

Regione: PUGLIA
Provincia: BRINDISI
Comuni: MESAGNE e BRINDISI

IMPIANTO AGRIVOLTAICO CON GENERATORE DELLA POTENZA
NOMINALE DI 63.86 MWp DOTATO DI
SISTEMA DI ACCUMULO DA 50 MW - 200 MWh

CODICE IDENTIFICATIVO PRATICA AUTORIZZAZIONE UNICA REGIONALE: IL4UEW3



ALCYONE SOL S.r.l.

Via Mercato, 3/5
20121 Milano (MI)
P.IVA: 12502430965

Titolo dell'Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Denominazione del file dell'Elaborato:

IL4UEW3_RelazioneGeologica_01.pdf

Elaborato:

REL. 11

Progettista:

Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia
Via Ugo Tognazzi n.14
73050 Salve (LE)
Mail: studiociurlia@gmail.com
PEC: studiociurlia@pec.epap.it

Visti / Firme / Timbri:



SVILUPPO PROGETTO

NEXTA PROJECT HOLDCO
2 Hilliards Court, Chester Business Park
Chester, United Kingdom, CH4 9PX



APULIA ENERGIA S.r.l.
Via Sasso, 15
72023 Mesagne (BR)



Scala N.A. Formato A4

Data	Revisione	DESCRIZIONE	Elaborazione	Verifica e controllo
28/12/2022	0	PRIMA EMISSIONE	Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia	Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia
REVISIONI				

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	7
4. CARATTERI IDROGEOLOGICI	10
4.1 Caratteri di permeabilità dei terreni	13
4.2 Vulnerabilità degli acquiferi	15
5. CONFORMITA' DELL'INTERVENTO CON IL PAI	16
6. INDAGINI ESEGUITE – Sismica a Rifrazione	26
6.1 Cenni sul metodo	26
6.2 Profili sismici	28
7. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL TERRENO	50
8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA	55
8.1 Pericolosità sismica di base ai sensi delle NTC	55
8.2 Condizioni topografiche	56
8.3 Valutazione dei parametri sismici ai sensi delle NTC	57
8.4 Classificazione Sismica	59
9. CONCLUSIONI	60

1. INTRODUZIONE

Con la presente la sottoscritta Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia ha redatto uno Studio Geologico nell'ambito del Progetto Definitivo "Impianto Agrivoltaico con generatore della potenza nominale di 63,86 MWp (componente di produzione energetica) dotato di Sistema di Accumulo da 50 MW – 200 MWh (componente di storage) nel Comune di Mesagne (BR) con opere di vettoriamento dell'energia elettrica ed impianti di utenza per la connessione alla RTN, inclusa la necessaria Sottostazione Elettrica Utente (SSEU) di elevazione M.T./A.T., ricadenti in gran parte nel Comune di Brindisi (BR)".

L'impianto agrivoltaico prevede la messa a dimora di oliveto e mandorleto superintensivi oltre che prato permanente stabile (monospecifico e polispecifico) (componente agro-culturale), l'allevamento di ovini e l'apicoltura (componente zootecnica), la piantumazione di una siepe arbustiva/arborea perimetrale (opere di mitigazione).

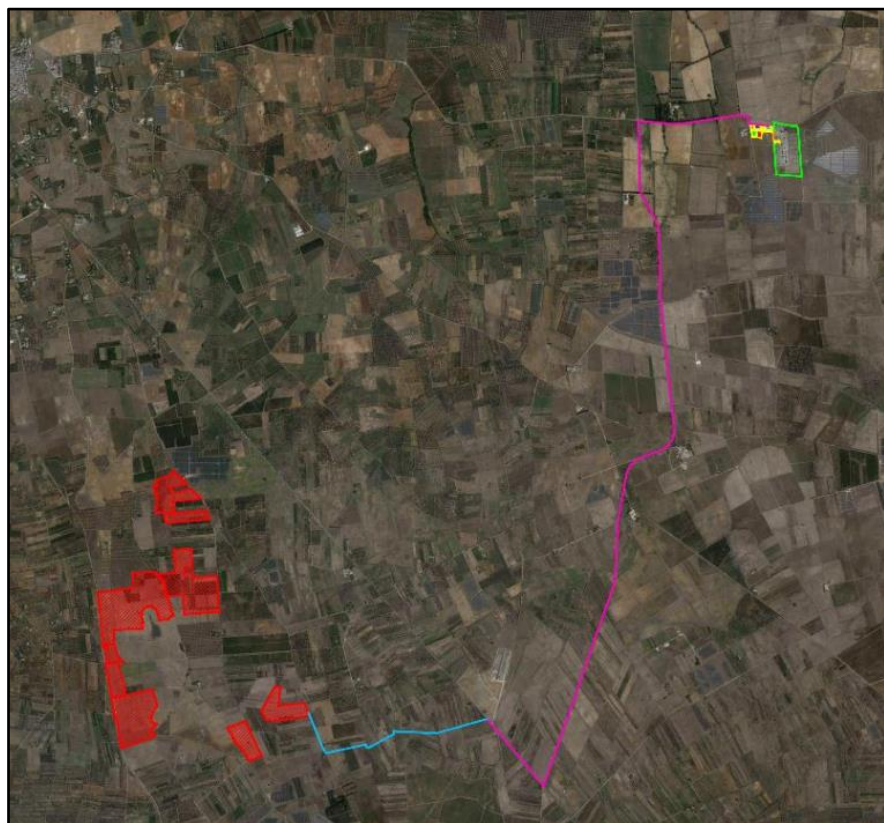
L'impianto sarà connesso in antenna a 150 kV su uno Stallo assegnato nella S.E. RTN "Brindisi sud" esistente da condividere con gli altri quattro Produttori.

L'impianto agrivoltaico con relativo Sistema di Accumulo insisteranno interamente in aree ubicate in zona agricola del Comune di Mesagne (BR), come tipizzata nel vigente strumento urbanistico comunale. Gli elettrodotti di vettoriamento e gli impianti di utenza e di rete per la connessione interessano marginalmente il Comune di Mesagne (BR), interessando prevalentemente il Comune di Brindisi (BR). In agro di Brindisi (BR) sarà realizzata la Sottostazione Elettrica Utente (SSEU) necessaria per la trasformazione della tensione da M.T. a 30 kV a A.T. a 150 kV ai fini della connessione dell'impianto di produzione alla RTN (Fig.1 e 2)

La superficie destinata alla realizzazione dell'impianto agrivoltaico con relativo Sistema di Accumulo (aree utilizzate per opere di impianto e colture agricole) è pari a circa 935.082 m. Di questa superficie, circa 317.790 m saranno occupati dalle strutture di sostegno dei moduli (tracker), circa 57.523 m saranno occupati da opere funzionali (viabilità, aree di manovra, piazzali di ubicazione delle cabine elettriche, area destinata al Sistema di Accumulo) mentre i restanti 559.769 m saranno destinati alla messa a dimora delle colture specifiche di progetto.

L'impianto agrivoltaico sorgerà in un'area agricola che si estende su una superficie posta a circa 5,5 km a SUD del centro abitato di Mesagne (BR). Le particelle catastali destinate alla realizzazione dell'impianto e nella disponibilità della Proponente sono di seguito elencate; l'impianto agrivoltaico occupa parzialmente o totalmente le particelle elencate nel rispetto dei vincoli insistenti sulle aree medesime e delle distanze da osservare da opere, servizi, fabbricati o servitù esistenti.

Comune	DATI CATASTALI	Superficie contratto [ha]
Mesagne (BR)	FG 98 P.LLE 12, 27	0,7932
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLE 56, 57, 67	1,7814
Mesagne (BR)	FG 98 P.LLA 19	2,1647
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLA 55	1,513
Mesagne (BR)	FG 98 P.LLE 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 34, 38 / FG 100 P.LLE 58, 59, 60, 61, 62, 66, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 84, 85, 92 / FG 109 P.LLA 31	14,8655
Mesagne (BR)	FG 108 P.LLE 8, 14, 15, 20, 32, 51, 54, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86 / FG 116 P.LLA 2	46,5041
Mesagne (BR)	FG 108 P.LLE 67, 69, 28, 29, 30, 91, 93, 71 FG 109 P.LLE 22, 60, 61, 62, 59, 51, 64, 65, 63, 73, 70	50,9791
Mesagne (BR)	FG 108 P.LLE 17, 87/ FG 115 P.LLA 7, 94	13,3862
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLE 78,79	0,9947
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLA 23	1,4761
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLE 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 38	6,6598
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLE 33, 36, 103	1,5627
Mesagne (BR)	FG 100 P.LLE 37, 90, 91, 117, 118	1,6315
Mesagne (BR)	FG 116 P.LLE 77, 121, 122, 123, 152	10,1341
Mesagne (BR)	MESAGNE FOGLIO 116 P.LLE 156, 155, 154, 96, 97, 10, 11, 136, 9, 89, 114, 71, 141, 48, 145, 146, 135	6,1555
Mesagne (BR)	MESAGNE FOGLIO 116 P.LLE 8, 137, 117, 129, 128, 50, 12, 67, 68, 108, 109, 110	3,4951
Mesagne (BR)	MESAGNE FG 98 P.LLE 28	0,5336
		164,6303



LEGENDA

- ▬ Area impianto di produzione
- ▬ Percorso elettrodotto in MT di vettoriamiento dell'energia su strada asfaltata
- ▬ Percorso elettrodotto in MT di vettoriamiento dell'energia su strada sterrata
- ▬ Percorso elettrodotto in A.T. di collegamento a stallo in Stazione RTN
- ▬ Area Sottostazione Elettrica Utente (SSEU) ALCYONE SOL
- ▬ Area SSEU LIGHT SOURCE
- ▬ Area SSEU SOLAR ENERGY CINQUE
- ▬ Area SSEU EVERGREEN PUGLIA
- ▬ Area SSEU SR PROJECT 2
- ▬ Area SBARRE A.T. CONDIVISE
- ▭ Stazione RTN "BRINDISI SUD" di TERNA S.p.A.
- ▭ Stallo condiviso assegnato in S.E. RTN "BRINDISI SUD"

FIG 1 - Localizzazione delle opere progettuali su ortofoto

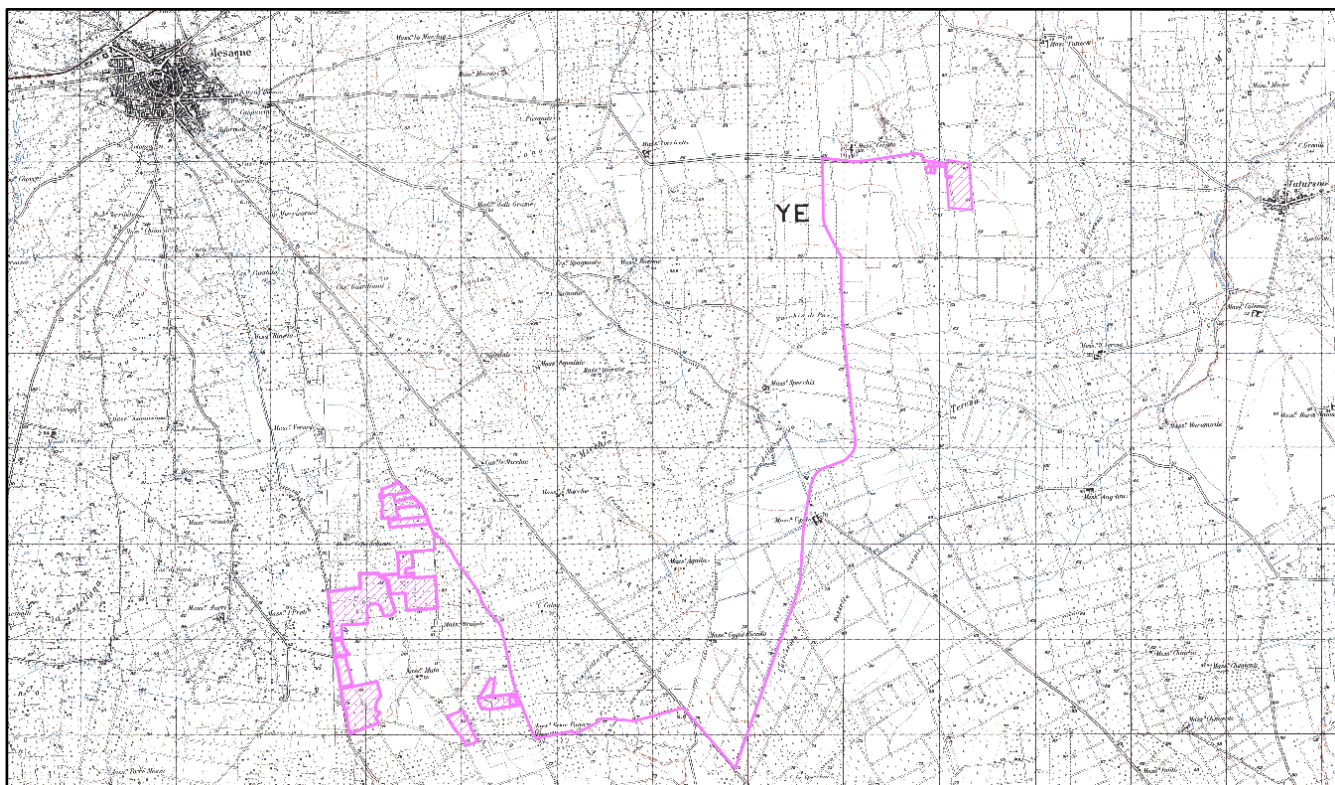


FIG 2 - Localizzazione delle opere progettuali su cartografia IGM 1:25000

Nell'ambito del progetto di Agrivoltaico si propone la coltivazione nell'area d'impianto di prato permanente polifita da assoggettare al pascolo ovino, a colture ad alto reddito quali l'oliveto superintensivo e mandorleto superintensivo.

Al fine di ricreare le condizioni di naturalità dell'area, sarà realizzata una vera e propria fascia ecologica (siepe arbustiva/arborea perimetrale) a ridosso dell'impianto agrivoltaico esternamente la recinzione perimetrale.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'assetto geologico e strutturale ad ampia scala è rappresentato da potenti successioni carbonatiche di origine marina costituite da strati e banchi di calcari e dolomie del Cretaceo. Tali successioni, che rappresentano i depositi più antichi dell'area, comprendono (secondo la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (foglio 203 "Brindisi") le Dolomie di Galatina e l'unità dei Calcari di Melissano. Per le analogie nei caratteri di litofacies e in accordo con la bibliografia geologica più recente (sensu Ricchetti 1988) quest'ultima formazione verrà indicata nel presente studio con il termine Calcari di Altamura.

Ai depositi cretacei si addossano lungo le scarpate, o si sovrappongono, in trasgressione, sedimenti miocenici terrigeni, tra loro parzialmente eteropici, costituiti dalla cosiddetta "Pietra leccese" e dalle

Calcareniti di Andrano. Notevole diffusione hanno anche sedimenti pliocenici e pleistocenici, sia in facies costiera che continentale, rappresentati principalmente dalle Sabbie di Uggiano e dalle Calcareniti di Gravina (sensu Ricchetti 1988) (o Calcareniti del Salento (sensu CGI 1968)), anch'essi trasgressivi sui depositi più antichi. I depositi continentali olocenici sono in genere rappresentati da lembi poco estesi e potenti (sabbie, depositi eluviali e di "terra rossa"), crescenti in spessore e ampiezza procedendo verso la fascia costiera.

Il quadro geologico attuale è il risultato degli eventi tettonici che si sono succeduti a partire dal Cretaceo e che a più riprese hanno interessato l'intera Penisola Salentina. Il basamento carbonatico della penisola salentina, che come già detto in precedenza, è costituito dai Calcari di Altamura, rappresenta il settore della piattaforma apula che ha subito la maggiore attività tettonica. La penisola salentina ha subito una tettonica distensiva dando origine ad un sistema di faglie all'interno del basamento, e generando un sistema strutturale di dorsali e depressioni tettoniche tipo horst e graben di varia grandezza ed estensione. Tali strutture hanno un andamento prevalentemente orientato in direzione Nord Ovest – Sud Est, e morfologicamente corrispondono, rispettivamente, alle attuali "serre salentine" e alle depressioni che le separano.

Nel Miocene i movimenti tettonici hanno riportato in condizioni di sommersione le terre emerse, favorendo la sedimentazione di estesi corpi calcarenitici. Le fasi tardo mioceniche e plioceniche hanno riattivato le faglie cretacee interessando anche i terreni del Miocene. Nel corso di questi due ultimi periodi e del Pleistocene inferiore, ripetuti fenomeni di subsidenza e innalzamento hanno portato più volte ampie zone del Salento al di sotto e al di sopra del livello marino, determinando, rispettivamente, la deposizione di materiali terrigeni e l'erosione delle coperture più recenti. Nel Pleistocene medio una nuova fase tettonica ha conferito alla regione una configurazione simile all'attuale, mentre i fenomeni di ingressione e regressione marina conseguenti alle fasi glaciali (in particolare del Riss e del Wurm) hanno determinato il deposito dei sedimenti costieri in aree marginali.

Dal punto di vista litostratigrafico l'area del Comune di Mesagne e dei comuni limitrofi risulta costituita, dal basso verso l'alto, dai seguenti litotipi:

Depositi marini

- Calcari di Altamura (Turoniano sup. –Maastrichtiano)
- Calcarenite di Gravina (Pliocen sup.- Pleistocene inf.)
- Argille Subappennine (Pleistocene inf.)
- Depositi Marini Terrazzati (pleistocene med.-sup.)

Depositi continentali

- Coltre eluvio-colluviale (Olocene)

Calcari di Altamura

La formazione dei Calcari di Altamura è costituita prevalentemente da calcari bioclastici di colore chiaro, talora biancastro, compatti e a frattura irregolare. Associati ad essi si rinvencono calcari più scuri, calcari chiari subcristallini a frattura concoide e calcari detritici o leggermente marnosi. A tali litotipi si intercalano in modo irregolare calcari dolomitici color nocciola e subcristallini, con subordinate dolomie calcaree. Tali intercalazioni sono particolarmente evidenti nella zona a Nord del centro urbano di Nardò. Dal punto di vista petrografico, i calcari in oggetto sono costituiti prevalentemente da micriti più o meno fossilifere, talora dolomitizzate, e da subordinate biomicriti. Il contenuto macropaleontologico è scarso; sono presenti gusci e frammenti di rudiste, in particolare *Apricardia carantonensis* (D'ORB.), e rari *Cerithium*, *Pecten*, *Cardium*. Il contenuto di carbonato di calcio subisce in genere deboli oscillazioni e può arrivare al 98-99% nei calcari, nelle dolomie calcaree invece scende fino al 60%. La stratificazione è sempre evidente, ad eccezione dei casi in cui sia presente uno sviluppato carsismo superficiale. Gli strati presentano una potenza variabile da circa 15-20 cm all'ordine del metro. Talora si nota una evidente laminazione parallela, come, ad esempio, in alcuni affioramenti della Serra di Nardò. L'ambiente di sedimentazione è di piattaforma carbonatica interessata da limitate ed episodiche emersioni. Il limite inferiore non è affiorante; il limite superiore è inconforme e discordante con le formazioni più recenti.

Calcareniti di Gravina

Depositi calcarenitici e calciruditi bioclastici di ambiente litorale. La formazione è direttamente trasgressiva sui calcari cretaci. Sono localmente rappresentate da calcareniti e calciruditi passanti a materiali sabbiosi con inclusi ciottoli che si rinvencono in spessori molto esigui. Al contatto con i calcari spesso si trovano abbondanti affioramenti di materiali residuali rossastri (terre rosse) testimoni di una lunga fase di emersione che ha preceduto la trasgressione marina quaternaria.

Argille Subappenniniche

Argille limose, argille sabbiose ed argille marnose di colore grigio-azzurro, subordinatamente giallastre con sparsi, nella parte alta, ciottoli di natura calcarea o calcarenitica. Questi depositi poggiano in continuità di sedimentazione sulle Calcareniti di Gravina e localmente giacciono, lungo superfici trasgressive, direttamente sui depositi mesozoici del Calcare di Altamura. Questi depositi non affiorano e si trovano in estese aree nel sottosuolo. Dati litostratigrafici desunti da sondaggi e pozzi eseguiti nell'area confermano la presenza al di sotto dei Depositi Marini Terrazzati. Le Argille subappenniniche rappresentano il substrato impermeabile che sostiene l'acquifero superficiale della Piana di Brindisi. Da studi realizzati si è stimato che nell'area del Comune di Latiano lo spessore di questa formazione può arrivare a 10 m.

Depositi marini terrazzati

I Depositi marini terrazzati sono costituiti essenzialmente da alternanze di sabbie quarzose giallastre e calcareniti organogene localmente a carattere litoide con a tratti intercalazioni di strati conglomeratici. Giacciono lungo superfici di abrasione marina individuate nei depositi argillosi e calcarenitici del ciclo della Fossa Bradanica e nei calcari mesozoici. In questa unità ha sede l'acquifero superficiale, generalmente sostenuto dai depositi argillosi impermeabili sottostanti.

I depositi marini terrazzati affiorano nell'area di intervento (Fig.3A e 3B).

Coltre Eluvio-Colluviale

La coltre eluvio-colluviale è caratterizzata dalla presenza di terre rosse argillose, depositi alluvionali e palustri, sabbioso terrosi e subordinatamente ciottolosi di età via via più recente in relazione alla diminuzione di quota. Nei depositi più antichi sono frequenti resti scheletrici di mammalofaune (*Elephas* sp., *Rinocerthos* sp., *Equus* sp., *Boss* sp.). Lo spessore è variabile da qualche metro fino ad una decina di metri.

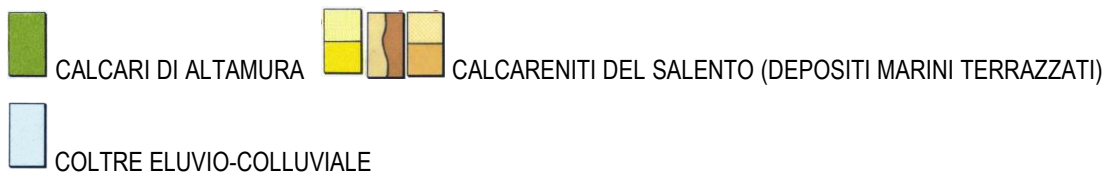
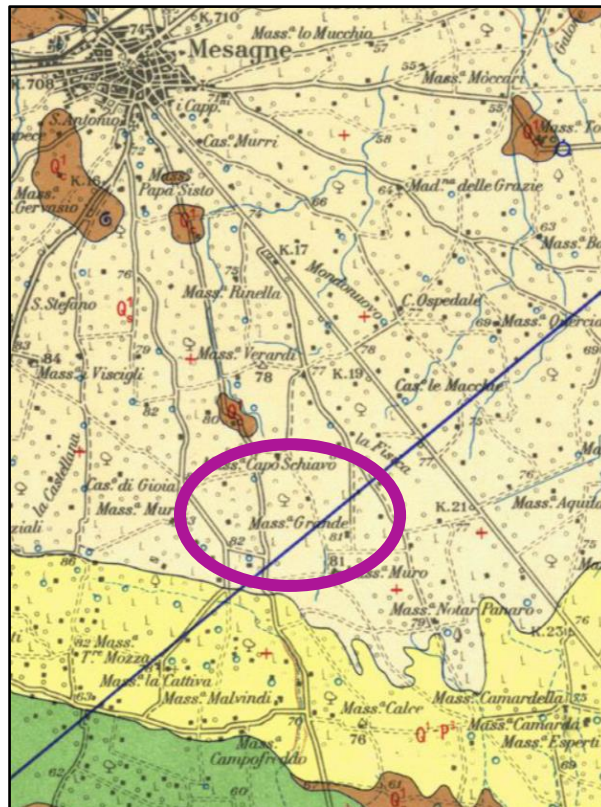


FIG 3A – Stralcio della Carta Geologica alla scala 1:100000, foglio 203 "Brindisi". In colore fucsia la localizzazione dell'intervento

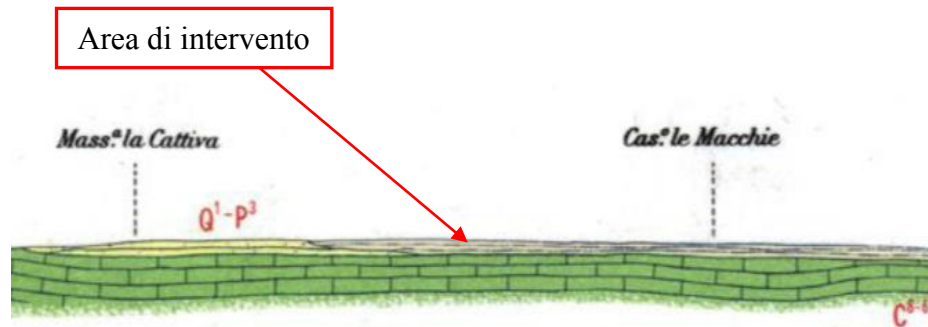


FIG 3B – Sezione stratigrafica, foglio 203 “Brindisi”

3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il territorio comunale di Mesagne è ubicato nella parte sud-orientale dell'altopiano murgiano e si estende nell'area al limite tra la porzione nord-occidentale delle Murge Tarantine e quella sudorientale delle Murge Baresi. La morfologia di questo settore pugliese è caratterizzata dalla presenza di dorsali, alture ed altipiani, che raramente si elevano a più di poche decine di metri sulle aree circostanti e che prendono il nome di "Serre". La fisiografia generale è controllata dalle caratteristiche tettoniche e strutturali dei terreni affioranti. In particolare le zone rilevate coincidono con alti strutturali di origine disgiuntiva (horst) e plicativa (pieghe anticlinali), delimitati da scarpate morfologiche impostate sui piani di faglia o sui fianchi delle anticlinali, ed il cui andamento principale è in direzione NW- SE. I terreni più giovani, datati al Pleistocene ed all'Olocene, sono di natura alluvionale e di spiaggia, riferibili a numerose unità litostratigrafiche ; esse occupano le aree più depresse (piana di Brindisi) o poggiano sulle superfici di scarpata morfologica, raccordandosi ad esse e seguendone l'andamento e l'immersione. La presenza di incisioni deboli in un sistema carsico diffuso, costituisce l'unico esempio di idrografia organizzata a regime perenne nel territorio comunale di Mesagne e in quello dei Comuni vicini. Le incisioni fluvio-carsiche minori hanno orientazioni variabili NNO-SSE e Ovest-Est e spesso recapitano le acque in aree cieche o in doline.

Di seguito si riporta uno stralcio della "Carta Idrogeomorfologica " della Regione Puglia, redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (AdB), oggi "Autorità di Bacino del distretto idrografico dell'appennino meridionale – Sede Puglia" (Fig.4). Nell'area oggetto di intervento, sita sud dell'abitato di Mesagne, a ovest di Masseria Grande, gli elementi geomorfologici di rilievo sono rappresentati dalla presenza di:

- 1) un reticolo fluviale secondario che interessa la parte centro-orientale del sito di impianto;
- 2) l'attraversamento di vari tratti di reticolo in corrispondenza degli elettrodotti che rimangono confinati nella viabilità esistente;
- 3) Un recapito di bacino endoerico (conca) che lambisce l'area di progetto di impianto.

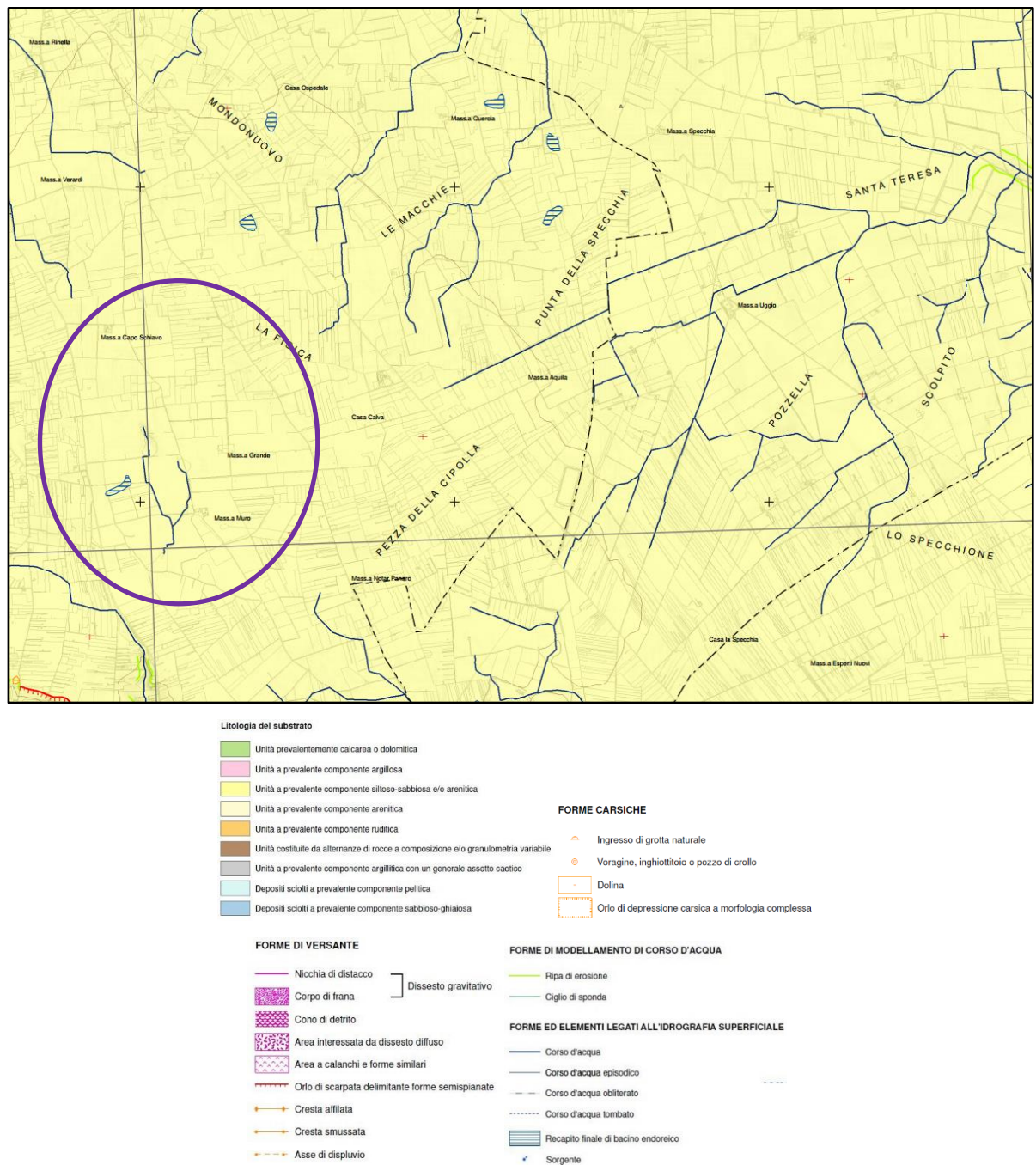


FIG 4 – Stralcio Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia. Nel tondo di colore viola l'area di impianto

Dall'analisi delle quote mediante profili altimetrici e carta delle pendenze estrapolati da un modello digitale del terreno (DTM) tramite dati della Regione Puglia, ed elaborato con software GIS, è stato possibile implementare un'analisi geomorfologica del terreno oggetto di intervento e di quelli limitrofi. Di seguito l'analisi dei profili altimetrici tracciati in direzione longitudinale (Fig.5A) e trasversale (Fig. 5B) dell'area di progetto di impianto. Nel primo caso l'andamento topografico del terreno mostra una variazione di quote che tendono ad oscillare in direzione nord-sud da un minimo di 77,07 m s.l.m. ad un massimo di 81,16 m s.l.m. Nel secondo caso l'andamento topografico del terreno mostra una

variazione di quote che tendono ad oscillare da ovest verso est da un minimo di 77,88 m s.l.m. ad un massimo di 81,16 m s.l.m.

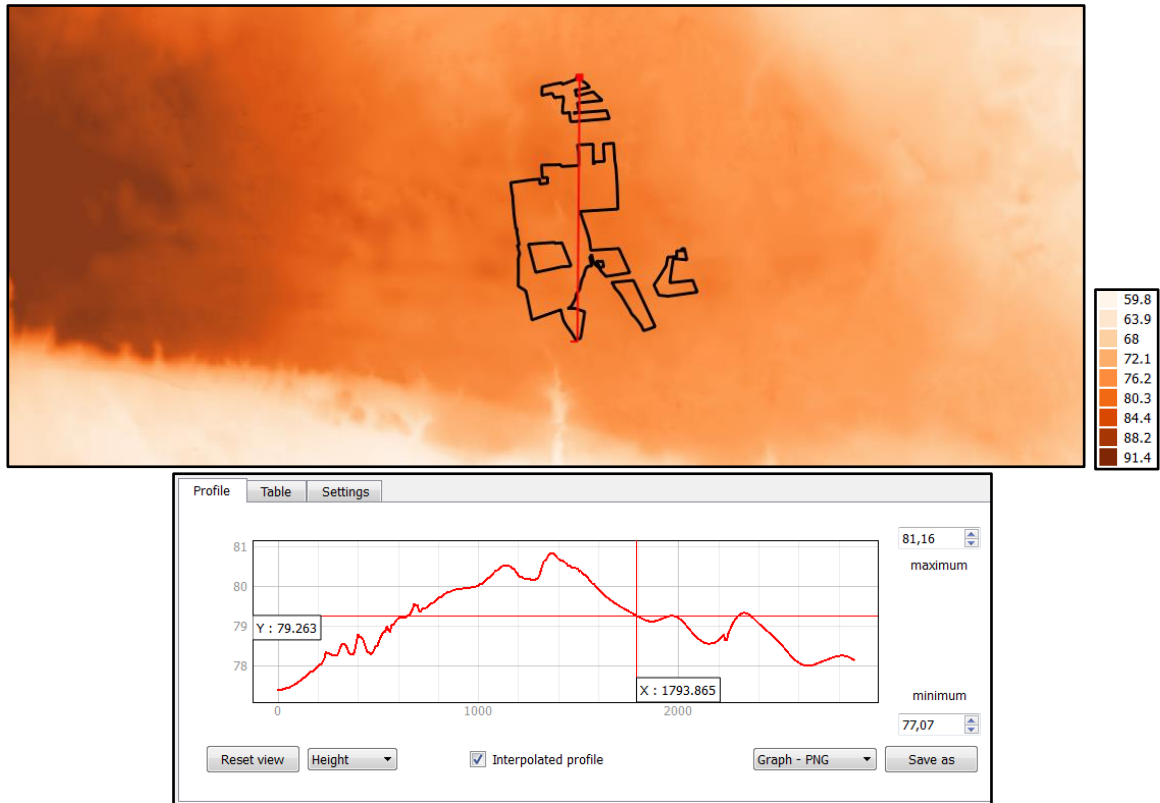


FIG 5A – Andamento topografico del terreno su sezione longitudinale nell'area di progetto

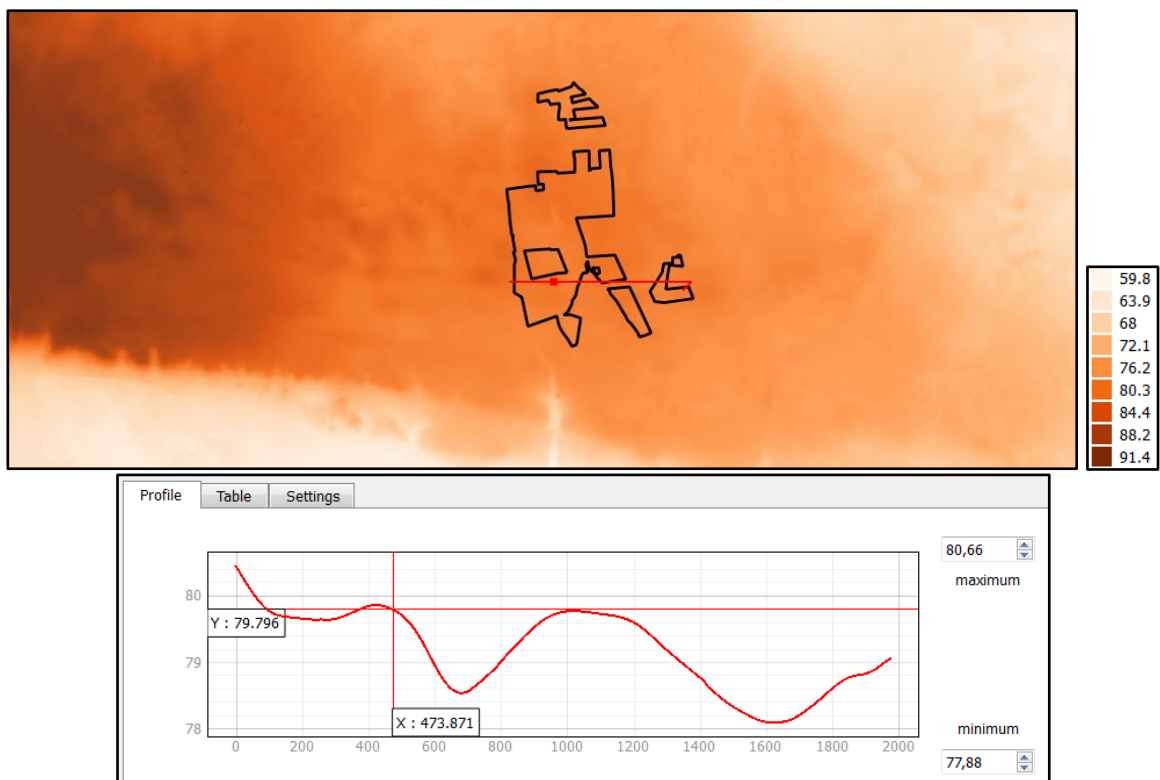


FIG 5B – Andamento topografico del terreno su sezione trasversale nell'area di progetto

Il DTM disponibile è stato utilizzato per l'elaborazione della carta delle pendenze che nell'area di progetto hanno valori inferiori al 10%. Dalla Fig.6 di seguito si evince infatti che il valore minimo di pendenza è intorno allo 0,1% (caratterizzante quasi la totalità della zona) mentre quello massimo è pari al 4,05%, in corrispondenza del tratto terminale di un reticolo idrografico non interessato dalla presenza di opere di impianto.

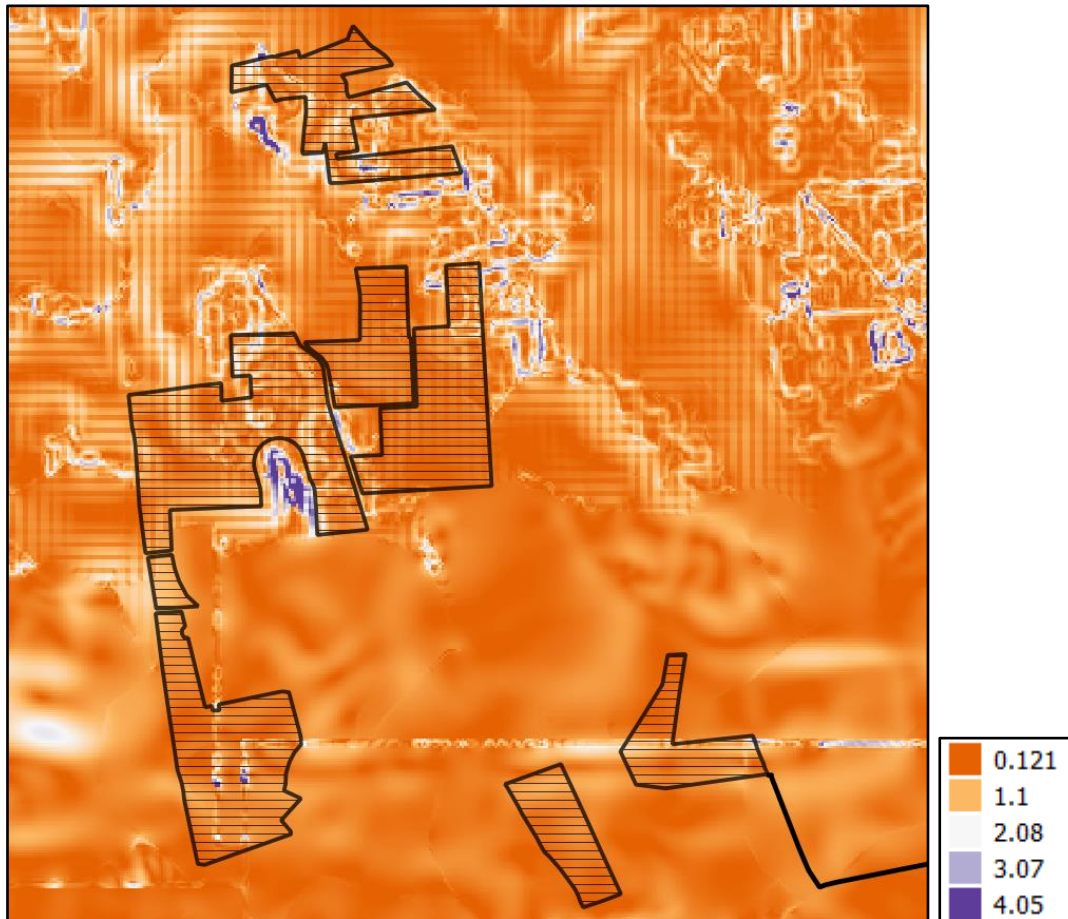


FIG 6 – Carta delle pendenze nell'area di intervento

4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

L'area di intervento è sita a sud-est dell'abitato di Mesagne (BR). L'assetto geologico-strutturale determina la geometria e le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei, influenzando sia sulle modalità di circolazione e di efflusso a mare, sia sulle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque sotterranee. Nelle formazioni geologiche dell'area oggetto di intervento, come in gran parte del territorio brindisino e salentino, è possibile distinguere un acquifero profondo, avente sede nell'ammasso carbonatico fessurato e carsificato e sostenuto alla base dall'acqua marina di invasione continentale e, negli strati geologicamente più recenti, Pleistocenici, un acquifero superficiale, sostenuto alla base

dalla Formazione delle Argille subappennine (Fig.7). Nell'area di interesse è assente l'acquifero superficiale; l'acquifero superficiale poroso dell'Area Brindisina è sito nelle vicinanze (Fig.8)

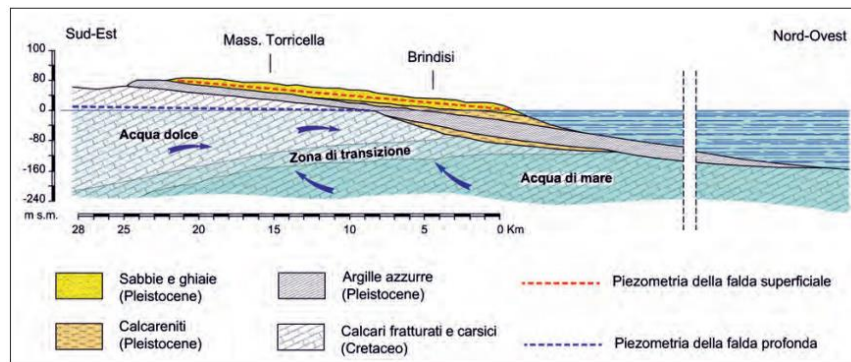


FIG 7 – Sezione idrogeologica schematica della Piana di Brindisi perpendicolare al litorale adriatico.

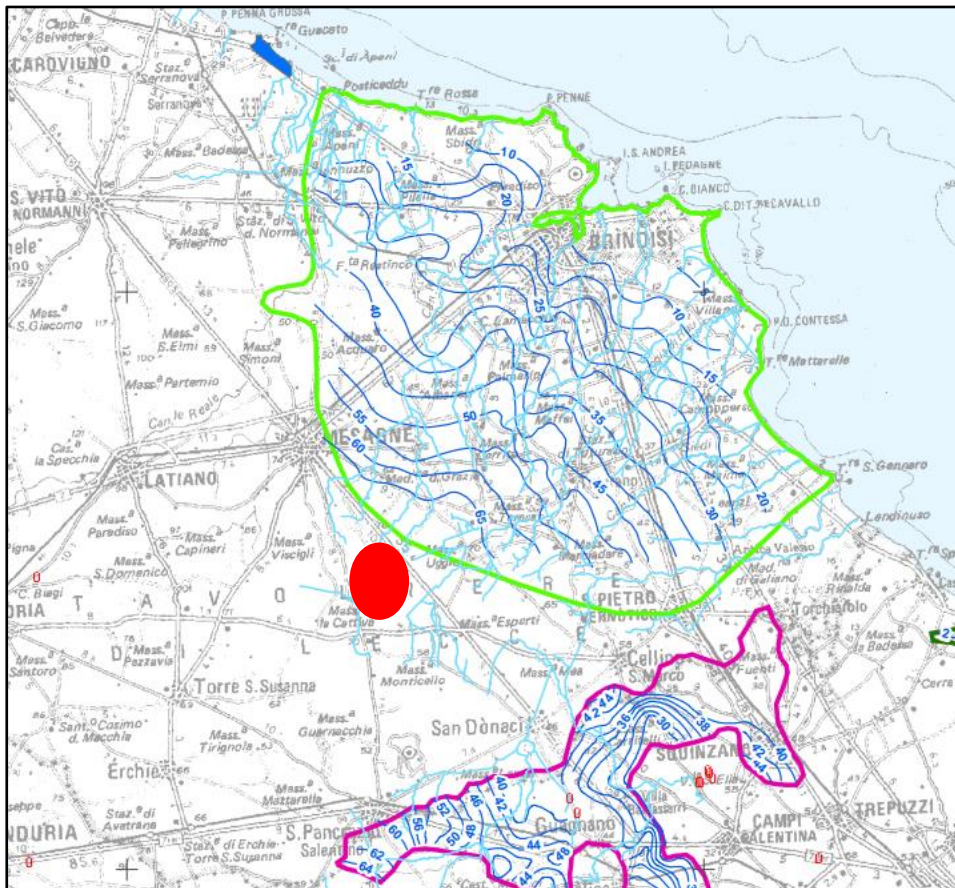


FIG 8 – Stralcio della Tavola n.6.3 del Piano Tutela Acque della Puglia – “Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi porosi del Brindisino, Tarantino e Salento”, contenente l'area di intervento (tondo colore rosso)

L'acquifero profondo è presente principalmente nel basamento calcareo mesozoico, permeabile per fessurazione e carsismo, e subordinatamente (lì dove presenti e poco compatti) nei depositi appartenenti alla sovrastante Formazione delle Calcarenti di Gravina. Si tratta dunque di un acquifero

localmente passante a due strati a differente permeabilità, con i depositi calcarenitici generalmente a permeabilità ridotta rispetto ai calcari di base. All'interno del mezzo poroso roccioso le acque dolci, più leggere, tendono a "galleggiare" sulle sottostanti acque marine dando origine, in assenza di fenomeni di perturbazione della falda, ad una situazione di equilibrio idrostatico che permette una netta sovrapposizione delle due diverse masse idriche e ne evita il miscelamento idraulico (Fig. 9).

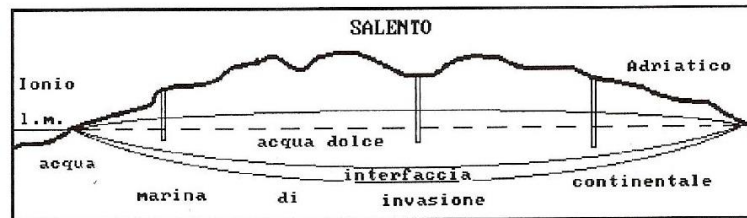


FIG 9 - Sezione idrogeologica schematica della Penisola Salentina

L'interfaccia tra acque dolci e marine è rappresentata da un sottile livello idrico di transizione, denominato "zona di diffusione" e caratterizzato da un rapido incremento verticale del contenuto salino. Lo spessore del livello delle acque dolci può essere stimato approssimativamente utilizzando la legge di Ghyben-Herzberg esprimibile nella forma:

$$H = [Dd/(Dm-Dd)]*h$$

dove:

H rappresenta la profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata;

Dd rappresenta la densità dell'acqua dolce e risulta pari a circa 1,0028 g/cm³;

Dm rappresenta la densità dell'acqua marina pari a circa 1,028 g/cm³;

h rappresenta la quota del livello statico.

Sostituendo tali valori nell'espressione sopra indicata si ottiene un risultato pari a circa: $H=40h$. Nella pratica si adottano formule con coefficienti minori di 40 (generalmente $H=33h$ e comunque compresi tra 30 e 35) che, tenendo conto anche della presenza della zona di diffusione, permettono di valutare più realisticamente lo spessore delle acque dolci.

Il deflusso della falda profonda è quindi sostanzialmente di tipo radiale divergente, si esplica cioè dall'entroterra in direzione del mare, dove le acque di falda normalmente si riversano, in maniera diffusa o concentrata, attraverso sorgenti costiere e/o polle sottomarine. La falda assume, su grande scala, una forma pseudo-lenticolare con spessori che, massimi nella parte centrale della penisola, si assottigliano progressivamente in direzione della costa; dallo spessore delle acque dolci dipendono i valori dei carichi idraulici, che sono più elevati nell'entroterra. L'alimentazione della falda profonda avviene a Nord-Ovest della Piana di Brindisi, in corrispondenza dell'altopiano murgiano.

Come si desume da alcune stratigrafie di pozzi perforati nelle vicinanze dell'area di intervento il livello statico medio misurato della falda profonda è a circa 75-80 m di profondità dal p.c.

Di seguito lo stralcio della carta delle isofreatiche della falda profonda, allegata al Piano Regionale di Tutela delle Acque (PTA), contenente l'area di intervento (Fig.10).

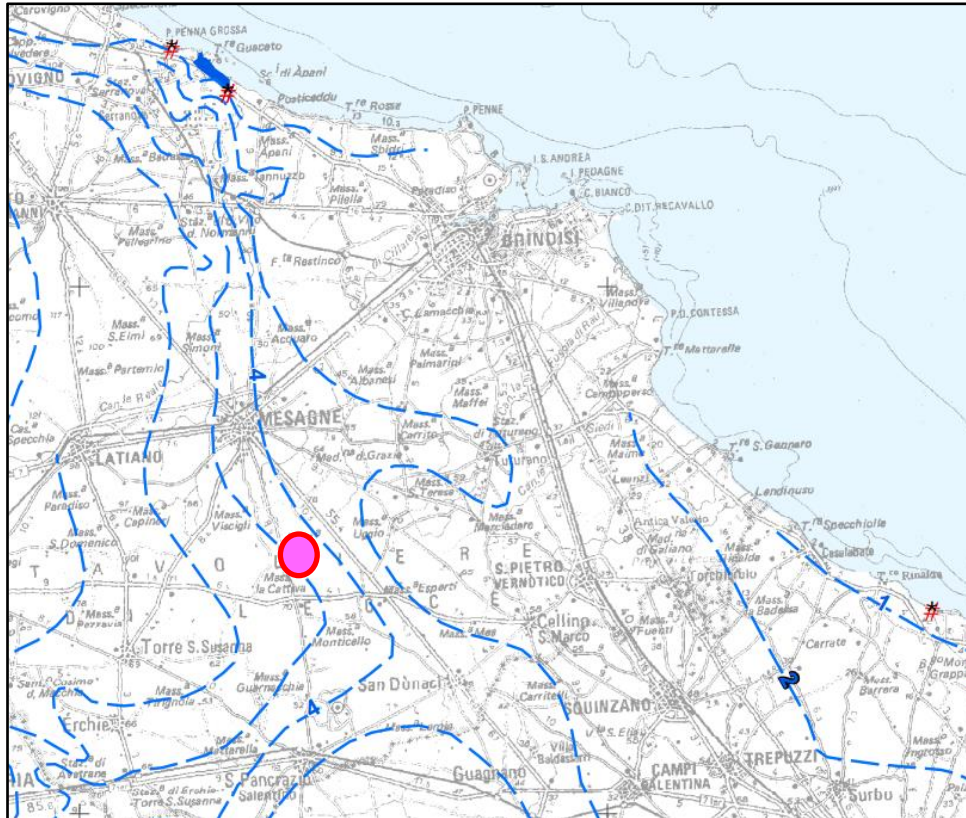


FIG 10 – Stralcio della Tavola n.6.2 del Piano Tutela Acque della Puglia – “Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento”, contenente l'area di intervento.

4.1 Caratteri di Permeabilità dei terreni

In base ai caratteri di permeabilità le rocce sono suddivise in:

- rocce permeabili per porosità interstiziale e fessurazione;
- rocce impermeabili o poco permeabili

La permeabilità per porosità di interstizi e fessurazione è tipica delle rocce granulari, in quanto esse contengono dei vuoti intercomunicanti che possono riempirsi di acqua e permettere il deflusso in presenza di un gradiente idraulico. Queste rocce corrispondono ai depositi calcarei e calcarenitici. In funzione del grado di cementificazione e del grado di carsificazione e fessurazione presente, queste formazioni hanno un grado di permeabilità da medio-basso a medio-alto. Le rocce

impermeabili o poco permeabili sono quelle che per i loro caratteri granulometrici non consentono, o consentono in parti esigue, il passaggio e l'accumulo di acqua.

Le rocce del Cretaceo, costituenti l'acquifero profondo, sono permeabili per fratturazione e carsismo. Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero profondo, calcolato a partire da risultati di prove di portata, nell'area di intervento ha valori che indicano una permeabilità medio-alta, dell'ordine $10^{-2} \div 10^{-1}$ cm/s. I valori più bassi del coefficiente di permeabilità si osservano presso costa; a Sud-Est, lungo l'allineamento TUTORANO-CELLINO S. MARCO, e a Nord, in prossimità di Serranova, sono presenti valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di 1 cm/s.

La piezometria della falda profonda indica che il deflusso idrico sotterraneo profondo, proveniente dalla contigua Murgia, ha prevalentemente direzione NW-SE. Un importante asse di drenaggio si rileva nell'area fra Tutorano e Cellino S. Marco, coerentemente con gli elevati valori del coefficiente di permeabilità ivi registrati.

Le altezze piezometriche subiscono variazioni nel tempo in ragione del regime idrologico della falda, delle variazioni del livello mare e degli attingimenti in corso. In generale i minimi carichi piezometrici sono osservati nel periodo estivo, quando la falda si trova nel suo periodo di magra ed è soggetta ad intensa estrazione, ad uso prevalentemente irriguo. Le oscillazioni periodiche e aperiodiche del livello mare influenzano, in prossimità della costa, le altezze piezometriche della falda profonda.

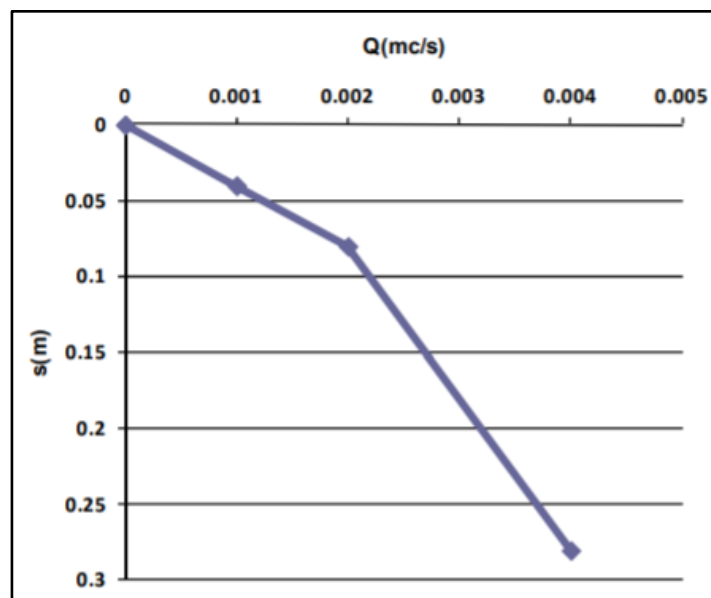
I terreni sabbiosi e calcarenitici dei "Depositi Marini Terrazzati", dotati di una permeabilità primaria direttamente legata alla loro grado di porosità intergranulare e caratterizzati da valori di conducibilità idraulica dell'ordine di $10^{-4} \div 10^{-6}$ cm/s, sono caratterizzati da permeabilità per porosità interstiziale.

Il livello statico della falda dell'acquifero più superficiale, misurato in un pozzo in prossimità dell'area di progetto, è a -7.30 m dal P.C., alla base della formazione a prevalente composizione sabbiosa più superficiale. Per indagare gli aspetti idrogeologici locali, nello stesso pozzo è stata effettuata una prova di emungimento "a gradini" (portata variabile), della durata di 4 ore. Durante ogni gradino di portata sono state effettuate misure della variazione del livello dell'acqua nel pozzo sino al raggiungimento di un livello "stabile" (livello dinamico del gradino di portata); tale condizione può essere raggiunta in tempi differenti per ogni diverso gradino di portata. Raggiunto il livello stabile relativo al gradino di portata si è proceduto ad emungere la portata relativa al successivo gradino. Al termine dell'ultimo gradino, si è interrotto il pompaggio e si sono registrati i livelli piezometrici di recupero fino al recupero piezometrico.

La prova di portata eseguita ha fatto registrare i seguenti valori:

<i>Portata (mc/s)</i>	<i>Depressione (m)</i>
0.000	0.00
0.001	0.04
0.002	0.08
0.004	0.28

Di seguito la curva caratteristica del pozzo:



Il Franco di sicurezza è pari 2 m

4.2 Vulnerabilità degli Acquiferi

Per vulnerabilità si intende la facilità o meno con cui le sostanze inquinanti si possono introdurre, propagare e persistere in un acquifero. La maggiore o minore vulnerabilità degli acquiferi dipende quindi da numerosi fattori sia naturali che artificiali.

Il fattore naturale determinante è rappresentato dalla litologia e dalle conseguenti caratteristiche idrogeologiche, con particolare riferimento alla permeabilità e alla velocità di deflusso delle acque. Un altro elemento importante è costituito dallo spessore della zona di aerazione che rappresenta il percorso che un inquinante deve effettuare prima di arrivare in falda.

I fattori artificiali sono quelli connessi direttamente e indirettamente all'attività umana. La contaminazione delle acque può avvenire a causa di scarichi industriali (acque di vegetazione delle industrie olearie), scarichi di reflui urbani, ed infine, ma non ultimo, da emungimenti incontrollati. Sono fonte di inquinamento idrico sotterraneo diffuso anche i prodotti usati in agricoltura (pesticidi, fertilizzanti, diserbanti, etc).

Un ulteriore fattore di inquinamento è costituito dalle rotture locali dell'equilibrio acqua dolce di falda-acqua marina di intrusione continentale con conseguente aumento della salinità nella falda profonda.

Un particolare tipo di inquinamento è quello legato alla presenza di discariche di rifiuti non opportunamente impermeabilizzate che rilasciano nel tempo percolati con elevati carichi inquinanti. Queste, insieme alle cave dismesse (potenziale ricettacolo di rifiuti di ogni genere), costituiscono aree di forte contaminazione puntuale.

La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi implica la conoscenza di tutti questi fattori ed i fenomeni connessi all'interazione di un inquinante con il mezzo acquifero. L'infiltrazione degli inquinanti nel sottosuolo, ad opera delle acque superficiali, avviene essenzialmente per gravità ed è direttamente connessa alla permeabilità dei litotipi attraversati. Un inquinante può così giungere rapidamente in falda attraverso discontinuità di origine tettonica o carsica, oppure impiegare periodi più o meno lunghi in rocce permeabili per porosità di interstizi.

I depositi presenti nell'area di intervento sono caratterizzati da medio-bassa permeabilità e, conseguentemente, da medio-bassa vulnerabilità.

5. CONFORMITÀ DELL'INTERVENTO CON IL PAI (PIANO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO)

La Regione Puglia, nella veste dell'Autorità di Bacino (AdB) ha redatto il PAI (Piano di Bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico), con Delibera n. 25 del 15 Dicembre 2004 e approvato in via definitiva con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Puglia n. 39 del 30 novembre 2005. Il PAI, costituendo ai sensi dell'articolo 17, comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989 n. 183, il Piano Stralcio del Piano di Bacino, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico e operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

Il PAI è composto dalla Relazione Generale, dalle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) e dagli elaborati grafici. Le NTA del PAI sono organizzate secondo il relativo campo di applicazione, di seguito esposto: Assetto Idraulico; Assetto Geomorfologico; Programmazione ed Attuazione delle Azioni del PAI; Procedure di Formazione, Revisione, Verifica e Aggiornamento del PAI; Disposizioni Generali Finali. Con il PAI entrano in vigore le norme di salvaguardia per il territorio pugliese mirate "al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e di stabilità geomorfologia necessarie 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" (art. 1, Titolo I).

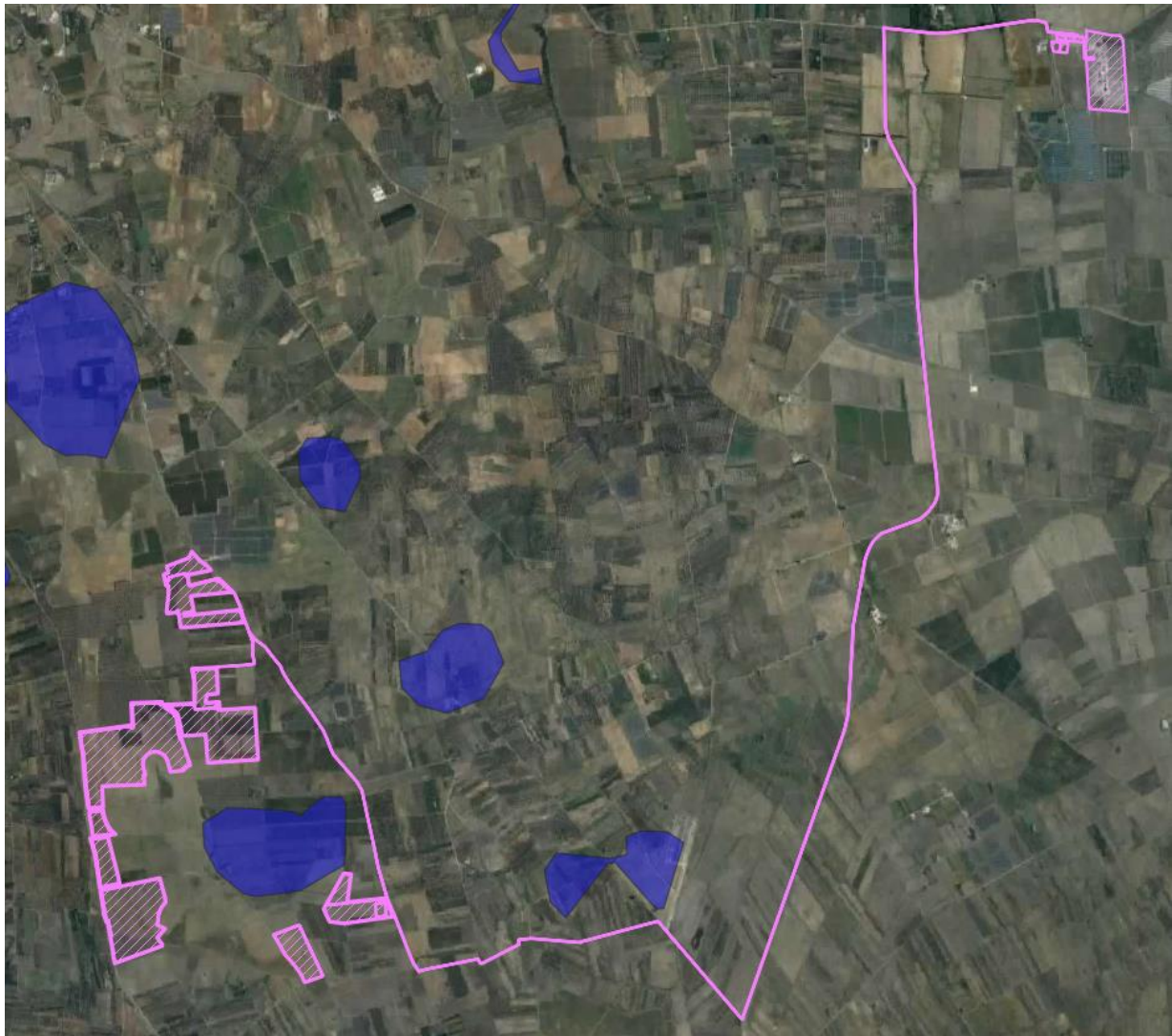
Il PAI ha classificato le zone del territorio regionale in base a: *Pericolosità idraulica*, *Pericolosità geomorfologia*, e *Rischio*. Le aree a *Pericolosità idraulica* sono così classificate: AP aree ad alta probabilità di inondazione, MP aree a media probabilità di inondazione, e BP aree a bassa probabilità di inondazione. Le aree a *Pericolosità geomorfologica* sono così classificate: aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3), aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2), aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1).

Sono definite quattro classi di *Rischio*: moderato R1, per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali; medio R2, per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche; elevato R3, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale; molto elevato R4, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socio-economiche.

Le aree interessate dal progetto di impianto e dalle opere di connessione non sono oggetto di perimetrazione aree a pericolosità o rischio idraulico o geomorfologico del PAI (Fig. 11).

La carta idrogeomorfologica regionale individua la presenza di un ramo del reticolo idrografico locale e una conca (recapito di bacino endoreico) in prossimità di alcune aree di impianto (Fig.12). Il percorso in MT di vettoriamento dell'energia (interrato) attraversa alcuni rami del reticolo (Fig.12A).

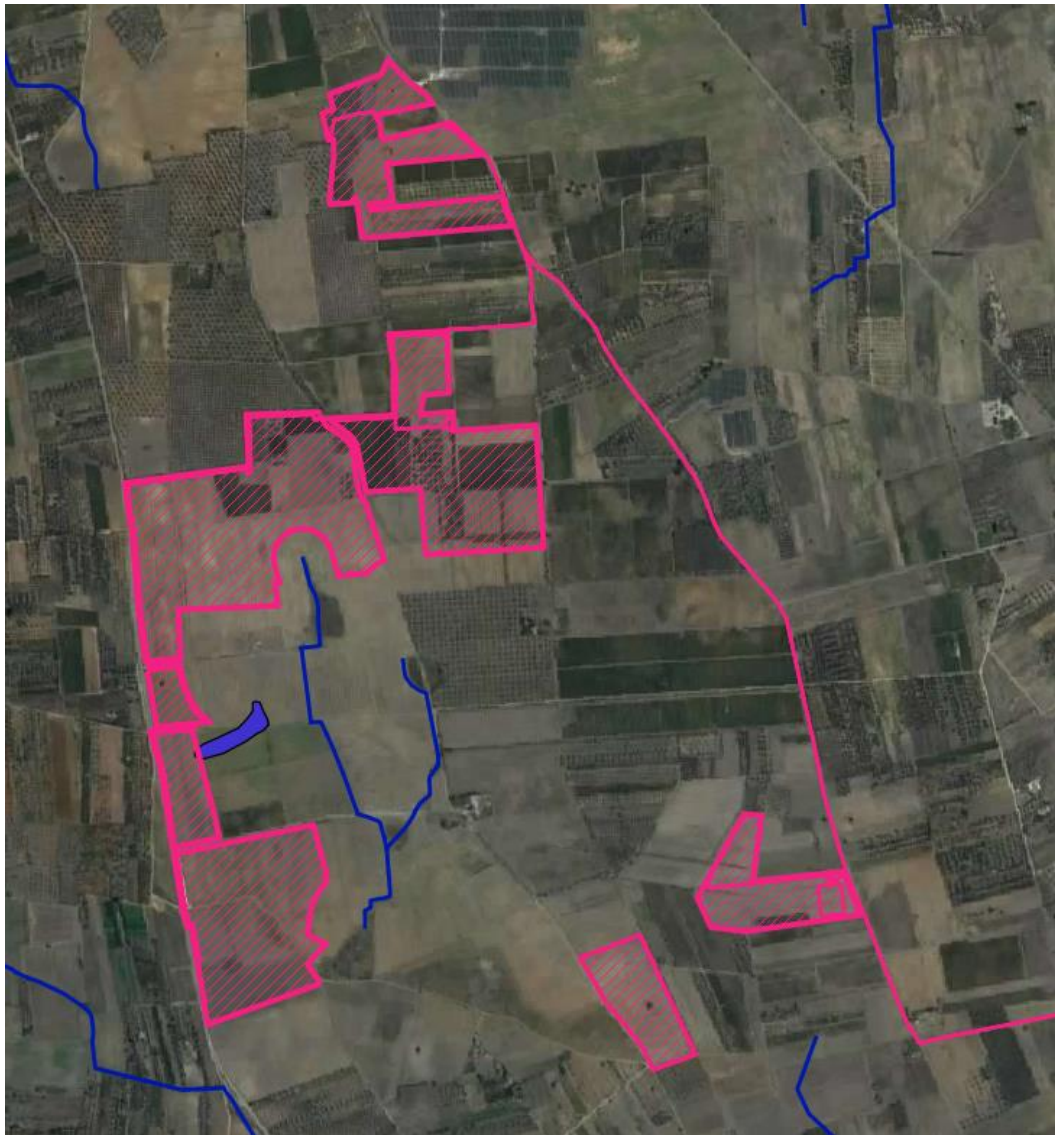
Con riferimento alle NTA del PAI, applicando i relativi buffer di 75 m per la definizione dell'alveo fluviale in modellamento attivo e aree golenali (Art. 6 delle NTA) e di ulteriori 75 m per le fasce di pertinenza fluviale (Art. 10 delle NTA), si ottiene una fascia di sovrapposizione all'area oggetto di impianto (Fig.13, 13A). Con riferimento alle NTA, nei primi 75 m vige un vincolo di inedificabilità, mentre nei successivi la realizzazione di interventi è possibile, previa verifica della sicurezza idraulica in uno studio di compatibilità idrologica-idraulica subordinato al parere favorevole di ADB.



Pericolosità e Rischio

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

FIG 11 - Stralcio PAI (Piano Assetto Idrogeologico) AdB



— Reticolo
■ Recapito Bacino Endoerico

FIG 12 – Reticolo idrografico e conca (recapito di bacino endoerico) in prossimità di alcune opere di impianto.

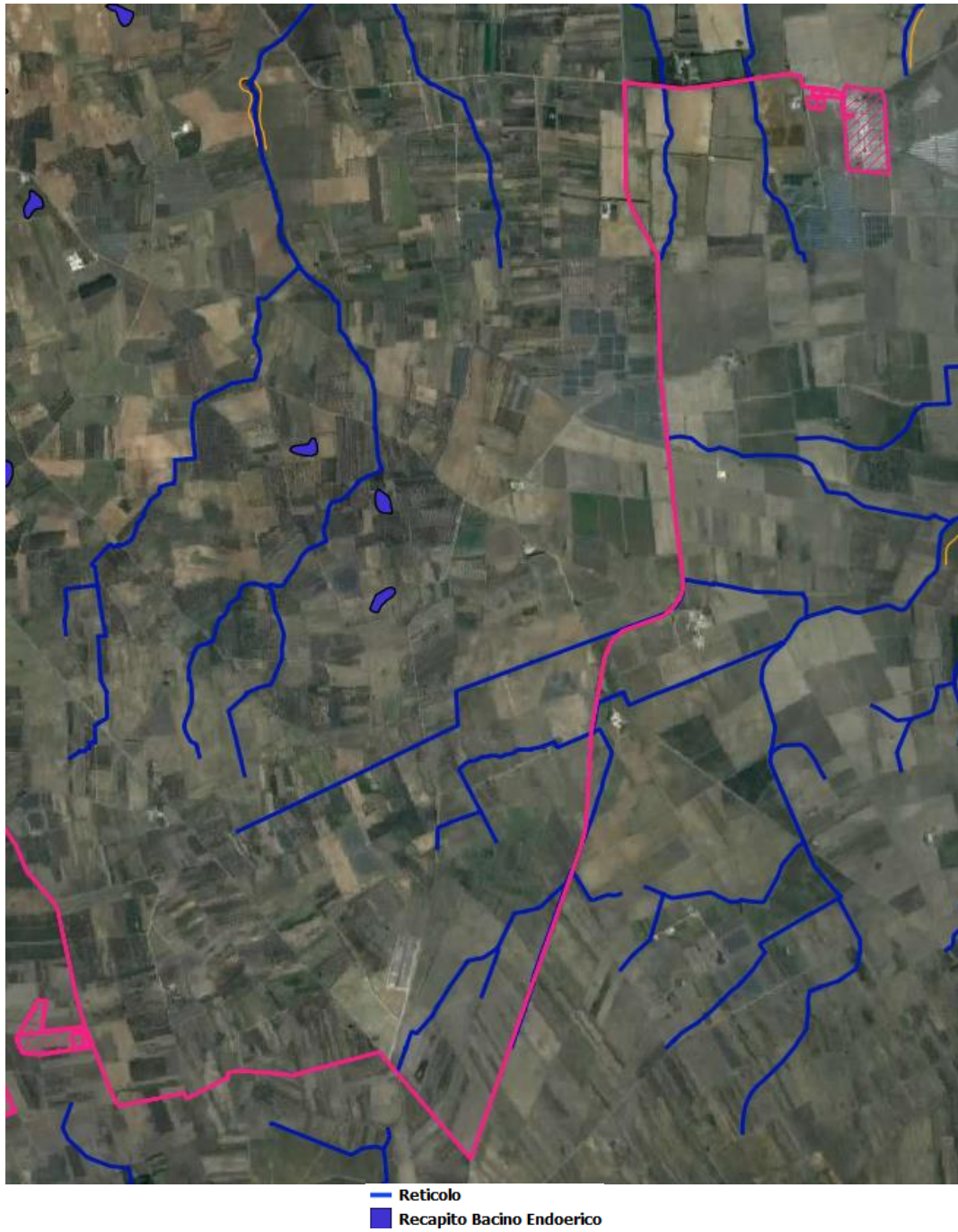


FIG 12A – Il percorso in MT di vettoriamento dell'energia (interrato) che attraversa alcuni rami del reticolo

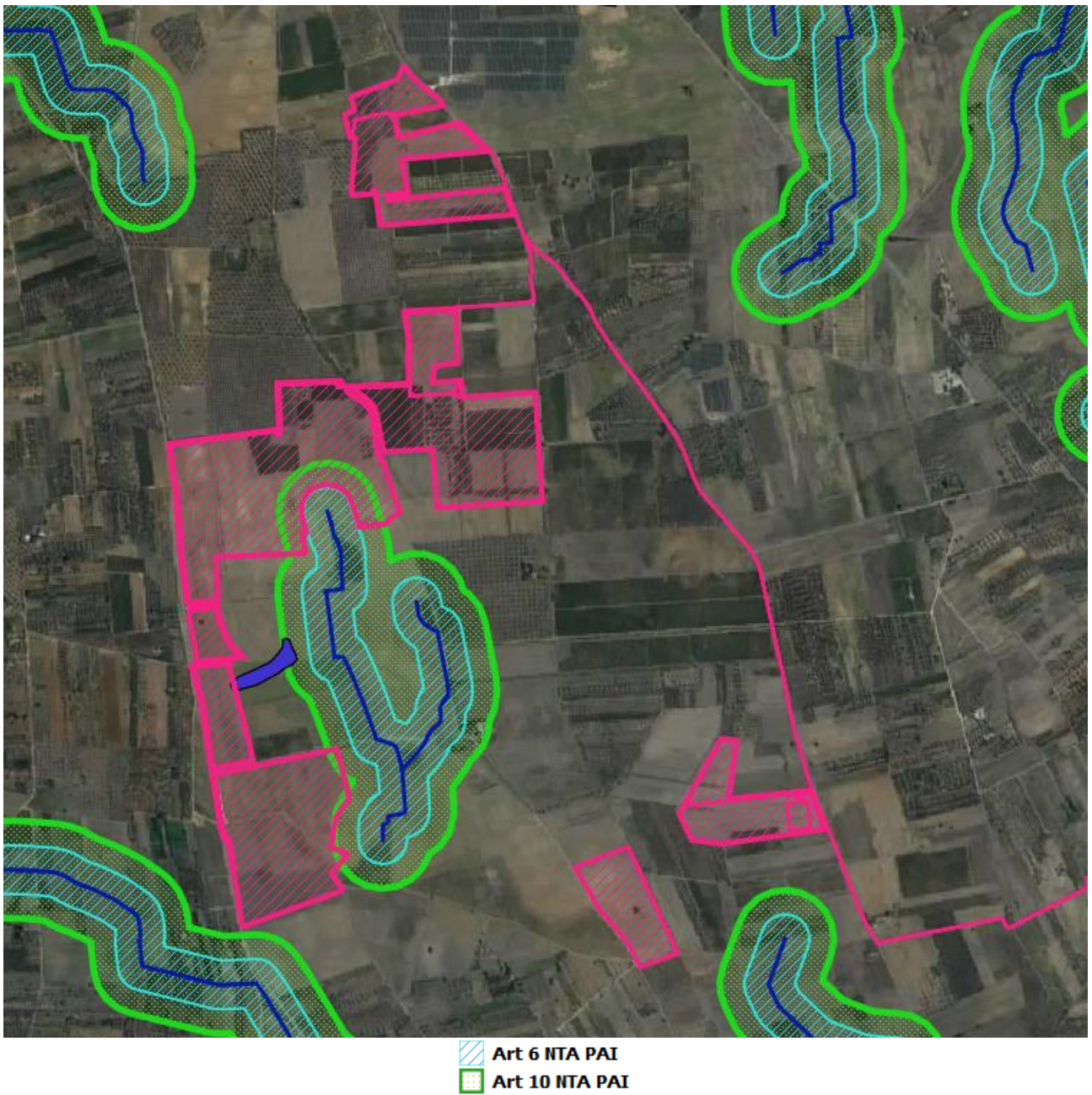


FIG.13 – Art.6 e Art.10 delle NTA del PAI all'interno e in prossimità delle opere di impianto

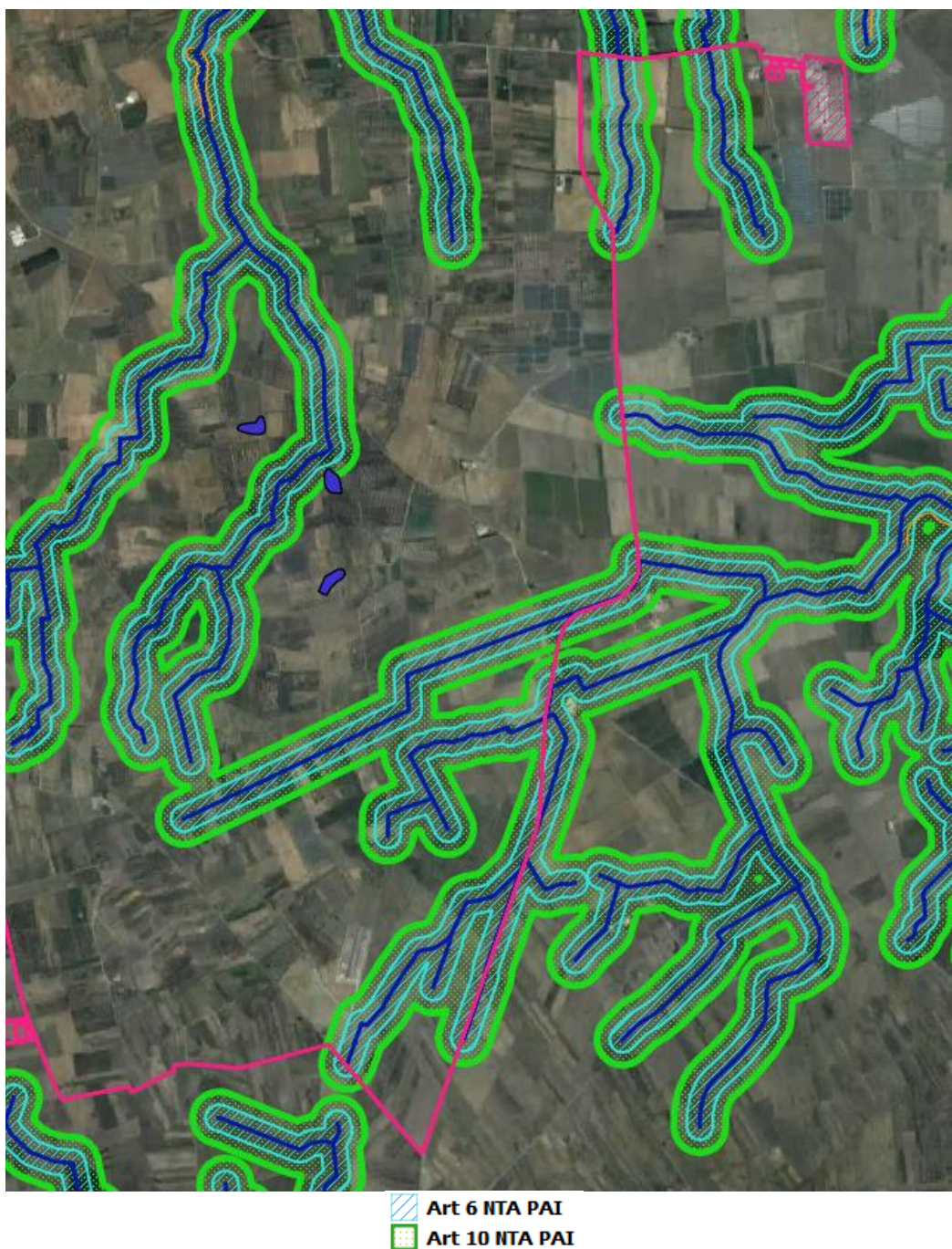


FIG.13A – Art.6 e Art.10 delle NTA del PAI in corrispondenza del percorso di vettoriamento dell'energia in MT

I risultati ottenuti dallo studio di compatibilità idrologica e idraulica sui tratti di corso d'acqua che intercettano l'area di interesse e immediatamente a sud di questa hanno messo in evidenza che i deflussi idrici, per i tempi di ritorno esaminati (30 e 200 anni), non interferiscono con il progetto per quanto attiene le aree di impianto (Fig.14, 14A); ma al contrario nelle aree interessate dall'attraversamento del percorso di vettoriamento dell'energia in MT (Fig.14B, 14C).

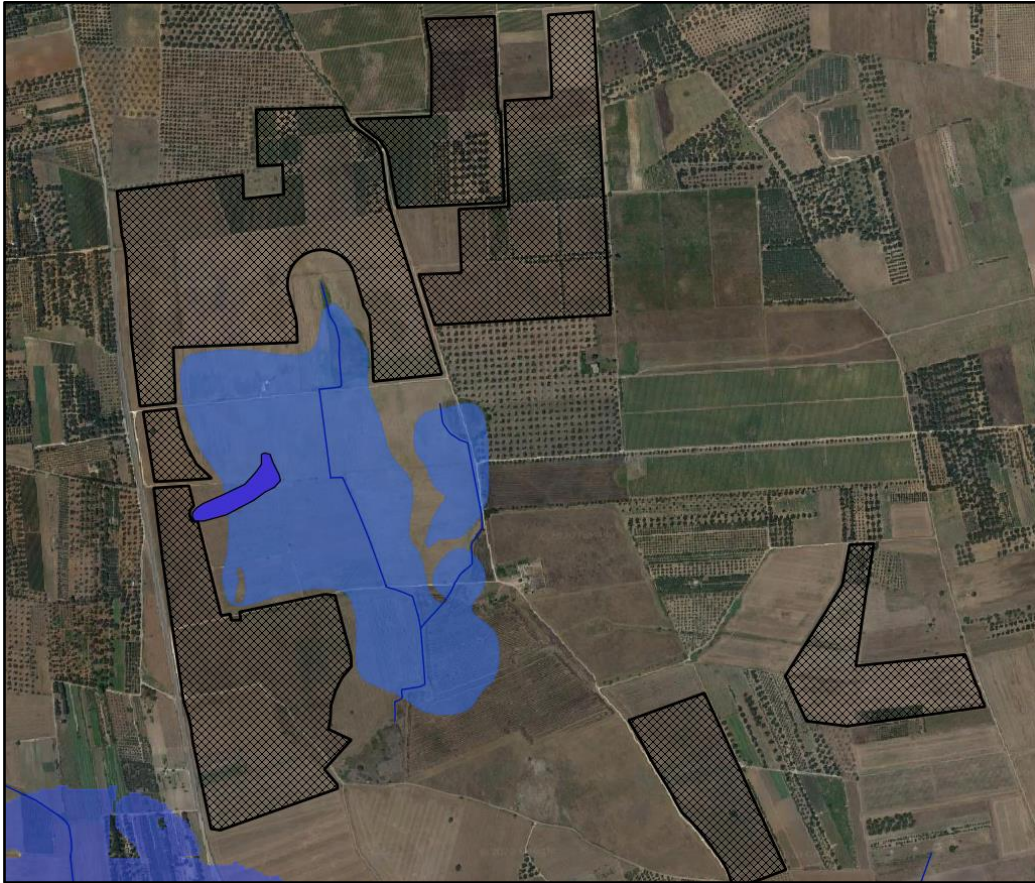


FIG 14 – Perimetrazione aree a pericolosità allagamento $T_r=30$ anni – Area Impianto

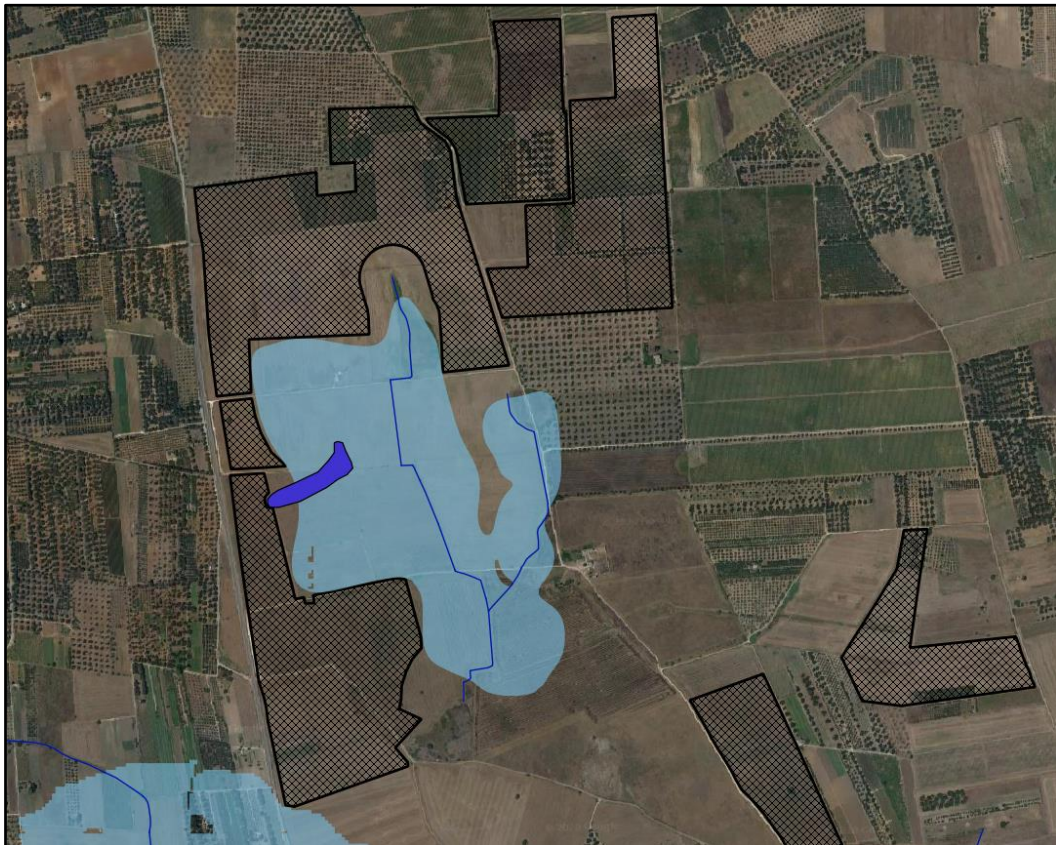


FIG 14A – Perimetrazione aree a pericolosità allagamento $T_r=200$ anni – Area Impianto

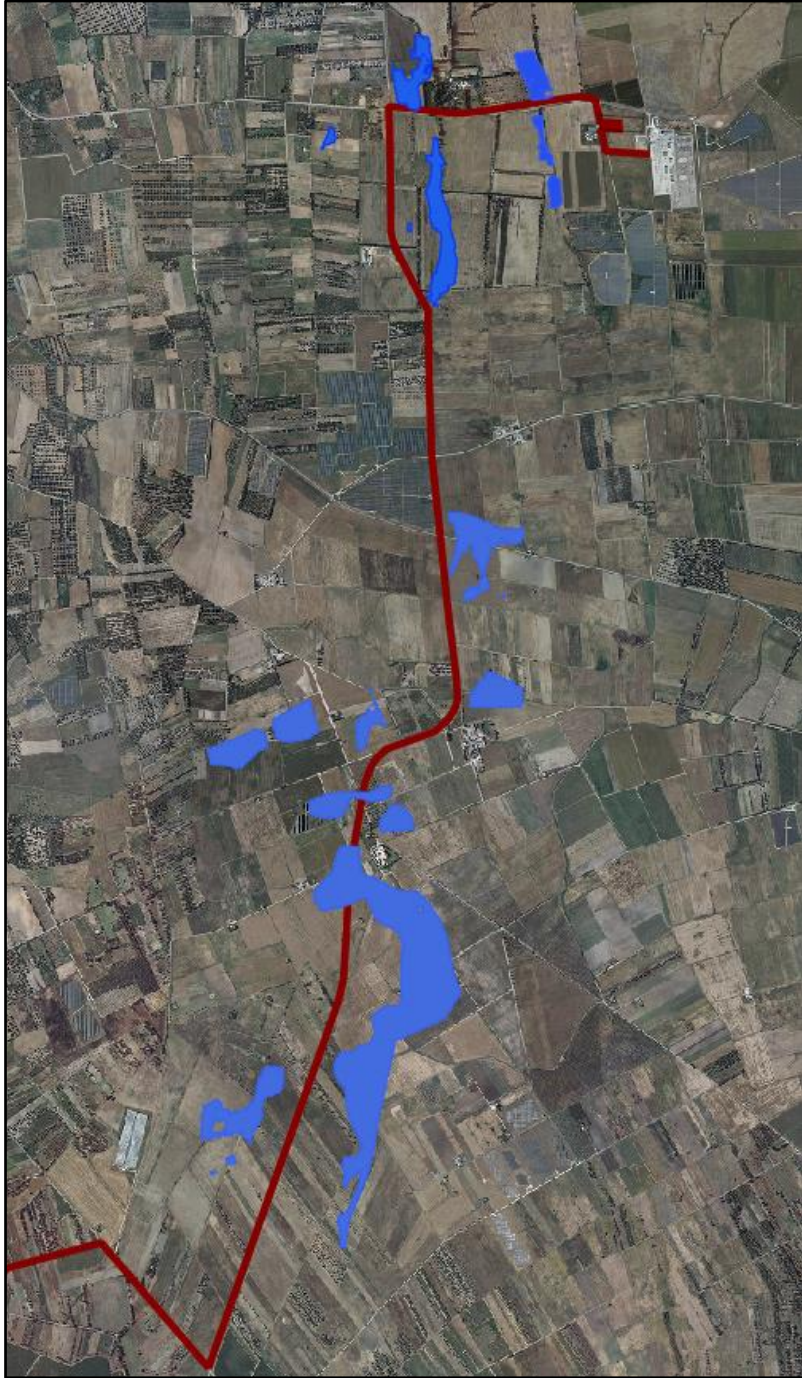


FIG 14B – Perimetrazione aree a pericolosità allagamento $T_r=30$ anni – Elettrodotto di vettoriamento dell'energia in MT



FIG 14C – Perimetrazione aree a pericolosità allagamento $T_r=200$ anni – Elettrodotto di vettoriamento dell'energia in MT

Per quanto riguarda l'area individuata dalla carta idrogeomorfologica regionale come recapito di bacino endoreico (conca): dall'analisi delle quote e delle curve di livello estratte dal DTM con equidistanza pari a 0,10 m si nota come in realtà l'area in esame non ha la conformazione morfologica di una depressione (Fig.15).



FIG 15 – Recapito di bacino endoreico, come da carta idrogeomorfologica della regione puglia, in prossimità e in corrispondenza di una delle aree di impianto.

6. INDAGINI ESEGUITE – Sismica a rifrazione

6.1 Cenni sul metodo

Il metodo di esplorazione sismica utilizza la propagazione delle onde meccaniche per caratterizzare le proprietà elastiche del sottosuolo e quindi la geometria dei mezzi attraversati. La tecnica di base consiste nel generare delle onde meccaniche, mediante sorgenti poste in punti opportunamente scelti sulla superficie topografica, e nel misurare i tempi impiegati dalle perturbazioni elastiche per raggiungere i geofoni, anch'essi opportunamente posizionati sulla superficie topografica. In particolare, l'esplorazione eseguita con il metodo della rifrazione si basa sull'analisi del tempo di arrivo dell'onda

diretta e delle onde di testa; queste ultime sono onde rifratte che si determinano nel caso in cui la velocità di propagazione delle onde è crescente con la profondità, quando l'angolo di incidenza è critico.

L'obiettivo principale del metodo sismico tomografico a rifrazione è quello di determinare la velocità e le sue variazioni nel mezzo indagato, utilizzando i tempi di viaggio ottenuti da un rilievo di sismica a rifrazione. La relazione tra velocità dell'onda sismica e tempi di viaggio del raggio sismico è, per un set di M raggi:

$$\delta \mathbf{t} = \mathbf{A} \delta \mathbf{v} \quad (1)$$

dove $\delta \mathbf{t}$ è il vettore dei tempi di viaggio residui ($t_{\text{osservati}} - t_{\text{calcolati}}$), \mathbf{A} è la matrice Jacobiana $\partial t_i / \partial v_j$, e $\delta \mathbf{v}$ è il vettore velocità di perturbazione.

Un approccio alternativo è quello che introduce il concetto di lentezza dell'onda. Se si definisce la lentezza dell'onda come $u(x) = v^{-1}(x)$, allora la (1) diventa:

$$\mathbf{t} = \mathbf{A} \mathbf{u} \quad (2)$$

dove \mathbf{t} è il vettore dei tempi di viaggio osservati, $\mathbf{A} = dl_{ij}$ matrice delle lunghezze dei percorsi parziali e \mathbf{u} = vettore dei valori della lentezza. Gli elementi A_{ij} rappresentano la lunghezza del percorso dell' i -esimo raggio nella j -esima cella.

L'individuazione dei valori della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo attraversato consentono una caratterizzazione del mezzo stesso attraverso i parametri Γ (densità lineare di frattura), C (densità di frattura) e RQD (Rock Quality Designation).

Se si considera un sistema in R differenti set di fratture con orientazioni diverse; scegliendo il set j -esimo e il profilo perpendicolare alla direzione delle fratture di tale set, si definisce densità lineare di frattura Γ il numero di fratture presenti per unità di lunghezza lungo il profilo stesso.

Un altro parametro della roccia fratturata che può essere usato per caratterizzare il suo stato meccanico ed idraulico, è la densità di frattura C definita come:

$$C = \frac{\Gamma}{\langle \cos \theta_j \rangle (1 - \ln r_{\min})}$$

dove θ_j è l'orientazione del j -esimo set di fratture rispetto alla perpendicolare, verso il basso, al profilo preso in considerazione ($\theta = 0^\circ$ per fratture verticali), $\langle \cdot \rangle$ denota il valore medio, Γ è la densità di frattura lineare, r_{\min} è la lunghezza della frattura più piccola.

Un altro parametro importante è il fattore di qualità della roccia RDQ (Rock Quality Designation), definito come il rapporto tra la somma delle distanze (superiori a 10 cm) fra le fratture lungo il profilo, e la lunghezza del profilo stesso; tale rapporto è espresso in termini percentuali. Questo "indice di qualità", può fornire una valutazione preliminare delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche di una formazione rocciosa (Tab.1).

RDQ %	QUALITA' DELLA ROCCIA
0-25	Molto scadente
25-50	Scadente
50-75	Discreta
75-90	Buona
90-100	Eccellente

TAB. 1 Classificazione della qualità della roccia secondo l'indice RDQ

Esistono delle relazioni empiriche che legano i parametri di frattura di una formazione rocciosa alle velocità di propagazione delle onde P ed S. Per questo motivo, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo è possibile stabilire la qualità di una formazione rocciosa.

Attraverso l'utilizzo delle velocità di propagazione delle onde P ed S, è anche possibile stimare i valori di densità di massa (ρ) delle formazioni rocciose indagate. La relazione empirica utilizzata per la stima di ρ è:

$$\rho = 0.23V_p^{0.25}$$

Con le formule di seguito è possibile il calcolo del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G).

$$\sigma = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

$$E = 2\rho V_p^2 (1 + \sigma)$$

$$G = \rho V_s^2$$

6.2 Profili sismici

Per indagare gli strati formazionali presenti nel terreno oggetto di intervento, sono stati presi in considerazione due profili sismici a rifrazione effettuati in corrispondenza dell'area di intervento e dell'elettrodotto (Fig.16). Entrambi i profili sono rappresentativi dell'intera area progettuale, caratterizzata da una successione stratigrafica e un substrato roccioso pressoché omogeneo.

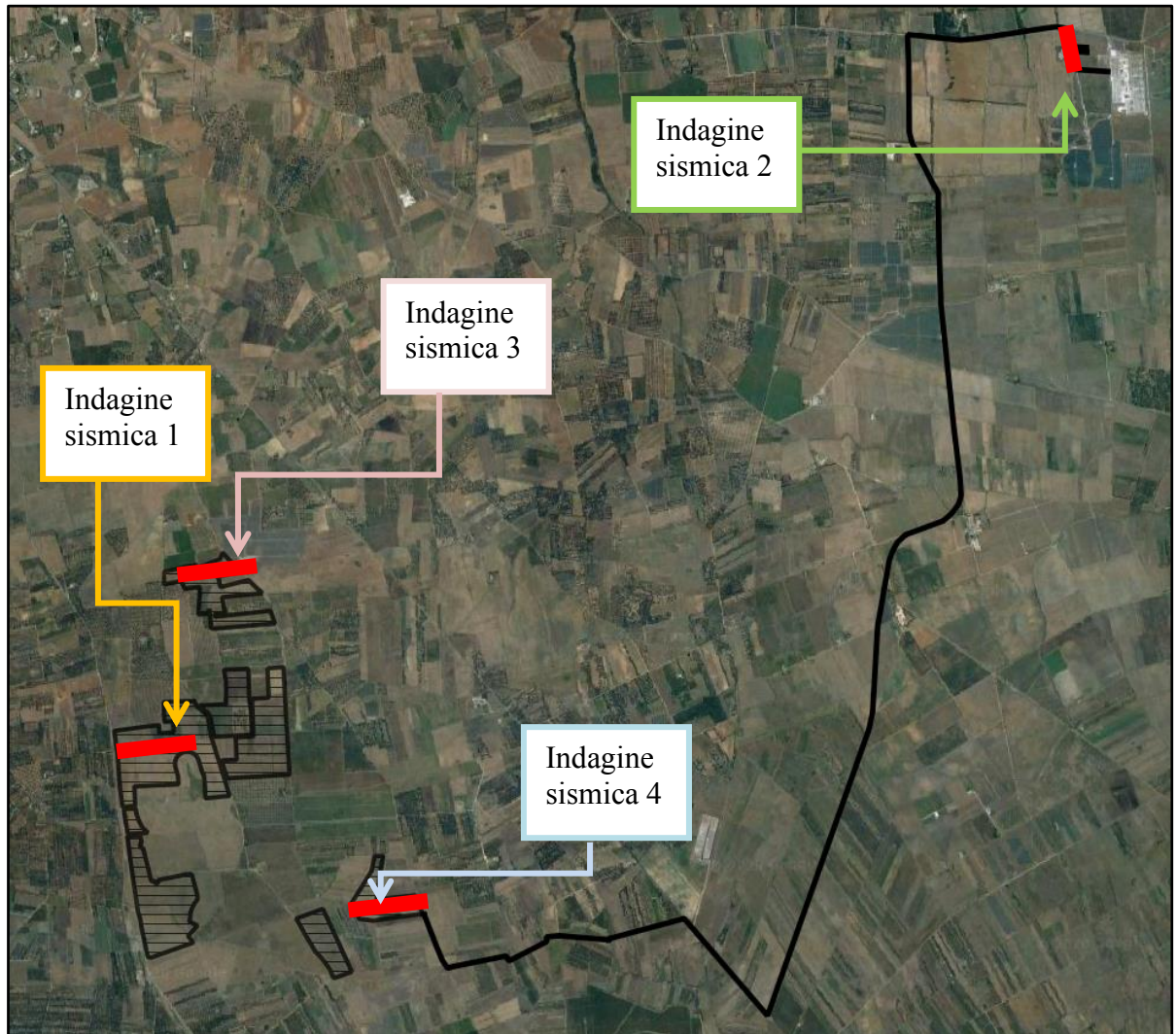


FIG.16 – Ubicazione Indagini su immagine satellitare (linee di colore rosso)



FIG 16A – Foto Indagine sismica 1



FIG 16B – Foto Indagine sismica 2



FIG 17 – Foto Indagine sismica 3



FIG 18 – Foto Indagine sismica 4

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 12 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz; l'energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg. Scopo delle indagini era mettere in evidenza possibili variazioni del campo di velocità dell'onda P eventualmente correlabili ai parametri caratterizzanti una formazione rocciosa. Per tentare di stimare la distribuzione di V_p è stata utilizzata una tecnica di acquisizione tomografica che fa uso di una opportuna disposizione in superficie di n geofoni ed m sorgenti. La geometria scelta per l'acquisizione è stata organizzata mediante un allineamento di 12 geofoni distanti tra di loro 3m: sull'allineamento sono stati posizionati $n=3$ punti di energizzazione (Fig. 19). La tecnica di acquisizione ha consentito di determinare la velocità media di propagazione in ognuna delle N ($N \leq nxm$) celle elementari occupanti la superficie indagata.

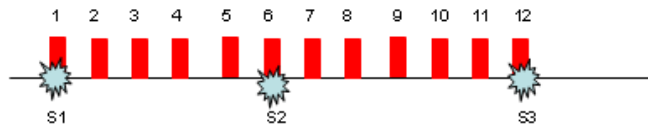


FIG. 19 - Geometria di acquisizione del rilievo sismico tomografico a rifrazione: geofoni: 1, 2,....., 12; punti di energizzazione S1, S2, S3.

Indagine sismica 1

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 20b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.20a), ha generato le dromocrone riportate in Fig.20c.

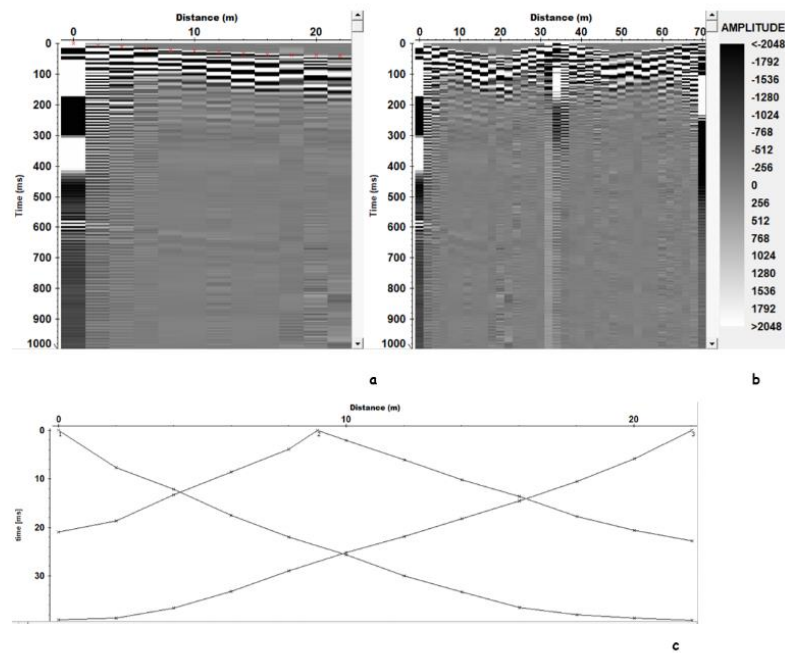


FIG. 20 - a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.

L'elaborazione delle dromocrone mediante algoritmi sofisticati ha permesso il raggiungimento del modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s (Fig. 21).

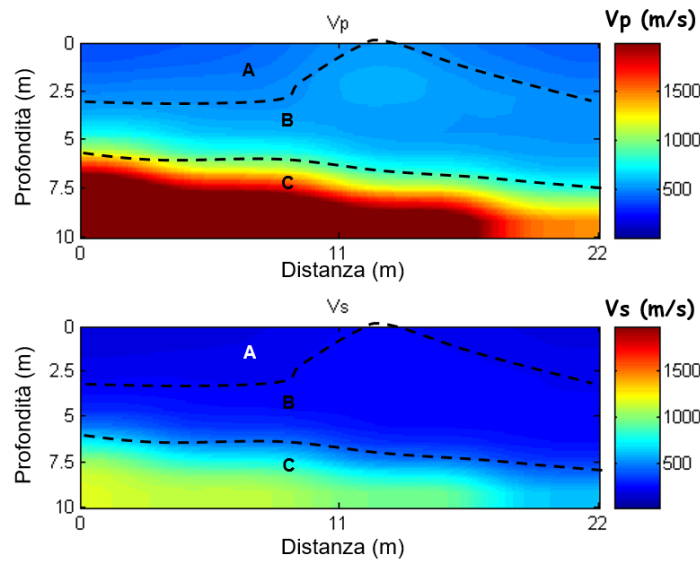


FIG.21 - Modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s a varie profondità.

Interpretando la Fig. 21 si evince che i valori di V_p sono generalmente compresi tra 400m/s e 2000m/s mentre valori di V_s sono generalmente compresi tra 200m/s e 800m/s.

In particolare è possibile distinguere

- Strato "A": $V_p=300\text{m/s}$ ($V_s=200\text{m/s}$); strato superficiale da 0.0m a 2.7m circa di profondità;
- Strato "B": $700 < V_p < 800\text{m/s}$ ($300 < V_s < 400\text{m/s}$); probabile presenza di materiale compatto da 5.5m a 7.0m circa di profondità;
- Strato "C": $1800 < V_p < 2000\text{m/s}$ ($700 < V_s < 800\text{m/s}$); probabile presenza di materiale più compatto.

Attraverso l'impiego delle relazioni empiriche precedentemente descritte sono stati ottenuti i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig.22), densità di massa, coesione (Fig.23), permeabilità e resistenza meccanica a compressione (Fig. 24).

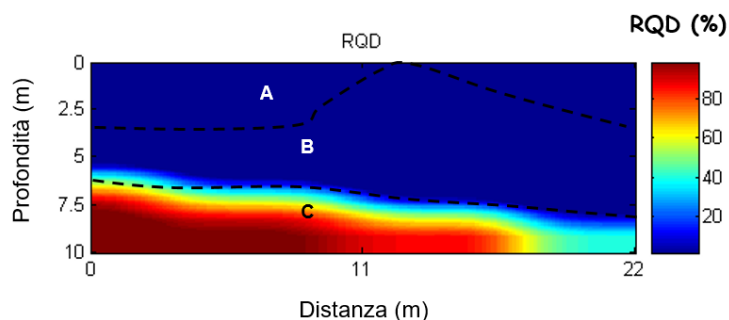


FIG.22 - Modello di distribuzione di RQD a varie profondità

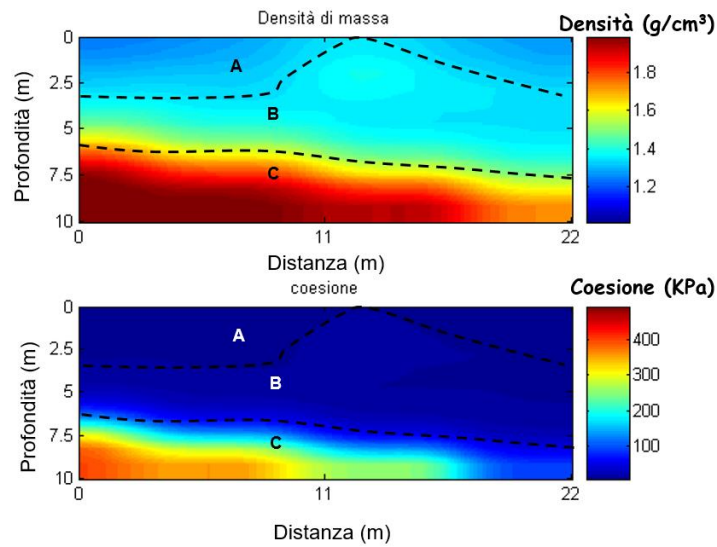


FIG.23 - Modello di distribuzione della densità di massa e della coesione a varie profondità

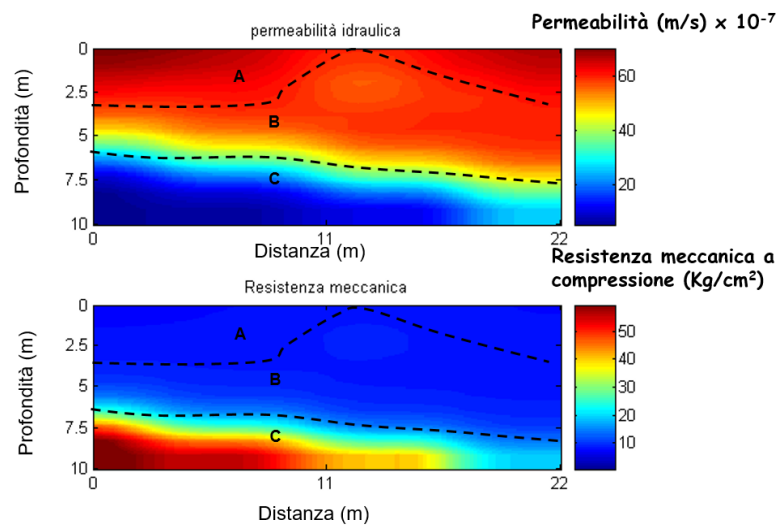


FIG. 24 - Modello di distribuzione della permeabilità e resistenza meccanica a compressione a varie profondità.

Nelle tabelle di seguito i dati schematizzati, relativi alle figure precedenti.

Strato	RQD (%)	Densità (g/cm ³)	Coesione (KPa)	Permeabilità (m/s) x 10 ⁻⁵	Resistenza meccanica a compressione (kg/cm ²)
A	<10	1.5	50	70	
B	<10	1.6	100	60	10
C	70-80	2.2	350	20	45

Successivamente i valori del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G)

Strato	σ	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
A	0.35	312	115	269	346
B	0.35	371	137	321	412
C	0.35	1346	499	1163	1495

Determinazione della Velocità Equivalente $V_{s,eq}$ con la procedura MASW

La velocità equivalente delle onde di taglio è data dalla seguente espressione:

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

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 V_s (strato). Per H si intende la 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 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_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz). Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- § acquisizione dei dati sperimentali;
- § estrazione della curva di dispersione;
- § inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D), che descrive la variazione di V_s con la profondità.

In Fig. 25 viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.

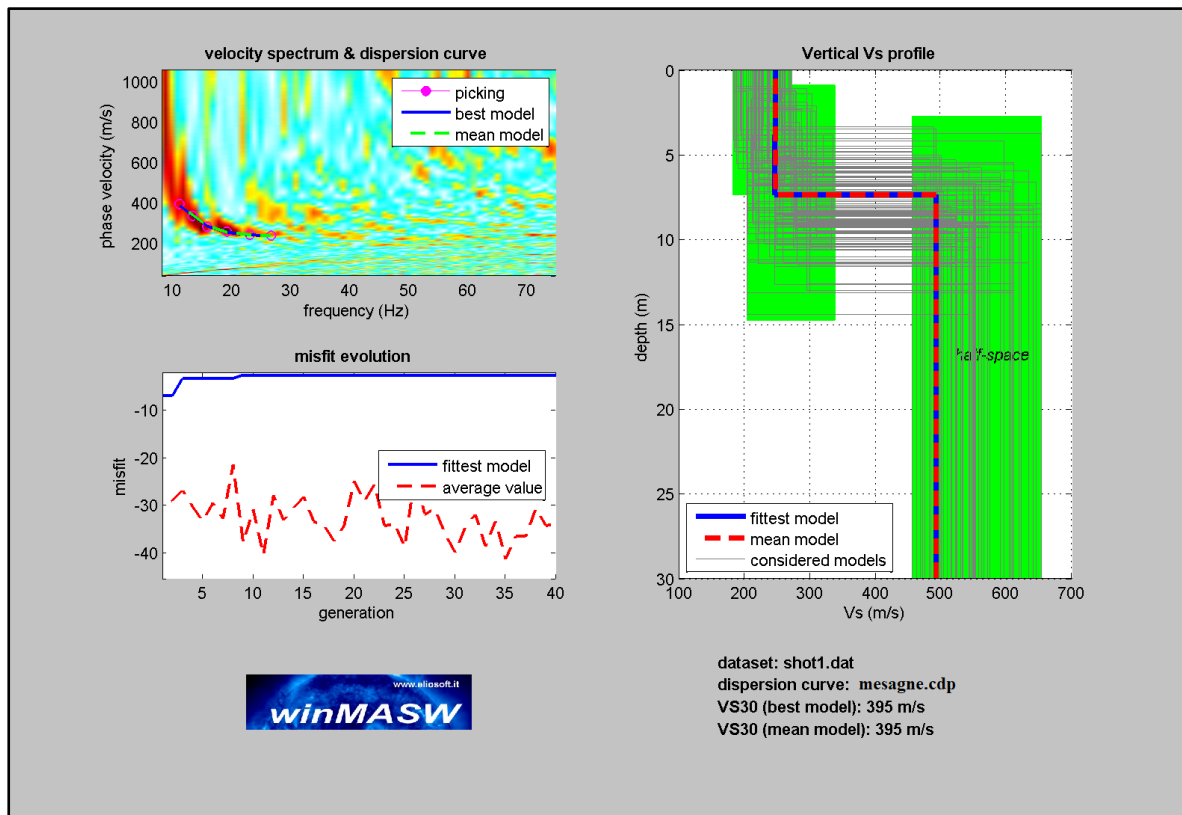


FIG. 25 - Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità.

Indagine sismica 2

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 26b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig. 26a), ha generato le dromocrone riportate in Fig. 26c.

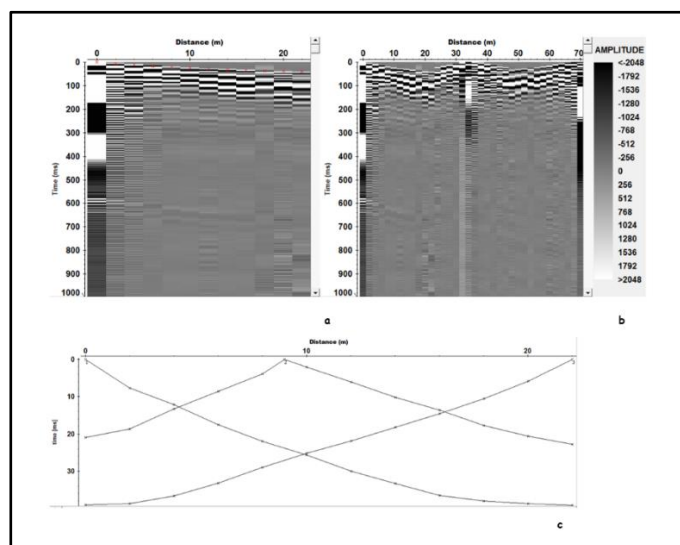


FIG. 26 - a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.

L'elaborazione delle dromocroni mediante algoritmi sofisticati ha permesso il raggiungimento del modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s (Fig. 27).

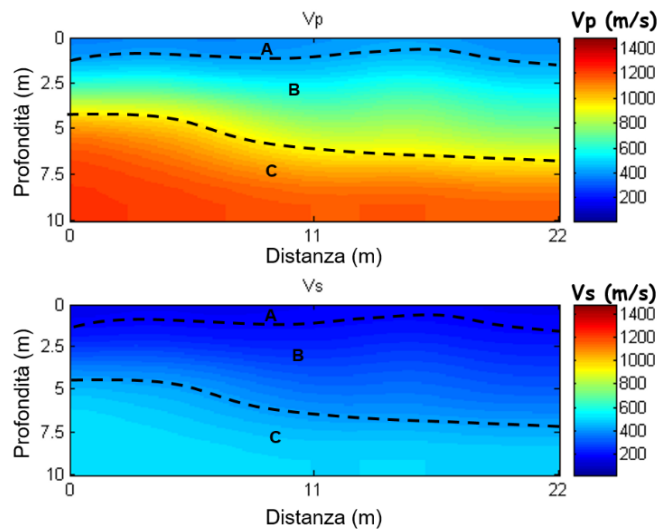


FIG.27 - Modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s a varie profondità.

Interpretando la Fig. 27 si evince che i valori di V_p sono generalmente compresi tra 400m/s e 1300m/s mentre valori di V_s sono generalmente compresi tra 200m/s e 600m/s.

In particolare è possibile individuare la seguente stratigrafia:

- **Strato "A"**: $V_p=300$ m/s ($V_s=200$ m/s); strato superficiale da 0.5m a 1.0m circa di profondità;
- **Strato "B"**: $800 < V_p < 1000$ m/s ($300 < V_s < 400$ m/s); probabile presenza di materiale compatto da 5.0m a 7.0m circa di profondità;
- **Strato "C"**: $1000 < V_p < 1300$ m/s ($500 < V_s < 600$ m/s); da 7.0m circa di profondità; probabile presenza di materiale più compatto.

Attraverso l'impiego delle relazioni empiriche precedentemente descritte sono stati ottenuti i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig. 28), densità di massa, coesione (Fig.29), permeabilità idraulica e resistenza meccanica a compressione (Fig. 30).

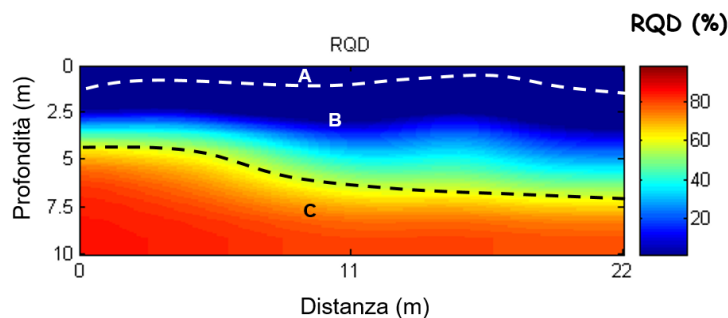


FIG.28 - Modello di distribuzione di RQD a varie profondità.

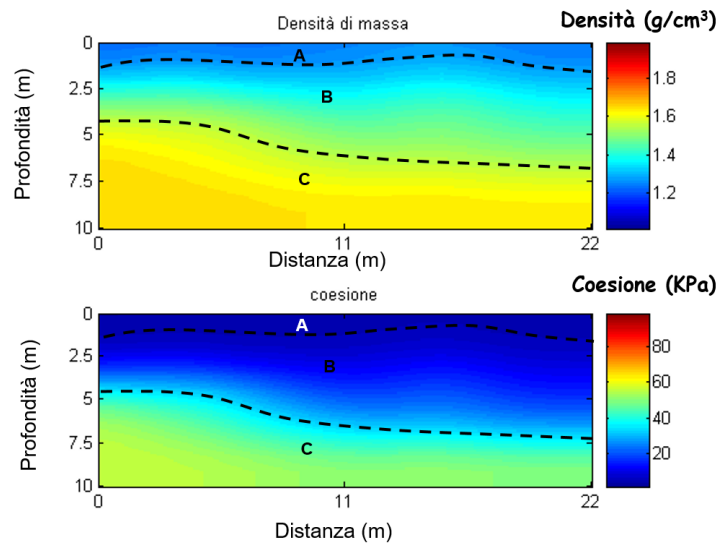


FIG.29 - Modello di distribuzione della densità di massa e della coesione a varie profondità.

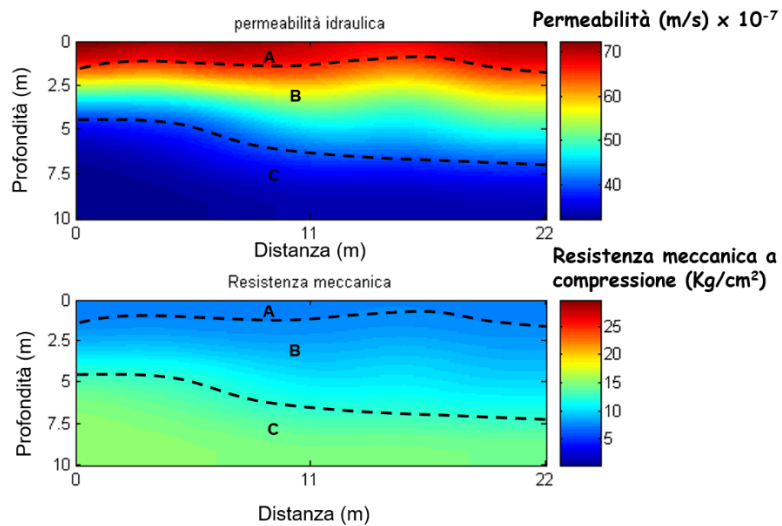


FIG. 30 - Modello di distribuzione della permeabilità e resistenza meccanica a compressione a varie profondità.

Nelle tabelle di seguito i dati schematizzati, relativi alle figure precedenti.

Strato	RQD (%)	Densità (g/cm ³)	Coesione (KPa)	Permeabilità (m/s) x 10 ⁻⁵	Resistenza meccanica a compressione (kg/cm ²)
A	<10	1.4	20	70	
B	10-40	1.6	30	50	10
C	60-70	1.8	50	20	15

Successivamente i valori del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G)

Strato	σ	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
A	0.35	312	115	269	346
B	0.35	371	137	321	412
C	0.33	1346	499	1163	1495

Determinazione della Velocità Equivalente $V_{s,eq}$ con la procedura MASW

La velocità equivalente delle onde di taglio è data dalla seguente espressione:

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

Dove:

N = numero degli strati

h_i = spessore dello strato i-esimo

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

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

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a

rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D), che descrive la variazione di V_s con la profondità.

In Fig 31 viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Velocità Equivalente.

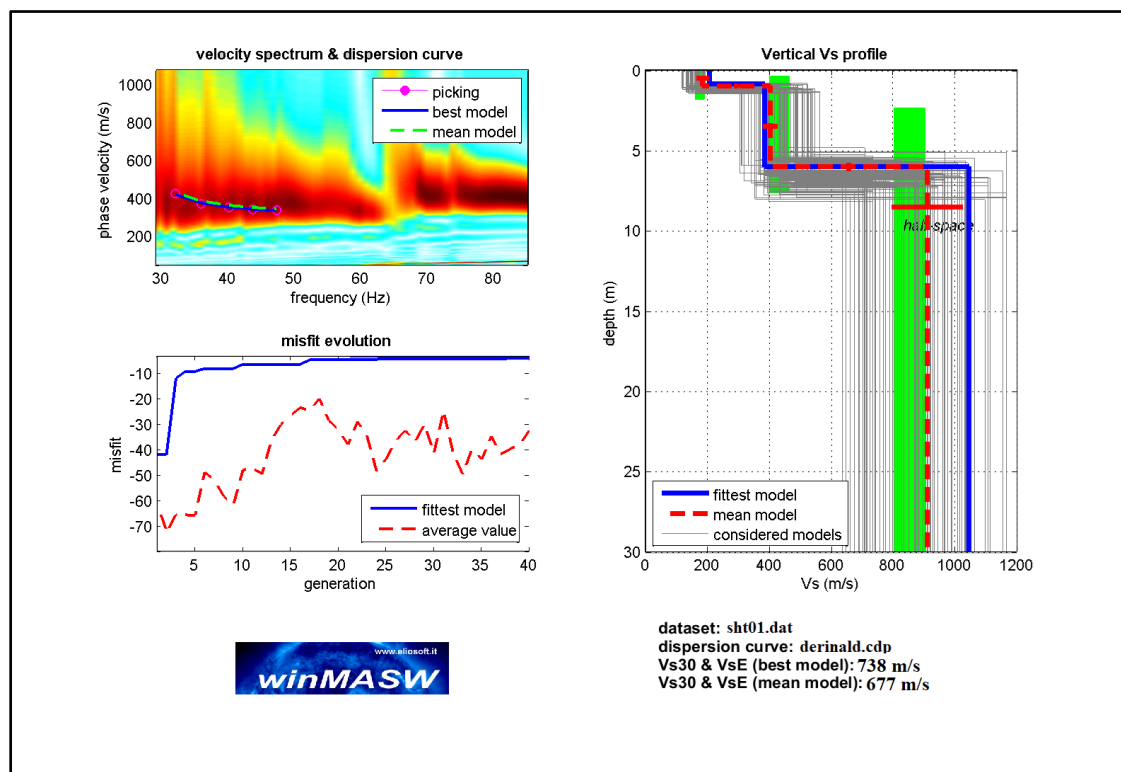


FIG.31 - Curva di dispersione con profilo verticale della velocità V_s al variare della profondità.

Indagine sismica 3

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 32b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.32a), ha generato le dromocrone riportate in Fig.32c.

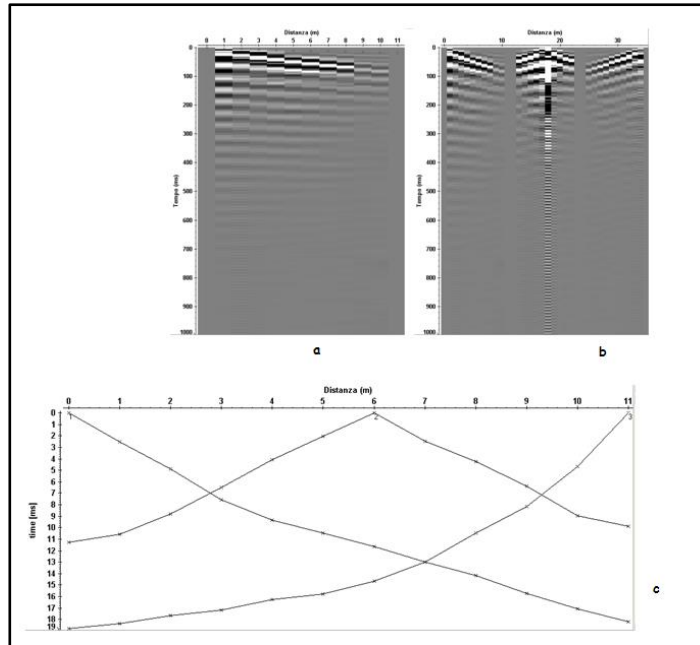


FIG. 32 - a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.

L'elaborazione delle dromocrone mediante algoritmi sofisticati ha permesso il raggiungimento del modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s (Fig. 33).

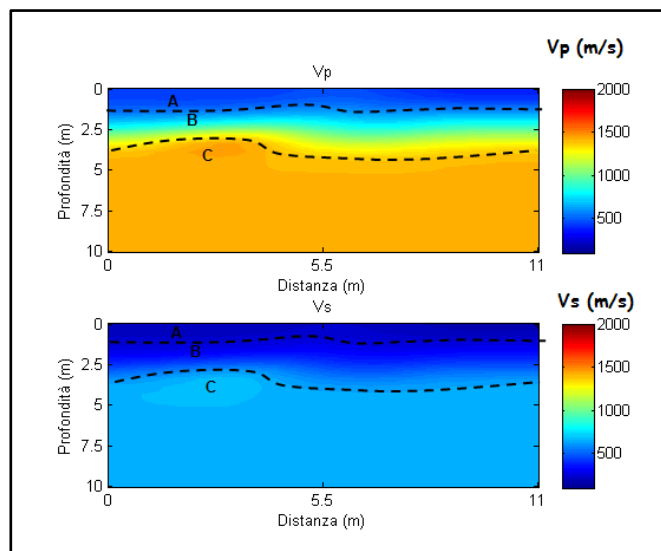


FIG.33 - Modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s a varie profondità.

Interpretando la Fig. 33 si evince che i valori di V_p sono generalmente compresi tra 400m/s e 1400m/s mentre valori di V_s sono generalmente compresi tra 200m/s e 800m/s.

In particolare è possibile discernere la seguente stratigrafia:

- Strato "A": $V_p=400\text{m/s}$ ($V_s=200\text{m/s}$); strato superficiale da 1.5m a 1.7m circa di profondità;
- Strato "B": $1000 < V_p < 1100\text{m/s}$ ($500 < V_s < 600\text{m/s}$); probabile presenza di materiale compatto che raggiunge una profondità compresa tra 4.2m e 4.5m circa;
- Strato "C": $1200 < V_p < 1400\text{m/s}$ ($700 < V_s < 800\text{m/s}$); probabile presenza di materiale più compatto che raggiunge una profondità compresa tra 3.2m e 4.2m circa;

Attraverso l'impiego delle relazioni empiriche precedentemente descritte sono stati ottenuti i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig. 34), densità di massa, coesione (Fig.35) e permeabilità (Fig. 36).

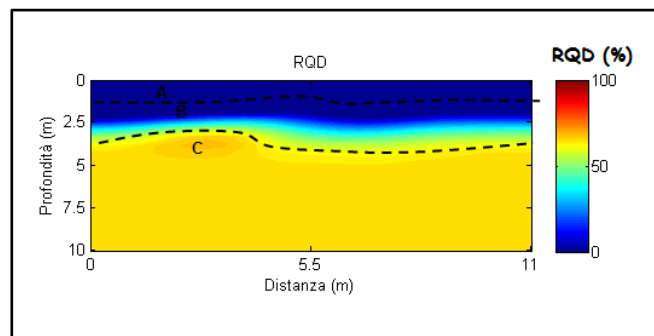


FIG.34 - Modello di distribuzione di RQD a varie profondità.

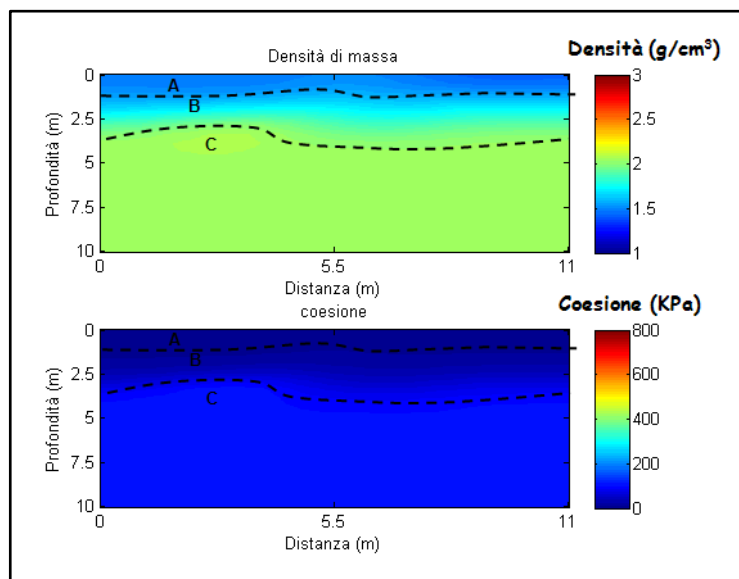


FIG.35 - Modello di distribuzione della densità di massa e della coesione a varie profondità.

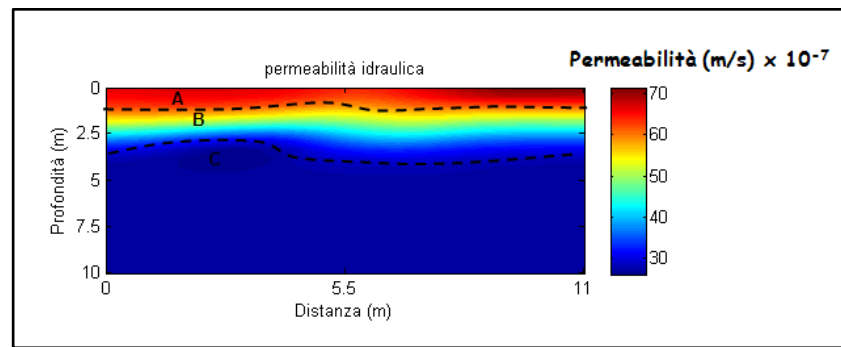


FIG. 36 - Modello di distribuzione della permeabilità e della resistenza meccanica a compressione a varie profondità.

Nelle tabelle di seguito i dati schematizzati, relativi alle figure precedenti.

Strato	RQD (%)	Densità (g/cm ³)	Coesione (KPa)	Permeabilità (m/s) x 10 ⁻⁵
A	<10	1.8	30	70
B	20	2.0	80	40-50
C	60	2.2	150	<10

Successivamente i valori del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G)

Strato	σ	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
A	0.35	72	27	62	80
B	0.35	94	35	82	105
C	0.35	736	273	635	817

Determinazione della Velocità Equivalente $V_{s,eq}$ con la procedura MASW

La velocità equivalente delle onde di taglio è data dalla seguente espressione:

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

Dove:

N = numero degli strati

h_i = spessore dello strato i-esimo

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

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

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz). Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D), che descrive la variazione di V_s con la profondità.

In Fig 37 viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Velocità Equivalente.

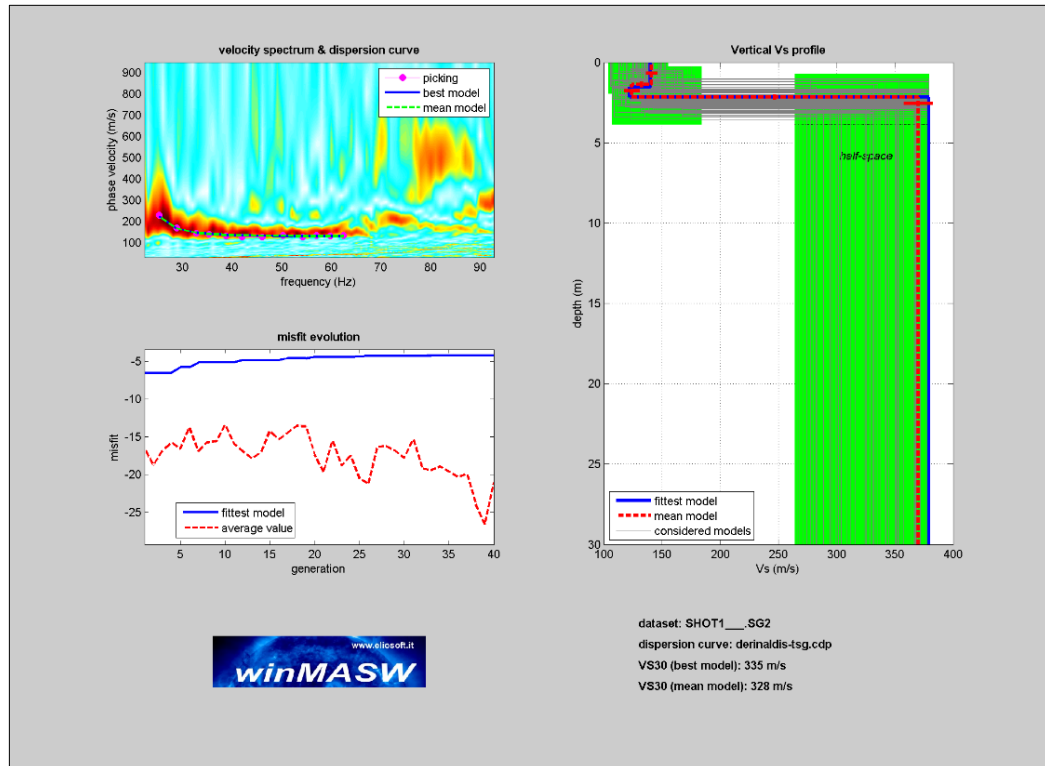


FIG.37 - Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità.

Indagine sismica 4

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 38b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig. 38a), ha generato le dromocrone riportate in Fig. 38c.

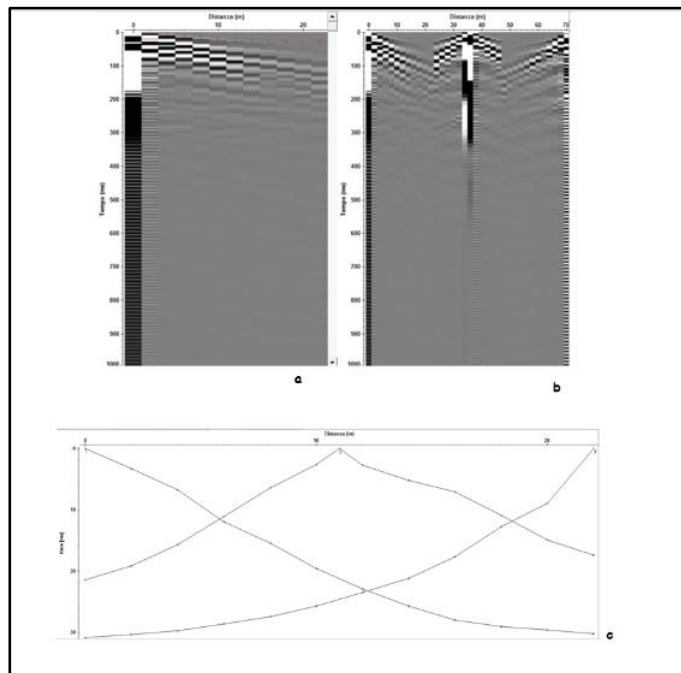


FIG. 38 - a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.

L'elaborazione delle dromocrone mediante algoritmi sofisticati ha permesso il raggiungimento del modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s (Fig. 39).

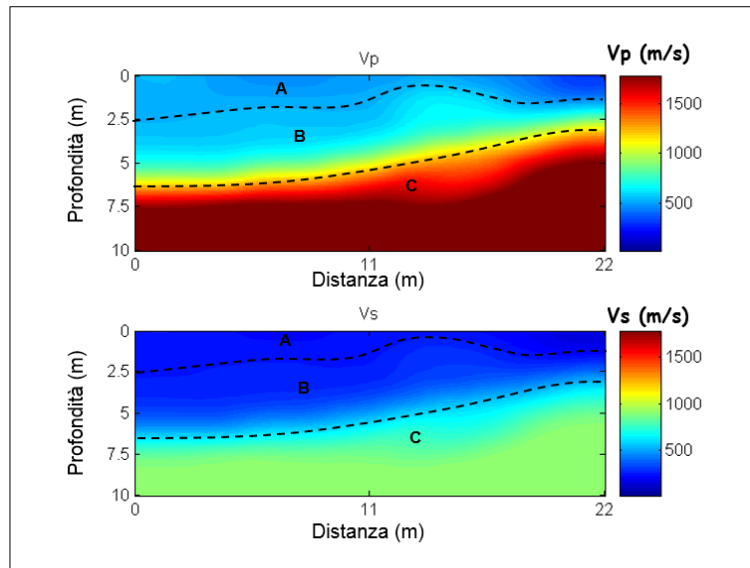


FIG.39 - Modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s a varie profondità.

Interpretando la Fig. 39 si evince che i valori di V_p sono generalmente compresi tra 500m/s e 2000m/s mentre valori di V_s sono generalmente compresi tra 200m/s e 1000m/s.

In particolare è possibile discernere la seguente stratigrafia:

- Strato "A": $V_p=500\text{m/s}$ ($V_s=200\text{m/s}$); strato superficiale da 0.8m a 2.5m circa di profondità;
- Strato "B": $1000 < V_p < 1100\text{m/s}$ ($500 < V_s < 600\text{m/s}$); probabile presenza di materiale compatto da 3.0m a 6.2m circa di profondità;
- Strato "C": $1500 < V_p < 2000\text{m/s}$ ($700 < V_s < 1000\text{m/s}$); probabile presenza di materiale compatto.

Attraverso l'impiego delle relazioni empiriche precedentemente descritte sono stati ottenuti i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig. 40), densità di massa, coesione (Fig.41), permeabilità e resistenza meccanica a compressione (Fig. 42).

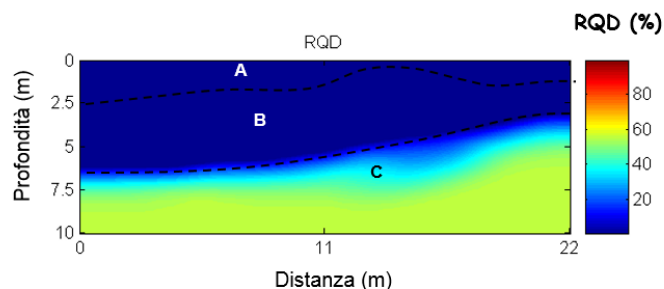


FIG.40 - Modello di distribuzione di RQD a varie profondità.

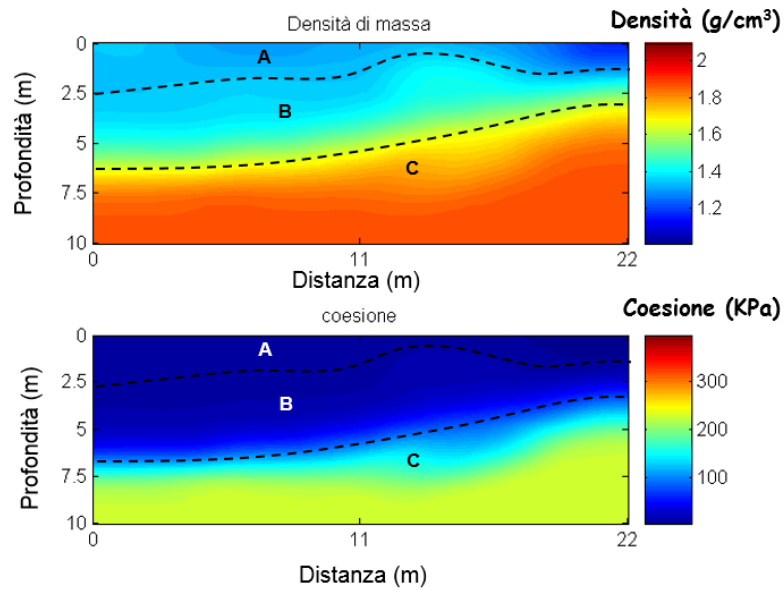


FIG.41 - Modello di distribuzione della densità di massa e della coesione a varie profondità.

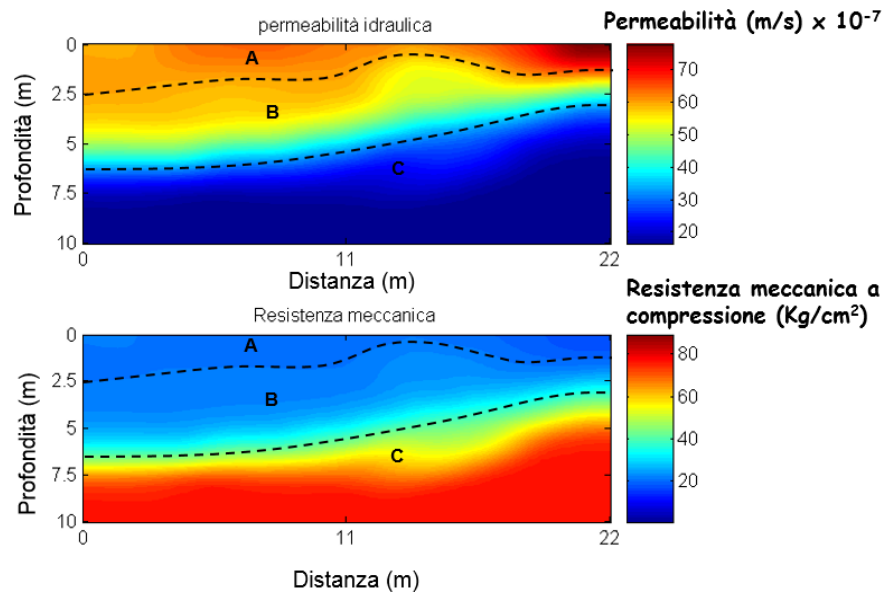


FIG. 42 - Modello di distribuzione della permeabilità e della resistenza meccanica a compressione a varie profondità.

Nelle tabelle di seguito i dati schematizzati, relativi alle figure precedenti.

Strato	RQD (%)	Densità (g/cm ³)	Coesione (KPa)	Permeabilità (m/s) x 10 ⁻⁵	Resistenza meccanica a compressione (Kg/cm ²)
A	<10	1.4	20	70	
B	<10	1.6	80	40	30
C	40-60	2.0	200	<2	60

Successivamente i valori del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G)

Strato	σ	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
A	0.35	256	95	220	283
B	0.35	534	198	461	593
C	0.35	1526	565	1320	1697

Determinazione della Velocità Equivalente $V_{s,eq}$ con la procedura MASW

La velocità equivalente delle onde di taglio è data dalla seguente espressione:

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

Dove:

N = numero degli strati

h_i = spessore dello strato i-esimo

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

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

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D), che descrive la variazione di V_s con la profondità.

In Fig. 43 viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della V_{s30} .

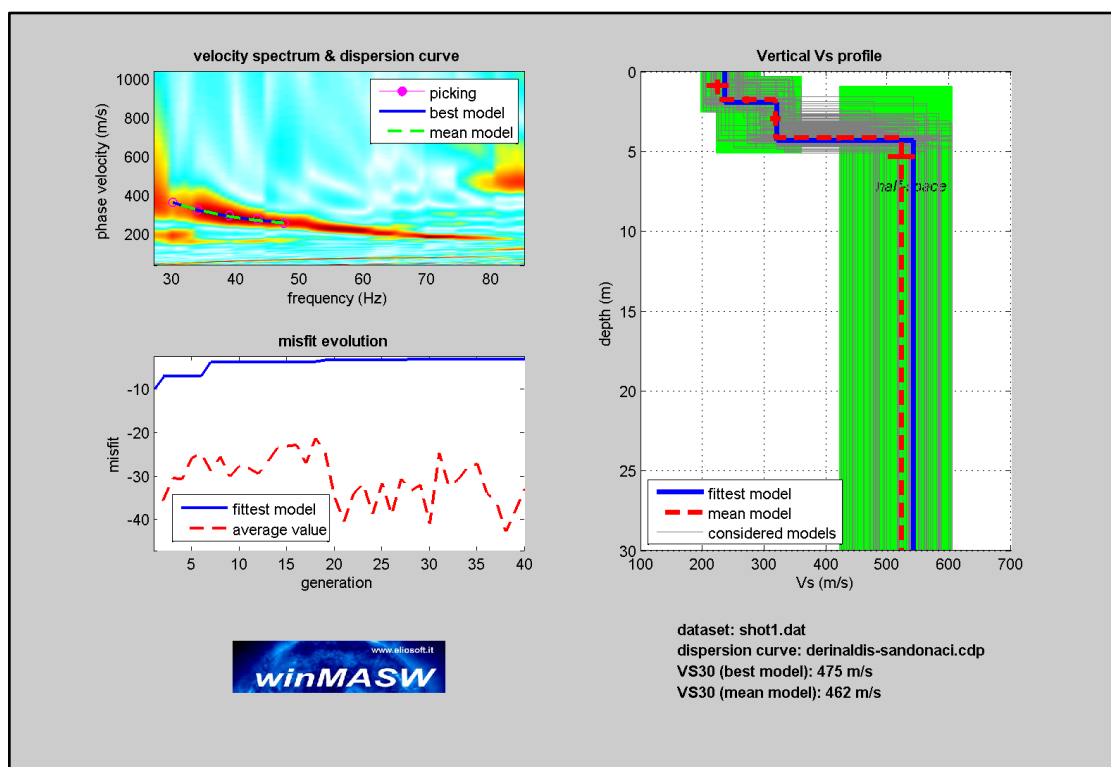


FIG.43 - Curva di dispersione con profilo verticale della velocità V_s al variare della profondità

7. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL TERRENO

La ricostruzione del modello litostratigrafico del sottosuolo è stata effettuata mediante l'utilizzo dei dati rilevati dalle indagini eseguite nonché dal censimento di dati stratigrafici esistenti nelle aree vicine (Fig.44).



FIG.44 – Localizzazione delle perforazioni con stratigrafia in corrispondenza e in prossimità dell'area di intervento (Fonte: Ispra)

Dal punto di vista stratigrafico i terreni di fondazione sono caratterizzati dalla presenza di “depositi argillosi e sabbiosi”.

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica n.1:

Strato	Profondità dal P.C.		Descrizione
Livello A	0.0 m– 2.7 m		Copertura superficiale assimilabile a limi sabbiosi e argillosi
Livello B	2.7 m – 5.5/7.0 m		Materiale compatto assimilabile a depositi argillosi e sabbiosi
Livello C	> 5.5/7.0 m		Materiale più compatto assimilabile a depositi argillosi alternati a calcareniti

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

Livello B

Peso di Volume (KN/m³) = 21

Angolo di attrito interno (ϕ) = 22°

Densità (Y) (g/cm³) = 1.6

Coesione (KPa) = 100

RQD = <10%

Permeabilità = 60 m/sec X 10⁻⁵

C.Poisson = 0,35

Modulo di deformazione al taglio (G) (MPa) = 137

Modulo di Young (E) (MPa) = 371

Lamè (MPa) = 321

Bulk (MPa) = 412

Resistenza meccanica a compressione (Kg/cm²) = 10

L'elaborazione della prova sismica MASW ha permesso di determinare la categoria sismica del terreno di fondazione; il valore di Vs30 è di 395 m/sec, per cui il terreno rientra nella **Categoria Sismica B** (anche se di poco superiore alla Categoria Sismica C): 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.

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica n.2:

Strato	Profondità dal P.C.		Descrizione
Livello A	0.0 m– 0.5/1.0 m		Copertura superficiale assimilabile a limi sabbiosi e argillosi
Livello B	0.5/1.0 m – 5.5/7.0 m		Materiale compatto assimilabile a depositi argillosi e sabbiosi
Livello C	> 5.5/7.0 m		Materiale più compatto assimilabile a depositi argillosi alternati a calcareniti

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

Livello B

Peso di Volume (KN/m³) = 22

Angolo di attrito interno (ϕ) = 20°

Densità (Y) (g/cm³) = 1.6

Coesione (KPa) = 30

RQD (%) = 10-40

Permeabilità = 50 m/sec X 10⁻⁵

C.Poisson = 0,35

Modulo di deformazione al taglio (G) (MPa) = 137

Modulo di Young (E) (MPa) = 371

Lamè (MPa) = 321

Bulk (MPa) = 412

Resistenza meccanica a compressione (Kg/cm²) = 10

L'elaborazione della prova sismica MASW ha permesso di determinare la categoria sismica del terreno di fondazione; il valore di Vs30 è di 677 m/sec, per cui il terreno rientra nella **Categoria Sismica 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.

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica n.3:

Strato	Profondità dal P.C.		Descrizione
Livello A	0.0 m– 1.5/1.7 m		Copertura superficiale assimilabile a limi sabbiosi e argillosi
Livello B	1.5/1.7 m – 4.2/4.5 m		Materiale compatto assimilabile a depositi argillosi e sabbiosi
Livello C	> 4 m		Materiale più compatto assimilabile a depositi argillosi alternati a calcareniti

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

Livello BPeso di Volume (KN/m³) = 21Angolo di attrito interno (ϕ) = 20°Densità (γ) (g/cm³) = 2.0

Coesione (KPa) = 80

RQD (%) = 20

Permeabilità = 40-50 m/sec X 10⁻⁵

C.Poisson = 0,35

Modulo di deformazione al taglio (G) (MPa) = 35

Modulo di Young (E) (MPa) = 94

Lamè (MPa) = 82

Bulk (MPa) = 105

L'elaborazione della prova sismica MASW ha permesso di determinare la categoria sismica del terreno di fondazione; il valore di Vs30 è di 335 m/sec, per cui il terreno rientra nella **Categoria Sismica C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Di seguito il modello litostratigrafico in corrispondenza e in prossimità dell'area indagata dall'indagine sismica n.4:

Strato	Profondità dal P.C.		Descrizione
Livello A	0.8 m– 2.5 m		Copertura superficiale assimilabile a limi sabbiosi e argillosi
Livello B	2.5 m – 3.0/6.2 m		Materiale compatto assimilabile a depositi argillosi e sabbiosi
Livello C	> 3.0/6.2 m		Materiale più compatto assimilabile a depositi argillosi alternati a calcareniti

Di seguito i parametri geotecnici relativi al Livello B (fondazionale):

Livello B

Peso di Volume (KN/m³) = 24

Angolo di attrito interno (ϕ) = 22°

Densità (γ) (g/cm³) = 1.6

Coesione (KPa) = 80

RQD (%) = <10

Permeabilità = 40 m/sec X 10⁻⁵

C.Poisson = 0,35

Modulo di deformazione al taglio (G) (MPa) = 198

Modulo di Young (E) (MPa) = 534

Lamè (MPa) = 461

Bulk (MPa) = 593

Resistenza meccanica a compressione (Kg/cm²) = 30

L'elaborazione della prova sismica MASW ha permesso di determinare la categoria sismica del terreno di fondazione; il valore di Vs30 è di 475 m/sec, per cui il terreno rientra nella **Categoria Sismica 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.

Secondo le NTC 2018 la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto è in 5 categorie (A-B-C-D-E); di seguito la loro descrizione.

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

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.

Categoria C – Depositati 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.

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

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

8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

8.1 Pericolosità sismica di base ai sensi delle NTC

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. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termine di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, 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 del sito. Come riportato nelle NTC 2018, la pericolosità sismica in un sito generico deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopraccitate;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno dell'azione sismica TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati in seguito (e specificati nelle NTC), per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche nel sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Allo stato attuale la "pericolosità sismica di base" è stata definita su tutto il territorio nazionale dall'INGV attraverso un reticolo di riferimento con una maglia avente passo <10 km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso fra 30 e 2475 anni, estremi inclusi. I dati sono consultabili sul sito web <http://esse1.mi.ingv.it>.

Le azioni di progetto si ricavano quindi, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste nella vigente normativa (NTC) sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri seguenti:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri si determinano sulla base del reticolo definendo, innanzitutto, la vita di riferimento V_R (dipende dalla vita nominale e dalla classe d'uso in una costruzione) e la probabilità di eccedenza nella vita P_{VR} di riferimento associate a ciascuno degli stati limite considerati e quindi calcolando il periodo di ritorno di riferimento T_R . Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati nella Normativa, sono riportate nella tabella seguente:

Stati Limite		PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

8.2 Condizioni topografiche

Nell'ambito delle condizioni topografiche semplici viene adottata la classificazione della tabella seguente:

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 $i > 30^\circ$

Tenendo conto delle condizioni topografiche in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tabella successiva, funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nell'area di intervento la categoria di riferimento è la T1, da cui $S_T = 1,0$

8.3 Valutazione dei parametri sismici ai sensi delle NTC

Per qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (F_0 , ag e T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame secondo quanto indicato nell'Allegato delle NTC. La determinazione dei parametri sismici può essere effettuata mediante l'utilizzo di alcuni software come "Spettri di risposta 1.03" (disponibile all'indirizzo web <http://www.infrastrutture.gov.it>) oppure il software "Geostru PS" (disponibile all'indirizzo web <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>) che permettono di ottenere i dati sismici relativi inserendo le coordinate geografiche dell'area in esame, la classe d'uso dell'opera e la sua vita nominale.

Nel caso in esame sono stati desunti i parametri riportati di seguito sulla base dei dati in input:

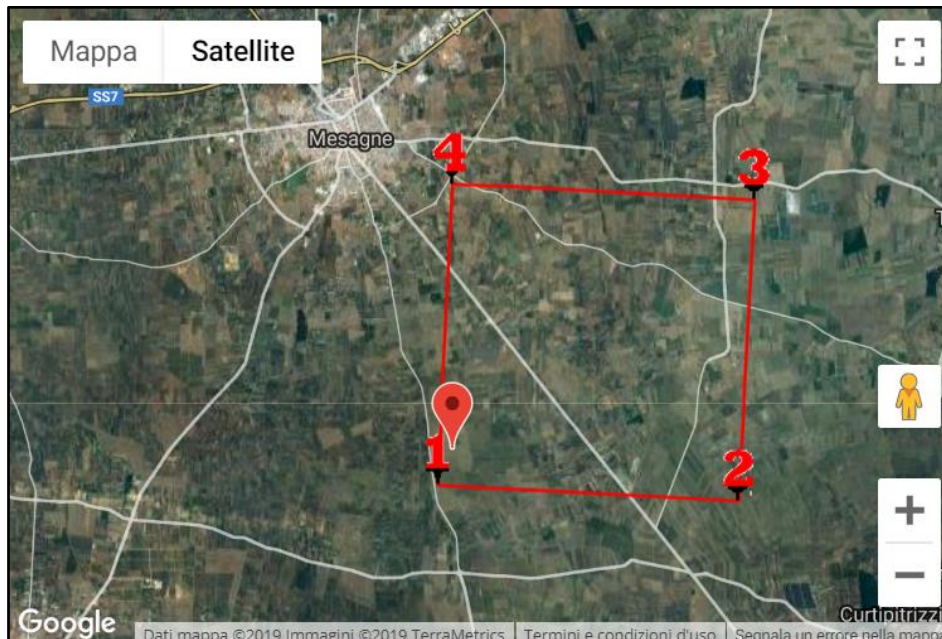
- Coordinate geografiche nel tratto centrale dell'area di impianto (sistema di coordinate geografiche WGS84): Latitudine 40.505894° – Longitudine 17.832714°
- Vita nominale = 50 anni
- Classe d'uso = I (Presenza occasionale di persone)
- Coefficiente d'uso $CU = 0,7$
- Categoria sottosuolo = B
- Categoria Topografica = T1

Di seguito si riportano i relativi parametri sismici associati ai diversi stati limite.

PARAMETRI SISMICI				
SL	Tr (anni)	Ag (g)	Fo	Tc* (s)
Operatività SLO	30	0,015	2,325	0,158
Danno SLD	35	0,017	2,335	0,176
Salvaguardia della vita SLV	332	0,043	2,504	0,423
Prevenzione del collasso SLC	682	0,053	2,604	0,484
Periodo di riferimento per l'azione sismica	35			

COEFFICIENTI SISMICI			
SL	Ss	Cc	St
SLO	1,20	1,59	1,00
SLD	1,20	1,56	1,00
SLV	1,20	1,31	1,00
SLC	1,20	1,27	1,00

COEFFICIENTI SISMICI				
SL	Kh	Kv	Amax(m/s²)	Beta
SLO	0,000	---	0,181	---
SLD	0,009	0,005	0,196	0,470
SLV	0,020	0,010	0,507	0,380
SLC	0,000	---	0,622	---



8.4 Classificazione Sismica

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (D.lgs 112/98 e DPR 380/01 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle 4 zone. Le aree nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale sono a severità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4).

LA CLASSIFICAZIONE SISMICA ATTUALE	
ZONA 1	E' la zona più pericolosa, dove in passato si sono avuti danni gravissimi a causa di forti terremoti
ZONA 2	Nei comuni inseriti in questa zona in passato si sono avuti danni rilevanti a causa di terremoti abbastanza forti
ZONA 3	I comuni inseriti in questa zona hanno avuto in passato pochi danni. Si possono avere scuotimenti comunque in grado di produrre danni significativi

ZONA 4

E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse

Nelle norme tecniche allegata all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 ogni zona sismica è contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	>0.25
2	0.15-0.25
3	0.05-0.15
4	<0.05

L'area oggetto di intervento, come l'intero comune di Mesagne (BR), ricade in zona sismica 4 (Fig.45).



FIG 45 - Classificazione sismica della Puglia

9. CONCLUSIONI

Con la presente la sottoscritta Dott.ssa Geol. Silvia Ciurlia ha redatto uno Studio Geologico nell'ambito del progetto definitivo "Impianto Agrivoltaico con generatore della potenza nominale di 63,86 MWp (componente di produzione energetica) dotato di Sistema di Accumulo da 50 MW – 200 MWh (componente di storage) nel Comune di Mesagne (BR) con opere di vettoriamento dell'energia elettrica ed impianti di utenza per la connessione alla RTN, inclusa la necessaria Sottostazione Elettrica Utente (SSEU) di elevazione M.T./A.T., ricadenti in gran parte nel Comune di Brindisi (BR)".

Dallo studio è emerso che:

- dal punto di vista geologico l'area di progetto è caratterizzata dalla presenza di materiali a prevalente composizione argillosa e sabbiosa nello strato fondazionale;
- le quote topografiche nell'area di progetto si aggirano intorno a 80 m s.l.m.;
- la zona non è interessata ad oggi da perimetrazione di aree soggette a pericolosità o rischio idraulico o geomorfologico secondo il PAI; si rileva la presenza di un reticolo ma il progetto esclude l'area di pertinenza fluviale secondo l'art.10 delle NTA del PAI;
- in base ai valori della velocità equivalente il terreno fondazionale è classificabile nelle categorie di tipo "B" e "C";
- l'area di progetto ricade in zona sismica 4.
- Il Franco di sicurezza è pari 2 m