

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN ELECTRIC POWER SPA

Sede legale e amministrativa: Via Dell'Arrigoni, 308 - 47522 - Cesena (FC)
Codice Fiscale, P. IVA e numero di iscrizione al Registro delle Imprese di FC: 06511361211

COMUNE DI CANOSA (BT)
LOCALITA' "LOCONIA"

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "CANOSA"

REDAZIONE / PROGETTISTA:



**STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA APPLICATA
ALL'INGEGNERIA & ALL'AMBIENTE**
Dott. Antonio RASPATELLI
Via Luca Cicolella, 37 c/o Studio Iannelli
71122 Foggia
Telefax (0881) 747550-Cell. 335/8159449
P.I. 03500240712
e-mail: antonioraspatelli@tiscali.it
Pec: antonioraspatelli@softpec.it

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDROGEOMORFOLOGICA E SISMICA
<INTEGRAZIONI>
STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA

CODICE ELABORATO:

CANDT_GENR03201_01

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

1

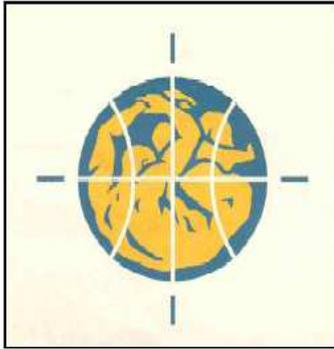
FASE:

PROGETTO DEFINITIVO

| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|------|----------------------------------|------------|---------------|--------------|-----------|
| 00 | Prima emissione | 19/09/2022 | A. Raspatelli | E. Teodorani | S. Ulivi |
| 01 | Seconda emissione - Integrazioni | 29/05/2023 | A. Raspatelli | E. Teodorani | S. Ulivi |
| 02 | | | | | |
| 03 | | | | | |
| 04 | | | | | |



studio di geologia tecnica applicata all'ingegneria & all'ambiente dott. antonio raspатели
via luca cicolella, 37 foggia - Telefax (0881) 747550 - Cell. 335/8159449
e-mail: antonioraspatelli@tiscali.it - antonioraspatelli@softpec.it



**STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
APPLICATA ALL'INGEGNERIA & ALL'AMBIENTE
Dott. Antonio RASPATELLI**

Via Luca Cicolella, 37 c/o Studio Iannelli - 71122 Foggia
Telefax (0881) 747550- Cell. 335/8159449 - P.I. 03500240712

e-mail: antonioraspatelli@tiscali.it - antonioraspatelli@softpec.it

INDAGINI GEOGNOSTICHE: SONDAGGI GEOTECNICI E AMBIENTALI, PRELIEVO CAMPIONI, INCLINOMETRI, PIEZOMETRI, PROVE PENETROMETRICHE, DI PERMEABILITA', SCISSOMETRICHE, PROSPEZIONI GEOFISICHE, SISMICHE DOWN HOLE, CROSS HOLE, MASW/SASW, GEOLETTRICHE - PROVE DI LABORATORIO - SOTTOFONDAZIONI E CONSOLIDAMENTI: JET GROUTING, TIRANTI, MICROPALI, DRENAGGI - FONDAZIONI SPECIALI: PALI DI FONDAZIONE, PROVE DI CARICO, DIAFRAMMI - INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA E DI SOMMA URGENZA FRANE E SMOTTAMENTI - ASSISTENZA TECNICA CANTIERI - CONSULENZE GEOLOGICO-TECNICHE

FILE: CANOSA ALL COMPAT_GEOL_GEOTEC_EOLO AREN MAG23 CANDT_GENR03201_01



****CERTIFICAZIONE ISO 9001:2008
N° -2013/53242.1

NATO A FOGGIA IL 15/09/49 ISCRITTO ALL'ORDINE REGIONALE
DEI GEOLOGI DELLA PUGLIA N°73 DAL 16.09.1977

**REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI BARLETTA-ANDRIA-TRANI (BAT)
COMUNE DI CANOSA DI PUGLIA**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO
"CANOSA"**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDROGEOMORFOLOGICA E SISMICA
<INTEGRAZIONI>
STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA**

(Rif. Progetto Parco eolico "Canosa" [ID VIP 9176] - Parere di competenza rispetto al P.A.I. [AC 181 -23] e riscontro alla "necessità di effettuare elaborazioni di maggior dettaglio" formulate dall'AdB Distrettuale dell'Appennino Meridionale [Prot. Partenza N. 10142/2023 del 04/04/2023/doc. principale-class. 05.06] - [Nota Proponente: AREN Electric Power S.p.a. prot. 4389 del 14/03/2023 acquisita dall'AdB Distrettuale Appennino Meridionale con prot. n.7948 del 15/03/23] - Istanza per il rilascio del provvedimento di VIA Statale ex art. 23 del D.Lgs n. 152/2006 e ss.mm.ii.

Committente



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
P.Iva 03803880404
Registro delle Imprese di Forlì Cesena R.E.A. 317048

Progetto

AREA TECNICA - AREN Electric Power S.p.A.

EMAIL info@aren-ep.com

PEC: areaenergiasrl@legalmail.it

Foggia 29 MAGGIO 2023

Dott. Antonio RASPATELLI



NOTE TECNICHE. Iscritto all'Albo dei Geologi della regione Puglia al n°73, dal 16/09/77. ****In attesa rinnovo certificato di sistema di qualità UNI EN ISO 9001:2008, N° 2013/53242.1, settore d'interesse EA 35,28 "Progettazione di prove geotecniche sui terreni e realizzazioni di perforazioni per opere speciali" rilasciato dall'AFNOR CERTIFICATION, allo "STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA APPLICATA ALL'INGEGNERIA & ALL'AMBIENTE Dott. Geol. Antonio RASPATELLI".



PREMESSE

Con riferimento al **parere di competenza rispetto al P.A.I. [AC 018 -23]** e in riscontro alla **“necessità di effettuare elaborazioni di maggior dettaglio”** formulate dall'**A_B Distrettuale dell'Appennino Meridionale [Prot. Partenza N. 10142/2023 del 04/04/2023/doc. principale-class. 05.06]**, si riportano in allegato le **verifiche di stabilità** dei versanti (integrazioni alla relazione geologica, geotecnica.....) effettuate nell'ambito dello studio riguardante il **Parco eolico "Canosa"** di potenza elettrica complessiva pari a 84 MW, da realizzare nel comune di Canosa di puglia (BT) e nei comuni di Lavello (Pz), Montemilone (PZ) e Venosa (PZ) [ID VIP 9176] (fig. 1). <Istanza per il rilascio del provvedimento di VIA Statale ex art. 23 del D.Lgs. n. 152/2006 e ss.mm.ii. **Proponente: AREN Electric Power S.p.a. [AC 181-23]**>.

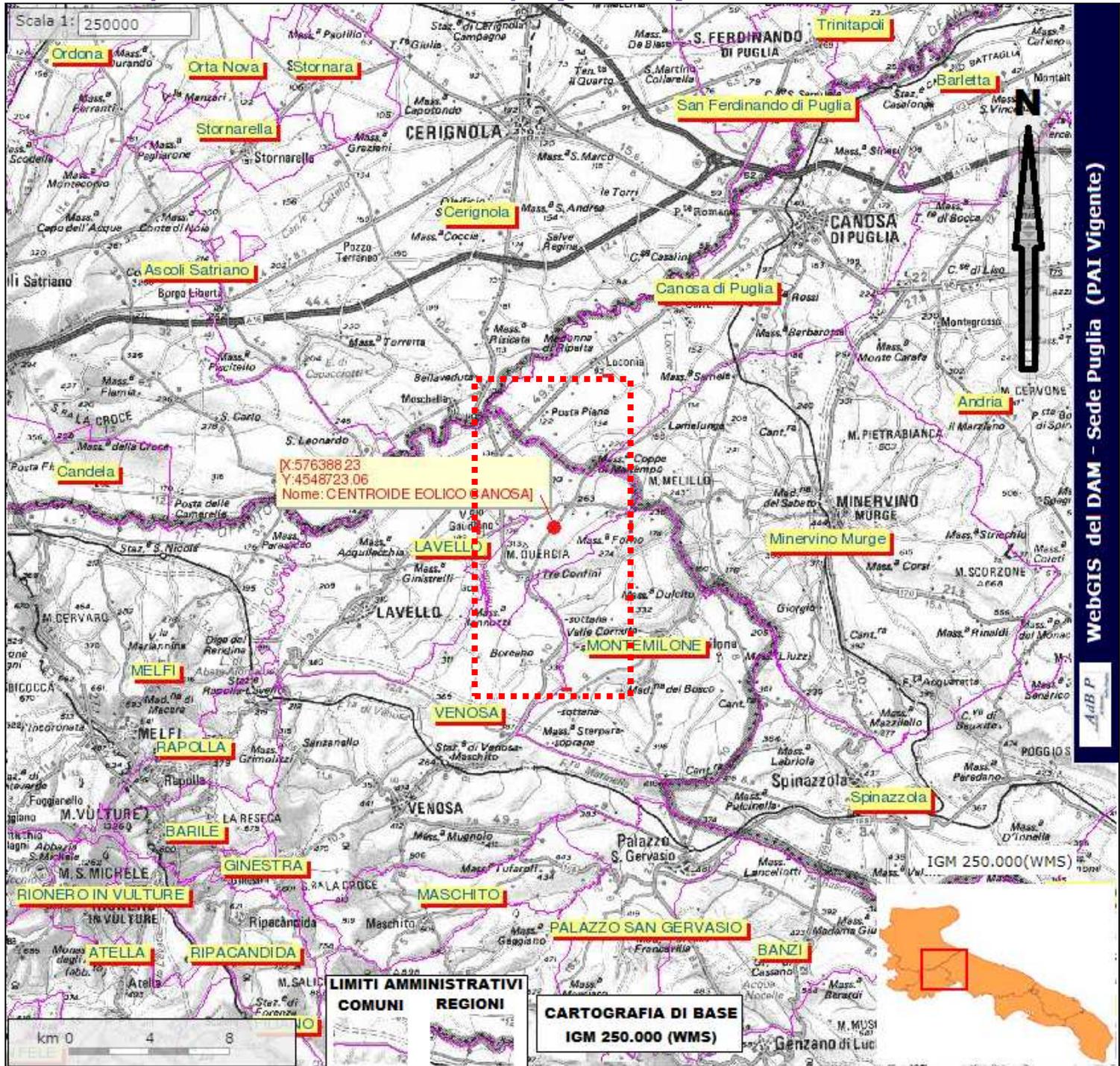


Fig. 1 – Corografia del sito d'intervento (stralcio della Carta d'Italia IGM scala 1:250.000 estrapolato dal WEB GIS del Distretto Appennino Meridionale - Puglia - Piano gestione del rischio alluvioni ⇒ ● centroide Stazione Eolica “PROGETTO CANOSA”).



Come anteposto l'intervento prospettato, prevede la costruzione d'impianto eolico costituito da 14 aerogeneratori (G1....G14) di potenza complessiva di 84 MW, dislocati su un territorio interposto fra i comuni di Canosa di Puglia, Lavello, Montemilone e Venosa, con le relative opere accessorie, quali viabilità di accesso e piazzole di montaggio, collegate mediante un cavidotto MT alla sottostazione utente e da questa alla Stazione Elettrica Terna "Montemilone" (fig. 2).

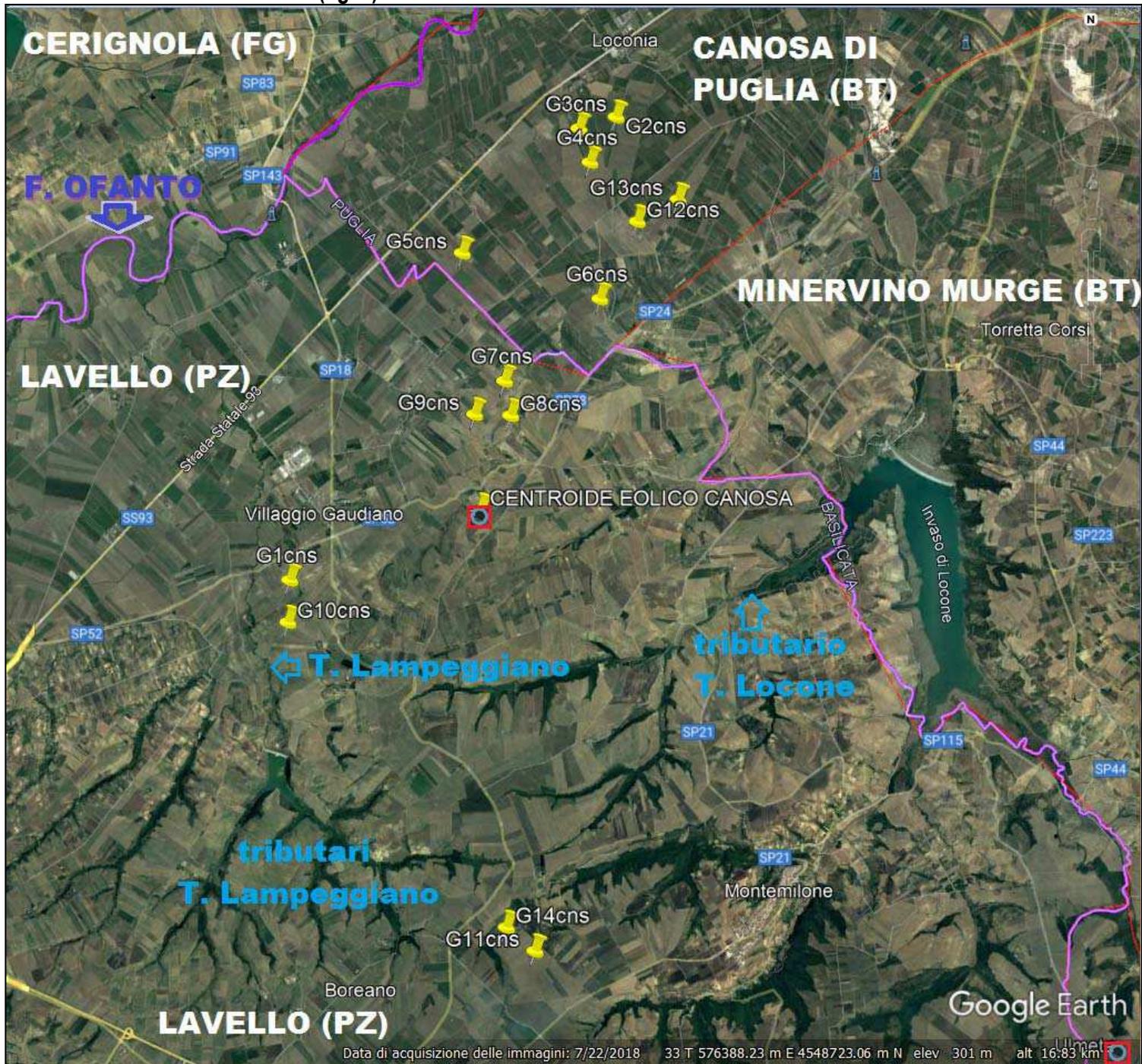


Fig. 2 – Inquadramento sito d'intervento (Ortofoto Google Earth 3D Stazione Eolica con ubicazione degli aerogeneratori sulla base delle coordinate fornite dalla Committenza).

Si sottolinea che la consultazione della cartografia inerente alla pericolosità/rischio geomorfologico e idraulico (divulgata dall'A_dB Distrettuale Appennino Meridionale – ex A_dB Sede Puglia) stabilisce che i luoghi, che saranno interessati dalle opere e che andranno a costituire parte del progetto per la realizzazione dell'impianto eolico proposto, non sono inclusi nelle aree perimetrare sia a rischio idraulico, sia geomorfologico (fig. 3).

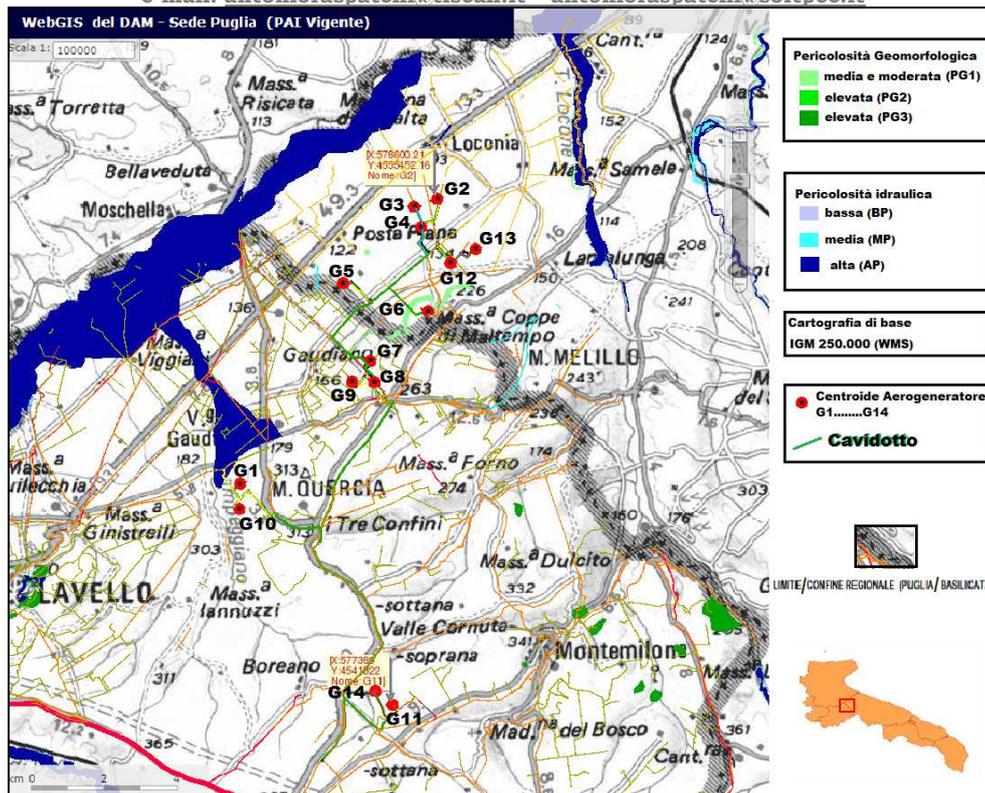


Fig. 3 – Stralcio, ingrandimento della “CARTA DELLA PERICOLOSITA’ E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO E IDRAULICO” (WebGIS del DAM Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale - Sede Puglia, scala 1:100000) con ubicazione degli aerogeneratori e dei cavidotti della Stazione eolica, progetto Canosa AREN S.p.A.

Tuttavia, l’A_dB Distrettuale Appennino Meridionale ha rilevato che per quanto attiene agli strumenti di pianificazione di bacino e di distretto (e in particolare al PAI) si registrano interferenze tra gli aerogeneratori e alcuni reticoli idrografici segnati su carta base del PGRA, oltre che tra questi ultimi e il cavidotto; da sottolineare, anche, una strada di accesso in alta pericolosità idraulica [AP] in corrispondenza del torrente Lampeggiano.

Si specifica che per quanto concerne il suddetto aspetto sono valide le tutele previste dagli artt. 6, 7 e 10 delle NTA del PAI (TITOLO II - ASSETTO IDRAULICO), che saranno valutate nello “Studio di compatibilità idrologico-idraulica” redatto dal altro Tecnico, all’uopo incaricato, per dirimere le problematiche evidenziate.

Mentre per quanto riguarda la parte geologico-geotecnica (oggetto della presente relazione) sono state eseguite le verifiche di stabilità, ante e post operam, in condizioni drenate e non drenate, sismiche, con stato limite SLV, dei pendii interessati dagli aerogeneratori e dalle opere connesse, secondo le sezioni di massima pendenza.

Dimodoché, come richiesto dall’Autorità di Bacino Distrettuale, competente dello specifico ambito territoriale in esame, al fine di ottenere un primo riscontro rispetto alla fattibilità tecnica dell’intervento ipotizzato, tali verifiche sono state eseguite partendo dai dati contenuti nella relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica presentata in precedenza (19/09/22), cercando di assicurare congrui valori del fattore di sicurezza in virtù delle semplificazioni effettuate.

In particolare poiché l’orografia dei luoghi di collocazione degli aerogeneratori G2, G3, G4, G5 e G13 è caratterizzata da superfici sub-orizzontali (praticamente pianeggianti), le verifiche sono state eseguite per le aree di sistemazione dei generatori G1, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12 e G14, contrassegnate da condizioni morfologiche, delinate da zone più o meno acclivi, per le quali è “plausibile” la verifica di stabilità dei versanti.

Note tecniche integrative.

In merito ai carichi di progetto (tra cui le piazzole di montaggio e le strade di accesso), si dovrebbe comunque tener conto che:

- ✓ le pale eoliche per le quali nella progettazione esecutiva saranno adottate (senz’altro) fondazioni indirette, tipo plinto su pali trivellati di medio o grande diametro, non si ravvisano “sovraccarichi” gravanti sugli strati superficiali dei pendii poiché i carichi saranno trasferiti a strati di terreno profondi più resistenti (si ammette solitamente che tutto il carico sia trasmesso solo ai pali e non a mezzo dei plinti, travi e platee anche al terreno immediatamente sottostante, poiché si ipotizza che la resistenza del palo sia più elevata di quella del terreno relativamente superficiale).
- ✓ La realizzazione delle piazzole di montaggio e delle strade di accesso comporterà l’attuazione di scavi e di rinterri per i quali (alla fin fine) il “peso” del materiale scavato e quello di riporto (in termini carico) sarà all’incirca equivalente per cui anche in questo caso i sovraccarichi saranno assai contenuti o del tutto neutrali.



1. VERIFICA DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI

1.1. GENERALITÀ (derivanti da pubblicazioni inerenti pubblicate sul web)

Le **analisi di stabilità dei pendii** possono essere suddivise in due principali categorie. Alla prima concorrono le verifiche che consentono di valutarne la stabilità considerando il solo equilibrio delle forze in gioco. Alla seconda competono tutti gli approcci che permettono la valutazione dei possibili movimenti del pendio. Benché il grado di stabilità e i movimenti di un pendio sono direttamente correlati, per la loro valutazione sono utilizzati due differenti tipi di approccio.

La stabilità di un pendio è di solito verificata mediante i metodi dell'equilibrio limite globale, che come tipo di analisi richiede la sola conoscenza della resistenza al taglio del terreno e non il comportamento sforzi-deformazioni. Tali metodi quindi non forniscono informazioni sull'entità dei movimenti del pendio.

Pertanto i movimenti di un pendio sono correntemente analizzati mediante il metodo degli elementi finiti, per il quale, oltre alla valutazione della resistenza al taglio, è essenziale l'acquisizione dei parametri del comportamento ossia degli sforzi-deformazioni del terreno.

Quantunque questi metodi consentano la determinazione dello stato di deformazione e di tensione intrinseche di un pendio, non forniscono una misura diretta del grado di stabilità, come ad esempio la valutazione del coefficiente di sicurezza ricavabile da un'analisi all'equilibrio limite.

1.2. METODI DI ANALISI

In letteratura, esistono, numerosi metodi per l'analisi di stabilità dei versanti che sono utilizzati quando è stato individuato un sito potenzialmente interessato da un movimento franoso; metodi che possono essere di tipo statico o evolutivo (come anteposto l'analisi condotta con i metodi dell'equilibrio limite controlla la possibilità di movimento iniziale non considerando il successivo comportamento evolutivo dell'intero sistema).

Di contro con le analisi di tipo numerico il comportamento del sistema è simulato seguendo ipotesi meno riduttive, più realistiche del fenomeno fisico esaminato.

Ad esempio, il metodo degli elementi distinti (Cundal, 1988) è un'efficiente procedura di analisi evolutiva per le instabilità in roccia; con tale metodo il sistema di blocchi può mostrare diverse configurazioni di comportamenti stabili e instabili, in diversi istanti di tempo, durante l'intero sviluppo dell'analisi.

1.2.1. Metodi all'equilibrio limite

Metodi Nei metodi basati sul concetto dell'equilibrio limite globale, l'analisi di stabilità è effettuata al fine di valutare il coefficiente di sicurezza. Questo valore deve essere calcolato per la superficie di scivolamento "più critica" (generalmente definita come superficie di scivolamento critica). In questo caso sono impiegate delle procedure iterative, ciascuna delle quali comprende la scelta di una superficie critica, la suddivisione della massa interessata dallo scivolamento in un numero conveniente di conci e la valutazione dell'equilibrio di ciascuno dei conci mediante uno dei numerosi metodi disponibili (fig. 1). Questi metodi di calcolo della stabilità dei pendii hanno diversi gradi d'accuratezza, secondo le ipotesi semplificative assunte da ciascun metodo. Il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto fra la resistenza al taglio e la tensione tangenziale richiesta per l'equilibrio del pendio.

I metodi dell'equilibrio limite globale determinano, attraverso le equazioni della statica, la resistenza al taglio, agente lungo la superficie di scivolamento presa in considerazione, necessaria all'equilibrio. Il coefficiente di sicurezza è quindi da interpretare come un fattore per il quale possono essere ridotti i parametri di resistenza al taglio per "portare" il pendio nella condizione d'imminente rottura.

In tale ipotesi è implicito che il coefficiente di sicurezza è costante lungo tutta la superficie di rottura avendosi:

$$\tau_{eq} = \frac{c + \sigma * \tan \phi}{F}$$

Dove:

τ_{eq} = tensione tangenziale necessaria all'equilibrio

c = coesione intercetta all'involuppo di rottura di Mohr-Coulomb

ϕ = angolo di resistenza al taglio

σ = tensione agente normalmente alla superficie di scivolamento

F = coefficiente di sicurezza ($F = c + \sigma * \tan / \tau_{eq}$)

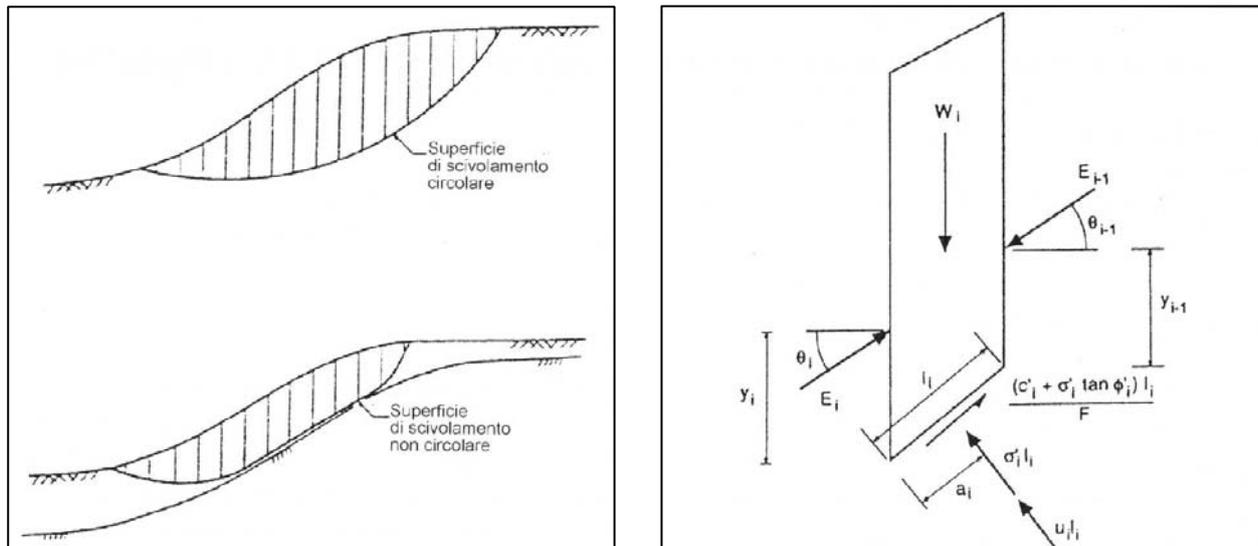


Fig. 1 – a) Esempio di suddivisione della massa interessata dallo scivolamento in un numero conveniente di conci. b) Forze agenti sul generico concio.

Per valutare la stabilità di un pendio con i metodi dell'equilibrio limite è fondamentale effettuare l'analisi considerando un notevole numero di superfici di scorrimento al fine di determinare la posizione della superficie critica per la quale si ha il minimo valore del coefficiente di sicurezza.

Con i metodi dell'equilibrio limite la massa interessata dalla superficie di scivolamento viene divisa in conci per i quali, normalmente, le superfici di separazione dei singoli conci sono verticali e, suddividendo la massa in conci, è possibile l'attuazione di due semplificazioni:

- la base di ciascun concio è situata in un unico materiale;
- i conci risultano di estensione sufficientemente limitata e, conseguentemente, i segmenti della superficie di scorrimento, alla base di ciascun concio, possono essere accuratamente rappresentati da una linea retta.

Le condizioni di equilibrio possono essere considerate per ogni concio e, se tale condizione risulta soddisfatta per ciascun concio, risulterà, conseguentemente, soddisfatta per l'intera massa coinvolta.

Il numero di "equazioni di equilibrio" disponibili dipende dal numero N di conci e dal numero di equazioni di equilibrio che sono utilizzate.

Come indicato in tabella 1, il numero di equazioni disponibili è 2N se deve essere soddisfatto il solo equilibrio delle forze e 3N se deve essere soddisfatto l'equilibrio sia delle forze sia dei momenti. Se deve essere soddisfatto l'equilibrio delle sole forze, le incognite sono 3N-1. Se deve essere soddisfatto l'equilibrio sia delle forze sia dei momenti, il numero delle incognite è pari a 5N-2.

| EQUAZIONI | INCOGNITE |
|---|--|
| Metodi che soddisfano il solo equilibrio delle forze. | |
| N = equilibrio alla traslazione orizzontale N = equilibrio alla traslazione verticale | N = forze normali alla base dei conci N - 1 = forze agenti all'interfaccia dei conci N - 1 = angoli di inclinazione delle forze agenti all'interfaccia dei conci 1 = coefficiente di sicurezza |
| 2N equazioni | 3N-1 incognite |
| Metodi che soddisfano l'equilibrio sia delle forze sia dei momenti | |
| N = equilibrio alla traslazione orizzontale N = equilibrio alla traslazione verticale N = equilibrio alla rotazione | N = forze normali agenti alla base dei conci N = posizione delle forze normali agenti alla base dei conci N - 1 = forze agenti all'interfaccia dei conci N - 1 = angoli di inclinazione delle forze agenti all'interfaccia dei conci N - 1 = posizione delle forze agenti all'interfaccia dei conci 1 = coefficiente di sicurezza |
| 3N equazioni | 5N-2 incognite |

Tabella 1 – Analisi di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite, equazioni e incognite.

Nel caso particolare in cui N = 1, il problema è staticamente determinato e il numero delle equazioni di equilibrio è uguale al numero d'incognite.



Per suddividere una superficie di rottura, in maniera sufficientemente accurata, è usualmente necessario utilizzare da **10 a 40 concii** e il numero di incognite eccede perciò il numero di equazioni disponibili. Nel caso speciale in cui **$N = 2$** , il problema è staticamente determinato e il numero delle equazioni mancanti è pari a $N-1$ per analisi che considerano il solo equilibrio delle forze e $2N-2$ per le analisi che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio. Di conseguenza il problema è staticamente indeterminato e occorre fare delle assunzioni per quanto riguarda le equazioni mancanti. Nei diversi metodi reperibili in letteratura tali assunzioni riguardano la direzione e il punto di applicazione delle forze che si scambiano i vari concii.

I diversi metodi dell'equilibrio limite differiscono l'uno dall'altro per i seguenti aspetti:

- ✓ differenti assunzioni per quanto concerne le equazioni mancanti per ricavare tutte le incognite del problema;
- ✓ alcuni metodi, come ad esempio il metodo ordinario dei concii (Fellenius 1927) ed il metodo di Bishop modificato (Bishop 1955), non soddisfano tutte le equazioni di equilibrio o persino le condizioni di equilibrio delle forze. Quindi questi metodi sono basati su un minore numero di equazioni e incognite rispetto a quelle indicate nella precedente tabella 1.

Le caratteristiche dei **metodi più utilizzati** nella pratica professionale, con riferimento alle condizioni di equilibrio soddisfatte, alle assunzioni semplificatrici e all'accuratezza di calcolo che si può ottenere, sono riepilogate nella tabella 2.

| METODO | LIMITAZIONI, ASSUNZIONI, E CONDIZIONI DI EQUILIBRIO CHE DEVONO ESSERE SODDISFATTE |
|---|---|
| Metodo ordinario dei concii (Fellenius 1927) | Coefficienti di sicurezza bassi, metodo poco accurato per pendii di modesta pendenza e con elevati valori della pressione interstiziale, applicabile solamente a superfici di scivolamento circolari, assume che la forza normale alla base di ogni concio è pari a $w \cdot \cos \alpha$, un'equazione (momento di equilibrio alla rotazione dell'intera massa), un'incognita (coefficiente di sicurezza) |
| Metodo di Bishop modificato (Bishop 1955) | Metodo di calcolo accurato, applicabile solamente a superfici di rottura circolari. Soddisfa l'equilibrio alla traslazione verticale e l'equilibrio alla rotazione, assume che le forze scambiate all'interfaccia dei diversi concii siano orizzontali, $N+1$ equazioni ed incognite |
| Metodi di equilibrio delle forze | Soddisfano l'equilibrio delle forze; sono applicabili a superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Assumono per le forze di interfaccia dei vari concii un'inclinazione che può essere la medesima per tutti i concii o differire da concio a concio. Se l'inclinazione delle forze che si scambiano i vari concii è modesta si ottengono valori del coefficiente di sicurezza inferiori a quelli che si ottengono adottando metodi che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio, al contrario se l'angolo di inclinazione delle forze che si scambiano i diversi concii è elevato, i coefficienti di sicurezza calcolati sono superiori a quelli che si ottengono adottando metodi che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio, $2N$ equazioni ed incognite |
| Metodo di Janbu Semplificato (Janbu 1968) | Metodo basato sull'equilibrio delle forze, applicabile a superfici di rottura di forma qualsiasi; assume che le forze di interfaccia fra i diversi concii siano orizzontali, i coefficienti di sicurezza calcolati sono usualmente considerevolmente più bassi di quelli calcolati utilizzando metodi che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio, $2N$ equazioni ed incognite |
| Metodo Svedese Modificato (U.S. Army Corps of Engineers 1970) | Metodo basato sull'equilibrio delle forze, applicabile a qualsiasi forma di superficie di scorrimento, assume che l'inclinazione delle forze scambiate tra i diversi concii abbiano inclinazione uguale a quella del pendio e uguale per tutti i concii; i coefficienti di sicurezza sono spesso considerevolmente più elevati di quelli che si possono ottenere utilizzando metodi che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio, $2N$ equazioni ed incognite |
| Metodo di Lowe e Karafiath's (Lowe e Karafiath 1960) | Generalmente più accurato dei metodi basati sull'equilibrio delle forze, applicabile a superfici di scivolamento di qualsiasi forma; per le forze che si scambiano i concii si assume che abbiano un'inclinazione intermedia fra l'inclinazione del pendio e quella della superficie di scivolamento (variabile da concio a concio); soddisfa l'equilibrio alla traslazione verticale ed orizzontale, $2N$ equazioni ed incognite |
| Procedura dei concii generalizzata di Janbu (Janbu 1968) | Soddisfa tutte le condizioni di equilibrio, applicabile a superfici di scivolamento di forma qualsiasi; assume il valore dell'altezza di applicazione delle forze scambiate fra i diversi concii; con riferimento alla base del concio (variabile da concio a concio), si hanno più frequentemente di altri metodi problemi di convergenza numerica, metodo accurato, $3N$ equazioni ed incognite |
| Metodo di Spencer (1967) | Soddisfa tutte le condizioni di equilibrio, applicabile a superfici di scivolamento di forma qualsiasi, metodo accurato, $3N$ equazioni ed incognite |
| Metodo di Morgenstern e Price (Morgenstern e Price 1965) | Soddisfa tutte le condizioni di equilibrio, applicabile a qualsiasi forma di superficie di scorrimento, assume che l'inclinazione delle forze che si scambiano i concii segue un ben definito modello, definito da una funzione $f(x)$, l'inclinazione delle forze scambiate dai concii può essere variabile da concio a concio o può essere la medesima per tutti i concii; l'inclinazione di tali forze è calcolata durante l'analisi di stabilità al fine di soddisfare tutte le condizioni di equilibrio, metodo accurato, $3N$ equazioni ed incognite |
| Metodo di Sarma (Sarma 1973) | Soddisfa tutte le condizioni di equilibrio, applicabile a superfici di rottura di forma qualsiasi; assume che il valore delle forze verticali che si scambiano i concii seguano un determinato modello; determina l'accelerazione critica per la quale il pendio ha un coefficiente di sicurezza pari a 1, $3N$ equazioni, $3N$ incognite. |

Tabella 2 – Caratteristiche dei metodi dell'equilibrio limite più utilizzati per l'analisi di stabilità dei pendii



Un aspetto di fondamentale importanza dei metodi basati sull'equilibrio limite è da riferire all'accuratezza del calcolo, che può differire nei diversi metodi tenendo presente che le equazioni di equilibrio disponibili sono inferiori alle incognite e pertanto per valutare il coefficiente di sicurezza, occorre fare delle assunzioni semplificatrici.

L'accuratezza del calcolo riguarda solamente la valutazione della tensione di taglio, richiesta per l'equilibrio (τ_{eq}) e il valore della tensione normale (σ) agente lungo la superficie di rottura.

Bisogna evidenziare come, oltre alla precisione del calcolo, si abbia un'accuratezza complessiva riguardo alla conoscenza del sito e alla valutazione, sulla base delle indagini geognostiche, di tutti i parametri geotecnici necessari per il calcolo, con particolare riferimento alla resistenza al taglio.

Studi condotti sull'accuratezza di calcolo in parola, che può essere ottenuta dai differenti metodi, hanno portato alle seguenti conclusioni:

- se il metodo d'analisi soddisfa tutte le condizioni d'equilibrio, il coefficiente di sicurezza è accurato in una percentuale compresa fra $\pm 6\%$. Questa conclusione è basata sul fatto che i coefficienti di sicurezza calcolati, con i metodi che soddisfano le condizioni d'equilibrio, differiscono fra loro di una percentuale non superiore al 12%, o del $\pm 6\%$ da un valore centrale, nel caso siano utilizzati metodi che assumono ragionevoli ipotesi quali quello di Morgenstern e Price (1965). Spencer (1967), Sarma (1973) e la procedura generalizzata dei conchi (Janbu 1968). Numerosi studi hanno mostrato che valori del coefficiente di sicurezza (F) calcolati utilizzando tali metodi differiscono di non più del 6% dai valori calcolati usando sia il metodo della spirale logaritmica (considerando una superficie di rottura a forma di spirale logaritmica) sia il metodo degli elementi finiti, che soddisfano tutte le condizioni d'equilibrio;
- il metodo di Bishop modificato costituisce un caso speciale. Sebbene non soddisfi tutte le condizioni d'equilibrio, esso è molto accurato, anche se è limitato a superfici di scivolamento circolari;
- a prescindere dal metodo d'analisi utilizzato, è essenziale effettuare un'accurata ricerca della superficie critica di scivolamento per assicurarsi che sia stato effettivamente calcolato il coefficiente di sicurezza minimo.

Occorre inoltre rammentare che quando viene eseguita un'analisi di stabilità è auspicabile effettuare un controllo indipendente dei risultati, per salvaguardarsi da eventuali errori. Purtroppo i metodi che soddisfano tutte le condizioni d'equilibrio sono lunghi e complessi, troppo difficili da risolvere manualmente.

In ogni modo nei successivi capitoli sono riportate le caratteristiche sostanziali del programma di calcolo utilizzato (SSAP2010), le cui procedure di verifica si avvalgono dei più elevati standard in termini di rigore, affidabilità e interattività, contraddistinto dall'esistenza di 7 metodi di calcolo rigorosi che operano nell'ambito della metodologia della verifica della stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite.... (si ritiene che sia il metodo con rilevante livello tecnico scientifico, di facile accessibilità e utilizzo).

2. VERIFICHE DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI (METODO UTILIZZATO)

Sulla base del modello geologico di riferimento iniziale (ottenuto attraverso la caratterizzazione stratigrafica, litologica, strutturale, idrogeologica e geomorfologica dei siti), della successiva caratterizzazione e modellazione geotecnica, con la determinazione dei parametri di resistenza prevedibili del terreno (definiti dall'elaborazione dei risultati delle indagini geognostiche e geotecniche pregresse eseguite in sito e in laboratorio), è stata effettuata la verifica della stabilità dei versanti, interessati dalle opere di maggiore rilevanza strutturale, analizzando "le sezioni geologico-geotecniche" predisposte lungo le linee di massima pendenza.

Giacché l'orografia dei luoghi di collocazione degli aerogeneratori G2, G3, G4, G5 e G13 è caratterizzata da superfici sub-orizzontali (praticamente pianeggianti), le verifiche di stabilità eseguite sono riferite al sottosuolo riguardante gli aerogeneratori G1, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12 e G14 (e le relative opere connesse) i cui luoghi, sotto l'aspetto geomorfologico, sono contrassegnati da zone più o meno acclivi, per le quali è "fattibile" la verifica di stabilità dei versanti.

► Nel caso in esame l'elaborazione è stata eseguita utilizzando il programma SSAP2010-SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM (release 5.2 – Marzo 2023) software prodotto dal "Dr. Geol. Lorenzo BORSELLI", Professor of Geotechnics and Engineering Geology Instituto de Geologia, Facultad De Ingegneria Universidad Autonoma de San Luis Potosí (UASLP), Av. Dr. Manuel Nava 5, C.P. 78240 San Luis Potosí, S.L.P. - MEXICO.

Il programma è un software completo (per la verifica della stabilità dei pendii naturali e artificiali o con elementi di rinforzo) strumento avanzato, per eseguire in modo approfondito verifiche di stabilità utilizzando soli metodi di calcolo rigorosi basati sull'Equilibrio Limite e Innovativi Motori di generazione e ricerca delle superfici con minore Fattore di Sicurezza (F_s).



Sono state eseguite le verifiche **ante-operam** e **post-operam**, in assenza di falda, escludendo eventuali opere di protezione, qualora necessarie, come strutture di sostegno delle scarpate, di sistemazione idraulica-forestale.

I calcoli di verifica evidenziano che non si producono effetti negativi della stabilità dei pendii analizzati.

I coefficienti di sicurezza (FATTORI DI SICUREZZA GLOBALE con FS minimo) determinati nell'approccio "ante" sono di gran lunga maggiori di 1,51 e nelle verifiche "post" sono maggiori di 1,38 .

La relazione di calcolo e i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati, le sezioni di verifica e tabulati, sono riportati nell'allegato fuori testo denominato "**ALLEGATO VERIFICHE DI STABILITA' DEI VERSANTI**" [CANDT_GENR03202_01] comprendente i seguenti elaborati "essenziali":

⇒ Report di verifica.

⇒ Fs_map_local.

3. CARATTERISTICHE SOSTANZIALI DI SSAP2010 - release 5.2 – Marzo 2023 (versione distribuita via web: <http://WWW.SSAP.EU>)

La continua evoluzione del programma è stata guidata dall'obiettivo di realizzare uno strumento professionale, con un elevato livello tecnico scientifico, di facile accessibilità e utilizzo per una fascia la più ampia possibile di utenti. Il software è il risultato di un continuo lavoro di sviluppo, test e verifica degli algoritmi fondamentali e originali che costituiscono il cuore del programma. Inoltre è sempre risultato determinante il contributo continuo degli utenti mediante suggerimenti, richieste di funzionalità e segnalazioni di anomalie di funzionamento. SSAP2010 è caratterizzato da un codice che permette un funzionamento ottimizzato per spazio e velocità in ambiente Windows 10, 11 e da una interfaccia grafica intuitiva e di semplice utilizzo. Questo lavoro di ottimizzazione è stato finalizzato alla realizzazione di un software più affidabile e veloce per garantire i migliori standard a progettisti, tecnici, ricercatori, studenti, con costo pari a Zero. La completa codifica dei metodi di calcolo è stata eseguita, attraverso molti anni di lavoro, per allineare le procedure di verifica con i più elevati standard in termini di rigore, affidabilità e interattività con l'utente. SSAP2010 è caratterizzato dalla presenza di 7 metodi di calcolo rigorosi che operano nell'ambito della metodologia della verifica della stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite. Questi 7 metodi di calcolo rigorosi permettono un notevole salto qualitativo verso uno standard solitamente offerto da pacchetti software estremamente più costosi presenti sul mercato internazionale e nazionale, mantenendo tuttavia nel programma caratteristiche originali come i 4 diversi motori di ricerca per la ricerca delle superfici con minor FS. Tra questi motori vi sono l'originale "SNIFF RANDOM SEARCH", o il nuovo "NEW RANDOM SEARCH", e l'algoritmo di ricerca con "intervallo dinamico", tutti sviluppati in modo originale dall'autore nel corso di questi ultimi 25 anni. Gli algoritmi alla base della ricerca delle superfici sono stati costantemente testati e ottimizzati nel corso degli anni. Alcune novità e ottimizzazioni introdotte nelle ultime versioni permettono un notevole risparmio di tempo all'utente e una maggiore affidabilità dei risultati dell'analisi numerica condotta. In SSAP 2010 è importante segnalare il motore di ricerca chiamato "SNIFF RANDOM SEARCH", esclusiva del programma SSAP, il cui sviluppo, iniziato nel 1997, è stato continuamente migliorato e adesso è presentato nella versione. Questo algoritmo è nato da una idea originale dell'autore e permette di superare tutte le incertezze che caratterizzano i metodi classici di ricerca in particolari situazioni con pendii molto complessi stratigraficamente. Tutti i test condotti sopra i pendii di riferimento, utilizzati nella letteratura scientifica, indicano che il metodo, pur nella semplicità e facilità di uso che lo contraddistingue, fornisce risultati paragonabili, e in qualche caso superiori, ai più sofisticati e potenti algoritmi esistenti, come quelli di minimizzazione multidimensionale, nella ricerca delle superfici critiche. Questo algoritmo originale è stato ulteriormente aggiornato e potenziato includendo anche gli strati definiti come ammassi rocciosi (criterio di rottura Hoek/GSI e GSI+JRC.) contenenti discontinuità orientate e successivamente ottimizzato fino all'attuale versione che considera anche gli stati in condizione di liquefazione. Ora è possibile anche nel caso di strati liquefacibili e quindi nel caso di un criterio di rottura in condizioni di liquefazione statica e dinamica.

Le caratteristiche principali della versione SSAP2010 rel. 5.2 sono:

► Interfaccia Utente

- L'interfaccia Windows (windows 10,11 64bit), compresi i programmi di utilità MAKEFILES 5.7 e INIUPDATE 1.5 distribuiti insieme al programma.
- La visualizzazione grafica interattiva di files grafici in formato DXF generati automaticamente dal programma mediante strumenti CAD di uso libero come QCAD (www.qcad.org) attivabili con un click del mouse e distribuiti e preinstallati nel pacchetto di installazione (vedi figure elaborati di calcolo)
- La visualizzazione della distribuzione delle forze interne in una finestra grafica (rendering grafico con motore GNUPLOT 5.4.5 – www.gnuplot.info)
- Il modulo per creare e salvare automaticamente Files DXF contenenti il modello del pendio, le superfici critiche e tutte le informazioni relative alla verifica di stabilità.
- I files DXF prodotti sono compatibili con AUTOCAD (Autocad 2007,2009,2010, 2012,13,14,15 e successivi ecc.);
- La procedura di registrazione delle superfici analizzate e la possibilità di visualizzare gruppi di superfici associate a uno specifico intervallo di FS.
- La procedura di generazione e visualizzazione di mappe a colori di FS medio locale e esportazione mappe in formato PDF.
- La possibilità di salvare su file i dati della superficie critica con minor FS individuata;
- Il controllo e la correzione automatica dei più comuni errori che sono a volte presenti nei files di input.
- La semplificazione dell'ambiente di lavoro interattivo e di alcune procedure.



► Metodi di Calcolo

• SSAP2010 è caratterizzato dalla presenza di 7 metodi di calcolo rigorosi che operano nell'ambito della metodologia della verifica della stabilità dei pendii mediante il metodo dell'equilibrio limite. Gli algoritmi base di calcolo, rispetto alle versioni precedenti, sono stati ricodificati interamente utilizzano la notazione unificata di che deriva dall'algoritmo proposto da Zhu et al (2005) per il solo metodo di Morgenstern & Price (1965). il metodo di ZHU et al. (2005) è stato ampliato e ulteriormente sviluppato per permettere la applicazione nei più importanti metodi Rigorosi per applicazione del metodo dell'equilibrio limite:

• Janbu rigoroso (1973);

• Spencer (1973) • Sarma I (1973);

• Morgenstern & Price (1965);

• Chen & Morgenstern (1983) • Sarma II (1979)

• Borselli (2016)¹

• Possibilità di caratterizzare geomeccanicamente gli ammassi rocciosi fratturati mediante il criterio di rottura di Hoek et al. (2002,2006), detto anche criterio GSI, e eseguire verifiche di stabilità allo scivolamento in pendii costituiti, del tutto o in parte, da ammassi rocciosi fratturati. Il criterio di rottura Hoek et al. è da questa versione presente in una modalità completamente non lineare seguendo l'algoritmo proposto di Carranza-Torres (2004), la implementazione dell'algoritmo lei et al. (2016) e quella semi-analitica approssimata di Lee & Petruszczak (2017), tutti incentrati con l'obiettivo della stima dei valori di c' e ϕ' equivalenti locali che seguono la curva di involuppo non lineare nel grafico (τ - σ). Tutti i nuovi metodi proposti sono un importante sviluppo della metodologia approssimata originale proposta da Hoek et al. (2002). Questi metodi sono presenti in pochissimi software commerciali pur essendo gli unici veri strumenti che fino ad adesso esistono per la stima dei valori locali di resistenza al taglio in un ammasso roccioso considerato isotropo (per la scala considerata).

• Possibilità di integrare il criterio di rottura JRC (Barton & Bandis, 1990; Barton, 2013) con il criterio Hoek –GSI in uno stesso masso roccioso caratterizzato da discontinuità orientate che possono costituire direzioni preferenziali di scivolamento.

• Possibilità di combinare in uno stesso pendio sia strati, o lenti, caratterizzati come terreni sciolti, sia strati, o lenti, caratterizzati come ammassi rocciosi fratturati usando il criterio di rottura di Hoek-GSI (o GSI+BARTON JRC)

• Mappe a colori del Fattore FS locale e dell'OSR (Over stress Ratio). Ogni mappa di Fs locale è una mappa a colori di un campo scalare (Valori di FS o OSR) locali che possono essere generati secondo diversi algoritmi presenti.

I 4 tipi di nuove mappe a colori tutte basate su un innovativo sistema quasi-FEM sono: 1. mappa – qFEM con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica, basato su sistema FEM di Schofield & p. Wroth(1968) e Griffith al. 1999.

2. mappa – p-qPATH con algoritmo quasi Gauss integration e analisi geostatistica non parametrica basato sul sistema Stress path p-q, Lu et al. (2012).

3. mappa –OSR (Over stress ratio) con algoritmo quasi Gauss integration e geostatistica non parametrica basato su sistema FEM di Farias & Naylor a 1998.

4. mappa –LEM, basata sulla assegnazione di un valore costante di FS lungo ogni superficie, secondo le convenzioni del Limit Equilibrium Method (LEM) (safety map).

• Possibilità di inserire direttamente strutture di sostegno tipo palificate e valutare l'incremento del fattore di sicurezza indotto, attraverso un modello di calcolo e progettazione derivato da quello Ito e Matsui (1981) e Hassiotis et al (1997), Kumar & Hall (2006). A questa si aggiunge una innovativa e originale procedura per il calcolo automatico della forza di reazione effettivamente mobilizzata dalla palificata, integrata nel metodo di calcolo per la risoluzione rigoroso del valore di Fs.

• Metodo completo e rigoroso per considerare la resistenza offerta da sistemi di Tiranti (attivi, Passivi) e con distribuzione di resistenza lineare o non lineare e calcolo della mobilizzazione reale del tirante;

• Metodo completo e rigoroso per considerare la resistenza offerta da sistemi di geogriglie/geosintetici, in particolare per l'effetto di resistenza al pullout.

• Metodo completo e rigoroso per considerare la reazione passiva offerta da sistemi di rinforzo costituito da Reti in aderenza (wiremesh) ancorate con Chiodi/Tiranti.

• Metodo di calcolo con esplorazione dello spazio di inizializzazione di parametri (λ_0 , F_s0) per un incremento della accuratezza e stabilità numerica nella ricerca della superficie con minor F_s . • Completa verifica di superfici di scivolamento singole definite dall'utente; e calcolo del coefficiente sismico critico (secondo il metodo proposta da Sarma (1973) applicato anche a gli altri metodi di calcolo (Janbu, Spencer...ecc.)

• Effettuazione di una analisi particolareggiata che comprende: il calcolo del Coefficiente Sismico Critico, come proposto da Sarma (1973), e la possibilità di verificare l'effetto di forze stabilizzanti alla base del pendio (muro di sostegno o palificata) o destabilizzanti in testa al pendio (tension Cracks riempiti di acqua).

• Metodo degli spostamenti semiprobabilistico (Biondi et al. 2011; Bandini et al. 2015 ; Du 2018) applicato per analisi in condizione dinamica posteriormente a verifiche su superfici singole.

• Controllo stringente, effettuato in modo automatico, affinché nessuna parte delle superfici soggette a verifica violi, in base alla propria geometria locale, il principio di rottura di Mohr/Coulomb o Hoek et al.(2002,2006) o Barton & Bandis (1990) Ora un messaggio indica all'utente la zona della superficie dove si verifica la anomalia nel caso di verifiche su singole superfici indicate dall'utente.

• Verifiche in condizione di liquefazione post-sismica dei terreni con la metodologia di Olson & Stark (2003) per la valutazione della resistenza al taglio residua post-liquefazione.



► PER ULTERIORI RAGGUAGLI RIGUARDANTI IL PROGRAMMA UTILIZZATO [SSAP2010 (release 5.2 – Marzo 2023)] SI RIMANDA ALLA VERSIONE “COMPLETA” DISTRIBUITA VIA WEB: <http://WWW.SSAP.EU>.

4. ELABORAZIONI DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITA'

Nell'allegato fuori testo denominato “CANDT_GENR03202_01_Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica [Allegato_Verifiche di stabilità] sono riportate 18 verifiche della stabilità dei versanti, precisamente:

Sezione 1 ANTE (TORRE G1)

Sezione 1 POST (TORRE G1)

Sezione 2 ANTE (TORRE G6)

Sezione 2 POST (TORRE G6)

Sezione 3 ANTE (TORRE G7)

Sezione 3 POST (TORRE G7)

Sezione 4 ANTE (TORRE G8)

Sezione 4 POST (TORRE G8)

Sezione 5 ANTE (TORRE G9)

Sezione 5 POST (TORRE G9)

Sezione 6 ANTE (TORRE G10)

Sezione 6 POST (TORRE G10)

Sezione 7 ANTE (TORRE G11)

Sezione 7 POST (TORRE G11)

Sezione 8 ANTE (TORRE G12)

Sezione 8 POST (TORRE G12)

Sezione 9 ANTE (TORRE G14)

Sezione 9 POST (TORRE G14)

Foggia, 29 maggio 2023

IL GEOLOGO
Dott. Antonio RASPATELLI





REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI BARLETTA-ANDRIA-TRANI (BAT)
COMUNE DI CANOSA DI PUGLIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO
"CANOSA"

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDROGEOMORFOLOGICA E SISMICA
<INTEGRAZIONI>
STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA

(Rif. Progetto Parco eolico "Canosa" [ID VIP 9176] - Parere di competenza rispetto al P.A.I. [AC 181 -23] e riscontro alla "necessità di effettuare elaborazioni di maggior dettaglio" formulate dall'AdB Distrettuale dell'Appennino Meridionale [Prot. Partenza N. 10142/2023 del 04/04/2023/doc. principale-class. 05.06] - [Nota Proponente: AREN Electric Power S.p.a. prot. 4389 del 14/03/2023 acquisita dall'AdB Distrettuale Appennino Meridionale con prot. n.7948 del 15/03/23] - Istanza per il rilascio del provvedimento di VIA Statale ex art. 23 del D.Lgs n. 152/2006 e ss.mm.ii.

Committente



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
P.Iva 03803880404
Registro delle Imprese di Forlì Cesena R.E.A. 317048

Progetto

AREA TECNICA - AREN Electric Power S.p.A.

EMAIL info@aren-ep.com

PEC: areaenergiesrl@legalmail.it

ALLEGATO FUORI TESTO: VERIFICHE DI STABILITA' DEI VERSANTI – Aerogeneratori G1, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12 e G14

Fs_map_local & Report di verifica

Elaborati consegnati

n°1 copia pdf/A firmata digitalmente in formato Pades contenente:

- ▶ **CANDT_GENR03201_01_Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica_integrazioni [Studio di compatibilità]**
- ▶ **CANDT_GENR03202_01_Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica [Allegato_Verifiche di stabilità]**

Foggia, 29 maggio 2023

Dott. Antonio RASPATELLI

