

Provincia di  
Foggia



REGIONE PUGLIA



Comune di  
Manfredonia (FG)



Proponente:

**PARCO SOLARE MANFREDONIA SRL**

Via Vittor Pisani, 20 - 20124 MILANO

P.Iva 11389800969

Pec: parcisolaremanfredonia@cert.studiopirola.com

Titolo del Progetto:

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO**

N° Documento:

**28**

ID PROGETTO:

XK1J275

FORMATO:

Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA**

FOGLIO:

SCALA:

Nome file:

XK1J275\_28.Relazione Geologica e Sismica

**Coordinamento Progetto:**



Via Santa Croce, 66  
Erchie (BR) 72020  
P.Iva 02415290747  
Pec: ekoteksrl@pec.it

**Tecnici:**

Arch. Alfredo Masillo  
Geol. Giuseppe Masillo



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Settembre 2021	PRIMA EMISSIONE	EKOTEK		WIRCON

## INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	UBICAZIONE DEL SITO .....	3
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	4
4.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	9
4.1	Idrografia superficiale.....	9
4.2	Idrografia Sotterranea .....	9
4.3	Acquifero superficiale.....	9
4.4	Acquifero di base .....	10
5.	SISMICITA' DEL TERRITORIO .....	11
6.	INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE SVOLTE.....	12
7.1	Indagine sismica a rifrazione .....	12
7.1.1	Analisi dei risultati.....	13
7.2	Sondaggi elettrici con ricostruzione tomografica.....	14
7.2.1	Analisi dei risultati.....	15
7.3	Sismica con metodologia masw.....	15
7.3.1	Categorie di sottosuolo .....	17
7.4	Indagini GPR .....	17
7.4.1	Rilievo Topografico a corredo del rilievo radar.....	19
7.4.2	Analisi dei risultati.....	19
7.5	Prove penetrometriche dinamiche (SPT).....	20
7.5.1	Analisi dei risultati.....	22
7	RAPPORTI TRA IL PROGETTO ED IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA PUGLIA.....	23
8	CONCLUSIONI.....	27

## 1. PREMESSA

La società PARCO SOLARE MANFREDONIA SRL Via Vlttor Pisani, 20 -20124 MILANO - P.Iva 11389800969 - Pec:parcosolaremanfredonia@cert.studiopirola.com, intende realizzare un impianto fotovoltaico, facendo uso di pannelli in silicio che sfruttano l'effetto fotovoltaico, per una potenza nominale complessiva pari a 77 MWp. Il sito individuato è situato nel territorio comunale di Manfredonia (FG) in Loc.Beccarini. L'estensione dell'area, catastale è di circa 68,8 Ha.



**Localizzazione dell'impianto e del cavidotto di connessione su base ortofotografica**

Il presente studio e' stato mirato, oltre a definire i parametri geologici ed idrogeologici caratteristici dell'ambiente interessato alla realizzazione dell'impianto, ad individuare le caratteristiche geotecniche dei sedimenti che ospiteranno le strutture fondali previste dal progetto.

Lo studio si avvalso di una documentazione bibliografica e di specifiche indagini eseguite

sui lotti interessati dal progetto e dal caviotto di connessione, in particolare:

- **N°35 prove penetrometriche dinamiche;**
- **indagine Georadar di circa 2000 metri lineari per la verifica di cavidotti interrati e/o tubazioni, mirando ad accertare la loro presenza in alcune aree "strategiche";**
- **n. 20 indagini sismiche a rifrazione della lunghezza ciascuna di 33 metri;**
- **n. 20 sondaggi elettrici con ricostruzione tomografica;**
- **n. 4 profili sismici MASW della lunghezza di 33 metri lineari, eseguiti sugli stendi menti di sismica a rifrazione nn. 5, 15, 17 e 20.**

## 2. UBICAZIONE DEL SITO

Il sito in esame si trova nel territorio di Manfredonia (FG), più precisamente, a circa 14 Km, in direzione S-SW dal centro abitato, alla contrada "Mass. Beccarini" .

Topograficamente esso ricade nel Foglio 164 "Foggia" della Carta d'Italia dell'I.G.M.

L'area in oggetto, facilmente raggiungibile dalla S.P. 141

Gran parte di queste zone sono state bonificate tra 1800 e il 1950, e dagli anni '30 in poi ad opera del Consorzio di Bonifica della Capitanata. L'area di cui si tratta fa parte appunto di queste aree bonificate ed è coltivata esclusivamente a seminativo.

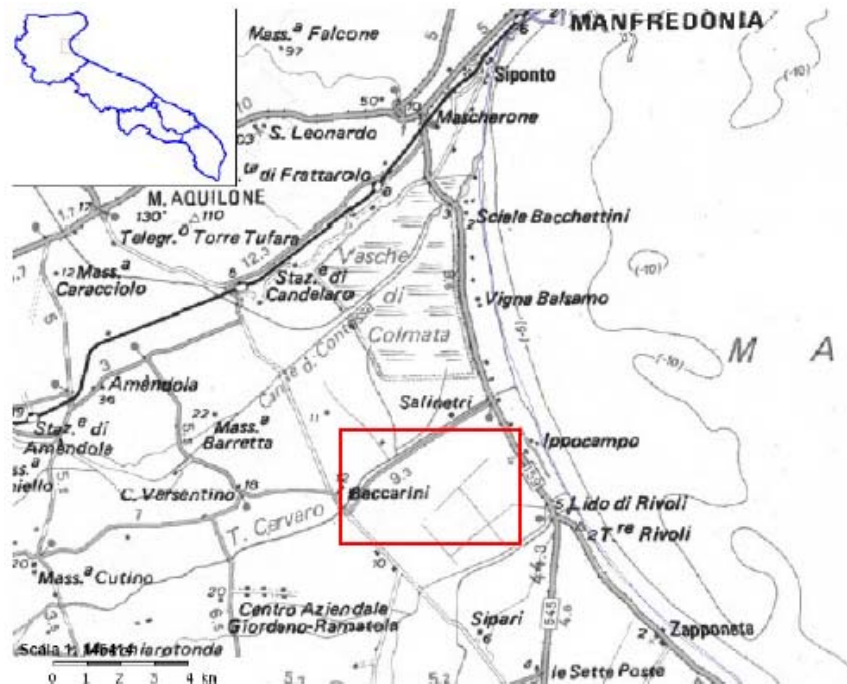
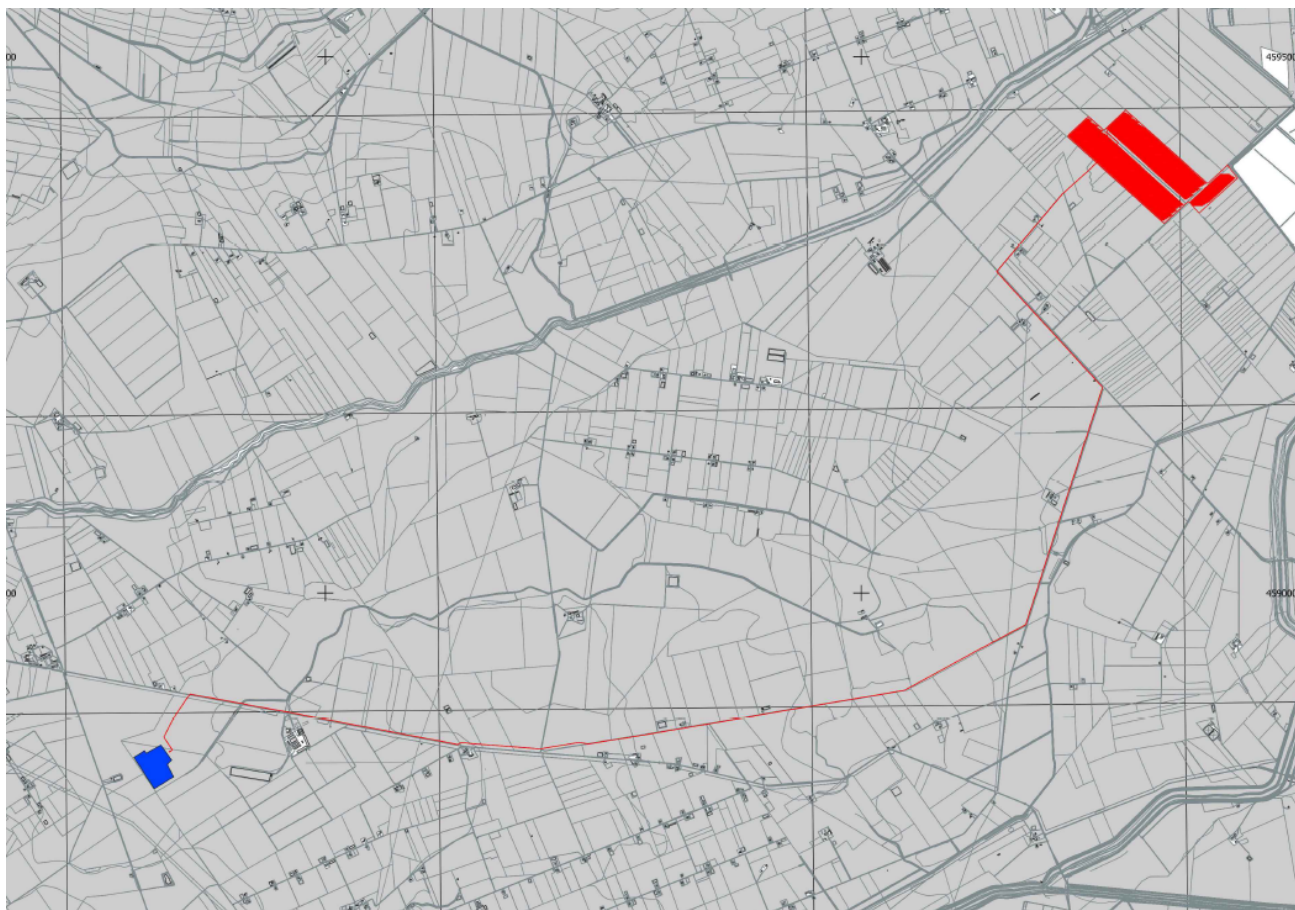


Figura 1 Ubicazione dell'impianto su Stralcio del F. 164 IGM in scala 1:25.000



**Figura 2 Ubicazione dell'impianto su CTR**

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

Il territorio d'indagine è localizzato nel Tavoliere di Puglia precisamente nella parte Est del foglio della Carta Geologica 164 "Foggia", in un'area morfologicamente pianeggiante e geologicamente caratterizzata per lo più dai sedimenti plio-quadernari che hanno colmato la parte orientale dell'avanfossa appenninica compresa tra la Daunia e il promontorio garganico.

Il Tavoliere di Puglia è caratterizzato da un'elevazione media non superiore ad un centinaio di metri; la parte occidentale, a ridosso dell'Appennino Dauno, presenta un paesaggio di tipo collinare, con culminazioni che raggiungono quote intorno ai 700 metri. Procedendo verso la costa, le forme del rilievo sono rappresentate da una serie di ripiani, digradanti verso il mare, variamente estesi e collegati da brevi scarpate. I ripiani e le scarpate caratterizzati da versanti terrazzati si allargano in piana alluvionale in prossimità della costa. Lungo la fascia litoranea si formano localmente, vaste aree paludose limitate da cordoni dunari.

Il basamento del Tavoliere come pure dell'intera regione pugliese è costituito da una potente serie carbonatica di età mesozoica costituita da una potente serie carbonatica di età mesozoica costituita da calcari, calcari dolomitici e dolomie su cui poggiano le coperture plio-pleistoceniche ed oloceniche costituite in particolare da:

- Depositi argillosi con livelli di argille sabbiose con una potenza variabile e decrescente dal margine appenninico verso il Mare Adriatico compresa tra 200 e 100 metri;
- Sedimenti sabbiosi-ghiaiosi in lenti con uno spessore che varia da pochi metri a qualche decina di metri;
- Depositi terrazzati costituiti da brecce cementate ad elementi calcarei;
- Sabbie con faune litorali e dune individuate lungo l'arco de Golfo di Manfredonia.

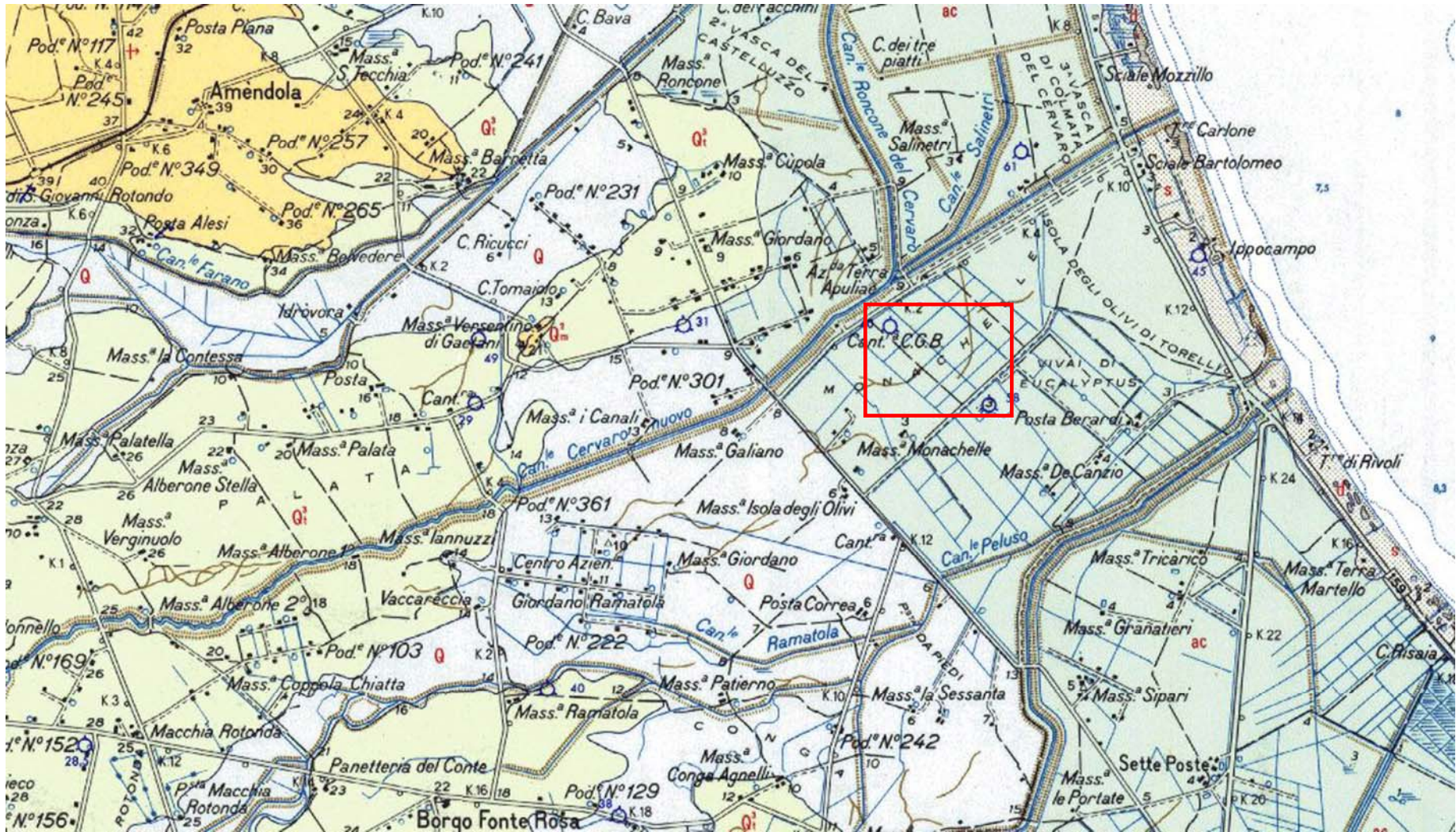













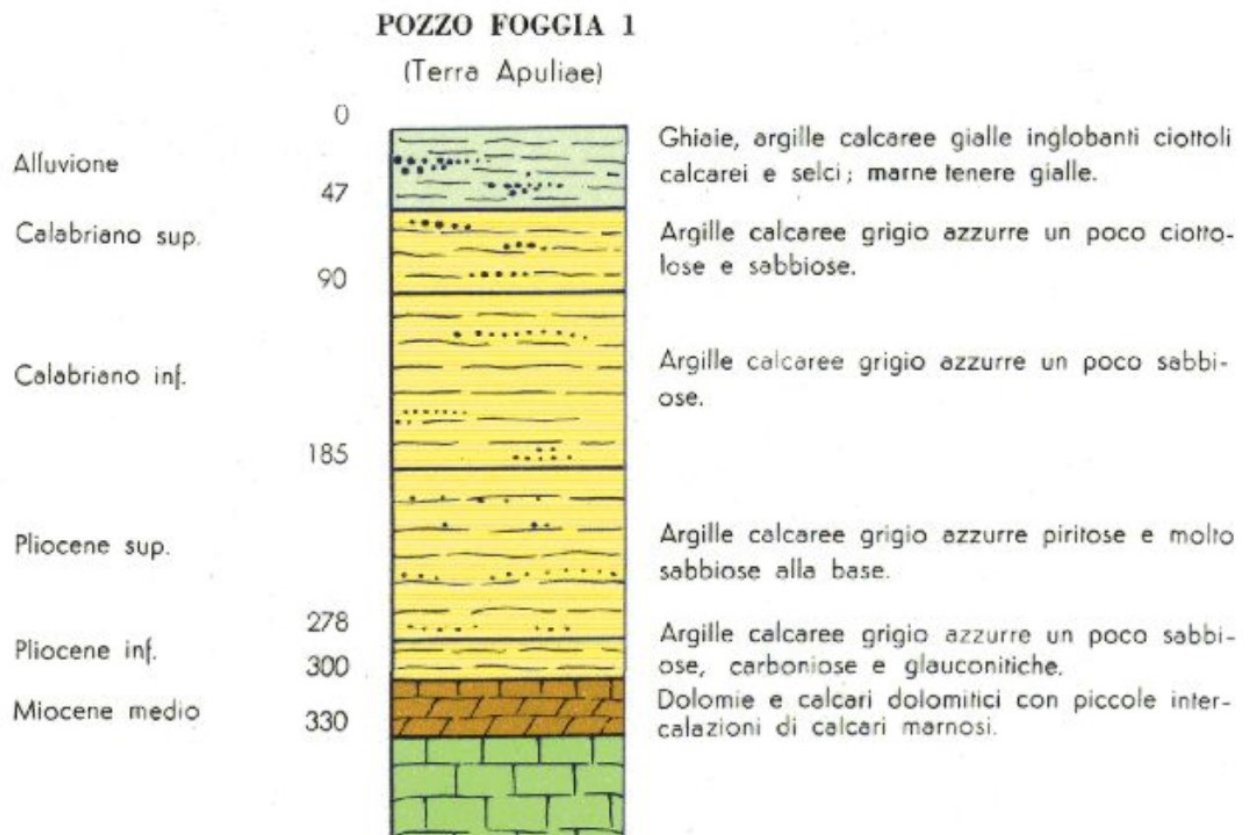
Figura 2 :Stralcio del Foglio 164 della Carta Geologica D'Italia

# Legenda

		Formazioni marine	Formazioni continentali	
Olocene				Alluvioni per colmate.
				Alluvioni recenti e attuali (Q); conoidi di deiezione. Detriti di felda (dt).
				Depositi colluviali ed eluviali ("terre rosse", residui da calcari).
				Alluvioni terrazzate recenti, poco superiori agli alvei attuali, di ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose. Talora con crostoni calcarei evaporitici.
				Cordoni litorali (s) e dune (d).
Pleistocene				Conglomerati a elementi calcarei, moderatamente cementati, con straterelli sabbiosi di probabile ambiente fluvio-marino.
				Sabbie giallastre, pulverulente, con concrezioni calcaree e molluschi marini di facies litorale. Quasi dovunque coperte da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.
				Ciottolami poligenici di varie dimensioni, talvolta cementati, con intercalazioni sabbiose giallastre. La provenienza dei ciottoli è appenninica.
Pleistocene ?				Brecce cementate a elementi calcarei con spigoli arrotondati. Sono distribuite su due diverse superfici di abrasione marina inclinate ad Est, comprese fra 200 metri di quota e il livello del mare. Le brecce del terrazzo superiore sono sicuramente post-mioceniche perchè giacciono su una superficie che ha tagliato i depositi miocenici.
Pliocene-Calabriano				Sabbie e sabbie argillose, talora con livelli arenacei giallastri e lenti di ciottoli.
				Argille e argille marnose, localmente sabbiose, grigio-azzurre. Associazione a Cassiduline, Bulimine e Bolivine, Rotalie e Globigerinidi.



## SCHEMA STRATIGRAFICO DI MASSIMA



#### **4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO**

L'area interessata dal progetto è inserita in un contesto morfologico caratterizzato da vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, interrotte da valli ampie con fianchi alquanto ripidi, morfologia tipica di tutta la Capitanata.

La generale pendenza verso oriente della spianata rappresenta, molto probabilmente, l'originaria inclinazione della superficie di regressione del mare pleistocenico e dei depositi fluviali che su essa si sono adagiati.

##### ***4.1 Idrografia superficiale***

L'idrografia superficiale di tale porzione di territorio è rappresentata dal torrente Cervaro il cui deflusso è esclusivamente stagionale. Esso in complesso rivela una fase di maturità dimostrato anche dalla frequente presenza di alvei abbandonati che sono numerosi nella zona a sud.

Il torrente Cervaro come del resto gli altri canali Cervarola e Candelaro, è stato regimentato per buona parte del suo corso e sfruttato per la bonifica costiera.

L'intervento previsto in progetto non modificherà la morfologia del territorio e né tanto meno intercetterà elementi del reticolo idrografico o della rete di bonifica pertanto esso non altera in nessun modo l'attuale andamento dei deflussi superficiali del territorio.

##### ***4.2 Idrografia Sotterranea***

I depositi presenti nell'area presentano nel complesso una buona permeabilità. Sono rappresentati ambedue i tipi di permeabilità: quella primaria, per porosità, si riferisce ai sedimenti ghiaioso-sabbiosi pleistocenici. Quella secondaria, per fatturazione e carsismo, è diffusa nel calcare.

Nel complesso pertanto la predominanza dei litotipi permeabili determina una forte infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche, e nel contempo una idrografia superficiale rada.

##### ***4.3 Acquifero superficiale***

Nell'area esaminata, la particolare situazione litostratigrafica permette l'instaurarsi di una falda idrica, seppur di modesta entità.

L'estensione areale di questa falda, sempre a pelo libero, è legata alle variazioni litologiche, granulometriche e diagenetiche delle zone serbatoio, che rendono alquanto disomogenea la permeabilità dell'acquifero, inoltre essa è legata ad variazioni stagionali.

Le indagini eseguite hanno permesso di individuare la presenza della falda superficiale a profondità variabili da un minimo di 2,8 m da p.c. ad un massimo di 3,7 m. da p.c., nella tabella seguente sono riportati tutti i valori misurati.

Considerando che le indagini sono state eseguite durante la stagione estiva, è da ritenere plausibile che il livello idrico possa innalzarsi in seguito ad eventi meteorici, anche di 1m

<b>Prova penetrometrica dinamica</b>	<b>Profondità della falda (m da p.c.)</b>
<b>DP. 2</b>	<b>3.3</b>
<b>DP.10</b>	<b>3.7</b>
<b>DP.14</b>	<b>2.9</b>
<b>DP.15</b>	<b>2.8</b>
<b>DP.16</b>	<b>3.4</b>
<b>DP.17</b>	<b>3.0</b>
<b>DP.18</b>	<b>3.1</b>
<b>DP.19</b>	<b>3.4</b>
<b>DP.20</b>	<b>3.3</b>

#### **4.4 Acquifero di base**

Le rocce carbonatiche che costituiscono il basamento mesozoico, vanno classificate, per i peculiari caratteri deposizionali e diagenetici, fra le rocce con scarsissimo grado di permeabilità. Tuttavia, per effetto di una diffusa fratturazione nonché di un carsismo epigeo ed ipogeo, le zone costituite da questa formazione rocciosa sono caratterizzate da ampia permeabilità areale con diffusa percolazione nel sottosuolo delle acque meteoriche. Gli studi sinora eseguiti sull'intero territorio hanno dimostrato l'esistenza nel sottosuolo dell'area in esame di una falda acquifera avente come orizzonte di base il livello medio del mare e sostenuta, almeno presso la fascia costiera, dalle acque marine che invadono il continente. In particolare, la presenza di questa falda carsica è messa in evidenza lungo la costa, da sorgenti di emergenza, con scaturigini situate a quote prossime al livello del mare nonché da sorgenti di sbarramento e ascendenti, con scaturigini situate a qualche

metro sul livello del mare lungo il bordo dei rilievi carbonatici mesozoici, al limite con la piana alluvionale della Bonifica di Siponto.

Nell'entroterra la presenza della falda carsica è rilevabile indirettamente attraverso le perforazioni eseguite sull'intero territorio studiato; in questi pozzi la falda idrica sotterranea si rinviene a profondità variabili e comunque di poco superiori al livello marino.

L'importanza della falda carsica localmente esistente è documentata dalle portate nei pozzi perforati. Nelle zone più interne ed elevate del territorio sono stati rilevati valori oscillanti tra i 7 e gli 11 lt/sec.; i pozzi situati via via verso la costa hanno portate più cospicue fra i 15 e i 20 lt/sec.

## **5. SISMICITA' DEL TERRITORIO**

Facendo espresso riferimento al vigente strumento di classificazione sismica del territorio italiano, redatto nel 2004 in recepimento delle disposizioni contenute nell'O.P.C.M. n. 3274/2003 (recepite dalla Regione Puglia con D.G.R. n. 153/2004), il territorio amministrativo dei Comuni di Manfredonia e Foggia ricade interamente in "**Zona 2**", ovvero in **area a sismicità medio-alta**.

Volendo invece esprimere la pericolosità sismica in termini di massima accelerazione sismica del suolo di probabilità statisticamente apprezzabile, si può fare riferimento alle indicazioni contenute nella "Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale" redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e pubblicata in allegato all'O.P.C.M. n. 3519/2006 sulla G.U. n. 108 dell'11 maggio 2006. In base alla suddetta mappa, il territorio in esame ricade in zona di media pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (riferita a suoli rigidi di Categoria A così come definiti al punto 3.2.2 delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni) di  $0,125 \div 0,150$  g, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (ag) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

<i>Zona sismica</i>	<i>Descrizione</i>	<i>accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a<sub>g</sub>]</i>	<i>accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a<sub>g</sub>]</i>	<i>numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)</i>
<b>1</b>	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	a <sub>g</sub> > 0,25 g	0,35 g	703
<b>2</b>	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	0,15 < a <sub>g</sub> ≤ 0,25 g	0,25 g	2.224
<b>3</b>	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	0,05 < a <sub>g</sub> ≤ 0,15 g	0,15 g	3.002
<b>4</b>	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	a <sub>g</sub> ≤ 0,05 g	0,05 g	1.982

## **6. INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE SVOLTE**

Le indagini eseguite sono consistite in:

- n. 20 indagini sismiche a rifrazione della lunghezza ciascuna di 33 metri;
- n. 20 sondaggi elettrici con ricostruzione tomografica;
- n. 4 profili sismici MASW della lunghezza di 33 metri lineari, eseguiti sugli stendi menti di sismica a rifrazione nn. 5, 15, 17 e 20.
- indagine Georadar di circa 2000 metri lineari per la verifica di cavidotti interrati e/o tubazioni, mirando ad accertare la loro presenza in alcune aree "strategiche";

### **7.1 Indagine sismica a rifrazione**

Per individuare la successione stratigrafica e le caratteristiche geotecniche del terreno fondale, si è proceduto con l'esecuzione di venti profili sismici a rifrazione, distribuiti sull'area interessata dal progetto.

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<sub>p</sub>) 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 dei primi arrivi 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.

Sono stati eseguiti i profili sismici coniugati, adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri. Per l'infissione dei geofoni non sono stati realizzati dei prefori, ma infissi direttamente sul terreno e senza l'utilizzo di alcun supporto.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza battente del peso di 5 kg che batte su una piattina.

Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod Geode, di cui si riportano specifiche tecniche. Esso 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.

### 7.1.1 Analisi dei risultati

Le indagini hanno rilevato una certa omogeneità della risposta è possibile definire il modello sismostratigrafico caratterizzato dalla presenza di due soli sismostrati sia nell'area interessata dall'installazione dell'impianto fotovoltaico (indagini nn.1-8) che lungo il tracciato del cavidotto. In affioramento per uno spessore di **0.3-1.0 metri si rinviene il terreno vegetale** caratterizzato da una velocità di 300 m/sec; segue il secondo sismostrato che, caratterizzato da una velocità variabile da 900 m/sec a 1100 m/sec, è da ricondurre alla presenza di **sabbie con ghiaie**.

Per l'ubicazione dei profili sismici e l'elaborazione (dromocrone e sezioni sismiche si rimanda all'allegato n. 2 (in calce alla relazione).

I **parametri geotecnici** medi del terreno investigato, le **sabbie con ghiaie** sono i seguenti:

Densità relativa (%)	45.88
Angolo di attrito (°)	33.06
Coesione (kg/cmq)	0.0
Modulo di Young (kg/cmq)	214
Modulo edometrico (kg/cmq)	118
Classificazione AGI	moderat.addensato
Peso di volume (gr/cm <sup>3</sup> )	1.94
Modulo di Poisson	0.32
Modulo di deform. a taglio (Kg/cmq)	987
Modulo di reazione (Kg/cm <sup>3</sup> )	3.68

## **7.2 Sondaggi elettrici con ricostruzione tomografica**

L'indagine elettrica prevede sempre una fase preliminare al fine di comprendere al meglio le problematiche da affrontare e le peculiarità del sito. Il metodo scelto permette di stimare la resistività del sottosuolo in esame; tale parametro è fondamentale per l'individuazione dei passaggi stratigrafici, cavità ed eventuali sottoservizi presenti.

I valori di resistività vengono rilevati introducendo nel sottosuolo una corrente attraverso due elettrodi di corrente e misurando la differenza di potenziale attraverso altri due elettrodi, detti appunto di misura. L'invio della corrente nel sottosuolo, utilizzando delle sorgenti puntiformi in superficie, determina l'irraggiamento delle linee di corrente attraverso superfici di forma semisferica. In generale il terreno non è elettricamente omogeneo né isotropo, perciò quando viene immessa corrente in esso, una qualsiasi causa di variazione di conducibilità, ne altera il flusso, provocando un'anomala distribuzione del potenziale.

La misura di questo valore prende il nome di "resistività apparente", in quanto dipende dalla disposizione degli elettrodi nel terreno. La raccolta di queste informazioni avviene lungo tutto il tratto percorso dai filetti elettrici e, di conseguenza, da tutta la semisfera prodotta dall'immissione di corrente nel sottosuolo.

La tomografia elettrica di superficie (TES) si basa su un elevato numero di misure elettriche (metodologia multi elettrodo) disposti sul terreno lungo i profili scelti. La restituzione dei risultati (ricostruzione tomografica) viene realizzata approssimando il terreno (sottosuolo) in maglie o celle ("elementi finiti") e riportando in un'apposita sezione gli elementi finiti con resistività omogenea.

Il tipo di configurazione scelto per la presente campagna d'indagine è la metodologia dipolo-dipolo.

### **7.2.1 Analisi dei risultati**

Le indagini sono state distribuite 8 sull'area interessata dall'impianto fotovoltaico, 11 lungo il tracciato del cavidotto e l'ultima, la n. 20, nell'area della Stazione Elettrica.

Le resistività registrate con tutte le indagini sono comprese in un range di 20:-500 nm, ciò significa che il sottosuolo dell'area investigata è costituito da terre piuttosto che da formazioni litoidi.

Le resistività del sedime di fondazione si attestano intorno a 150-200 nm, da assimilare a sabbie con ghiaie, con piccoli scostamenti che raggiungono 3 00-400 nm, laddove prevale la componente ghiaiosa.

A luoghi le resistività sono più basse, attestandosi sui 30-80 nm, s1 registrano in particolare nei primi metri di profondità e sono da ricondurre alla presenza di terreno vegetale che maschera la formazione sabbiosa.

### **7.3 Sismica con metodologia 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.

I profili sismici sono stati eseguiti adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri. Offset scelto di 4.0 metri.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza battente del peso di 5 kg che batte su una piattina.

Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod Geode, di cui si riportano specifiche tecniche.

L'elaborazione è avvenuta con software Winmasw.

Le NTC 18 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:

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

Con:  $h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

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

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dalle 4 indagini Masw eseguite è stato ricavato l'andamento delle  $V_S$  e da qui calcolato il valore della  $V_{S,eq}$  risultato di:

**Masw 1:  $V_{S30}$  &  $V_{seq} = 196$  m/s.**

**Masw 2:  $V_{S30}$  &  $V_{seq} = 180$  m/s.**

**Masw 3: Vs30 & Vseq = 327 m/s.**

**Masw 4: Vs30 & Vseq = 304 m/s.**

Tutte e 4 le indagini portano a ritenere che il suolo di fondazione rientra nella **categoria sismica di suolo C** di "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".

### 7.3.1 Categorie di sottosuolo

Le categorie di sottosuolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante "Norme Tecniche per le costruzioni" sono le seguenti:

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

### 7.4 Indagini GPR

Il Georadar (Ground Penetrating Radar) è uno strumento di recente introduzione nella esplorazione geofisica in grado di determinare la presenza di "anomalie dielettriche" in terreni, rocce e strutture.

E' una metodologia di prospezione geofisica che consiste, generalmente, nella trasmissione di impulsi elettromagnetici attraverso antenne di appropriata frequenza e nella misura del tempo di propagazione che l'onda riflessa impiega per raggiungere

l'antenna. Attraverso il tempo di propagazione è possibile determinare la distanza della sorgente riflettente.

Questa capacità dipende da cambiamenti dell'impedenza elettrica del terreno, ed in particolare dalla differenza di valori della costante dielettrica tra il mezzo ospitante e l'oggetto ospitato.

Per consentire misurazioni accurate è necessario che gli impulsi siano brevi e che la velocità di propagazione nel mezzo sia abbastanza costante.

La propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo viene governata da due fondamentali caratteristiche petro-fisiche che sono: la conduttività e la permittività relativa.

La conduttività elettrica  $\sigma$  (mS/m), o il suo inverso, la resistività  $\rho$  (Ohm\*m), regola l'attenuazione del segnale al punto tale che non consente la riflessione.

La permittività dielettrica relativa o costante dielettrica del mezzo ( $k$ ) regola la velocità del segnale.

Le onde elettromagnetiche ricevute, contenenti segnali riflessi, vengono acquisite digitalmente tramite computer. Esse vengono visualizzate, secondo sezioni di tempo, lungo i profili. Questi vengono successivamente elaborati attraverso filtri, deconvoluzioni, migrazioni, ecc. e poi interpretati.

Il processing dei dati radar è la parte più impegnativa del rilievo georadar. Per una buona interpretazione è importante il filtraggio che tende ad esaltare certe caratteristiche e/o ad eliminare segnali di disturbo con l'obiettivo di migliorare l'immagine del rilievo.

Il filtraggio viene eseguito per rimuovere segnali provenienti da oggetti piccoli di non interesse o da disturbi esterni, che in genere sono distinguibili in quanto si caratterizzano per un contenuto in frequenza differente dall'insieme dei segnali.

Un rilievo GPR va preparato, nel senso che vanno eseguite una serie di attività finalizzate ad ottimizzare il rilievo stesso. Vanno perciò definite:

- la maglia del rilievo in funzione dell'oggetto da indagare ( della dimensione) e dell'estensione dell'indagine stessa;
- le antenne, la cui frequenza governa la risoluzione lungo le tracce, nonché la profondità di penetrazione.

Dall'interpretazione delle sezioni è possibile riconoscere delle anomalie localizzate che consistono in chiari segnali iperbolici associati ad oggetti sepolti di limitata estensione, con caratteristiche dielettriche nettamente distinte rispetto all'ambiente circostante.

Come già accennato, il georadar è un apparecchiatura ricetrasmittente in grado di inviare un impulso multifrequenza nel sottosuolo e di ricevere le riflessioni che si generano in

corrispondenza delle variazioni di caratteristiche elettriche. E' importante sottolineare che le prestazioni del sistema sono influenzate dalla natura e dalle condizioni del substrato investigato. Generalmente, più il substrato è omogeneo, migliore è la percezione delle anomalie in esso contenute. Le peggiori prestazioni si ottengono nei materiali saturi, in special modo se argillosi.

Per quanto riguarda i terreni esaminati ( o meglio la successione degli orizzonti naturali e artificiali interessati dalla prospezione), i litoti pi sono stati dedotti dalla carta geologica dell'area indagata.

#### **7.4.1 Rilievo Topografico a corredo del rilievo radar**

Per una precisa localizzazione di eventuali cavità e/o anomalie di qualsiasi tipo riscontrate durante i rilievi georadar, con errore di appena un centimetro, si è ritenuto opportuno eseguire rilievi GPS, alloggiando asta telescopica nell'apposito supporto situato al lato del sistema georadar.

Il rilievo topografico dei percorsi eseguiti con il georadar è stato effettuato tramite sistema GPS LEICA Zeno GG04 Professional.

La planimetria dei profili GPR riportata in seguito, è scaturita sia dall'esportazione dei dati GPS georeferenziati per quanto riguarda le zone bene esposte ai satelliti, (in zone coperte da alberi o prossime ai fabbricati i rilievi vengono eseguiti manualmente).

#### **7.4.2 Analisi dei risultati**

Le indagini sono state eseguite in corrispondenza di 9 aree; realizzando complessivamente n. 84 strisciate per una lunghezza complessiva di investigazione pari a 2075 mt lineari.

Tutti e 84 i profili sono stati acquisiti mantenendo costanti i parametri di acquisizione ( acquisizione in continuo) indagando sull'area interessata dalla realizzazione dell'impianto che lungo il tracciato del cavidotto da interrare.

Dopo aver acquisito 1 profili GPR m situ ne è stata effettuata l'elaborazione.

La prima area è sulla S.P. 73 a poche centinaia di metri dall'impianto per una estensione di circa 860 metri lineari; in quest'area sono state realizzate complessivamente 36 strisciate, la maggiorparte delle quali in direzione longitudinali; solo in alcuni tratti sono state realizzate delle strisciate trasversalmente alla strada.

Esse hanno permesso di rilevare un solo sottoservizio con la strisciata radar n. 21; il sottoservizio è a circa 0.8 metri dal p.c ..

La seconda area, per la quale si rimanda alla planimetria allegata, è stata investigata per mezzo di 17 strisciate radar anche in questo caso eseguite sia longitudinalmente il cavidotto che trasversalmente; in questa area (in prossimità dell'incrocio) è stato rilevato un solo sottoservizio con la strisciata n. 40 ad una profondità di 0.80 m.

Le strisciate dalla n. 54 a 62 sono state eseguite dirimpetto ad un casolare; esse non hanno rilevato alcun segnale da attribuire a sottoservizi e/o a tubazioni di alcun tipo.

Le strisciate nn. 63 e 64, eseguite anche esse, in corrispondenza di una intersezione, secondaria, non hanno rilevato alcuna anomalia.

Una quinta area è stata investigata con le strisciate nn. 65-67; anche esse non hanno rilevato alcun segnale iperbolico.

Le tre aree investigate con i gruppi di strisciate nn. 68-71, 72-75, 76-79 non hanno rilevato alcuna anomalia.

Sull'ultima area investigata, sulla S.P. n. 70, nelle vicinanze della SE, sono state realizzate complessivamente 5 strisciate; esse hanno permesso di riconoscere 4 sottoservizi, ubicati come da planimetria, rilevati con le strisciate nn.80, 81, 82 e 84; sono tre a ridosso della Stazione Elettrica Terna ed un quarto dista dalla stessa circa 80.0 metri. Si trovano tutti ad una profondità di circa 1.5 metri.

Per ubicazione strisciate, radargrammi e ubicazione delle anomalie si rimanda all'allegato n. 1 (in calce alla relazione).

### **7.5 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)**

E' stata effettuata una campagna geognostica, all'interno dell'area che verrà interessata dalla realizzazione del parco fotovoltaico, consistita in trentacinque (35) prove penetrometriche dinamiche al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni del sottosuolo che verranno coinvolti dalla messa in opera delle fondazioni della struttura.

Ogni prova penetrometrica dinamica effettuata si è spinta fino ad una profondità di 3,80 metri dal piano campagna (infissione completa di 4 aste), ritenendola sufficientemente adeguata ai fini investigativi sia in relazione alla tipologia dell'opera che ai carichi da essa indotti sul terreno.

L'infissione è avvenuta tramite l'uso del penetrometro DL30IT•SA, a mezzo di una massa battente di 30 kg per una volata di 20 cm, contando il numero di colpi necessari all'approfondimento della punta in 10 cm di terreno (prova SPTC con punta conica a 60°).

Dalla prova si sono potuti costruire due istogrammi riportanti nei due assi cartesiani, in uno la profondità ed il numero dei colpi, nell'altro la profondità e la resistenza dinamica alla punta (vedi allegati grafici).

Compiendo le dovute correlazioni con il numero dei colpi ( $N_{spt}$ ), ottenuti attraverso l'elaborazione con software specifico (Dynamic Probing/2005 della GeoStru Software House), sono stati ricavati una serie di parametri fisico-geotecnici, le cui schede tecniche sono allegate al presente lavoro.

Di seguito si riporta la tabella con le coordinate Gauss-Boaga delle prove penetrometriche effettuate:

sondaggio SPT	Latitudine N	Longitudine E
1	41°29'53.61"N	15°51'47.47" E
2	41°29'48.01"N	15°51'47.71" E
3	41°29'50.12"N	15°51'53.73" E
4	41°29'48.63"N	15°51'57.40" E
5	41°29'50.96"N	15°52'1.53" E
6	41°29'54.04"N	15°52'5.53" E
7	41°29'51.04"N	15°52'10.86" E
8	41°29'48.83"N	15°52'14.38" E
9	41°29'44.90"N	15°52'19.87" E
10	41°29'40.91"N	15°52'25.96" E
11	41°29'36.70"N	15°52'31.99" E
12	41°29'33.38"N	15°52'37.52" E
13	41°29'34.81"N	15°52'42.19" E
14	41°29'35.38"N	15°52'49.01" E
15	41°29'25.45"N	15°52'34.98" E
16	41°29'30.16"N	15°52'35.16" E
17	41°29'28.43"N	15°52'29.01" E
18	41°29'22.66"N	15°52'20.91" E
19	41°29'32.39"N	15°52'20.67" E
20	41°29'39.92"N	15°52'9.51" E
21	41°29'44.43"N	15°52'2.91" E
22	41°29'27.72"N	15°52'15.30" E
23	41°29'31.44"N	15°52'8.29" E
24	41°29'38.01"N	15°51'59.08" E
25	41°29'43.27"N	15°51'50.96" E
26	41°29'49.86"N	15°51'41.78" E
27	41°29'43.14"N	15°51'58.44" E
28	41°29'37.43"N	15°52'6.61" E
29	41°29'32.66"N	15°52'15.76" E
30	41°29'28.60"N	15°52'23.52" E
31	41°29'33.25"N	15°52'29.28" E
32	41°29'36.63"N	15°52'23.25" E
33	41°29'38.25"N	15°52'17.37" E
34	41°29'43.40"N	15°52'14.30" E
35	41°29'47.43"N	15°52'7.74" E

### 7.5.1 Analisi dei risultati

In allegato alla presente vi sono i risultati ottenuti. Le principali evidenze di tali prove sono le seguenti:

La Tab.1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è riassuntiva dei principali parametri geotecnici del deposito fino alla profondità di circa 4m da p.c., desunti dalle 35

prove penetrometriche dinamiche eseguite, essi trovano riscontro nei risultati dell'indagine sismica eseguita.

PARAMETRI GEOTECNICI		
Coesione non drenata	$c$ (Kg/cmq)	0.12-0.19
Peso unità di Volume	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,58-1,65
Peso unità di Volume allo stato saturo	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,85
Resistenza alla punta penetrometro statico	$Q_C$ (Kg/cmq)	3,74 - 6.34
Modulo edometrico (Vesic 1970)	$E$ (Kg/cmq)	40,00 - 44,14
Angolo di attrito	$\phi$ (°)	20-22

**Tabella 1** : Caratteristiche fisico-meccaniche del deposito indagato con le prove penetrometriche dinamiche

E' stata riscontrata la presenza della **falda superficiale** alla profondità media di circa 3,00 m. da p.c..

## 7 RAPPORTI TRA IL PROGETTO ED IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA PUGLIA.

La consultazione della cartografia del PAI vigente per la verifica delle aree a pericolosità idraulica e a rischio idraulico ha evidenziato che l'area d'intervento è interessata dalla perimetrazione a Media Pericolosità Idraulica MP, così come evidenziato nello stralcio cartografico del PAI di Fig.3.

Pertanto è stato redatto uno studio di compatibilità idraulica per verificare la fattibilità del parco fotovoltaico in relazione al vincolo., atteso che il progetto rientra nella fattispecie di cui alle NTA del PAI:

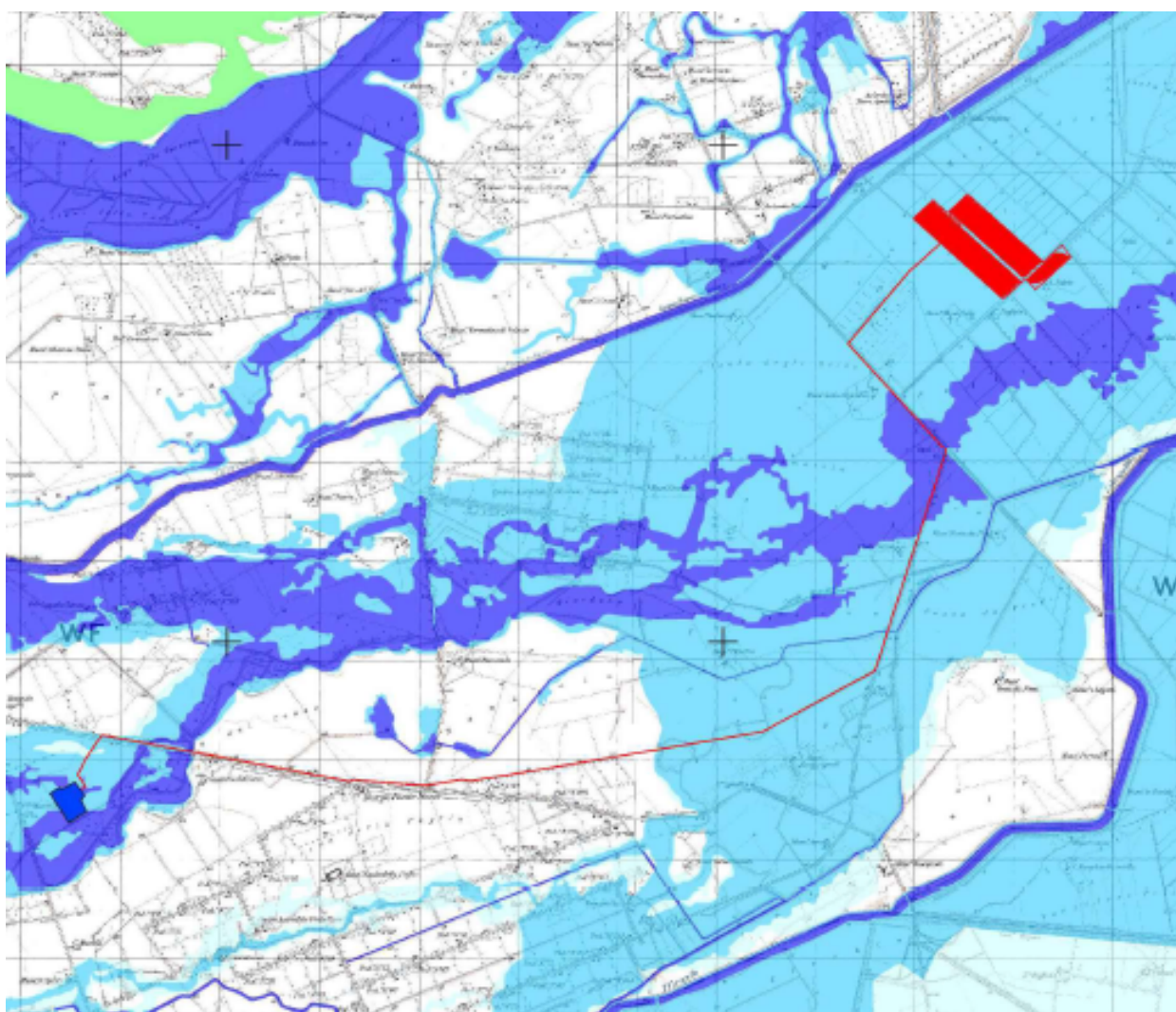
### **NTA - Art.8 - Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica**

**d) interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli**



*elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;*

*k) ulteriori tipologie di intervento a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, previo parere favorevole dell'autorità idraulica competente e dell'Autorità di Bacino sulla coerenza degli interventi di messa in sicurezza anche per ciò che concerne le aree adiacenti e comunque secondo quanto previsto agli artt. 5, 24, 25 e 26 in materia di aggiornamento dal PAI. In caso di contestualità, nei provvedimenti autorizzativi ovvero in atti unilaterali d'obbligo, ovvero in appositi accordi laddove le Amministrazioni competenti lo ritengano necessario, dovranno essere indicate le prescrizioni necessarie (procedure di adempimento, tempi, modalità, ecc.) nonché le condizioni che possano pregiudicare l'abitabilità o l'agibilità. Nelle more del completamento delle opere di mitigazione, dovrà essere comunque garantito il non aggravio della pericolosità in altre aree.*



**Figura 3 : Ubicazione del sito di progetto su stralcio cartografico PAI**

Lo Studio di compatibilità idraulica eseguito è giunto alle seguenti conclusioni.

Dalle indagini preliminari condotte risulta quindi che la pericolosità idraulica dell'area compresa tra i tratti terminali dei torrenti Cervaro e Peluso può essere indotta sia dall'insufficienza idraulica del reticolo del canale Peluso sia dall'esondazione delle acque del torrente Cervaro. Pertanto si è ritenuto opportuno condurre l'analisi del rischio idraulico considerando entrambe le problematiche sopra citate ed in maniera cautelativa di considerarne la loro sovrapposizione e quindi che i due fenomeni si verifichino contemporaneamente.

Di seguito sono illustrate le fasi dello studio condotto consistenti in particolare in:

- studio idrologico del bacino del Torrente Cervaro e del canale Peluso per valutare gli idrogrammi di piena attesi con riferimento ai vari tempi di ritorno;
- modellazione idraulica con schema bidimensionale ed in regime di moto vario della zona compresa tra il Cervaro ed il Peluso per simulare la propagazione dei deflussi di piena con i vari tempi di ritorno sia con riferimento ai deflussi del canale Peluso sia alle acque che esondano dal Cervaro.

**Lo scopo dello studio è stato quello di valutare se il livello di rischio idraulico dell'area oggetto di intervento in caso di eventi di piena del Torrente Cervaro e del Canale Peluso è compatibile con la realizzazione del parco fotovoltaico in progetto.**

Per supportare la verifica di compatibilità con il PAI, è stato redatto lo studio idraulico che, in accordo alle procedure previste nel Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia, prevede anche l'utilizzo di un modello idrodinamico bidimensionale per l'analisi del rischio idraulico nella zona con particolare riferimento ai battenti idrici ed alle velocità che si possono verificare con diversi tempi di ritorno nella zona per verificare se sono compatibili con la realizzazione del citato impianto fotovoltaico.

Come in precedenza accennato, per verificare la compatibilità idraulica degli impianti fotovoltaici in progetto con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona è necessario accertare che:

- *gli interventi previsti siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in maniera tale che non subiscano danni in caso che la zona si allaghi;*
- *la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.*

Siccome l'intervento in progetto sarà realizzato osservando le seguenti indicazioni:

- *le attrezzature elettroniche e il punto di aggancio dei moduli fotovoltaici sulle strutture deve essere posizionato almeno 1 metro dal livello idrico massimo relativo alla modellazione con tempo di ritorno pari a 200 anni;*

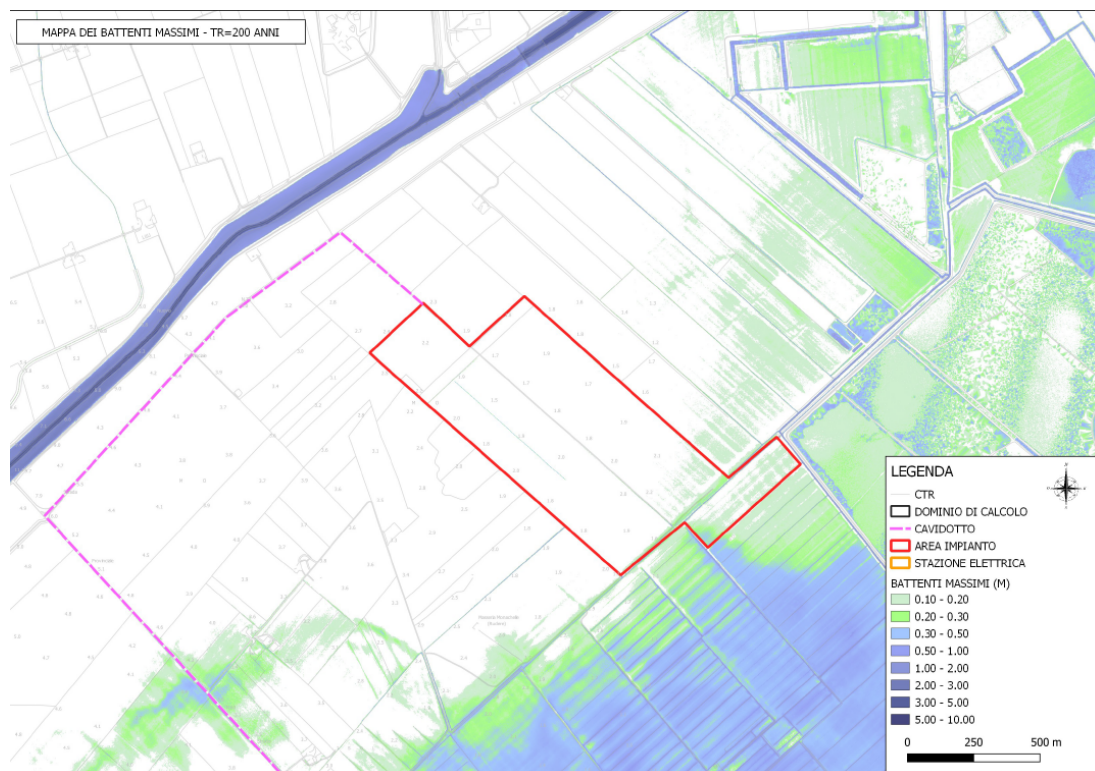
- *i manufatti devono essere realizzati su strutture poggiate su pali che non devono interferire con il libero deflusso delle acque per cui la quota d'intradosso deve essere posta almeno 0.50 m sopra il livello idrico massimo relativo alla modellazione con tempo di ritorno pari a 200 anni;*
- *nelle aree maggiormente allagate, quelle in cui si verificano battenti massimi superiori a 40-50 cm non sarà consentita l'installazione di alcuna apparecchiatura elettronica ne tanto meno di strutture a corredo dell'impianto;*

Considerato inoltre che:

- sia le batterie di pannelli che le cabine di trasformazione verranno installate su pali e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque (circa 1m);
- la realizzazione di eventuali recinzioni avverrà comunque utilizzando reti e grigliati completamente permeabili e la base di tali recinzioni sarà posta ad almeno 20 cm al di sopra del piano campagna;

si può affermare che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto non altera le condizioni di rischio idraulico della zona.

Si può concludere pertanto che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in progetto è compatibile con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona a patto che durante la fase realizzativa vengano rispettate integralmente le indicazioni progettuali sopra riportate.



**Situazione di rischio – conclusione dello SCI**

## 8 CONCLUSIONI

Lo studio geologico è stato eseguito, a corredo del progetto di un parco fotovoltaico di potenza nominale complessiva pari a 77 MWp che la società "PARCO SOLARE MANFREDONIA s.r.l.", intende realizzare su un'area posta nel territorio comunale di Manfredonia in località "Beccarini".

Esso ha consentito di giungere alle seguenti conclusioni:

- Il deposito interessato dalle strutture fondali è costituito da litotipi sabbiosi limosi di origine alluvionale;
- Fino alla profondità media di 1 m dal p.c. è stata riscontrata la presenza di sedimenti scadenti dal punto di vista delle qualità geomeccaniche;
- La falda superficiale è stata riscontrata alla profondità di media di circa -3 m da p.c., ma considerando che l'indagine è stata eseguita nella stagione estiva non si può ipotizzare una escursione stagionale del livello idrico di circa 1m in conseguenza delle precipitazioni autunnali e invernali;
- Le prove penetrometriche hanno permesso di verificare una resistenza al carico puntuale che svilupperanno i pannelli fotovoltaici previsti da progetto definendo i principali parametri geotecnici di calcolo;
- Con riferimento al PAI, l'area è catalogata a Media Pericolosità Idraulica, per la quale è stato effettuato uno Studio di Compatibilità Idraulica da sottoporre ad approvazione dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

Il Geologo  
Dott. Giuseppe MASILLO



ALLEGATI:

- **REPORT INDAGINI GEOFISICHE**
- **REPORT PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE**

