

# CITTA' DI BRINDISI

## REGIONE PUGLIA

### Impianto agrovoltaico "Tuturano" della potenza di 67,66 MW in DC **PROGETTO DEFINITIVO**

COMMITTENTE:



**TUTURANO SRL**

TUTURANO srl  
Viale Duca d'Aosta, 51  
39100 Bolzano (BZ)  
P.IVA: 03033490214  
Tel: 0039 3409196155

PROGETTAZIONE:



TÈKNE srl  
Via Vincenzo Gioberti, 11 - 76123 ANDRIA  
Tel +39 0883 553714 - 552841 - Fax +39 0883 552915  
www.gruppotekne.it e-mail: contatti@gruppotekne.it



PROGETTISTA:

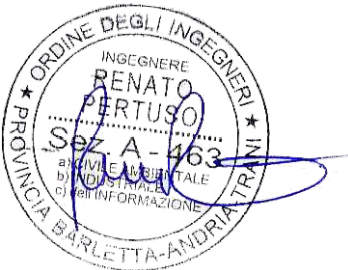
Dott. Ing. Renato Pertuso  
(Direttore Tecnico)

LEGALE RAPPRESENTANTE:

dott. Renato Mansi

CONSULENTE:

dott. geol. Angelo Ruta



# PD

PROGETTO DEFINITIVO

## RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA ED IDRAULICA

Tavola: **RE02**

Filename:

TKA526-PD-RE02-RelazioneGeo-R0.doc

Data 1°emissione:

**Settembre 2021**

Redatto:

A.RUTA

Verificato:

G.PERTOSO

Approvato:

R.PERTUSO

Scala:

Protocollo Tekne:

n° revisione

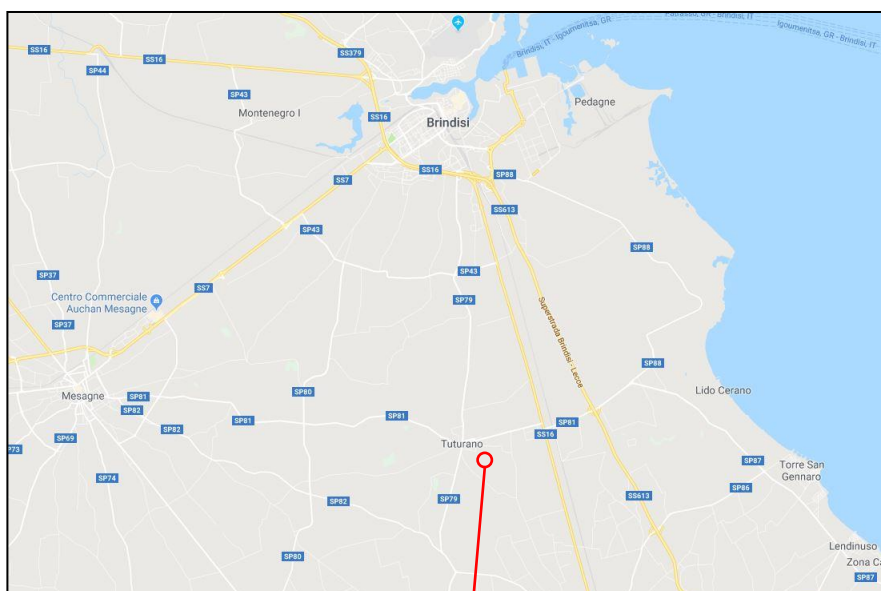
1				
2				
3				
4				

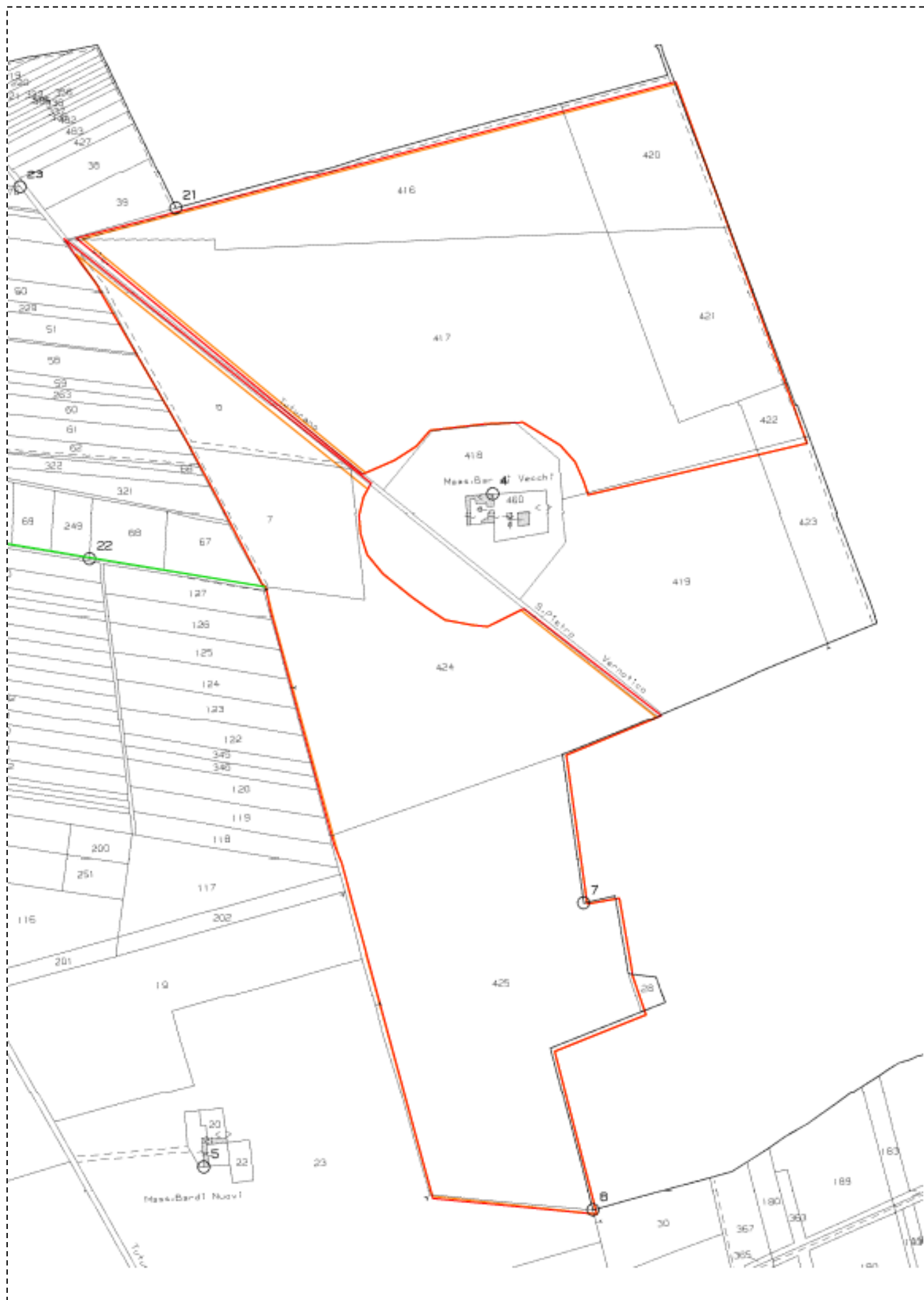
TKA526

## PREMESSA

Su incarico affidato allo scrivente dalla Società di Ingegneria TÈKNE con sede in Andria (BAT), è stata redatta la seguente relazione geologica e della pericolosità sismica di base in merito al progetto di realizzazione di un impianto agrolvoltaico.

L'area in studio è ubicata in agro del Comune di Brindisi presso la frazione di Tuturano in località "Masseria Bardi Vecchi"; questa è censita nel Catasto Terreni al foglio 183 particelle 6-7-424-425-416-417-420-421-422.





Presa visione dei luoghi, ed in accordo con la committenza, sono state concordate le seguenti indagini:

- Rilevamento geologico di dettaglio;
- Analisi vincolistica Idraulica e Geomorfologica
- Modellazione geologica ed idrogeologica
- Pericolosità sismica di base
- Indagine MASW,  $V_{seq}$  e classificazione del suolo di fondazione.
- Indagine geofisica
- Parametrizzazione geotecnica del substrato di fondazione.

I dati di campagna sono stati integrati con la bibliografia specialistica esistente sulla zona. La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla vigente normativa sui terreni di fondazione, L. 64/74, DM 21.01.81, DM 11.03.88, DM 14.09.05 e DM 14.01.08, NTC 2018.

Il PAI, adottato con Delibera Istituzionale n°25 del 15/12/2004 ed approvato con Delibera Istituzionale n°39 del 30/11/2005, è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità dei versanti, necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

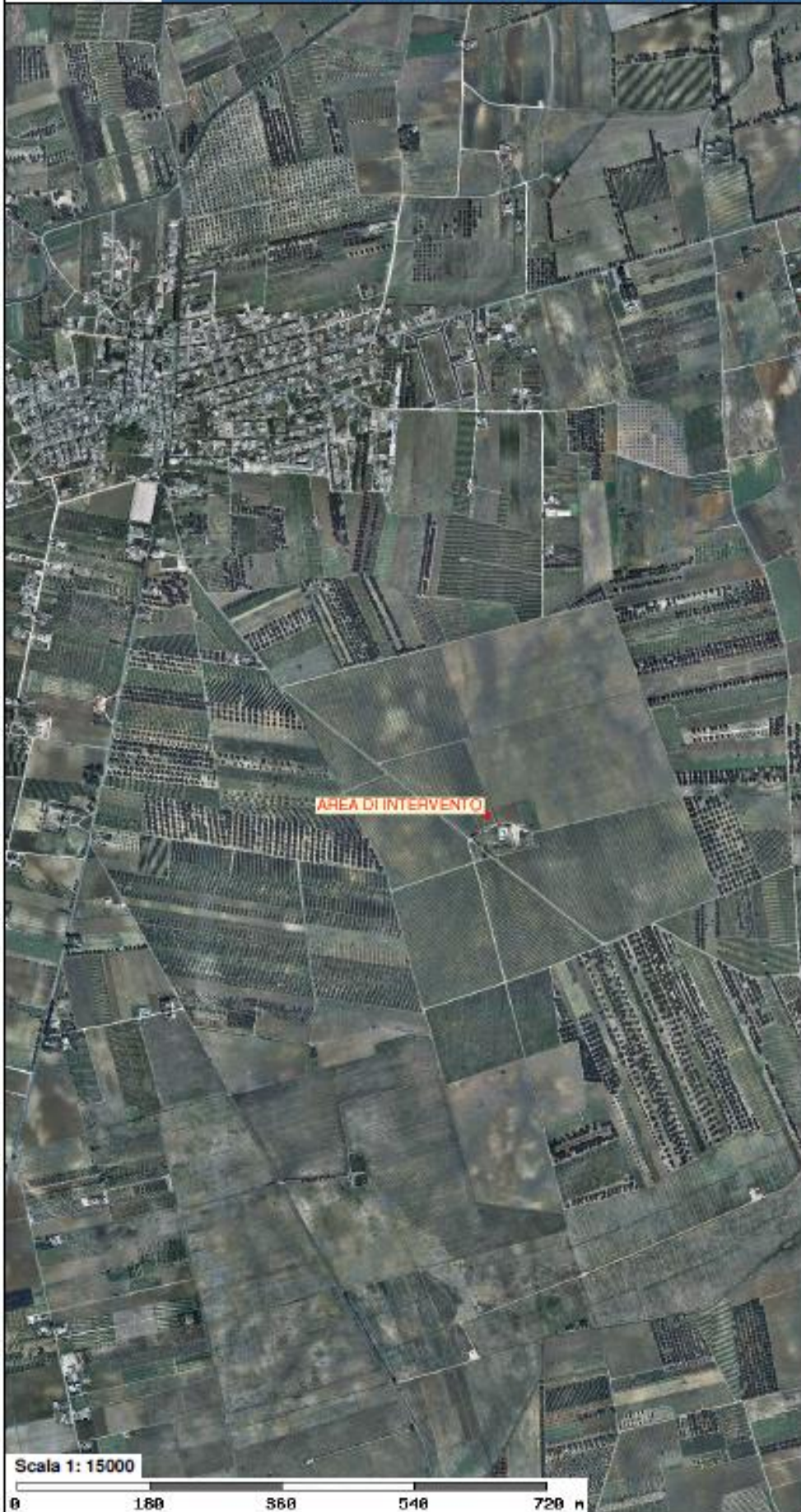
L'analisi della “Carta di Rischio e della Pericolosità Idraulica e Geomorfologica” (aggiornata al 19/11/2019) e della “Carta Idrogeomorfologica” della Regione Puglia (aggiornata all' 21/02/2017), ha permesso di escludere situazioni di pericolosità idraulica e geomorfologica nelle aree oggetto di studio.

Con riferimento a quanto prescritto nelle N.T.A. del Piano di Bacino (PAI), si precisa che l'area oggetto d'installazione dei pannelli fotovoltaici così come la cabina di trasformazione sono esterne alle aree di rischio idraulico e non rientrano tra le aree di rischio di cui gli art. 6 e 10 delle NTA del PAI.

Per quanto concerne il cavidotto si rilevano invece alcune interferenze con il reticolo idrografico per le quali si relaziona nel paragrafo successivo.

L'area d'intervento non è inoltre interessata dalla presenza di “Geositi e Forme ed elementi di origine antropica”.



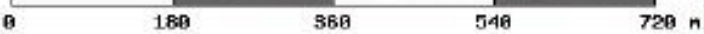


**Pericolosità e Rischio**

- Peric. Geomorf.**
- media e moderata (PG1)
  - elevata (PG2)
  - elevata (PG3)
- Peric. Idraulica**
- bassa (BP)
  - media (MP)
  - alta (AP)

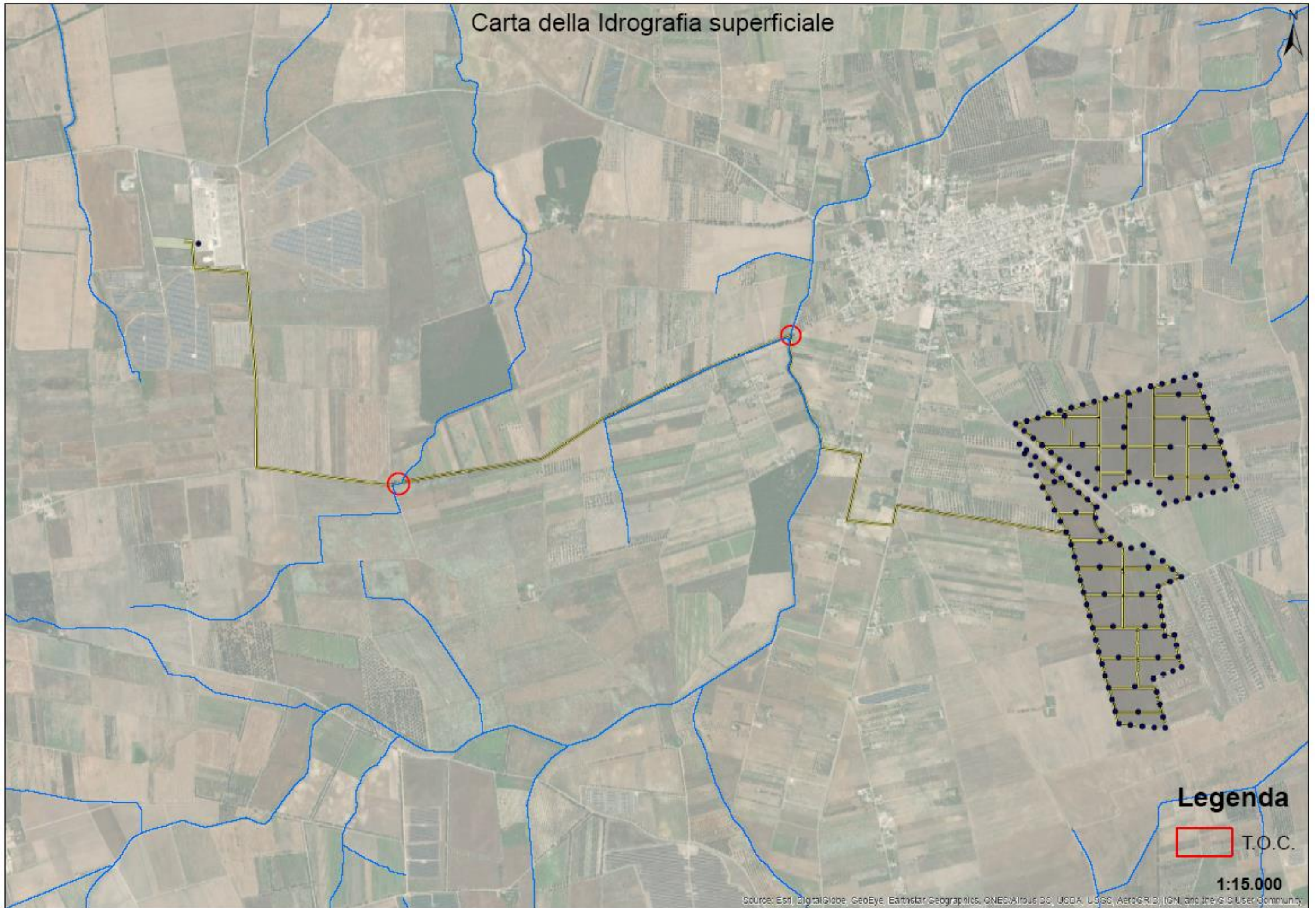
**Cartografia di base**

Scala 1: 15000






# Carta della Idrografia superficiale



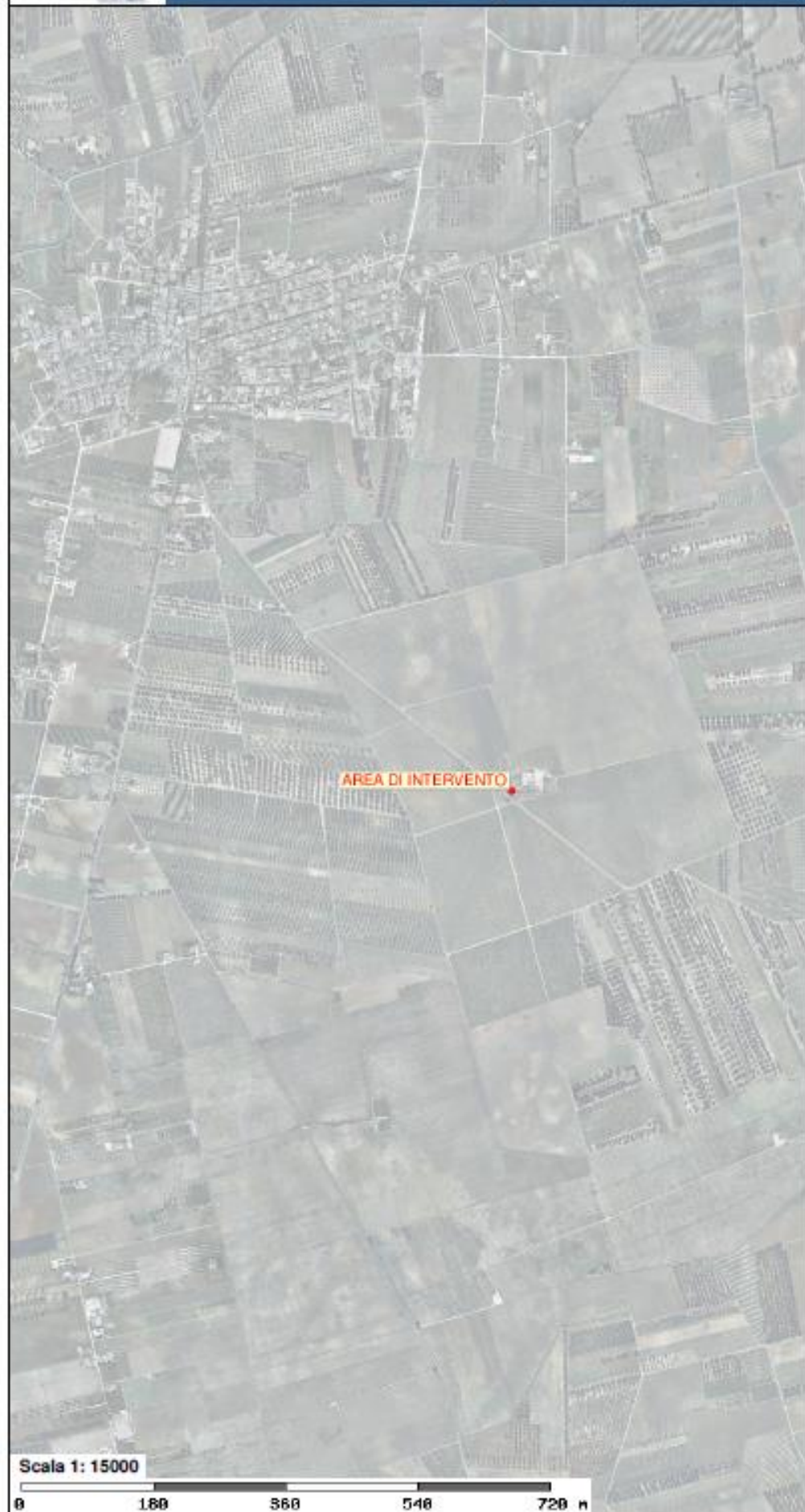
## Legenda

 T.O.C.

1:15.000




Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community





**Forme ed elementi di origine antropica**

**Linee**

-  Argine
-  Traversa fluviale
-  Opera di difesa costiera
-  Diga

**Poligoni**

-  Diga
-  Opera ed infrastruttura portuale
-  Discarica controllata
-  Area di cava attiva
-  Cava abbandonata
-  Cava riqualificata (agricoltura)
-  Cava riqualificata (industria)
-  Cava riqualificata (terziario)
-  Cava rinaturalizzata
-  Discarica di residui di cava
-  Miniera abbandonata
-  Discarica di residui di miniera

**Singularità di Interesse Paesaggistico**

-  Geositi

**Cartografia di base**

Scala 1: 15000

0 160 360 540 720 m



## CAVIDOTTO INTERSEZIONI CON RETICOLO IDROGRAFICO

Nella scelta del percorso del cavidotto di collegamento del parco agrovoltaiico con la cabina di trasformazione, è stata posta particolare attenzione per individuare il tracciato che minimizzasse interferenze e punti d'intersezione con il reticolo idrografico individuato in sito e sulla Carta Idrogeomorfologica.

Il cavidotto interrato si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 6 km dei quali circa 4 in asse con la viabilità stradale.

Nel dettaglio alcuni tratti del cavidotto interrato ricadono in prossimità, costeggiano e attraversano il reticolo idrografico che, nell'area in oggetto, risulta idraulicamente regimato a mezzo di canali sotto stradali e fossi di guardia paralleli alle sedi stradali.

Nello specifico, come da indicazioni fornite dalla committenza, tutte le intersezioni del cavidotto con il reticolo saranno risolte con l'utilizzo della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) per non interferire con l'attuale assetto idraulico dei luoghi.

Di fatto la costruzione del cavidotto non comporterà alcuna modifica delle livellette e delle opere idrauliche presenti sia per la scelta del percorso (in fregio alla viabilità) sia per le modeste dimensioni di scavo (circa 120cm di profondità e circa 80cm di larghezza) a realizzarsi con escavatore a benna stretta.

A fine lavori si provvederà al ripristino della situazione ante operam delle carreggiate stradali per cui gli interventi previsti non determineranno alcuna modifica territoriale né modifiche dello stato fisico dei luoghi.

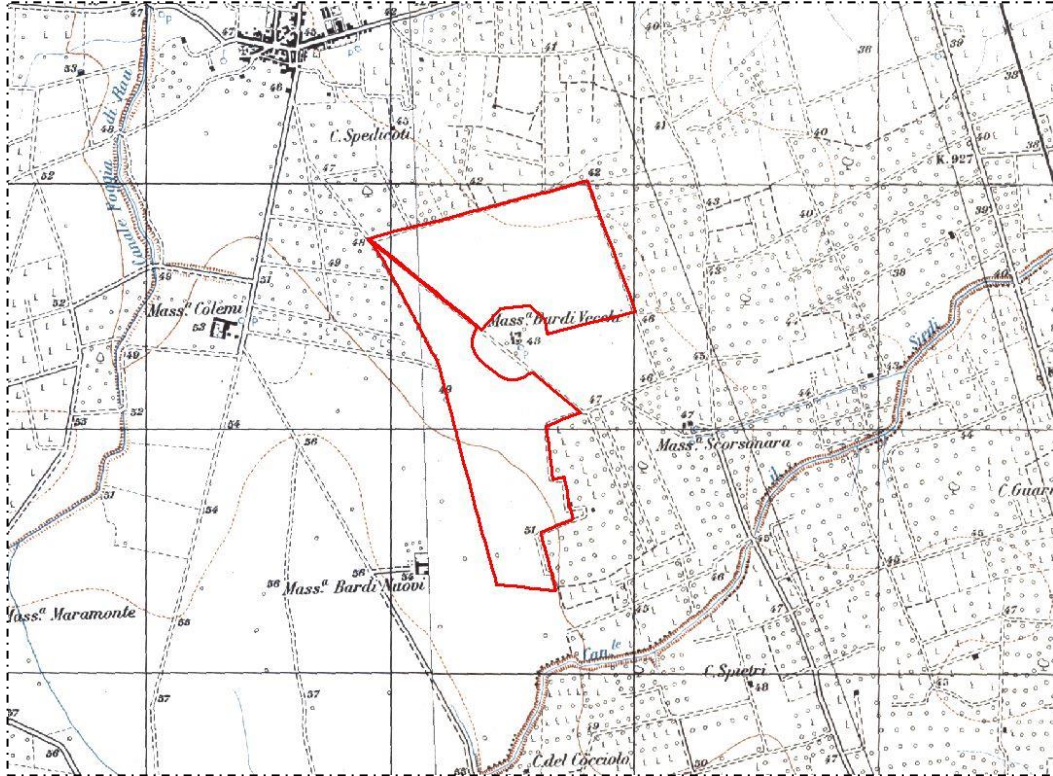
In definitiva la realizzazione del cavidotto interrato, sia se realizzato su strade esistenti sia se posto in opera in terreni agricoli, consentirà di proteggere il collegamento elettrico da potenziali effetti delle azioni

di trascinamento della corrente idraulica e di perseguire gli obiettivi di contenimento, non incremento e di mitigazione del rischio idrologico/idraulico, dato che la sua realizzazione non comporterà alcuna riduzione della sezione utile per il deflusso idrico.



## CARATTERI GEOLOGICI, MORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

L'area oggetto di studio è ubicata ad una distanza di circa 11 km in direzione SudEst dell'abitato del Comune di Brindisi.



Stralcio F° 204 I.G.M., Tav. IV S.O. "Stazione di Tuturano"

Questa rientra nella Tav. IV S.O. "Stazione di Tuturano" del F° 204 IGM in scala 1: 25.000 con quota s.l.m. variabile tra circa 51 e 42m e distanza dalla linea di costa pari a circa 8 km.

Il sito in studio ricade tra i Fogli 203 "Brindisi" e 204 "Lecce" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nel Foglio 495 "Mesagne" della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia.

Da un punto di vista generale l'area in esame ricade nell'ambito dell'Avampaese apulo, individuatosi durante l'orogenesi appenninica, ed è costituito da una potente successione di rocce carbonatiche di piattaforma. La piana di Brindisi coincide con una vasta depressione

strutturale aperta verso la costa adriatica, che interessa le rocce carbonatiche dell'Avampaese, nella quale si sono depositi sedimenti del ciclo di riempimento della Fossa Bradanica e depositi marini terrazzati. Morfologicamente il territorio risulta generalmente pianeggiante rispecchiando, dunque, l'assetto tabulare dei depositi plio-pleistocenici e, subordinatamente, mesozoici affioranti.

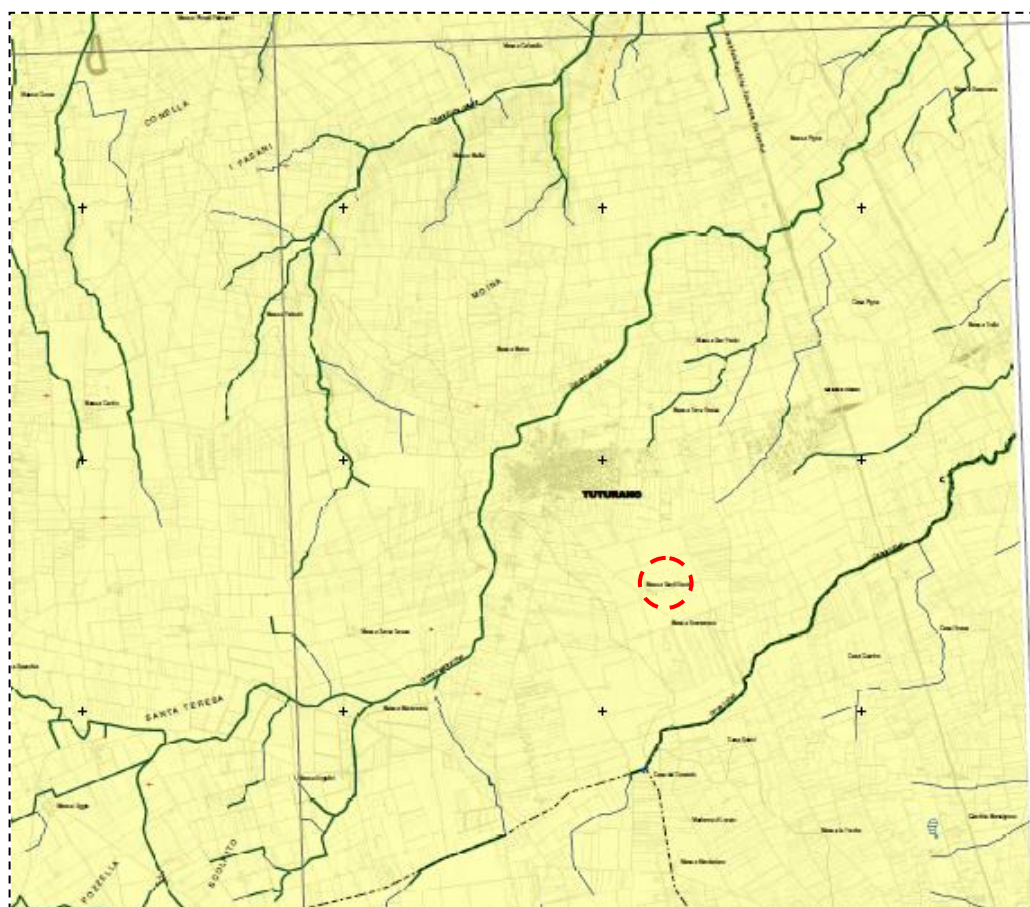
La morfologia piuttosto dolce dell'intero territorio brindisino trova corrispondenza nel fatto che i piegamenti che hanno colpito le formazioni affioranti sono piuttosto blandi. In superficie non sono rilevabili faglie, a parte una faglia presunta al margine occidentale del foglio Brindisi. Quindi le dislocazioni per faglia o sono quasi del tutto assenti oppure sono anteriori ai terreni pliocenici e pleistocenici che occupano le zone strutturalmente depresse, ed in tal caso risultano sepolte dalle stesse. Si può quindi parlare di fenomeni plicativi precedenti il Pliocene senza poter escludere tuttavia che questi possano essere in parte continuati fino al Pleistocene con manifestazioni assai più blande

Il complesso sedimentario più importante della zona in oggetto è rappresentato dai depositi di terrazzo (Pleistocene medio-sup.).

La successione stratigrafica, iniziando dal termine più antico, comprende:

- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore);
- Calcarenite di Gravina (Pleistocene inferiore);
- Argille subappenniniche (Pleistocene inferiore.);
- Depositi marini terrazzati (Pleistocene superiore);
- Depositi palustri (Olocene);





Stralcio Carta Idrogeomorfologica, Foglio 495 "Mesagne". (SIT Puglia)

## LEGENDA

### ELEMENTI GEOLOGICO-STRUTTURALI

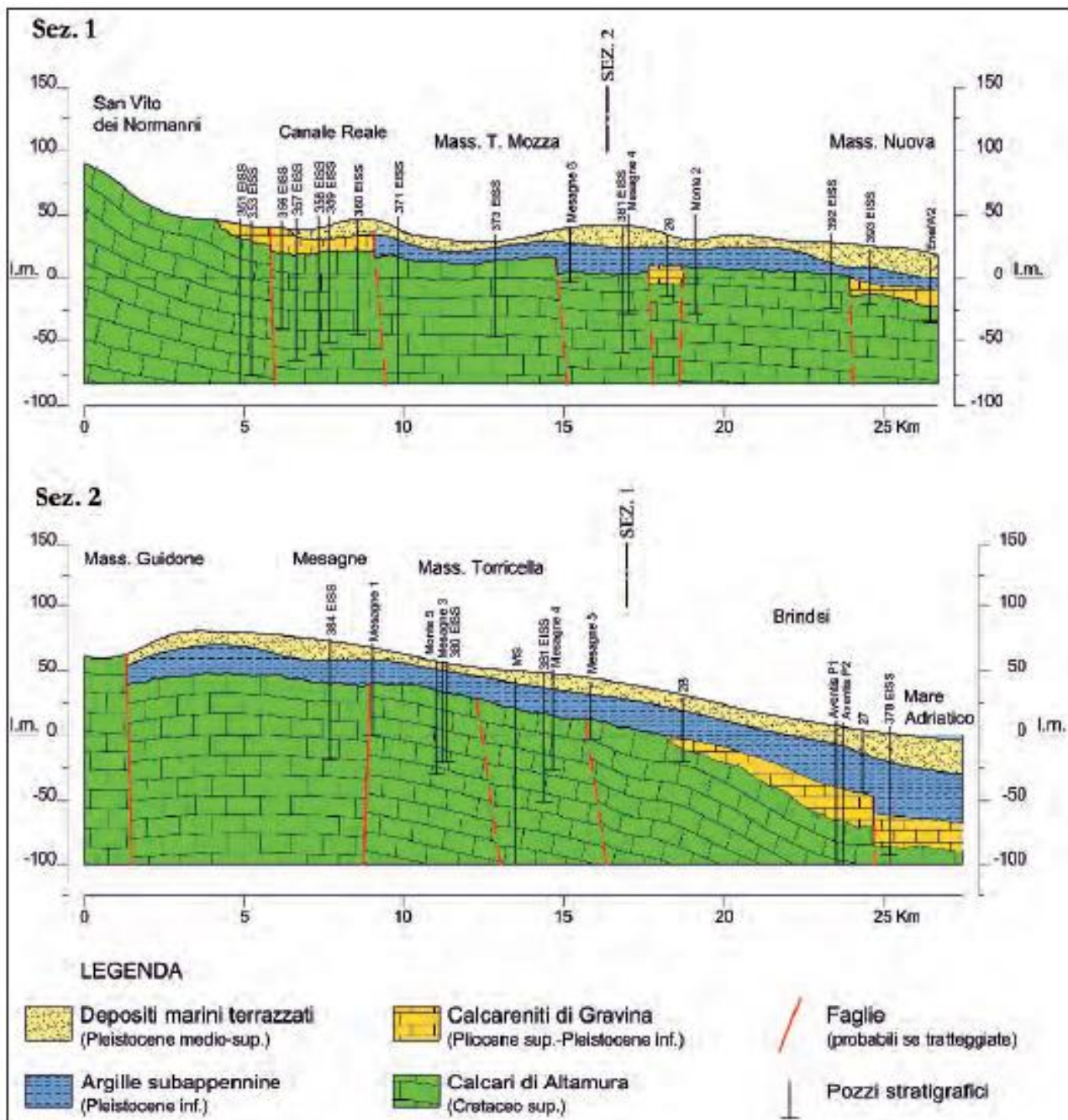
#### Litologia del substrato

- Rocce prevalentemente calcaree o dolomitiche
- Rocce evaporitiche (carbonatiche, anidritiche o gessose)
- Rocce prevalentemente marnose, marnoso-pelittiche e pelittiche
- Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)
- Rocce prevalentemente ruditiche (ghiaie e conglomerati)
- Rocce costituite da alternanze
- Depositi sciolti a prevalente componente pelittica e/o sabbiosa
- Depositi sciolti a prevalente componente ghiaiosa

Aree in studio







*Calcare di Altamura.*

Nella Piana di Brindisi, il substrato carbonatico mesozoico è costituito da litofacies calcareo- dolomitiche attribuibili alla formazione del Calcare di Altamura. Questa formazione, non affiorante nell'area di specifico interesse, si rinviene a profondità dell'ordine di circa 40 ÷ 50

metri dal piano campagna. Dal punto di vista litologico, questa successione stratigrafica è costituita da calcari compatti e tenaci con intercalazioni di calcari dolomitici e di dolomie. I calcari sono prevalentemente micritici o bioclastici, di colore biancastro e contengono, talora, orizzonti macrofossiliferi a Rudiste. I calcari dolomitici e le dolomie, che sono generalmente di origine diagenetica tardiva, presentano una colorazione grigio scura o nocciola ed un aspetto tipicamente saccharoide. La formazione si presenta ben stratificata, talora fittamente laminata (“calcari a chiancarelle”) con strati generalmente decimetrici e, più raramente, in banchi. Il limite superiore della formazione è inconforme e frequentemente discordante con le formazioni più recenti. A causa delle vicissitudini tettoniche subite, le rocce del basamento sono interessate da un diffuso stato di fratturazione, spesso associato a manifestazioni di tipo carsico. L'ambiente di deposizione dei sedimenti è identificabile con quello marino intertidale di piattaforma interna e sulla base del contenuto microfaunistico, la formazione è ascrivibile al Cenomaniano (Cretaceo superiore).

#### *Calcarenite di Gravina.*

Con questo termine si indicano i depositi di base dell'importante ciclo sedimentario che si è sviluppato nella Fossa Bradanica nel corso del Plio-Pleistocene. Anche questa formazione non affiora nell'area di specifico interesse ma è presente nel sottosuolo ad una profondità di circa 30 ÷ 40 metri rispetto al p.c., con spessori variabili da pochi metri fino a 10 ÷ 15 metri. Tale formazione si rinviene localmente in trasgressione al di sopra del substrato calcareo mesozoico, con frequenti discordanze angolari. Il contatto stratigrafico presenta spesso un andamento piuttosto irregolare, in quanto corrisponde ad un'antica superficie di erosione subaerea rielaborata dall'abrasione

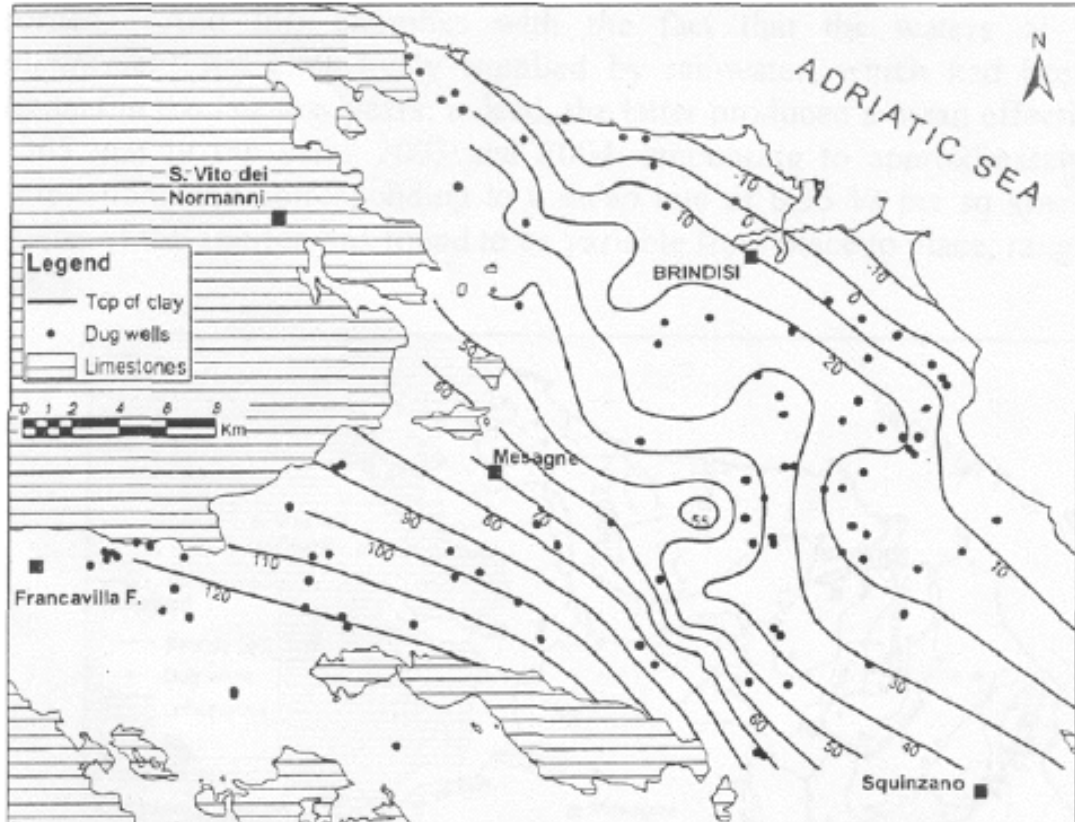
marina durante la fase di trasgressione (Cherubini et Al., 1987). Talvolta in corrispondenza del contatto tra le due formazioni può essere rinvenuto un livello conglomeratico a ciottoli calcareo-dolomitici immersi in matrice calcarenitica, oppure un orizzonte di terre rosse residuali. La formazione risulta costituita, in assoluta prevalenza, da biocalcareniti di colore bianco-giallastro, a granulometria media o medio-grossolana, a grado di cementazione medio-basso, di norma tenere e porose, disposte in strati spessi ed in banchi con irregolari cenni di stratificazione. Il contenuto fossilifero è molto abbondante ed è costituito da gusci di lamellibranchi, echinidi, briozoi, brachiopodi, coralli singoli e noduli algali. L'ambiente di deposizione è quello di piana costiera, da circalitorale a infralitorale profondo. Il limite inferiore è inconforme e discordante sul substrato cretaceo. Il limite superiore è invece conforme e in continuità di sedimentazione con le sovrastanti "Argille Subappennine".

### *Argille Subappennine*

Sulla Calcarenite di Gravina, in continuità di sedimentazione, si rinvengono dei sedimenti pelitici attualmente riferiti alla formazione delle Argille Subappennine. Tali terreni sono costituiti da limi sabbioso-argillosi ed argille marnoso-siltose di colore grigio-azzurro, a stratificazione indistinta e solo localmente evidenziata da sottili livelli di sabbie limose di colore grigiogiallastro. Il contenuto in argilla tende generalmente ad aumentare nella parte bassa della formazione, mentre verso il tetto la componente sabbioso-limosa diviene prevalente. Quest'unità presenta un ricco contenuto in macrofossili, costituiti soprattutto da gusci interi di lamellibranchi, gasteropodi, scafopodi, da coralli singoli ed echinidi e l'ambiente di deposizione de sedimenti è attribuibile alla fascia neritica profonda.



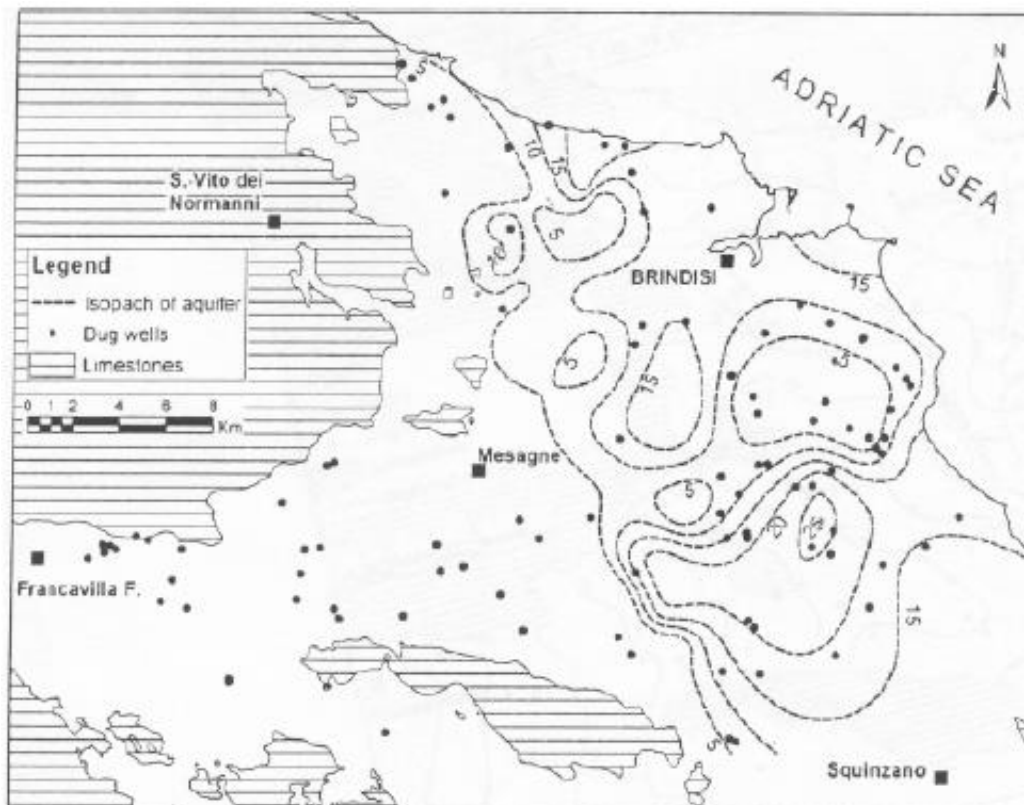
Nell'area di studio, così come nell'intera Piana di Brindisi, questa formazione non affiora, ma è presente quasi ovunque nel sottosuolo a profondità variabili tra i 5 e i 20 metri rispetto al p.c.. Il tetto delle argille presenta una generalizzata immersione a NE, passando da quote di oltre 100 metri s.l.m. dell'entroterra di Mesagne ai 10 metri sotto il l.m. della zona di Brindisi nord. Lo spessore delle Argille Subappennine può variare da 5 a 50 metri; in linea generale è riconosciuta una tendenza all'incremento progressivo della potenza della formazione argillosa nella parte meridionale della Piana di Brindisi ed in prossimità della linea di costa (Ricchetti & Polemio, 1996). Nell'area di specifico interesse, la potenza della formazione argillosa è stata valutata tra 15 e 30 metri. Il limite inferiore della formazione è conforme, in continuità di sedimentazione con la sottostante Calcarenite di Gravina, mentre il limite superiore è inconforme e paraconcordante con le formazioni medio e suprapleistoceniche.



Quote altimetriche s.l.m. del tetto delle Argille Subappennine (da Lopez et Al., 2005).

### *Depositi marini terrazzati*

Questa formazione, in trasgressione sui sedimenti argillosi del Pleistocene inf., affiora estesamente su gran parte dell'area in esame. Nel contesto della Piana di Brindisi, quest'unità è costituita da due principali litofacies: una a composizione sabbioso-limoso-argillosa e l'altra prettamente calcarenitica o sabbioso- calcarenitica. Litologicamente tali depositi presentano una composizione sabbioso-limoso-argillosa cui si alternano orizzonti di calcareniti e arenarie grigio-giallastre dello spessore di 15-30 cm. A luoghi si rinvengono intercalazioni di lenti di limi siltosi grigiastri con particolare frequenza nella parte più bassa in prossimità del contatto di trasgressione con le sottostanti Argille subappenniniche. Lo spessore di tali depositi può variare tra i 5 ed i 25 metri.

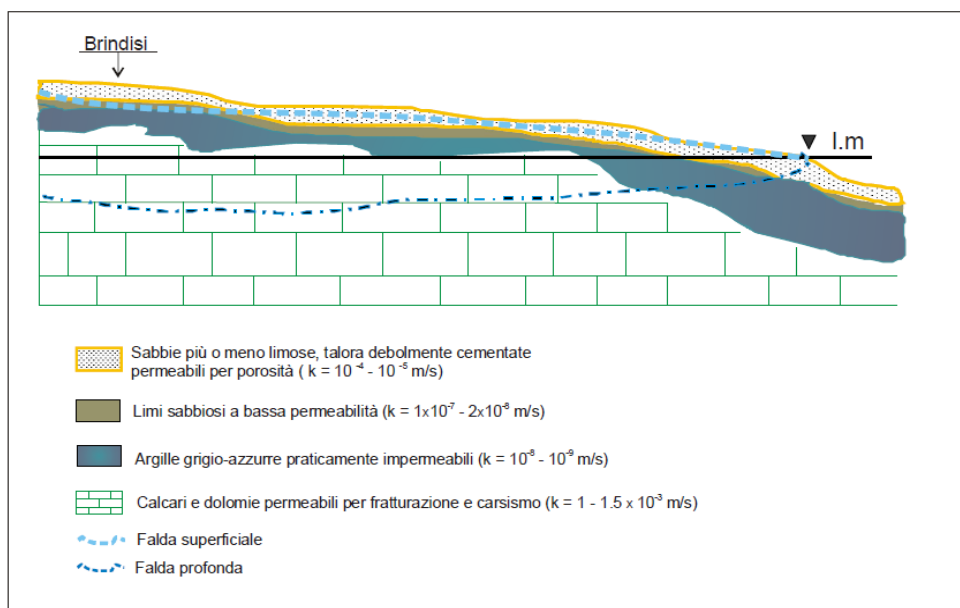


*Spessore dei Depositi Marini Terrazzati (da Lopez et Al., 2005).*

## Depositi alluvionali e palustri

I depositi continentali di origine alluvionale, colluviale e palustre si rinvencono principalmente sul fondo dei principali corsi d'acqua (in particolare nell'alveo del Canale Siedi) nonché nelle depressioni morfologiche che ospitano stagni o lagune costiere, come ad esempio quelle presenti a nord di Punta della Contessa, in località "Salina Vecchia". Questi depositi sono costituiti da limi sabbiosi ed argille limose di colore variabile dal grigio scuro al bruno-nerastro, contenenti lenti ed orizzonti di resti vegetali nerastri di spessore massimo attorno ad 1 metro. In linea generale, lo spessore complessivo dei depositi continentali raramente supera i 5 metri.

Da un punto di vista idrogeologico è possibile individuare due ambienti ben distinti e correlabili ad una falda superficiale freatica ed a una falda carsica profonda.



**Schema idrogeologico della falda superficiale e profonda**

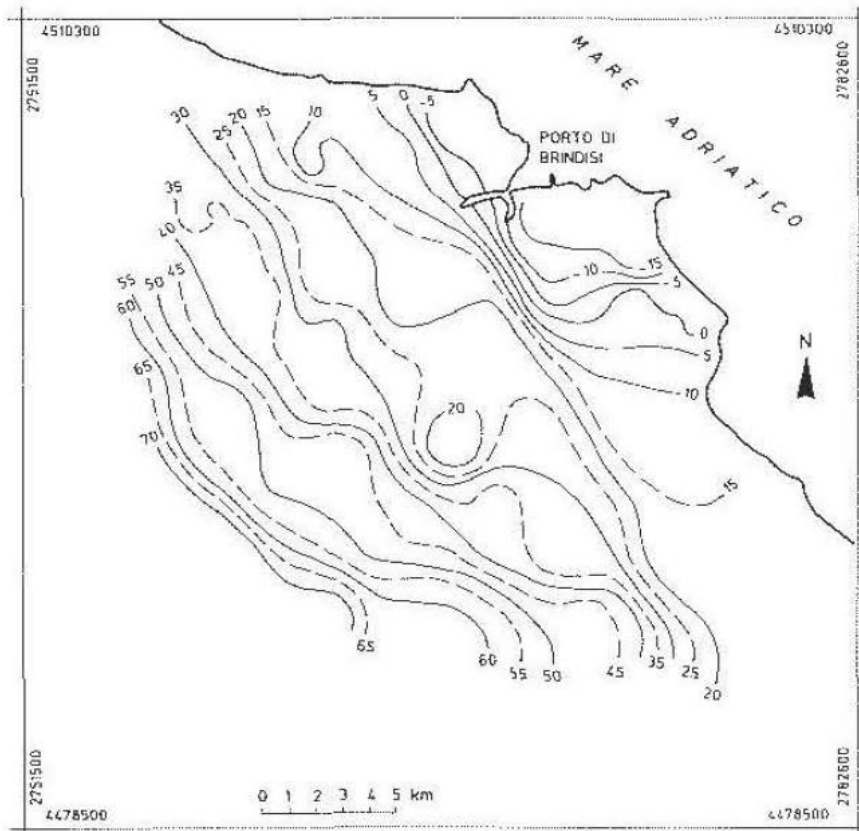


La falda carsica profonda trae la sua alimentazione sia dalle precipitazioni incidenti direttamente sulla formazione carbonatica, laddove affiorante, sia dai deflussi sotterranei della contigua Murgia, nonché dalle perdite dell'acquifero superficiale. La falda idrica profonda circola in un acquifero permeabile per fessurazione e carsismo defluendo verso la costa con cadenti piezometrici generalmente inferiori allo 0.05%.

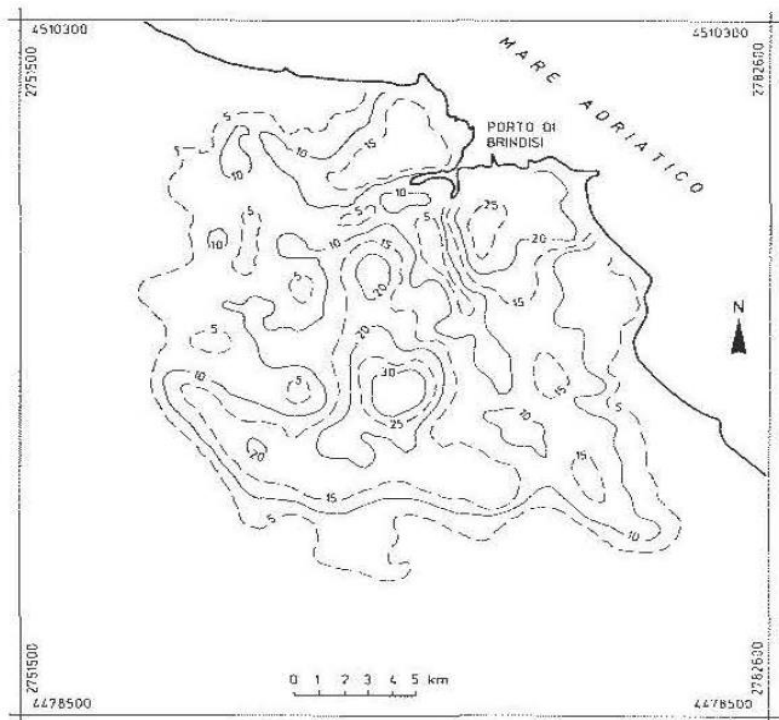
La falda freatica superficiale è confinata all'interno dei depositi marini terrazzati, estesamente affioranti nel territorio brindisino, costituendo un acquifero superficiale permeabile per porosità. Tali depositi poggiano su sedimenti del ciclo sedimentario della Fossa Bradanica, i cui termini argilloso-limosi sostengono le acque freatiche, trasgressivi su una potente successione di calcari e dolomie di età cretacea, appartenenti alla formazione del Calcarea di Altamura.

Con specifico riferimento ad uno studio svolto sull'acquifero superficiale del territorio brindisino (E. Ricchetti & M. Polemio, 1996) è stato possibile ricostruirne l'assetto tridimensionale.

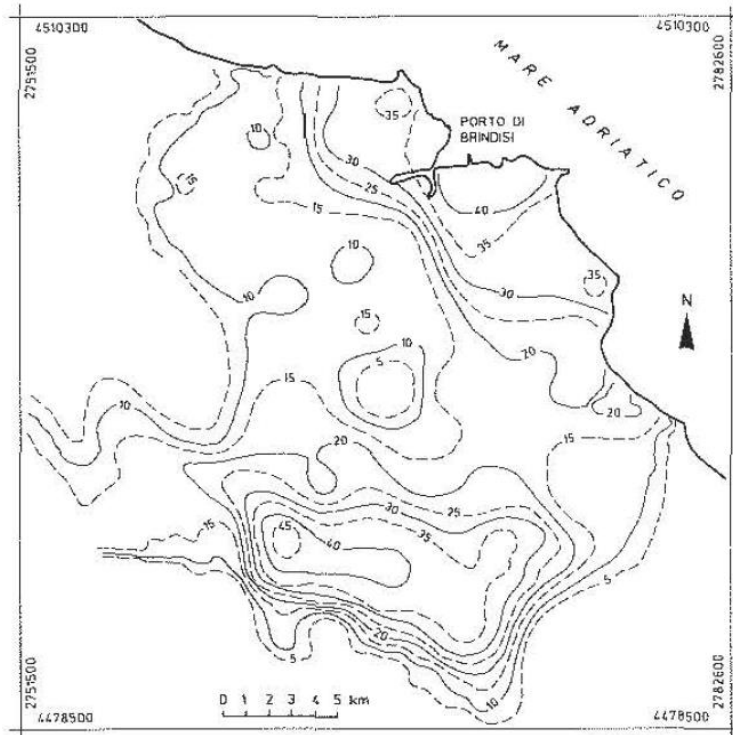
I dati stratigrafici evidenziano una notevole variabilità locale degli spessori dell'acquifero superficiale e dei depositi argillosi che lo sostengono. Lo spessore massimo dell'acquifero è di 37 m mentre per le argille è di 46 m, con uno spessore medio rispettivamente di 14 m e 22 m circa. Il letto dell'acquifero evidenzia una generale inclinazione in direzione NE con evidenti locali irregolarità imputabili alla originaria morfologia del bacino di sedimentazione.



Isoipse del letto dell'acquifero superficiale.



Curve isopache dell'acquifero superficiale



Curve isopache dei depositi argillosi  
(Argille subappennine).

Le falde idriche superficiali, benché presenti quasi per intero in tutto il territorio brindisino, sono localizzate a profondità tali da non interferire con le opere in progetto.



In generale il quadro sismotettonico di un territorio è caratterizzato da:

- grado di sismicità del territorio;
- grado di sismicità dei territori contigui.

La Puglia è caratterizzata da sismicità rilevante in Capitanata e nel Gargano e più moderata nel Salento; inoltre forti terremoti del basso Ionio e del versante greco-albanese hanno prodotto effetti anche gravi nel territorio pugliese.

Il settore più attivo è il Gargano, colpito nel Seicento da una lunga sequenza di forti terremoti e, nei secoli successivi, da eventi di energia più contenuta (magnitudo MW minore di 6.0). L'evento garganico più importante è quello del 30 luglio 1627 (MW 6.7), che causò danni gravissimi e migliaia di vittime e fu seguito da eventi altrettanto forti nel 1646 (MW 6.6), nel 1647 (MW 5.9) e nel 1657 (MW 6.4).

Il massimo terremoto della Capitanata avvenne il 20 marzo 1731 (MW 6.5), causando il crollo di circa un terzo degli edifici di Foggia, dove ci furono circa 500 morti e danni molto gravi nella pianura e sulle colline circostanti (Cerignola, Ortanova, Ascoli Satriano). Questo terremoto mandò in crisi l'economia di Foggia, che era un importante centro amministrativo e commerciale. Estremamente importante è il terremoto del 20 febbraio 1743 (MW 7.1), localizzato in mare nel basso Ionio, che colpì tutta la penisola salentina e le isole greche di Corfù e Lefkada, causando morti e crolli. A Nardò, la località pugliese più danneggiata, ci furono oltre 100 morti. Danni abbastanza seri si ebbero a Taranto e Brindisi, meno gravi a Lecce e nella penisola salentina. Il terremoto fu avvertito in un'area

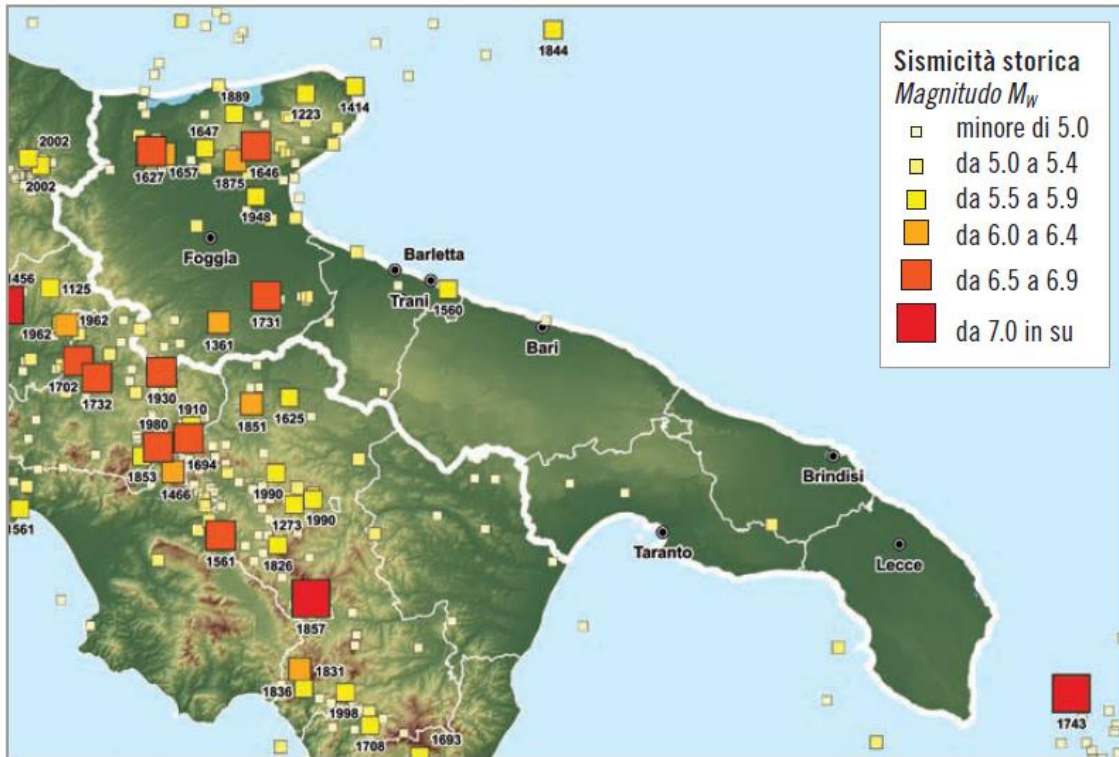
vastissima sino a Trento, Milano e Venezia e in numerose località lungo la costa adriatica.

Piuttosto rilevanti sono anche gli effetti in Puglia di terremoti localizzati in Irpinia, in particolare quelli del 1930 (MW 6.6) e del 1962 (MW 6.1).

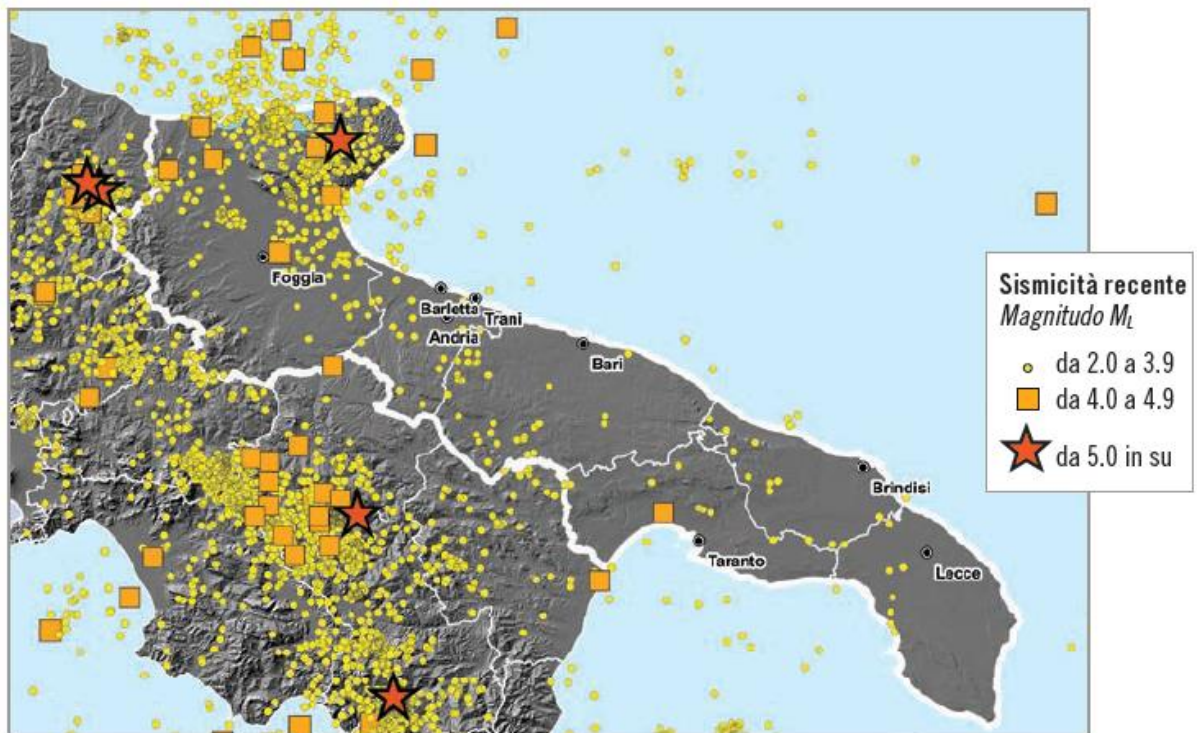
La sismicità regionale recente è molto più debole di quella storica, ma conferma le stesse strutture attive, con un terremoto di magnitudo ML pari a 5.2, il 30 settembre 1995, pochi eventi di magnitudo ML intorno a 4.5 localizzati in area garganica (1989, 1992, 1998, 2006) e una sequenza concentrata prevalentemente in territorio molisano al confine con la Puglia, nel Subappennino Dauno, nel 2002-2003. Questa sequenza fu caratterizzata da una scossa di magnitudo ML 5.7 il 31 ottobre 2002, che provocò danni gravi a San Giuliano di Puglia (CB) ed effetti del grado 7 MCS in alcune località delle province di Campobasso e Foggia. Il giorno seguente, 1° novembre, si verificò un'altra forte scossa (ML 5.7) con effetti del grado 7 MCS a Castellino del Biferno e Larino (CB) e a Carlantino (FG).

Data	Area epicentrale	I <sub>MAX</sub>	M <sub>W</sub>
1223	Gargano	9	5.8
1361 07 17	Ascoli Satriano	10	6.0
1414	Vieste (FG)	8-9	5.8
1560 05 11	Barletta-Bisceglie	8	5.6
1627 07 30	Gargano	10	6.7
1646 05 31	Gargano	10	6.6
1647 05 05	Gargano	7-8	5.9
1657 01 29	Lesina (FG)	9-10	6.4
1694 09 08	Irpinia-Basilicata	10	6.8
1731 03 20	Foggiano	9	6.5
1743 02 20	Basso Ionio	9	7.1
1875 12 06	San Marco in Lamis (FG)	8	5.9
1889 12 08	Apricena (FG)	7	5.7
1930 07 23	Irpinia	10	6.6
1948 08 18	Puglia settentrionale	7-8	5.6
1962 08 21	Irpinia	9	6.1
1980 11 23	Irpinia-Basilicata	10	6.9
2002 10 31	Monti Frentani, Molise	8-9	5.7
2002 11 01	Subappennino Dauno	7	5.7

*Principali terremoti storici che hanno prodotto danni in Puglia (fonte: CPTI11).  
I<sub>MAX</sub> è l'intensità massima osservata (scala MCS) e M<sub>W</sub> è la magnitudo stimata.*



*Distribuzione della sismicità storica in Puglia negli ultimi mille anni (fonte: CPTI11, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11>).*

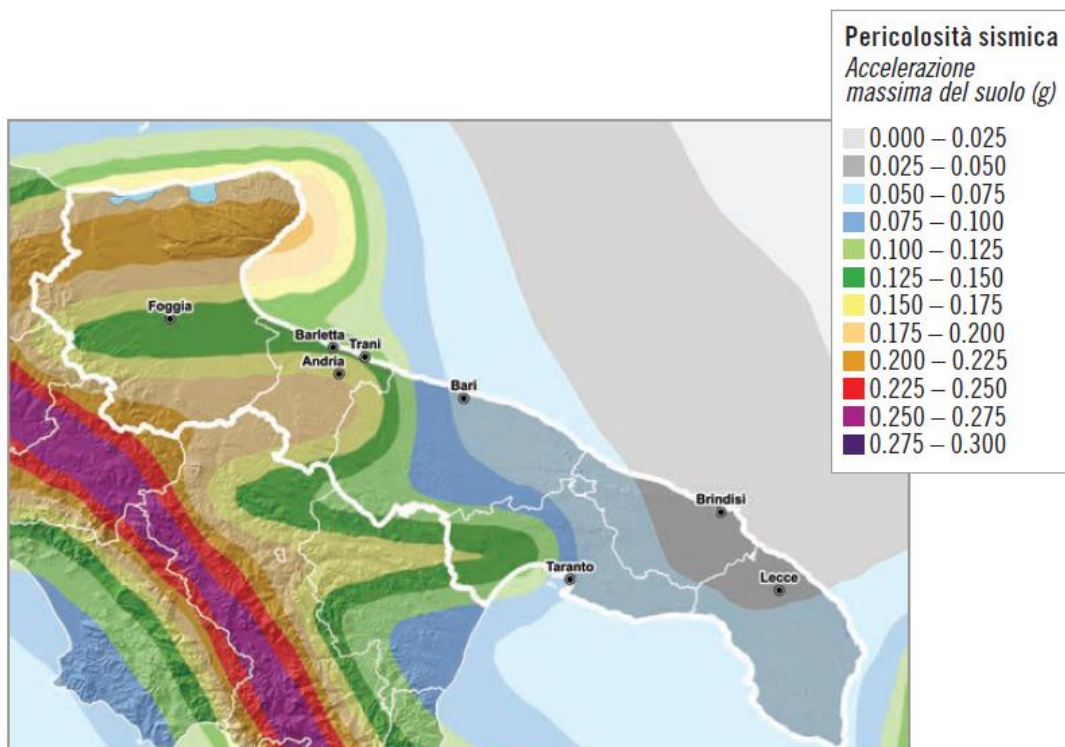


*Terremoti di magnitudo  $M_l \geq 2$  registrati dalla Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 30 settembre 2013 (fonte: CSI, Bollettino Sismico e ISIDE, <http://iside.rm.ingv.it>).*



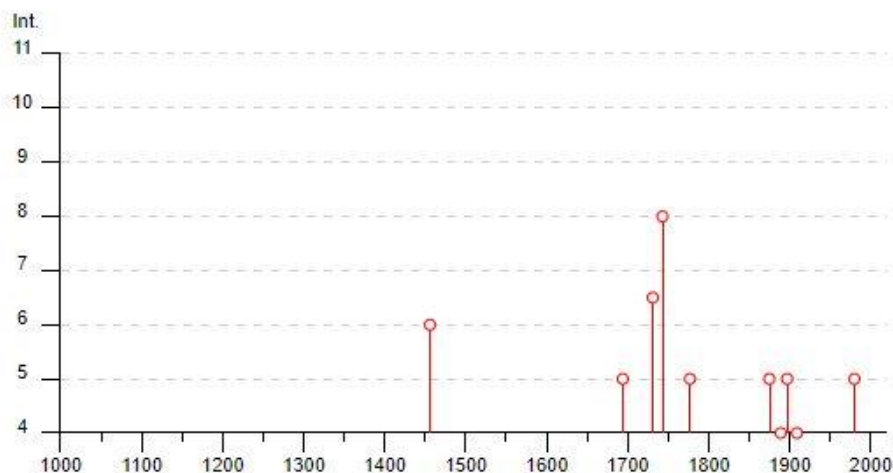
Il territorio regionale è caratterizzato da una pericolosità sismica da media ad alta, più elevata nell'area garganica e dell'Ofanto, minore nel Salento. Questo significa che gli eventi di magnitudo elevata sono più probabili nel nord della regione che non in altre aree, dove possono comunque verificarsi eventi forti o risentirsi eventi dell'Adriatico come avvenne nel 1743, per quanto la frequenza di forti terremoti è molto bassa. I valori di accelerazione previsti dal modello di pericolosità sismica (probabilità del 10% in 50 anni) sono compresi tra 0.50 e 0.225g, ma la maggior parte del territorio regionale mostra valori maggiori di 0.10g.

La pericolosità sismica della regione è determinata dalla presenza di strutture sismicamente attive del Gargano e della Valle dell'Ofanto, che hanno avuto i loro massimi con i terremoti garganici del 1627 ( $M_w6.7$ ) e del 1646 ( $M_w6.6$ ) e quello di Foggia del 1731 ( $M_w6.5$ ).



*Pericolosità sismica in Puglia.*

Di seguito si riporta l'elenco delle osservazioni macrosismiche di terremoti relative al Comune di Brindisi al di sopra della soglia del "danno".



Storia sismica del Comune di Brindisi limitatamente a valori di  $I_s$  ( $\times 10$ )  $\geq 40$  (Sito INGV – Database Microsismico Italiano 2011)

## Brindisi



PlaceID IT\_62536  
 Coordinate (lat, lon) 40.637, 17.945  
 Comune (ISTAT 2015) Brindisi  
 Provincia Brindisi  
 Regione Puglia  
 Numero di eventi riportati 22

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
6	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11 7.19
5	1694	09	08	11	40		Irpinia-Basilicata	251	10 6.73
6-7	1731	03	20	03			Tavoliere delle Puglie	49	9 6.33
8	1743	02	20				Ionio settentrionale	84	9 6.68
5	1777	06	06	16	15		Tirreno meridionale	9	
2-3	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11 7.12
5	1875	12	06				Gargano	97	8 5.86
4	1889	12	08				Gargano	122	7 5.47
5	1897	05	28	22	40	0	Ionio	132	6 5.46
3	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11 6.95
4	1909	01	20	19	58		Salento	32	5 4.51
NF	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8 5.76
NF	1913	06	28	08	53	0	Calabria settentrionale	151	8 5.64
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11 7.08
F	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10 6.67
NF	1947	05	11	06	32	1	Calabria centrale	254	8 5.70
NF	1951	01	16	01	11		Gargano	73	7 5.22
2	1978	09	24	08	07	4	Materano	121	6 4.75
5	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7 5.62
NF	1990	02	18	20	10	4	Adriatico centrale	46	4.24
3-4	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375	5.77

In seguito all'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n° 3274, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha redatto la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche. La mappa finale è stata ottenuta dall'uso ponderale di tre gruppi di relazioni di attenuazione e due insiemi di intervalli di completezza. La mappa presenta anche una fascia "marginale", dove sono raggruppati quei territori che possono essere inseriti in una zona sismica o in quella contigua, nell'ambito del potere discrezionale che l'Ordinanza affida alle Regioni. Le zone sismiche, distinte in 4 classi di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, sono state individuate in base al sistema dei codici europei (EC8).

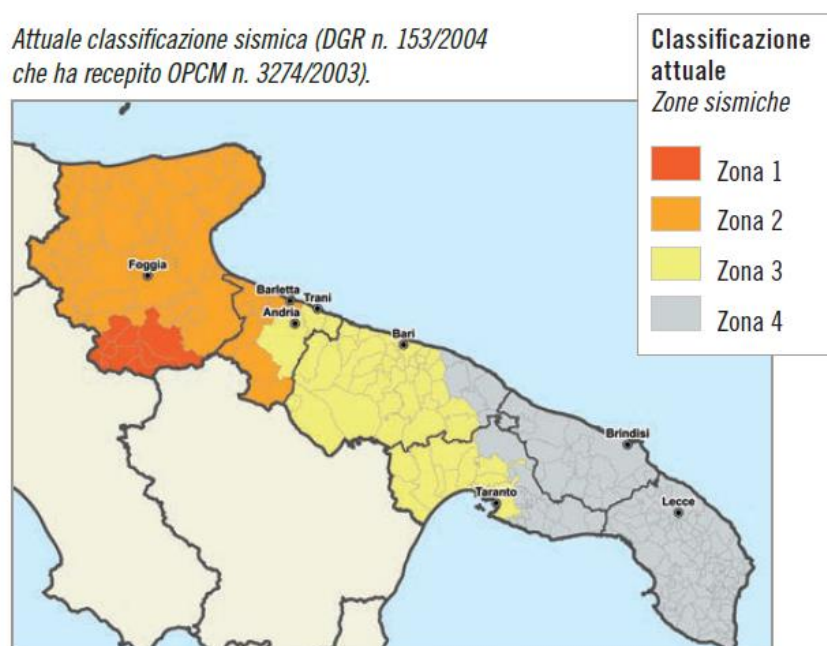
ZONA 1 – caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale del suolo  $0,25 < a_g \leq 0,35$  g (alta sismicità)

ZONA 2 - caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale del suolo  $0,15 < a_g \leq 0,25$  g (media sismicità)

ZONA 3 - caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale del suolo  $0,05 < a_g \leq 0,15$  g (bassa sismicità)

ZONA 4 - caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale del suolo  $a_g \leq 0,05$  g (sismicità molto bassa)

*Attuale classificazione sismica (DGR n. 153/2004 che ha recepito OPCM n. 3274/2003).*

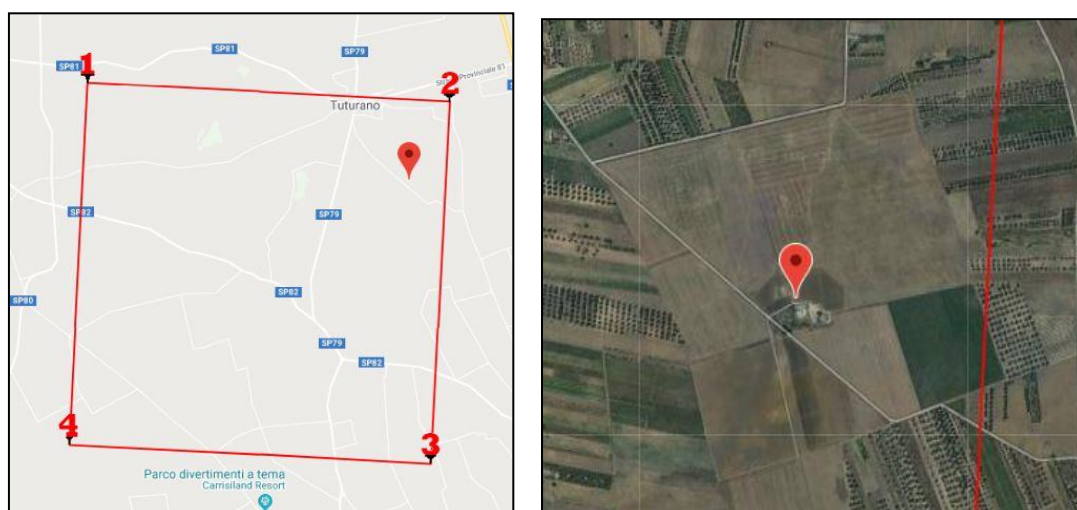


Decreti fino al 1984	GdL 1988	Classificazione 2003
I categoria	S=12	Zona 1
II categoria	S=9	Zona 2
III categoria	S=6	Zona 3
N.C.	N.C.	Zona 4

Il territorio di Brindisi è classificato come Zona 4.

### PARAMETRI SIMICI

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. del 14/01/2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito oggetto d'intervento, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (tabella 1, allegato B del D.M. del 14/01/2008); pertanto la stima della pericolosità sismica, viene definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente".



*Area d'intervento e reticolo sismico di riferimento*



# Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.014	2.332	0.153
Danno (SLD)	50	0.019	2.303	0.207
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.046	2.487	0.458
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.057	2.576	0.521
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

## Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.



H (m)

1



us (m)

0.1



Cat. Sottosuolo

B



Cat. Topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,60	1,51	1,29	1,25
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]



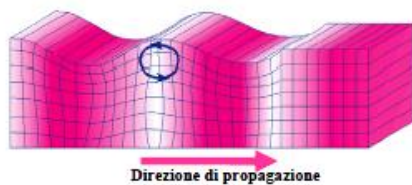
0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.003	0.004	0.011	0.014
0.002	0.002	0.006	0.007	
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.162	0.220	0.546	0.672
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

*Cenni metodologici*

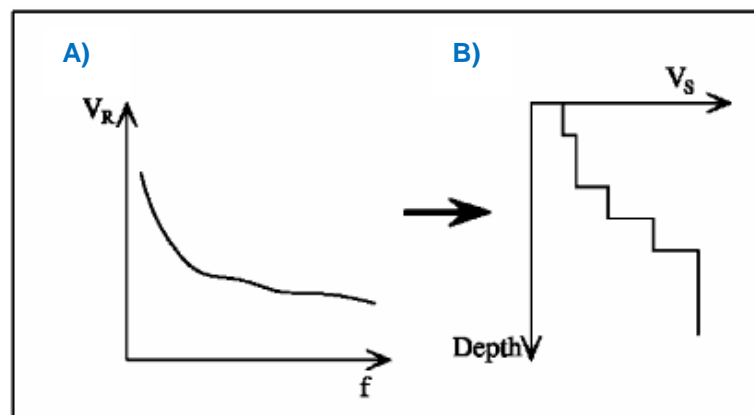
Il metodo "MASW" è una tecnica d'indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.



La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è

costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



*A) Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza; B) profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.*

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 passi fondamentali:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica, invece, la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

### *Modalità esecutive*

La modalità d'esecuzione è la stessa utilizzata per la sismica a rifrazione: sono stati eseguiti due stendimenti di 40 metri lungo i quali sono stati disposti alternativamente e collegati in serie 18 geofoni con frequenza di 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 2.00 m. Per l'ubicazione si rimanda al paragrafo relativo all'indagine sismica a rifrazione. Gli shots realizzati, mediante l'utilizzo di una massa battente del peso di 10 kg circa sono stati disposti nel secondo seguente modo:

- 2 shot esterni allo stendimento ad una distanza di circa 10 mt;

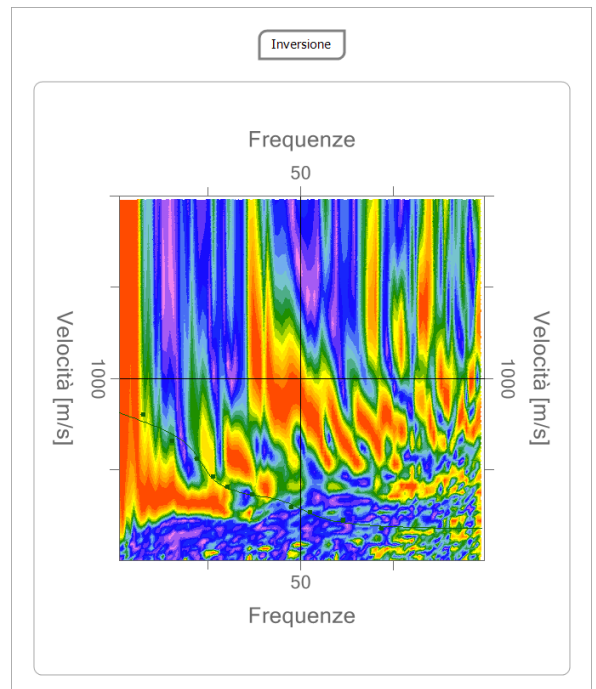
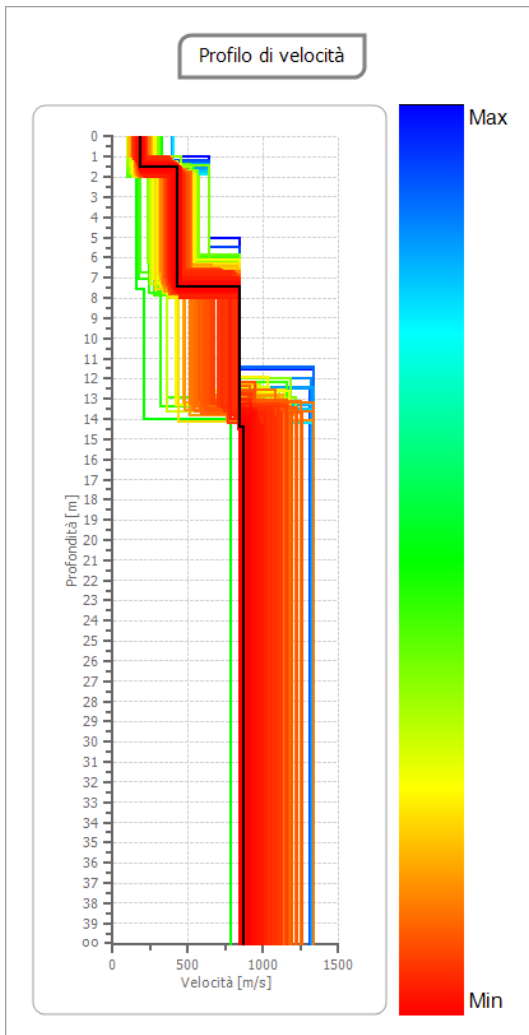
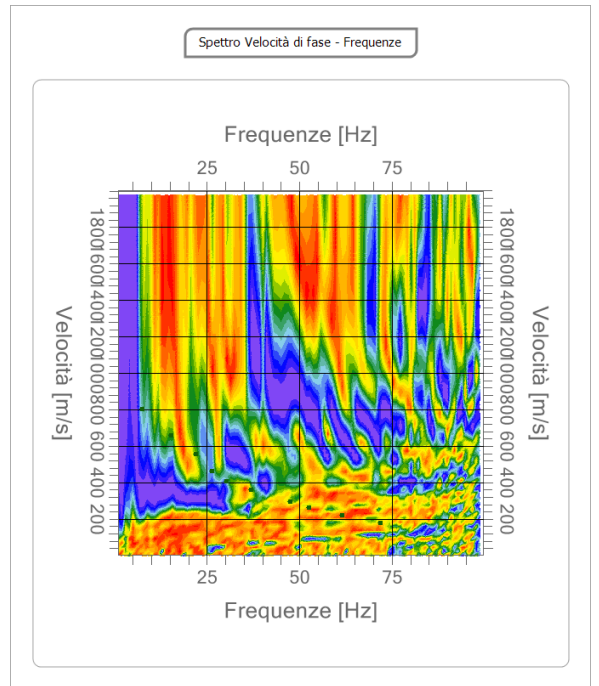
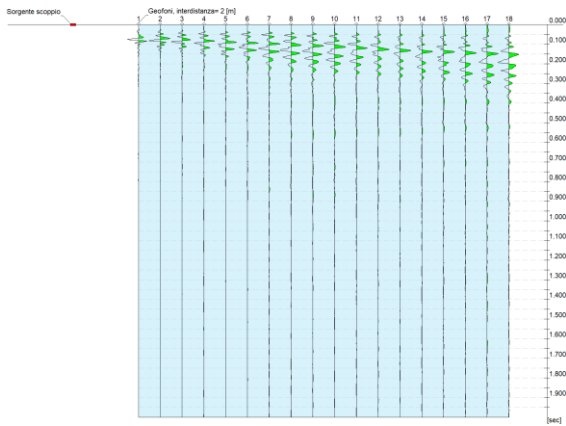
La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante un sismografo DoReMi della "SARA e.i." a 16 bit.

### *Elaborazione e analisi dei risultati*

L'elaborazione, eseguita con il software della GeoStru "Easy Masw", ha consentito di determinare un profilo di velocità delle onde "S" fino ad oltre 30 m dal p.c.. La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali. Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con scadenti caratteristiche geotecniche.

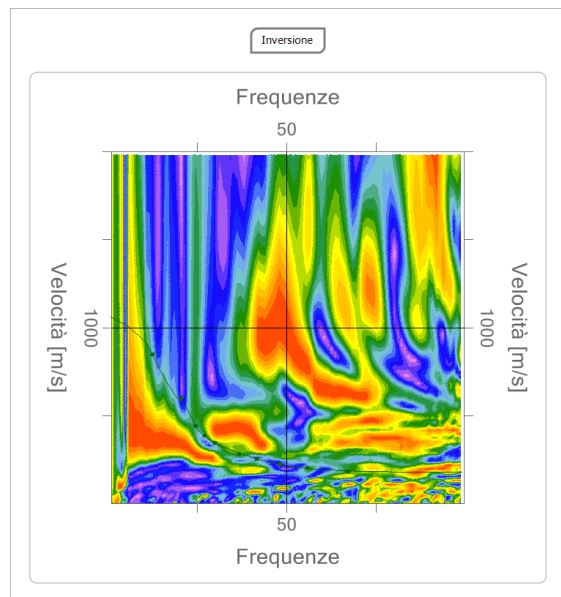
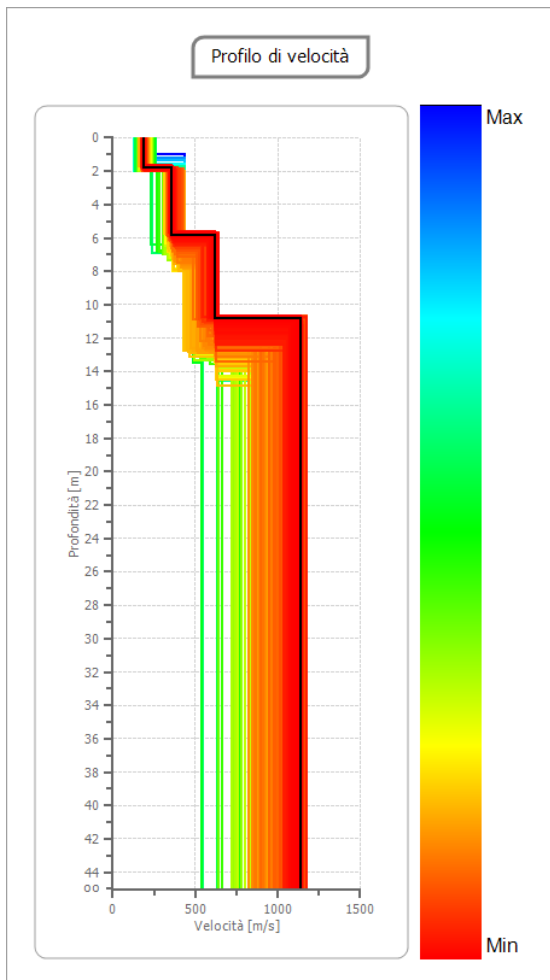
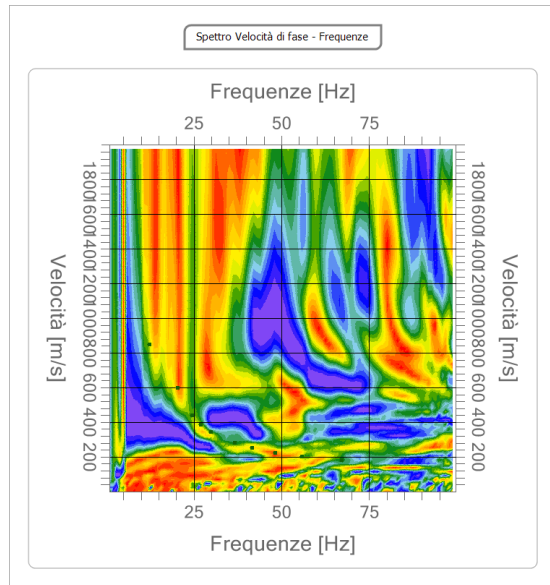
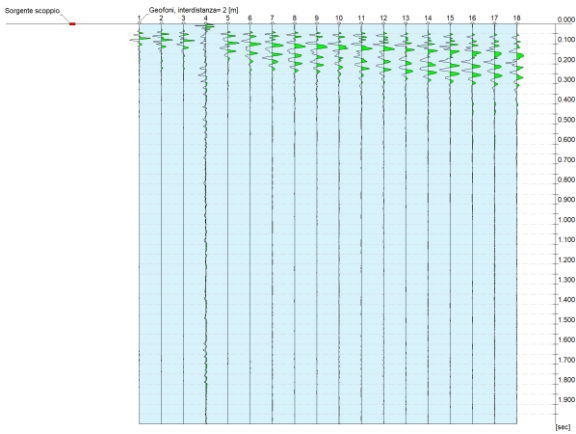


# MASW\_1



*Indagine MASW\_1:*  
*sismogramma, spettro velocità di fase-frequenza, inversione, profilo di velocità Vs*

# MASW\_2



*Indagine MASW\_2:  
sismogramma, spettro velocità di fase-frequenza, inversione, profilo di velocità Vs*

### *Vs,eq e Categoria di sottosuolo*

Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h(strato) e dalla velocità delle onde S Vs(strato).

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il terreno di fondazione rientra nella categoria di suolo di fondazione "B".

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

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

Controlli		Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
Numero di strati:	<input type="text" value="4"/>	1	1.80	185
Profondità piano di posa [m]:	<input type="text" value="0"/> <input type="button" value="Applica"/>	2	4	357
Profondità complessiva [m]:	20.8	3	5	620
Vs, eq (H=10.8) [m/s]:	372.43	4	10	1135
Categoria del suolo:	B <input type="button" value="Calcola"/>			
<input type="button" value="Apri"/> <input type="button" value="Salva"/> <input type="button" value="Scarica PDF"/>				

Controlli		Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
Numero di strati:	<input type="text" value="4"/>	1	1.50	180
Profondità piano di posa [m]:	<input type="text" value="0"/> <input type="button" value="Applica"/>	2	6	425
Profondità complessiva [m]:	24.5	3	7	840
Vs, eq (H=14.5) [m/s]:	471.02	4	10	868
Categoria del suolo:	B <input type="button" value="Calcola"/>			
<input type="button" value="Apri"/> <input type="button" value="Salva"/> <input type="button" value="Scarica PDF"/>				



### *Cenni metodologici*

Il metodo consiste nella rilevazione delle velocità delle onde sismiche, generate da una massa battente, attraverso un'interfaccia tra due mezzi con diverse caratteristiche elastiche. I valori di velocità delle onde sismiche, misurati in sito per ciascun volume di sottosuolo differenziato, unitamente alla "facies litologica" interpretata, hanno consentito di determinare una serie di parametri elasto-meccanici di riferimento.

Questi risultano derivati da correlazioni sperimentali, per tipologia litologica, tra parametri geomeccanici e parametri elastici. I parametri derivati risultano verificati nel complesso struttura/terreno cui si riferiscono e risultano associati ad un volume significativo di suolo che, puntualmente, può presentare caratteri differenti dai valori proposti.

### *Modalità esecutive*

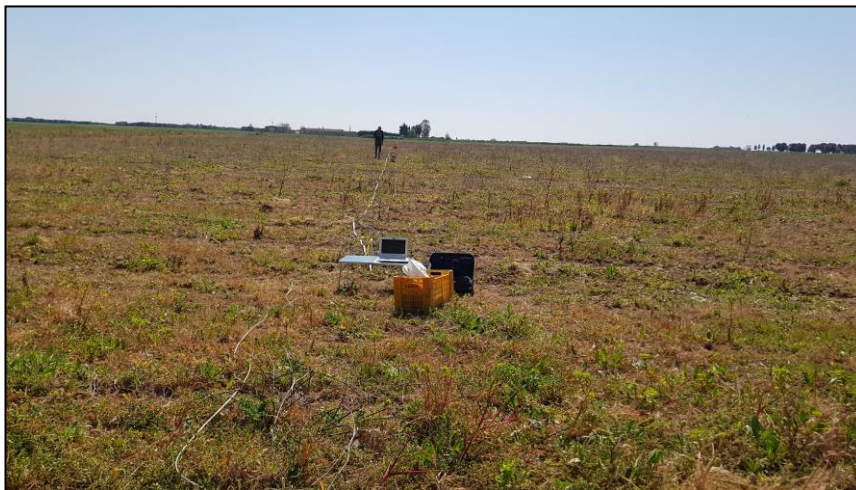
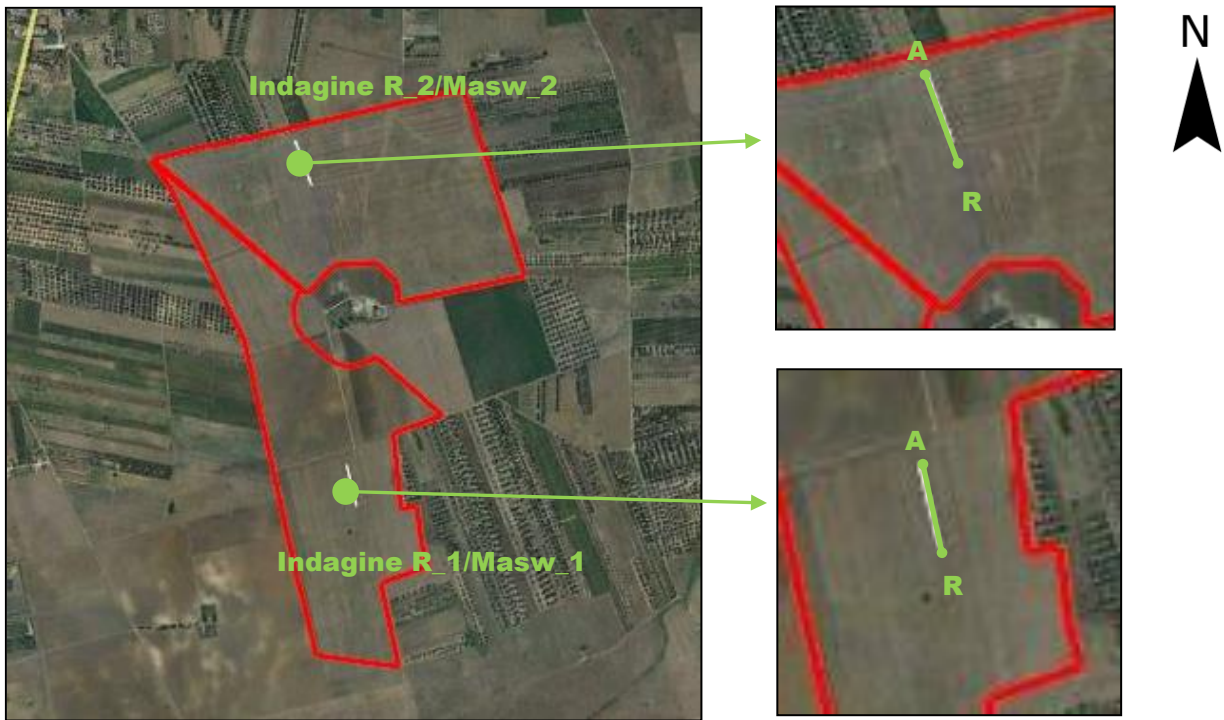
Nel caso in oggetto, sono stati eseguiti due stendimenti di lunghezza pari a 40 metri, lungo i quali sono stati disposti alternativamente e collegati in serie 18 geofoni con frequenza di 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 2.00 m.

Sono stati realizzati 3 shots, mediante l'utilizzo di una massa battente del peso di 10 kg circa e l'energizzazione è avvenuta secondo il seguente modo:

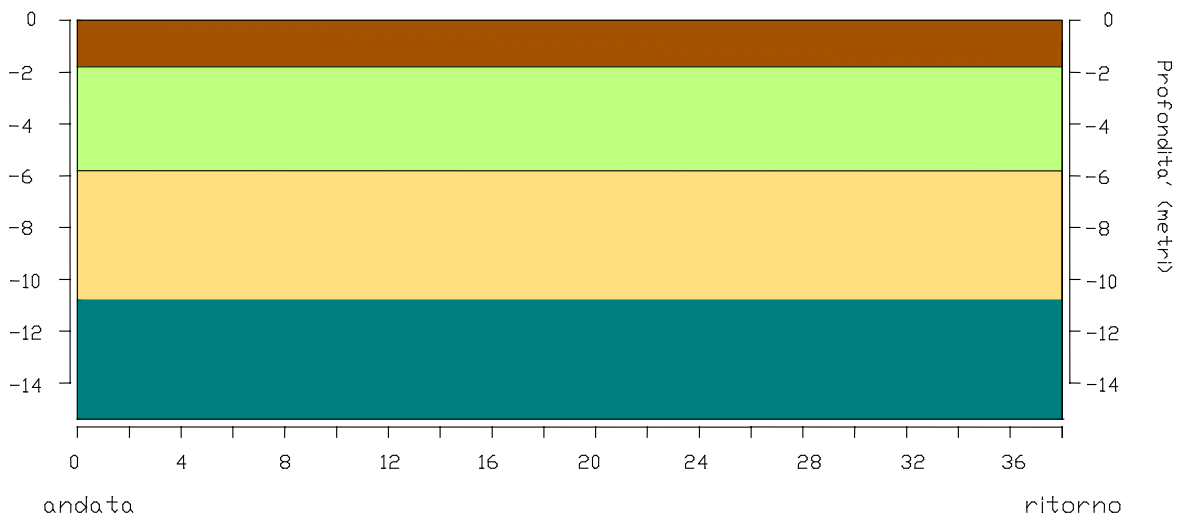
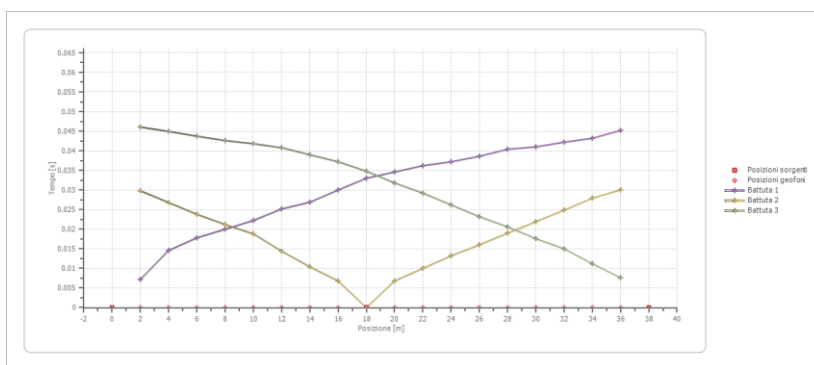
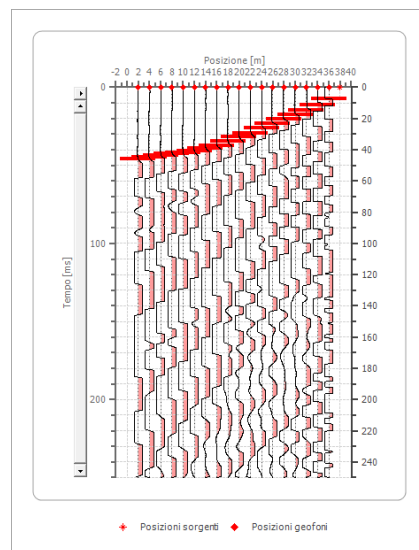
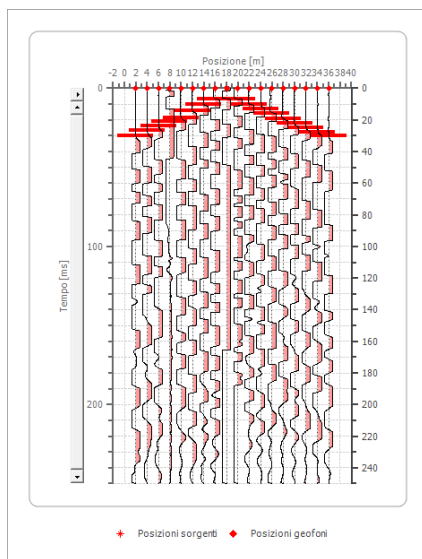
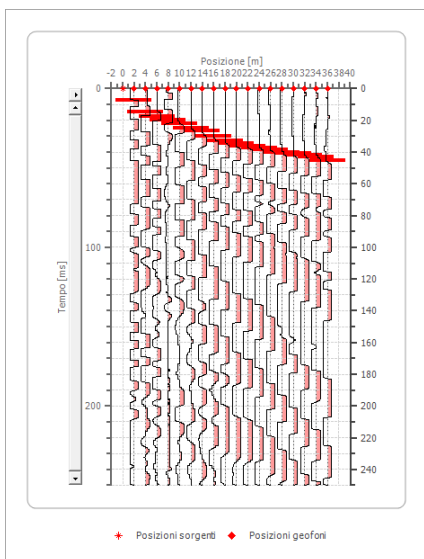
- 2 shots esterni allo stendimento (0 m e 40 m);
- 1 shot centrale, in corrispondenza del 9° geofono;

La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante un sismografo DoReMi della "SARA e.i." a 16 bit mentre il processing dei dati è stato eseguito con il programma Winsism.

## Ubicazione indagini geofisiche



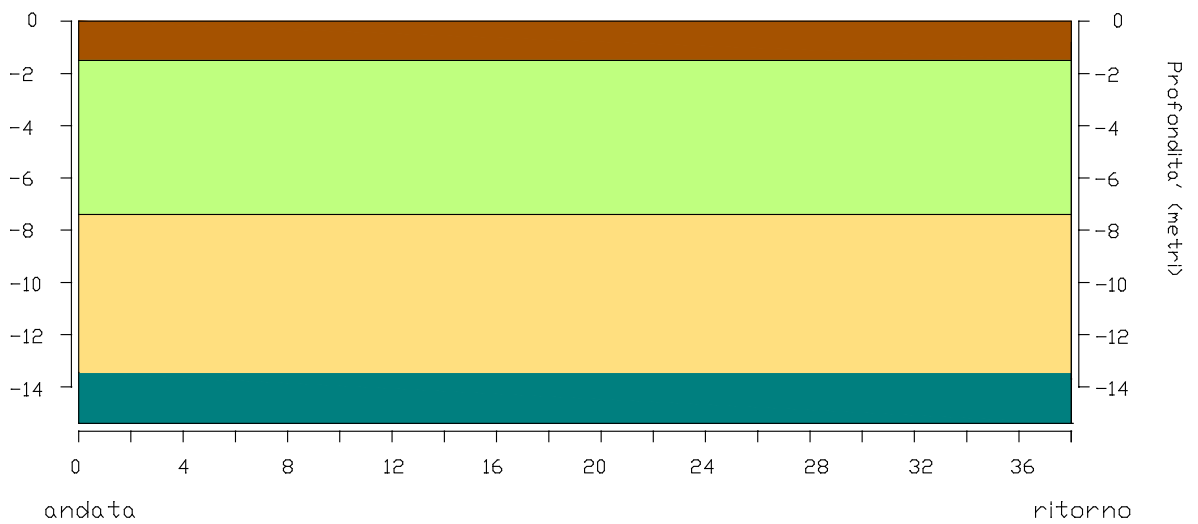
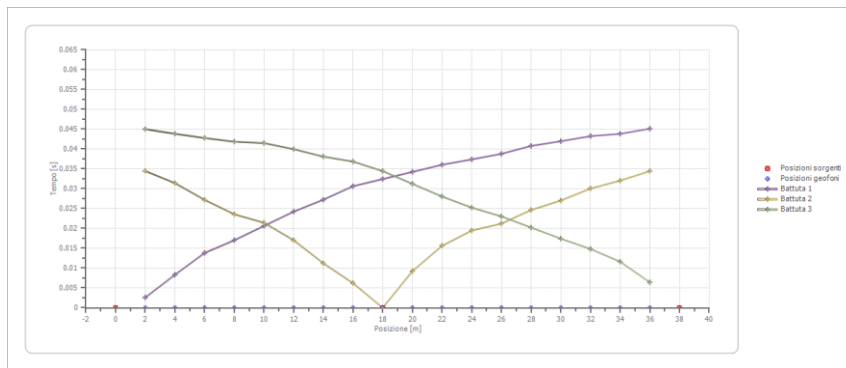
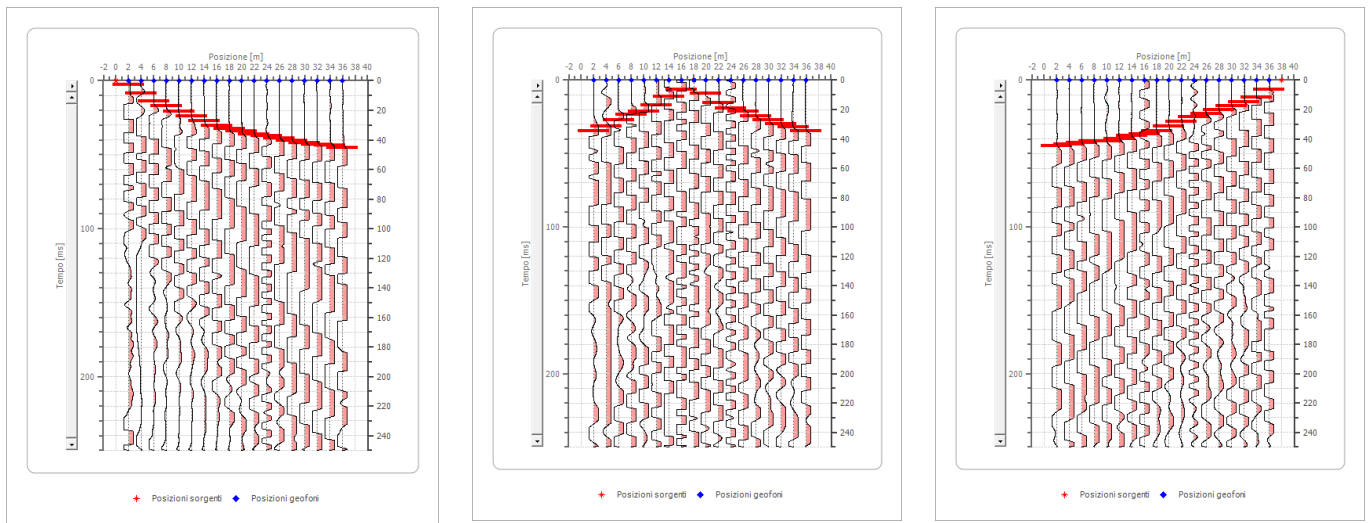
## Indagine R\_1



- Sismostrato I:  $V_p$  430-470 m/sec.
- Sismostrato II:  $V_p$  770-850 m/sec.
- Sismostrato III:  $V_p$  1400-1500 m/sec.
- Sismostrato IV:  $V_p$  2300-2500 m/sec.

*Sismogrammi, dromocrona e sezione sismostratigrafica*

## Indagine R\_2



- Sismostrato I:  $V_p$  420-460 m/sec.
- Sismostrato II:  $V_p$  900-950 m/sec.
- Sismostrato III:  $V_p$  1600-1700 m/sec.
- Sismostrato IV:  $V_p$  2100-2200 m/sec.

*Sismogrammi, dromocrona e sezione sismostratigrafica*



Range di variazione dei parametri sismici					
Parametri sismici		I orizzonte	II orizzonte	III orizzonte	IV orizzonte
velocità onde P	m/s	390 - 480	770 - 950	1400 - 1700	2100 - 2500
velocità onde S	m/s	180 - 186	357 - 425	620 - 840	970 - 1035
modulo di Poisson $\mu$	-	0.36 - 0.41	0.36 - 0.37	0.38 - 0.34	0.36 - 0.40
densità geofisica $\gamma$	g/cm <sup>3</sup>	1.58 - 1.65	1.80 - 1.88	2.02 - 2.10	2.18 - 2.26
modulo di taglio G	MPa	51 - 57	230 - 339	777 - 1479	2053 - 2416
mod. dinamico Young Ed	MPa	140 - 161	627 - 932	2141 - 3960	5603 - 6750
rigidità sismica R	t/cm <sup>2</sup> s	285 - 307	644 - 797	1252 - 1760	2116 - 2334

Valori caratteristici dei parametri sismici					
Parametri sismici		I orizzonte	II orizzonte	III orizzonte	IV orizzonte
velocità onde P	m/s	422	835	1506	2242
velocità onde S	m/s	182	378	686	990
modulo di Poisson $\mu$	-	0.39	0.37	0.37	0.38
densità geofisica $\gamma$	g/cm <sup>3</sup>	1.61	1.83	2.05	2.21
modulo di taglio G	MPa	53	261	965	2164
mod. dinamico Young Ed	MPa	147	716	2643	5969
rigidità sismica R	t/cm <sup>2</sup> s	292	691	1406	2186

- $\mu$  (modulo di Poisson)
- $\gamma$  (densità geofisica del terreno)  $\gamma_{din} = 0,51 \cdot V_p^{0.19}$
- G (modulo di taglio) - Ohta & Goto  $G = Ed / 2 \cdot (1 + \mu)$
- Ed (modulo di Young dinamico) - Brown e Robertshaw
- R (rigidità sismica)  $R = Vs \cdot \gamma$

$$E_{din} = 0,0102 \cdot \gamma \cdot V_p^2 \cdot \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

Valori caratteristici		Sismostrato			
Parametri elasto-meccanici		I	II	III	IV
litologia		terreno limoso	sabbie limoso-argillose	sabbie limoso-argillose	argille
compattezza		bassa	medio-bassa	medio-alta	alta
spessore	m	1.65	5.00	6.00	>10
densità in sito g	g/cm <sup>3</sup>	1.61	1.83	2.05	2.21
modulo di Poisson $\mu$		0.39	0.37	0.37	0.38
mod. statico di Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	45	481	2663	7533
mod. edometrico Edo	Kg/cm <sup>2</sup>	28	218	1167	3284
angolo di attrito $\phi$	gradi	22	24	25	26
angolo di attrito terr.-fond.	gradi	14	15	16	17
adesione terr.-fond.	Kg/cm <sup>2</sup>	0.01	0.09	0.50	1.41
coesione c	Kg/cm <sup>2</sup>	0.020	0.156	0.833	2.346
coeff. spinta passiva K		2.21	2.43	2.48	2.58

## STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Stratigrafia	Falda	Descrizione	valori caratteristici			
			densità g/cm <sup>3</sup>	angolo attrito	Es Kg/cm <sup>2</sup>	c Kg/cm <sup>2</sup>
0		terreno limoso	1.61	22	45	0.020
1						
2		sabbie limoso- argillose	1.83	24	481	0.156
3						
4						
5						
6						
7		sabbie limoso- argillose	2.05	25	2663	0.833
8						
9						
10						
11						
12		argille	2.21	26	7533	2.346
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Con riferimento a tutto quanto precedentemente analizzato è possibile riepilogare quanto segue:

- *Peculiarità litologiche*: i terreni in oggetto, al di sotto della copertura agraria in facies limosa mediamente spessa 1.50 m, sono costituiti da depositi di sabbie limoso-argillose fino ad una profondità di circa 13m dal p.c. e da argille indagate fino a circa 20 m dal p.c
- *Peculiarità geomorfologiche*: il sito di intervento è caratterizzato da una blanda pendenza di circa 0.5% in direzione N-NE con differenze di quota variabili tra circa 51 e 43 m s.l.m.; i terreni in esame risultano possedere caratteri geomorfologici che ne assicurano la stabilità generale; non sono presenti nella zona di studio fenomeni geodinamici di dissesto attivi o incipienti che possono alterare l'attuale equilibrio.
- *Peculiarità idrogeologiche* in virtù della tipologia d'intervento è possibile escludere interferenze delle strutture fondali con gli acquiferi superficiali e profondi.
- *Piano di Bacino AdB Puglia*: in riferimento a quanto prescritto dalle N.T.A. del (PAI), si precisa che:
  - le aree destinate all'installazione dei pannelli fotovoltaici, dei cavidotti e della cabina di trasformazione non sono perimetrate tra le aree a pericolosità idraulica e/o geomorfologica;
  - le aree destinate all'installazione dei pannelli fotovoltaici e della cabina di trasformazione distano oltre 150 m dalle linee d'impluvio principali e non rientrano pertanto tra le aree di rischio come da articoli 6 e 10 delle NTA del PAI;

- sebbene alcuni tratti del cavidotto presentino alcune interferenze con il reticolo idrografico, la messa in opera dello stesso non incrementerà il rischio idrologico/idraulico poiché la sua realizzazione non comporterà alcuna riduzione della sezione utile per il deflusso idrico.
- *Classificazione del terreno di fondazione:* le indagini sperimentali hanno permesso di classificare il terreno di fondazione in classe “B”.

Per quanto esposto, le opere in progetto risultano compatibili con le caratteristiche idrologiche e geologiche dei luoghi.

In fase esecutiva sarà possibile verificare direttamente l'attendibilità dei risultati sperimentali e la loro omogeneità tridimensionale apportando, all'uopo, adeguate modifiche a favore della sicurezza.

A salvaguardia dell'attuale assetto morfologico ed idrogeologico si raccomanda di limitare quanto più possibile operazioni di scavo e riporto di terreni.

Ruvo di Puglia, settembre '21

dott. geol. Angelo RUTA

