



**COMUNE DI  
TEMPIO PAUSANIA**



**REGIONE AUTONOMA  
DELLA SARDEGNA**



**COMUNE DI  
AGLIENTU**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE  
E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO  
DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA  
DA FONTE EOLICA DENOMINATO  
"PARCO EOLICO BASSACUTENA",  
DELLA POTENZA DI 61,2 MW, LOCALIZZATO  
NEL COMUNE DI TEMPIO PAUSANIA  
E DELLE SOLE OPERE ED INFRASTRUTTURE  
CONNESSE PER IL COLLEGAMENTO  
IN ANTENNA 36 KV CON UNA NUOVA  
STAZIONE ELETTRICA (SE) DELLA RTN  
A 150 KV/36KV DA INSERIRE IN ENTRA-ESCE  
ALLA LINEA RTN A 150 KV "AGLIENTU  
S.TERESA", SITA NEL COMUNE DI AGLIENTU**



Piano preliminare di monitoraggio geotecnico e strutturale

## PROPONENTE

**MYT EOLO 1 S.R.L.**  
Via Vecchia Ferriera 22  
36100 Vicenza (VI)  
P.IVA 04436470241  
REGISTRO IMPRESE VI-397007

## PROGETTISTI

**ING. CARLO PERUZZI**  
Via Pallone 6  
37121 Verona (VR)  
P.IVA 03555350234  
PEC carlo.peruzzi@ingpec.eu



**RENX ITALIA S.R.L.**  
Via Vecchia Ferriera 22  
36100 Vicenza (VI)  
P.IVA 04339940241  
PEC: renx-italia@pec.it

DATA	REVISIONE	ELABORATO
		<b>PPMGS</b>

## INDICE

1	PREMESSA .....	2
2	RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO.....	4
3	RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PRESENTE DOCUMENTO .....	5
4	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	8
5	SINTESI DELLE INDAGINI GEOLOGICO-GEOTECNICHE .....	10
6	SINTESI DELLE OPERE STRUTTURALI .....	20
7	PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO.....	24
8	PIANO DI MONITORAGGIO DELLE STRUTTURE NELL'ESERCIZIO DEL CAMPO EOLICO .....	25

## 1 PREMESSA

La società **Myt Eolo 1 S.r.l.**, d'ora in avanti indicata sinteticamente come il "**Proponente**", ha elaborato il presente progetto per la produzione di energia rinnovabile da fonte eolica ubicato nel comune di Tempio Pausania, Località Bassacutena, le cui opere ed infrastrutture connesse per il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (di seguito RTN) ricadono nei comuni di Tempio Pausania e Aglientu.

Il titolo completo del progetto è il seguente: "**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Parco Eolico Bassacutena", della potenza di 61,2 MW, localizzato nel Comune di Tempio Pausania e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu-S. Teresa", sita nel Comune di Aglientu**".

Di seguito, i dati identificativi sintetici del Proponente:

- Società Proponente: MYT EOLO 1 S.r.l.
- Forma Giuridica: Società a Responsabilità Limitata
- Presidente del CdA: SICCARDI IGOR
- Sede: Via Vecchia Ferriera, 22 – 36100 – VICENZA (VI)
- Posta certificata: myteolo1srl@pec.it
- REA: VI- 404143
- P.IVA: 04436470241
- Iscritta alla Sezione Ordinaria di VICENZA

Il Proponente è parte del gruppo **Renx Italia S.r.l.**, società di diritto italiano avente ad oggetto lo studio, la compravendita, la costruzione, la gestione e la commercializzazione di impianti di produzione di energia rinnovabile, tra cui spicca nella fattispecie la fonte eolica.

Renx Italia S.r.l. nasce dalla comune visione dei soci fondatori di creare un'entità altamente specializzata nella progettazione e nell'ambito della produzione di energia da fonti rinnovabili. Contando più di quaranta tra collaboratori e partners che quotidianamente operano con professionalità e riconosciute competenze nella ricerca e nello sviluppo delle nuove iniziative del gruppo, ad oggi Renx Italia S.r.l. è, nel segmento delle piccole e medie imprese, uno degli operatori qualificati che opera con fondi e grandi compagnie energetiche con la maggiore pipeline di sviluppo di progetti a fonti rinnovabili.

La forte espansione del gruppo, dalla sua nascita ad oggi, trae origine indubbiamente dalle competenze e dalle esperienze in ambito energetico acquisite nel corso degli anni della proprietà, abbinate a valori etici, varietà di competenze multiculturali, gestione imprenditoriale e forte orientamento ai risultati di un gruppo di lavoro giovane, motivato e appassionato dal settore delle energie rinnovabili.

L'ipotesi progettuale prevede l'installazione di n. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6,8 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 61,2 MW nel Comune di Tempio Pausania, Località Bassacutena (di seguito "**Parco eolico Bassacutena**").

Secondo quanto previsto dalla Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) ricevuta ed accettata dal Proponente in qualità di titolare dei diritti del progetto di cui al Codice Pratica 202201156, Terna S.p.A. prevede che il "**Parco Eolico Bassacutena**" venga collegato in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu – S. Teresa", previa realizzazione dei seguenti interventi previsti dal Piano di Sviluppo Terna:

- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV in GIS denominata "Buddusò";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV denominata "Santa Teresa";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV in GIS denominata "Tempio";
- nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150 kV tra la SE Santa Teresa e la nuova SE Buddusò.

E' giusto precisare che le opere "SE RTN" sopra citate non appartengono alla presente progettazione.

Internamente al parco eolico, i singoli aerogeneratori saranno collegati mediante cavidotto interrato a 30kV alla Sottostazione Elettrica di condivisione e trasformazione 30/36kV di proprietà dell'utenza (SSEU) previo collegamento precedente ad una cabina di smistamento e sezionamento (localizzata in prossimità del parco). Dalla SSEU partirà il cavidotto interrato 36kV che, seguendo per quanto più possibile il tracciato stradale esistente, veicherà l'energia prodotta dal Parco Eolico per la connessione in antenna 36 kV con la nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu-S. Teresa" di cui alla STMG, sita nel comune di Aglientu, che rappresenta il punto di connessione dell'impianto alla RTN.

## 2 RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO

Il presente documento appartiene al progetto di fattibilità tecnica ed economica (PFTE) allegato all'istanza di procedura V.I.A. (artt. 23, 24, 24bis e 25 del d.Lgs. n° 152/2006 e ss. mm. e ii.) inerente al **“Progetto per la realizzazione e l’esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Parco Eolico Bassacutena”, della potenza di 61,2 MW, localizzato nel Comune di Tempio Pausania e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu-S. Teresa", sita nel Comune di Aglientu”**.

L'intero progetto, come richiesto dalla procedura di V.I.A. , è stato elaborato in ottemperanza a quanto richiesto per un livello di **“fattibilità tecnica ed economica”** secondo il recente d.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 - Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al governo in materia di contratti pubblici - (G.U. n. 77 del 31 marzo 2023 - S.O. n. 12).

**Da questo momento in poi e per tutti gli elaborati progettuali, qualsiasi riferimento di legge o norma s'intenderà già comprensivo della dicitura “ss. mm. e ii”.**

### 3 RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PRESENTE DOCUMENTO

Di seguito, per completezza e facilità di lettura, si citano gli articoli d'interesse del d.Lgs. 36/2023:

#### PARTE IV - DELLA PROGETTAZIONE

##### Art. 41. (Livelli e contenuti della progettazione)

1. La progettazione in materia di lavori pubblici, si articola in due livelli di successivi approfondimenti tecnici: il **progetto di fattibilità tecnico-economica** e il progetto esecutivo.

**Essa è volta ad assicurare:**

- a) **il soddisfacimento dei fabbisogni della collettività;**
- b) **la conformità alle norme ambientali, urbanistiche e di tutela dei beni culturali e paesaggistici, nonché il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza delle costruzioni;**
- c) **la rispondenza ai requisiti di qualità architettonica e tecnico-funzionale, nonché il rispetto dei tempi e dei costi previsti;**
- d) **il rispetto di tutti i vincoli esistenti, con particolare riguardo a quelli idrogeologici, sismici, archeologici e forestali;**
- e) **l'efficientamento energetico e la minimizzazione dell'impiego di risorse materiali non rinnovabili nell'intero ciclo di vita delle opere;**
- f) **il rispetto dei principi della sostenibilità economica, territoriale, ambientale e sociale dell'intervento, anche per contrastare il consumo del suolo, incentivando il recupero, il riuso e la valorizzazione del patrimonio edilizio esistente e dei tessuti urbani;**
- g) **la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti di gestione informativa digitale delle costruzioni di cui all'[articolo 43](#);**
- h) **l'accessibilità e l'adattabilità secondo quanto previsto dalle disposizioni vigenti in materia di barriere architettoniche;**
- i) **la compatibilità geologica e geomorfologica dell'opera.**

2. **L'[allegato I.7](#) definisce i contenuti dei due livelli di progettazione** e stabilisce il contenuto minimo del quadro delle necessità e del documento di indirizzo della progettazione che le stazioni appaltanti e gli enti concedenti devono predisporre. In sede di prima applicazione del codice, l'[allegato I.7](#) è abrogato a decorrere dalla data di entrata in vigore di un corrispondente regolamento adottato ai sensi dell'articolo 17, comma 3, della legge 23 agosto 1988, n. 400, con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici, che lo sostituisce integralmente anche in qualità di allegato al codice.

...

**6. Il progetto di fattibilità tecnico-economica:**

- a) *individua, tra più soluzioni possibili, quella che esprime il rapporto migliore tra costi e benefici per la collettività in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e alle prestazioni da fornire;*
- b) *contiene i necessari richiami all'eventuale uso di metodi e strumenti di gestione informativa digitale delle costruzioni;*
- c) *sviluppa, nel rispetto del quadro delle necessità, tutte le indagini e gli studi necessari per la definizione degli aspetti di cui al comma;*
- d) *individua le caratteristiche dimensionali, tipologiche, funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare, compresa la scelta in merito alla possibile suddivisione in lotti funzionali;*
- e) *consente, ove necessario, l'avvio della procedura espropriativa;*
- f) *contiene tutti gli elementi necessari per il rilascio delle autorizzazioni e approvazioni prescritte;*
- g) *contiene il piano preliminare di manutenzione dell'opera e delle sue parti.*

**ALLEGATO I.7 - Contenuti minimi del quadro esigenziale, del documento di fattibilità delle alternative progettuali, del documento di indirizzo della progettazione, del progetto di fattibilità tecnica ed economica e del progetto esecutivo ([Articoli da 41 a 44 del Codice](#)).**

**SEZIONE II - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA****Articolo 6. Progetto di fattibilità tecnico-economica.**

1. *Il progetto di fattibilità tecnico-economica, di seguito «PFTE», costituisce lo sviluppo progettuale della soluzione che, tra le alternative possibili messe a confronto nel DOCFAP, ove redatto, presenta il miglior rapporto tra costi complessivi da sostenere e benefici attesi per la collettività.*
2. *Il PFTE è elaborato sulla base della valutazione delle caratteristiche del contesto nel quale andrà inserita la nuova opera, compatibilmente con le preesistenze (anche di natura ambientale, paesaggistica e archeologica). A questo fine ci si può avvalere, nei casi previsti dall'[articolo 43 del codice](#), di modelli informativi digitali dello stato dei luoghi, eventualmente configurato anche in termini geospaziali (Geographical Information System - GIS).*
3. *Durante la fase di progettazione di fattibilità tecnica ed economica sono svolte adeguate indagini e studi conoscitivi (morfologia, geologia, geotecnica, idrologia, idraulica, sismica, unità ecosistemiche, evoluzione storica, uso del suolo, destinazioni urbanistiche, valori paesistici, architettonici, storico-culturali, archeologia preventiva, vincoli normativi, ecc.) anche avvalendosi di tecnologie di rilievo digitale finalizzate alla definizione di modelli informativi dell'esistente.*
4. *La preventiva diagnostica del terreno, unita alla ricognizione e alla compiuta interpretazione del territorio, consente di pervenire alla determinazione:*
  - a) *dell'assetto geometrico-spaziale dell'opera (localizzazione sul territorio);*
  - b) *degli aspetti funzionali dell'opera;*
  - c) *delle tipologie fondazionali e strutturali (in elevazione) dell'opera medesima;*
  - d) *della eventuale interferenza con il patrimonio culturale e archeologico;*

- e) *delle misure di mitigazione e compensazione dell'impatto ambientale e sui contesti archeologici, ai fini della loro valorizzazione e restituzione alla comunità locale tramite opere di conservazione o dislocazione;*
  - f) *di una previsione di spesa attendibile.*
5. *Il PFTE tiene conto, per quanto possibile, delle caratteristiche orografiche e morfologiche del contesto fisico di intervento, limitando le modifiche del naturale andamento del terreno (e conseguentemente il consumo di suolo e i movimenti terra) salvaguardando, altresì, l'officiosità idraulica dei corsi d'acqua (naturali e artificiali) interferiti dall'opera, l'idrogeologia del sottosuolo e la stabilità geotecnica dei circostanti rilievi naturali e dei rilevati artificiali.*
6. *Nella redazione del PFTE deve aversi particolare riguardo:*
- a) *alla compatibilità ecologica della proposta progettuale, privilegiando l'utilizzo di tecniche e materiali, elementi e componenti a basso impatto ambientale;*
  - b) *alla adozione di provvedimenti che, in armonia con la proposta progettuale, favoriscano la tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale, concorrendo a preservare la memoria della comunità nazionale e del suo territorio e promuovendo il patrimonio culturale come motore di sviluppo economico;*
  - c) *all'adozione di principi di progettazione bioclimatica e di "sistemi passivi" che consentano di migliorare il bilancio energetico dell'edificio, nell'ottica di una sostenibilità complessiva dell'intervento stesso;*
  - d) *all'utile reimpiego dei materiali di scavo (nella qualità di sottoprodotti e/o per interventi di ingegneria naturalistica), minimizzando i conferimenti a discarica;*
  - e) *alla valutazione dei costi complessivi del ciclo di vita, inclusivi di quelli di "fine vita";*
  - f) *alla ispezionabilità e manutenibilità dell'opera, anche avvalendosi dei metodi e strumenti di gestione informativa digitale delle costruzioni di cui all'[articolo 43 del codice](#);*
  - g) *all'adozione dei migliori indirizzi per i processi e le modalità di trasporto e stoccaggio delle merci, beni strumentali e personale, funzionali alle fasi di avvio, costruzione e manutenzione dell'opera, privilegiando modelli, processi e organizzazioni certificati.*
7. **Il PFTE**, *in relazione alle dimensioni, alla tipologia e alla categoria dell'intervento è, in linea generale, fatta salva diversa disposizione motivata dal RUP in sede di DIP, **composto dai seguenti elaborati:***
- ...
- r) **piano preliminare di monitoraggio geotecnico e strutturale; ...**

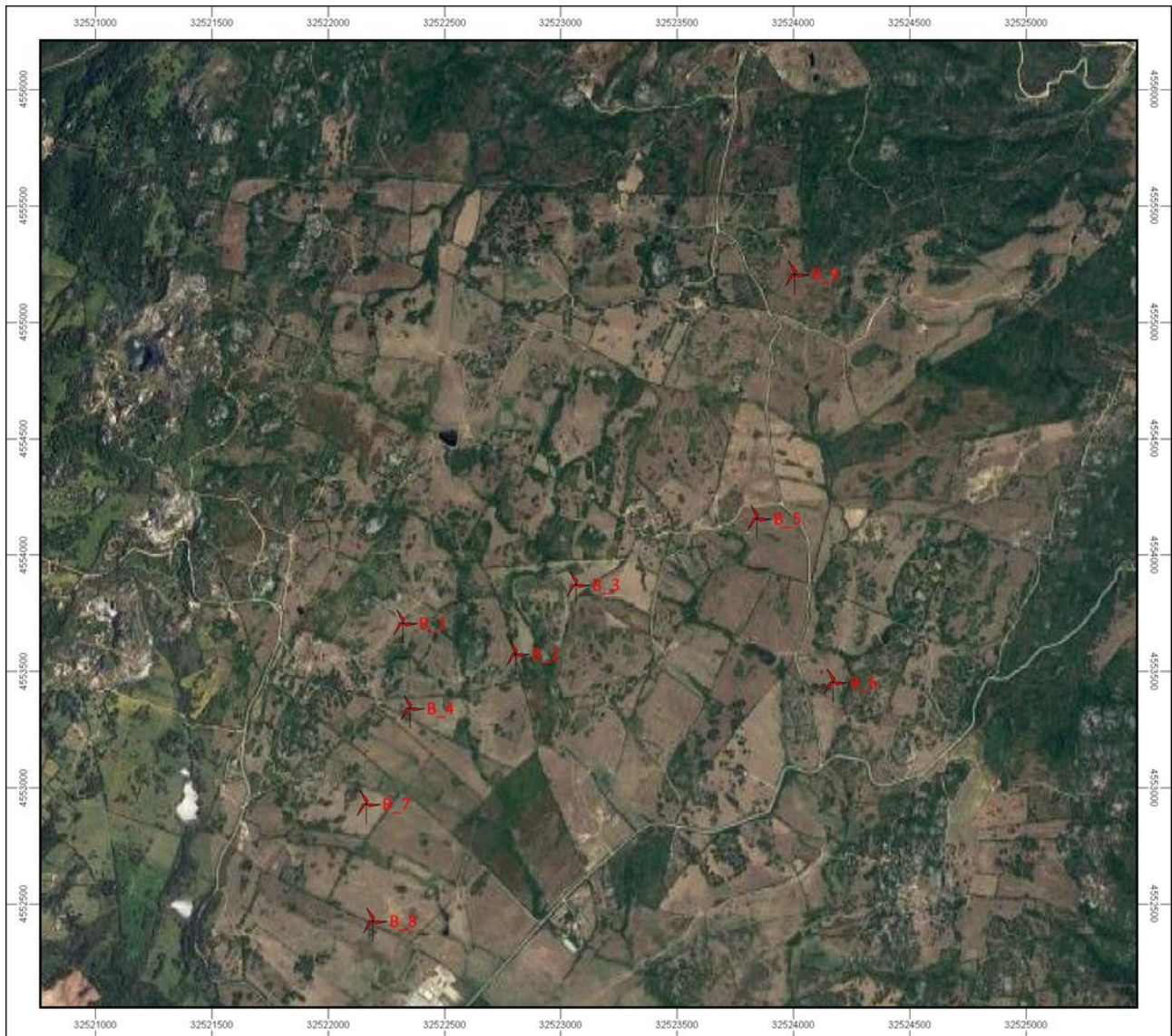
**Di seguito, seguendo anche il canovaccio suggerito dalla norma, si propongono, in distinti paragrafi, i contenuti richiesti.**



## 4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il parco eolico di progetto si sviluppa nella fascia di territorio della Gallura localizzato a 2 km direzione nord-est rispetto alla Frazione del Comune di Tempio Pausania denominata "Bassacutena", ad una altezza sul livello del mare che varia dai 200 ai 260 m circa.

Il territorio adiacente alla Frazione presa in esame è costituito da un'ampia piana solo parzialmente coltivata, in cui si estendono ampie aree adibite a pascolo e seminativo, percorsa dal Riu di Junco ed intervallata da settori alberati e a macchia impenetrabile, abitazioni sparse e presenza di piccoli agglomerati abitativi, alcune cave di granito ed un'area industriale posta a sud rispetto al layout dei n. 9 generatori eolici proposti (cfr. **figura 1**).



**Figura 1 - Planimetria generale dell'intervento con posizione delle turbine**

La rete stradale appare ben articolata sulla dorsale della SS 133 "Palau" che collega Palau all'area industriale ed al centro abitato della frazione di Bassacutena; confluiscono sulla SS133, ortogonalmente, sia la Strada Provinciale n. 70, sia la strada comunale San Pasquale-Bassacutena che raggiunge la frazione di San Pasquale una volta superata l'area industriale verso Palau, rispettivamente limite ovest ed est dell'area di progetto.

L'elettrodotto di collegamento alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN (150 kV/36kV) si sviluppa, attraverso la linea interrata a 36 kV in antenna, lungo la SP70 fino a Loc. Campovaglio dove vira su Strada Littichedda e raggiunge la cabina TERNA di trasformazione 36 kV/150 kV in Comune di Aglientu.

Dall'esame dell'elaborato "**SCGG - Studio di Compatibilità Geologica e Geomorfologica**", allegato alla presente progettazione, malgrado le opere e le infrastrutture del "Parco Eolico Bassacutena" siano collocate anche a notevole distanza fra di loro, da un punto di vista geologico il territorio in esame appartiene unicamente al complesso intrusivo tardo - ercinico che si estende fra la Sardegna nord orientale e la Corsica e denominato "**Batolite Sardo - Corso**". Il complesso granitoide risulta iniettato da **manifestazioni filoniane acide o basiche**, tardo erciniche, orientate secondo la direttrice principale SSW - NNE analogamente alle principali faglie cartografate nell'area.

Secondo le Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 428 - Arzachena", l'insieme dei dati petrografici e strutturali permettono di definire singole unità intrusive caratterizzate ognuna da geometria, aspetti composizionali e strutturali propri, e contraddistinte dalla cronologia relativa di messa in posto, deducibile dall'analisi dei contatti tra differenti *litofacies* delle diverse unità intrusive. Le aree in esame appartengono alla complessa **Unità Intrusiva di Arzachena**. Si evidenzia, inoltre, che l'intero "Parco Eolico Bassacutena" interessa quasi esclusivamente le rocce magmatiche intrusive a composizione granitoide che contraddistinguono il gallurese; in esse prevalgono i monzograniti, i leucomonzograniti e le granodioriti monzogranitiche e, secondariamente, i leucograniti, leucomicrograniti, i graniti s.l., i leucosienograniti, i microsienograniti ed i sienograniti. Le opere in esame intercettano, inoltre, brevi tratti del corteo filoniano acido, basico ed intermedio - basico.

La viabilità di servizio e l'elettrodotto HV interrato interessano, nell'area della zona industriale di Bassacutena, anche i depositi quaternari olocenici, di origine alluvionale, detritica ed eluvio - colluviale, mentre il solo elettrodotto HV interrato interessa i depositi quaternari olocenici nei pressi delle località Campovaglio e Littichedda.

## 5 SINTESI DELLE INDAGINI GEOLOGICO-GEOTECNICHE

Il riferimento per tale paragrafo è costituito dall'elaborato "SCGG - Studio di compatibilità geologica e geomorfologica dell'opera" al quale si rimanda per eventuali ulteriori dettagli.

Si citano i paragrafi di interesse:

### 2.7 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Per la descrizione della geologia locale e la ricostruzione delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo, oltre ad un sopralluogo tecnico in prossimità di tutte le zone interessate e ad un rilievo specifico nei punti autorizzati dalle proprietà, sono state realizzate le seguenti prove:

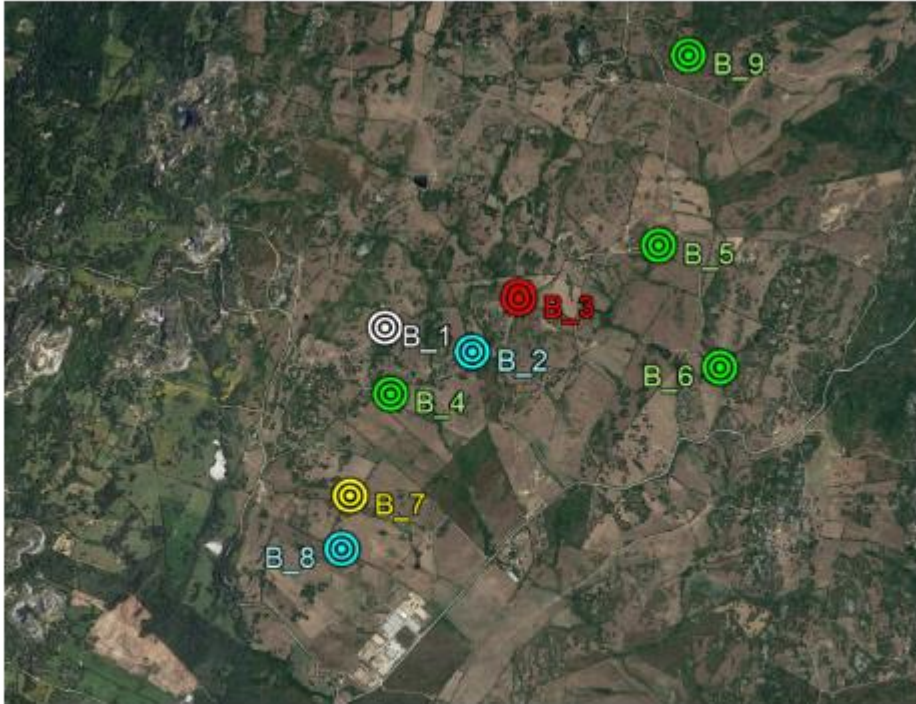
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S1, spinto fino alla profondità di 7 m dal piano campagna in corrispondenza del sito dell'aerogeneratore B\_3, con esecuzione di n. 5 prove di tipo *Standard Penetration Test* o S.P.T. (cfr. allegato n. 2);
- n. 1 prova PLT (*Point Load Test*) per la determinazione della resistenza alla compressione del substrato roccioso (cfr. allegato n. 4);
- n. 6 trincee esplorative nei siti degli aerogeneratori B\_3 e B\_7 (cfr. allegato n. 3);
- n. 8 prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica in corrispondenza o in prossimità dei siti di tutti gli aerogeneratori, ad esclusione del B\_1 (cfr. allegato n. 5).

Per la caratterizzazione sismica locale (cfr. allegato n. 5), sono stati eseguiti:

- n. 8 stendimenti geofisici di sismica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*);
- n. 8 registrazioni di rumore sismico ambientale H.V.S.R. mediante Tromino®.

In allegato a fine testo sono state ricostruite le schede proprie di ogni aerogeneratore con descritti gli esiti delle indagini di cui sopra e le caratteristiche generali dei siti in cui saranno realizzate le tori eoliche (cfr. allegato n. 1).

Le indagini realizzate sono ubicate come nella seguente figura: in rosso, giallo ed azzurro i punti autorizzati, in verde le prove sismiche realizzate nei dintorni delle aree di interesse e, in bianco, una zona non indagata.

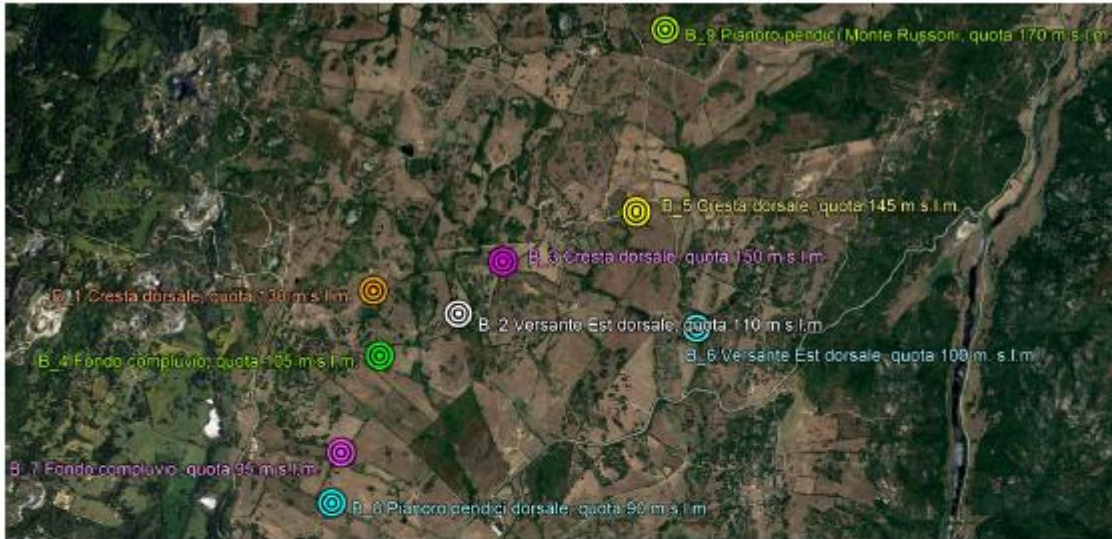


*Ubicazione delle indagini eseguite. In rosso, sondaggio a carotaggio continuo, trincee esplorative e indagini sismiche eseguite in area accessibile. In giallo, trincee esplorative e indagini sismiche in aree accessibili. In azzurro, indagini sismiche in aree accessibili. In verde, indagini sismiche eseguite in prossimità delle previste aree di intervento, non ancora accessibili. In bianco, ubicazione di una torre in progetto, non accessibile e senza alcuna indagine.*

## 2.8 MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Dal punto di vista geomorfologico, quasi tutti gli aerogeneratori si trovano su blandi dorsali collinari, spesso in prossimità della cresta e, talora, sui versanti delle stesse; si discostano gli aerogeneratori B\_4, B\_7, B\_8 e B\_9 che, invece, sono collocati su zone subpianeggianti poste alla base di dorsali o dossi (B\_8 e B\_9) o all'interno di deboli compluvi (B\_4 e B\_7).

Come detto in precedenza, gli aerogeneratori sono ubicati a varie quote altimetriche, sintetizzabili come nella seguente figura, che descrive brevemente anche le condizioni geomorfologiche locali.



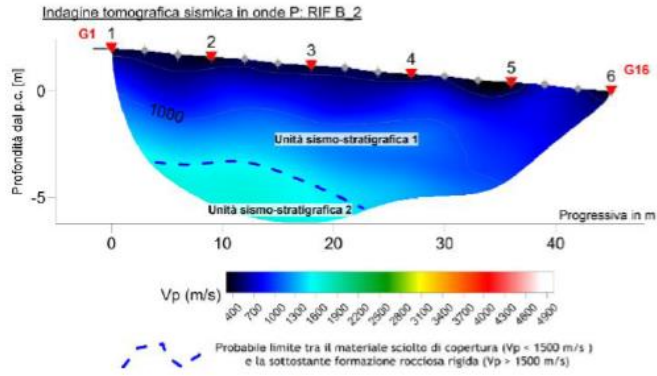
Quote altimetriche e sintesi delle caratteristiche geomorfologiche dei siti di ubicazione degli aerogeneratori.

Dal punto di vista litologico, il sondaggio a carotaggio continuo, le trincee esplorative e le indagini geofisiche hanno evidenziato una certa omogeneità dal punto di vista strettamente stratigrafico, seppur dimostrando la variabilità dello spessore delle unità geologiche individuate.

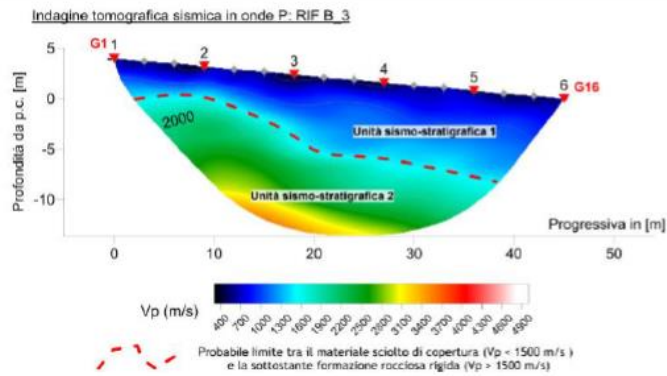
Infatti, la geologia locale è schematizzabile, al di sotto del suolo, talora assente oppure di spessore modesto e misurato fino alla profondità massima di 0,4 - 0,5 m, secondo due unità ben distinte:

- la prima unità geologica, denominata "zona arenizzata", deriva dal processo di arenizzazione dei granitoidi del "Batolite Sardo - Corso" ed è formata da sabbie grosse e sabbie ghiaiose, addensate e dotate di una certa pseudocoazione; esse ricoprono il substrato roccioso "sano", non assoggettato a tale processo, e si rinvencono fino alla profondità di circa 2 - 8 m, con uno spessore che varia anche a breve distanza; talora, esse sono coperte da terreni limoso sabbiosi di natura colluviale;
- la seconda unità, costituita dal substrato roccioso si trova, quindi, ad una profondità variabile, generalmente pari a circa 2 - 8 m. Talora, risulta subaffiorante.

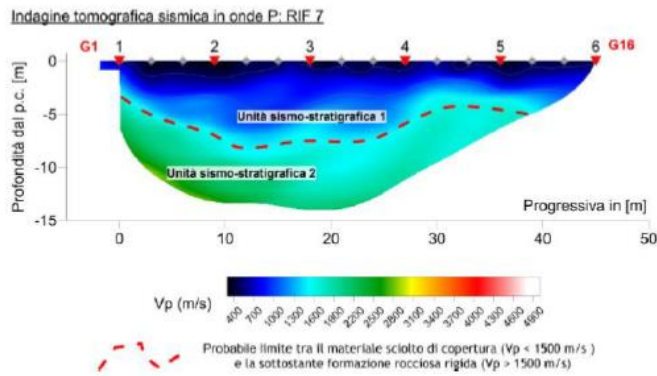
Le immagini seguenti, ricostruite grazie alle tomografie sismiche eseguite in corrispondenza degli aerogeneratori in progetto denominati B\_2, B\_3, B\_7 e B\_8, evidenziano l'andamento irregolare del substrato roccioso.



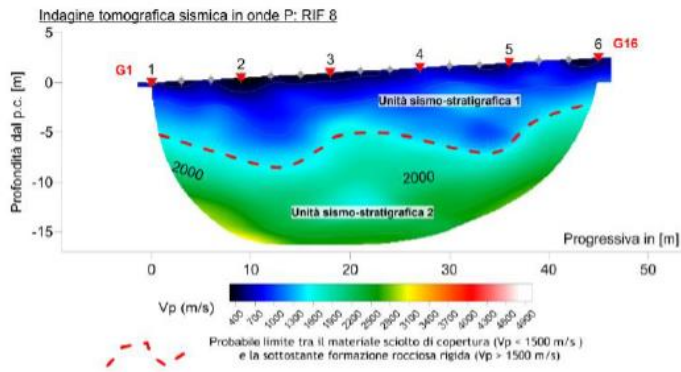
Torre B\_2



Torre B\_3



Torre B\_7



Torre B\_8

Sezioni sismo - stratigrafiche dedotte dalle prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica, dove si evidenziano i rapporti stratigrafici fra le due principali unità individuate al di sotto del suolo.

Dal punto di vista idrogeologico, i sopralluoghi e le indagini condotte nelle aree in esame confermano quanto detto in precedenza sull'assetto locale, avendo dimostrato la generale assenza di falde o venute d'acqua sulle creste delle dorsali o sui versanti delle stesse, e la presenza di falde superficiali nelle zone pianeggianti poste alla base delle dorsali e nei compluvi.

Pertanto, in relazione ai primi sopralluoghi eseguiti ed alle indagini realizzate, è stato possibile accertare od ipotizzare la potenziale presenza di una falda freatica superficiale in alcuni dei siti previsti, che potrebbe quindi interferire con le fondazioni degli aerogeneratori.

Codice aerogeneratore	Potenziale presenza falda	Verifica diretta
B_1	NO	Da verificare nelle fasi successive
B_2	NO	Da verificare nelle fasi successive
B_3	NO	VERIFICATA
B_4	SI	Da verificare nelle fasi successive
B_5	NO	Da verificare nelle fasi successive
B_6	NO	Da verificare nelle fasi successive
B_7	SI	VERIFICATA
B_8	PROBABILI	Da verificare nelle fasi successive
B_9	NO	Da verificare nelle fasi successive

*Verifica preliminare della presenza della falda nell'acquifero superficiale in corrispondenza dei siti degli aerogeneratori.*

I dati raccolti permettono, quindi, di riassumere schematicamente le condizioni stratigrafiche locali come indicato nella seguente tabella.

Strato	Profondità dal piano campagna (m)	Litologia	Livello statico dal p.c.
<b>A</b>	0,0 - 0,5	Suolo, generalmente limoso sabbioso	<b>Locale presenza della falda nella zona di arenizzazione</b>
<b>B</b>	0,5 - (2,0 ÷ 8,0)	Zona di arenizzazione. Sabbie grosse / sabbie ghiaiose	
<b>C</b>	> (2,0 ÷ 8,0)	Substrato roccioso, generalmente fratturato al tetto per almeno 2 m di spessore	

*Stratigrafia schematica in corrispondenza del "Parco Eolico Bassacutena".*

### 3 RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

#### 3.1 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

Per eseguire il sondaggio a carotaggio continuo è stata utilizzata una sonda cingolata “Puntel”; il carotaggio è stato eseguito con carotiere semplice avente diametro  $\varnothing = 101$  mm, mentre il sostegno delle pareti dei fori di sondaggio è stato realizzato allestendo tubazioni metalliche di rivestimento con  $\varnothing = 127$  mm e procedendo poi con il carotiere suddetto. Nel corso del sondaggio sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche S.P.T. in foro (*Standard Penetration Test*), a varie profondità, per determinare le qualità geotecniche delle litologie costituenti il sottosuolo locale.

##### 3.1.1 Metodi di interpretazione delle prove S.P.T. in foro

La prova S.P.T. è, allo stato attuale, la più conosciuta e la più praticata al mondo e, pertanto, ha trovato un vastissimo campo di applicazione in geotecnica. Il numero di colpi ottenuto per infiggere il campionatore ( $N_{spt}$ ) permette di valutare lo stato di addensamento e/o la consistenza dei terreni e, mediante alcune correlazioni bibliografiche, permette di caratterizzare geotecnicamente gli stessi.

La S.P.T. standardizzata si effettua facendo penetrare nel terreno, a percussione, attraverso una massa battente di peso e altezza di caduta standard, una punta aperta (Raymond) montata all'estremità di una batteria di aste cave: viste le litologie locali, che non avrebbero permesso l'uso della punta Raymond, le prove sono state eseguite utilizzando la punta conica chiusa.

La prova S.P.T. consiste nel rilevare il numero di colpi (rispettivamente  $N_1$ ,  $N_2$  ed  $N_3$ ) necessari per infiggere la punta per tre tratti successivi di 15 cm ciascuno. La resistenza alla penetrazione è caratterizzata dal numero di colpi richiesti per l'attraversamento degli ultimi due tratti, per complessivi 30 cm ( $N_{spt} = N_2 + N_3$ ).

È da rilevare che la prova penetrometrica S.P.T. può essere interrotta, secondo le raccomandazioni A.G.I. (1977), in presenza di una delle seguenti condizioni (rifiuto):

$$N_1 > 50 \text{ colpi}$$

$$N_2 + N_3 > 100 \text{ colpi}$$

Il numero di colpi utilizzato per la stima dei parametri è stato affinato normalizzando i risultati della prova con l'introduzione di alcuni fattori correttivi (Skempton, 1986) che tengono conto del dispositivo utilizzato e del suo rendimento, delle caratteristiche del foro e del campionatore, della pressione efficace del terreno sovrastante e della profondità di prova (normalizzando secondo Jamiolkowski et al., 1985).



L'insieme di questi fattori concorre a determinare, inoltre, il valore dell'effettiva energia trasmessa dal maglio al campionatore e, pertanto, l'esito della prova stessa; assumendo un rendimento energetico medio  $E_{ri}$  dei macchinari pari al 60% e normalizzando i dati ottenuti ad un rapporto energetico standard del 60%, si ricavano i valori denominati  $N'_{spt 60}$ .

Queste correzioni sono state applicate, a favore di sicurezza, solo per valori di  $\sigma'_{vo} >$  di 100 kPa.

Inoltre, nell'eventuale presenza di sabbie fini e/o limose sotto falda, prima del calcolo degli  $N'_{spt 60}$ , i valori di  $N_{spt}$  vengono ridotti applicando la correzione di Terzaghi e Peck (1948).

La normalizzazione delle S.P.T. di cui sopra ed i parametri geotecnici dei terreni sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di un foglio di calcolo predisposto dagli scriventi considerando, per la parametrizzazione, i metodi di seguito esposti.

I risultati sono stati riportati nella tabella a fine paragrafo, dove si evidenziano il numero di colpi effettivamente misurato  $N_{spt}$  ed il numero di colpi  $N'_{spt 60}$ .

#### Angolo di resistenza al taglio $\Phi$

Per ottenere l'angolo di resistenza al taglio  $\Phi$  dalle S.P.T., si sono confrontati tra loro più metodi di correlazione (De Mello, Peck – Hanson & Thornburn, Road Bridge Specification, Japanese National Railway, Kulhawy & Mayne), talora mediandone i risultati ed utilizzando anche altre formule riportate in alcuni software specifici.

Tali metodologie di calcolo sono state predisposte per le sabbie in genere ma, viste le modalità di penetrazione della punta per alcune delle prove condotte a buon fine (**avanzamento generalmente regolare**), si ritengono indicativamente valide anche per le litologie individuate.

Per l'utilizzo delle correlazioni di cui sopra, si è adottato il valore di  $N'_{spt 60}$ .

#### Densità relativa $D_r$ - Stato di addensamento $S$

In funzione del numero di colpi è possibile risalire al valore della densità relativa ed alla definizione dello stato di addensamento  $S$  dei terreni incoerenti.

Per la valutazione della Densità Relativa  $D_r$  è stato utilizzato il metodo di Gibbs & Holtz, impiegando nella stima i valori di  $N'_{spt 60}$ .

Lo stato di addensamento è stato definito secondo le raccomandazioni A.G.I. del 1977 riportate nell'immagine seguente, ma assumendo  $N = N'_{spt 60}$ .

N	valutazione dello stato di addensamento
0 – 4	sciolto
4 – 10	poco addensato
10 – 30	moderatamente addensato
30 – 50	addensato
> 50	molto addensato

Tabella A.G.I. 1977  
per terreni incoerenti

Si fa comunque presente che, con il metodo di Gibbs & Holtz, si tende a sovrastimare la  $D_r$  per i depositi ghiaiosi e per tutti i terreni nei primi metri di approfondimento della prova; invece, tale metodo sottostima il valore di  $D_r$  in caso di depositi limosi.

#### Modulo edometrico M

Il modulo edometrico è stato ricavato con la formula di Farrent.

I dati derivanti dall'interpretazione delle prove S.P.T. in foro sono stati sintetizzati nella tabella sotto.

Sondaggio	Prof. (m)	Litologia da stratigrafia	Punta	$N_{spt}$	$N'_{spt 60}$	$\phi$ (°)	$D_r$ (%)	M (MPa)	S (AGI, 1977)
<b>S1</b>  Falda assente	0,5	Sabbia grossa	Chiusa	49	49*	35	> 85	49	Addensato
	1,5	Sabbia grossa	Chiusa	86	86*	35	> 85	54	Molto addensato
	3,3	Sabbia grossa	Chiusa	Rif.	-	-	-	-	-

#### **Parametri geotecnici ricavati dalle prove S.P.T. in foro**

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio, limitato al valore di 35°,  $D_r$  = densità relativa, M = modulo edometrico, S = stato di addensamento, Rif. = Rifiuto all'avanzamento, \* = correzioni non applicate per  $\sigma'_{vo} < 100$  kPa

### 3.2 SINTESI DELLE PROVE DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione del sondaggio è stato prelevato un campione di substrato roccioso, per sottoporlo a prove di laboratorio geotecnico; considerato che il campione risultava fratturato, è stato possibile eseguire solo una prova *Point Load Test* o PLT, ottenendo quanto segue; si rimanda al relativo allegato per prendere visione del certificato di prova (cfr. allegato n. 4).

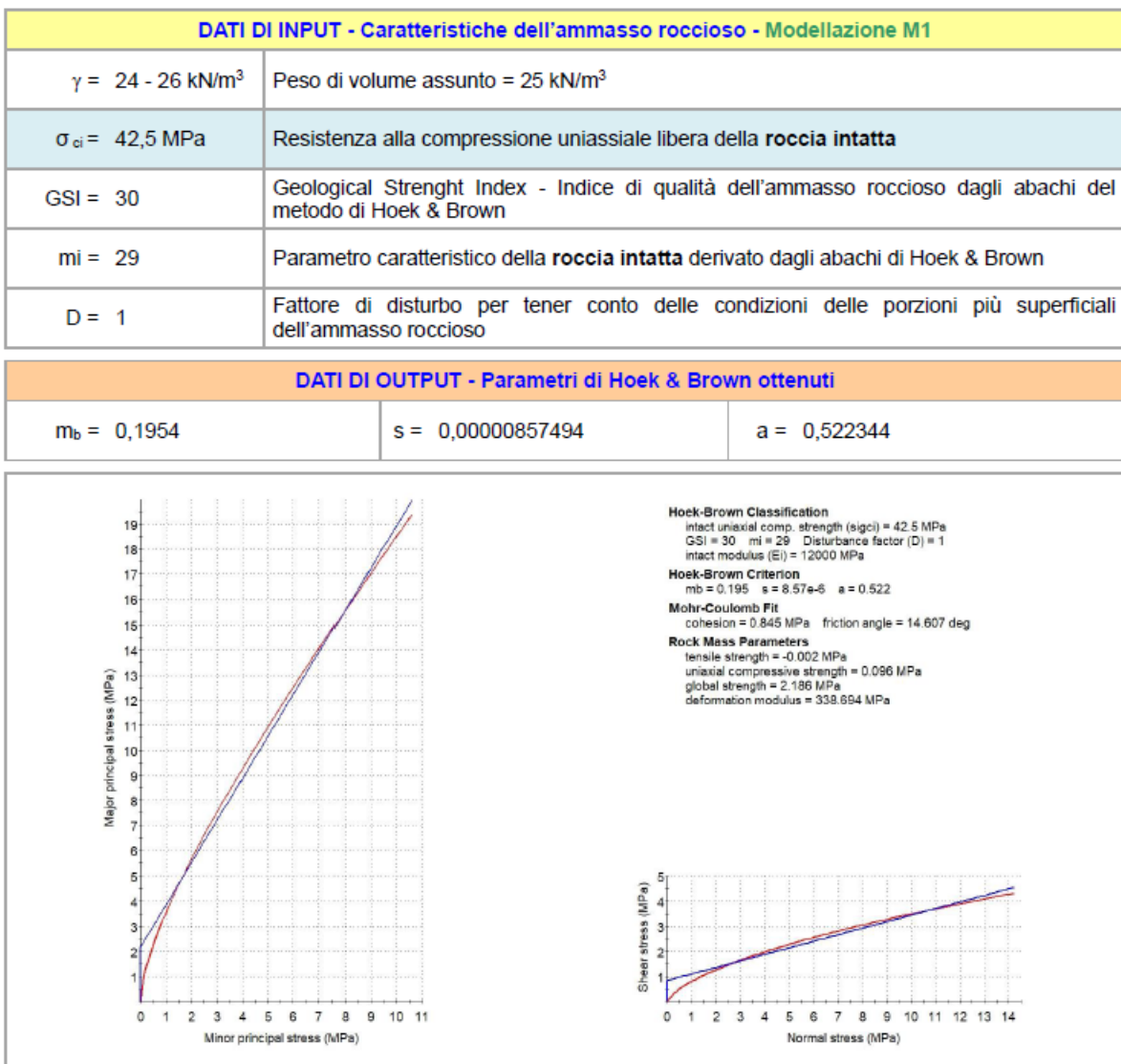
Sondaggio	<b>S1</b>
Campione	<b>B3</b>
Prof. (m dal p.c.)	6,2 - 7,0
Valore medio di resistenza al punzonamento $I_{s(50)}$	1,77 MPa
Resistenza alla compressione derivata = $I_{s(50)} \times 24$	42,5 MPa

Esiti della prova PLT nel campione prelevato con il sondaggio S1.

### 3.3 PROPOSTA DI MODELLO GEOTECNICO LOCALE

La parametrizzazione geotecnica dei terreni è stata fatta sulla base dei risultati delle prove S.P.T. realizzate nel foro di sondaggio e delle prove PLT, per la “zona arenizzata”, anche lo studio riassunto nella pubblicazione specifica “Caratteristiche geologico - tecniche delle coltri di disfacimento delle rocce granitiche della Sardegna nord - orientale”, alla quale si rimanda (Sergio Pinna, Istituto di Costruzioni Stradali Facoltà di Ingegneria dell’Università di Pisa).

Invece, la parametrizzazione dell’ammasso roccioso è stata calcolata con il *software* Roclab, utilizzando come dati di input gli studi sul “Granito di Luogosanto”, l’esito delle prove eseguite e l’osservazione condotta sugli affioramenti presenti nei dintorni dei luoghi.

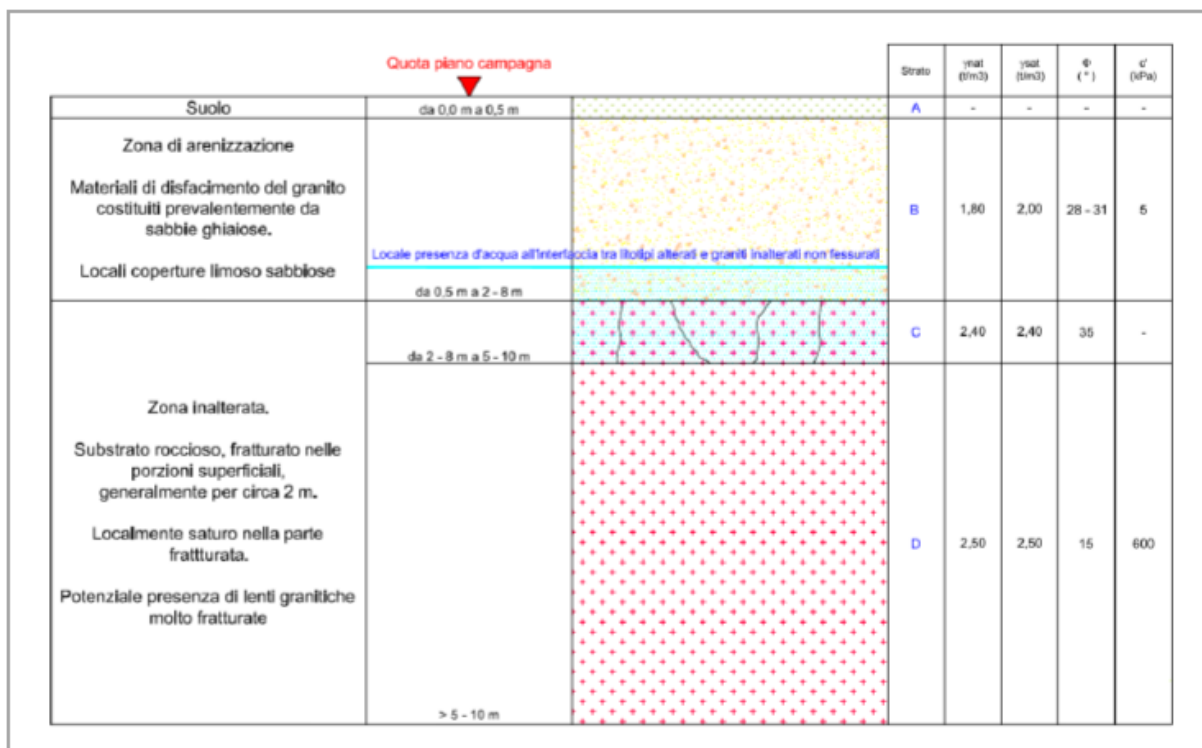


Parametrizzazione dell’ammasso roccioso con il software Roclab.

La restituzione dei parametri geomeccanici con il metodo di Hoek & Brown, valida per applicazioni generali ed ottenuta con i dati di cui sopra, permette di parametrizzare l'ammasso roccioso come nella tabella seguente (la coesione è stata ridotta del 25%, come indicano alcuni testi di geomeccanica per l'uso pratico del metodo), dove sono riportati i parametri geotecnici  $x_d$  di progetto secondo le due modellazioni M1 ed M2 previste dalle NTC.

I valori di progetto  $x_d$  derivano dai valori caratteristici  $x_k$  stabiliti sulla base delle indagini eseguite ed ottenuti da una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro stesso.

	Strato	Prof. (m)	Comportamento meccanico prevalente	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi_d$ (°)	$c_d$ (kPa)
<b>M1</b>	A	0,0 – 0,5	Suolo	17	-	-	-
	B	0,5 – (2,0 ÷ 8,0)	Zona arenizzata	18	20	28 - 31	5
	C	(2,0 ÷ 8,0) - (4,0 ÷ 10,0)	Substrato fratturato	24	24	35	-
		> (4,0 ÷ 10,0)	Substrato massivo	25	25	15	600
<b>M2</b>	A	0,0 – 0,5	Suolo	17	-	-	-
	B	0,5 – (2,0 ÷ 8,0)	Zona arenizzata	18	20	23,0 – 25,7	4
	C	(2,0 ÷ 8,0) - (4,0 ÷ 10,0)	Substrato fratturato	24	24	29,3	-
		> (4,0 ÷ 10,0)	Substrato massivo	25	25	12,1	480



**Parametri geotecnici di progetto e modello geotecnico proposto**

$\gamma_{nat}$  = Peso di volume del terreno naturale,  $\gamma_{sat}$  = Peso di volume del terreno saturo (sotto falda),  
 $\phi_d$  = Angolo di resistenza al taglio di progetto,  $c_d$  = coesione efficace di progetto

## 6 SINTESI DELLE OPERE STRUTTURALI

Il riferimento per tale paragrafo è costituito dall'elaborato "RTS12" allegato alla presente progettazione, di cui si citano i contenuti più importanti:

“Le caratteristiche meccaniche del terreno in corrispondenza del sito di progetto, hanno fatto optare per una fondazione di tipo profondo. Viste le condizioni di assialsimmetria della geometria della torre, nonché dei carichi ad essa applicati e da essa trasmessi, si è optato per un plinto di fondazione avente pianta circolare su micropali di tipo GEWI. La fondazione della torre dell'impianto eolico è dunque costituita dal suddetto plinto ad impianto circolare di diametro 16,60 m con struttura in cemento armato e presenta spessore variabile, dando luogo ad una forma tronco – conica.

L'intradosso è piano mentre l'estradosso della fondazione è rastremato verso il centro: lo spessore cresce al diminuire del raggio. Lo spessore esterno del plinto a raggio 8,30 m è pari a 2,00 m, mentre a raggio 4,50 m lo spessore della parte tronco-conica è pari a 3,00 m.

La parte centrale del plinto di raggio inferiore a 4,50 m presenta uno spessore di 3,50 m.

Tale parte accoglie il collegamento al guscio inferiore della torre, realizzato mediante la disposizione di tirafondi. La disposizione delle armature segue uno schema di distribuzione polare, con ferri disposti in direzione radiale e tangenziale. Gli strati d'armatura superiori sono sostenuti da appositi distanziatori ad altezza variabile. L'estradosso del plinto di fondazione è ricoperto da uno strato di terreno tale da rendere emergente, per un'altezza di 15 cm, la sola parte centrale del plinto in questione. L'azione di sostegno del plinto è coadiuvata dalla presenza di 30 micropali del tipo GEWI. Il diametro minimo di perforazione per la realizzazione dei micropali è pari a 30 cm e la lunghezza minima, misurata a partire dall'intradosso del plinto, è pari a 13,5 m. Il valore della lunghezza dovrà essere eventualmente aumentato, al fine di assicurare in ogni caso una infissione minima nello strato roccioso sano pari a 3,0 m.

Il centro di ogni micropalo dista 7,70 m dal centro del plinto. Il luogo dei punti su cui giacciono tali centri è dunque assumibile come una circonferenza avente centro coincidente col centro del plinto e raggio pari a 7,70 m. L'angolo spazzato dal raggio di tale circonferenza tra i centri di due micropali adiacenti è pari a 12,0°.

I micropali non sono verticali ma leggermente inclinati. In particolare, sono disposti in maniera alternata con inclinazione verso l'esterno del plinto (4,5:1) e verso l'interno del plinto (7:1)

I micropali sono costituiti da un'anima di tre barre metalliche filettate "GEWI" (due da 50 mm di diametro e una da 40 mm), che garantiscono la resistenza interna del micropalo nei confronti delle azioni assiali; le tre barre sono immerse in una miscela cementizia atta a garantire il trasferimento degli sforzi al terreno circostante per attrito laterale. In corrispondenza della zona di incastro col plinto è disposta in ciascun micropalo una ulteriore gabbia di armatura dimensionata per assorbire integralmente le azioni flettenti e taglianti.

Le caratteristiche geometriche dell'insieme di fondazione appena descritto sono idonee a sostenere una torre eolica la cui struttura in elevazione, alla base, ha un diametro di ca. 6,793 m.

In Figura 1 e in Figura 2 sono rappresentate le caratteristiche geometriche della fondazione.

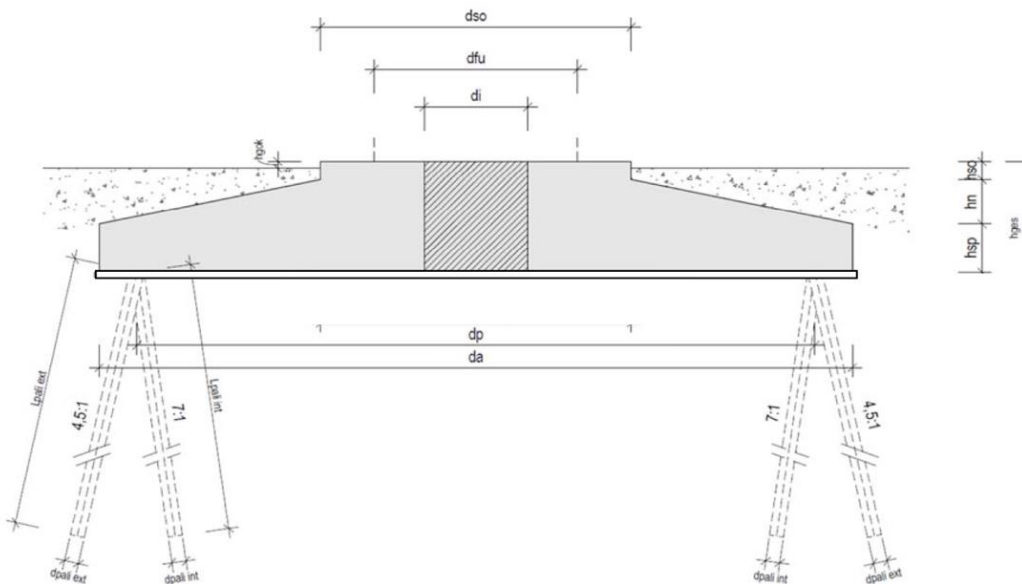


Figura 1: Andamento geometrico della fondazione (sezione – non in scala).

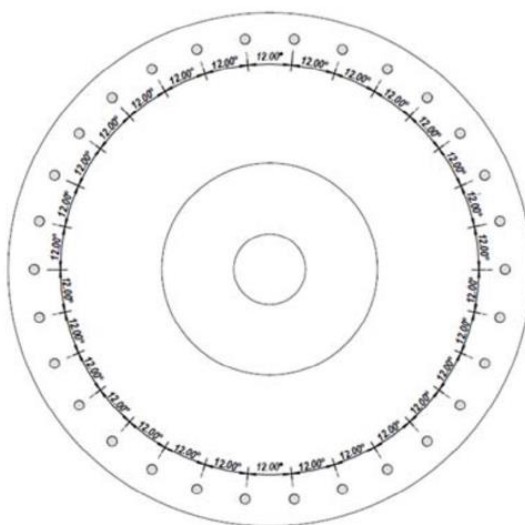


Figura 2: Andamento geometrico della fondazione (pianta – non in scala).

Le attività di scavo per l'approntamento della fondazione interesseranno una superficie circolare di circa 16,6 m di diametro (circa 312,8 m<sup>2</sup>) e raggiungeranno la profondità massima di circa 3,50 m dal piano di campagna.

I volumi del calcestruzzo del plinto e del terreno di rinterro sono i seguenti:

- volume del calcestruzzo magro di soффondazione: 50 m<sup>3</sup>

- volume della platea e del colletto in c.a.: ~600 m<sup>3</sup>
- volume del terreno di rinterro: ~650 m<sup>3</sup>, in funzione della quota stabilita per il piano di fondazione.

In via generale, anche per limitare lavorazioni sul sito, i ferri di armatura sono acquistati e trasportati in cantiere già sagomati. Al fine di razionalizzare i conferimenti di calcestruzzo necessario alla realizzazione delle opere di fondazione, fatte salve eventuali diverse procedure operative da parte dell'Appaltatore, il progetto ha individuato nella piazzola della turbina "B\_5" (pertanto, senza realizzarne le fondazioni) un'area da destinare all'installazione di un impianto mobile di betonaggio. Tale scelta è dettata dalla posizione pressochè baricentrica della turbina "B\_5" rispetto all'intero parco eolico. L'impianto sarà costituito da elementi modulari, che consentono di passare rapidamente dalla configurazione di trasporto a quella di lavoro e viceversa. L'installazione non richiederà la realizzazione di opere fisse di fondazione e/o in elevazione, in quanto l'impianto sarà dotato di un telaio autoportante che fungerà da fondazione per l'appoggio diretto su terreno compattato e di paratie e sponde laterali di contenimento del materiale di riporto (misto naturale) per la realizzazione della rampa di carico. Anche i silos per lo stoccaggio verranno installati su piattaforme in calcestruzzo prefabbricato ed appoggiate direttamente sul terreno compattato.

Sulla base delle caratteristiche dimensionali delle fondazioni ed assumendo per ogni betoniera un carico medio di 10 m<sup>3</sup>, può stimarsi un numero di betoniere pari a circa 50 per ogni plinto.

Indicativamente, le attività operative da condursi nell'ambito della costruzione delle fondazioni possono così riassumersi:

- esecuzione di scavi a sezione obbligata, avendo cura di prevedere un'inclinazione delle pareti dello scavo che assicuri la stabilità dello stesso, in relazione alle specifiche proprietà geotecniche del terreno;
- adeguata livellatura del fondo scavo con asportazione degli elementi grossolani;
- eventuale drenaggio dello scavo a mezzo di pompe o altri sistemi equivalenti in caso di venute d'acqua;
- adeguata compattazione del fondo scavo e costruzione di una sottofondazione in cls magro dello spessore indicativo minimo di 10 cm;
- posizionamento dell'armatura preassemblata e della gabbia di ancoraggio;
- esecuzione del sistema di messa a terra;
- posizionamento delle casseforme preventivamente al getto del calcestruzzo;
- esecuzione del getto di calcestruzzo da condursi in un'unica operazione al fine di scongiurare la formazione di giunti da costruzione;
- gestione della fase di maturazione del calcestruzzo avendo cura di scongiurare, con opportuni accorgimenti, eccessivi fenomeni di ritiro in relazione alle specifiche condizioni atmosferiche;
- rinfiacco della fondazione avendo cura di procedere alla costruzione di uno strato di copertura

di adeguate caratteristiche, compattando il materiale di riporto per strati successivi.

La torre di sostegno dell'aerogeneratore potrà essere eretta una volta che il calcestruzzo avrà raggiunto la piena resistenza (generalmente dopo 28 giorni dal getto).

Al termine delle lavorazioni la platea di fondazione risulterà totalmente interrata mentre resterà parzialmente visibile il colletto in cls che racchiude la flangia di base in acciaio al quale andrà ancorato il primo concio della torre.

Considerate le caratteristiche del substrato di imposta delle opere, il materiale di risulta degli scavi, in questa fase potrà essere in parte riutilizzato in sito per le opere di rinterro e rimodellazione degli scavi".



## 7 PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO

In fase di esercizio il monitoraggio permette di valutare eventuali variazioni nelle condizioni della struttura, onde prevedere perdite di funzionalità o calo di prestazioni, al fine di garantire la massima funzionalità dell'opera nel tempo e permettendo interventi di manutenzione mirati.

Il piano dei controlli è sviluppato al fine di acquisire tutti gli elementi necessari all'interpretazione del comportamento del terreno, delle strutture in progetto, dei manufatti esistenti nei confronti delle operazioni di scavo, in funzione di varie e complesse necessità, tra cui:

- Validazione ed eventuale adeguamento delle fasi esecutive;
- Verifica delle ipotesi di calcolo;
- Verifica dell'entità dei cedimenti (assoluti e differenziali) negli edifici che ricadono nella zona di influenza dello scavo;
- Definizione e verifica del raggiungimento delle soglie in corrispondenza delle quali prevedere l'attivazione di contromisure adeguate.

Per l'ottenimento di questi parametri è necessario l'utilizzo di diverse tipologie di strumentazione, quali:

- Accelerometri
- Clinometri triassiali
- Inclinatori
- Celle di carico
- Estensimetri multibase
- Barrette estensimetriche
- Conci strumentati
- Piezometri
- Mire ottiche / mini-prismi
- Capisaldi topografici
- Stazione pluviometrica
- Radar satellitare
- Fibre ottiche

## 8 PIANO DI MONITORAGGIO DELLE STRUTTURE NELL'ESERCIZIO DEL CAMPO EOLICO

### 8.1 PREMESSA

Con riferimento alla tipologia fondazionale individuata è possibile proporre una strategia di controllo e monitoraggio mediante rilevatori di deformazione basati su tecnologia a fibra ottica, individuando tre fasi costituenti l'intero processo.

La prima è prettamente progettuale ossia deputata a individuare numero e posizione di rilevatori.

La seconda è invece, una fase di campo, relativa all'attività di messa a dimora dei sensori, di posizionamento delle parti cosiddette passive e dei box di acquisizione.

Mentre la terza e ultima, riguarda la gestione del sistema di monitoraggio che potrà svilupparsi in tre spazi temporali ossia costruzione, entrata in servizio ed esercizio, intendendo per quest'ultima fase un impegno temporale pari alla vita utile dell'opera.

Di seguito, la descrizione dettagliata delle tre fasi.

### 8.2 FASE 1: PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO RESIDENTE PER IL CONTROLLO DELLE FONDAZIONI

La prima fase è la progettazione del sistema di monitoraggio. Questa fase è evidentemente quella più importante, infatti, più le analisi in fase di progettazione del sistema di monitoraggio saranno accurate più il sistema ideato sarà indirizzato a monitorare i regimi di sollecitazione nelle aree a maggior impegno tensionale, condizionando anche il numero dei rilevatori a quelli strettamente necessari. Questa fase si divide in tre parti:

#### 1. **Analisi degli elaborati di progetto strutturale e degli aerogeneratori**

La progettazione del sistema di monitoraggio viene avviata con l'analisi degli elaborati di progetto con l'individuazione di tutte le caratteristiche geometriche, materiche e strutturali delle fondazioni, le posizioni in cui queste saranno costruite, il tipo di torri che queste dovranno sostenere.

#### 2. **Analisi dei dati del vento a corredo del progetto strutturale**

Il vento rappresenta l'azione più gravosa che agirà sulla torre eolica durante la sua vita utile. L'individuazione delle zone di massima sollecitazione è dunque determinata a partire dall'analisi dei dati. All'atto della progettazione di un parco eolico si hanno a disposizione i dati del vento relativi alle posizioni, in cui verranno ubicate le turbine, registrati almeno per un arco temporale di 5 anni.

#### 3. **Individuazione delle zone di massima sollecitazione con modellazione agli elementi finiti**

Avendo a disposizione i dati di progetto e avendo note le direzioni del vento prevalente si procede alla individuazione con un modellatore agli elementi finiti delle sollecitazioni sulle aree della fondazione, riconosciute come a maggior impegno statico. A questo punto saranno note le tensioni

nei diversi punti e pertanto le deformazioni attese. Con queste evidenze verranno individuate nelle sezioni resistenti i punti da monitorare e quindi le barre di progetto che ospiteranno i sensori.

Nel caso specifico di fondazioni profonde oltre ai sensori che verranno predisposti sulla piastra rigida andranno previsti dei sensori sui pali. L'approccio classico è quello di individuare i pali da monitorare utilizzando come guida sempre la direzione prevalente del vento. In questo modo i pali più vicini alle zone di maggior compressione e di maggior trazione saranno dotati di rilevatori di deformazione.

La collocazione dei sensori sul palo potrà essere fatta per perseguire diversi obiettivi. Ossia, una disposizione orientata al controllo dei regimi di carico assiali o una disposizione finalizzata a cogliere gli effetti flessionali sul fusto.

La progettazione del sistema non si estingue solo con la scelta dei punti dove collocare i sensori ma deve restituire anche i percorsi delle parti passive all'interno dell'intero complesso fondale.

### **8.3 FASE 2: INSTALLAZIONE E POSA IN OPERA**

La seconda fase del processo è la posa in opera.

La posa in opera del sistema di monitoraggio avviene secondo tempi e modalità dettate dalla fase realizzativa della fondazione.

Per il caso trattato le fasi di installazione interesseranno prima i pali di fondazione e successivamente la piastra.

#### **□ Pali di fondazione**

In fase di progettazione sono stati individuati i pali da monitorare e la posizione sulle barre di armatura dei sensori. I sensori verranno fissati in modo solidale all'armatura, prima che la gabbia di armatura del palo sia posta in opera. Ogni sensore, inoltre, è dotato di un numero seriale in modo da essere univocamente riconoscibile.

I cavi vengono anch'essi fissati alle barre di armatura, ed eventualmente ricoperti con materiale

I cavi dovranno viaggiare in direzione della testa del palo in modo poi da essere allocati nella fondazione per passare infine nella posizione del box.

#### **□ Piastra di fondazione**

Per quanto attiene alla fondazione dopo aver realizzato la gabbia di armatura sulle barre indicate in progetto e nelle giuste posizioni potranno essere installati i rilevatori di deformazione. Anche in questo caso le parti passive saranno ancorate alle armature fino a raggiungere la prevista posizione del box dove saranno inseriti i terminali. Successivamente si potrà procedere con le operazioni di getto del calcestruzzo che naturalmente non provocano alcun danneggiamento al rilevatore.

Il box di raccolta cavi sarà unico sia per i cavi che provengono dai sensori installati sui pali, sia per quelli relativi ai sensori installati sulla piastra; esso sarà posto per come già detto all'interno della torre in posizione accessibile al personale.

I sensori a fibra ottica offrono anche la possibilità di effettuare misure attraverso le quali seguire le fasi di maturazione del calcestruzzo.

A partire dai 28 giorni di maturazione del calcestruzzo delle fondazioni profonde, si avviano le attività sperimentali. In particolare le prime informazioni verranno attinte sui pali, acquisendo la estensione o la contrazione di ogni base di misura prima della realizzazione della fondazione esterna.

A seguito della operazione di realizzazione della fondazione verranno ancora effettuate misure sui sensori dei pali in modo da individuare quale parte di carico interesserà le fondazioni profonde. A maturazione avvenuta del calcestruzzo della parte di fondazione superficiale potrà essere attivata la lettura sui sensori collocati sulla piastra e proseguita la lettura sui rilevatori dei pali. Si prevede pertanto di seguire gli incrementi deformativi e quindi lo stato tensionale che si ha sul complesso fondale, durante le fasi di installazione e montaggio delle parti in acciaio in elevazione. Con l'ausilio di una analisi agli elementi finiti, che possa simulare ogni fase di montaggio, potrà essere effettuato un confronto con i dati sperimentali, con la finalità di escludere condizioni anomale e non in linea con le prerogative di progetto.

#### **8.4 TERZA FASE: LA GENERAZIONE DI UNA BANCA DATI PER EFFETTUARE I CONTROLLI NEL CORSO DELLA VITA UTILE**

A seguito dell'entrata in servizio dell'opera si attenderà il periodo necessario affinché la struttura monitorata possa estinguere i naturali adattamenti plastici nelle zone di contatto

Le misurazioni, acquisite a partire da tale momento e per un lasso temporale utile a cogliere le perturbazioni dovute ai cambiamenti stagionali, costituiranno una banca dati da inserire nei piani di manutenzione.

Attraverso tali dati sarà possibile, durante tutta la vita utile dell'opera eseguire controlli con metodologia comparativa.

Il periodo di acquisizione di solito prescelto per cogliere gli effetti stagionali e per creare la banca è di solito fissato in 12 mesi. Con la disponibilità del database, corredato da dati di temperatura e anche dai dati del vento e dell'orientazione della torre, al momento dell'acquisizione della deformazione, potranno essere eseguiti dei controlli routinari di tipo comparativo in modo da poter attestare il buono stato di salute delle strutture di fondazione.

Nel corso della vita della torre eolica possono presentarsi eventi singolari a seguito dei quali, è opportuno verificare se, i coefficienti di sicurezza adottati in fase di redazione del progetto, permangano e pertanto sia possibile lasciare in esercizio e quindi in produzione l'aerogeneratore.

Tra tali eventi, possono essere considerate situazioni di vento estremo che hanno prodotto l'arresto del sistema o eccessive turbolenze che hanno innescano oscillazioni non previste e non prevedibili in fase di analisi delle sollecitazioni. Appare evidente che, tali azioni singolari producano sull'apparato

fondale regimi di sollecitazione di cui si ignora la portata e naturalmente espongono l'intero aerogeneratore ad eventuali danneggiamenti e/o riduzioni dei coefficienti di sicurezza. Se la verifica a valle di tali accadimenti è relativamente semplice per le parti in elevazione non è altrettanto rapida, nè agevole, per le sezioni resistenti in fondazione. Per le sezioni resistenti in fondazione a volte il controllo è precluso per il completo ricoprimento delle strutture dal terreno di superficie, esponendo il gestore a processi di scavo mirati con conseguenti periodi di blocco dell'attività produttiva. La disponibilità di un sistema di controllo residente risolve in questo caso il problema. Infatti, effettuando delle semplici acquisizioni di deformazione e comparandole successivamente con quelle disponibili con le condizioni usuali di esercizio, sarà possibile sulla base di dati oggettivi stabilire se, le prerogative di progetto sono rimaste immutate o se, sul complesso fondale sono state rilevate delle condizioni di redistribuzione delle tensioni causate da eventuali danneggiamenti.