



MAGGIO 2022

SOCIETA' AGRICOLA SOLARPOWER SRL

IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO

COLLEGATO ALLA RTN

POTENZA NOMINALE 46.6 MW

COMUNE DI NARDO' (LE)

Montagna

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Relazione Geologico-Geotecnica



Progettista

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Geologo

Dott. Geologo Massimiliano Kovacs n. ordine Geo. Lombardia 1021

Codice elaborato

2725_4463_NA_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica e geotecnica



Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2725_4463_NA_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica e geotecnica	05/2022	Prima emissione	MK	CP	L. Conti

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Direzione Tecnica	Ordine Ing. Pavia 1726
Corrado Pluchino	Project Manager	Ord. Ing. Milano A27174
Riccardo Festante	Progettazione Elettrica, Rumore e Comunicazioni	Tecnico acustico/ambientale n. 71
Daniele Crespi	Coordinamento SIA	
Marco Corrà	Architetto	
Fabio Lassini	Ingegnere Idraulico	Ord. Ing. Milano A29719
Francesca Jaspardo	Esperto Ambientale	
Mauro Aires	Ingegnere strutturista	Ordine Ing. Torino 9583J
Andrea Fronteddu	Ingegnere Elettrico	Ordine Ing. Cagliari. 8788
Matteo Lana	Ingegnere Ambientale	
Sergio Alifano	Architetto	
Paola Scaccabarozzi	Ingegnere Idraulico	
Guido Bezzi	Agronomo	Ordine Agronomi di Foggia n. 382
Caterina Polito	Archeologo	Operatori abilitati all'archeologia preventiva n.2617
Fabio De Masi	Ingegnere – Acustico	Elenco nazionale ENTECA N. 5291
Matthew Piscedda	Perito Elettrotecnico	
Andrea Fanelli	Perito Elettrotecnico	
Massimiliano Kovacs	Geologo	Ordine Geologi Lombardia n.1021



INDICE

1. PREMESSA	4
1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2. LINEAMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI GENERALI	7
2.1 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
3. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE.....	20
3.1 METODOLOGIE DI INDAGINE ADOTTATE	20
3.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI RILIEVI: ATTIVITÀ DI CAMPO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
3.3 RISULTATI INDAGINE GEOSISMICA.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
3.3.1 Elaborazione dell'indagine sismica di tipo MASW	Errore. Il segnalibro non è definito.
3.3.2 Elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione	Errore. Il segnalibro non è definito.
4. INDAGINE PENETROMETRICA.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
5. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA	28
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA (D.M. 17.01.2018 N.T.C.)	29
7. SINTESI CONCLUSIVA	34



1. PREMESSA

Il presente documento ha lo scopo di individuare ed analizzare l'assetto geologico, geomorfologico, idrologico, geotecnico e geosismico, dei terreni interessati alla realizzazione di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a Nord - Ovest del territorio comunale di Nardò (LE) di potenza pari a 46.6 MW. Si è verificata, inoltre, la compatibilità del progetto con gli strumenti di pianificazione territoriale come la carta Idrogeomorfologica, il P.A.I., il P.P.T.R. ed il Piano di Tutela delle Acque.

Lo sviluppo del progetto è affrontato dalla Società Agricola Solarpower s.r.l..

È stata così programmata una fase di studio nel rispetto del DM. 17.01.2018 - Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni», che ha previsto uno schema di lavoro come di seguito riportato:

- Inquadramento geologico dell'area, per la indicazione dell'ambiente geologico, geomorfologico, idrogeologico e strutturale generale [pericolosità geologica del territorio]
- Rilevamento geologico di dettaglio, di un'area sufficientemente ampia, entro la quale ricade l'intervento in oggetto, atto alla definizione geologica, geomorfologica, idrogeologica, con particolare riferimento alla caratterizzazione della natura e del tipo di strutture sedimentarie dei corpi geologici presenti [controllo litologico di dettaglio]
- Indagini geognostiche eseguite in sito, per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dalle opere in progetto [accertamento litotecnico].
- Analisi delle indagini geognostiche, con l'interpretazione delle indagini di campagna e la valutazione delle proprietà elastiche e meccaniche dei terreni investigati.

Durante la prima fase è stato effettuato una ricerca bibliografica, un esame fotointerpretativo e un successivo rilievo di superficie per la verifica dello stato dei luoghi e la corretta pianificazione delle indagini geognostiche.

Relativamente alla campagna di indagini, per la redazione del presente documento, si sono utilizzati i risultati di una campagna di indagini geofisiche realizzata in una fase precedente del progetto, che ha previsto l'esecuzione di prospezioni come di seguito elencate.

- n. 1 prospezione sismica a rifrazione
- n. 1 prospezione sismica superficiale con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);

Le considerazioni tecniche conclusive sono state ponderate in funzione della conoscenza geologica della zona e dell'attendibilità dei dati ottenuti, operando con un giusto grado di cautela nella definizione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, avvalendosi anche di studi pregressi realizzati nello stesso ambito di riferimento.



1.1 DATI GENERALI DEL PROGETTO

Nella tabella seguente sono riepilogate in forma sintetica le principali caratteristiche tecniche dell'impianto di progetto.

Tabella 1.1: Dati di progetto

ITEM	DESCRIZIONE
Richiedente	SOCIETA' AGRICOLA SOLARPOWER SRL
Luogo di installazione:	Nardò (LE)
Denominazione impianto:	"Psaier Nardò"
Potenza di picco (MW _p):	46.6 MWp
Informazioni generali del sito:	Sito ben raggiungibile, caratterizzato da strade esistenti, idonee alle esigenze legate alla realizzazione dell'impianto e di facile accesso. La morfologia è piuttosto regolare.
Connessione:	Interfacciamento alla rete mediante soggetto privato nel rispetto delle norme CEI
Tipo strutture di sostegno:	Strutture metalliche in acciaio zincato tipo Tracker fissate a terra su pali
Inclinazione piano dei moduli:	+55° - 55°
Azimut di installazione:	0°
Caratterizzazione urbanistico vincolistica:	Il PUG del Comune di Nardò colloca l'area di intervento in zona E1 –agricola
Cabine PS:	n. 11 cabine distribuite in campo
Cabina elettrica di smistamento:	n. 2 cabine interne al campo FV da cui esce linea a 30 kV
Rete di collegamento:	Media Tensione 30 kV
Coordinate area nord (punto di allaccio cavidotto MT):	40.354214° N 17.817373° E 95 m slm
Coordinate area sud (punto di allaccio cavidotto MT):	40.343591° N 17.810541° E 55 m slm

1.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il progetto dell'impianto fotovoltaico interessa due aree, una di estensione cintata pari a circa 38 ha (Area Sud) e l'altra di estensione, sempre cintata, di poco superiore a 8 ha (Area Nord), entrambe nel territorio comunale di Nardò in Provincia di Lecce. Le due aree sono pressoché pianeggianti ed hanno altezza sul livello del mare di circa 90 m quella a nord e di circa 55 m quella a sud. Quest'ultima si trova a sud della strada consortile (Consorzio di Bonifica Arneo) utilizzata anche per l'accesso all'impianto. Entrambe le aree sono attualmente a seminativo o incolto.

Le aree di impianto restano confinate tra la SP 109 (a est), la SP 107 (a nord) il confine provinciale Lecce-Taranto (a ovest) e la pista automobilistica di Nardò (a sud), benché ubicate in Provincia di Lecce il centro abitato più vicino è Avetrana (Provincia di Taranto) ubicato a circa 5,5 km a ovest delle aree di impianto. Di seguito le distanze da alcuni centri abitati.

- Avetrana (TA) 5,5 km a ovest;
- San Pancrazio Salentino (BR) 6,3 km a nord;
- Salice Salentino (LE) 12,2 km a est;
- Erchie (BR) 10,5 km a nord-ovest;
- Nardò (LE) 25 km a sud- est
- Punta Prosciutto (abitazioni lungo la costa jonica) 5,5 km a sud

- Torre Colimena (TA - costa jonica) 6,5 km a sud-ovest



Figura 1.1: Localizzazione dell'area di intervento (ROSSO: impianto Sud; CIANO: impianto Nord; BLU: connessione)



2. LINEAMENTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI GENERALI

2.1 GEOLOGIA

L'area in esame rientra nel Fg 203 "Brindisi" della Carta Geologica d'Italia. La morfologia della zona risulta pianeggiante, dolcemente degradante verso sud; l'area interessata dall'impianto è distinta in due aree, la cui quota topografica è di circa 92-93 metri s.l.m., quella più a nord e variabile tra 60 e 52 m s.l.m. quella più a sud.

La configurazione geologico-strutturale della zona è risultata alquanto complessa per i fenomeni distensivi che hanno interessato il basamento carbonatico, dalla fine del Cretaceo fino al Pleistocene inf., generando una serie di alti strutturali (Horst) e di bacini (Graben) nei quali si sono depositate in trasgressione le sequenze sedimentarie mioceniche.

I bacini che presentano, in genere, una giacitura suborizzontale, sono stati interessati da fenomeni di deposizione e modellamento marino in seguito al sollevamento regionale avvenuto in tempi diversi e con intensità differente dà luogo a luogo. Tale sollevamento è comprovato, lungo la costa, dalla presenza di sedimenti riferiti al Tirreniano posti a diverse quote. Nell'area in esame si rinviene ovunque la formazione calcarea ascrivibile a quella dei Calcari di Altamura (Cenomaniano-Turoniano)

I Calcari di Altamura costituiscono il basamento dell'intera Penisola Salentina, si presentano con stratificazione variabile, ad andamento ondulato, con strati di circa 20-30 cm di spessore che, a luoghi diminuisce ed assume la caratteristica struttura a "tavolette", con laminazioni ritmiche.

Sono interessati da fratturazione subverticale, con diaclasi e leptoclasie che, avendo un andamento normale ai piani di strato talvolta rendono la roccia brecciata e scomponibile in solidi di forma geometrica.

Presenti, inoltre, strutture fisico-meccaniche secondarie dovute all'azione del carsismo, con fratture e saccazioni riempite di materiale residuale.

Litologicamente si tratta di calcari e calcari dolomitici di colore avana o nocciola, compatti e tenaci, in strati e banchi, talora riccamente fossiliferi, cui si alternano livelli dolomitici di colore grigio o nocciola.

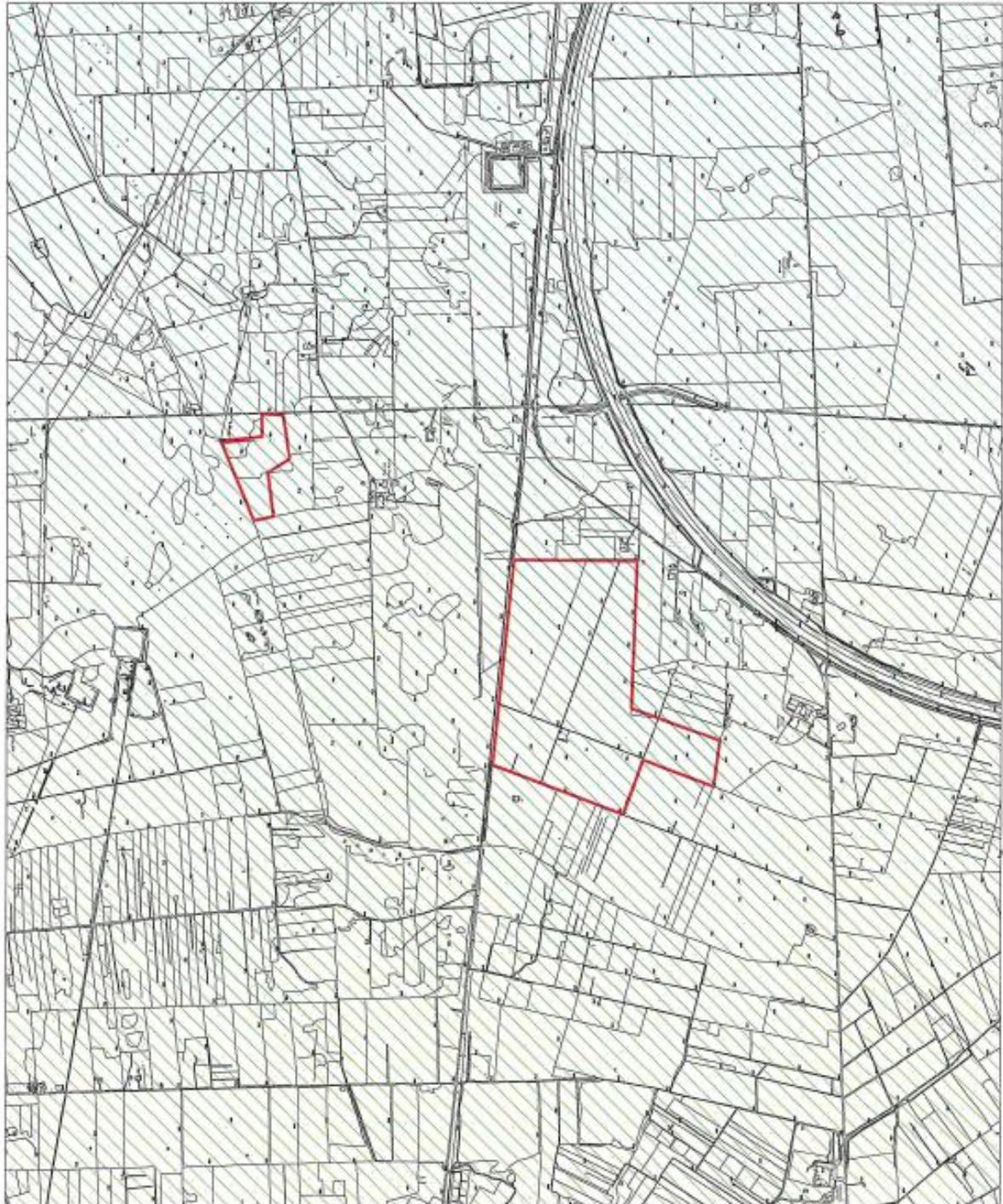
L'origine è biochimica per i calcari e secondaria per le dolomie.

La stratificazione è sempre evidente con strati di spessore variabile da 20 a 50 cm; talora si rinvengono banchi fino a 1.5 metri, l'immersione è verso OSO con pendenze comprese fra 6 + 13°. Alcune piccole variazioni di immersione danno luogo a deboli ondulazioni, mentre la fratturazione, localmente anche intensa, da origine ad una rete di fessure che conferisce alla formazione suddetta una generale permeabilità in grande.

In base ai dati forniti dall'AGIP, in seguito alla perforazione petrolifera eseguita vicino Ugento, lo spessore massimo si aggira intorno ai 640 metri. Alla base di tale formazione si rinvengono le "Dolomie di Galatina". Il passaggio fra le due formazioni avviene con molta gradualità, infatti, all'aumentare della profondità aumenta la percentuale di dolomia, fino a diventare prevalente nelle Dolomie di Galatina.

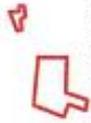
Per quanto riguarda il loro ambiente deposizionale, esso è di mare poco profondo o più esattamente di piattaforma. Inoltre, dato che presenta spessori abbastanza potenti, appare chiaro che l'ambiente di sedimentazione ha potuto mantenersi pressoché immutato per effetto di una costante subsidenza.

CARTA GEOLOGICA



Legenda

 **CALCARE DI ALTAMURA**
Calcare compatto, a frattura irregolare, grigio e
rossiccia, talora chiosa e porcellanosa, con
interceduti noduli dolomitici e più o meno
dolomiti calcareo-vascolari micciosa, (Crustaceo
sup.)

 Area interessata dall'impianto fotovoltaico

Scala 1:20.000



2.3 CARTA IDROGEOMORFOLOGICA DELLA REGIONE PUGLIA

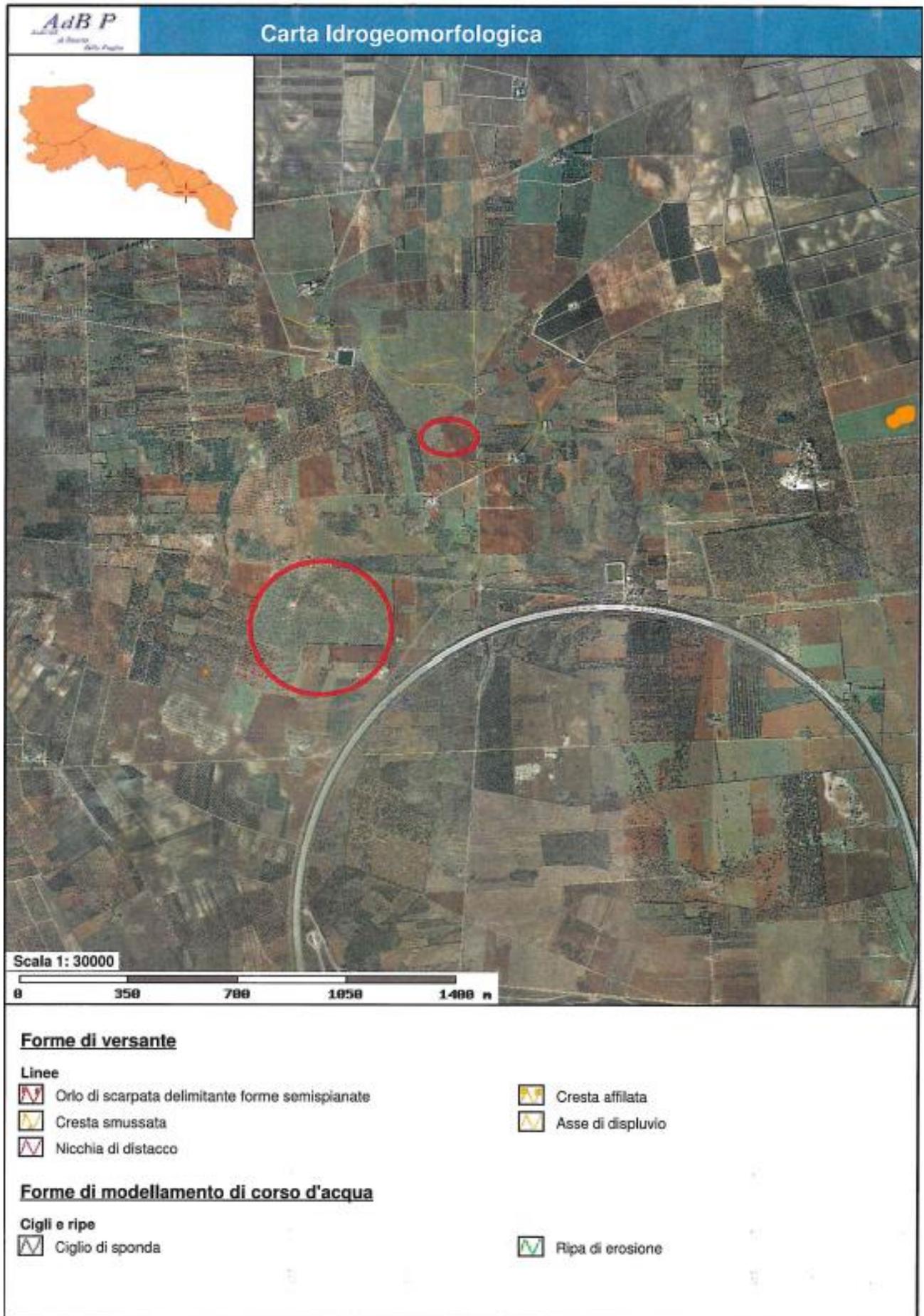
La Giunta Regionale della Puglia, con delibera n. 1792 del 2007, ha affidato all'Autorità di Bacino della Puglia il compito di redigere una nuova Carta Idrogeomorfologica del territorio pugliese, quale parte integrante del quadro conoscitivo del nuovo Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR), adeguato al Decreto Legislativo 42/2004. La nuova Carta Idrogeomorfologica della Puglia, in scala 1:25.000, ha come principale obiettivo quello di costituire un quadro di conoscenze, coerente e aggiornato, dei diversi elementi fisici che concorrono all'attuale configurazione del rilievo terrestre, con particolare riferimento a quelli relativi agli assetti morfologici ed idrografici dello stesso territorio, delineandone i caratteri morfografici e morfometrici ed interpretandone l'origine in funzione dei processi geomorfici, naturali o indotti dall'uomo.

La Carta Idrogeomorfologica intende costituire anche il punto di partenza per gli opportuni approfondimenti di dettaglio di carattere sia scientifico che applicativo ed è giustificata anche dalla specifica vulnerabilità geoambientale posseduta dal territorio pugliese.

La redazione della Carta Idrogeomorfologica della Puglia ha seguito un percorso strettamente definito e cadenzato che ha previsto un approfondimento continuo e costante del quadro conoscitivo fisico del territorio, sulla base anche della nuova cartografia tecnica e delle immagini disponibili e di conseguenti elaborazioni e valutazioni.

Risulta quindi tale cartografia sicuramente più aggiornata e precisa rispetto alla serie n.10 geomorfologia del PUTT, che lo sostituisce, considerata la scala di elaborazione del piano stesso, redatta sulla base del CTR.

Come si può osservare dallo stralcio della Carta Idrogeomorfologica allegato, nell'area oggetto di studio e nell'immediato intorno non è censita alcuna emergenza morfologica o idrogeologica che possa interferire con la realizzazione del progetto.



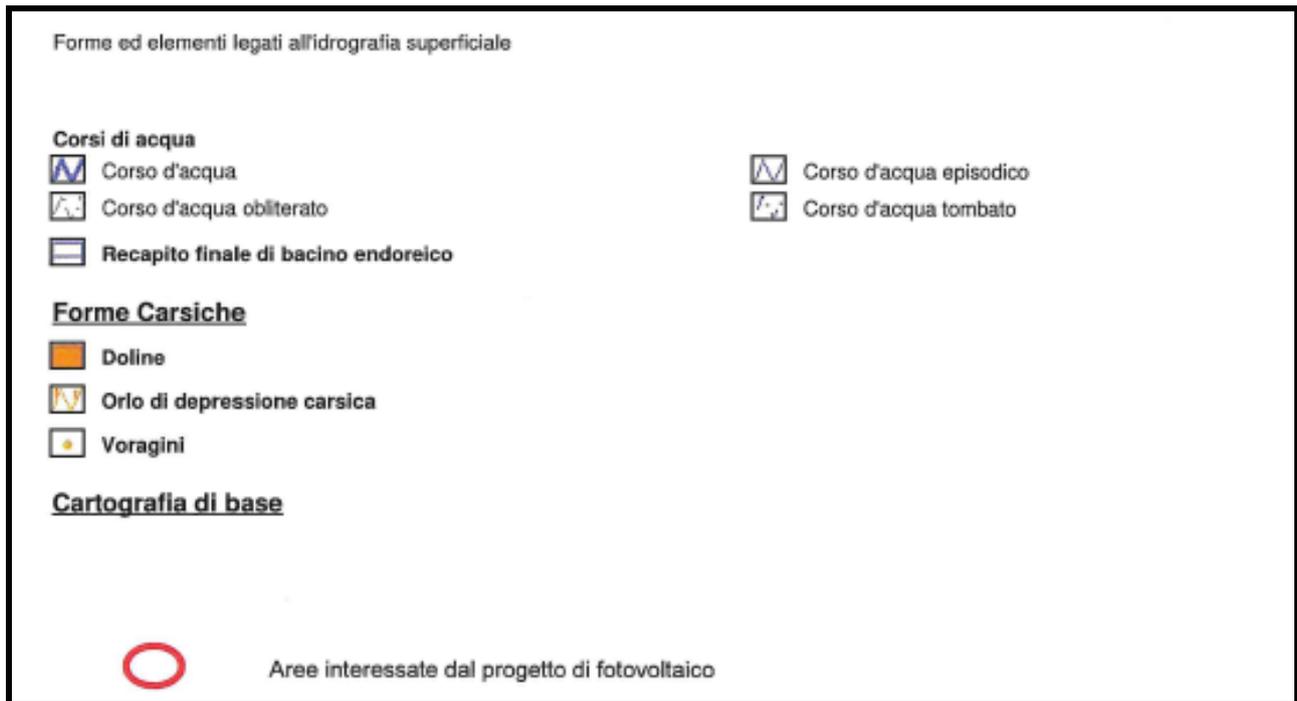


Figura 2.2: Stralcio carta idrogeomorfologica



3. COMPATIBILITÀ CON PIANI TERRITORIALI

3.1 PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologia necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Alla luce della nuova normativa, l'area interessata dall'intervento non ricade in alcuna area a pericolosità idraulica (si rimanda alla cartografia allegata), ne scaturisce che il progetto di realizzazione di impianto fotovoltaico è conforme al PAI.

Dalla stessa cartografia emerge inoltre che l'area interessata dall'intervento non risulta perimetrata a pericolosità geomorfologia (PG1, PG2, PG3).

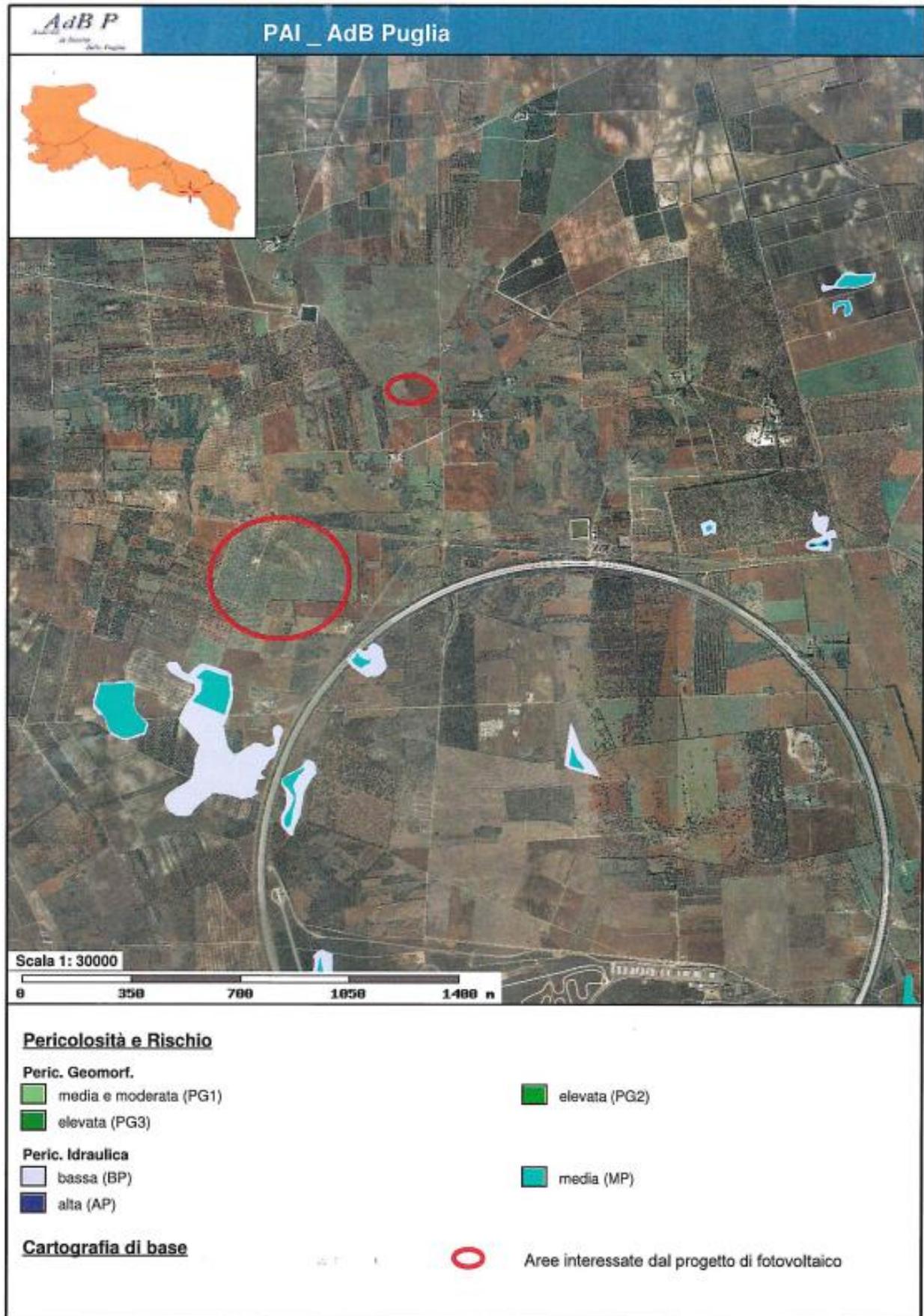


Figura 3.1: Stralcio carta del PAI AdB Puglia



3.2 PIANO PAESAGGISTICO TERRITORIALE

Con delibera n. 176 del 16 febbraio 2015, pubblicata sul BURP n. 40 del 23.03.2015, la Giunta Regionale ha approvato il Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia.

L'impostazione del PPTR risponde alla volontà di affrontare e superare i diversi limiti maturati nell'attuazione del PUTT/P.

Ai sensi dei principi stabiliti dalla Convenzione europea del paesaggio la pianificazione paesaggistica ha innanzitutto il compito di tutelare il paesaggio (non soltanto "il bel paesaggio") quale contesto di vita quotidiana delle popolazioni, e fondamento della loro identità; oltre alla tutela, deve tuttavia garantire la gestione attiva dei paesaggi, garantendo l'integrazione degli aspetti paesaggistici nelle diverse politiche territoriali e urbanistiche, ma anche in quelle settoriali.

Il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) persegue, quindi, la promozione e la realizzazione di uno sviluppo socioeconomico autosostenibile, con l'obiettivo di recupero degli aspetti e dei caratteri peculiari dell'identità sociale, culturale e ambientale, la tutela della biodiversità, la realizzazione di nuovi paesaggi integrati, coerenti e rispondenti a criteri di qualità e sostenibilità.

In particolare il PPTR analizza:

- i.) la ricognizione del territorio regionale, mediante l'analisi delle sue caratteristiche paesaggistiche impresse dalla natura, dalla storia e dalle loro interrelazioni;
- ii.) la ricognizione degli immobili e delle aree dichiarati di notevole interesse pubblico ai sensi dell'articolo 136 del Codice, loro delimitazione e rappresentazione in scala idonea alla identificazione, nonché determinazione delle specifiche prescrizioni d'uso ai sensi dell'art. 138, comma 1, del Codice;
- iii.) la ricognizione delle aree tutelate per legge, di cui all'articolo 142, comma 1, del Codice, la loro delimitazione e rappresentazione in scala idonea alla identificazione, nonché determinazione di prescrizioni d'uso intese ad assicurare la conservazione dei caratteri distintivi di dette aree e, compatibilmente con essi, la valorizzazione;
- iv.) la individuazione degli ulteriori contesti paesaggistici, da ora in poi denominati ulteriori contesti, diversi da quelli indicati all'art. 134 del Codice, sottoposti a specifiche misure di salvaguardia e di utilizzazione;
- v.) l'individuazione e delimitazione dei diversi ambiti di paesaggio, per ciascuno dei quali il PPTR detta specifiche normative d'uso ed attribuisce adeguati obiettivi di qualità;
- vi.) l'analisi delle dinamiche di trasformazione del territorio ai fini dell'individuazione dei fattori di rischio e degli elementi di vulnerabilità del paesaggio, nonché la comparazione con gli altri atti di programmazione, di pianificazione e di difesa del suolo;
- vii.) l'individuazione delle aree gravemente compromesse o degradate, perimetrale ai sensi dell'art. 93, nelle quali la realizzazione degli interventi effettivamente volti al recupero e alla riqualificazione non richiede il rilascio dell'autorizzazione di cui all'articolo 146 del Codice;
- viii.) l'individuazione delle misure necessarie per il corretto inserimento, nel contesto paesaggistico, degli interventi di trasformazione del territorio, al fine di realizzare uno sviluppo sostenibile delle aree interessate;
- ix.) le linee-guida prioritarie per progetti di conservazione, recupero, riqualificazione, valorizzazione e gestione di aree regionali, indicandone gli strumenti di attuazione, comprese le misure incentivanti;
- x.) le misure di coordinamento con gli strumenti di pianificazione territoriale e di settore, nonché con gli altri piani, programmi e progetti nazionali e regionali di sviluppo economico.

Nella presente relazione vengono trattati i caratteri del paesaggio che il PPTR definisce in tre strutture, a loro volta articolate in componenti, ciascuna delle quali è soggetta a specifica disciplina:

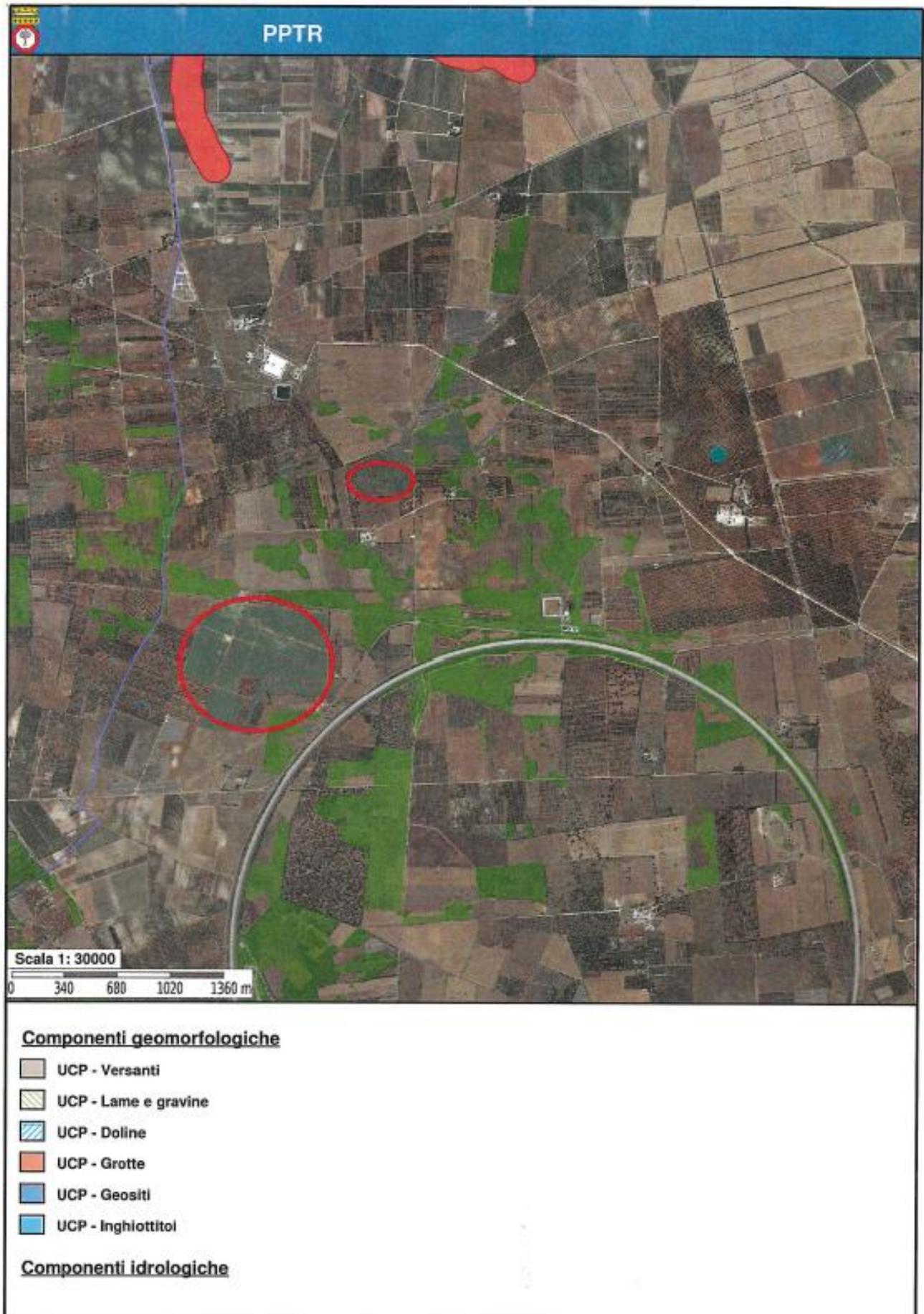
- a) Struttura idrogeomorfologica



- -componenti geomorfologiche
 - -componenti idrologiche
- b) Struttura eco sistemica e ambientale
- componenti botanico-vegetazionali
 - componenti delle aree protette e dei siti naturalistici
- c) Struttura antropica e storico-culturale
- - componenti culturali e insediative
 - - componenti dei valori percettivi

Dall'analisi delle componenti idro-geo-morfologiche si può osservare come l'area interessata dall'istallazione di un impianto fotovoltaico non è censita alcuna componente geomorfologica ed idrogeologica di peculiarità ambientale.

L'area interessata dal fotovoltaico è priva di qualsiasi segnalazione che possa pregiudicare la realizzazione dell'impianto stesso.



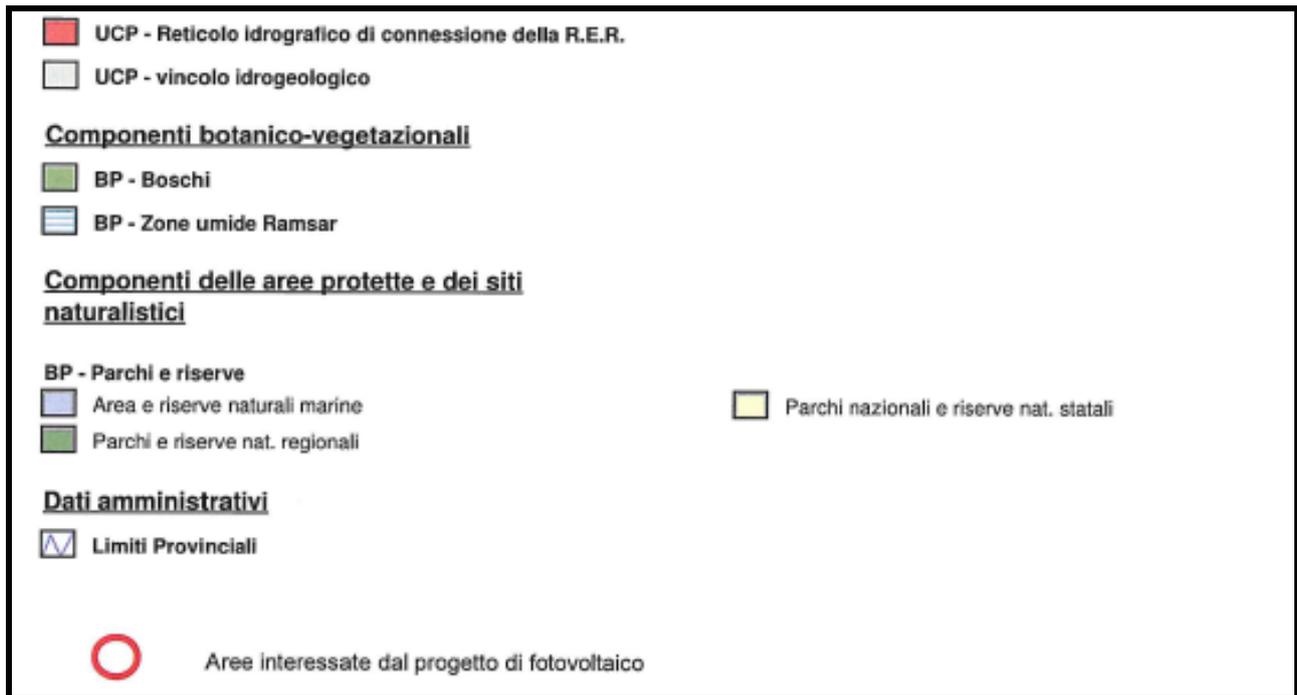


Figura 3.2: Stralcio carta Piano Paesaggistico Territoriale Regionale

3.3 PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE

La Regione Puglia ai sensi dell'art. 121 del D.Lgs 152/06 ha approvato il Piano di Tutela delle Acque, che risulta distinto in:

1. Misure di tutela quali-quantitativa dei corpi idrici sotterranei;
2. Misure di salvaguardia per le zone di protezione speciale idrogeologica;
3. Misure integrative.

L'area indagata fa parte dell'Acquifero carsico salentino; esso risulta caratterizzato da fenomeni di contaminazione salina.

In virtù di tali constatazioni lo stesso Piano mira alla salvaguardia dell'acquifero profondo.

Dalla cartografia allegata è emerso che sull'area indagata non è presente il vincolo di protezione speciale idrogeologica.



FIG. 16

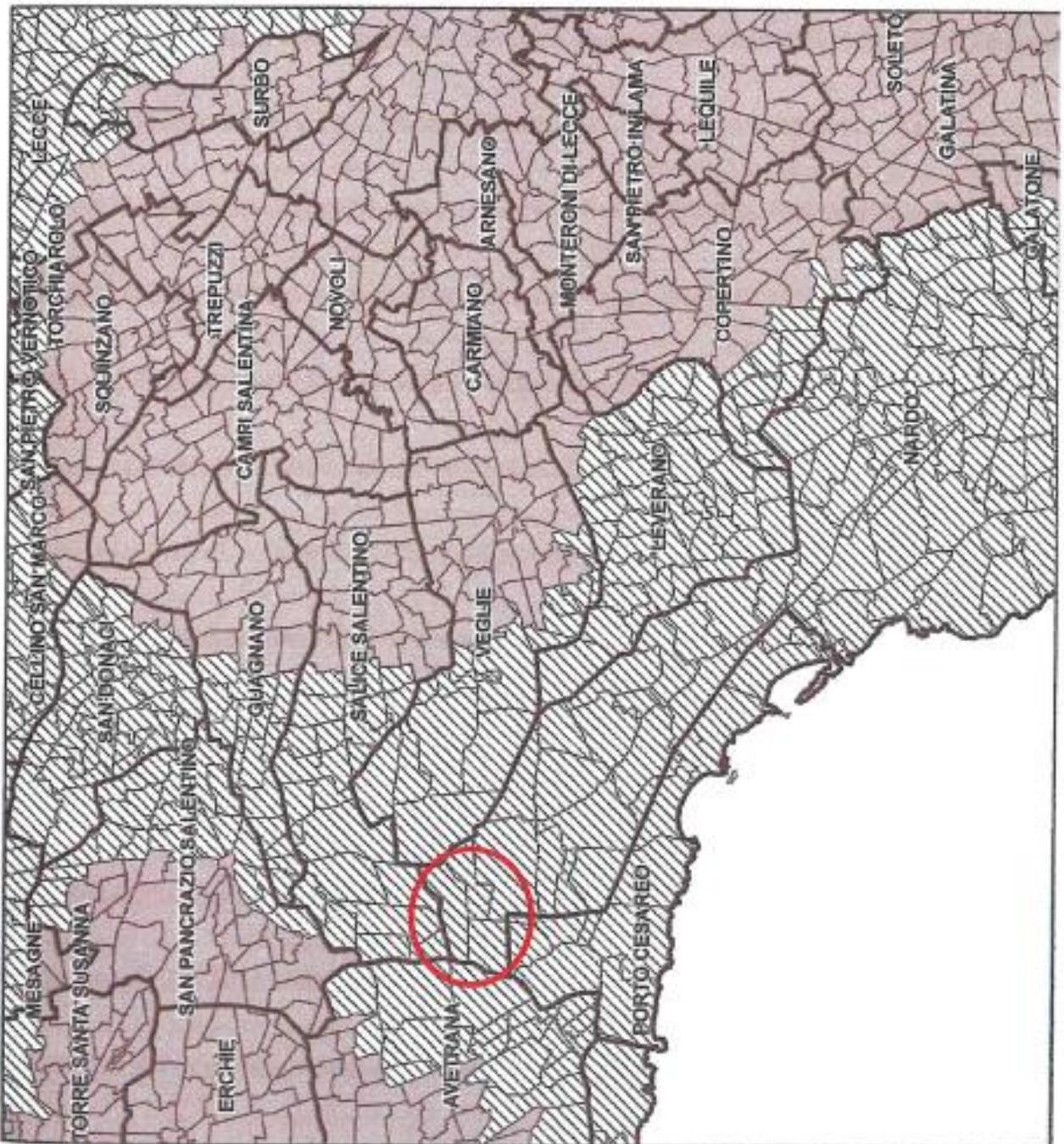
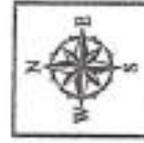
**AREE DI VINCOLO D'USO
DEGLI ACQUIFERI
"ACQUIFERO CARSIICO
DEL SALENTO"**

Legenda

 AREE INTERESSATE DA
CONTAMINAZIONE SALINA

 AREE DI TUTELA
QUALI-QUANTITATIVA

 Limiti comunali





4. PIANIFICAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Al fine di determinare i parametri sismo-elastici e geomeccanici del terreno indagato per poter eseguire gli opportuni calcoli per la valutazione del comportamento dell'opera dopo la realizzazione dell'intervento sono state le seguenti prove:

- un profilo sismico a rifrazione;
- un profilo sismico passivo (MASW), eseguito sullo stesso stendi mento

4.1 METODOLOGIE DI INDAGINE ADOTTATE E RISULTATI

Indagine sismica a rifrazione

Per individuare la successione stratigrafica e le caratteristiche geotecniche del terreno fondale, si è proceduto con l'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione.

La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo la linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P), al fine di determinare la velocità (V_p) con cui tali onde coprono le distanze tra la sorgente ed i vari ricevitori. I dati, così ottenuti, si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi di arrivo dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge di Snell, ci permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati. I profili sismici sono stati eseguiti adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri. L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza battente del peso di 5 kg che batte su una piastra rettangolare. Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod Geode, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo. L'interpretazione dei dati di campagna è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo di Palmer e delle intercette. Il profilo sismico ha evidenziato un modello a due sismostrati: in affioramento si rinviene del terreno vegetale frammisto a pietrame calcareo che presenta una velocità di propagazione delle onde di 500 m/sec ed uno spessore variabile da 0.3 a 0.8 metri, seguono dei calcari fratturati, caratterizzate da una velocità di 1900 m/sec.



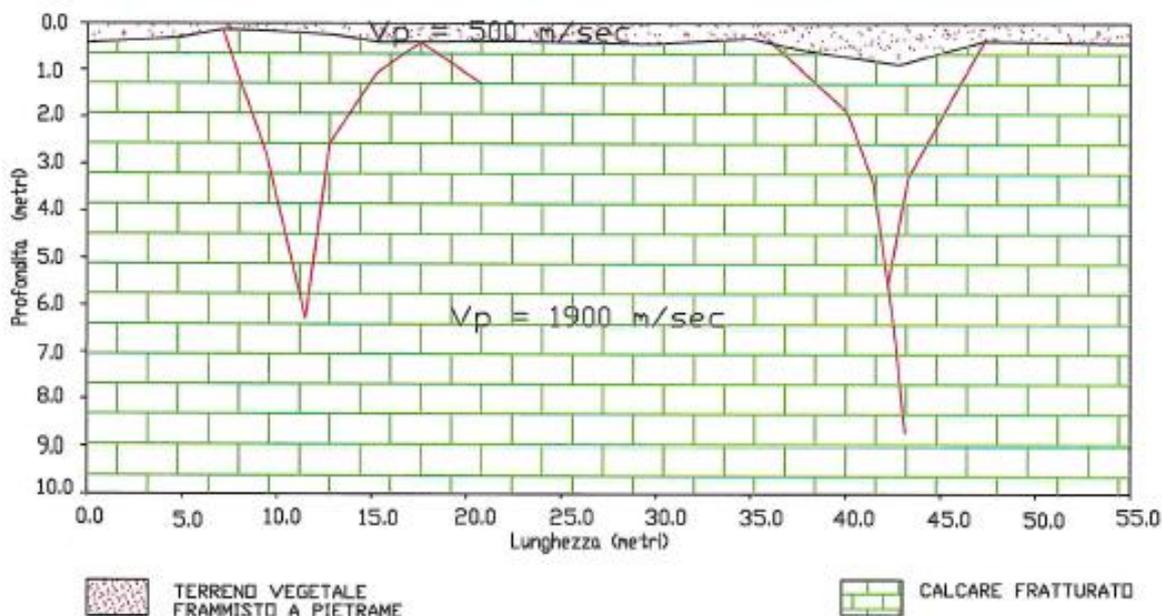


Esecuzione profilo sismico a rifrazione e Masw sullo stesso stendimento



Esecuzione profilo sismico a rifrazione e Masw sullo stesso stendimento

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE 1-1'
LOCALITA': MASSA I CHIODI - COMUNE DI NARDO'



Dalla misurazione delle velocità VP e Vs si è risaliti ai moduli elastici e meccanici del terreno fondale.

Strato	V _p (m/sec)	V _s (m/sec)	R.Q.D. %	E (Kg/cmq)	ρ	γ (g/cm ³)
1	500	-	-	-	-	-
2	1900	670	30	69000	0.37	2.2

VP = vel. longit.; Vs = vel. trasv.; R.Q.D. = qualità della roccia; E = modulo di elasticità; ρ = modulo di Poisson; γ = peso per unità di volume

Dai moduli elastici dedotti dall'indagine sismica e dal valore di resistenza a compressione ottenuto con le analisi di laboratorio è stata eseguita la caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso facendo ricorso a modelli che correlano, tramite opportuni coefficienti, le sollecitazioni dinamiche a quelle statiche che si sviluppano dopo la realizzazione del manufatto.

L'ammasso è stato classificato secondo Beniaowski ed i parametri che sono stati presi in considerazione sono:

- Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta; Indice R.Q.D.;
- Condizione dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale del riempimento);
- Spaziatura dei giunti;
- Condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale).
-

Ad ogni parametro è stato assegnato un indice parziale ricavabile da una tabella di Beniaowski.



Il litotipo affiorante è caratterizzato da una velocità di 1900 m/sec pertanto si ha:

- Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta pari a 800 kg/cm^q corrisponde un indice di 8;
- Indice R.Q.D. pari a 30% corrisponde un indice di 8; Condizione dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale del riempimento) corrisponde un indice di 12; Spaziatura dei giunti corrisponde un indice di 8;
- Condizioni idrauliche (afflusso di acqua, pressione interstiziale) corrisponde un indice di 6.

Riepilogando, i valori dei parametri relativi alla classificazione di Beniaowski sono i seguenti:

<i>Resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta</i>	12
<i>Indice R.Q.D.</i>	12
<i>Spaziatura dei giunti</i>	10
<i>Condizione dei giunti</i>	12
<i>Condizioni idrauliche</i>	9
Totale	42

In base al valore dell'indice R.M.R., l'ammasso viene suddiviso in 5 classi.

Per ciascuna classe viene indicata una stima di larga massima dei parametri di resistenza globale. Nel nostro caso, con R.M.R. = 42, l'ammasso roccioso rientra nella *classe IV* ed è classificato come "*discreto*".

A questa classe corrisponde un valore di coesione di 1 kg/cm^q e un angolo di attrito di 33°.

Prospezione sismica di tipo MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni (DA 4.5 Hz) e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede almeno i seguenti passi:

- Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni
- Estrazione dei modi dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;
- Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali delle VS.

Gli algoritmi genetici rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).



Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta infatti ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

Le NTC18 effettuano la classificazione del sottosuolo 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:

$$V_{s30} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dove

h_i = spessore dello strato i esimo;

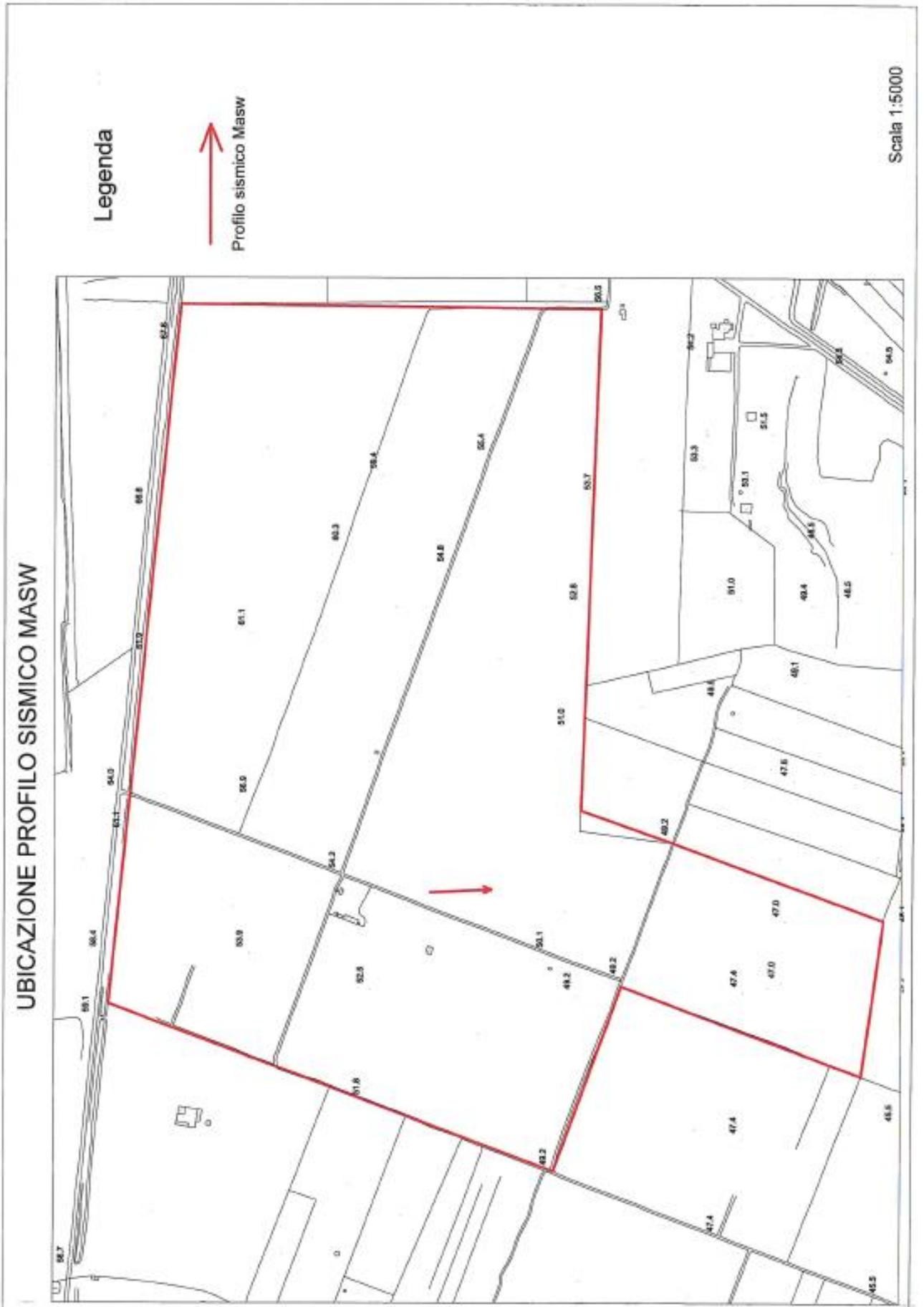
V_{si} = velocità delle onde di taglio nell' i esimo strato;

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/sec

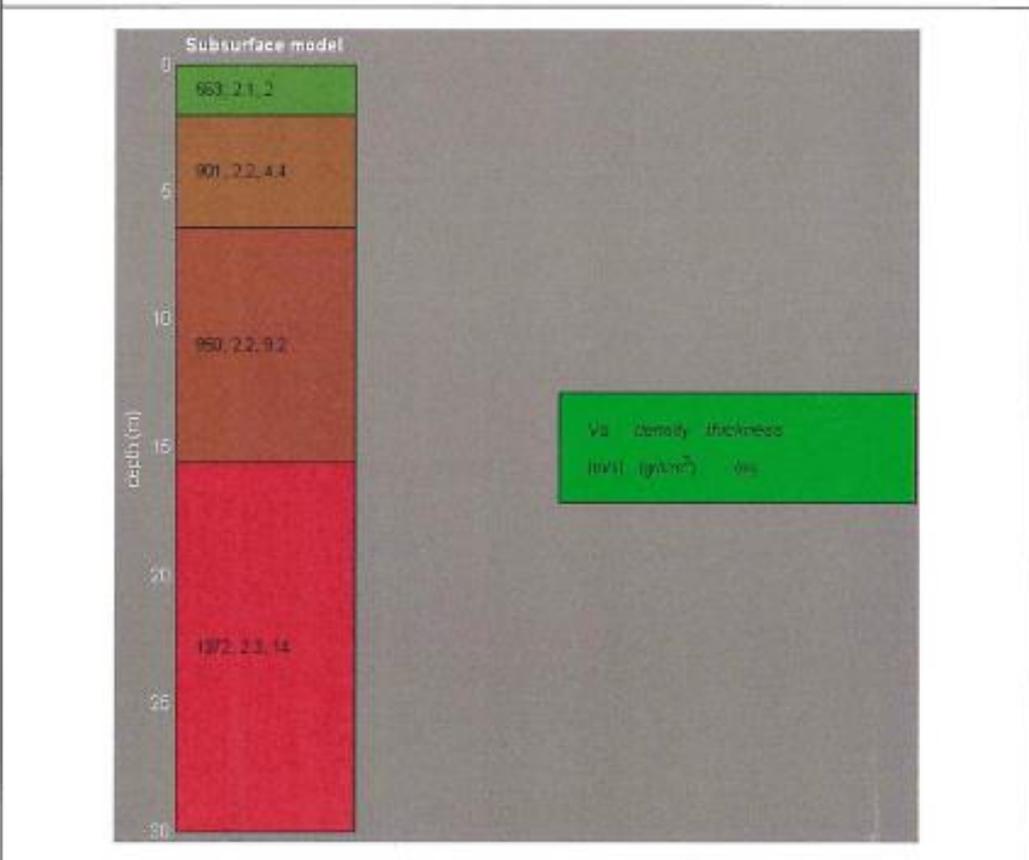
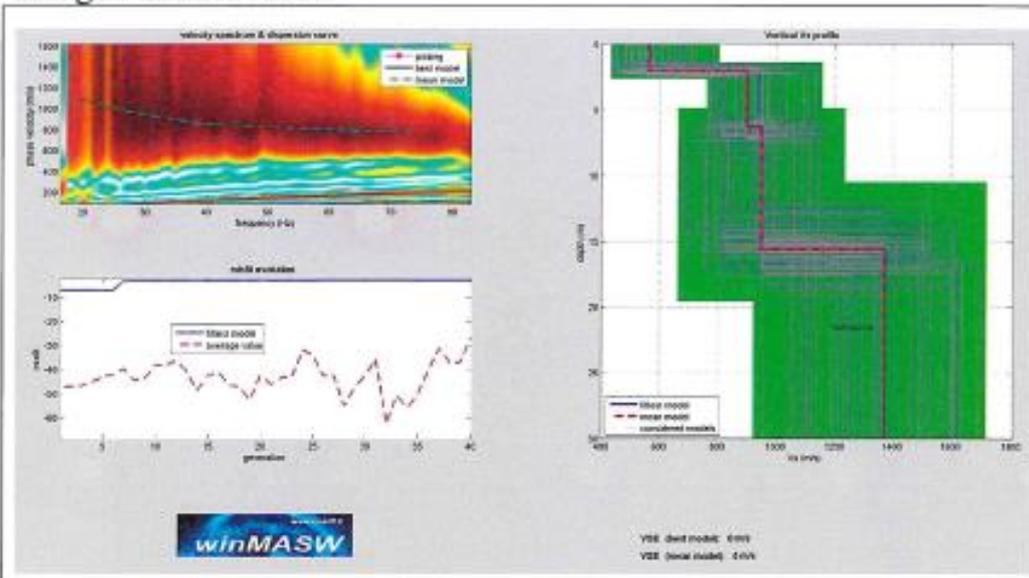
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in esame il substrato lo si rinviene già a partire da 2.0 metri di profondità, pertanto la categoria sismica del suolo di fondazione è la A





Indagine sismica Masw





5. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

La successione stratigrafica individuata dalle indagini precedentemente descritte si compone di uno strato superficiale costituito da terreno vegetale localmente misto a pietrame, che poggia su un livello di calcari fratturati.

Unità Litotecnica "A"

Si tratta di suoli di copertura, di natura prevalentemente vegetale e frammenti a pietrame. Lo spessore medio è inferiore al metro e non è stato parametrizzato in quanto trascurabile viste le tipologie di fondazioni previste nel progetto.

Unità Litotecnica "B"

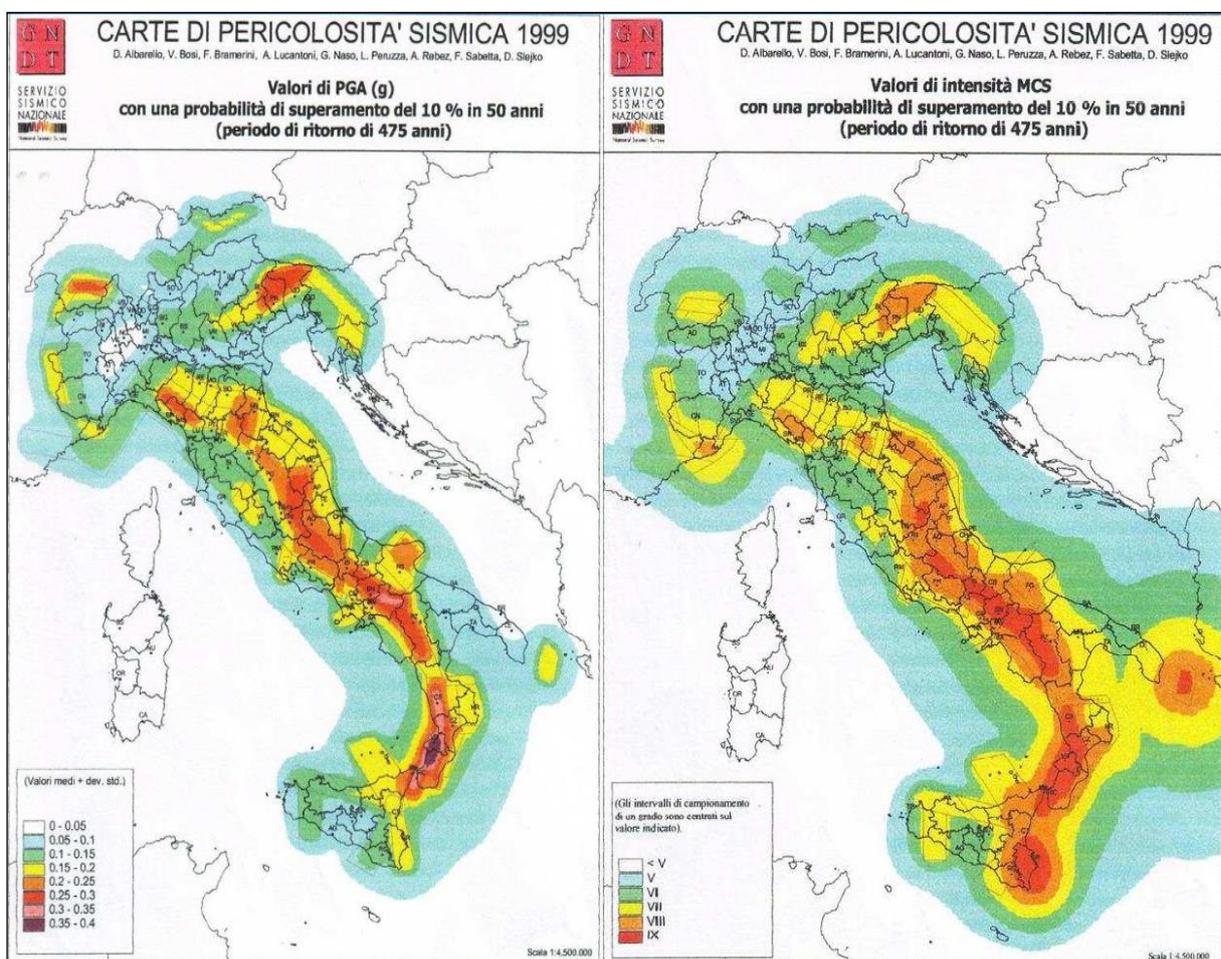
È costituita calcari fratturati. Lo spessore complessivo superiore a 10 m.

Caratteristiche elastiche e meccaniche dell'unità Litologica "B"	
Spessore medio	$h > 10 \text{ m.}$
Peso volume medio	$\gamma_m = 22 \text{ KN/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\varphi' = 33^\circ$
Coesione drenata (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c' = 100 \text{ kN/m}^2$
Modulo Elastico	$E = 6,90 \text{ MPa}$
Modulo di Poisson	$\nu = 0.37$
RQD	30 %

6. VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA (D.M. 17.01.2018 N.T.C.)

Gli studi effettuati, negli ultimi anni, sulla pericolosità sismica del territorio italiano, dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (G.N.D.T.), dal 'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste (O.G.S.) e dal Servizio Sismico Nazionale (S.S.N.), hanno consentito di sviluppare una metodologia probabilistica sismo-tettonica, ampiamente consolidata ed adottata a livello internazionale, che prevede l'utilizzo di dati di base: catalogo sismico e Zonazione Sismogenetica (Z.S.), oltre all'adozione di criteri e metodi per l'elaborazione degli stessi dati.

Attraverso l'elaborazione dei dati, la pericolosità sismica, ossia "la stima dello scuotimento del suolo, previsto in un certo sito, durante un dato periodo, a causa di terremoti" è stata rappresentata dallo S.S.N. su due carte di pericolosità (1999).



Il Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" - fornisce le indicazioni per la progettazione e la verifica di nuove strutture secondo criteri antisismici.

Ai sensi del decreto, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento 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



Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 = valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per l'area in esame, sulla base delle indagini eseguite, si verifica l'assoluta stabilità dell'area; ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto e della categoria di sottosuolo (Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20/03/03 e aggiornamenti, modifiche, integrazioni, sostituzioni del D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, si potranno prendere in considerazione i seguenti elementi di valutazione:

In base alla localizzazione geografica del sito di progetto vengono definiti i parametri di riferimento del moto sismico in superficie, successivamente correlati con gli stati limite e la vita nominale dell'opera. Ciò al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni delle opere o parti di essa.

- Individuazione del sito
 - Regione Puglia, Provincia di Lecce, Comune di Nardò;
- Ricerca per coordinate: Latitudine 40.348011° N, longitudine 17.804710° E.
- La velocità media di propagazione è stata calcolata pari a 1063 m/s, entro 30 m di profondità delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$, dello strato i_{esimo} , per un totale di N strati presente nei 30 m superiori;
- Sulla base del valore $V_{s,eq}$ avendo considerato l'insieme delle indagini effettuate durante la campagna geognostica, considerando in modo cautelativo i risultati peggiori riscontrati, non considerando l'aumento delle caratteristiche geotecniche dei terreni con la profondità, si ipotizza un sottosuolo riferibile alla 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. (tab. 3.2.II NTC/18).

Tabella 6.1: Classificazione sismica

CLASSIFICAZIONE SISMICA	
Zona 1	– È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
Zona 2	– Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti
Zona 3	– I comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti
Zona 4	– È la zona meno pericolosa

Tabella 6.2: Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$



CATEGORIE SUOLI DI FONDAZIONE

Tab. 3.2.II - D.M. 17 gennaio 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente comprese tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definiti per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

- Le condizioni topografiche del sito che si colloca su un'area pianeggiante con inclinazione media $i < 15^\circ$, sono riferibili alla categoria “T₁”, per cui il coefficiente di amplificazione topografica (S_T) è pari a 1,0 (valori massimi del coefficiente tab. 3.2. III Norme Tecniche per le Costruzioni 2018).

Tabella 6.3: NTC 2018 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA		
Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T ₁	-	1,0
T ₂	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T ₃	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T ₄	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso; per le opere in progetto è la II (tab. 2.4.II) il cui uso prevede normali affollamenti), per cui il coefficiente d'uso risulta C_u=1,0;



Tabella 6.4: NTC 2018 – Valori del coefficiente d’uso C_U

VALORI DEL COEFFICIENTE D’USO C_U .				
CLASSE D’USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

- **Vita nominale dell’opera V_N :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantiene gli specifici livelli prestazionali di progetto (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l’azione sismica V_R come:

$$V_R = V_N * C_U \text{ (dove } C_U \text{ è il coefficiente d’uso);}$$

- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} :** in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell’opera in oggetto sono considerati i seguenti valori:

Classe d’uso “II”: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente.

Vita nominale V_N : 50 anni: costruzioni con livelli di prestazione ordinari.

Coefficiente d’uso C_U : 1 relativo alla classe d’uso II.

Periodo di riferimento per l’azione sismica: $V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50$ anni

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori a_g , F_0 , T^*_c e del periodo di ritorno:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

SPETTRI DI RISPOSTA SECONDO LE NTC 2018						
Stati limite		P_{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a_g^1 (g)	F_0	T^*_c (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.017	2.313	0.164
	SLD	63%	50	0.022	2.318	0.240
SLU	SLV	10%	475	0.051	2.575	0.465
	SLC	5%	975	0.062	2.711	0.516

Dove:

- SLE = stati limite di esercizio
 - SLO = **stato limite di operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le

¹ a_g espressa come frazione dell’accelerazione di gravità g



apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- SLD = **stato limite di danno**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- SLU = stati limite ultimi
 - SLV = **stato limite di salvaguardia della vita**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
 - SLC = **stato limite di prevenzione del collasso**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

COEFFICIENTI SISMICI (PER STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI)				
coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.003	0.004	0.010	0.012
kv	0.002	0.002	0.005	0.006
a _{max} [m/s ²]	0.164	0.217	0.501	0.605
β	0.200	0.200	0.200	0.200

Tabella 6.5: Calcolo dei coefficienti sismici (per stabilità di pendii e fondazioni) con Categoria di Suolo di categoria A.

Dove:

β = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0,28

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (a_g/g)

g = accelerazione di gravità

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica = 1,5 (SLO)-1,5 (SLD)-1,48 (SLV)-1,42 (SLC)

S_t = coefficiente di amplificazione topografica = 1,0



7. SINTESI CONCLUSIVA

Il presente documento riguarda lo studio geo-morfologico di superficie, su un'area sita nel territorio comunale di Nardo' (LE), in località "Masseria i Chiodi" e "Masseria Donna Aurelia" interessata da un progetto di installazione di un impianto fotovoltaico. Lo studio è finalizzato alla verifica della compatibilità del progetto con gli strumenti di pianificazione territoriale, quali la Carta Idrogeomorfologica, il PAI, il PPTR ed Piano Tutela delle Acque, nonché alla classificazione e parametrizzazione dei terreni. A tal scopo sono state previste delle indagini geognostiche preliminari per la caratterizzazione da un punto di vista sismico e da un punto di vista meccanico.

Dall'esame dei vari dati raccolti è emerso quanto segue:

- litologicamente affiorano i Calcari di Altamura;
- geomorfologicamente, l'area interessata dall'impianto è distinta in due aree, la cui quota topografica è di circa 92-93 metri s.l.m., quella più a nord e variabile tra 60 e 52 m s.l.m. quella più a sud.
- idrologicamente l'area è priva di canali, data la natura della formazione affiorante permeabile per fatturazione e carsismo;
- idrogeologicamente si rinviene la sola falda "profonda", presente a profondità tali da non poter interferire minimamente con l'impianto da installare.

Inoltre, in base agli strumenti di pianificazione:

- l'area è priva di emergenze morfologiche o idrogeologiche.
- l'area non ricade inoltre in alcuna zona a pericolosità idraulica, né a pericolosità geomorfologica
- l'area indagata fa parte dell'Acquifero carsico salentino; che risulta caratterizzato da fenomeni di contaminazione salina
- sull'area non è presente il vincolo di protezione speciale idrogeologica.

Dalle indagini geognostiche è stata ricostruita la successione stratigrafica dei primi metri, sono stati caratterizzati meccanicamente i litotipi investigati ed è stata individuata la categoria sismica del suolo di fondazione.

La successione litostratigrafica dell'area è data da terreno vegetale frammisto a pietrame calcareo che presenta una velocità di propagazione delle onde di 500 m/sec ed uno spessore variabile da 0.3 a 0.8 metri, seguono dei calcari fratturati, caratterizzate da una velocità di 1900 m/sec.

Il substrato di fondazione, sulla base dei risultati dell'indagine sismica è, per l'intera area di intervento, classificabile come un suolo di categoria A, caratterizzato da $V_{S,eq} = 1063$ m/sec, spessore > 30 metri.

Per quanto attiene le condizioni topografiche, valutata la pendenza generale della piana si attribuisce una categoria topografica T1 (pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale si adotta un coefficiente topografico $ST = 1,0$.

La presenza della falda freatica è stata riscontrata a profondità ininfluenti rispetto alle fondazioni.