimenti che costituiranno il sedime fondale della struttura ed inoltre per individuare eventuali anomalie stratigrafiche e/o morfologiche.

La tecnica utilizzata rappresenta la naturale evoluzione della ben nota geoelettrica e si realizza disponendo un numero elevato d'elettrodi che la strumentazione MAE Mod. A6000E utilizza facendo misure con tutte le possibili combinazioni quadripolari ottenibili dagli elettrodi, secondo uno dei consueti schemi (Wenner α , Wenner-Schlumberger, dipolo-dipolo, ecc.). Si ottiene, pertanto, un'elevata quantità di dati di resistività apparente che permette un'inversione direttamente bidimensionale delle pseudosezioni sperimentali.

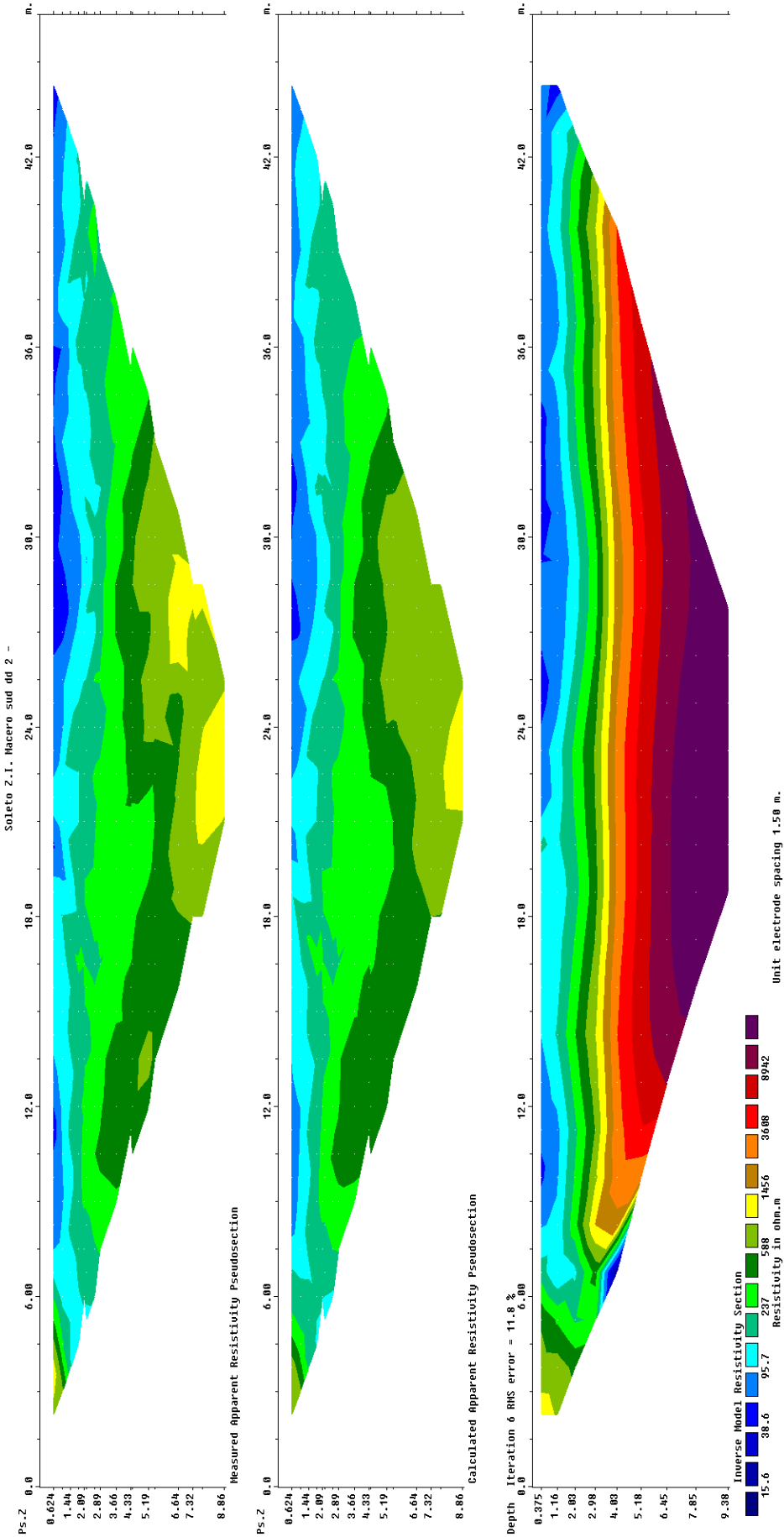
Le sezioni elettriche allegate sono state ottenute con il dispositivo Wenner-Schlumberger e con il dispositivo Dipolo-Dipolo, con 32 elettrodi e passo pari a m 1,5. Nella parte inferiore della sezione compare l'insieme delle resistività che compongono il modello interpretativo e le cui resistività apparenti calcolate sono plottate nella sezione intermedia. Durante la fase di interpretazione, il calcolo iterativo viene arrestato nel momento in cui viene raggiunto un sufficiente best-fit tra le due sezioni di resistività apparente (sperimentale di campagna e calcolate sulla base del modello di inversione).

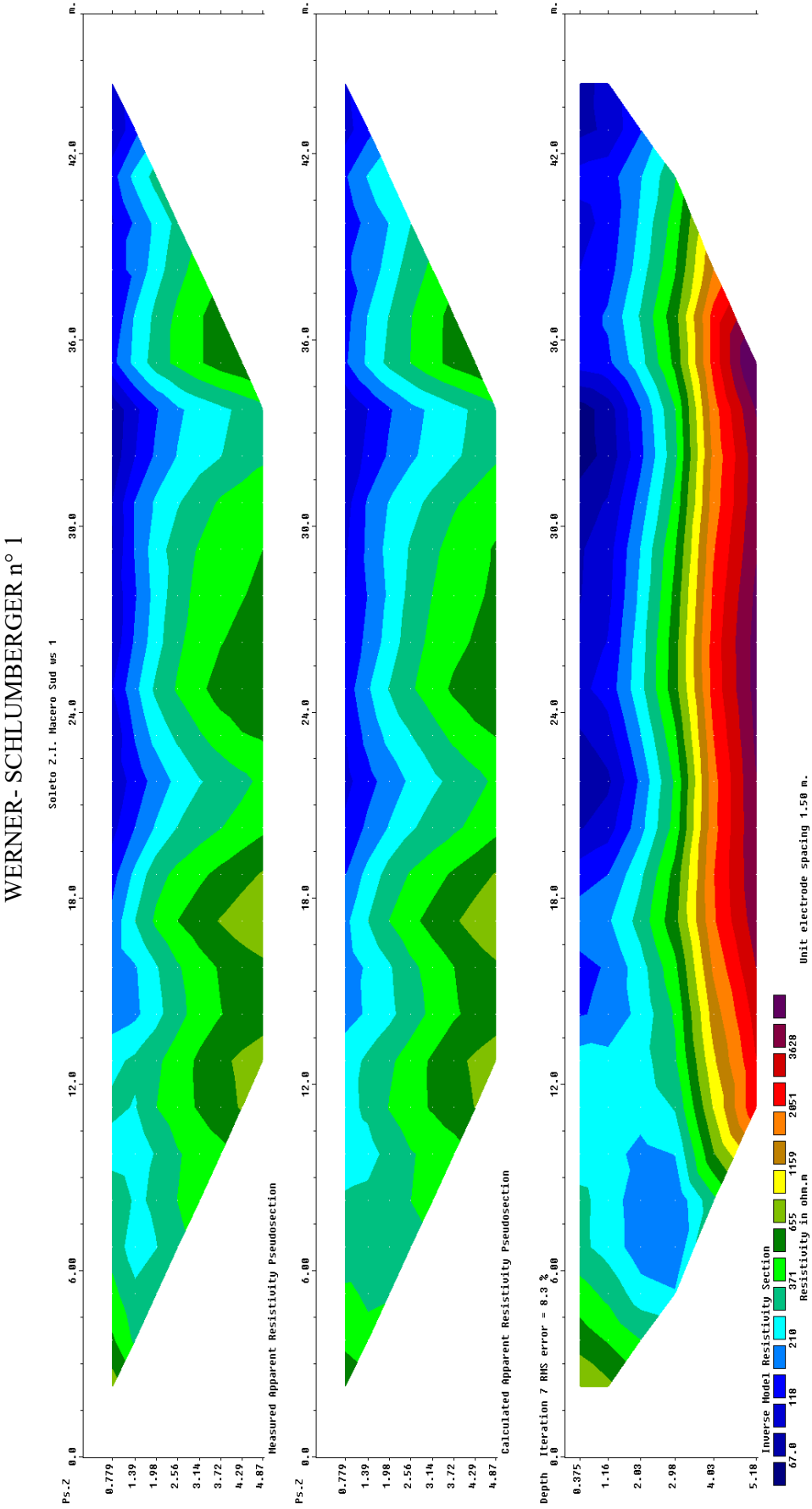
Le indagini elettriche, eseguite come in Fig. 13, hanno restituito risultati concordanti con quanto ottenuto con la prospezione sismica. Infatti, analizzando sia la sezione elettrica Dipolo-Dipolo sia quella ottenuta con il dispositivo Wenner-Schlumberger, si nota la presenza di discontinuità nei primi 3 metri di profondità, caratterizzati dalla presenza di terreno di riporto, ed il regolare aumento della resistività sino alla profondità investigata. Ciò ha permesso una migliore interpretazione della prospezione sismica disturbata dai rumori di fondo presenti nell'area.

DIPOLO DIPOLO n° 1

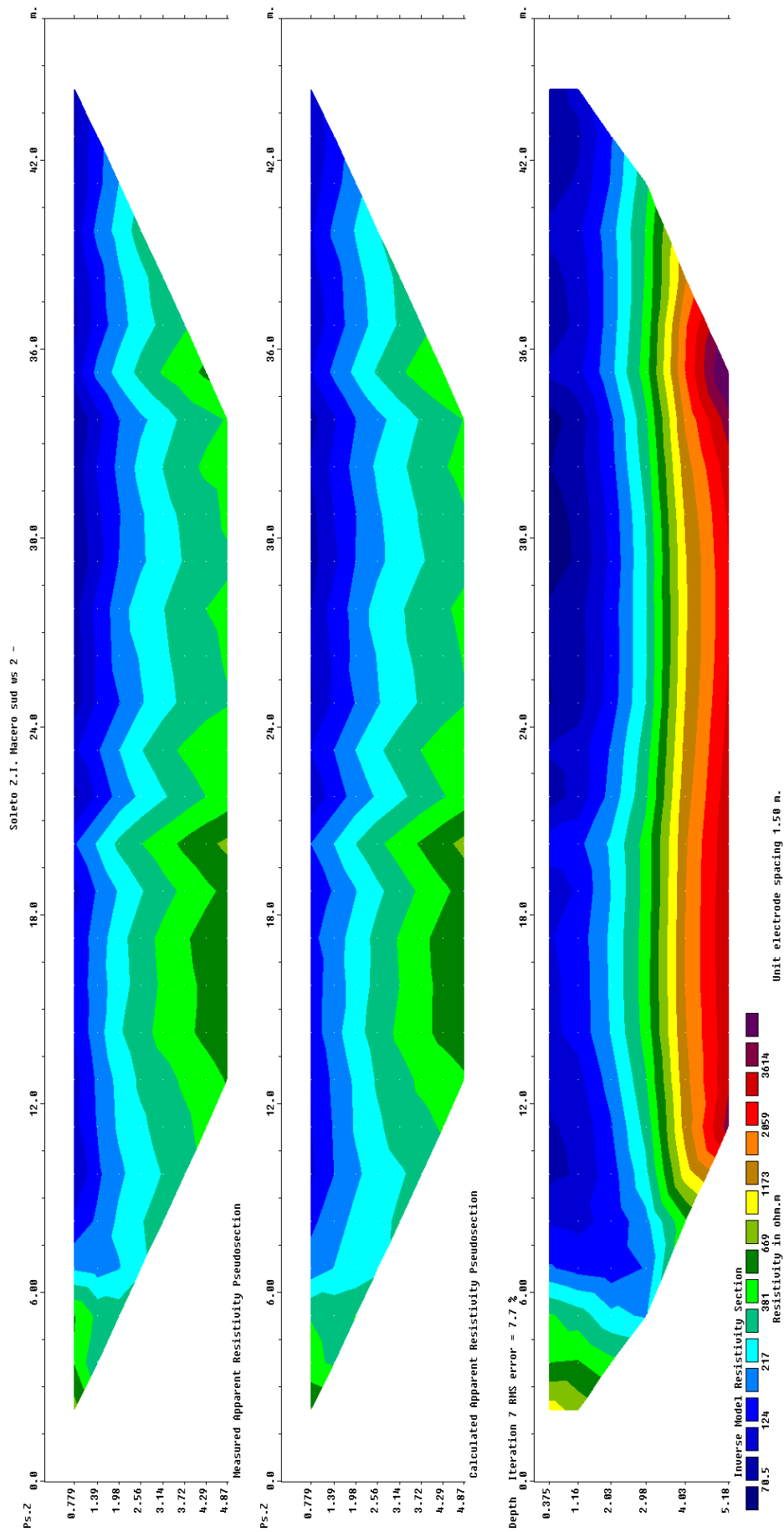


DIPOLO DIPOLO n° 2





WERNER-SCHLUMBERGER n° 2



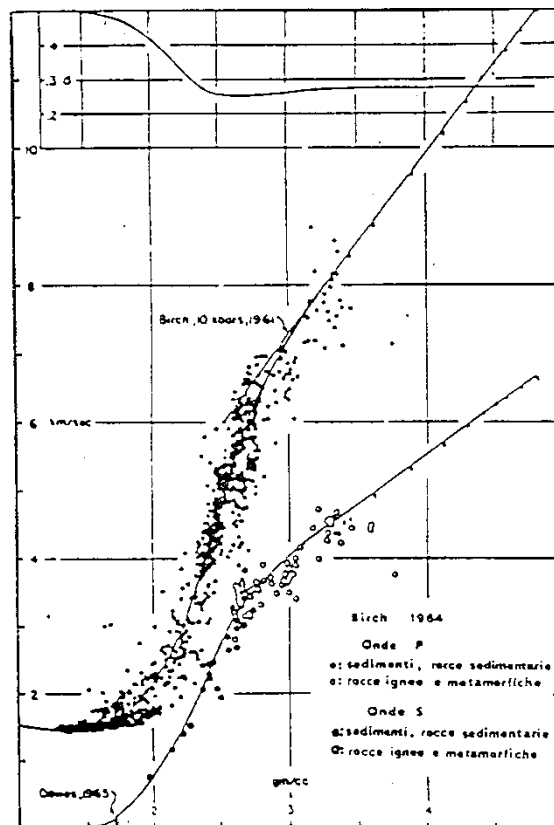
6.3 Caratterizzazione Geotecnica.

Per la caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso possono utilizzarsi alcune correlazioni semi-empiriche tra la velocità di propagazione delle onde elastiche ed i principali parametri geomeccanici: densità, modulo di Poisson, modulo elastico statico, RQD.

La densità della roccia può essere ricavata dalla relazione:

$$\gamma = 0.23V^{0.25}$$

dove γ è la densità espressa in g/cm^3 e V è la velocità delle onde di tipo P (longitudinali o di pressione) espressa in ft/s. Il grafico seguente riporta la correlazione tra il modulo di Poisson (ν), la velocità delle onde longitudinali e la densità.



Correlazione tra velocità, densità e rapporto di Poisson

Noti questi tre parametri, è possibile calcolare i moduli elastici dinamici. Tra questi, quello che riveste maggiore importanza ai fini del calcolo delle deformazioni indotte da carichi verticali è il modulo di Young (E_{din}) calcolabile mediante la relazione:

$$E_{\text{din}} = \gamma V^2 (1 - 2\nu)(1 + \nu) / (1 - \nu)$$

E' stato osservato che il rapporto tra il modulo elastico in condizioni statiche (E_{stat}) e quello in condizioni dinamiche (E_{din}) ricavato da prove sismiche, diminuisce al diminuire della

qualità della roccia. In base alla correlazione semi-empirica indicata dal NAV-FAC Manual (1982):

$$E_{\text{stat}} = E_{\text{din}}/10$$

Stabilito il valore del modulo di Young E, il modulo di taglio G di una roccia isotropa può essere ricavato utilizzando l'espressione:

$$G = E_{\text{din}}/2 \times (1 + \nu)$$

Un altro parametro deducibile mediante legami empirici dalle caratteristiche elastiche è l'indice di qualità della roccia normalmente espresso tramite l'RQD (Rock Quality Designation) che rappresenta il recupero percentuale di carotaggio tenendo conto dei singoli spezzoni di carota aventi lunghezza superiore a cm 10; tale indice è di fondamentale importanza nella caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

F. ZEZZA⁽⁴⁾ ha verificato che il valore della velocità di propagazione delle onde sismiche in un ammasso roccioso carbonatico varia tra 0.7 Km/s, quando l'ammasso roccioso è completamente carsificato, e 4.5 Km/s quando l'ammasso è poco fessurato e non carsificato. Entro questo intervallo di velocità l'autore distingue cinque differenti gradi di carsificazione ai quali corrispondono le seguenti caratteristiche dell'ammasso roccioso:

grado V: $v=0.7 \div 1.0$ Km/s. Sono cancellati i caratteri tessiturali della roccia in posto, i cui relitti si trovano inglobati in abbondante terra rossa.

grado IV: $v=1.1 \div 1.9$ Km/s. Sono conservati i caratteri tessiturali della roccia in posto, attraversata in ogni senso da cavità carsiche attive e fossili.

grado III: $v=2.0 \div 3.0$ km/s. Diffusa presenza di cavità collegate ai processi di erosione e di dissoluzione carsica.

grado II: $v=3.1 \div 4.5$ km/s. Giunti di fessurazione interessati solo parzialmente da manifestazioni carsiche.

grado I: $v > 4.5$ Km/s. Assenza completa di manifestazioni carsiche: giunti di fessurazione radi e bancate compatte.

Sempre secondo F. ZEZZA i suddetti gradi di carsificazione sono correlabili con il rapporto di velocità V_R e l'indice RQD che consentono di definire anche la "qualità" della roccia carsificata. Pertanto la classificazione e la caratterizzazione in sito di un ammasso roccioso

⁽⁴⁾ ZEZZA F. - Caratterizzazione in situ delle rocce carbonatiche in aree carsiche e paracarsiche mediante l'impiego del metodo sismico a rifrazione. Ciclo annuale di conferenze di Geofisica - Milano, 1978

carsificato può essere stabilita facendo riferimento ai parametri elencati nella seguente tabella (ZEZZA, 1978):

GRADO DI CARSIFICAZIONE	V_R	RQD	QUALITA' DELLA ROCCIA
grado V	0,15	0,00÷0,25	molto scadente
grado IV	0,15÷0,35	0,25÷0,50	scadente
grado III	0,35÷0,60	0,50÷0,75	discreta
grado II	0,60÷0,75	0,75÷0,90	buona
grado I	> 0,75	0,90÷1,00	eccellente

Dai dati ottenuti mediante le indagini in situ, considerando i valori delle velocità di propagazione delle onde elastiche nelle unità geomeccaniche individuate sono stati determinati i parametri relativi all'unità che, secondo le previsioni progettuali, costituirà il sedime fondale della struttura in progetto (unità geomeccanica $V_p=1100\div1300$ m/s):

Velocità onde longitudinali	(m/s)	1200
Modulo di Young	(Kg/cmq)	12300
Modulo elastico statico	(Kg/cmq)	1230
RQD		30%
Modulo di Poisson		0.4
Resistenza a compressione	(Kg/cmq)	100÷250
Densità	(gr/cmc)	1.83

Per la caratterizzazione geotecnica del substrato calcareo è stato utilizzato il sistema di classificazione di BIENIAWSKI applicato anche considerando l'analisi dei fronti di scavo disponibili nell'area di proprietà della De Riccardis srl. Tale classificazione consente una valutazione quali-quantitativa delle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

Questo sistema di classificazione tiene conto di cinque parametri caratteristici:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
- indice RQD;
- condizione dei giunti (scabrezza alterazioni delle pareti, apertura, materiale di riempimento);
- spaziatura giunti;
- condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale).

Ciascun parametro viene valutato in modo quantitativo e a ciascuno di essi è assegnato un indice parziale, come indicato nella seguente tabella

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	>80 kg/cm ²	40-80 kg/cm ²	20-40 kg/cm ²	10-20 kg/cm ²	Non applicabile		
		Compressione uniassiale	>2000kg/cm ²	1000-2000 kg/cm ²	500-1000 kg/cm ²	250-500 kg/cm ²	100-250 kg/cm ²	30-100 kg/cm ²	10-30 kg/cm ²
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		>3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	<50 mm		
	INDICE		30	25	20	10	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura <0.1mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura <1mm Pareti roccia tenera	Superfici lisce o laminate o riempimento <5 mm o apertura 1-5 mm giunti continui	Riempimento tenero spessore >5 mm o giunti aperti >5 mm giunti continui		
	INDICE		25	20	12	6	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel	Assente		<25 litri/min	25-125 litri/min	>125 litri/min		
		pressione acqua Rapp. nei giunti Soll. nat. in situ	0		0.0-0.2	0.2-0.5	<0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto		Solo umidità	Acqua in debole pressione	Severi problemi idraulici		
	INDICE		10		7	4	0		

Tab. 3 - Valore dei parametri relativi alla classificazione di Bieniawski.

N = Σ ni	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITA' DELL'AMMASSO	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
c kg/cm ²	> 1	1-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	>3.0
φ	< 30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°	>45°
GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTA' DI SCAVO	nessuna difficoltà	può essere cavato facilmente Frammentazione notevole	discreta difficoltà	si scava con difficoltà Frammenti di notevoli dimensioni	notevoli difficoltà di scavo
T	10 min	5 ore	1 settimana	6 mesi	10 anni
L m	0.5	1.5	2	4	5

Tab. 4 - Classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski.

Per quanto riguarda l'unità geomeccanica presa in considerazione la resistenza a compressione uniassiale può assumersi pari a 100÷250 Kg/cm².

A tale valore della resistenza della roccia intatta corrisponde, nella classificazione di BIENIAWSKI, un indice pari a 2.

Il valore dell'RQD, come visto precedentemente, può assumersi pari a 0.30; a tale valore compete un indice 8.

Per quanto riguarda la spaziatura e le condizioni dei giunti, la prima può essere stimata in 50-300 mm, mentre la seconda è caratterizzata da riempimento tenero, spessore maggiore di 5 mm e/o giunti aperti maggiori di 5 mm, pareti della roccia dura. Al primo parametro può essere assegnato il valore 10 ed al secondo il valore 0.

Alle condizioni idrauliche si può assegnare l'indice 10 corrispondente alla condizione "completamente asciutto" poiché non sussistono le condizioni idrogeologiche perché sia presente l'acqua.

Pertanto, riepilogando i valori dei parametri relativi alla classificazione di BIENIAWSKI, si è ottenuto:

- resistenza a compressione uniassiale roccia intatta.....	indice	2
- indice RQD.....	"	8
- spaziatura giunti.....	"	10
- condizioni giunti.....	"	0
- condizioni idrauliche.....	"	<u>10</u>
Totale.....	"	30

La somma degli indici parziali relativi ai singoli parametri analizzati fornisce l'indice complessivo, o indice RMR, dell'ammasso roccioso.

In base al valore di tale indice, l'ammasso roccioso viene suddiviso in 5 classi come indicato nella precedente tab. 4. Per ciascuna classe viene indicata una stima, di larga massima, dei parametri di resistenza globale dell'ammasso roccioso.

Poiché nel caso in esame $RMR = 30$, l'unità geomeccanica può essere collocata nella classe IV "scadente" cui compete una coesione $c = 1-1.5 \text{ Kg/cm}^2$ ed un angolo d'attrito interno $\phi = 30^\circ-35^\circ$.

L'unità in parola è pertanto caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$\gamma = 1.83 \text{ t/m}^3; \quad c = 10 \text{ t/m}^2; \quad RQD = 0.30; \quad \phi = 30^\circ$$

6.4.Caratterizzazione del suolo ai sensi del D.M. 17/01/18

Per quanto attiene gli aspetti relativi alla individuazione della categoria di sottosuolo di cui al par. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 -Norme tecniche per le costruzioni- è stata utilizzata la prospezione geofisica eseguita con la tecnica Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) ubicata sullo stesso allineamento del profilo sismico a rifrazione 2-2' (Fig. 13).

L'O.P.C.M. 3274, il successivo D.M. 14/01/2008 ed il recente D.M. 17/01/2018, hanno introdotto una nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo e mondiale.

Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E), sulla base dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . Secondo la norma i valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

I valori di V_S 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, $V_{S,eq}$ (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 V_S 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 $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, 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 rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800m/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 superiore 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 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 superiori a 30 m.

Sia nel D.M. 14/01/2008 che nel recente D.M. 17/01/2018, viene in sostanza enfatizzata l'importanza del parametro V_s che com'è noto è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

Le tecniche investigative per l'acquisizione di questo parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- Prove in foro (down hole e cross hole)

- Profili sismici (riflessione o rifrazione) con geofoni orizzontali ed energizzatori di onde SH.
- Modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (SASW, MASW e Refraction Microtremor) e l'impiego di geofoni verticali.

Le prime richiedono la realizzazione di fori di sondaggio appositamente attrezzati per un ottimale accoppiamento dei sensori e quindi un consistente impegno economico. Le seconde offrono risultati qualitativamente elevati ma costi di esecuzione impegnativi.

Le ultime, al contrario, vengono realizzate (fa eccezione la SASW) con procedure operative molto simili a quelle applicate per la comune microsismica e sono di conseguenza meno onerose ed hanno un grado di incertezza nella determinazione della $V_s < 20\%$.

In particolare, la tecnica di Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle V_s relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera.

La tecnica MASW consiste nella registrazione simultanea presso più ricevitori (min. 12) di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva, posta ad una certa distanza dal primo geofono ricevitore. In particolare, tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni allineati lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. I dati così acquisiti vengono successivamente analizzati attraverso complesse tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo dell'area in esame, è stata eseguita una prospezione sismica MASW mediante l'utilizzo di sismografo A6000S 24 bit 12/36 canali della M.A.E.s.r.l., strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali Re.Mi. (Refraction Microtremor), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves).

La sorgente sismica è costituita da un maglio dal peso di kg 8 battente su una piastra circolare in alluminio. Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale a 14 Hz, posto in prossimità della piastra posizionata alla distanza di m 5 dal primo geofono. La battuta sulla superficie della piastra è stata eseguita in maniera netta e, in caso di rimbalzi della mazza o di sollecitazioni prolungate, la prova è stata ripetuta.

Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali da 4,5 Hz, posizionati lungo il profilo di indagine (Fig.13 e foto seguente). La lunghezza complessiva dello stendimento è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni di sedime in esame.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

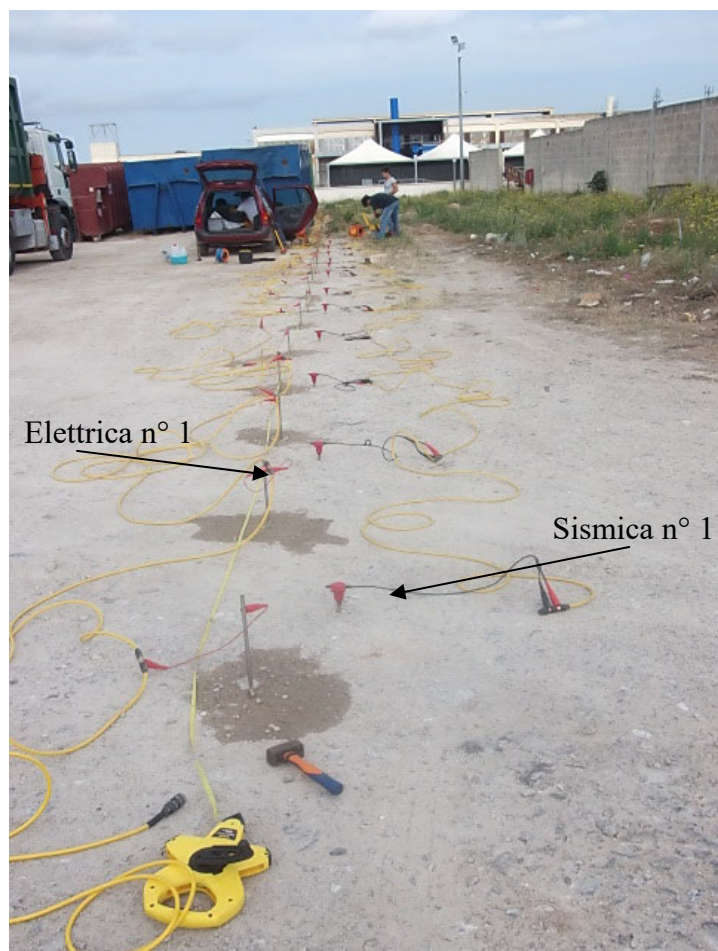


Foto 20 – Indagini geofisiche 1

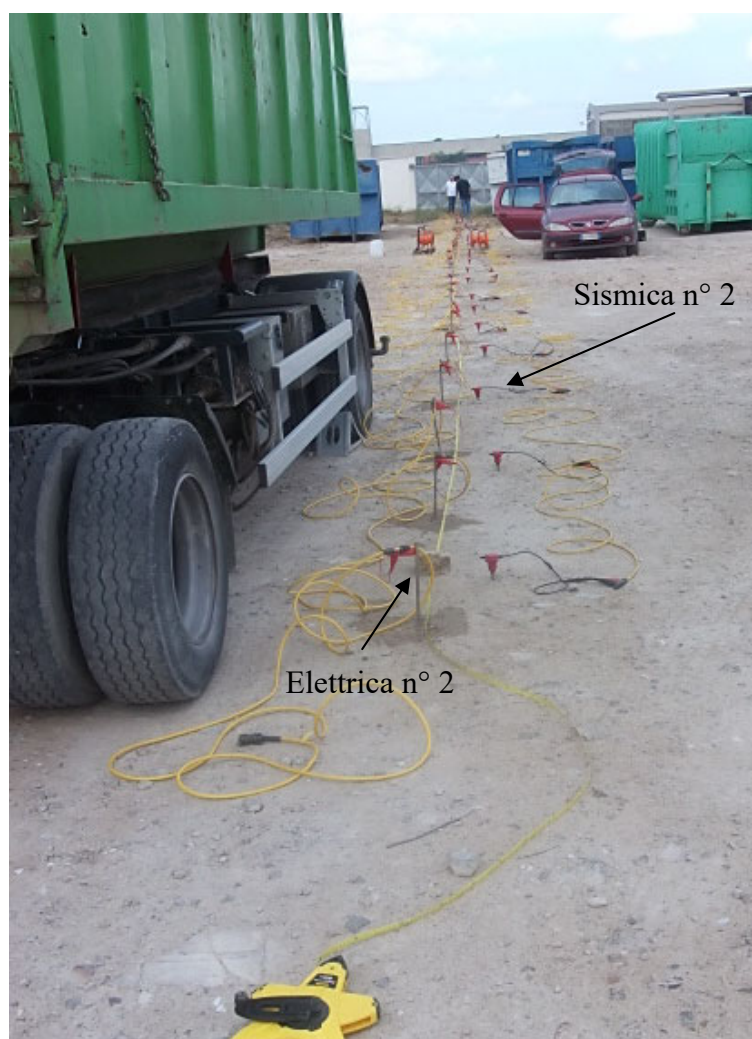
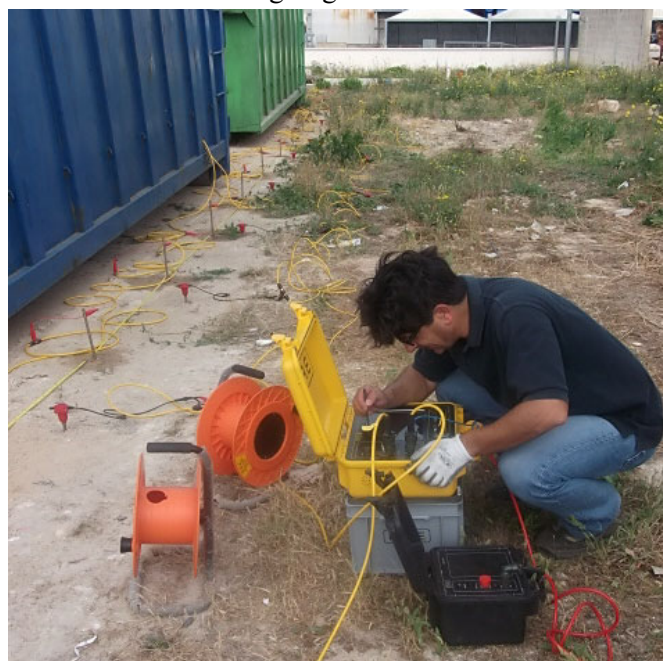
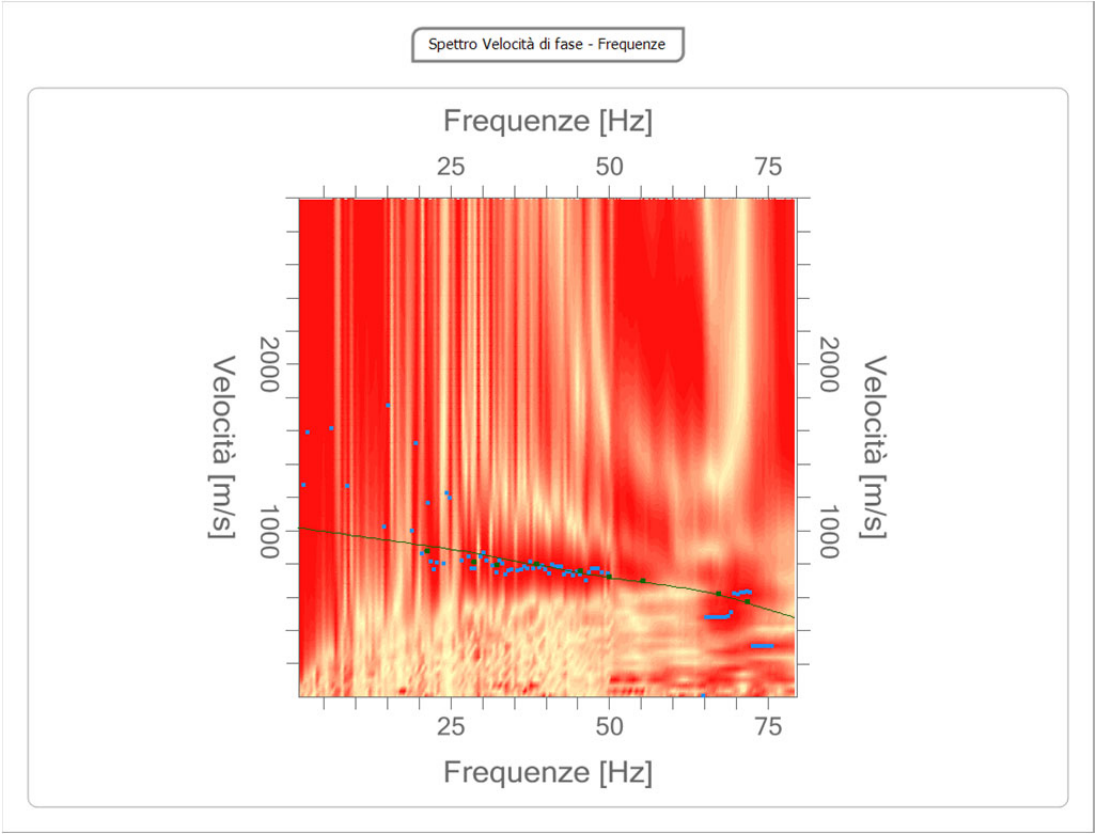
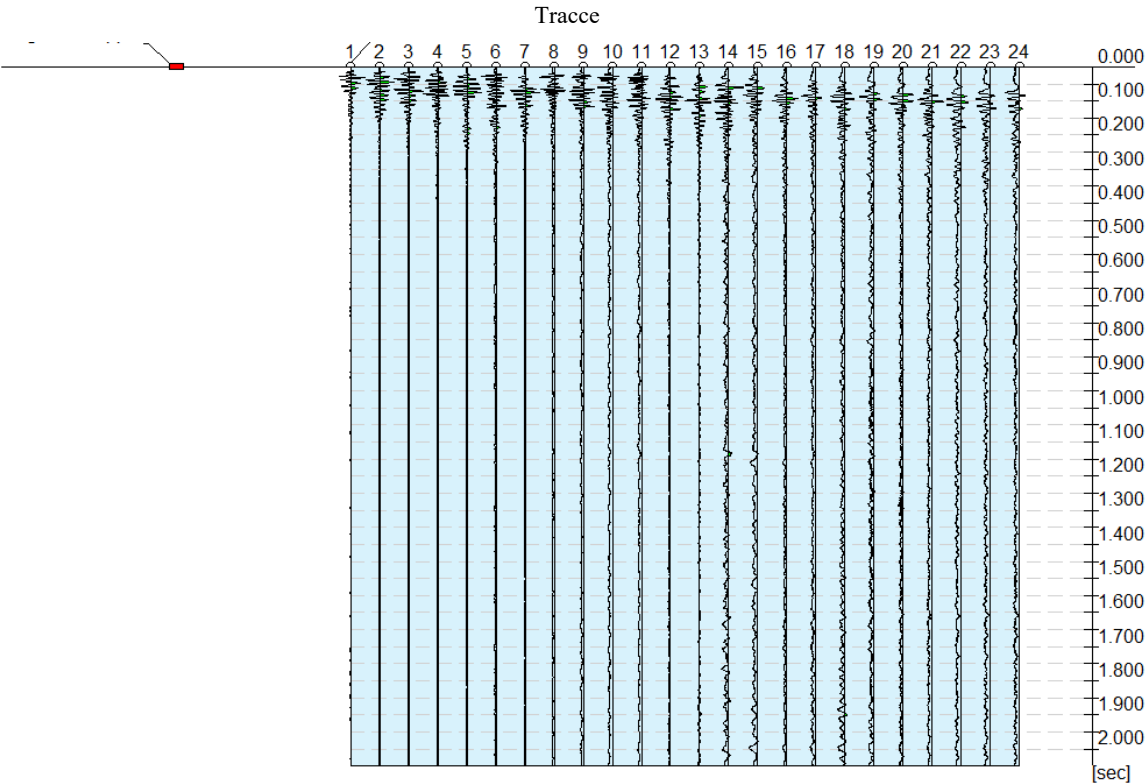
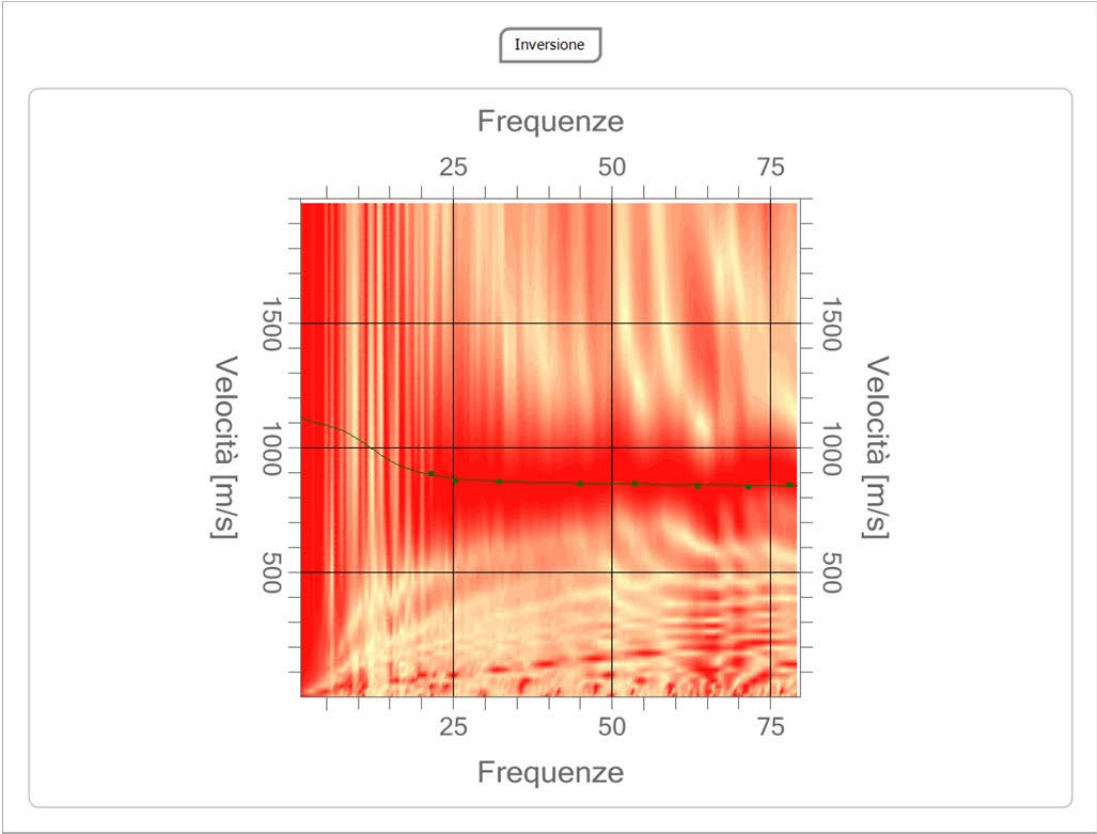
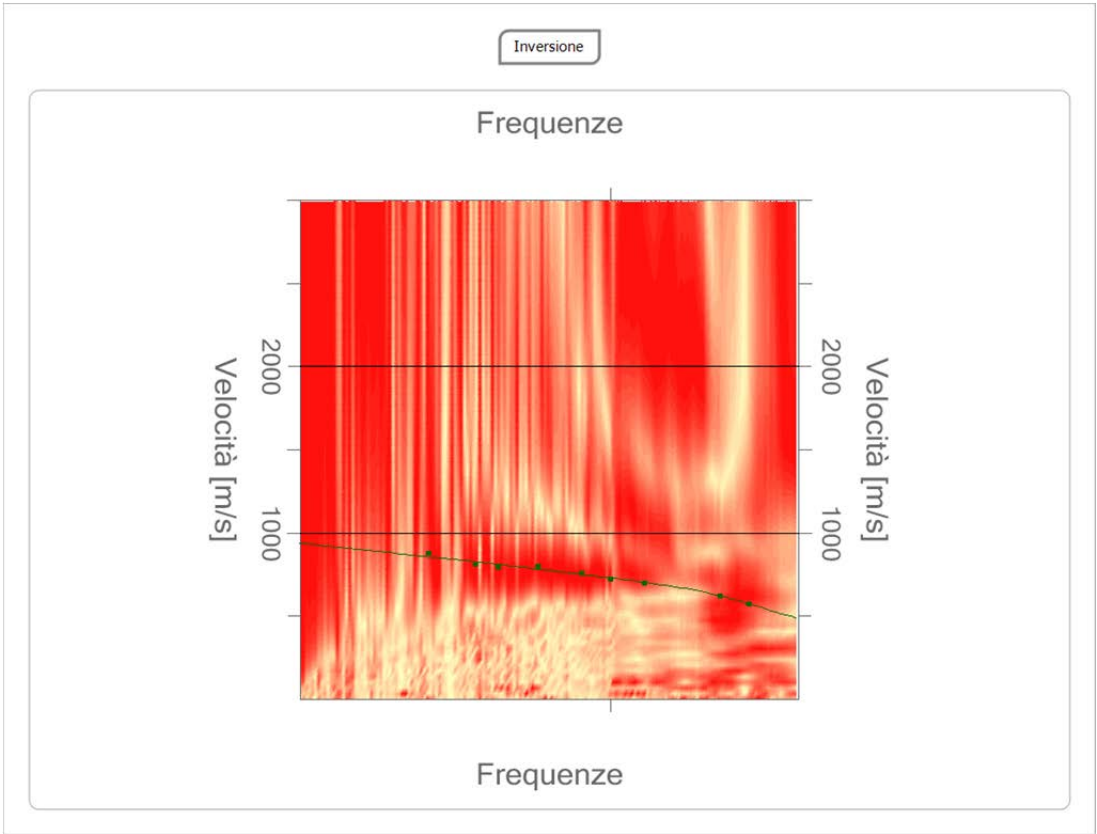
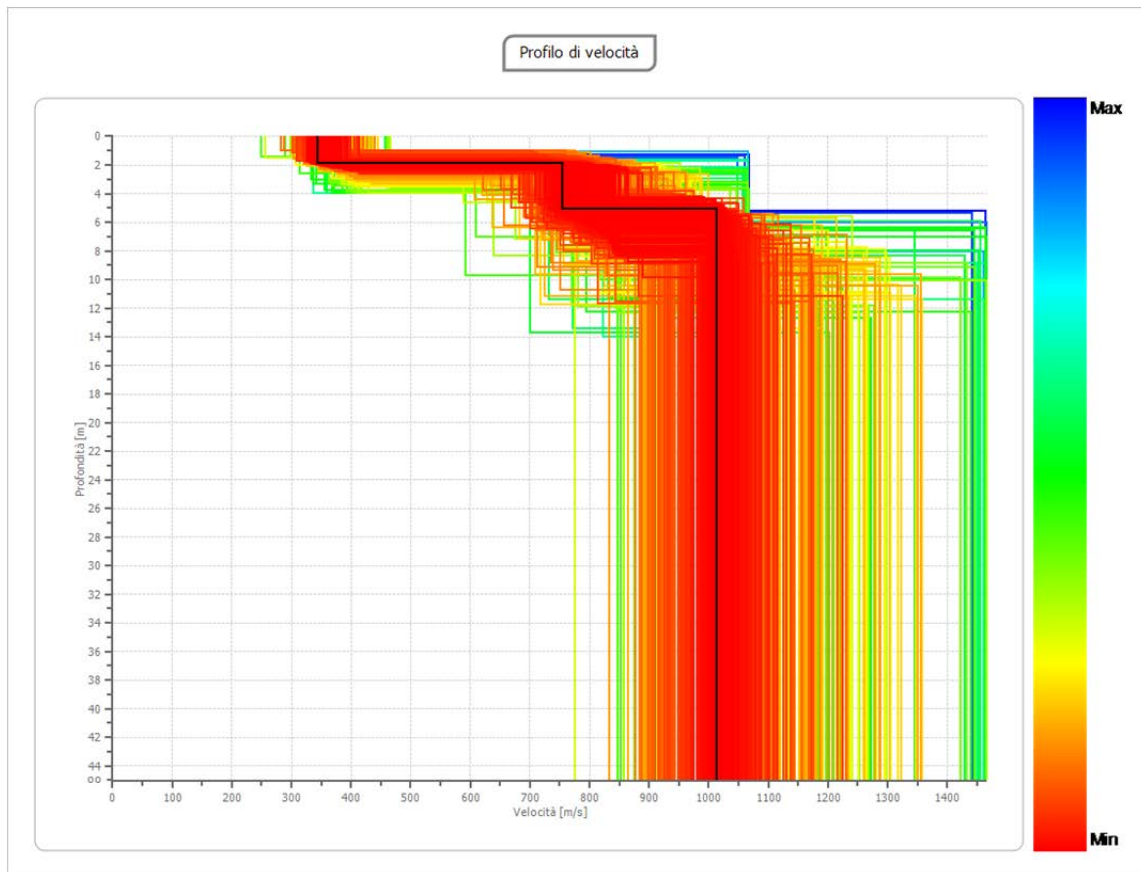


Foto 20 – Indagini geofisiche 2 e MASW









Categoria di sottosuolo

Dall'analisi dei risultati dell'indagine MASW e considerando un piano di posa di una ipotetica struttura fondale superficiale attestato ad una profondità minima pari a m -1.5 dal p.c., si è ottenuto che la $V_{S,eq}$ nell'area in oggetto assume un valore pari a:

$$V_{S,eq} = 673.56 \text{ m/s}$$

Pertanto, sulla scorta dei calcoli eseguiti, il suolo in esame ricade nella **categoria "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.* “così come definito al punto 3.2.2 - Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche del D.M. 17/01/18 - Norme tecniche per le costruzioni-(Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato).

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse e necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici, quali quella di studio, si può adottare la classificazione riportata nella tabella seguente:

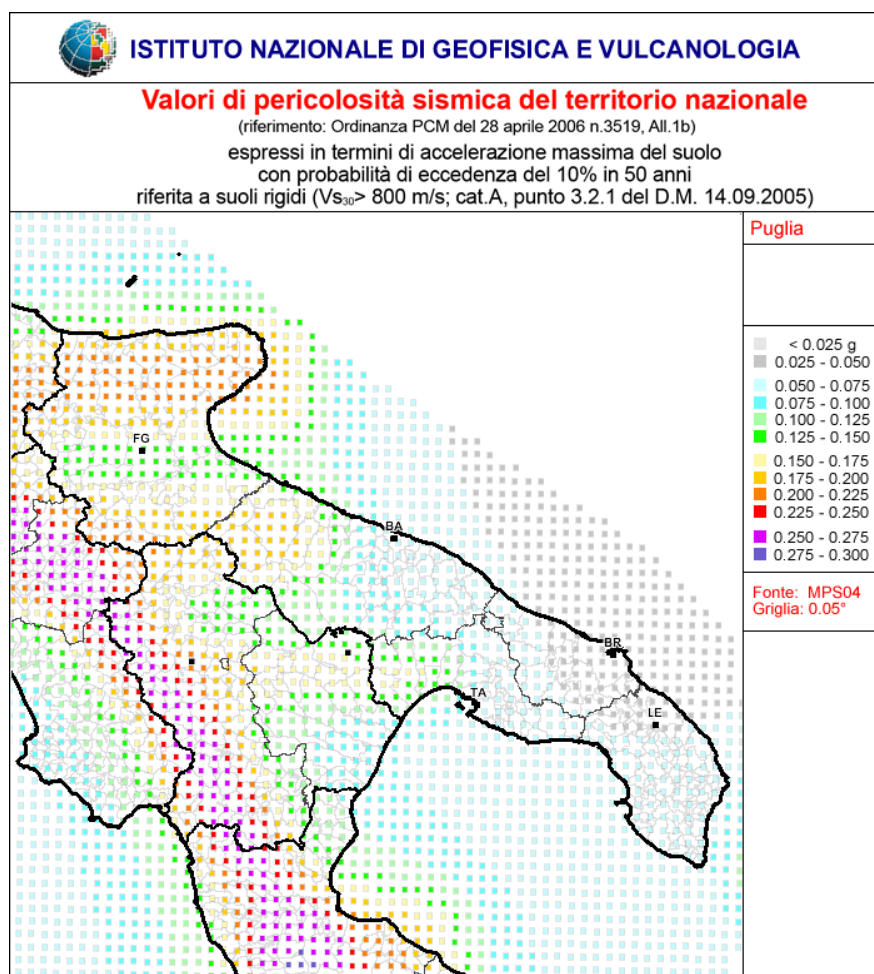
Tab. 3.2.III -D.M. 17/01/2018 – *Categorie topografiche*

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

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Per la valutazione del coefficiente di amplificazione topografica S_T , viste le condizioni in sito e l'orografia della zona, si è attribuita la categoria topografica T1, Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

6.5 Pericolosità sismica di base del sito – Parametri sismici-

Il D.M. 14/01/2008, oggi sostituito dal D.M. 17/01/2018, ha introdotto una nuova modalità di valutazione dell'intensità dell'azione sismica della quale tener conto nella fase di progettazione dei fabbricati, basata non più su una mappa sismica "classica" suddivisa in categorie o zone, bensì su un reticolo di riferimento, creato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, consultabile interattivamente sul sito web dell'I.N.G.V. La grande novità consiste nel non avere più delle aree perfettamente confinate; il nuovo sistema di mappatura suddivide infatti l'intero territorio nazionale in riquadri, di lato pari a 10 km, in cui a ciascun vertice, tramite una scala cromatica, è attribuito un valore di accelerazione sismica a_g prevista sul suolo, definita come *parametro dello scuotimento*, da utilizzare come riferimento per la valutazione dell'effetto sismico da applicare all'opera di progetto, secondo le procedure indicate nello stesso Decreto Ministeriale. Nell'immagine seguente è contenuta la rappresentazione sul reticolo di riferimento del particolare delle Regioni Puglia e Basilicata.



Nella figura s'individua immediatamente la suddivisione in riquadri del territorio, i segnali colorati posti sui vertici ed i relativi intervalli di valori di a_g . L'impiego del reticolo di riferimento consente una caratterizzazione sismica dei siti molto più dettagliata e particolareggiata che in passato, anche se costringe i progettisti, per la valutazione del valore di picco dell'accelerazione sismica, in primo luogo, ad accedere al reticolo tramite le coordinate (longitudine e latitudine) del punto ove è localizzata l'opera e, soprattutto, ad eseguire le previste procedure di interpolazione, visto che è alquanto improbabile che la struttura di progetto ricada precisamente su un vertice dei quadrati costituenti il reticolo.

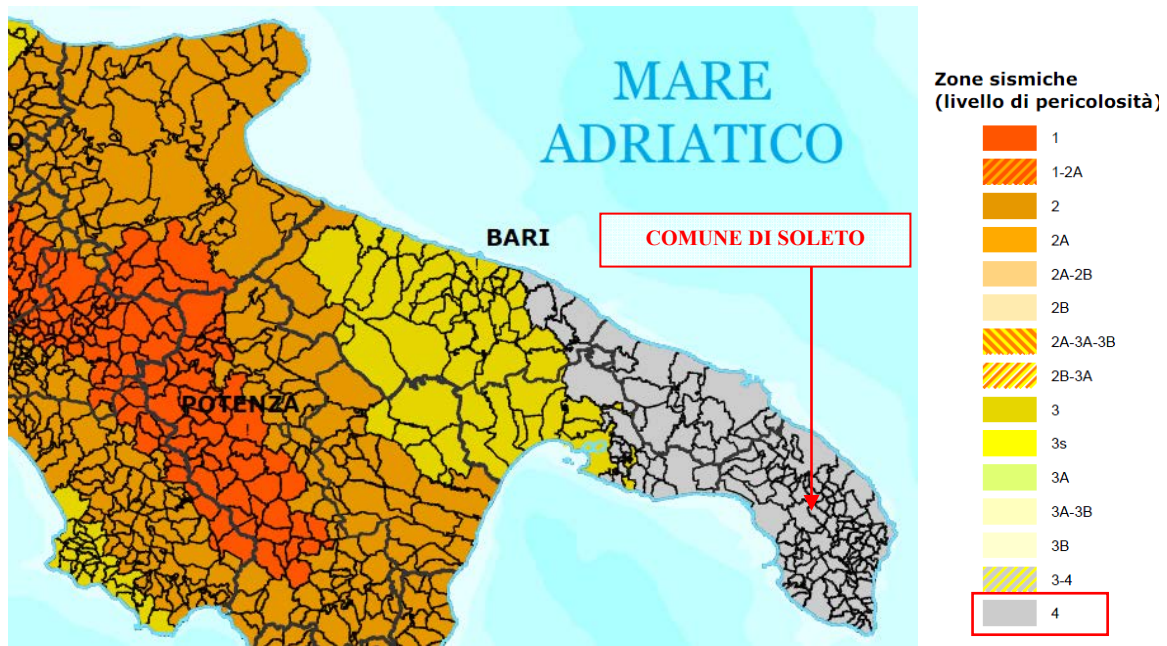
Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

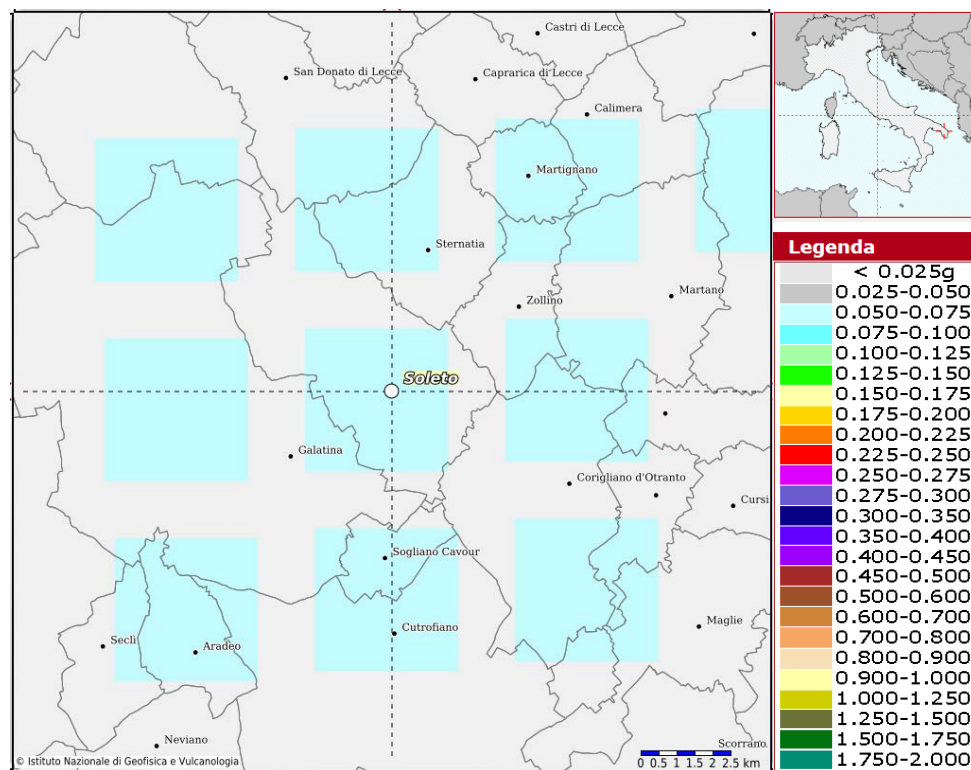
Secondo la classificazione sismica del territorio Regionale Pugliese (D.G.R. 153/2004), il Comune di Soleto (LE) ricade in Zona 4 (grado di sismicità basso).



zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [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

Secondo quanto riportato nelle N.T.C. 17/01/2018 all'opera si deve attribuire un'accelerazione massima orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni minore di 0.05g, pari ad un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base (suoli di categoria "A") pari ad $a_g=0.05g$.

L'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.005 - 0.075 g, come evidenziato nella figura seguente in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.



Per la valutazione del coefficiente di amplificazione topografica S_T , viste le condizioni in sito e l'orografia della zona, si è attribuita la categoria topografica T1, Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

Ai sensi delle NTC 2018 l'opera in progetto dal punto di vista della Vita nominale di progetto è classificabile come Tipo 2 (Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari).

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Per quanto attiene la Classe d'uso è riferibile alla Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

per tale opera, con vita nominale $V_N \geq 50$ anni, e $C_u = 1$, l'azione sismica dovrà essere determinata per il periodo di riferimento $V_R = 50$ anni.

Sito in esame.

latitudine: 40,201817 [°]

longitudine: 18,172521 [°]

Classe d'uso: II.

Vita nominale: 50 [anni]

Siti di riferimento

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	35702	40,1885	18,1368	3380,325
Sito 2	35703	40,1857	18,2021	3082,007
Sito 3	35481	40,2356	18,2057	4698,522
Sito 4	35480	40,2384	18,1403	4899,406

(coordinate geografiche espresse in ED50)



Dettaglio del reticolo di riferimento con individuazione del sito d'intervento

Parametri sismici**Categoria sottosuolo: B**

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,014	2,414	0,157
Danno (SLD)	63	50	0,019	2,409	0,207
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,053	2,398	0,476
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,069	2,481	0,534

Coefficienti sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,20	1,59	1,00	0,003	0,002	0,167	0,200
SLD	1,20	1,51	1,00	0,005	0,002	0,223	0,200
SLV	1,20	1,28	1,00	0,013	0,006	0,621	0,200
SLC	1,20	1,25	1,00	0,017	0,008	0,811	0,200

7. Sintesi Conclusiva

La presente Relazione è stata redatta con il preciso intento di chiarire il locale assetto idrogeologico sulla base di dati di sito, in special modo per quanto attiene la ricostruzione della attuale morfologia della superficie piezometrica della falda profonda e della locale direzione di deflusso delle acque sotterranee, al fine di una corretta scelta della rete di monitoraggio della falda.

L'area oggetto degli interventi ricade nella zona centro-occidentale del territorio di Soleto, nella zona industriale ed è prospiciente su via Bruxelles. La superficie topografica nell'immediato intorno del sito ha quota media sul livello del mare pari a m 66.

Il sito risulta libero dai principali vincoli geologici, geomorfologici, idraulici e paesaggistici; infatti non ricade né in area a pericolosità idraulica, né in area a pericolosità geomorfologica e conseguentemente non ricade in area a rischio. Sia l'area d'impianto esistente che quella in ampliamento non sono interessate da emergenze e forme geomorfologiche di alcun tipo. Il sito d'intervento e l'ambito a destinazione industriale che lo circonda non è interessato né dalla presenza di beni paesaggistici né da ulteriori contesti di cui al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.

Secondo quanto indicato nella tavola C06 del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia -*Aree di vincolo d'uso degli acquiferi*- il sito ricade nelle *Aree di tutela qualitativa* e non ricade in *Zona di protezione speciale idrogeologica*. In un vasto intorno dello stesso, non sono rinvenibili opere di captazione AQP di qualsiasi grado di priorità

È collocato al margine occidentale della “*Serra di Soleto e Corigliano*”, un alto strutturale avente asse d'allungamento di direzione nordovest-sudest. In esso affiora la formazione del *Calcarea di Altamura (Cretaceo)* che rappresenta il basamento dell'intera regione ed è costituita da una potente successione carbonatica il cui affioramento condiziona oltre l'area d'intervento anche la gran parte del territorio cartografato in Fig.7. L'unità è costituita da una serie di strati a composizione calcarea, calcareo-dolomitica e dolomitica, a struttura subsaccaroide e sovente vacuolare, alternantisi con calcari micritici e bioclastici, talora brecciati. Il colore varia dal grigio al nocciola fino al bianco. La giacitura è generalmente orizzontale o sub-orizzontale; non è infrequente però che in alcune cave circostanti l'area, si riescano a ritrovare strati con immersione in direzione ovest-sud-ovest e inclinazione contenuta entro i 10°.

Per quel che concerne gli aspetti geomorfologici, l'area d'intervento non presenta particolarità di rilievo e non si osservano fenomeni evolutivi in atto.

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità dei litotipi calcarei di sedime è stata presa in considerazione, una prova di assorbimento a carico variabile in pozzetto superficiale effettuata dallo scrivente nei pressi di via Portogallo il 14/11/2023, previa escavazione di un pozzetto a sezione quadrata.

In base ai risultati ottenuti, prudenzialmente, per eventuali calcoli successivi, sarà opportuno utilizzare un valore medio della permeabilità "k" dell'insieme dolomie-depositi eluviali che costituiscono l'immediato sottosuolo del sito pari a: 1.31×10^{-3} cm/s, ovvero 1.31×10^{-5} m/s.

Per quanto riguarda la struttura idrogeologica la serie presente nel sito d'intervento è completamente costituita dalla sequenza calcareo-dolomitica cretacea, stratificata, tettonizzata e carsificata, a media ad elevata permeabilità. (Fig. 8).

Le conoscenze acquisite consentono di individuare la presenza di un unico principale tipo di acquifero, quello di fondo. Si tratta di una falda imponente che, nonostante la complessità della struttura serbatoio, è a giusta ragione ritenuta, in senso regionale, unica.

La circolazione idrica si esplica generalmente a pelo libero secondo livelli idrici preferenziali coincidenti con orizzonti rocciosi carsificati, a partire da quote di poco superiori all'orizzonte marino; ciò avviene nell'area d'intervento ed in gran parte della zona industriale di Galatina Soleto (Fig.8).

E' un acquifero tipico delle regioni peninsulari dove è diffuso il fenomeno del galleggiamento dell'acqua dolce di falda su quella marina, di maggiore densità, di invasione continentale. Per fattori connessi alle modalità di alimentazione e di scarica la falda assume una sezione lenticolare, con spessori massimi verso l'entroterra. Limitatamente all'area d'intervento, in base alle misure eseguite l'11/11/2024 nel pozzo aziendale (foto 6-7) si è ottenuto che l'altezza piezometrica sul livello del mare nell'area d'intervento risulta pari a circa m 2.03, per cui la soggiacenza della falda è pari a m 63.97 mentre lo spessore dell'acquifero è orientativamente valutabile in m 80 (Fig.8).

Seguendo l'approccio De Luca e Verga^[5], l'area in esame è caratterizzata da un *alto grado di vulnerabilità* verticale dell'acquifero.

^[5] De Luca, Verga: *Una metodologia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*

Per quanto riguarda la piezometria della falda, la TAV. C05 del P.T.A., della quale l'allegata Fig.9 costituisce parziale riproduzione, indica che nell'area oggetto di studio, la morfologia della superficie piezometrica dell'acquifero, compresa tra le isopieze 2 e 3 m. s.l.m., risulta interessata da un alto idrogeologico centrato sull'abitato di Galatina.

La direzione preferenziale del deflusso sotterraneo, nell'area d'intervento, risulta orientata verso da est verso ovest e più generalmente verso la costa ionica.

La TAV. C05 del P.T.A. ha forti limiti di attendibilità sia perché realizzata sulla base di un numero di misure non particolarmente elevato in rapporto al territorio considerato, sia perché realizzata in un contesto di alimentazione ben diverso da quello attuale caratterizzato da un prolungato periodo di siccità.

Per lo studio delle caratteristiche idrodinamiche reali della falda profonda sono stati scelti una serie di pozzi ritenuti idonei per misure del livello piezometrico attendibili.

Sono stati preferiti quelli non utilizzati e, pertanto, sprovvisti di impianto di sollevamento; tali pozzi rappresentano gli unici idonei alle misurazioni sia per l'assenza di ostacoli all'immissione della sonda freaticometrica, sia perché, non essendo utilizzati, forniscono la reale profondità della superficie freaticometrica della falda profonda, senza negative influenze provocate da emungimenti e prelievi a scopi residenziali, agricoli o industriali. Solo in tre casi (pozzo Macero Sud, piezometro AQP e pozzo Pietro De Pascalis Divisione Plastiche) sono stati utilizzati pozzi equipaggiati per i quali ci si è accertati che gli emungimenti fossero stati sospesi da almeno 12 ore. Tutti i 12 pozzi di misurazione, sono sufficientemente distanziati da altre captazioni autorizzate.

Le misure dei livelli freatici sono state eseguite nella giornata del 11/11/2024 dalle ore 8:00 alle ore 15:00 per la necessità di rilevare i livelli nel minor tempo possibile, in condizioni di tempo stabile.

Le misure, eseguite con sonda freaticometrica GESTECNO modello FRE da 100 metri, sono riportate nella tabella 1 di pag.22 .

La rappresentazione grafica della morfologia della superficie piezometrica della falda profonda nell'area d'intervento è riportata in Fig.10 - ISOPIEZOMETRICHE DELLA FALDA PROFONDA– redatta in scala 1:40.000.

Da essa è evidente che il territorio interessato dai rilievi può essere diviso in tre zone: due in cui la falda raggiunge i massimi valori di carico idraulico e la superficie piezometrica si rinviene a quote anche superiori ai 3 m s.l.m. ed una terza zona situata centralmente fra

quelle suddette, in cui la superficie piezometrica si deprime visibilmente raggiungendo il valore di carico minimo t pari a 1.5 m sl.m..

Le prime due zone si definiscono *zona di alimentazione* o *alto idrogeologico* mentre la terza si definisce *zona di drenaggio* o *basso idrogeologico* e verso essa si ha convergenza dei flussi idrici.

In adempimento a quanto richiesto dalla committenza, da ARPA Puglia e dal Servizio Tutela Ambientale e Transizione Ecologica della Provincia di Lecce si può serenamente affermare che i lotti di proprietà di Macero Sud, si rinvergono poco a sud-sudest della *zona di drenaggio* o *basso idrogeologico* e la direzione di flusso della falda si esplica chiaramente da sud-est verso nord-ovest.

Sulla base di tale risultato sono stati ricercati due pozzi lungo la suddetta direttrice di flusso della falda in modo da individuarne, in senso idrogeologico, uno a monte ed uno a valle del sito. Per quanto attiene il pozzo di monte, non avendo individuato alcun pozzo disponibile si prevede la realizzazione di un nuovo piezometro, nel quale sarà possibile eseguire agevolmente tutti i campionamenti e le misure del livello di falda necessari. Il piezometro sarà ubicato al vertice sud-est della attuale proprietà Macero Sud (Soletto Foglio. 12 part. 280) poco ad est dell'area di ampliamento dell'attività (vedi Fig.11 – POZZI DELLA RETE DI MONITORAGGIO- redatta in scala 1:2000). Per quanto riguarda le caratteristiche tecnico-costruttive del piezometro P1 si rimanda alla precedente fig. 12 – STRATIGRAFIA E PROGETTO PIEZOMETRO P1.

Per quanto attiene il pozzo di valle si è scelto il pozzo di proprietà della ditta Zincogam S.p.a che risulta ubicato in posizione ideale in riferimento alla suddetta direzione di flusso. Nella tabella 2 di pag. 29 si riportano le coordinate dei tre pozzi espresse nel sistema di riferimento WGS 84 UTM 33 Nord.

I pozzi P1 e P2, essendo in proprietà Macero Sud, saranno di immediata accessibilità, mentre per il P3 Zincogam sarà necessario solo avvisare la ditta, che ha dato piena disponibilità, in tempo utile.

Ai fini della ricostruzione litostratigrafico-geotecnica dei litotipi costituenti l'immediato sottosuolo dell'area d'intervento, è stata presa in considerazione una campagna di indagini condotte dallo scrivente nel 2013 nella sede dell'azienda.

Sono stati realizzati un profilo sismico mediante metodologia MASW, due profili sismici a rifrazione e due tomografie elettriche di superficie (Fig.13).

I risultati delle prospezioni sismiche hanno messo in evidenza, nel sottosuolo della zona in esame, la presenza di tre orizzonti a differenti caratteristiche sismiche, litologiche e geomeccaniche: l'orizzonte superficiale, associabile a terreno di riporto, è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde sismiche pari a 700 m/s; dalle differenti misure e dall'andamento delle dromocrone, si evince che questo orizzonte si rinviene fino ad una profondità variabile fra m -2 a m -3 dal p.c. Il secondo orizzonte individuato è caratterizzato da velocità delle onde sismiche pari a 1300 m/s e può essere associato ad una roccia calcarea fratturata, rinvenibile dalle suddette profondità sino alla profondità di -8 m dal p.c. Il terzo orizzonte, rinvenibile sino alla profondità investigata, è caratterizzato da velocità delle onde sismiche di 5000 m/s ed è assimilabile ad un calcare compatto (vedi sezioni sismostratigrafiche).

Le indagini elettriche, eseguite come in Fig. 13, hanno restituito risultati concordanti con quanto ottenuto con la prospezione sismica.

Per la caratterizzazione geomeccanica dei suddetti orizzonti sono state utilizzate le classiche correlazioni semi-empiriche tra la velocità di propagazione delle onde elastiche ed i principali parametri geomeccanici: densità, modulo di Poisson, modulo elastico statico, RQD.

Dai dati ottenuti, considerando i valori delle velocità di propagazione delle onde elastiche nelle unità geomeccaniche individuate, sono stati determinati i parametri relativi all'unità che, secondo le previsioni progettuali, costituirà il sedime fondale della struttura in progetto (unità geomeccanica $V_p=1100\div1300$ m/s):

Velocità onde longitudinali	(m/s)	1200
Modulo di Young	(Kg/cmq)	12300
Modulo elastico statico	(Kg/cmq)	1230
RQD		30%
Modulo di Poisson		0.4
Resistenza a compressione	(Kg/cmq)	100÷250
Densità	(gr/cmc)	1.83

Per la caratterizzazione geotecnica del substrato calcareo è stato utilizzato il sistema di classificazione di BIENIAWSKI applicato anche considerando l'analisi dei fronti di scavo disponibili nell'area di proprietà della De Riccardis srl. Poiché nel caso in esame $RMR = 30$, l'unità geomeccanica può essere collocata nella classe IV "scadente" cui compete una coesione $c = 1\div1.5$ Kg/cm² ed un angolo d'attrito interno $\varphi = 30^\circ\div35^\circ$.

L'unità in parola è pertanto caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$\gamma = 1.83 \text{ t/m}^3; \quad c = 10 \text{ t/m}^2; \quad \text{RQD} = 0.30; \quad \phi = 30^\circ$$

Per quanto attiene gli aspetti relativi alla individuazione della categoria di sottosuolo di cui al par. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 -Norme tecniche per le costruzioni- è stata utilizzata la prospezione geofisica eseguita con la tecnica Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) ubicata sullo stesso allineamento del profilo sismico a rifrazione 2-2' (Fig. 13).

Dall'analisi dei risultati e considerando un piano di posa di una ipotetica struttura fondale superficiale attestato ad una profondità minima pari a m -1.5 dal p.c., si è ottenuto che la $V_{s,eq}$ nell'area in oggetto assume un valore pari a:

$$V_{s,eq} = 673.56 \text{ m/s}$$

Pertanto, sulla scorta dei calcoli eseguiti, il suolo in esame ricade nella categoria “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. “così come definito al punto 3.2.2 - Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche del D.M. 17/01/18 - Norme tecniche per le costruzioni-(Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato).*

Tanto in adempimento all'incarico conferito.

Galatina, novembre 2024

Geologo Dott. Francesco Ligori

