



**COMUNE DI  
LUOGOSANTO**



**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 LUOGOSANTO", DELLA POTENZA DI  
95.2 MW, LOCALIZZATO NEL COMUNE DI  
LUOGOSANTO, 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.**

## 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**

**RENX ITALIA S.R.L.**

Via Vecchia Ferriera 22  
36100 Vicenza (VI)  
P.IVA 04339940241  
PEC: renx-italia@pec.it

DATA	REVISIONE

<b>ELABORATO</b>
<b>PPMGS</b>

Piano preliminare di monitoraggio geotecnico e strutturale



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PRESENTE DOCUMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>SINTESI DELLE INDAGINI GEOLOGICO-GEOTECNICHE .....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>SINTESI DELLE OPERE STRUTTURALI .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO.....</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>PIANO DI MONITORAGGIO DELLE STRUTTURE NELL'ESERCIZIO DEL CAMPO EOLICO</b> <b>.....</b>	<b>25</b>
<b>8.1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>25</b>
<b>8.2</b>	<b>FASE 1: PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO RESIDENTE PER IL CONTROLLO</b> <b>DELLE FONDAZIONI .....</b>	<b>25</b>
<b>8.3</b>	<b>FASE 2: INSTALLAZIONE E POSA IN OPERA .....</b>	<b>26</b>
<b>8.4</b>	<b>TERZA FASE: LA GENERAZIONE DI UNA BANCA DATI PER EFFETTUARE I CONTROLLI NEL</b> <b>CORSO DELLA VITA UTILE .....</b>	<b>27</b>

## 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 Luogosanto, le cui opere ed infrastrutture connesse per il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (di seguito RTN) ricadono nei comuni di Luogosanto 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 Luogosanto”, della potenza di 95,2 MW, localizzato nel Comune di Luogosanto e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV/36kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150kV “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. Affidandosi ad un team multispecialistico comprendente oltre quaranta tra collaboratori e consulenti che quotidianamente operano con professionalità e 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, abbinata 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. 14 aerogeneratori della potenza nominale di 6,8 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 95,2 MW nel comune di Luogosanto (di seguito "**Parco eolico Luogosanto**").

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 202201369**, Terna S.p.A. prevede che il "**Parco Eolico Luogosanto**" venga collegato in antenna 36kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150kV "Aglientu – S. Teresa", previa realizzazione dei seguenti interventi previsti dal Piano di Sviluppo Terna:

- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV in GIS denominata "Buddusò";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV denominata "Santa Teresa";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV in GIS denominata "Tempio";
- nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150kV 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 dalla quale partirà il cavidotto interrato 36kV che, seguendo per quanto più possibile il tracciato stradale esistente, veicolerà l'energia prodotta dal Parco Eolico per la connessione in antenna 36kV con la nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150kV "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 Luogosanto”, della potenza di 95,2 MW, localizzato nel Comune di Luogosanto e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV/36kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150kV “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 riferimento suggerito dalla norma, si propongono, in distinti paragrafi, i contenuti richiesti.**



## 4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

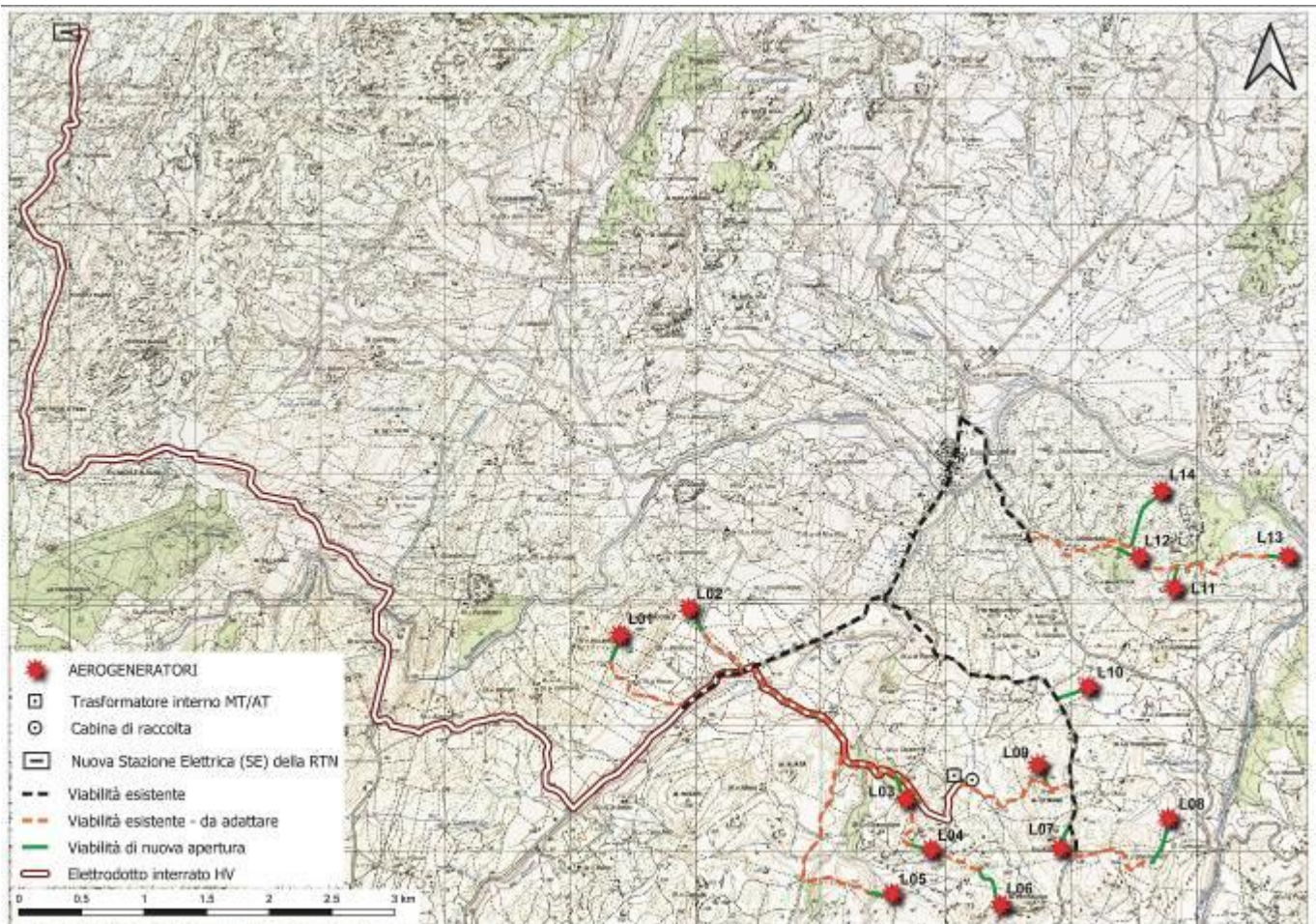
Il parco eolico di progetto si sviluppa nella fascia di territorio della Gallura posizionato mediamente a circa 6,5 km in direzione nord-est rispetto al centro abitato del comune di Luogosanto, in posizione ovest rispetto al fiume Liscia e ad una altezza sul livello del mare che varia dai 40 ai 175 metri s.l.m.m.

Il territorio interessato dall'intervento è inserito all'interno del comune di Luogosanto, posto a sud del centro abitato della frazione Bassacutena del comune di Tempio Pausania, confinante a nord con Santa Teresa di Gallura, a sud con Luras, ad est con Arzachena e ad ovest con Aglientu.

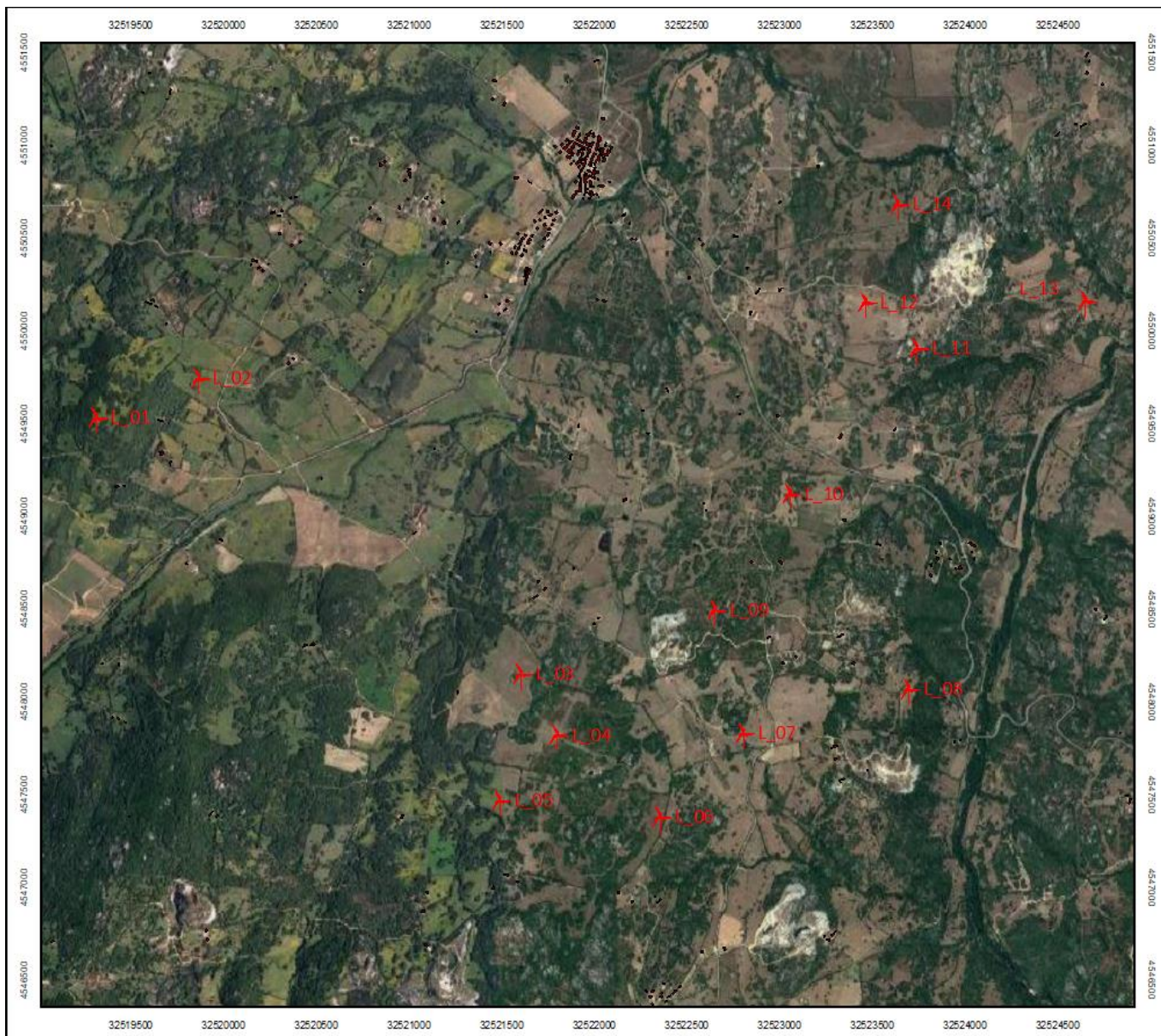
Il parco eolico è composto complessivamente da n° 14 turbine.

Un primo gruppo è composto da n° 2 turbine (identificabili con i codici: **L\_01** ed **L\_02**) e sono ubicate in località Santu Jaccu, in posizione ovest rispetto alla S.S. n° 133. Il secondo gruppo è composto da n° 12 aerogeneratori (identificabili con i codici da **L\_03** a **L\_14**) sono localizzate tra le frazioni Nibbareddu e Lu Mocu, in posizione est rispetto alla stessa S.S. n° 133.

Nelle successive **figure**, si propone il layout dell'intero intervento e degli stralci del solo parco eolico.



**Figura 1 – Individuazione dell'intero intervento su base cartografica DGBT**



**Figura 2 – Stralcio del solo parco eolico su base ortofotografica**

Di seguito, invece, le coordinate per l'individuazione dei singoli aerogeneratori:

Identificativo degli aerogeneratori	Comune	Coordinata UTM Nord	Coordinata UTM Est
L_01	Luogosanto	4549532.00	519312.00
L_02	Luogosanto	4549745.71	519865.02
L_03	Luogosanto	4548224.17	521599.48
L_04	Luogosanto	4547824.48	521797.06
L_05	Luogosanto	4547471.16	521487.65
L_06	Luogosanto	4547382.49	522353.81
L_07	Luogosanto	4547833.09	522831.19
L_08	Luogosanto	4548072.30	523695.44
L_09	Luogosanto	4548497.40	522652.10
L_10	Luogosanto	4549123.40	523054.99
L_11	Luogosanto	4549906.80	523740.64
L_12	Luogosanto	4550154.91	523462.18
L_13	Luogosanto	4550162.21	524649.83
L_14	Luogosanto	4550682.03	523637.89

*Tabella 1. Coordinate aerogeneratori Parco Eolico Luogosanto, in formato UTM*

La rete stradale appare ben articolata sulla dorsale della S.S. n° 133 "Palau" e della S.P. n° 115.

La viabilità interna del parco è ben collegata rispetto alle due sopracitate dorsali.

L'elettrodotto di collegamento alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN (150kV/36kV) si sviluppa, mediante cavidotto interrato a 36kV, lungo una strada interna esistente fino alla S.S. n° 133 e poi da questa, sempre attraverso dei collegamenti esistenti, raggiunge la cabina di consegna Terna 36kV/150kV in comune di Aglientu.

Dall'esame dell'elaborato "**SCGG - Studio di Compatibilità Geologica e Geomorfologica**", allegato alla presente progettazione, emerge quanto segue:

"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. I depositi quaternari olocenici, di origine alluvionale, detritica ed eluvio - colluviale, non raggiungono mai estensioni superficiali e potenze tali da renderli prevalenti, seppure localmente, rispetto alle formazioni paleozoiche. Nei dintorni dell'area di indagine, tra i più significativi depositi alluvionali si segnalano quelli lungo il **fiume Liscia**, ad est degli aerogeneratori in progetto, mentre gli affioramenti di coltri eluvio - colluviali sono ben rappresentati nelle ampie aree sub - pianeggianti di **Bassacutena** nel contiguo comune di **Tempio Pausania**, a nord o ad ovest degli aerogeneratori in progetto. Infine, si riscontra la presenza di coperture terrigene antropiche associate all'estrazione del granito (discariche minerarie)".

## 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 5,3 m dal piano campagna in corrispondenza del sito dell'aerogeneratore L\_12, con esecuzione di n. 3 prove di tipo *Standard Penetration Test* o S.P.T. (**cf. allegato n. 2**);
- n. 1 "prova di compressione di materiali lapidei" per la determinazione della resistenza alla compressione unitaria del substrato roccioso (**cf. allegato n. 4**);
- n. 12 trincee esplorative eseguite nei siti degli aerogeneratori L\_02, L\_11, L\_12, L\_13 (**cf. allegato n. 3**);
- n. 13 prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica in corrispondenza / prossimità degli aerogeneratori L\_01, L\_02, L\_07, L\_09, L\_10, L\_11, L\_12, L\_13 e, più diffusamente (punti A, B, C, D, E), in altre zone dell'ambito in esame (**cf. allegato n. 5**).

Pag. 27 a 50

SUGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

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

- n. 13 stendimenti geofisici di sismica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*);
- n. 13 registrazioni di rumore sismico ambientale H.V.S.R. mediante Tromino®.

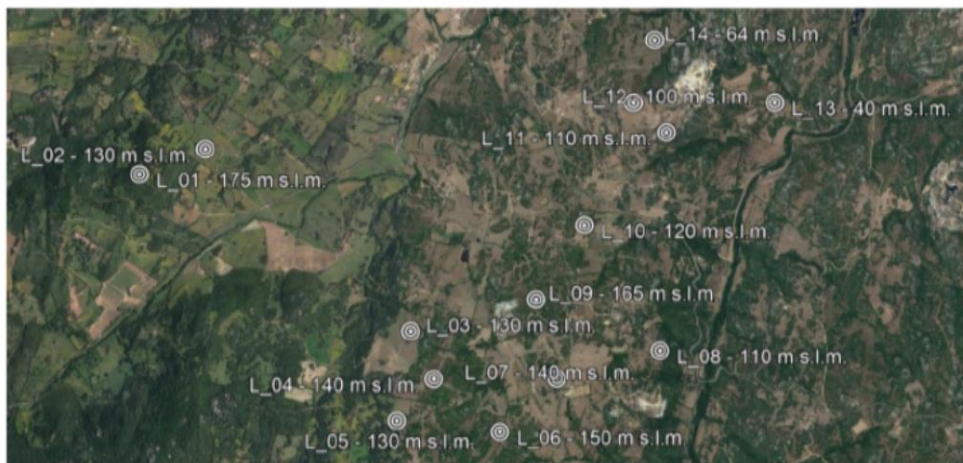
In allegato sono state inserite le schede con descritti gli esiti delle indagini di cui sopra e le caratteristiche di alcuni dei siti in cui saranno realizzate le torri eoliche (cfr. allegato n. 1).



Ubicazione delle indagini eseguite. In rosso, sondaggio a carotaggio continuo, trincee esplorative e indagini sismiche eseguite in area accessibile, prossime o corrispondenti alla torre. In verde, trincee esplorative e indagini sismiche in aree accessibili, prossime o corrispondenti alla torre. In azzurro, indagini sismiche in aree accessibili, prossime alla torre. In bianco, indagini sismiche eseguite in prossimità delle previste aree di intervento, non ancora accessibili. In giallo, altre indagini sismiche eseguite.

## 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. Come detto in precedenza, gli aerogeneratori sono ubicati a varie quote altimetriche, sintetizzabili come nella seguente figura.



Quote altimetriche dei siti di ubicazione degli aerogeneratori.

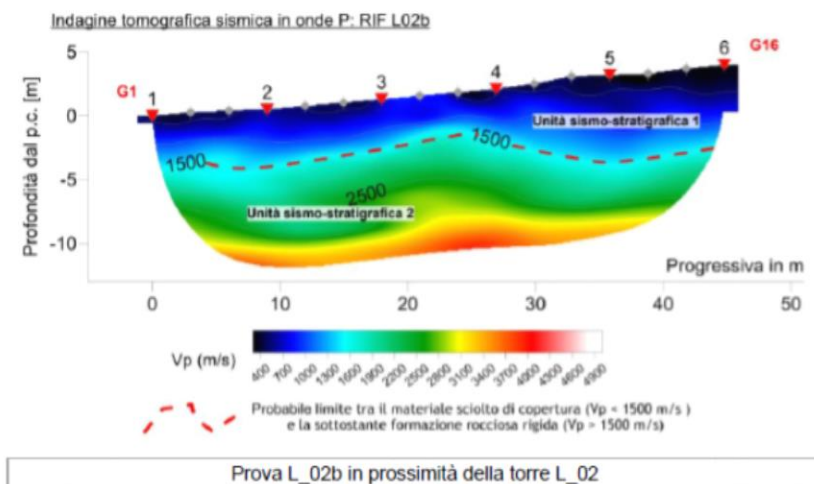
SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

Dal punto di vista litologico, il sondaggio a carotaggio continuo, le trincee esplorative e le indagini geofisiche hanno evidenziato una certa omogeneità stratigrafica, seppur dimostrando lo spessore variabile delle unità geologiche individuate.

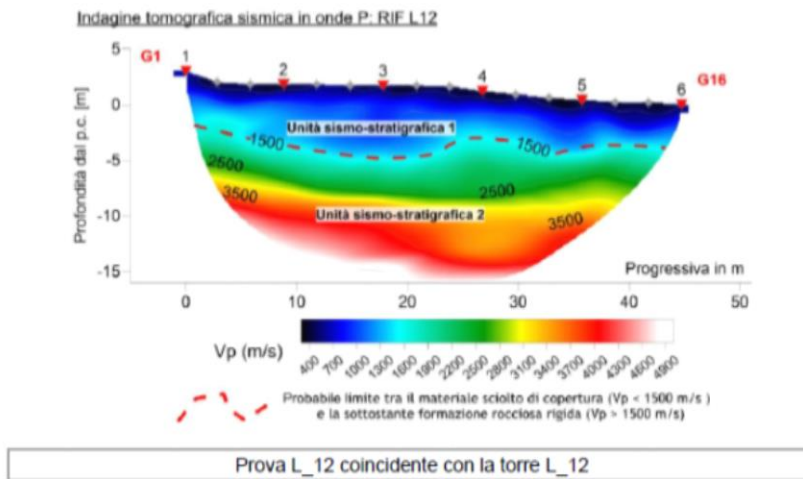
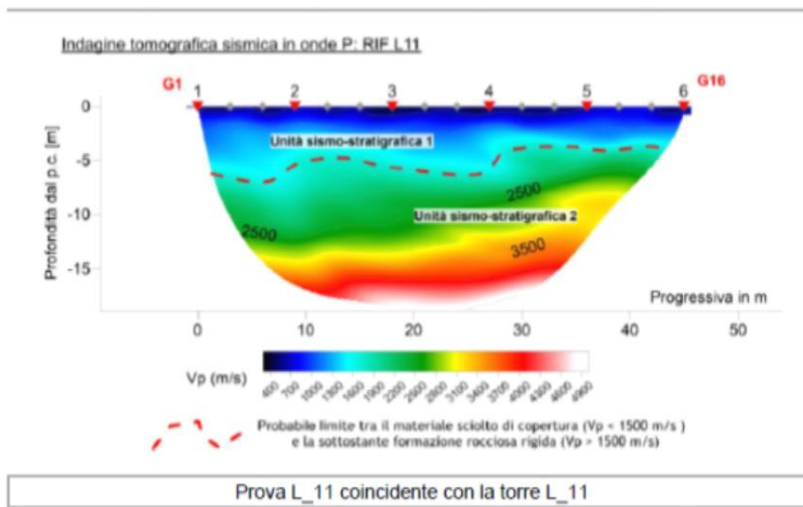
La geologia locale è schematizzabile, **al di sotto del suolo**, talora assente oppure di spessore modesto e misurato fino alla profondità massima di 0,6 m, secondo due unità ben distinte:

- 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 sono state interpretate con uno spessore massimo di circa 13 m, che varia anche a breve distanza (spessore interpretato nelle n. 13 indagini sismiche eseguite, compreso tra circa 2 m e 13 m);
- la **seconda unità**, costituita dal substrato roccioso si trova, quindi, ad una profondità variabile, a partire da circa 2 - 13 m anche se, talora, risulta subaffiorante.

Le immagini seguenti, ricostruite grazie alle tomografie sismiche eseguite in corrispondenza degli aerogeneratori in progetto denominati L\_02, L\_11, ed L\_12, evidenziano l'andamento irregolare del substrato roccioso.



SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA



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 permettendo di ipotizzare 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 l'assenza della falda freatica solo in alcuni dei siti previsti (L\_11, L\_12) o in prossimità di essi (L\_01, L\_02, L\_13), e dovrà essere verificato nelle prossime fasi progettuali per i siti rimanenti e per quelli indagati solo nelle vicinanze degli stessi.



SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

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	Locale possibilità di presenza della falda nella zona di arenizzazione
<b>B</b>	0,5 - (2,0 + 13,0)	Zona di arenizzazione. Sabbie grosse / sabbie ghiaiose	
<b>C</b>	> (2,0 + 13,0)	Substrato roccioso, fratturato al tetto indicativamente per almeno 2 m di spessore	

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

### 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):

$N_1 > 50$  colpi

$N_2 + N_3 > 100$  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).

## SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

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 in questa fase.

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  $N'_{spt 60}$ .

## SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

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; **le S.P.T. sono state condotte tutte a rifiuto, avvenuto entro i primi 2 cm di infissione di N1 in tutte le prove.**

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	0,9	Sabbia grossa / ghiaiosa	Chiusa	Rif.	-	-	-	-	-
	1,6	Sabbia grossa / ghiaiosa	Chiusa	Rif.	-	-	-	-	-
	3,3	Sabbia grossa / ghiaiosa	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; è stato possibile eseguire una prova di compressione, ottenendo quanto segue:

Sondaggio	S1
Campione	S1/L23
Prof. (m dal p.c.)	5,0 - 5,3
Resistenza unitaria alla compressione	170,1 MPa

Esiti della prova di compressione nel campione prelevato con il sondaggio S1

Si rimanda al relativo allegato per prendere visione del certificato di prova (cfr. allegato n. 4).

SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

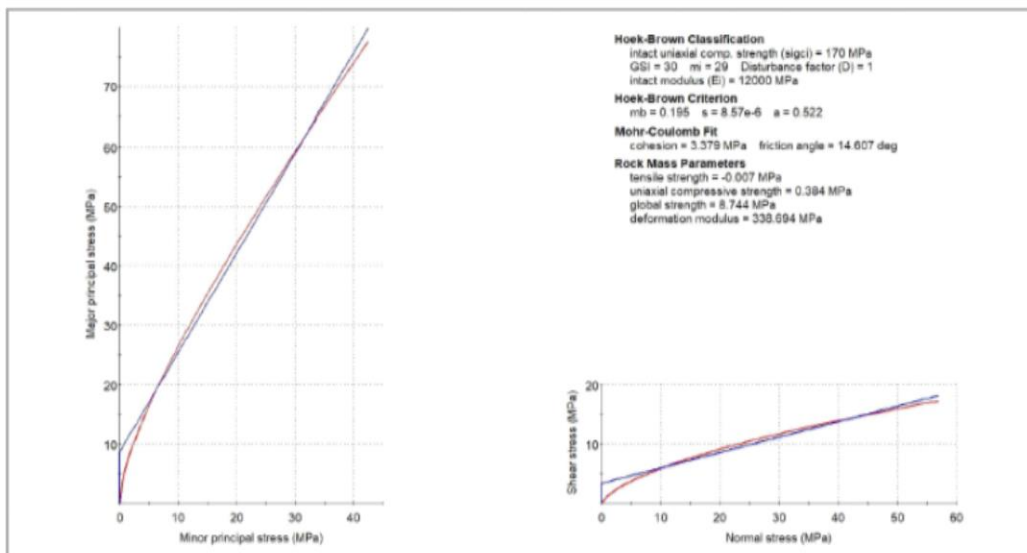
### 3.3 PROPOSTA DI MODELLO GEOTECNICO LOCALE

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 di compressione e, 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.

DATI DI INPUT - Caratteristiche dell'ammasso roccioso - Modellazione M1	
$\gamma = 24 - 26 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume assunto = $25 \text{ kN/m}^3$
$\sigma_{ci} = 170 \text{ MPa}$	Resistenza alla compressione uniaxiale libera della <b>roccia intatta</b>
GSI = 30	Geological Strength Index - Indice di qualità dell'ammasso roccioso dagli abachi del metodo di Hoek & Brown
$m_i = 29$	Parametro caratteristico della <b>roccia intatta</b> derivato dagli abachi di Hoek & Brown
$D = 1$	Fattore di disturbo per tener conto delle condizioni delle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso

DATI DI OUTPUT - Parametri di Hoek & Brown ottenuti		
$m_b = 0,1954$	$s = 0,00000857494$	$a = 0,522344$



Parametrizzazione dell'ammasso roccioso con il software Roclab.

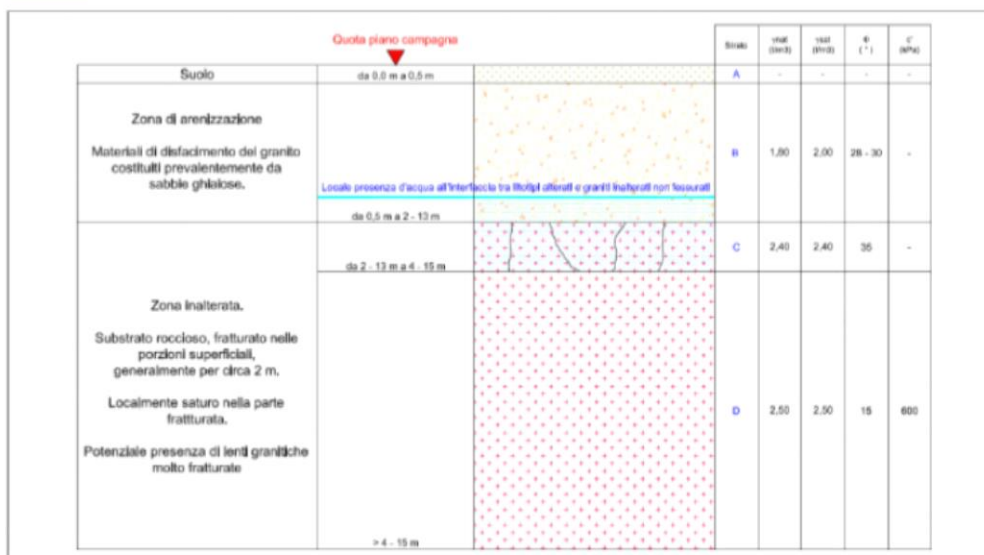
SCGG - STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

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.

Visto il risultato ottenuto e considerati gli esiti di altre indagini eseguite nel vicino territorio di Bassacutena, sono stati assunti i parametri dell'ammasso roccioso relativi a tale sito, risultati più cautelativi (dove la resistenza alla compressione è stata misurata pari a 42,5 MPa).

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, senza considerare l'eventuale pseudocoazione della zona arenizzata, considerata la locale bassa velocità delle onde sismiche misurate (cfr. allegato n. 5 fuori testo).

	Strato	Prof. (m)	Comportamento meccanico prevalente	$\gamma_{nat}$ (kN/m³)	$\gamma_{sat}$ (kN/m³)	$\phi_d$ (°)	$C_d$ (kPa)
M1	A	0,0 – 0,5	Suolo	17	-	-	-
	B	0,5 – (2,0 ÷ 8,0)	Zona arenizzata	18	20	28 - 30	-
	C	(2,0 ÷ 8,0) - (4,0 ÷ 10,0)	Substrato fratturato	24	24	35	-
> (4,0 ÷ 10,0)		Substrato massivo	25	25	15	> 600	
M2	A	0,0 – 0,5	Suolo	17	-	-	-
	B	0,5 – (2,0 ÷ 8,0)	Zona arenizzata	18	20	23,0 – 24,8	-
	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, illustrate nel seguito della presente relazione, 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 13,0 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”.

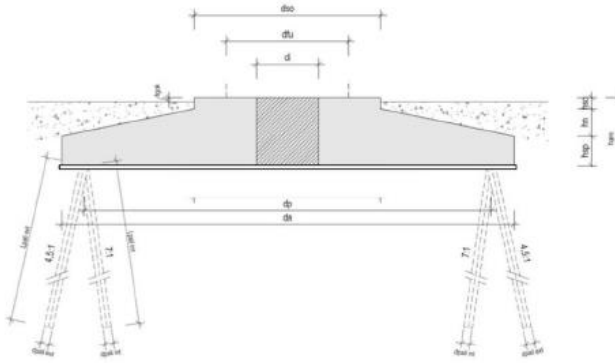


Figura 1: Andamento geometrico della fondazione (sezione - non in scala).

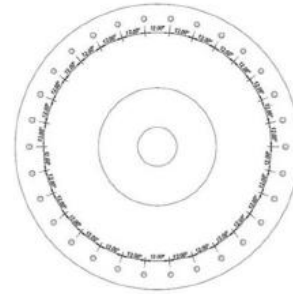


Figura 2: Andamento geometrico della fondazione (pianta - non in scala).



## 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.