

19_18_EO_ENE_VA_AM_RE_28_02	FEBBRAIO 2021	RELAZIONE GEOTECNICA	Geol. Leonardo Gioia	Arch. Paola Pastore	Ing. Leonardo Filotico
19_18_EO_ENE_VA_AM_RE_28_01	DICEMBRE 2020	RELAZIONE GEOTECNICA	Geol. Leonardo Gioia	Arch. Paola Pastore	Ing. Leonardo Filotico
19_18_EO_ENE_VA_AM_RE_28_00	GIUGNO 2020	RELAZIONE GEOTECNICA	Geol. Leonardo Gioia	Arch. Paola Pastore	Ing. Leonardo Filotico
N. ELABORATO	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO

OGGETTO:

Progetto dell'impianto eolico con storage denominato "Contrada Sparpagliata, Donne Masi e Tostini" della potenza complessiva di 154 MW da realizzare nei comuni di Erchie (BR), Torre Santa Susanna (BR), Manduria (TA) e Avetrana (TA)

COMMITTENTE:

YELLOW ENERGY s.r.l.
Z.I. Lotto n. 31
74020 San Marzano di S.G (TA)

TITOLO:

Relazione Geotecnica

PROJETTO engineering s.r.l.

società d'ingegneria

direttore tecnico

Ph.D. Ing. LEONARDO FILOTICO



Sede Legale: Via dei Mille, 5 74024 Manduria
 Sede Operativa: Z.I. Lotto 31 74020 San Marzano di S.G. (TA)
 tel. 099 9574694 Fax 099 2222834 cell. 349.1735914
 studio@projetto.eu
 web site: www.projetto.eu

P.IVA: 02658050733



SOSTITUISCE:

SOSTITUITO DA:

CARTA: A4

NOME

19_18_EO_ENE_AM_RE_28_02

SCALA:

ELAB.

28

Sommario

1. Premessa	2
2. Ubicazione del sito di studio	3
3. Caratteristiche geomorfologiche di dettaglio	5
4. Inquadramento geologico generale	8
4.1 Caratteristiche geologiche di dettaglio.....	10
5. Caratterizzazione tecnica dei litotipi.....	13
6. Sismicità del territorio	17
6.1 Metodologia Masw	19
6.2 Strumentazione utilizzata e modalità di acquisizione.....	19
6.3 Elaborazione dati	20
6.4 Prove Penetrometriche dinamiche continue (DPM).....	26
7. Conclusioni.....	28

ALLEGATI-Elaborazioni indagini penetrometriche

ALLEGATI-Report fotografico indagini in sito

1. Premessa

Lo scrivente Geol. Leonardo Gioia, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n. 749, su incarico conferitogli dalla Progetto Engineering s.r.l., ha effettuato il presente studio geologico, geotecnico generale e di dettaglio a corredo del progetto dell'impianto eolico con storage e relative opere di connessione denominato "Contrada Sparpagliata, Donne Masi e Tostini" della potenza complessiva di 154 MW da realizzare nei Comuni di Erchie (BR), Torre Santa Susanna (BR), Manduria (TA) e Avetrana (TA).

Lo studio geologico si è svolto in ottemperanza al D.M del 11/03/1988, all'OPCM n° 3274 del 20/03/2003 e alle disposizioni dettate dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. del 17/01/2018 al fine di ricostruire un modello geologico atto a fornire i caratteri stratigrafici, litologici, idrogeologici, geomorfologici e di pericolosità geologica del sito. La prima fase ha previsto un rilevamento geologico di dettaglio, avvalendosi della cartografia dell'area, ed è stato fatto riferimento alle informazioni bibliografiche disponibili e a precedenti lavori svolti nelle stesse aree. Successivamente si è giunti ad una ricostruzione del modello geologico e stratigrafico del sito come previsto dalle normative vigenti.

A tale scopo sono state effettuate una serie di indagini geognostiche specifiche, in particolare:

- n.6 Indagini sismiche tipo Masw per la valutazione delle $V_{s_{eq}}$ 30;
- n.19 Indagini penetrometriche dinamiche continue DPM (ubicate nei punti di realizzazione degli aerogeneratori) per valutare le caratteristiche litostratigrafiche dell'area di progetto.

2. Ubicazione del sito di studio

Il sito di studio è ubicato da est, sud-est a sud-ovest rispetto all'abitato del Comune di Erchie, topograficamente l'area, essendo di notevole estensione, si trova a cavallo tra le province di Brindisi e Taranto ma ricade interamente nel foglio 203 della Carta d'Italia dell'I.G.M. Altimetricamente la zona risulta pianeggiante e si trova a quote variabili tra circa 55-75 metri slm.

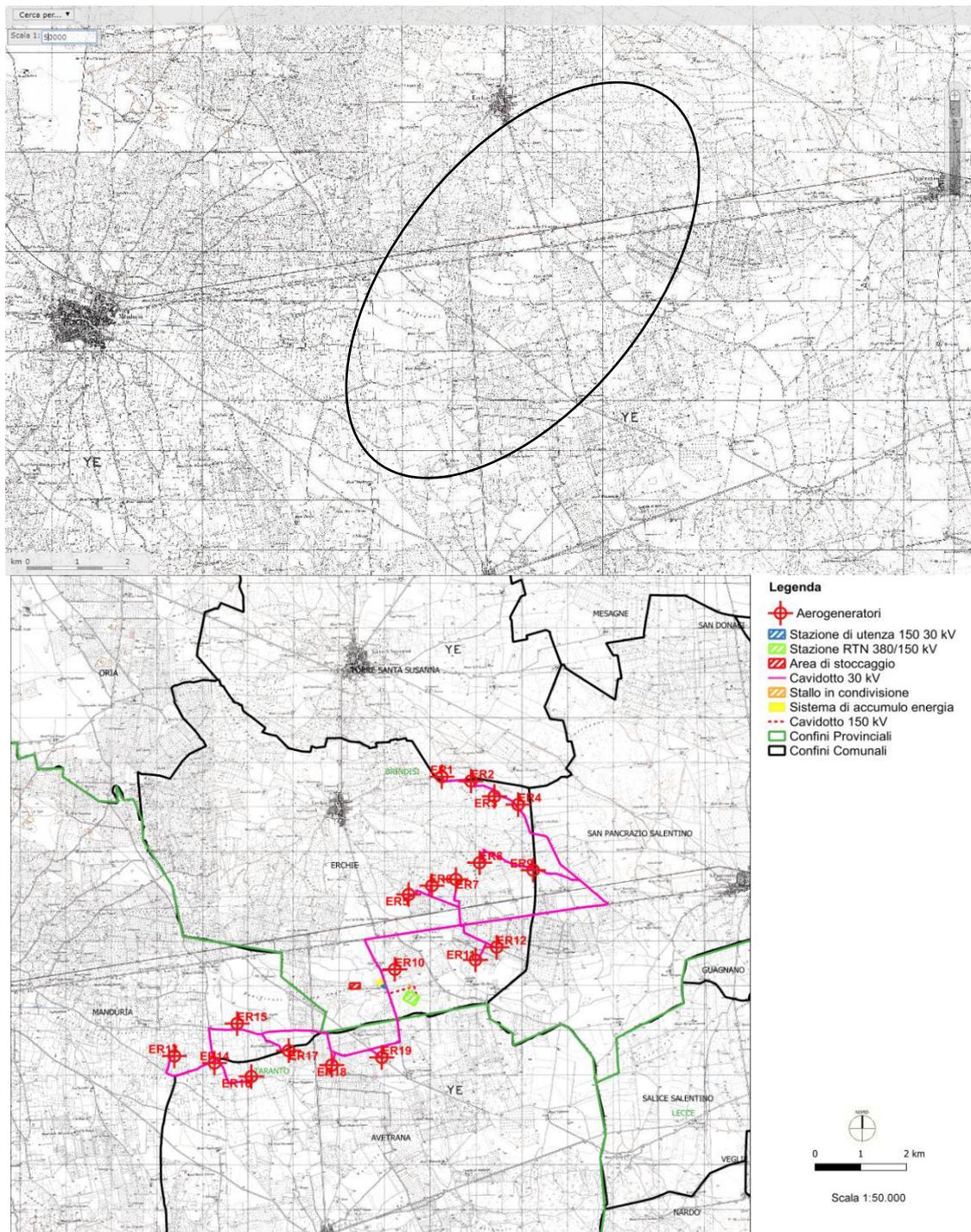


Fig.1: Ubicazione su cartografia IGM in scala 1:25.000 generale e di dettaglio

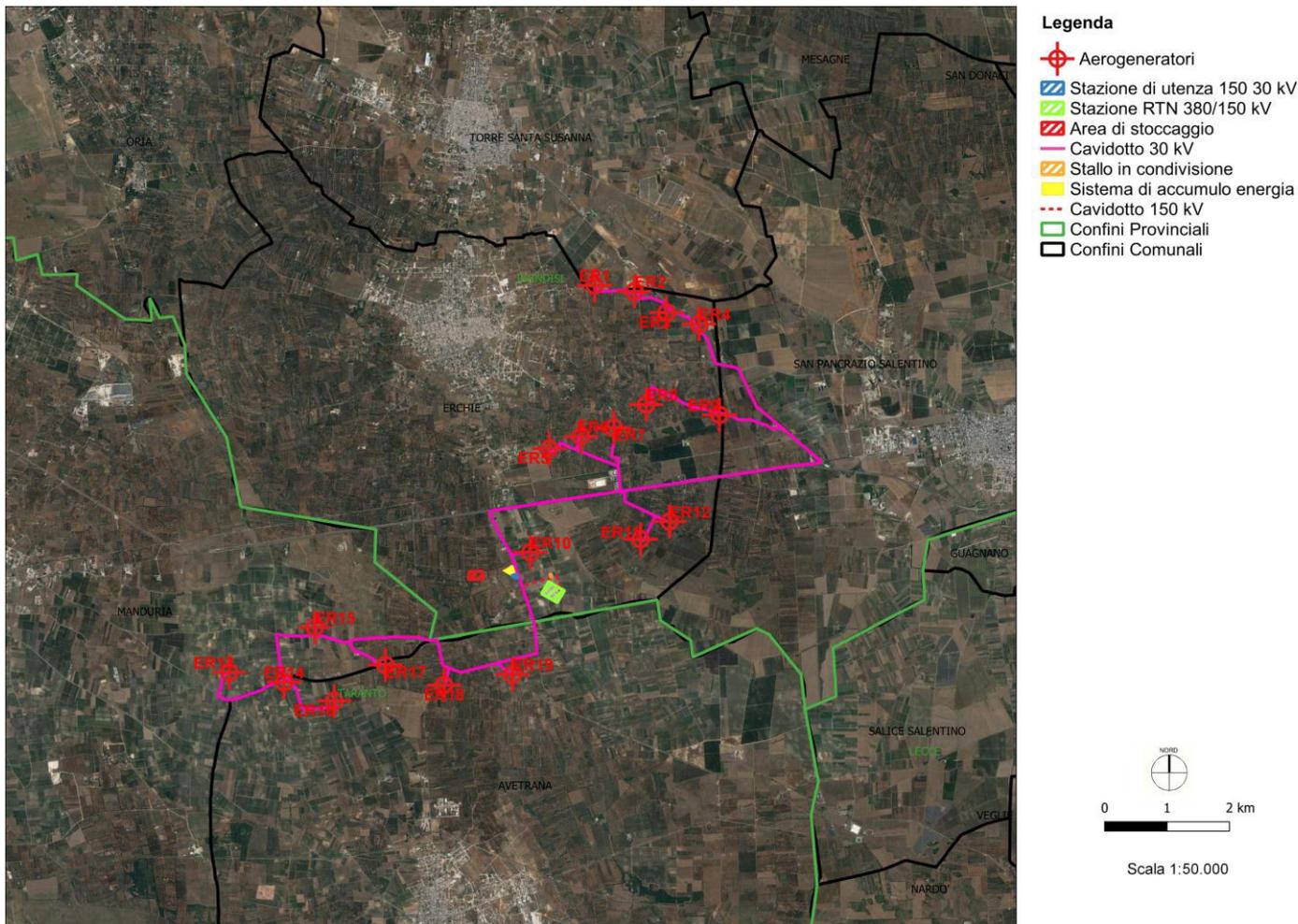


Fig.2: Inquadramento su ortofoto dell'area di impianto

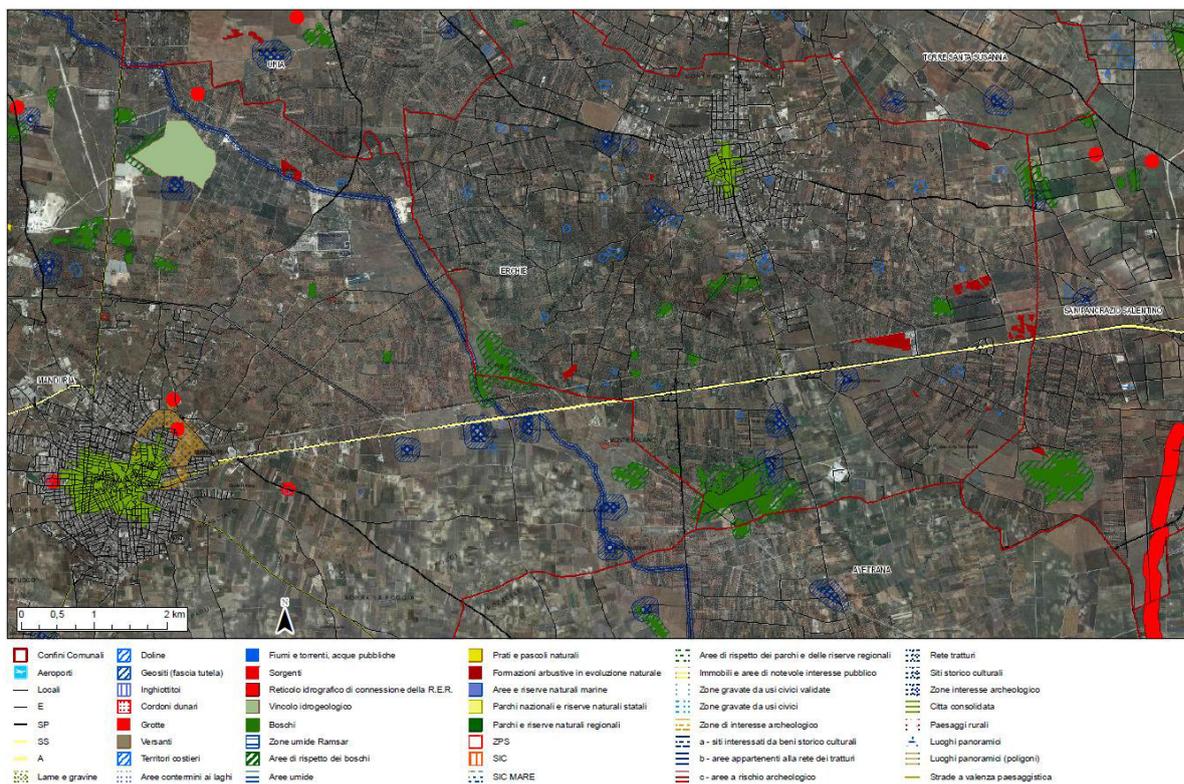
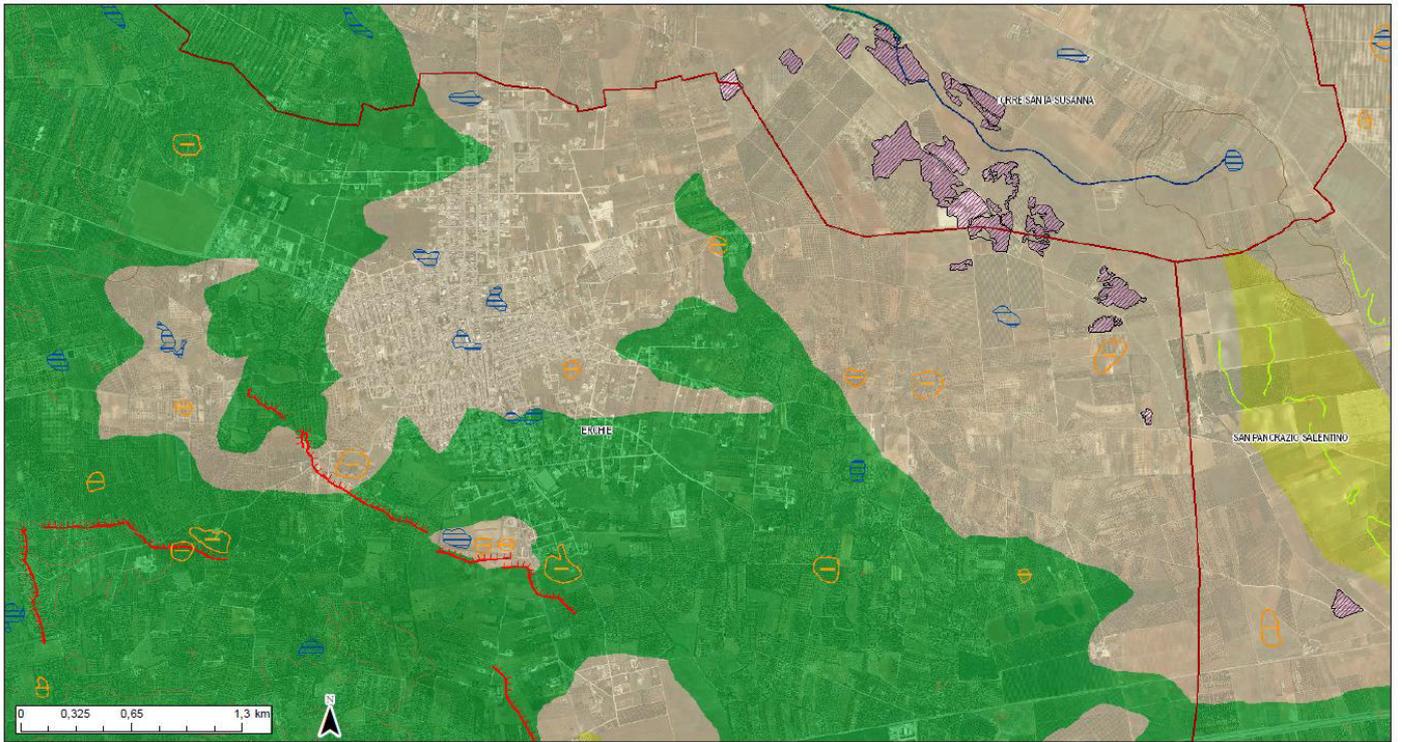
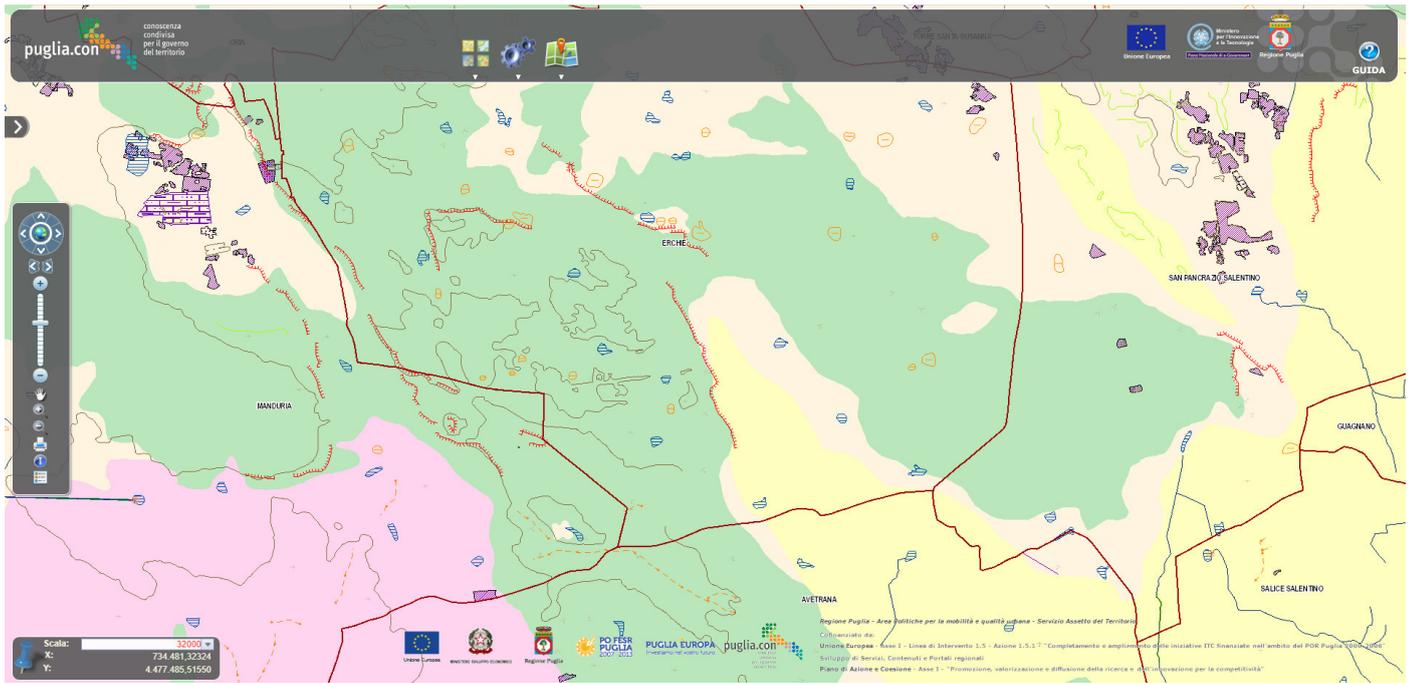




Fig.3: Stralcio del PPTR ufficiale adottato dalla Regione Puglia e particolare componenti geomorfologiche

3. Caratteristiche geomorfologiche di dettaglio

In generale nell'area vasta di studio esistono delle cave di "tufi" attive ma principalmente abbandonate, esistono numerosi recapiti finali di bacini endoreici e diverse cavità o strutture carsiche intorno e soprattutto a sud dell'abitato di Erchie, risultano anche evidenti diversi sistemi di orli di scarpate delimitanti forme semispianate che attraversano parzialmente l'area interessata dall'impianto di progetto nella sua parte centrale, inoltre l'area è caratterizzata da diversi cambi di pendenza e litologia, verso sud ci sono degli assi di displuvio e piccole creste smussate. Il sito risulta inserito in un ambiente con diverse doline quindi l'area vasta presenta un certo rischio geomorfologico. *L'area non presenta particolari criticità ma bisognerà porre particolare attenzione alle forme legate al carsismo ed alla presenza dei bacini endoreici che potrebbero causare periodicamente ristagni d'acqua, inoltre risultano evidenti cambi di pendenza e litologia.*



- | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▭ Confini Comunali — Isobata con equidistanza 5 m — Isobata con equidistanza 25 m ● Geosito ▲ Ingresso di grotta naturale ▲ Voragine, inghiottitoio o pozzo di orlo — Orlo di depressione carsica a morfologia complessa — Dolina | <ul style="list-style-type: none"> ▭ Dolina — Costa rocciosa — Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede — Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede ▲ Falesia — Falesia con spiaggia ciottolosa al piede — Falesia con spiaggia sabbiosa al piede — Rias | <ul style="list-style-type: none"> — Spiaggia sabbiosa — Spiaggia ciottolosa — Spiaggia sabbiosa-ciottolosa — Opera di difesa costiera ▭ Cordone Dunare ▲ Faraglione — 0 - 100 m. s.l.m. — 100 - 300 m. s.l.m. | <ul style="list-style-type: none"> — 300 - 700 m. s.l.m. — 700 - 1200 m. s.l.m. — Punto sommitale — <all other values> — 100 — 1000 — 1100 — 200 | <ul style="list-style-type: none"> — 300 — 400 — 500 — 600 — 700 — 800 — 900 — Strati suborizzontali (<10°) | <ul style="list-style-type: none"> — Strati poco inclinati (10°-45°) — Strati molto inclinati (45° - 80°) — Strati subverticali (>80°) — Strati rovesciati — Strati contorti — Asse di anticlinale certo — Asse di anticlinale presunto — Asse di sinclinale presunto — Asse di sinclinale certo |
|--|---|--|--|--|--|

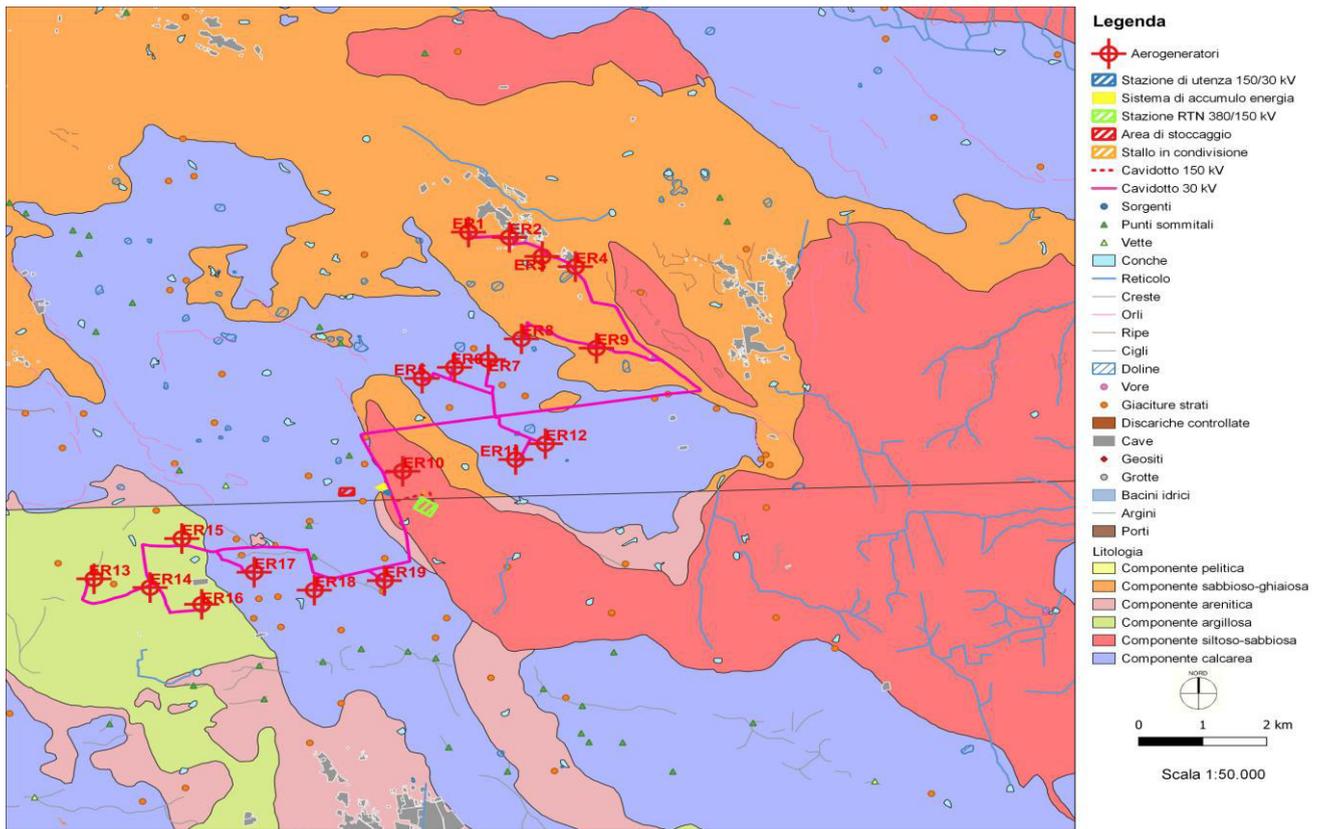


Fig.5: Stralcio carta idrogeomorfologica ufficiale redatta dall'Adb Regione Puglia

4. Inquadramento geologico generale

L'area morfologicamente pianeggiante e geologicamente caratterizzata dalla sovrapposizione, per trasgressione, di una serie sedimentaria clastica pleistocenica su di un substrato mesozoico carbonatico, ampiamente affiorante.

Il quadro lito-stratigrafico che si è ottenuto, è il risultato del complesso lavoro di coordinamento e correlazione di dati ottenuti dal rilevamento geologico di dettaglio, con i dati di letteratura e con informazioni precedentemente acquisite per zone limitrofe.

Si è osservato che la sequenza dal basso verso l'alto delle seguenti unità, dalla più antica alla più recente, è rappresentata da:

Calcarea di Altamura (Cretacico)

Questa unità rappresenta la parte più antica dell'intera penisola salentina; è costituita da calcari molto compatti di origine sia organogena che chimica, dove si alternano orizzonti chiari e orizzonti scuri, questi ultimi assumono tali caratteristiche per la presenza di dolomite.

La porzione più alta di tale unità dal punto di vista fossilifero, è caratterizzata dalla presenza di Hippurites e Radiolites. Tale Unità si presenta talvolta fratturata e alterata per fenomeni carsici superficiali e per effetto dell'ingressione marina Pleistocenica.

Calcarenite di Gravina (Pleistocene medio)

Arenarie calcaree bioclastiche, di colore generalmente bianco-giallastro, con patine grigiastre sulle superfici d'alterazione di antica genesi e marroncino giallastre su quelle di più recente formazione. La grana è generalmente fine, con rari frammenti (eccezionalmente poligenici) grossolani ed elementi di brecce alla base, inoltre hanno un buon grado di cementazione (legante carbonatico), a luoghi, basso. I litotipi sono massicci, con occasionali cenni di stratificazione sottolineati da orizzonti macrofossiliferi, in cui abbondano resti di molluschi ed echinidi. Sono fratturati, con giunti prevalentemente subverticali interdistanziati, solitamente, di diversi metri, ma sporadicamente poco spazati. Le discontinuità sono prive di una significativa organizzazione spaziale ed hanno aperture dei labbri comprese tra pochi millimetri ed alcuni centimetri. I materiali di riempimento sono assenti o costituiti da CaCO₃ di deposizione secondaria e da detriti in matrice limoso-argillosa marroncina.

Argille subappennine (Pleistocene inferiore)

Seguono, in continuità di sedimentazione e rappresentano il termine batimetricamente più profondo del ciclo sedimentario, le argille subappennine che sono costituite da argille e argille marnoso-siltose a luoghi fittamente stratificate. Queste affiorano su aree molto ristrette data la presenza di coperture trasgressive del Pleistocene medio-superiore. Nel sottosuolo esse occupano vaste aree come si evince da alcuni dati di perforazione che indicano spessori fino a 250 metri.

Depositi marini terrazzati

I depositi marini terrazzati affiorano lungo la fascia costiera e sono rappresentati da calcareniti bioclastiche ben cementate, stratificati, ricchi di fossili, poggianti con un contatto di tipo erosivo sulle unità più antiche. Il contenuto paleontologico è banale e poco significativo da un punto di vista cronologico. La potenza in affioramento è di pochi metri. L'ambiente di sedimentazione è di mare basso. In base ai rapporti stratigrafici le due unità possono essere riferite al Pleistocene medio- superiore.

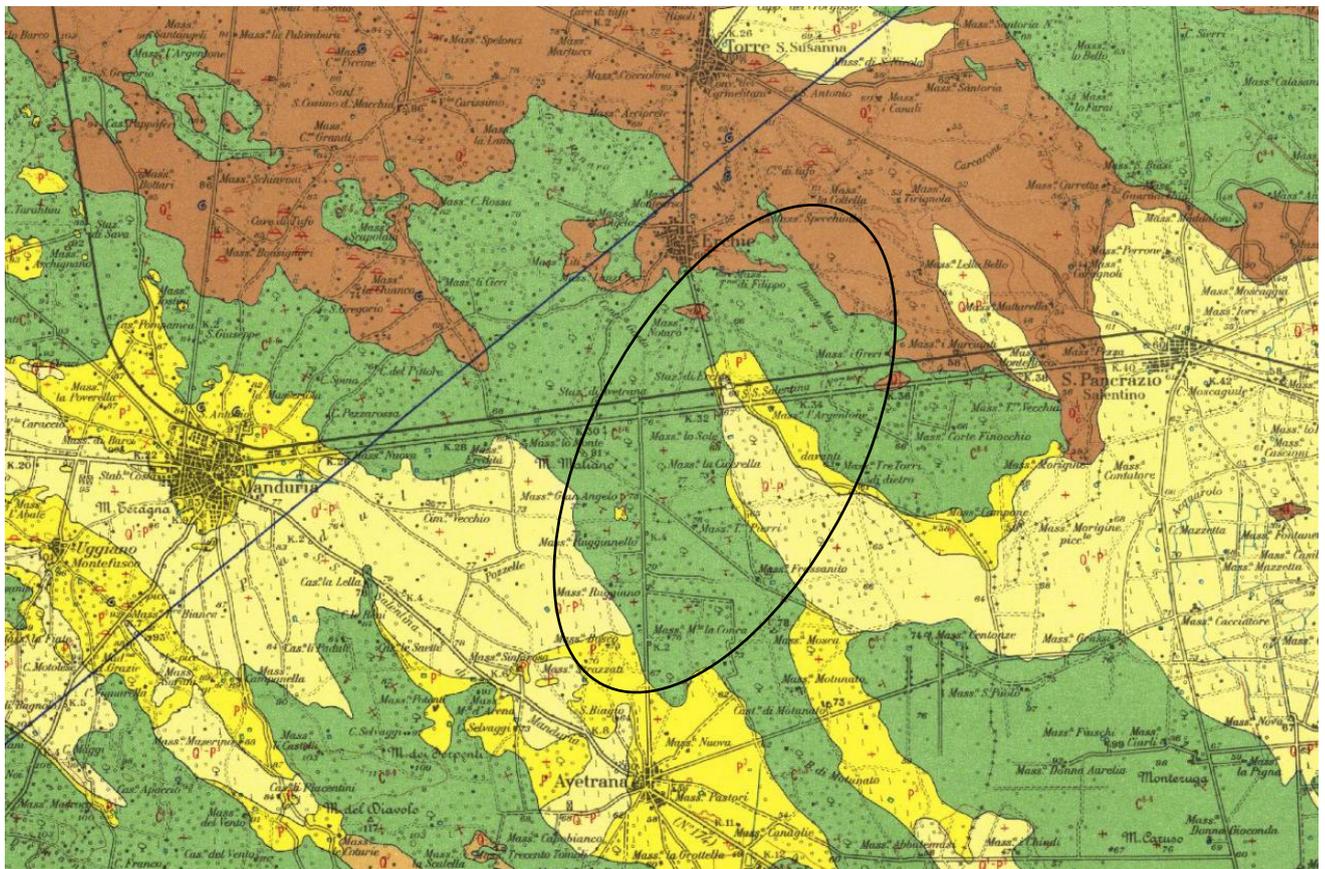
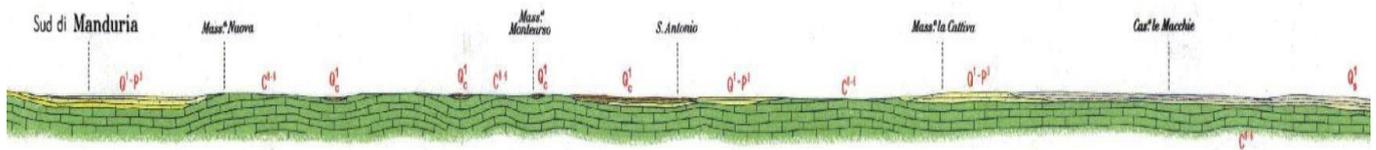


Fig.6: Inquadramento geologico generale dell'area in esame (Foglio 203, Brindisi) ,Sezione geologica, Legenda.



Formazioni marine
Formazioni continentali



Depositi eluviali principali e di "terra rosse".



Sabbie, sabbie argillose e limi grigi lagunari-palustri recenti.



Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurresse (q₁); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (q₂). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalina balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bulimina catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.

Livelli appartenenti alle CALCARENITI DEL SALENTO, aventi le seguenti caratteristiche:



(q³) Calcareniti e calcari tipo panchina, con ricca fauna non indicativa a *Elphidium crispum* (LIN.), *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Uvigerina peregrina* CUSH., *Sphaeroidina bulloides* D'ORB., *Cibicides bouanensis* (D'ORB.), *Cibicides floridanus* (CUSH). In trasgressione su (q²), oppure sulle formazioni cretetiche. In base ai rapporti stratigrafici, questo livello è attribuibile al Pleistocene.



(q²) Calcari bioclastici ben cementati ricchi di fossili non indicativi: *Elphidium complanatum* (D'ORB.), *Ecrippum* (LIN.), *Discorbis orbicularis* (TERO.), *Ammonia beccarii* (LIN.), *Cibicides floridanus* (CUSH). In trasgressione su (p¹) oppure sul Cretaceo. In base ai rapporti stratigrafici, questo livello è attribuibile al Pleistocene.



(q¹-p¹) Sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio-azzurre. Verso l'alto associazione calabriana: *Hyalina balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.) (CALABRIANO-PLIOCENE SUP.) In trasgressione sulle formazioni più antiche.



(p¹) Calcareniti, calcari tipo panchina, calcareniti argillose giallastre. Macrofauna a Coralli, Cirripedi, Molluschi, Echinidi, Crostacei tra cui *Cancer simonoides* MEY. var. *antiatina* MAX. Microfauna ad Ostracodi e Foraminiferi: *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Discorbis orbicularis* (TERO.), *Cibicides ungerianus* (D'ORB.), *C. lobatulus* (WALK. e JAC.), *Globigerinoides ruber* (D'ORB.), *G. succulifer* (BRADY), *Orbulina unimera* D'ORB., *Uvigerina aculeatocalis* (BRADY) (PLIOCENE SUP.-MEDIOP). In trasgressione sulle formazioni più antiche.

Calcari dolomitici e dolomie grigio-nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio-chiari. Microfossili non molto frequenti: *Thaumatoporella* sp., *Præglabrotuncana stephani* (GAND.), *P. stephani turbinata* (RECH.), *Rotalipora apenninica apenninica* (RENZ.), R. cf. *reischii* (MORN.), *Nummulculina* sp. (CENOMANIANO SUP. e forse TURONIANO). DOLOMIE DI GALATINA con passaggio graduale al CALCARE DI ALTAMURA (verso Nord e verso Ovest).

4.1 Caratteristiche geologiche di dettaglio

L'area morfologicamente pianeggiante e geologicamente caratterizzata dalla sovrapposizione, per trasgressione, di una serie sedimentaria clastica pleistocenica su di un substrato mesozoico carbonatico, a tratti affiorante. Il quadro lito-stratigrafico che si è ottenuto, è il risultato del complesso lavoro di coordinamento e correlazione di dati ottenuti dal rilevamento geologico di dettaglio, con i dati di letteratura e con informazioni precedentemente acquisite per zone limitrofe. Nel territorio in esame, è stata quindi accertata la presenza di due formazioni note in letteratura come **Calcarea di Altamura** e terreni appartenenti alla **Formazione di Gallipoli** termine col quale in letteratura si intende una sequenza di Calcareniti, Sabbie argillose e sabbie mediamente cementate di eta' Calabriana, di seguito si descrivono.

La successione litostratigrafica, è stata ricostruita grazie al rilevamento geologico e all'analisi di prospezioni sismiche e sondaggi geognostici effettuati nelle immediate vicinanze dell'area in oggetto.

Formazione di Gallipoli

Le calcareniti intercalate a vari livelli alle sabbie argillose sono rocce costituite essenzialmente da calcare granulare tenero, poroso e poco compatto, di colore bianco- giallastro, a grana variabile da ruditica a siltitica.

Le sabbie coprono abbondantemente i banchi calcarenitici e ad essi si intercalano. Sono essenzialmente sabbie calcaree poco cementate, sabbie argillose grigio-azzurre con presenza spesse volte di livelli esclusivamente argillosi che danno a questa formazione carattere di bassa permeabilità'.

Le calcareniti, interessano la maggior parte dei terreni in affioramento sono note anche come "tufi calcarei", di natura detritico-organogena sono di colore bianco o bianco- giallastro, risultano essere composte da detriti organici e da frammenti calcarei derivanti sia dal disfacimento dei sottostanti calcari cretacei che dalla sedimentazione chimico- organogena in ambiente marino costiero. La granulometria ed il grado di cementazione risultano variabili sia lateralmente che verticalmente.

La formazione è ben esposta sui fronti delle numerose cave presenti intorno all'area, dove si può osservare anche il contesto trasgressivo, con marcata discordanza angolare, sui calcari del substrato. Si può così notare, alla base del deposito, una granulometria della calcarenite grossolana a cemento rossastro ed una elevata compattezza e cementazione dell'orizzonte stesso.

La stratigrafia è stata desunta dalla correlazione tra le prove effettuate in sito e quelle eseguite in occasione di altri lavori svolti nelle vicinanze dell'area di interesse.

Le indagini effettuate in sito hanno consentito di suddividere in due macro-aree la zona studiata in base alle proprie caratteristiche litostatigrafiche.

In particolare la zona ad est, sud-est di Erchie è caratterizzata dall'affioramento, in superficie o poco al di sotto del p.c., di Calcari dolomitici fratturati (di conseguenza le penetrometrie si sono arrestate entro i primi 50-60 cm di profondità) ad esclusione della zona corrispondente all'aerogeneratore 1 nella quale si evidenzia la presenza di terreni costituiti da sabbie più o meno limoso-argillose moderatamente addensate.

La zona sud, sud-ovest ha mostrato caratteristiche variabili che evidenziano la presenza di materiale, costituito da sabbie più o meno limoso-argillose moderatamente addensate con rari livelli calcarenitici tipo panchina, passante in profondità (mediamente superiori a 5 metri) a calcareniti compatte. La zona poco a nord dell'abitato di Avetrana, in corrispondenza degli aerogeneratori 17, 18 e 19 è caratterizzata dalla presenza dei Calcari dolomitici fratturati.

Di seguito si riportano le cartografie esplicative e la rispettiva legenda.

Legenda:

Calcari dolomitici fratturati

Sabbie limoso-argillose
(Calcareniti del Salento)

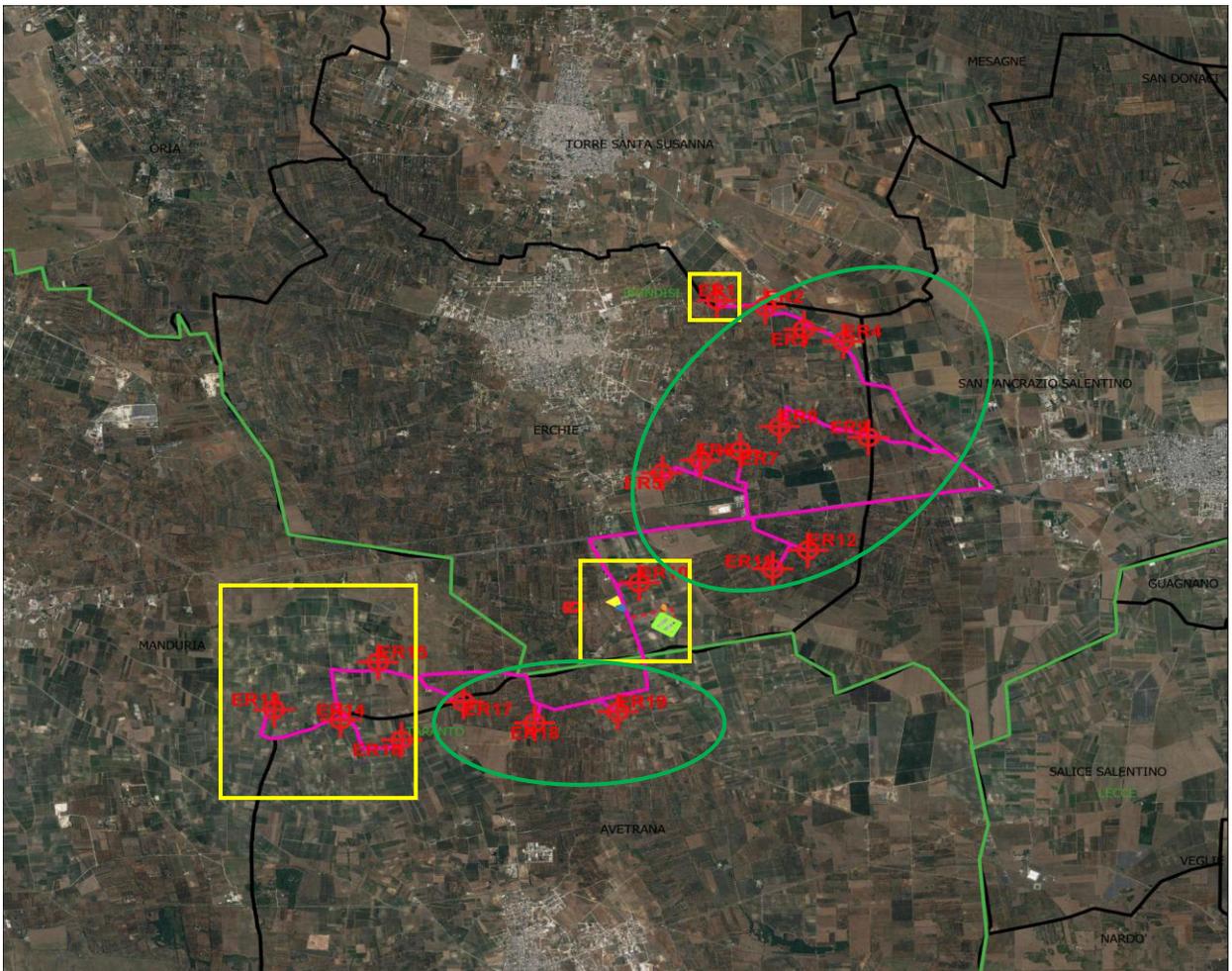
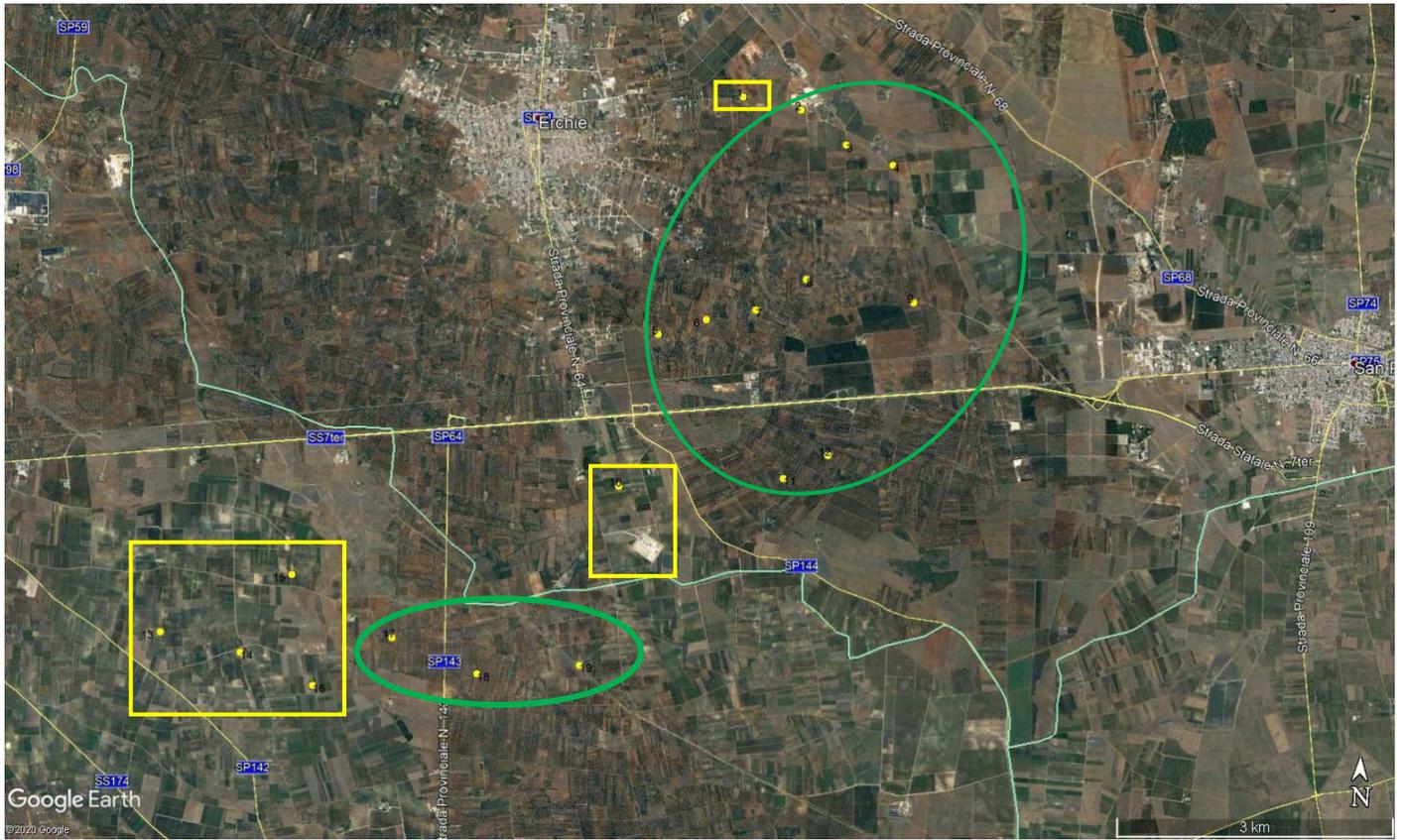
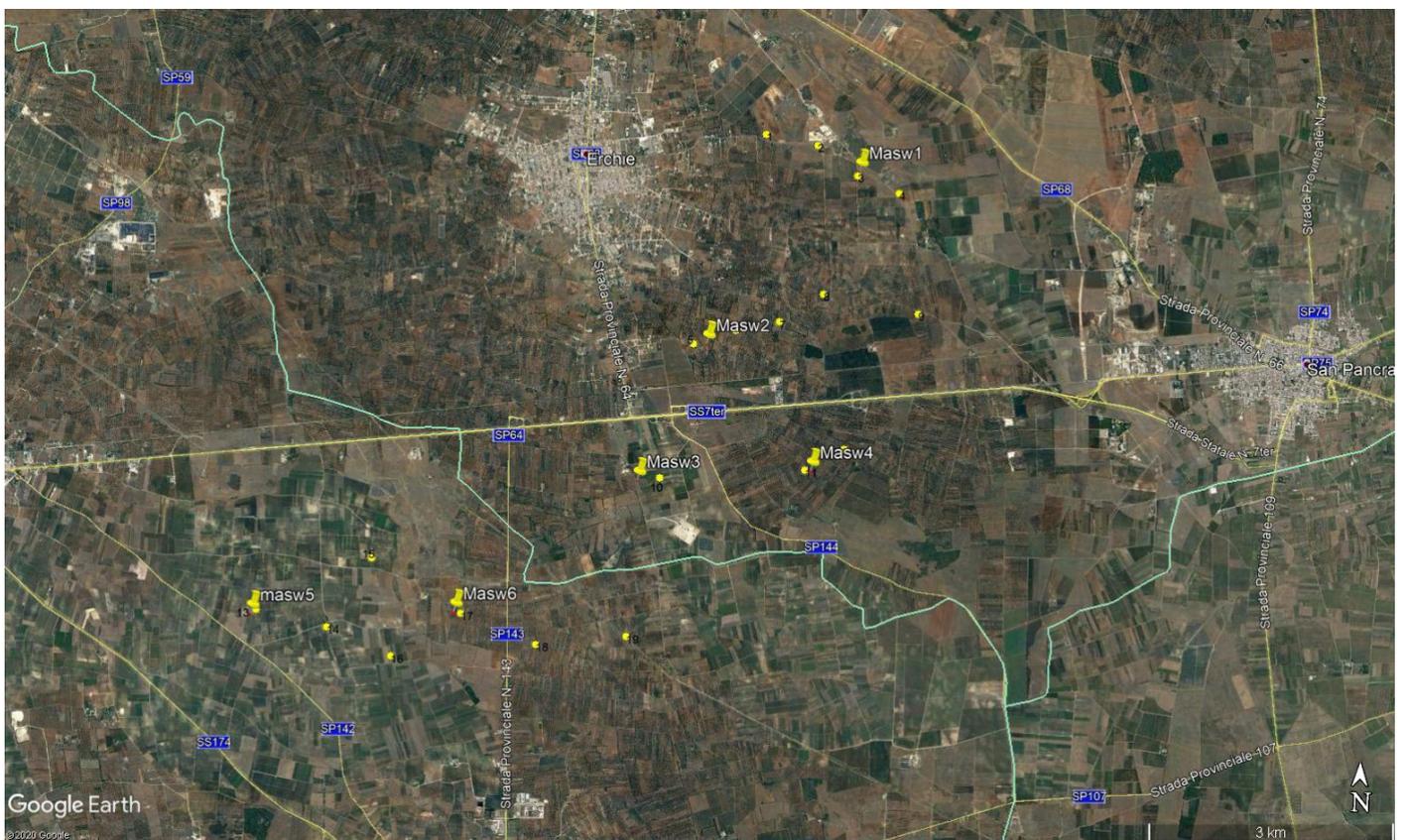
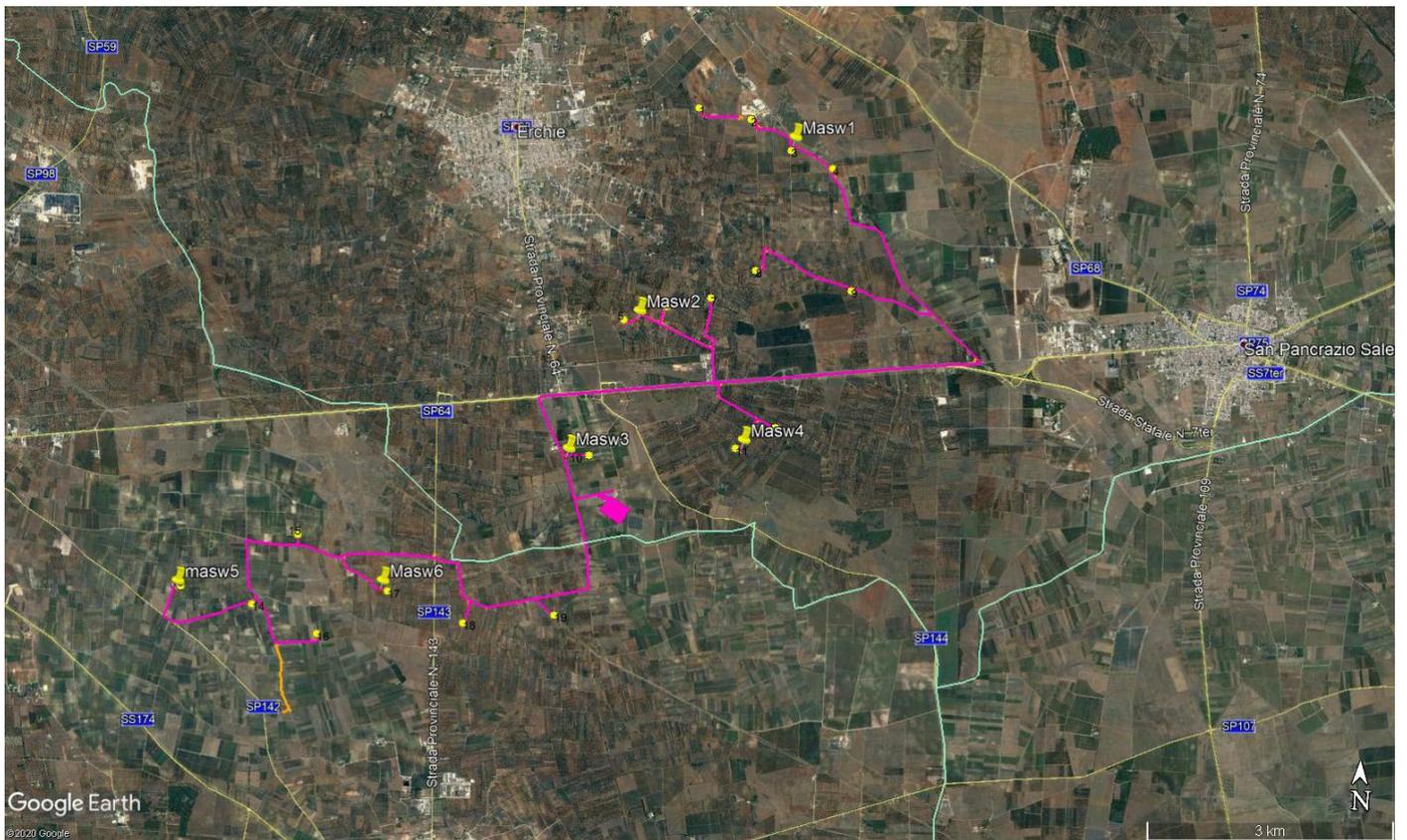


Fig. 7: Individuazioni macroaree, cerchiare in verde le zone di affioramento dei calcari e in giallo zone dei terreni calcarenitici

5. Caratterizzazione tecnica dei litotipi



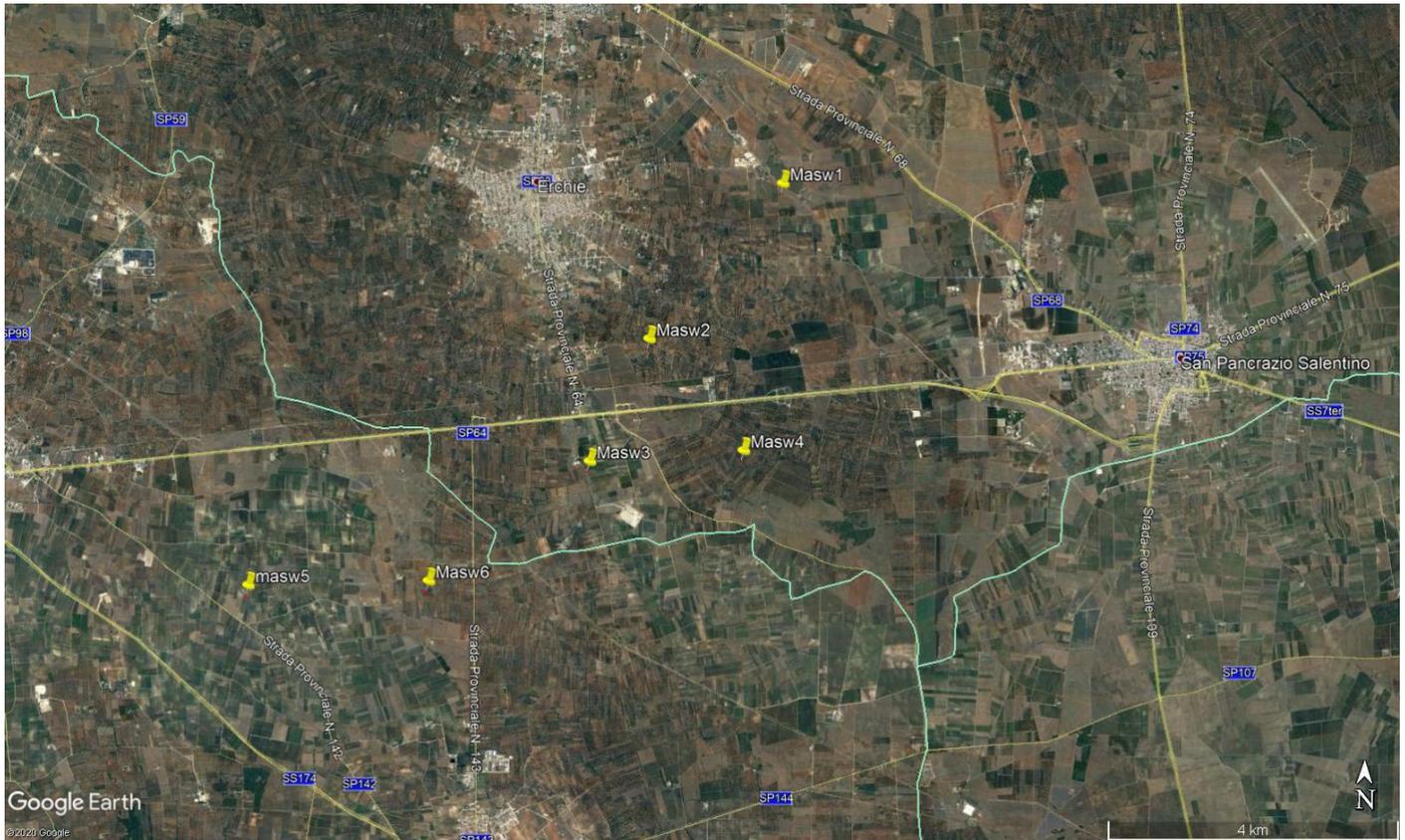
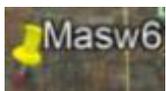


Fig. 8: Ubicazione indagini geonostiche

Legenda:



Ubicazione indagini Masw



Ubicazione indagini Penetrometriche (effettuate nei punti di realizzazione degli aerogeneratori)

Si riportano di seguito parametri geotecnici di massima risultanti dalla correlazione tra indagini effettuate ed altre eseguite in aree limitrofe rispetto quella di interesse.

Stratigrafia semplificata:

Area Est, Sud-Est

Terreno vegetale fino ad una profondità $\approx 0,50$ m

Calcere fratturato ad una prof. tra 0,50 e 3,00 m

Calcere dolomitico a profondità $>3,00$ m

Il materiale litoide che si rinviene poco al di sotto del p.c. appartiene alla formazione, conosciuta in letteratura, come "Calcarea di Altamura"; esso è costituito da una potente successione di calcari micritici microfossiliferi, da calcari a rudiste e da dolomie di piattaforma interna. È un calcarea compatto di colore bianco-grigiastro, a fratture irregolari, ben stratificato in livelli da pochi cm di spessore a banchi di ben 2 m circa. Gli strati calcarei cretacei hanno generalmente giacitura sub-orizzontale e solo raramente presentano inclinazioni che possono raggiungere un valore massimo di 10°, debolmente immergenti in direzione SSE e SE nella parte meridionale e NNE, NE nella zona a nord. Si tratta di rocce a consistenza lapidea, con delle ottime caratteristiche di portanza.

- Vp= 0- 500 m/sec terreno vegetale fino ad una profondità
- Vp = 500-1000 m/sec Calcarea fratturato
- Vp = >1000 m/sec Calcarea dolomitico compatto

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEL CALCARE	
Peso di Volume (g/cmc)	2,55 - 2,65
Peso specifico dei grani (g/cmc)	2,65 - 2,70
Porosità (%)	3
Resistenza a rottura (Kg/cm^q)	800 – 1200
Angolo di attrito (°)	38
Modulo di Poisson (P)	0.275
Modulo di incompressibilità(K) (kg/cm^q)	48.300

Area Sud, Sud-Ovest

Terreno vegetale fino ad una profondità ≈ 1,00 m

Sabbie limoso-argillose moderatamente addensate con livelli tipo panchina tra ≈ 1,00 e 5,0 m

Calcarenite > 5,00 m

Il materiale che si rinviene nell'area Sud, come precedentemente specificato appartiene alla formazione, conosciuta in letteratura, come "Formazione di Gallipoli" o "Calcareniti del Salento" Le calcareniti intercalate a vari livelli alle sabbie argillose sono rocce costituite essenzialmente da calcarea granulare tenero, poroso e poco compatto, di colore bianco-giallastro, a grana variabile da ruditica a siltitica.

Le sabbie coprono abbondantemente i banchi calcarenitici e ad essi si intercalano. Sono essenzialmente sabbie calcaree poco cementate, sabbie argillose grigio-azzurre con presenza spesse volte di livelli esclusivamente argillosi che danno a questa formazione carattere di bassa permeabilità.

Le calcareniti, interessano la maggior parte dei terreni a profondità maggiori di 3 metri sono note anche come “tufi calcarei”, di natura detritico-organogena sono di colore bianco o bianco-giallastro, risultano essere composte da detriti organici e da frammenti calcarei derivanti sia dal disfacimento dei sottostanti calcari cretacei che dalla sedimentazione chimico-organogena in ambiente marino costiero.

	Sabbie	Calcarenite
Densità relativa (%)	56	73
Angolo di attrito (°)	35	46
Modulo Young (kg/cmq)	210	402
Modulo edometrico (kg/cmq)	82	162
Coesione (kg/cmq)	0.0	0.00
Peso di volume (gr/cmc)	1.75	1.72
Classificazione AGI	Mod.addensato	Molto adensato
Modulo di Poisson	0.3	0.22
Modulo di def. al taglio (kg/cmq)	1443	3313
Modulo di reazione (Kg/cmc)	5.19	11.31

6. Sismicità del territorio

L'azione sismica di riferimento, in base alla normativa italiana, in accordo con gli eurocodici è legata da un lato alla sismicità dell'area e dall'altro alle caratteristiche locali del terreno. A seguito della riclassificazione sismica nazionale, indicata all'interno dell'OPCM 3274, l'intero territorio italiano è suddiviso in quattro zone sismiche ciascuno delle quali è contrassegnata da un diverso valore di a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo rigido, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ossia con un tempo di ritorno di 475 anni. Si evidenzia che l'Ordinanza 3274 attribuisce alle singole Regioni la facoltà di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica per le costruzioni sui territori in zona sismica categoria 4. A livello regionale la normativa vigente è rappresentata dalla “Deliberazione della Giunta Regionale 2 marzo 2004, n. 153 - L.R. 20/00 - O.P.C.M. 3274/03 – Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e

delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti - Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi.” I valori convenzionali di a_g assegnati nelle quattro zone sismiche fanno riferimento all’accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali. In presenza di suoli di tipo B, C, D, E, S_1 , S_2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock in funzione dell’intensità e del contenuto in frequenza dell’input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.

Ai fini dell’applicazione di queste norme, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. I valori di a_g , espressi come frazione dell’accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono, salvo più accurate determinazioni, che possono portare a differenze comunque non superiori al 20% dell’accelerazione per le zone 1 e 2 e non superiori a 0.05g nelle altre zone:

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0.15g
4	0,05g

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani il **territorio di Erchie (BR) rientra nella “Zone sismica 4” “Rischio minino”**. (Cfr. Carta Zone Sismiche)

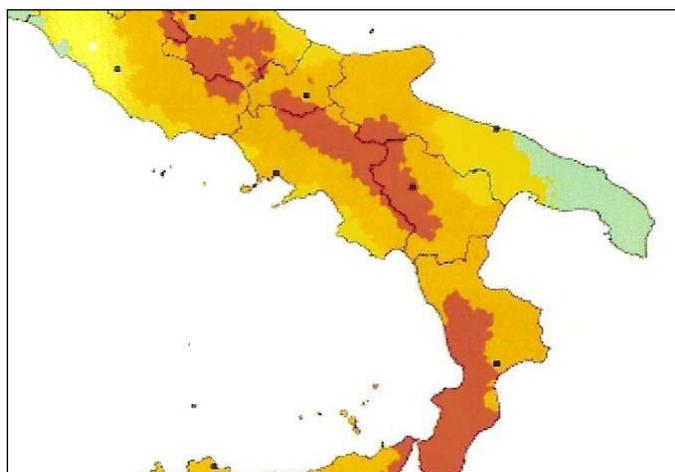


Fig.9: Classificazione Sismica (OPCM 3274/2004, D.M 17/01/2018)

6.1 Metodologia Masw

L'indagine geofisica è stata realizzata mediante l'impiego della tecnica MASW. Il metodo MASW (Multichannel Analys of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, finalizzata ad individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s basandosi sulla misura delle onde superficiali effettuata in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo fondamentale alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. Il metodo di indagine MASW si distingue in *metodo attivo* e *metodo passivo* o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi da informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10 Hz, quindi da informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo (Roma, 2006).

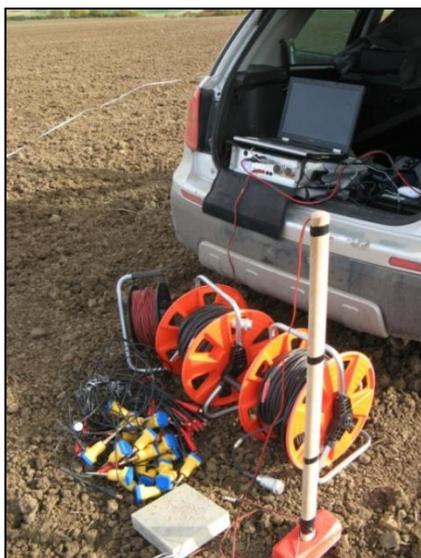
L'indagine geofisica di tipo MASW consente la classificazione del suolo secondo la nuova normativa sismica OPCM 3274 il DM 19/09/2005 e il DM 14/01/2008 e 17/01/2018, ed è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 metri di profondità:

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_i^n \left(\frac{h_i}{V_{si}} \right)}$$

Dove V_{si} e h_i sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i -esimo.

6.2 Strumentazione utilizzata e modalità di acquisizione

L'indagine geofisica di tipo MASW, è stata realizzata mediante la stesura di n°1 profilo sismico per l'area di intervento, come mostrato in figura, utilizzando un cavo da 48 metri con 24 geofoni a frequenza di 4.5 Hz e spaziatura costante di 2 metri. La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è costituita da un Sismografo Ambrogeo Echo2002 sismic unit con numero di canali 24, A/D conversione 16 bit. La tecnica Masw prevede l'utilizzo della sorgente attiva per l'energizzazione (mazza battente da 10 Kg) ed una piastra appoggiata al terreno. Come parametri di acquisizione si è impostata una durata di acquisizione pari a 1 secondo. L'acquisizione dei dati è avvenuta impostando due punti di energizzazione (shots) il primo a 5 metri dal primo geofono ed il secondo a 10 metri.



6.3 Elaborazione dati

La fase di elaborazione dei dati consiste in tre fasi:

1. La prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. La seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. La terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software WinMasw 4.3 Standard della ElioSoft. Il sismogramma, la curva di dispersione e i risultati dell'elaborazione sono riportati di seguito in figura. In alto a sinistra è riportato lo spettro osservato, la curva di dispersione piccata e le curve del modello individuato dall'inversione. In fase di elaborazione è stato impostato un modello a 4 strati. Sulla destra il profilo verticale V_s identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni".

L'elaborazione dei dati, mediante il processo di inversione, ha portato al calcolo del parametro delle V_s30 .

La $V_s 30$ calcolata per l'area di impianto risulta essere:

Masw1 $V_s 30 = 985$ m/sec

Masw2 $V_s 30 = 610$ m/sec

Masw3 $V_s 30 = 493$ m/sec

Masw4 $V_s 30 = 1149$ m/sec

Masw5 $V_s 30 = 259$ m/sec

Masw6 $V_s 30 = 1153$ m/sec

Il calcolo delle V_s , permette di classificare il terreno di fondazione in una delle categorie di suolo in ottemperanza del D.M 14/09/2005 e D.M 14/01/2008 ed infine 17/01/2018. Le aree oggetto di indagine **Masw 1, 4 e 6** rientrano in **CATEGORIA A**, **Masw 2 e 3** rientrano in **CATEGORIA B** e la **Masw 5** rientra in **CATEGORIA E**

N.B. :

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

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

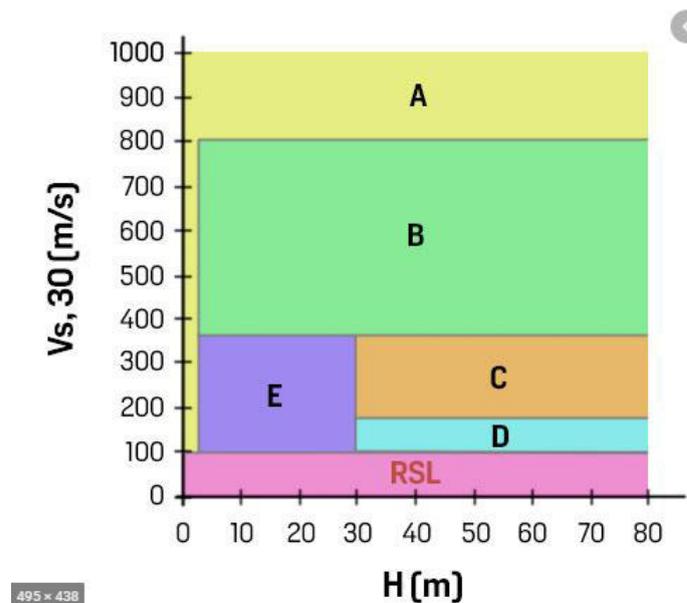
- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Capitolo 3, 3.2.2 – D.M. 17 gennaio 2018

Seguendo le indicazioni della normativa di riferimento del 2018 e tenendo conto dello schema riportato di seguito si può, con buona approssimazione, considerare la categoria di sottosuolo individuata dalle V_{s30} uguale a quella delle $V_{s,eq}$.



CategoriaA

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.

CategoriaB

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.

CategoriaC

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.

CategoriaD

Depositi 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 m/s e 180 m/s.

CategoriaE

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 30m.

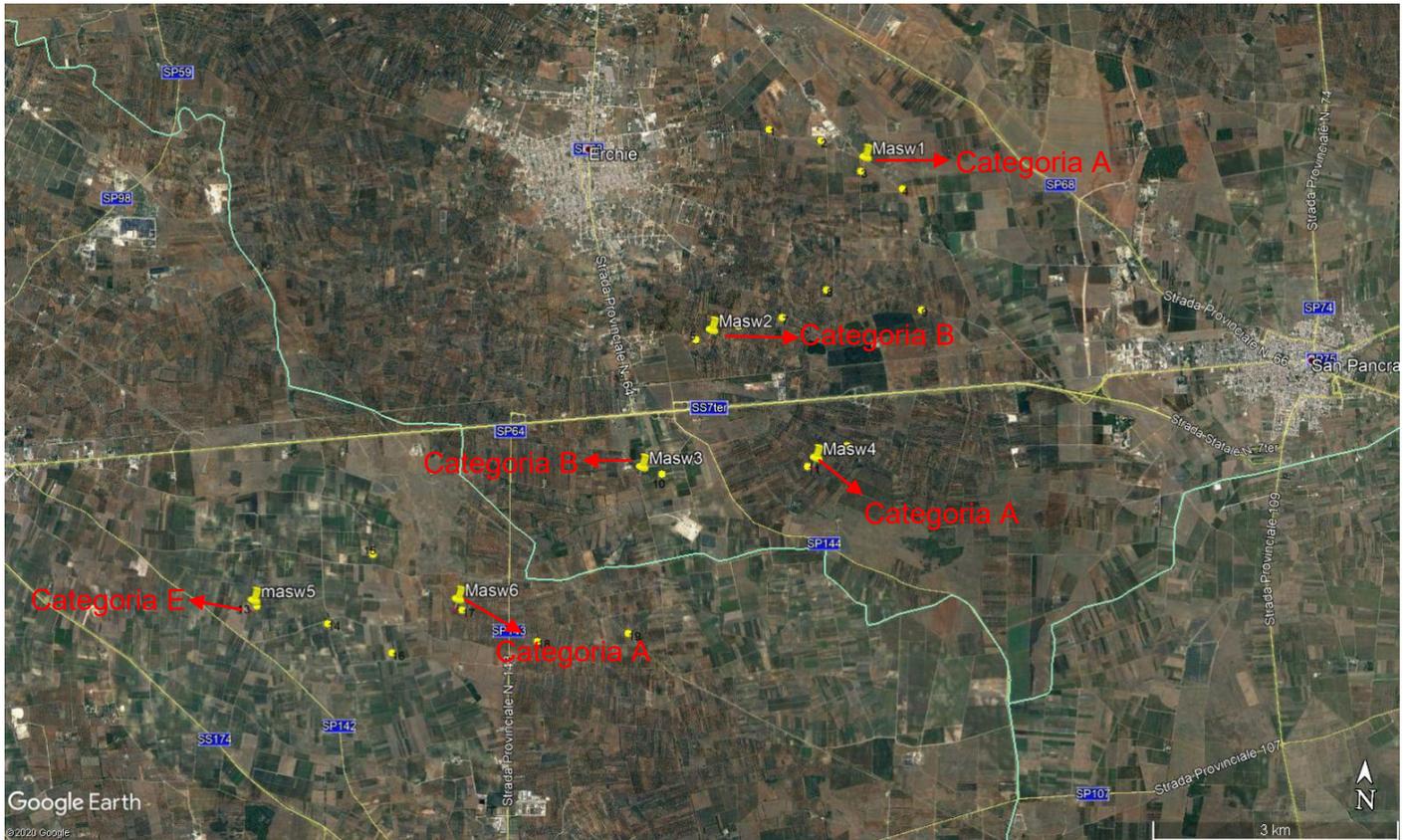
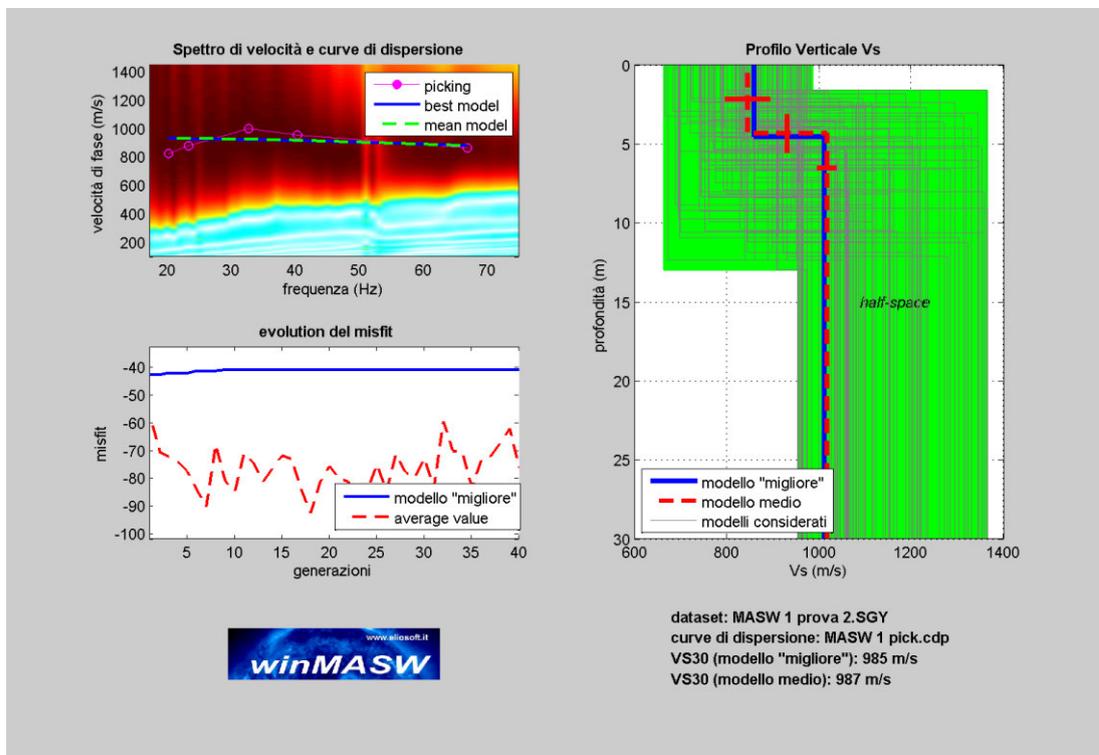
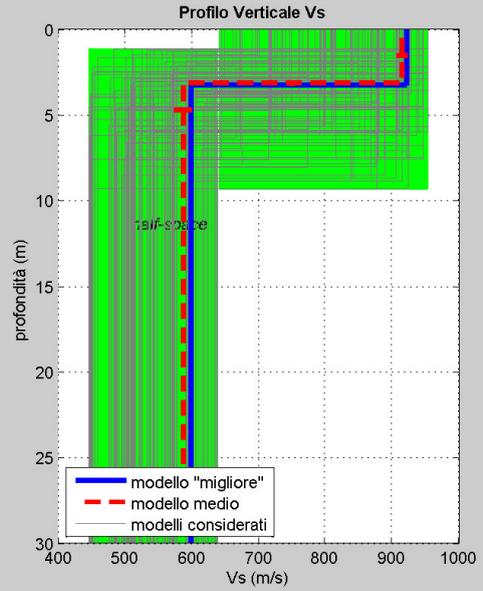
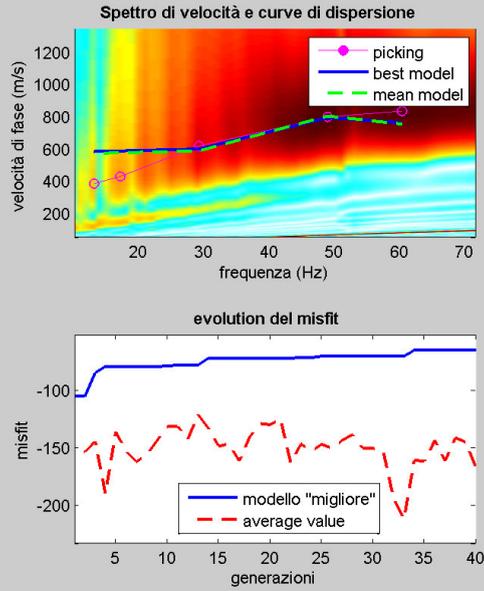
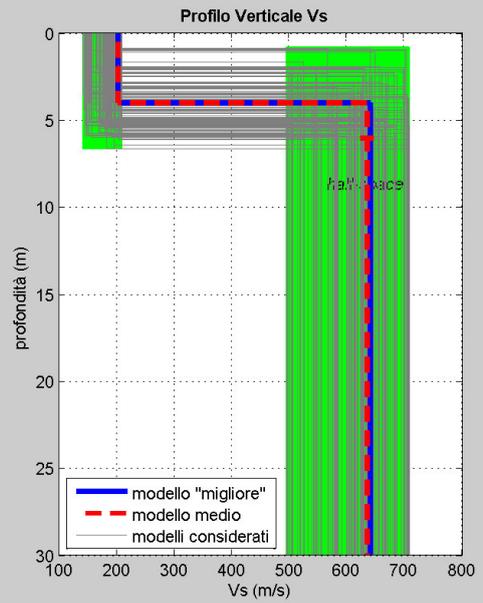
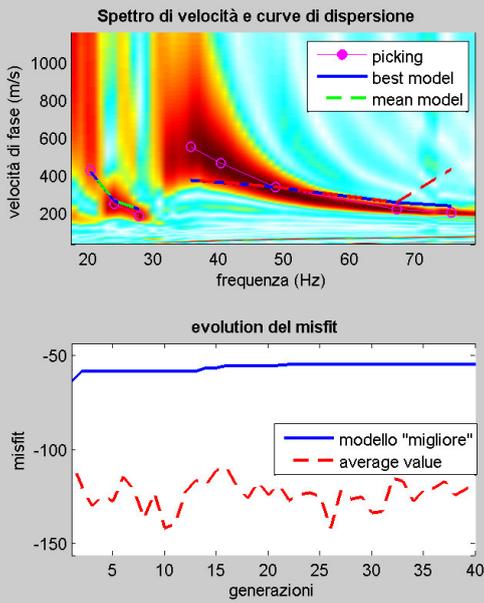


Fig.10: Sintesi delle categorie di sottosuolo risultanti dalle indagini geofisiche

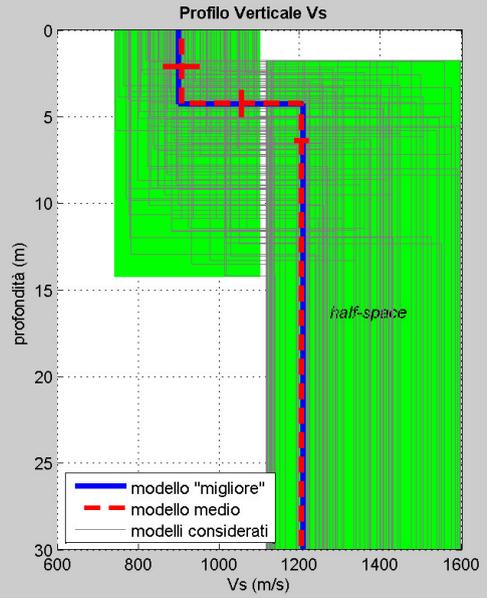
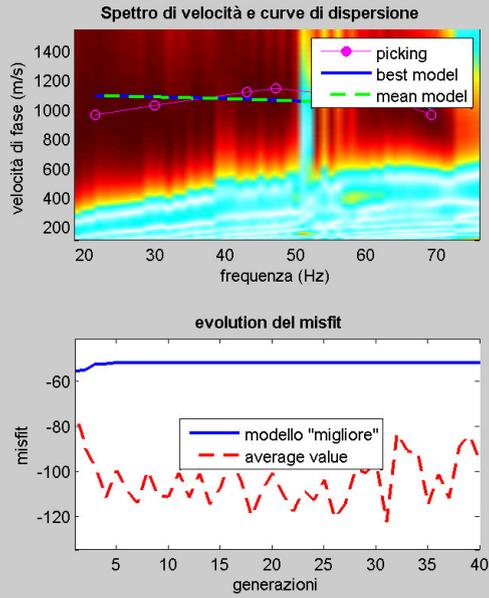




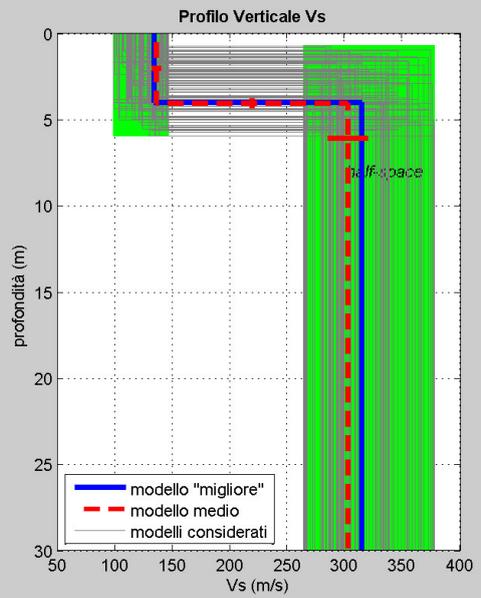
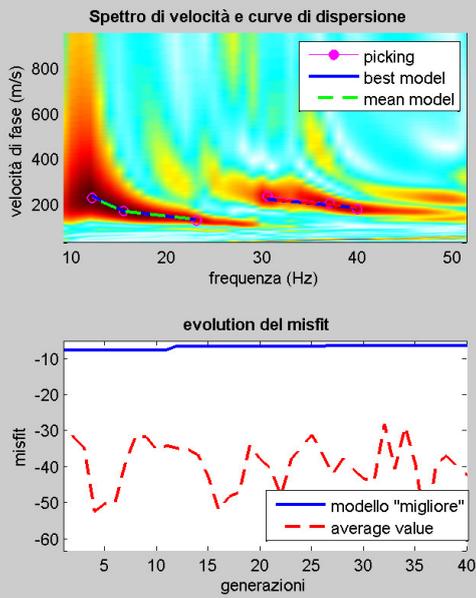
dataset: MASW 2 prova 3.SGY
 curve di dispersione: MASW 2 pick.cdp
 VS30 (modello "migliore"): 623 m/s
 VS30 (modello medio): 610 m/s



dataset: MASW 3 prova 1.SGY
 curve di dispersione: MASW 3 pick.cdp
 VS30 (modello "migliore"): 495 m/s
 VS30 (modello medio): 493 m/s



dataset: MASW 4 prova 1.SGY
 curve di dispersione: MASW 4 pick.cdp
 VS30 (modello "migliore"): 1150 m/s
 VS30 (modello medio): 1149 m/s



dataset: MASW 5 prova 1.SGY
 curve di dispersione: MASW 5 pick.cdp
 VS30 (modello "migliore"): 266 m/s
 VS30 (modello medio): 259 m/s

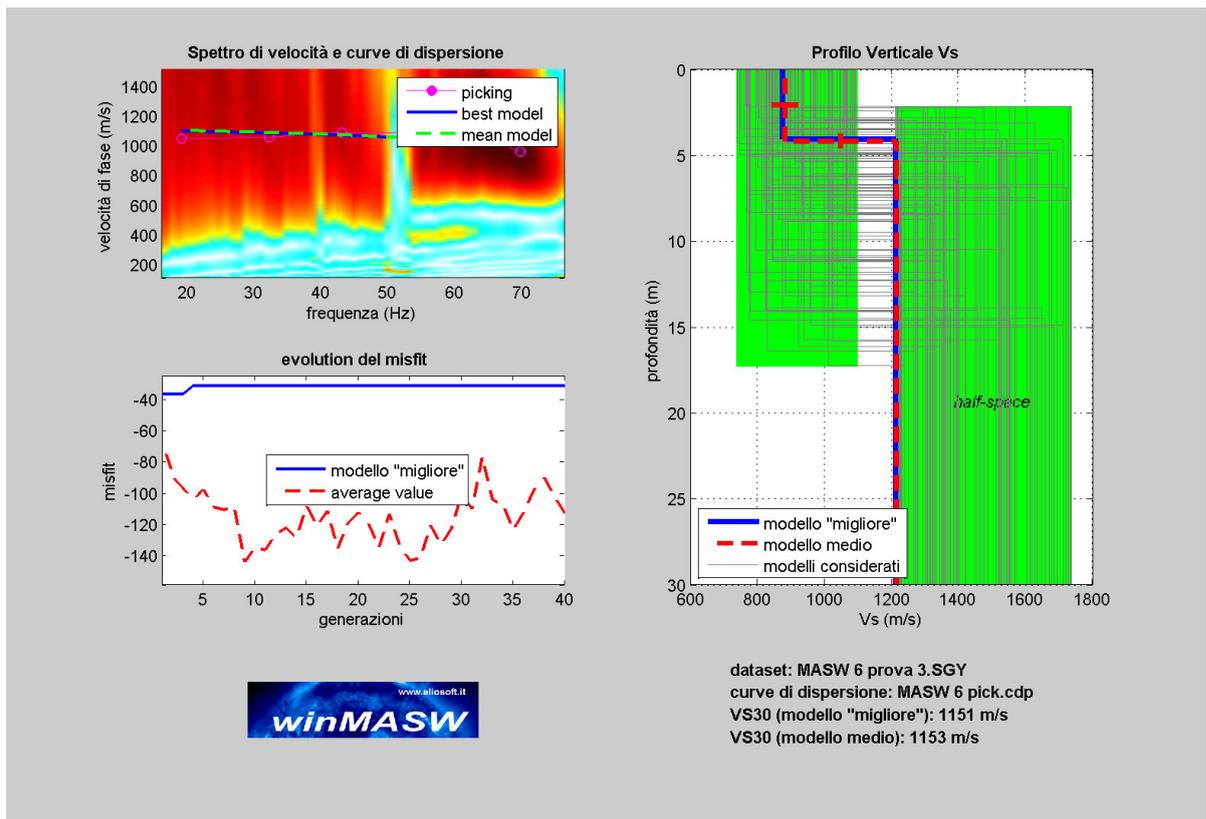


Fig. 11: Picking e curva di dispersione area Nord, classificazione suolo tipo A

6.4 Prove Penetrometriche dinamiche continue (DPM)

La prova penetrometrica dinamica continua, è stata realizzata mediante l'utilizzo del penetrometro medio-leggero TG 30-20 dotato di un maglio da 30 Kg, con un'altezza di caduta di 0,2 metri. Per l'esecuzione della prova vengono utilizzate aste ϕ 20 mm della lunghezza di 1000 mm, dotate di estremità filettate MF/M14; la punta conica ha un diametro di base di 35,7 mm e un angolo di apertura di 60° . Il valore della resistenza alla perforazione è rappresentato dal numero di colpi necessari per ciascun affondamento di 10 cm (N_{10}).

Di seguito si riportano le caratteristiche principali dello strumento utilizzato.

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DPM (Medium)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DPM (Medium)

PESO MASSA BATTENTE	M = 30.00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0.20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 30.00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 35.70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 10.00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1.00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 2.06 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0.80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0.10$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(10) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 6.00 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 0.766$ (teoricamente : Nspt = β_t N)



Fig.12: Penetrometro dinamico continuo (DPM – PAGANI Geotechnical Equipment)

In allegato si riporteranno le elaborazioni delle indagini penetrometriche con le tabelle sui valori di resistenza, sul numero di colpi, sulla resistenza dinamica e sui parametri geotecnici.

7. Conclusioni

Lo studio effettuato riguarda l'intero impianto comprensivo di aerogeneratori e relative opere di connessione.

Morfologicamente Il sito di studio è ubicato ad est, sud-est a sud-ovest rispetto all'abitato del Comune di Erchie, topograficamente l'area, essendo di notevole estensione, si trova a cavallo tra le province di Brindisi e Taranto ma ricade interamente nel foglio 203 della Carta d'Italia dell'I.G.M. Altimetricamente la zona risulta pianeggiante e si trova a quote variabili tra circa 55-75 metri slm e rientra, dal punto di vista geologico generale, in un contesto morfo-strutturale che presenta i lineamenti tipici delle propaggini meridionali dell'avampese, una zona a debole pendenza e depressa della provincia di Brindisi conosciuta anche come le Serre salentine.

In generale nell'area vasta di studio esistono delle cave di "tuffi" attive ma principalmente abbandonate, esistono numerosi recapiti finali di bacini endoreici e diverse cavità o strutture carsiche intorno e soprattutto a sud dell'abitato di Erchie, risultano anche evidenti diversi sistemi di orli di scarpate delimitanti forme semispianate che attraversano parzialmente l'area interessata dall'impianto di progetto nella sua parte centrale, inoltre l'area è caratterizzata da diversi cambi di pendenza e litologia, verso sud ci sono degli assi di displuvio e piccole creste smussate. Il sito risulta inserito in un ambiente con diverse doline quindi l'area vasta presenta un certo rischio geomorfologico. *L'area non presenta particolari criticità ma bisognerà porre particolare attenzione alle forme legate al carsismo ed alla presenza dei bacini endoreici che potrebbero causare periodicamente ristagni d'acqua, inoltre risultano evidenti cambi di pendenza e litologia.*

Geologicamente Nel territorio in esame, è stata accertata la presenza di due formazioni note in letteratura come **Calcarea di Altamura** e terreni appartenenti alla **Formazione di Gallipoli** termine col quale in letteratura si intende una sequenza di Calcareniti, Sabbie argillose e sabbie mediamente cementate di età Calabriana. I litotipi affioranti, facenti parte della Formazione di Gallipoli presenta una permeabilità medio-bassa che tende ad aumentare con la profondità, incontrando le calcareniti permeabili per porosità, mentre i calcari hanno una permeabilità per fratturazione medio-alta.

Le indagini effettuate in sito hanno consentito di suddividere in due macro-aree la zona studiata in base alle proprie caratteristiche litostatigrafiche.

In particolare la zona ad est, sud-est di Erchie è caratterizzata dall'affioramento, in superficie o poco al di sotto del p.c., di Calcari dolomitici fratturati (di conseguenza le penetrometrie si sono arrestate entro i primi 50-60 cm di profondità) ad esclusione della zona corrispondente all'aerogeneratore 1 nella quale si evidenzia la presenza di terreni costituiti da sabbie più o meno limoso-argillose moderatamente addensate.

La zona sud, sud-ovest ha mostrato caratteristiche variabili che evidenziano la presenza di materiale, costituito da sabbie più o meno limoso-argillose moderatamente addensate con rari livelli calcarenitici tipo panchina, passante in profondità (mediamente superiori a 5 metri) a calcareniti compatte. La zona poco a nord dell'abitato di Avetrana, in corrispondenza degli aerogeneratori 17, 18 e 19 è caratterizzata dalla presenza dei Calcari dolomitici fratturati.

Stratigrafia semplificata:

Area Est, Sud-Est

Terreno vegetale fino ad una profondità $\approx 0,50$ m

Calccare fratturato ad una prof. tra 0,50 e 3,00 m

Calccare dolomitico a profondità $>3,00$ m

Area Sud, Sud-Ovest

Terreno vegetale fino ad una profondità $\approx 1,00$ m

Sabbie limoso-argillose moderatamente addensate con livelli tipo panchina tra $\approx 1,00$ e 5,0 m

Calcarenite $> 5,00$ m

Sismica

Per ciò che concerne l'aspetto sismico, si ricorda che l'area è inserita nella zona **4** della nuova classificazione sismica (Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003).

Il calcolo delle Vs, permette di classificare il terreno di fondazione in una delle categorie di suolo in ottemperanza del D.M 14/09/2005 e D.M 14/01/2008 ed infine 17/01/2018. Le aree oggetto di indagine **Masw 1, 4 e 6** rientrano in **CATEGORIA A**, **Masw 2 e 3** rientrano in **CATEGORIA B** e la

Masw 5 rientra in CATEGORIA E

Nell'ambito di tale classificazione, considerando i terreni presenti e seguendo le indicazioni della normativa di riferimento del 2018 si può, con buona approssimazione, considerare la categoria di sottosuolo individuata dalle Vs30 uguale a quella delle Vs_{eq}.

CategoriaA

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.

CategoriaB

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.

CategoriaE

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 30m.

Viste le caratteristiche geolitologiche, stratigrafiche, e la particolarità delle opere in progetto si suggerisce la posa in opera delle fondazioni, opportunamente dimensionate e verificate all'interno degli strati lapidei più compatti e meno fratturati.

In particolare, nelle aree ad est, sud-est dove è stata riscontrata la presenza dei calcari, si consiglia di approfondire le fondazioni a profondità sempre > di 3 metri dal piano campagna.

Nelle aree sud, sud-ovest dove risultano evidenti terreni con proprietà meccaniche discontinue ed eterogenee sarebbe consigliabile approfondire le fondazioni a profondità > di 10 metri per intercettare il bedrock.

Se ritenuto opportuno si potrebbe anche asportare la porzione superficiale del terreno vegetale.

