



Green Power

Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.11629.12.006.02

PAGE

1 di/of 57

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

INTEGRALE RICOSTRUZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO DI SCLAFANI BAGNI

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geologico Geotecnica



File: GRE.EEC.R.73.IT.W.11629.12.006.02 - Relazione Geologica Geotecnica

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
02	18/02/2020	Commenti integrati	G.Coduri	L. Lavazza	G.Coduri
01	01/02/2020	Commenti integrati	G.Coduri	N.Novati	G.Coduri
00	15/01/2020	Prima emissione	G.Coduri	N.Novati	G.Coduri

GRE VALIDATION

Sabatino (GRE)	Tomassetti (GRE)	Iacofano (GRE)
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Sclafani Bagni	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT				SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	7	3	I	T	W	1	1	6	2	9	1	2	0	0	6	0	2
CLASSIFICATION	PUBLIC					UTILIZATION SCOPE	BASIC DESIGN													

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1. Descrizione del proponente	4
1.2. Contenuti della relazione	4
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3. PARTE I – INQUADRAMENTI GENERALI	7
3.1. Note introduttive.....	7
3.2. Cenni di geologia e geologia strutturale regionale.....	7
3.3. Evoluzione geologica locale e il terziario superiore.....	11
3.4. Aspetti geomorfologici	12
3.5. Aspetti idroGeologici generali.....	15
4. PARTE II - ANALISI DI DETTAGLIO	15
4.1. Caratteristiche geologiche di sito.....	15
4.2. Caratteristiche geomorfologiche – nuovo censimento dei dissesti	17
4.3. Idrografia e idrogeologia di dettaglio	18
4.4. Indagini geotecniche di riferimento.....	19
4.4.1. Indagini di riferimento.....	19
4.4.2. Illustrazione dei risultati ottenuti dalle indagini	20
4.4.3. Modellazione geotecnica	21
4.4.4. Annotazioni sulla scelta dei parametri geotecnici	22
4.5. STIMA DELLA PORTATA DEI PALI	25
4.5.1. Portata assiale	25
4.5.2. Portata laterale	26
5. PARTE TERZA - ANALISI SISMICA	27
5.1. Aspetti sismici	27
5.1.1. Introduzione	27
5.1.2. I parametri sismici locali.....	27
5.1.3. Determinazione dei parametri sismici.....	28
5.1.4. COMUNE DI SCLAFANI BAGNI (PA)	31
6. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO	35
6.1. Introduzione.....	35
6.1.1. Dati di input nel modello Fotogrammetrico.....	35
6.1.2. Pianificazione del volo del SAPR.....	37
6.1.3. sintesi Rilievo eseguito	38
6.1.4. Risultati.....	39
6.1.5. Inquadramento topografico.....	41
7. RILIEVO DISSESTI	43
7.1. Premessa	43
7.2. Esempi dei dissesti presenti nell'area	44
7.3. Dettaglio delle aree di possibile utilizzo per i nuovi aereogeneratori	47
7.3.1. Rilievi geomeccanici	47
7.3.2. Confronto tra dati acquisiti nelle precedenti campagne e nell'attuale	50
7.4. Analisi dei dissesti da fotogrammetria.....	50
7.4.1. Area SB01-SB02.....	51



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.11629.12.006.02

PAGE

3 di/of 57

7.4.2. Area SB03-SB04.....	52
7.4.3. Area SB05	53
7.4.4. Area SB06	54
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	56
9. LAVORI PRECEDENTI DI RIFERIMENTO	57

1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. ("EGP") di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nei Comuni di Sclafani Bagni (PA) e Alia (PA), in località "Incatena-Cugno", costituito da 23 aerogeneratori, dei quali 9 di potenza nominale pari a 0,66 MW e 14 di potenza nominale pari a 0,85, per una potenza totale installata di 17,84 MW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, viene convogliata alle cabine di media tensione presenti nell'area dell'impianto, attraverso le quali l'impianto è connesso alla rete elettrica nazionale.

Il progetto proposto prevede l'installazione di nuove turbine eoliche in sostituzione delle esistenti, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, e consentirà di ridurre il numero di macchine da 23 a 6, per una nuova potenza installata prevista pari a 36 MW, diminuendo in questo modo l'impatto visivo, in particolare il cosiddetto "effetto selva". Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporterà un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO₂ equivalente.

L'energia elettrica prodotta dal nuovo impianto eolico sarà convogliata mediante cavi interrati di tensione 33 kV alla sottostazione utente di trasformazione 150/33 kV che verrà realizzata nel Comune di Alia, adiacente alla stazione elettrica RTN 150 kV di Enel Distribuzione.

In aggiunta alla stessa sottostazione sarà connesso un sistema di accumulo elettrochimico BESS (Battery Energy Storage System) da 20 MW.

1.1. Descrizione del proponente

Enel Green Power S.p.A., in qualità di soggetto proponente del progetto, è la società del Gruppo Enel che dal 2008 si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

Enel Green Power è presente in 29 Paesi nel mondo: in 18 gestisce delle capacità produttive mentre in 11 è impegnata nello sviluppo e costruzione di nuovi impianti. La capacità gestita totale è di circa 46 GW, corrispondenti a più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato da tutte le 5 tecnologie rinnovabili del gruppo: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia e biomassa. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

1.2. Contenuti della relazione

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare lo studio geologico e geotecnico finalizzato a fornire una caratterizzazione di massima dei tipi litologici che verranno interessati dalle opere in progetto, dalle opere di fondazione e da quanto necessario a garantire l'accesso alle stesse.

L'indagine si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) ricerca bibliografica;
- 2) elaborazione dei dati scaturiti dalla ricerca bibliografica e stima dei parametri geotecnici dei terreni;
- 3) realizzazione di rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio di tutta l'area a mezzo di Drone;
- 4) realizzazione di rilievo geologico di superficie di dettaglio.

In ottemperanza a quanto previsto dalla Normativa Nazionale e Regionale il documento illustra e definisce le principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area interessata dal progetto di revisione ed ampliamento, con potenziamento, del campo eolico esistente in Contrada Incatena Cugno, località in Comune di Sclafani Bagni

(PA). L'intervento si rende necessario per ripristinare le attrezzature già in essere ed attualmente in parte ammalorate a causa del verificarsi di eventi franosi. L'occasione è valida per potenziare la capacità produttiva globale dell'impianto. In sintesi esso prevede la sostituzione delle torri già in essere con torri caratterizzate da una capacità produttiva maggiore.

Per definire le caratteristiche geologiche, geologico-tecniche e idrogeologiche locali si fa riferimento a quanto ricavato dalla bibliografia e soprattutto a quanto già illustrato in precedenti lavori aventi lo stesso oggetto (ma di minor dettaglio o non inclusivi di tutta l'area) ed ai risultati di due campagne di rilevamento di superficie realizzate in loco negli anni 2015 e quella oggetto della presente relazione nel 2020.

Durante le campagne eseguite si è provveduto alla raccolta di dati di campagna con particolare riferimento agli aspetti idrografici e geologico morfologici, gli stessi sono stati poi integrati da un rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio finalizzato all'aggiornamento della topografia locale resosi necessario a causa del verificarsi di numerosi movimenti franosi che hanno di fatto modificato in tempi recenti ed attuali la geometria del rilievo locale.

A seguito del verificarsi di detti movimenti una parte delle nuove ubicazioni previste nel piano preliminare sono state ri-ubicate.

Le vecchie installazioni sulla cartografia allegata alla presente sono denominate con la sigla SCT, le nuove, dalla 01 alla 06 con quella SBO.

Tutto il materiale utilizzato per la presente è allegato direttamente o citato nel § finale.

La presente è stata strutturata in tre parti:

PARTE I - è introduttiva, illustra e commenta le caratteristiche generali del rilievo da un punto di vista geologico e geomorfologico;

PARTE II - analizza in dettaglio le caratteristiche tecniche e geomorfologiche dei terreni naturali presenti in sito a partire dal rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio;

PARTE III - la terza Parte considera gli aspetti sismici della progettazione e indica una stima di massima del dimensionamento dei pali di fondazione;

in ultimo vengono elencati in forma estremamente sintetica i risultati a cui si è arrivati con la stesura della presente citando in sintesi le principali criticità.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Da un punto di vista geografico i siti d'intervento si ubicano nel settore sud est del territorio comunale di Sclafani Bagni, tutti ovviamente su di un'area di cresta caratterizzata da morfologie piuttosto dolci compresa tra due fondovalle con andamento grossomodo est-ovest percorsi da due rii minori.

L'impianto eolico in progetto ricade entro i confini comunali di Sclafani Bagni (PA) e in particolare, all'interno dei seguenti riferimenti cartografici:

- Carta Topografica nazionale alla scala 1:100.000: Foglio 259 "Termini Imerese";
- Carta Topografica nazionale alla scala 1:50.000: Foglio 609 "Termini Imerese" e Foglio 609 "Alia";
- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, codificati 259-II-NO "Alia";
- Carta tecnica regionale CTR in scala 1:10.000, fogli n° 609.140;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Sclafani Bagni n° 12, 13 e 18 e del Comune di Alia n° 19;

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione

proposta su ortofoto:



Figura 2-1: Inquadramento generale dell'area di progetto

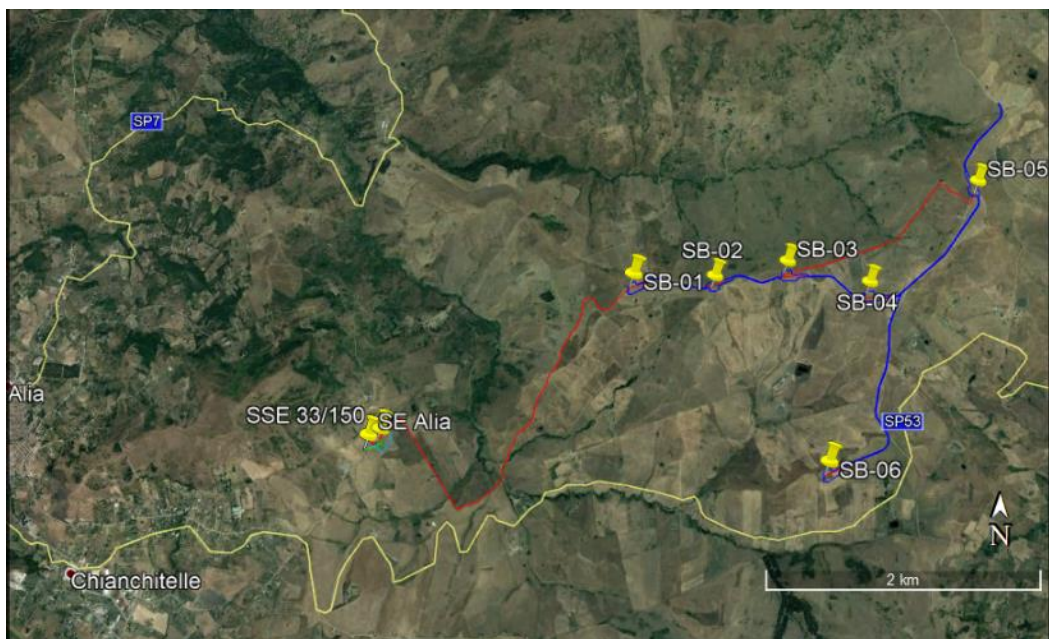


Figura 2-2: Configurazione proposta su ortofoto

Di seguito è riportato in formato tabellare un dettaglio sul posizionamento degli aerogeneratori in progetto, in coordinate WGS84 UTM fuso 33N:

Tabella 1: Coordinate aerogeneratori

ID	Comune	Est	Nord	Altitudine [m s.l.m.]
SB-01	Sclafani Bagni	391303	4183127	844
SB-02	Sclafani Bagni	391894	4183120	854
SB-03	Sclafani Bagni	392423	4183228	853
SB-04	Sclafani Bagni	393014	4183077	871
SB-05	Sclafani Bagni	393799	4183807	910
SB-06	Alia	392704	4181775	832

3. PARTE I – Inquadramenti generali

3.1. Note introduttive

Prima di introdurre i dettagli dell'evoluzione geologica occorre dare ragione di alcuni termini che vengono citati, anche perché presenti nelle legende della moderna cartografia geologica. Nello sviluppo delle teorie che danno spiegazione dell'origine delle catene montuose, la definizione della struttura del rilievo "a falde", obbliga ad una semplificazione della distribuzione delle diverse formazioni che porta ad una suddivisione artificiale delle rocce affioranti in "gruppi" pensati in maniera da essere rappresentativi di una comune origine e storia geologica: le Unità.

Le stesse si vengono raggruppate in Domini, ossia associazioni di litotipi caratterizzati da medesime zone di origine e provenienti da una medesima storia geodinamica.

3.2. Cenni di geologia e geologia strutturale regionale

La Sicilia ha una storia geologica molto complessa, conseguenza di vicende in un arco di tempo compreso tra il Paleozoico e il Quaternario, in un settore del Mediterraneo caratterizzato da notevoli variazioni paleogeografiche.

Per la sua posizione tra l'Arco Calabro e le catene del nord Africa, per la diversità delle strutture tettoniche, per la successione di numerosi eventi tettonogenetici e per la grande variabilità di rocce con caratteristiche e aspetto tra di loro differenti, la Sicilia, riveste un'importanza fondamentale nella comprensione della storia geologica del Mediterraneo centrale.

L'isola è inserita nel Mediterraneo centro-occidentale e costituisce un segmento del sistema alpino che si sviluppa lungo il limite tra la placca africana e quella europea.

Questo segmento di catena collega i rilievi del Maghreb con l'Appennino meridionale attraverso il cuneo di accrezione della Calabria (Fig. 3.1).

Al termine della fase orogenica alpina paleogenica, i movimenti compressivi di questo settore del Mediterraneo sono proseguiti e sono legati alla rotazione antioraria del blocco sardo-corso che si sviluppò dall'oligocene superiore al Miocene inferiore e che ha portato alla collisione del blocco sardo-corso con il margine continentale africano. La formazione della catena è dovuta alla subduzione verso ovest della litosfera adriatica al di sotto del blocco sardo-corso in direzione ovest (Fig. 3.2) ed è evidenziata da un piano di Benioff che immerge al di sotto della Calabria fino alla profondità di 400 km, che sarebbe in accordo con il vulcanismo delle Isole Eolie.

La subduzione e la formazione della catena sono contemporanee con le fasi distensive di tipo retroarco presenti nel Mar Tirreno (FINETTI & DEL BEN, 1986; REHAULT et alii, 1987; MALINVERNO & RYAN, 1986; FACCENNA et alii, 1996; GUEGUEN et alii, 1998; FINETTI, 2005).

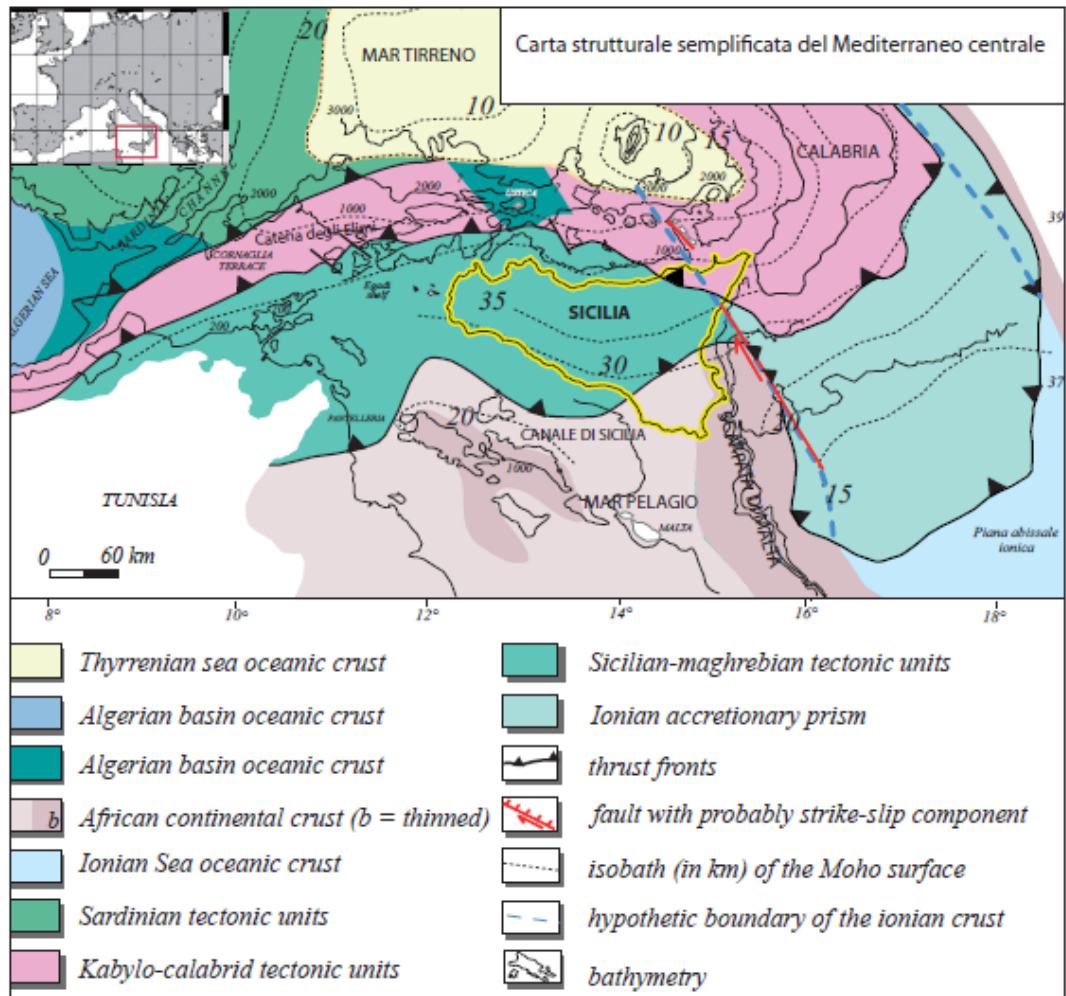


Fig. 3.1: a carta illustra i differenti settori crostali della regione centrale del Mediterraneo (da CATALANO et alii, 2011 e, con bibliografia)

Ne deriva la formazione di complesso collisionale (cosa confermata dal profilo sismico profondo del progetto SIRIPRO) risultato della sovrapposizione, da occidente ad oriente, di unità tettoniche risultanti dalla deformazione degli originari domini meso-cenozoici sicilide, imerese e sicano, su un cuneo, spesso 6-7 km, di thrusts derivanti dalla deformazione di un originario dominio di piattaforma carbonatica (trapanese, saccense, panormide). L'insieme poggia, a sua volta, sull'avampaese non deformato che affiora nel Plateau Ibleo e che continua nel Canale di Sicilia (avampaese ibleo-pelagiano).

Il complesso collisionale è caratterizzato da tre elementi tettonici principali:

- un'area di avampaese: affiorante nella Sicilia sud-orientale e nel Canale di Sicilia costituito da una successione sedimentaria autoctona e che ricopre il basamento cristallino africano ed è costituita da circa 7 km di carbonati di piattaforma e di scarpata;
- un'avanfossa piuttosto recente, localizzata nell'offshore meridionale della Sicilia (Bacino di Gela) e nella regione iblea lungo il margine settentrionale dell'avampaese, in parte sepolta dal fronte della catena (Falda di Gela);
- una catena complessa, con vergenza Sud-Sud/Est, costituita da un elemento "europeo" (Unità Peloritane), un elemento "tetideo" (Unità Sicilidi) ed un elemento "africano" (Unità Appenninico-Maghrebid).

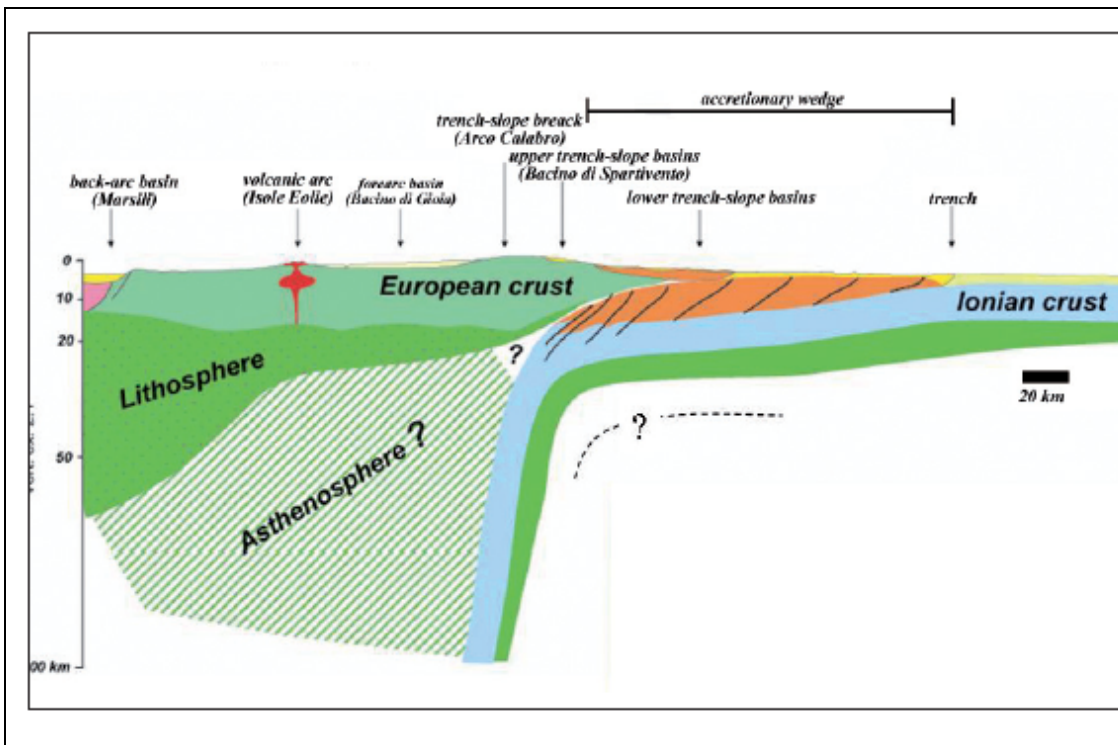


Fig. 3.2: Schema semplificato del complesso di subduzione Tirreno-Ionico (da CATALANO et alii, 2011 e)

Le successioni litologiche esposte in Sicilia (Fig. 3.3) possono raggrupparsi in:

- successioni di margine passivo, costituite dalle associazioni clastiche permotriassiche e carbonatiche mesozoico-paleogeniche, che rappresentano il riempimento sedimentario di differenti bacini sviluppatisi nell'oceano Tetideo e sul margine continentale Africano prima dell'instaurarsi della deformazione compressiva;
- successioni di margine attivo, che sono rappresentate dai depositi terrigeni oligo-Miocenici a prevalente sedimentazione torbiditica, ritenuti i prodotti dello smantellamento della catena in via di corrugamento e, in discordanza, le sovrastanti rocce mio-pleistoceniche costituite da depositi terrigeni, evaporitici e clastico-carbonatici; queste ultime si sono depositate, durante e dopo la deformazione del margine e sono messe in relazione al progressivo sviluppo di bacini legati alla fase compressiva a partire dal Miocene (bacini di thrust-top).
- le unità carbonatiche meso-cenozoiche, e in misura minore quelle clastiche oligo-mioceniche, costituiscono l'ossatura della catena siciliana.

Sui Monti di Palermo, di San Vito e delle Madonie orientali affiorano le successioni carbonatiche triassico-mioceniche di mare basso costituenti le unità Panormidi, mentre nel settore compreso tra le Madonie occidentali, i Monti di Termini Imerese e i Monti di Palermo meridionali affiorano le successioni carbonatiche e siliceo carbonatiche del triassico superiore-oligocene inferiore in facies di bacino-scarpata, note come successioni Imeresi.

Al di sopra si individuano le successioni ad argille bruno-giallastre, con intercalazioni di potenti banchi di arenarie quarzose di tipo torbiditico, note come flysch numidico (OGNIBEN, 1960, 1963; WEZEL, 1966; GIUNTA, 1985).

Le successioni numidiche sono distribuite particolarmente nei settori settentrionale e centrale della catena siciliana.

Da un punto di vista paleogeografico la Sicilia rappresenta un'area chiave per la comprensione dell'evoluzione della Tetide nel Mesozoico, al cui margine meridionale si sono sviluppate le successioni sedimentarie oggi affioranti nella catena siciliana e quelle ad esse comparabili affioranti nell'area circummediterranea.

L'oceano tetideo doveva essere costituito da un'area molto frammentata con settori isolati di litosfera continentale separati da lingue di crosta oceanica e la paleogeografia del margine continentale siciliano doveva essere caratterizzata dalla presenza di un'ampia area di piattaforma carbonatica (domini Panormide, trapanese-Saccense e Ibleo) che si sviluppava su crosta continentale africana bordata verso nord da un'area di mare profondo occupata dalle successioni dei domini Imerese, Sicano e Sicilide.

L'evoluzione pre-orogenica del margine continentale è stata fortemente condizionata dalla tettonica sin sedimentaria sviluppatasi a seguito della fase di rifting continentale, instauratasi dal Permiano e proseguita per tutto il Mesozoico.

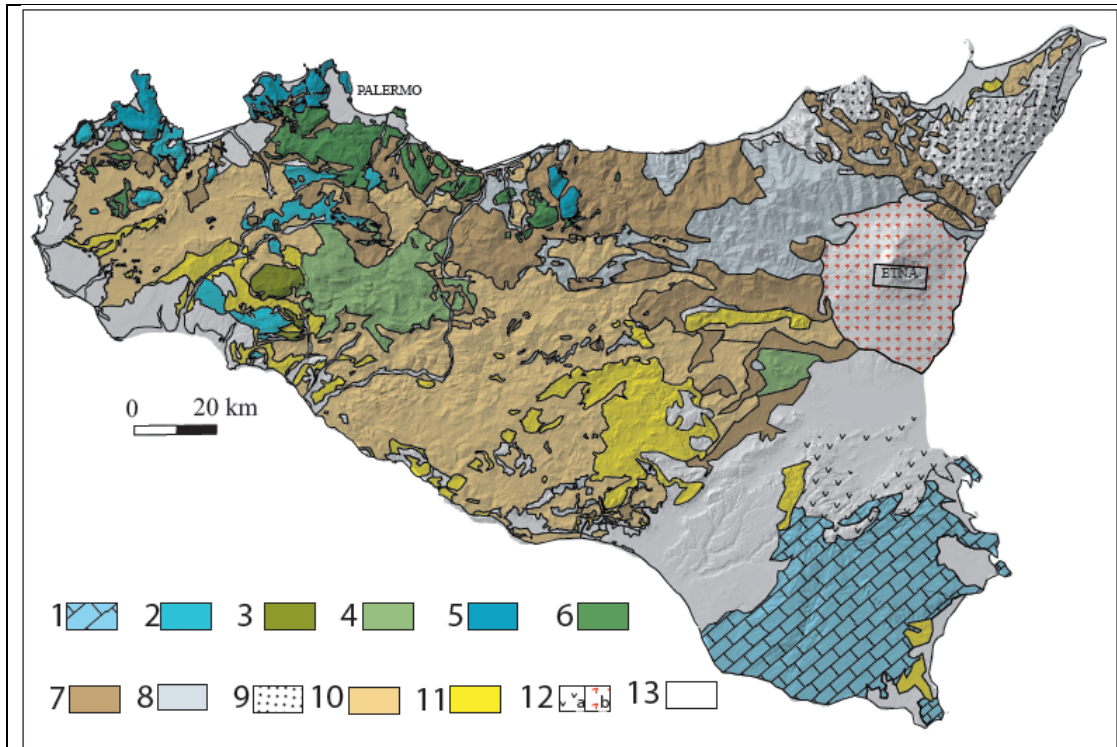


Fig. 3.3 - Carta strutturale della Sicilia (modif. da CATALANO & D'ARGENIO, 1982; CATALANO et alii, 1996, CATALANO et alii, 2004 a). Legenda: 1) Unità dell'Avampese Ibleo 2) Unità di piattaforma carbonatico-pelagica (Trapanese-Saccense); 3) Unità di Monte Genuardo (transizione piattaforma-bacino); 4) Unità di mare profondo (Sicano); 5) Unità di piattaforma carbonatica (Panormide); 6) Unità di scarpata-bacino (Imerese-Prepanormide); 7) Unità dei flysch miocenici (numidico e flysch interni); 8) Unità Sicilidi; 9) Unità cristalline Calabro-Peloritane; 10) depositi sinorogeni mio-pleiocenici; 11) depositi sintettonici Plio-pleistocenici; 12) Vulcaniti Plio-Quaternarie; 13) depositi pleistocenici.

Il più importante evento tettonico distensivo è quello che ha separato il tetto della piattaforma carbonatica Triassico-Liassica e determinato la formazione di aree in rapida subsidenza e aree soggette a sollevamento (uplift) ed erosione.

Questa tettonica infra liassica si inserisce nei movimenti trascorrenti sinistri che si svilupparono durante il Giurassico tra l'Africa e l'Europa lungo direttrici Est-Ovest e che riflettono passivamente gli spostamenti indotti dalle faglie trasversali dell'apertura dell'Atlantico.

Una tettonica di questo tipo modificò la paleogeografia del margine continentale con la formazione di una serie di bacini di intra piattaforma Giurassici più o meno estesi (Marineo, Strepenosa, Erice, Genuardo), interpretati come bacini di pull-apart in via di approfondimento nell'ambito della Piattaforma Carbonatica trapanese e Iblea e contemporanei allo smembramento di varie aree al margine della piattaforma carbonatica. Queste aree appartenevano al margine della piattaforma continentale che era caratterizzata da strutture a gradoni con blocchi cristallini fagliati e tiltati e strutture di tipo horst e graben caratterizzate da sedimentazione concentrata sugli alti strutturali e settori di scarpata su cui si andavano formando potenti corpi di megabrecce e bassi strutturali con potenti successioni pelagiche e diffusa presenza di pillow lavas.

Gli alti strutturali erano invece caratterizzati da successioni vulcanoclastiche ricoperte da scogliere carbonatiche e atolli sottomarini.

La collocazione paleogeografica della piattaforma Panormide lungo il margine della Tetide mesozoica è oggetto di diverse interpretazioni.

I vari modelli proposti differiscono per la posizione della placca Adria, intesa come microplacca separata dall'Africa da una lingua di oceano rappresentata dalla "Tetide Ionica" o intesa come un promontorio del continente africano e ad esso connesso mediante la Panormide che separava, come un "ponte continentale" i due domini oceanici ionico e alpino.

Nella sostanza comunque i domini di piattaforma carbonatica Panormide e di bacino Imerese erano un sistema di margine con una sedimentazione che passava gradualmente a successioni prettamente pelagiche (Bacino Sicano) a loro volta passanti nei settori più orientali a domini di mare basso e piattaforma pelagica (Trapanese-Saccense e Ibleo).

3.3. Evoluzione geologica locale e il terziario superiore

Per entrare in argomento alle formazioni affioranti nell'area considerata, il lasso temporale d'interesse è quello oligo-miocenico, piuttosto recente rispetto a quanto sopra illustrato.

Si tratta di sedimenti pelitico arenacei e più raramente conglomeratico arenacei, riconducibili ad un dominio marino di mare aperto (pelagico) ed appartenenti al bacino noto in bibliografia come Bacino Numidico originatosi nel Terziario.

L'evoluzione paleogeografica è perlopiù legata all'evoluzione del margine continentale peri adriatico.

Per quanto d'interesse si pone l'accento sull'evoluzione geodinamica, come descritta al § precedente, a partire dal Triassico medio-inferiore.

Nell'area è presente un bacino intra cratonico di margine continentale e di mare basso al cui interno si realizza una sedimentazione di tipo prevalentemente terrigeno accompagnata da intrusioni di vulcaniti basiche dato che il bacino è in estensione, la tettonica è di tipo distensivo.

Al suo interno si depositano sedimenti di tipo calcari ruditico e mega breccie di sedimentate di ambiente neritico. Abbiamo visto che a partire dal Trias superiore-Lias, il bacino si divide in due unità distinte e si assiste al termine della distensione ed inizia la chiusura del bacino. L'instaurarsi di un alto topografico, pur sottomarino, via via più importante determina la formazione di due sotto bacini: Bacino Imerese a nord e Sicano a sud. Nei due bacini la sedimentazione è ancora di tipo marino (dolomie, calcari dolomitici), mentre "sull'alto" la sedimentazione è di tipo neritico.

A partire dal Giurassico a seguito dell'instaurarsi nuovamente di una tettonica distensiva si ha un nuovo allargamento ed approfondimento dei due bacini e si instaura una significativa attività vulcanica caratterizzata da effusioni alcali-basiche e dal formarsi di colate del tipo "a pillows". Nell'Oligocene i domini paleogeografici si uniformano il fondo marino è piatto e la sedimentazione francamente di tipo pelagico.

Con l'Oligocene riprendono le spinte orogenetiche, la tettonica che ne deriva è di tipo compressivo, i bacini cominciano a chiudersi, i sedimenti in essi contenuti si deformano fino a determinarne l'emersione e l'instaurarsi di una sedimentazione di tipo prevalentemente terrigeno (Bacino Numidico).

Il bacino in una fase iniziale è geometricamente complesso, durante il Miocene Inferiore-Langhiano la sedimentazione è di tipo regressivo e le varie successioni sedimentarie terminano tutte con depositi pelitici.

Nel Miocene medio, quindi, le aree settentrionali vengono raggiunte dalla tettonogenesi e si instaurano nuove unità di tipo tettonico, si realizzano gli accavallamenti, della piattaforma carbonatica, sui termini, più settentrionali del bacino Imerese, che a loro volta si sovrappongono ai termini più meridionali producendo di fatto il raddoppio della successione. Su queste unità deformate si vanno a depositare nuove unità pelagiche ed emipelagiche, fino al Langhiano Sup.

Il prodotto finale di questo tipo di sedimentazione è caratterizzato dall'alternanza più o meno ritmica di litotipi a diversa competenza noti in bibliografia con il termine di "flysch" e che sono suddivisi in quattro principali formazioni: nell'area risulta affiora solo quella caratterizzata dalla facies pelitico-arenacea.

Questi sedimenti ricoprono in maniera discordante le limitrofe formazioni arenaceo conglomeratiche e risultano in linea di massima costituite da alternanze di livelli di argillite a struttura scagliosa ed arenarie in decimetrici.

La frazione fine è sempre dominante rispetto a quella arenacea. Inclusi, in maniera e con geometrie variabili si possono anche individuare livelli conglomeratici e micro conglomeratici, il cui spessore può raggiungere la decina di metri, caratterizzati da sedimentazione gradata e laminazioni parallele nelle parti inferiori; alla base degli strati sono presenti clasti d'argillite e strutture erosive.

Questi episodi sono stati quindi molto discontinui anche lateralmente e rappresentano probabilmente il prodotto distale di torbiditi. L'intensa tettonizzazione poi è evidenziata dalla presenza di un fitto sistema di dislocazioni, pieghe, sovrascorrimenti, discontinuità stratigrafiche e strutturali e sono conseguenti alle spinte ed agli episodi orogenetici che a partire dall'Oligocene hanno interessato anche in maniera parossistica questo settore dell'isola. Questa caratteristica è da tenere ben presente per le conseguenze importanti che ha sulla stabilità globale del rilievo.

3.4. ASPETTI GEOMORFOLOGICI

La zona sulla quale è previsto l'intervento è ubicata in località Incatena Cugno, ed è ubicata ad una quota media di circa 850 m s.l.m., occupa un crinale che si sviluppa lungo di una dorsale collinare dell'estensione di circa tre chilometri con direzione Nord/Est-Sud/Ovest.

Il paesaggio è prevalentemente collinare, le superfici sommitali, situate ad una quota modesta, si presentano sub pianeggianti o a debole pendenza; i versanti sono generalmente moderatamente acclivi e si raccordano con gradualità ai fondo valle che sono più o meno estesi, solo localmente incisi e spesso colmati da materiali eluvio-colluviali di spessore estremamente variabile.

La morfologia è caratterizzata da una certa varietà di forme che sono in stretta relazione con la natura litologica delle formazioni e con la loro struttura.

La geometria del rilievo in primis è figlia delle vicende tettoniche regionali, e poi al modellamento secondario ad opera degli agenti atmosferici che hanno agito con maggiore effetto là dove prevalgono i litotipi più teneri e dei frequenti fenomeni franosi che interessano l'area.

In generale le argilliti si associano quindi a forme arrotondate e a gibbosità data loro erodibilità.

Dove prevalgono litologie meno tenere, soprattutto arenarie e conglomerati, la morfologia diviene più aspra, con pareti discretamente acclivi e la copertura detritica colluviale si assottiglia in maniera considerevole.

Di fatto data la situazione geometrica e litologica l'equilibrio morfologico raggiunto è da considerare solo temporaneo.

Si rilevano diffusi fenomeni morfici attivi tra cui scoscendimenti dovuti alla gravità e sui pendii più acclivi fenomeni di soliflusso o di creep superficiali.

I fenomeni appaiono al momento quiescenti ma si individuano segni evidenti di movimenti più ampi e più profondi, attualmente meno evidenti o quiescenti anche da lunghi periodi.

In vicinanza delle torri in progetto, si è verificato un importante dissesto in data 8 Marzo 2015 in seguito a precipitazioni straordinariamente prolungate ed intense. La frana ha coinvolto ampie porzioni di terreno del versante dell'ordine delle decine di metri in senso verticale e di centinaia di metri in senso orizzontale. Il movimento che si è protratto per 15 ore alterando totalmente la morfologia dell'intero versante e danneggiando la strada provinciale 53 di collegamento tra Sclafani Bagni e Alia.

A seguito dei rilievi, il movimento franoso presentava una larghezza media di circa 500 metri, ed una lunghezza complessiva di circa 1500 m; ha interessato l'intero versante raggiungendo il crinale dove erano posizionate alcune torri eoliche che hanno dovuto essere rimosse.

Nel paragrafo relativo ai rilievi aerei, è possibile osservare l'impronta attuale del dissesto

Gli studi effettuati da Enel a seguito di quell'evento sono stati utilizzati per affinare il modello geologico dell'area utilizzato nel presente studio.

Tra gli altri eventi attivi che interessano aree limitrofe a quella d'interesse, catalogati e soggetti ad indagine in particolare lungo alcune strade tra le quali la S. P. n° 58 denominata Mandragiumenta, dove si evidenziano lievi movimenti reptativi e soliflussi generalizzati che nella maggior parte dei casi interessano la porzione superficiale dei terreni e che si esplicano con lo scivolamento verso valle di materiale attraversando anche parte della sede stradale.

Un altro fenomeno morfico molto attivo consiste nell'attività erosiva operata dalle acque dilavanti ed incanalate che risultano particolarmente evidenti nelle aree ove prevale la componente limo-argillosa.

I fenomeni di erosione incanalata, ove presenti, sono in rapido, anche se occasionale, sviluppo e procedono con un deciso approfondimento delle incisioni vallive.

Da un punto di vista urbanistico, gli insediamenti permanenti sono del tutto assenti ad esclusione delle Case delle Picocche (quota mt. 780 s.l.m.), ubicate a Sud.

Per quanto concerne l'evoluzione del rilievo ricordiamo che la sua geometria è in parte

controllata dalla struttura del substrato, ma è soprattutto funzione delle sue caratteristiche litologiche.

La superficie topografica presenta un andamento tipicamente mammellonare con evidenti ondulazioni dei rilievi e brusche interruzioni della loro geometria che nient'altro sono che la manifestazione alla grande scala delle variazioni litologiche e dell'andamento geometrico del bed rock.

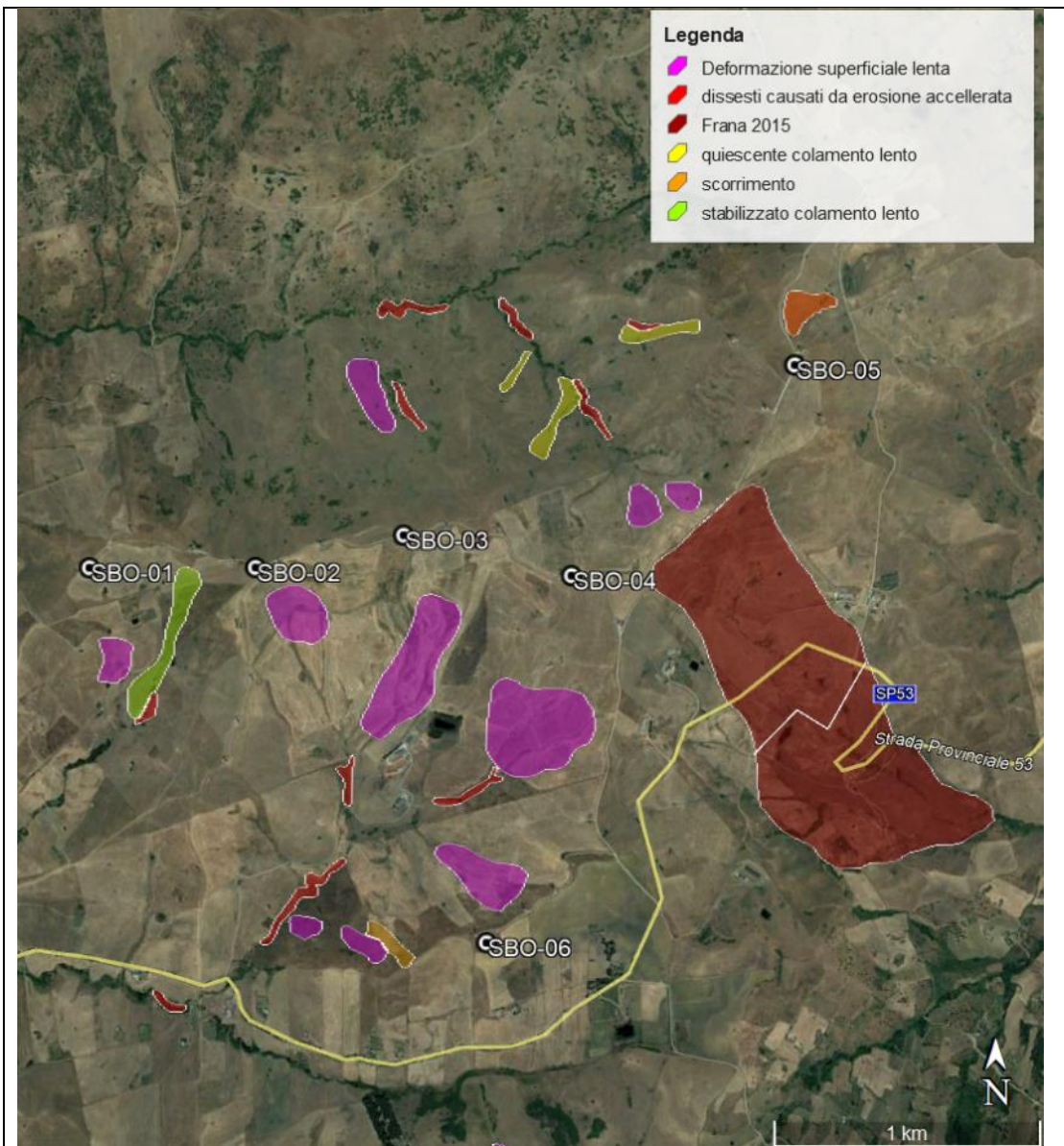


Fig. 3.5 – P.A.I. Regione Sicilia, evidenze di movimenti franosi individuati nell'area oggetto d'indagine

I versanti degradano in direzione Sud ed in direzione Nord, la morfologia, nella sua globalità, è fortemente condizionata dai litotipi affioranti, con zone piuttosto aspre, pendenze talora accentuate ed incisioni profonde.

Laddove i terreni sono costituiti da rocce sedimentarie dure o semidure, quali arenarie e quarzo areniti, si riscontrano accentuate pendenze mentre in corrispondenza di litotipi semicoerenti o soffici, come le argilliti, le forme degradano con relativa gradualità.

L'altro elemento che determina la modellazione del rilievo è costituito dalle incisioni pluviali che indicano una elevata densità di drenaggio, anche se la maturità del reticolo non è elevata. Al contrario della dinamica evolutiva dei corsi d'acqua che testimonia una intensa attività evidenziata soprattutto dal rapido approfondimento degli alvei presenti. Le varie incisioni

raccogliono le acque meteoriche che dilavano la parte superficiale del terreno con conseguente erosione superficiale e successivo rimodellamento.

Erosione e trasporto continuano a modificare l'aspetto originario dell'incisione il cui approfondimento non fa altro che aumentare la capacità erosiva delle acque dilavanti sul rilievo stesso.

Il primo risultato dell'azione legata alla degradazione meteorica dei versanti è la formazione di una coltre superficiale di alterazione molto varia per composizione e spessore anch'essa funzione dei litotipi affioranti e delle condizioni climatiche oltre che della persistenza dell'erosione; il secondo è quello del determinarsi di fenomeni erosivi incanalati e di sponda, scarpate strutturali legate a piccole faglie locali, limitate aree in erosione diffusa a causa della scarsa copertura vegetale e movimenti gravitativi tipo "colamenti", fenomeni di erosione superficiale, trasporto ed accumulo.

Per quanto concerne poi la parte più superficiale del terreno assumono grande importanza i fenomeni di degradazione in posto che in massima parte dipendono dalla natura geomorfologica dei terreni, considerata come sommatoria delle caratteristiche intrinseche delle formazioni esistenti rapportate alle condizioni climatiche ed alla copertura vegetale. Più in generale l'erosione e il trasporto modellano la superficie, determinandone e il dilavamento superficiale e la deposizione di una coltre di alterazione superficiale che varia di spessore, composizione e colore in relazione ai litotipi affioranti (roccia madre) ed alle condizioni climatiche generali.

Detta coltre può essere il prodotto dell'alterazione in posto dei litotipi affioranti (eluvium), oppure può essere il prodotto della sedimentazione dovuta alle acque (colluvium). Il risultato finale consiste nel fatto che la superficie risulta essere ricoperta di da uno strato di vario spessore, il suolo, che in questo caso appartiene alla categoria dei regosuoli: "suoli bruni e/o suoli bruni vertici" che costituiscono la tipica "catena" dell'entroterra collinare argilloso siciliano.

Sono tipi pedologici associati ad una precisa morfologia che è quella che caratterizza la collina interna alla Sicilia caratterizzata da una morfologia che appare ondulata con pendii variamente inclinati alternati a spianate più o meno ampie alla base degli stessi impostata solitamente su litotipi di tipo argilloso.

Come accennato l'acclività risulta essere un buon indice della composizione litologica del rilievo: laddove prevalgono i banchi e le intercalazioni arenacee, la morfologia si fa più aspra ed accidentata con pendenze che superano il 40%; dove invece, prevale la componente limoso-argillosa, la morfologia si fa più dolce e meno accidentata con valori di pendenza che oscillano tra il 10% ed il 30%.

Quindi se si considera l'acclività e si studia la configurazione morfologica del suolo, oltre a quanto figlio della tettonica si possono ubicare anche i movimenti gravitativi a cui il versante è soggetto.

L'esigenza di acquisire informazioni più dettagliate sulla possibile evoluzione del rilievo ha spinto la committenza a commissionare questa fase d'indagine finalizzata ad ottenere una topografia meglio dettagliata della zona occupata dal campo eolico.

Il rilevamento è stato infatti finalizzato ad individuare segni di movimento di tipo gravitativo nelle aree basali e mediane dei versanti, a valle dell'area in studio. Questo perché, già in passato, la loro evoluzione retrograda ha in parte interessato anche le aree sommitali determinando la destabilizzazione di alcune delle torri eoliche già installate che dovranno quindi essere oggetto di spostamento a loro ulteriore tutela.

Pertanto risulta molto importante verificare se esistano altri segni indice di possibili ulteriori movimenti a cui posso diventare soggetti settori di versante.

Argomento a parte sono le forme determinate dall'attività antropica.

Consultando la cartografia ufficiale, quale quella allegata al "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) - Bacino Idrografico del Fiume Torto (031) - Area Territoriale tra il bacino del Fiume Torto ed il bacino del Fiume Imera Settentrionale (n. 031A) - Area Territoriale tra il bacino del Fiume S. Leonardo e il bacino del Fiume Torto (n. 032)", Rif. [16-17-18-19], si può evincere che nella zona in studio sono presenti dissesti classificati per lo più come "deformazione superficiale lento" e "colamento lento" e, secondariamente, come "scorrimento" e "dissesto dovuto ad erosione accelerata" (3.5). Lo stato di attività di tali dissesti, nella cartografia del PAI, risulta essere per lo più "attivo".

L'analisi comparata e tridimensionale delle immagini ricavate attraverso i rilievi effettuati dagli scriventi con il drone ha permesso di evidenziare la presenza di altri morfotipi, anche attivi, che comporta che il numero di eventi franosi presenti nell'area sia molto più numeroso di quanto evidenziato dalla cartografia ufficiale.

Inoltre risulta evidente la connessione tra la geometria e l'esistenza di detti eventi con la natura litologica e la geometria strutturale del rilievo.

3.5. ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI

Per quanto riguarda l'idrogeologia essendo il substrato affiorante formato da litotipi a prevalente a composizione argillosa, caratterizzati da una ridotta permeabilità, le acque superficiali sono soggette normalmente ad intenso ruscellamento.

Talvolta le stesse riescono ad infiltrarsi nella fascia di alterazione e vengono in parte adsorbite e raggiungono le parti più profonde del substrato attraverso i livelli più sabbiosi dotati di più alta permeabilità.

Una volta raggiunto il substrato, anch'esso scarsamente permeabile ed abbastanza eterogeneo, le acque circolanti sono ancora in grado di infiltrarsi al suo interno attraverso i livelli più porosi, mentre le restanti fluiscono al contatto tra i due litotipi.

Queste ultime, unitamente alle acque adsorbite dallo strato detritico superficiale, determinano processi d'imbibizione ed allentamento delle parti più superficiali e contribuiscono in maniera significativa all'innescare dei movimenti di versante.

A queste si aggiungano anche quelle derivanti dall'infiltrazione dovuta a fenomeni di percolazione che avvengono per permeabilità secondaria dell'ammasso determinata dall'elevato grado di fratturazione dei litotipi.

A causa dell'eterogeneità litologica che contraddistingue lo strato detritico, si possono anche identificare aree a bassa permeabilità su cui, dopo eventi piovosi di una certa intensità si formano ristagni idrici anche significativi.

Come conseguenza di quanto illustrato si possono instaurare quindi tre diverse tipologie di circolazione idrica:

- ipodermica all'interno dei litotipi detritico colluviali;
- poco profonda (concentrata al contatto tra coltre detritica e substrato scarsamente permeabile);
- profonda all'interno i livelli litoidi del substrato. In quest'ultimo caso la circolazione idrica risulta, per la totale mancanza di porosità primaria e per la ridotta porosità secondaria, molto limitata.

Come naturale la stessa simmetria che si rileva sotto l'aspetto morfologico, si riflette su quello idrologico, infatti le caratteristiche del reticolo idrografico, che si sviluppa su entrambi i versanti a lato della cresta, risultano sostanzialmente simili.

La densità del reticolo è discreta, le aste principali scorrono con andamento sinuoso e piuttosto incassato e sono alimentate da tributari minori dotati di scarso grado di gerarchizzazione (raramente si raggiunge il terzo grado) e di modesta lunghezza.

Gli impluvi secondari si originano su una fascia molto bassa del versante e risultano pertanto, a causa della modesta acclività e del ridotto percorso, poco incisi. Viceversa i corsi d'acqua di rilievo, in prevalenza a carattere torrentizio, sono soggetti a forti variazioni di portata in relazione ai cicli stagionali delle precipitazioni; la loro dimensione ed acclività fa sì che si attivino fenomeni erosivi che determinano il loro continuo approfondimento e la continua variazione del loro profilo d'equilibrio.

Sulla parte bassa dei versanti il drenaggio è affidato a fossi e canali artificiali posti attorno alle proprietà agricole ed alla viabilità stradale.

4. PARTE II - ANALISI DI DETTAGLIO

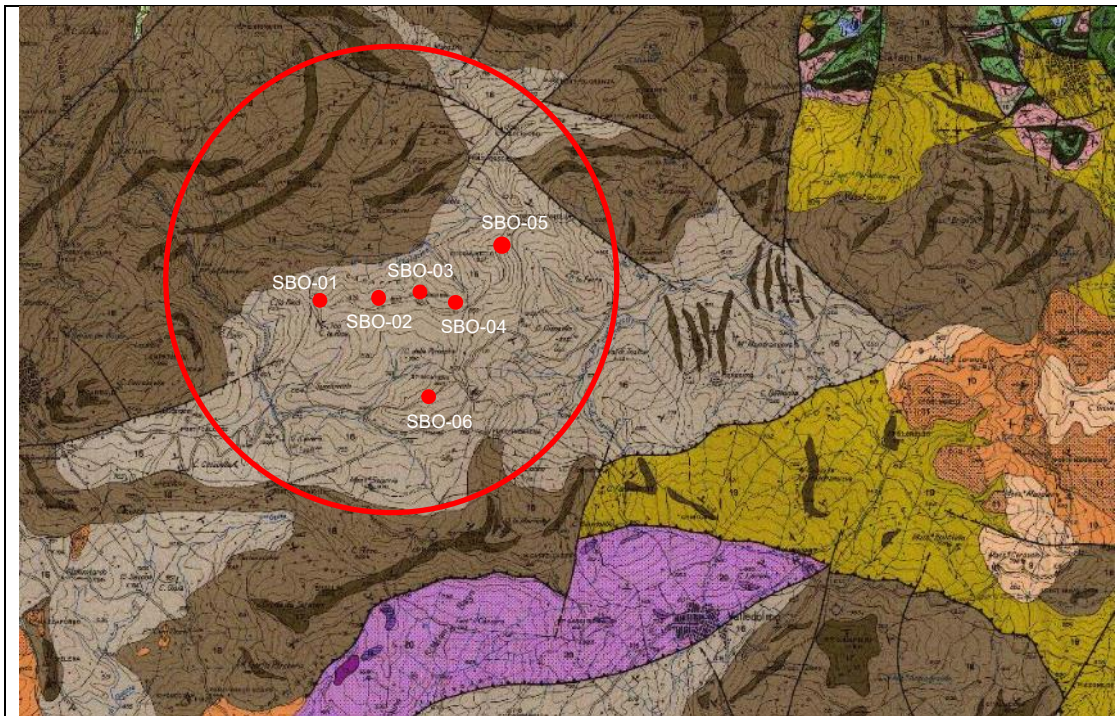
4.1. Caratteristiche geologiche di sito

A livello generale dal punto di vista litologico gli areogeneratori ubicati in quest'area insistono su di un substrato che è di argilloso arenacea ricoperto da uno strato eluviale di vario spessore derivante dal disfacimento dei litotipi costituenti il substrato.

Al di sotto delle coltri di copertura e costituenti la porzione prossima alla superficie delle dorsali ove si sviluppano gli Impianti Eolici il substrato roccioso è in loco costituito dalle Formazioni appartenenti all'Unità nota in bibliografia come Flysh Numidico.

La cartografia geologica di riferimento è quella riportata in Fig. 4.1 ed è la "Carta Geologica dei Monti di Termini Imerese e Delle Madonie Occidentali (Sicilia centro-settentrionale) – scala 1:50.000 che per dettaglio e modrnità illustrativa è stata preferita al Foglio geologico nazionale.

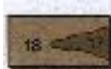
Le tavole del progetto C.A.R.G. non sono purtroppo ancora disponibili nella totalità, quindi non coprivano per estensione tutta l'area oggetto d'indagine.



UNITÀ DERIVANTI DALLA DEFORMAZIONE DEL BACINO NUMIDICO (I.S.) (UNITÀ MONTE ROCCELLITO, UNITÀ ALIA-SERRA TIGNINO, UNITÀ PIZZO COMUNE, UNITÀ COZZO ALMERITA)



Facies pelitico arenacee associate a facies conglomeratico arenacee. Alternanza di peliti predominanti ed arenarie in strati decimetrici con microfauna a foraminiferi planctonici ed arenacei (16). Strati piano paralleli con notevole continuità laterale, frequenti le sequenze (To-e) e (To-e) di Bouma. A luoghi rari livelli conglomeratici (17) potenti alcuni metri. Spessore 100-400 m. LANGHIANO - MIOCENE INFERIORE.



Facies arenacee associate a facies conglomeratico arenacee. Arenarie in strati e banchi con intercalazioni pelitiche in cui si rinviene una microfauna a foraminiferi arenacei e planctonici (18). Strati piano paralleli con marcata continuità laterale non di rado presentano l'intera sequenza di Bouma (Ta-e). Sono presenti intercalazioni arenaceo conglomeratiche (17) con spessori di qualche decina di metri e continuità laterale dell'ordine di qualche chilometro. La base di questi livelli è di natura erosiva ed è marcata da sciami di ciottoli di argilla. Spessore 400-1200 m. MIOCENE INFERIORE-OLIGOCENE SUPERIORE.



Facies pelitiche con intervalli caotici. Peliti di colore bruno talora manganesifere, in sottili strati, cui si alternano in subordine siltiti ed arenarie a grana fine in strati centimetrici (19). A più altezze stratigrafiche sono presenti livelli caotici dovuti a fenomeni sedimentari di frammenti gravitativi in massa. Intercalazioni lentocolari di materiale grossolano (conglomerati ed arenarie) potenti fino a qualche decina di metri (17). Nelle aree settentrionali ed orientali della carta (Termini Imerese, Vallone Ginestra) intercalazioni di grandi blocchi calcarei (olistoliti) o di livelli stratoidi a breccie calcaree molto grossolane. Spessore 200-1100 m. MIOCENE INFERIORE-OLIGOCENE SUPERIORE.



Nella zona compresa tra Valedolmo e Serra Tignino affiorano argille siltose, areniti, calcilutiti e marne a foraminiferi pelagici, breccie carbonatiche risedimentate a rudiste ed alveoline, costituenti un orizzonte caotico prodotto dalla commistione tettonica di lembi di Sicilici e Flysch Numidico.

Fig. 4.1 - Estratto della "Carta Geologica dei Monti di Termini Imerese e Delle Madonie Occidentali (Sicilia centro-settentrionale) – scala 1:50.000 – B. Abate, P. Renda e M. Tramutoli – memorie della Società Geologica italiana, 1988, Volume 41, Fascicolo 1"; (Legenda, parte d'interesse). Cerchio rosso area di interesse

In affioramento nell'area sono ben rappresentate le facies pelitico-arenacee del Flysch Numidico.

collegano ampie porzioni delle sommità dei principali rilievi della zona.

Le sommità di tali rilievi si presentano prevalentemente subpianeggianti e comunque con pendenze assai modeste, con versanti in genere a modesta acclività. Tali versanti si raccordano alle sottostanti vallate in modo per lo più graduale e, quest'ultime sono in genere ampie e solo localmente incise.

Le coltri eluvio colluviali si presentano con spessori assai variabili e, talora, specie nelle zone sommitali delle dorsali con spessori modesti tali da definire subaffiorante il substrato roccioso costituito dal Flysch Numidico. Ne consegue che l'assetto morfologico è strettamente legato sia alle caratteristiche litologiche dei materiali affioranti/subaffioranti che con la loro struttura e con il loro grado di tettonizzazione.

Il grado di fratturazione da un lato e, dall'altro, il modellamento degli agenti atmosferici e morfici sono i fattori che influiscono sulle forme del rilievo.

Ai litotipi più plastici (termini argillosi in prevalenza) sono associate, per lo più, forme arrotondate dovute alla loro maggiore erodibilità e dal fatto che in esse si possono instaurare fenomeni gravitativi come, ad esempio, i colamenti.

Nelle zone dove prevalgono i litotipi più competenti, le forme del territorio sono, in genere, più aspre, e in tali aree sono osservabili versanti decisamente più acclivi con spessori delle coperture decisamente più modesti.

I corsi d'acqua presenti sono aste di primo grado e mostrano un grado di maturità molto basso, le incisioni sono modeste anche perché i corsi d'acqua hanno un regime temporaneo.

4.3. **Idrografia e idrogeologia di dettaglio**

L'area in esame è caratterizzata da un reticolo idrografico poco inciso e sviluppato con corsi d'acqua a carattere torrentizio. A causa della scarsa permeabilità delle formazioni pelitiche del Flysch Numidico si ha in generale un diffuso ruscellamento superficiale.

Tuttavia i versanti sono anche caratterizzati da evidenti solchi e incisioni localizzate, dovuti a erosione accelerata, con ruscellamento incanalato e condizionato da elementi strutturali. Come riportato anche nella carta del PAI (Fig. 3.4), l'erosione accelerata è causa di specifici dissesti nell'area vasta di studio.

Le sequenze pelitico-arenacee del Flysch Numidico costituiscono un complesso idrogeologico dove la permeabilità è essenzialmente determinata dalle condizioni di fratturazione dei banchi e strati arenacei. In questo contesto, le condizioni di fratturazione e le caratteristiche tettoniche (lineamenti strutturali) consentono la risalita localizzata d'acqua da falde confinate profonde dando origine a sorgenti puntuali o lineari. I livelli piezometrici delle falde sotterranee dell'area in esame, a cui tende la risalita dell'acqua lungo le dislocazioni, si raccordano difatti al livello delle falde acquifere dei massicci montuosi situati a monte, a Nord e Nord Ovest, dell'area.

La permeabilità riportata per il complesso argilloso arenaceo del Flysch Numidico è compresa tra i 10^{-7} e 10^{-9} m/s.

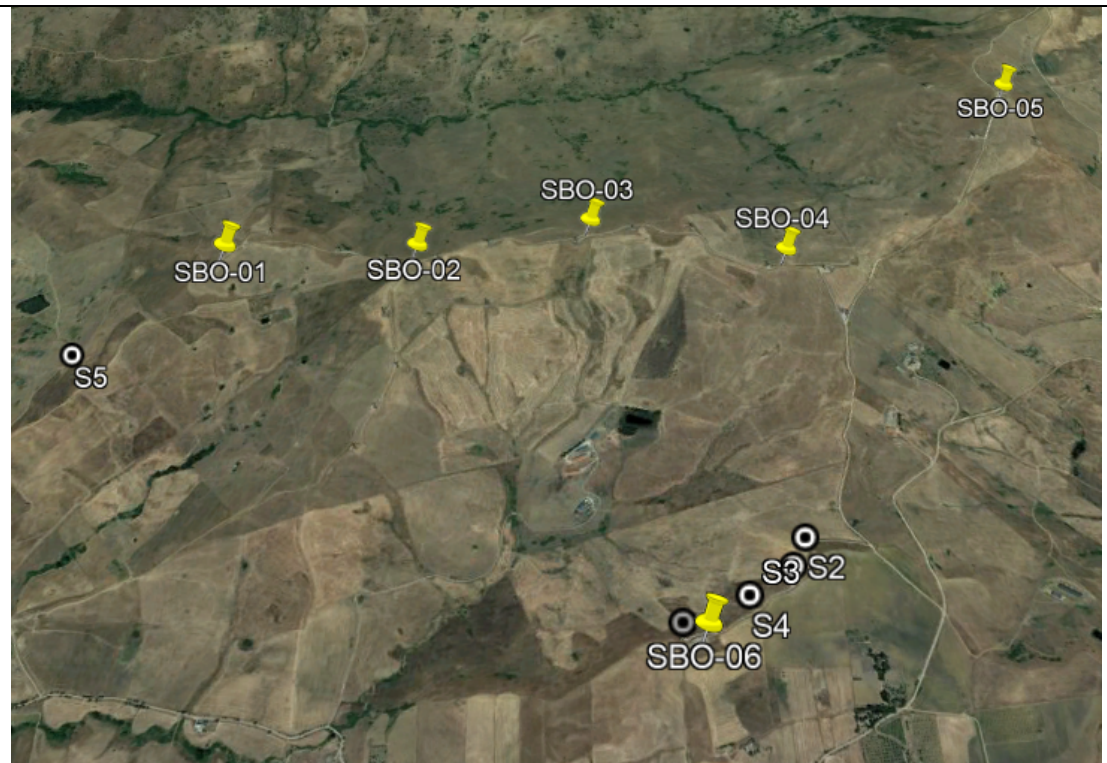


Fig. 4.3 – Sovrapposizione su base fotogrammetrica Google degli aerogeneratori in oggetto e dei sondaggi geognostici eseguiti

4.4. Indagini geotecniche di riferimento

Come già accennato, per la trattazione e la definizione di questa parte si fa riferimento a tutte quelle indagini eseguite in passato per conto del Committente ed oggetto dei lavori elencati nell'ultimo paragrafo della presente.

Quanto da esse ricavato è confrontato con i risultati ottenuti dal presente rilevamento, e da questo confronto derivano tutte le considerazioni particolari riportate nella Parte III della presente e specifiche per ogni sito.

Nella definizione delle caratteristiche geotecniche e nella definizione dei vari modelli relative ad ogni ubicazione hanno avuto primaria importanza i risultati ricavati durante le campagne d'indagini geognostiche e geofisiche di cui ai rapporti "D'Apollonia - RINA" citati in bibliografia.

Data la regolarità nelle caratteristiche litologiche mostrate dal substrato, roccioso, appartenente ad un'unica formazione "Unità Monte Roccellito" cfr. Fig. 4.1, il substrato è stato considerato come costituito, per tutti i siti, da un'unica unità avente caratteristiche peculiari anche se a livello di principio non costanti, data l'estrema variabilità litologica del litotipo considerato.

Con riferimento alla fig. 4.3 si noti come, pur concentrate in una data area, le indagini eseguite, unitamente agli stendimenti sismici ed ai rilievi geologici eseguiti possono essere prese a riferimento per una caratterizzazione precisa delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e sottofondazione delle opere.

In base alle risultanze delle indagini ed in considerazione delle dimensioni delle turbine si ritengono sin d'ora come necessarie opere di fondazione profonda.

4.4.1. INDAGINI DI RIFERIMENTO

Globalmente, quindi la presente si basa sulla consultazione dei rapporti sintetici delle seguenti indagini:

n. 5 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel 2005/2006;

n. 3 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel 2018;

n. 3 profili elettrotomografici con metodo dipolo-dipolo;

n. 3 profili sismici a rifrazione;

rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio;

rilievo geologico strutturale di dettaglio di superficie.

E' anche utile ricordare che (per effettuare un confronto utile alla presente) è necessario

stabilire una corrispondenza tra le Torri già in essere e quelle in progetto al fine di poter utilizzare con profitto i dati ricavati dalle indagini precedenti per le necessità della presente. Dalla consultazione delle ubicazioni delle indagini e delle torri esistenti e dal dalla loro vicinanza con quelle in progetto della presente si è fatto riferimento ai presenti assunti:

- Torre in progetto SB 01 – Torri di riferimento SC 01 e SC 07;
- Torre in progetto SB 02 – Torri di riferimento SC 02 e SC 03;
- Torre in progetto SB 03 – Torri di riferimento SC 05 e SC 13;
- Torre in progetto SB 04 – Torri di riferimento SC 09 e SC 14;
- Torre in progetto SB 05 – Torri di riferimento SC 11 e SC 16;
- Torre in progetto SB 06 – Torri di riferimento SC 05 e SC 13;

4.4.2. **Illustrazione dei risultati ottenuti dalle indagini**

Come detto le indagini considerate sono quelle a cui si riferisce il Doc. N° 15-1557-H1 Rev.00 del Marzo 2016 edito da D'Apollonia di cui, per comodità di consultazione si riporta il capitolo dedicato all'illustrazione delle indagini precedenti (geotecnica):

...."Dal momento che la zona in esame rientra in un'unica vasta e omogenea unità litostratigrafica, al fine di avere una più ampia caratterizzazione geotecnica del sito, si sono analizzati anche i documenti relativi all'indagine geotecnica del 2005/2006 realizzata per il progetto dell'impianto eolico Sclafani Bagni "Incatena Cugno - Fase II - Lotto 2" (ESSEGI, 2005; CESI, 2005; Millonzi, 2006).

Il sito è situato lungo il crinale Serra Incatena (Figura 6.1), a circa 500 m Sud/Sud Ovest del crinale interessato dalla frana (ad eccezione del sondaggio S1 che si trova più a Ovest) e rientra nella stessa formazione del flysch numidico.

Durante l'indagine sono stati eseguiti 5 sondaggi (S1-S5, in corrispondenza delle pale SC27, SC23, SC22, SC21 e SC20) a carotaggio continuo spinti ad una profondità di circa 20 m con SPT (Standard Penetration Test) in avanzamento ad intervalli di 1.5 m

In ogni sondaggio sono stati prelevati 2 campioni indisturbati sui quali sono state effettuate prove di laboratorio.

I campioni sono argille/argille sabbiose (contenuto di fini intorno al 70%) di bassa plasticità (PI circa 20) secondo la classificazione ASTM (2011). ...

L'angolo di attrito del terreno è stato stimato attraverso prove triassiali e prove di taglio diretto tra i 24° e 30°.

I risultati delle prove penetrometriche mostrano valori di N_{60} ovunque maggiori di 40.

La profondità minima alla quale si ha avuto rifiuto è di 3 m in ogni sondaggio.

Dalla descrizione stratigrafica dei sondaggi si evince come all'interno degli strati argillosi siano presenti elementi litici/orizzonti centimetrici a decimetrici arenacei. È possibile che la presenza di tali orizzonti abbia determinato il raggiungimento del criterio di rifiuto nelle prove SPT. Nonostante l'individuazione di tali strati litificati, non sono stati prelevati campioni di roccia durante l'indagine.

Alla campagna geotecnica è stata affiancata nel 2007 un'indagine sismica a rifrazione eseguita lungo l'asse individuato dagli aerogeneratori WGT19-20-21 e WGT27 (Millonzi, 2007a).

La relazione non riporta il valore di V_s per lo strato di coltre superficiale e classifica i terreni in riferimento alla circolare N° 2222 dell'Assessorato Regionale del Territorio e dell'Ambiente (1995) come S1, ossia "depositi di sabbie addensate e/o terreni coesivi compatti, senza uno strato a forte contrasto di proprietà meccaniche, entro i primi 90 m dalla superficie, caratterizzati da valori crescenti delle onde trasversali compresi almeno tra 250 e 500 m/s per profondità da 5 a 30 m, e nella fascia 350 -700 m/s per profondità maggiori". Tale descrizione è assimilabile ad un terreno di categoria B secondo la classificazione dei terreni prevista dal Testo Unico per le Costruzioni (NTC, 2008)"

Altro elemento di analisi utile alla definizione dei parametri geotecnici di riferimento per la progettazione che la presente suggerisce deriva dall'analisi degli stendimenti di sismica a rifrazione e di geoelettrici tomografici contenuti nel rapporto RINA Doc. P.009260-H1 Rev.00 del 2018 e dei tre carotaggi eseguiti nello stesso periodo.

Lo studio citato dal punto di vista geotecnico illustra i seguenti commenti ai risultati ricavati:

.... "l'area è interessata dalla presenza del Flysch Numidico con vari gradi di alterazione proseguendo dal piano campagna verso il basso.

Nella zona di studio prevale la facies pelitico-argillosa nei primi 15-20m dal p.c. caratterizzata

da termini siltitici, talora con tipica struttura a scaglie.

Queste formazioni si mostrano color tabacco se alterate, bruno o grigio se integre. Con la profondità prevale invece la quarzo arenite di colore grigio con granulometria variabile a predominanza di arenarie.

Dal punto di vista geotecnico, tale materiale viene classificato come "roccia pseudocoerente" e la struttura appare abbastanza complessa.

È da rilevare che la giacitura appare spesso caotica a causa degli stress tettonici subiti ed è quasi sempre presente uno strato di alterazione superficiale il cui spessore risulta variabile, ma contenuto mediamente entro i primi 3-5m.

Questi terreni presentano generalmente una colorazione giallastra e/o marrone chiaro, con un elevato grado di umidità e di plasticità e sono generalmente presenti superfici traslucide di discontinuità.

Al di sotto dello strato di alterazione è presente uno strato meno alterato caratterizzato da una buona consistenza e da una colorazione grigiastria-brunastria. Sono rari i livelli arenacei e la struttura sembra governata dalla componente limosa-argillosa.

I livelli arenacei diventano sempre più presenti procedendo verso il basso dal p.c. e diventano di spessore decimetrico intercalati in modo ben riconoscibile alla matrice limosa-argillosa..."

...

La sintesi delle informazioni riportate ha permesso la definizione di un modello geologico da cui discende il modello geotecnico illustrato qui di seguito.

4.4.3. Modellazione geotecnica

Dall'analisi di quanto contenuto nei rapporti e dalle osservazioni geologiche di terreno lungo spaccati naturali resi visibili dai movimenti franosi in atto come modello geologico si considera un modello a due strati costituito da un primo strato, la copertura eluviale (nei lavori precedenti definito come "Flysh numidico alterato" (il cui spessore può variare da sito a sito) e da un secondo strato, il substrato roccioso di spessore indefinito (per gli scopi della presente).

Pur cambiando lo spessore non cambiano le caratteristiche litologiche dei due orizzonti che vengono considerati come limitati geometricamente da superfici continue e nette e che vengono necessariamente considerati al loro interno come omogenei.

Lo strato più superficiale, il suolo viene trascurato perché in qualsiasi caso sarà oggetto di scotico.

STRATO 1 – COPERTURA ELUVIALE DEL SUBSTRATO (nei lavori precedenti FLYSH NUMIDICO ALTERATO) – è costituito da scaglie, frammenti e blocchi da sub angolari ad angolari, prevalentemente tabulari di elementi litoidi costituiti da argillite ed arenaria in parte alterati e sfatti per argillificazione ed ossidazione da "e" a "con" limo argilloso sabbioso da grigio scuro a grigio ocrea da debolmente umido ad umido a consistenza variabile.

Il litotipo è normalmente grano sostenuto e dotato di bassa plasticità;

STRATO 2 – FORMAZIONE DI MONTE ROCCHETTO (FLYSH NUMIDICO – Facies pelitica) – alternanze di strati piano paralleli di dimensioni metriche di argilliti grigio nocciola in patina, grigio nerastre in frattura fresca, grana da fine a finissima, solo localmente litoidi. Frequentemente scagliettate e/o fratturate (sottoforma di scaglie frammenti, in parte ossidate ed argillificate) ed arenarie a grana medio fine, in strati più sottili, di dimensioni decimetriche, talora discontinui.

Litotipo costituito da roccia da mediamente fratturata a molto fratturata, in parte alterata, a tratti cataclastica sottoforma di scaglie e frammenti angolari immersi in una matrice costituita da limo sabbioso argilloso.

Pur presenti non sono stati identificati nell'area indagata strati conglomeratici.

Rocce da soffice a semilitoide.

Gli spessori reciproci come detto possono cambiare da sito a sito, anche se, in genere, essendo ubicate su alti morfologici lo spessore dello strato eluviale è minimo.

Pertanto spessori significativi di questo deposito si trovano unicamente in corrispondenza di aree a forte tettonizzazione, ove il substrato, almeno nelle parti più superficiali ha aspetto cataclastico e/o in corrispondenza delle parti medio-basse del versante e ove sono presenti impluvi.

A livello geotecnico è importante distinguere all'interno dello stesso litotipo gli orizzonti costituiti da spessi strati o bancate di pelite (più frequenti in profondità dai risultati delle indagini eseguite - > 10/12 m) da orizzonti contenenti inclusioni di arenaria in strati e/o lenti discontinue.

Pertanto all'interno dell'orizzonte identificato come Strato 2 si provvederà a fornire indicazioni

distinte per gli orizzonti pelitici e per quelli pelitico/arenacei.

In fase esecutiva verranno eseguite tutte le indagini utili a caratterizzare il sito dal punto geotecnico; tutte le assunzioni fatte si riferiscono a dati ricavati o da bibliografia o da indagini eseguite in corrispondenza dell'area della frana del 2015 o da dati ricavabili dalle indagini eseguite durante la realizzazione dell'impianto attuale.

Puntualizzato quanto sopra si provvede a indicare in forma tabellare i principali parametri geotecnici di riferimento utili alla definizione delle caratteristiche meccaniche dei due litotipi come precedentemente definiti.

Nel paragrafo successivo si dà indicazione dei lavori e/o degli algoritmi in base ai quali sono stati indicati i singoli parametri.

I parametri indicati sono ovviamente parametri mediati sui dati disponibili per l'area oggetto di studio.

Tabella 4.1 – Parametri geotecnici validi per lo strato 1 “Copertura Eluviale” – spessori nell'area compresi tra 1,0 e 5,0 metri

Litotipo	Peso di volume	Angolo di Attrito	Densità relativa	Coesione	Velocità Sismica	Coeff. di permeabilità	Coeff. di cons.	Coeff. di Winkler	Modulo confinato
	[γ]	[ϕ]	[D_r]	[c]	[V_s]	[K_v]	[c_c]	[K_w]	[M]
	[Ton/m ³]	[°]	[%]	[KPa]	[m/sec]	[m/sec]	[-]	[-]	[MPa]
Limo sabbioso con ghiaia	2,0	30	71	10	205	4.3 10 ⁻¹⁰	0,220	9,0	12

Tabella 4.2 – Parametri geotecnici validi per lo strato 2 “Substrato roccioso – Formazione di Monte Rocchetto” – spessori nell'area superiori alla profondità massima d'indagine (valutata in circa 35 m

Litotipo	Peso di volume	Angolo di Attrito	Densità relativa	Coesione	Velocità Sismica	Coeff. di permeabilità	Coeff. di cons.	Coeff. di Winkler	Modulo confinato
	[γ]	[ϕ]	[D_r]	[c]	[V_s]	[K_v]	[c_c]	[K_w]	[M]
	[Ton/m ³]	[°]	[%]	[KPa]	[m/sec]	[m/sec]	[m ² /sec]	[-]	[MPa]
Facies pelitico arenacea	1,96	23	79	19,6	200	[-*]	[-*]	12,5	15
Facies pelitica	2,05	25	86	24,3	630	[-*]	[-*]	12,0	18

4.4.4. ANNOTAZIONI SULLA SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Di seguito si esegue una sintesi delle considerazioni effettuate nella stima dei parametri geotecnici citando le fonti del dato e gli algoritmi utilizzati.

Si rammenta ancora una volta che per una progettazione esecutiva precisa occorrerebbero dati ricavati da indagini sito specifiche.

In questo caso, data l'assenza di prove sito specifiche per la determinazione dei parametri geotecnici necessari alla progettazione preliminare delle opere, ci si è affidati ai dati bibliografici disponibili (anche riguardanti prove in sito effettuate in passato), considerazioni geomorfologiche.

Nelle indagini eseguite in passato sono state eseguite prove in tipo Standard Penetration Test, prove di permeabilità e misure con pocket penetrometer tascabile, i risultati delle prove eseguite sono alla base dei parametri stimati su base aritmetica, le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in passato sono alla base dei parametri misurati presi a riferimento e il coeff. di winkler è stato ricavato su base bibliografica a partire da considerazioni litologiche e geotecniche.

Nella pratica sono stati considerati i valori di $N_{s.p.t.}$ medi misurati entro i singoli orizzonti individuati e da essi sono stati ricavati i parametri.

Modello geologico e N_{SPT} di riferimento		Caratterizzazione litologica sintetica	
Strati	da	da	Descrizione
1	5	30	
2 (A)	5	23	S.P.T.: i valori sono il risultato della media dei valori misurati ridotta di un fattore .35 a favore di sicurezza
2 (B)	23	30	
		44	

Definizione dei principali parametri geotecnici a partire dai valori di N_{SPT} e V_s .							
Parametro	Unità	Strato 1		Strato 2 - facies A		Strato 2 - facies B	
		da 1,00 a 05,00 m	da 05,00 a 23,00	da 05,00 a 23,00	da 23,00 a 30,00	da 23,00 a 30,00	da 23,00 a 30,00
N_{SPT}		30	37	37	44	44	
Peso di volume	[ton/m ³]	20,00	19,60	2,05	2,05	2,05	NOTE
Tetto strato	[m]	2,50	14,00	14,00	26,50	26,50	Da prove di laboratorio
Letto strato	[m]	1,00	5,00	5,00	23,00	23,00	Dimensioni dello strato
Letto strato	[m]	5,00	23,00	23,00	30,00	30,00	

Determinazione dell'Angolo di Attrito			
Parametro	Unità	Strato 1	Strato 2
N_{SPT}		30	37
(phi) Angolo di Attrito	[°]	41	44
(phi) Angolo di Attrito	[°]	36	39
(psi) Angolo di Attrito	[Rad]	0,926	0,492
(psi) Angolo di Attrito	[°]	53	28

Determinazione del Modulo Confinato			
Parametro	Unità	Strato 1	Strato 2
N_{SPT}		30	37
Modulo di Elasticità "M"	[MPa]	23	26
Modulo di Elasticità "M"	[MPa]	12	15
Modulo di Elasticità "M"	[MPa]	15	19

Determinazione della Densità Relativa			
Parametro	Unità	Strato 1	Strato 2
N_{SPT}		30	37
Densità Relativa [Dr]	%	87	97
Densità Relativa [Dr]	%	98	80
Densità Relativa [Dr]	%	66	59
Densità Relativa [Dr]	%	105	66
Densità Relativa [Dr]	%	71	79
Calcolo del sigma primo	[ton/m ²]	50,00	274,40

Qui di seguito si illustrano in dettaglio le relazioni utilizzate per ricavare i singoli parametri:

- il peso di volume – è stato ricavato dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in passato;
- l'angolo di attrito – è stato ricavato dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in passato;
- la coesione è stata ricavata dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in passato;
- per la valutazione del Modulo confinato – il valore del parametro è stato ricavato a partire dal numero medio ponderato di colpi $N_{S,P,T}$ con la relazione di Huang (2003), scritta per limi sabbiosi, per lo strato eluviale di copertura e con la relazione di Bowles (1987) per tutti gli altri strati;
- per la valutazione della Densità Relativa – il valore del parametro è stato ricavato a partire dal numero medio ponderato di colpi $N_{S,P,T}$ con la relazione di Terzaghi-Peck (1967), scritta per limi sabbiosi, per tutti e tre gli strati;
- la velocità sismica – è stato ricavato dalle prove in sito eseguite in passato;
- per la valutazione del Modulo di Winkler (verticale) ci si è basati su quanto riportato sulle tabelle riportate su "Fondazioni" – Bowles (1987).

Nota * - trattandosi di materiale roccia il coefficiente di consolidazione verticale perde di significato e il valore della permeabilità intrinseca non è più di riferimento in quanto la

permeabilità secondaria è sicuramente più elevata di quella primaria. Il parametro risulta quindi funzione del sito e funzione soprattutto del grado di fratturazione dell'ammasso. Non ha pertanto significato una stima dello stesso in questo contesto.
Riferimento Tabelle 4.1 e 4.2.

4.5. STIMA DELLA PORTATA DEI PALI

Si prevede di fondare il basamento che porta la torre su pali trivellati. La stima della portata viene eseguita considerando i parametri di resistenza del terreno precedentemente esposti. È previsto di impiegare pali di diametro 120cm e lunghezza complessiva pari a 28 m.

4.5.1. PORTATA ASSIALE

La stima della portata sul palo viene eseguita come riportato a seguire.

CALCOLO PORTATA PALI TRIVELLATI											
DATI DI INPUT											
D	diametro del palo		1.20 m						Coefficiente parziale resistenza alla base	γ_b	1.35
L	lunghezza massima di calcolo		28.00 m						Coefficiente parziale resistenza laterale	γ_l	1.15
Z_w	profondità della falda dal p.c.		50.00 m						Coeff. parziale resistenza laterale in trazione	γ_t	1.25
f_{cd}	resistenza di calcolo del c.l.s.		14.17 MPa						Fattori di correlazione ξ	ξ	1.70
n° strato	tipo terreno	DH_i [m]	H_f [m]	γ_n [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	N_{SPT} [-]	f [°]	K [-]	c_u [kPa]	α [-]	c_a [kPa]
1	Limo sabb.	1.00	1.00	18.71	18.71		30.00	0.50		0.00	0.00
2	Facies pa	18.00	19.00	18.63	18.63		23.00	0.50		0.00	0.00
3	Facies p	9.00	28.00	18.63	18.63		25.00	0.50		0.00	0.00
					0.00					0.00	0.00
					0.00					0.00	0.00
					0.00					0.00	0.00
					0.00					0.00	0.00
					0.00					0.00	0.00

PORTATA ALLA BASE											
n° strato	tipo terreno	DH_i m	H_f m	γ_n kN/m ³	γ' kN/m ³	N_{SPT}	ϕ' °	K	c_u kPa	α	c_a kPa
3		9.00	28.00	18.63	18.63	0.00	25.00	0.50	0.00	0.00	0.00

A_b	Area della base del palo	1.13	m ²
σ_v	Pressione geostatica di base	521.72	kPa
c	Coesione alla base	24.3	kPa
N_c	Coeff. di coesione	10.00	

ϕ' °	L/D	$N_{q,1}$ [L/D=50]	$N_{q,2}$ [L/D=20]	$N_{q,3}$ [L/D=10]	$N_{q,4}$ [L/D=5]	N^*_{q1} [50-20]	N^*_{q2} [20-10]	N^*_{q3} [10-5]	N_q
25.00	23.33	5.69	8.42	10.72	14.12	8.12	0.00	0.00	8.12

Q_b	Portata caratteristica di base	5063.24	kN
$Q_{b,amm}$	Portata di calcolo di base	2206.20	kN

PORTATA LATERALE											
$\sigma_{h,i}$	tensione laterale strato i°	$\sigma_{v,i}$	$\sigma_{v,(i+1)}$	$\sigma_{v,med}$	$\sigma_{h,med}$	$c_{u,i}$	σ				
$\sigma_{h,1}$	tensione laterale strato 1°	0.00	18.71	9.36	4.68	0.00	2.70				
$\sigma_{h,2}$	tensione laterale strato 2°	18.71	354.05	186.38	93.19	0.00	39.56				
$\sigma_{h,3}$	tensione laterale strato 3°	354.05	521.72	437.89	218.94	0.00	102.09				
$\sigma_{h,4}$	tensione laterale strato 4°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
$\sigma_{h,5}$	tensione laterale strato 5°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
$\sigma_{h,6}$	tensione laterale strato 6°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
$\sigma_{h,7}$	tensione laterale strato 7°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
$\sigma_{h,8}$	tensione laterale strato 8°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
$\sigma_{h,9}$	tensione laterale strato 9°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				

$\sigma = c_{a,i} + \sigma_{h,med,i} \tan \phi$	Q_l	Portata laterale caratteristica	6158.43	kN
	$Q_{l,comp}$	Portata laterale in compressione	3150.09	kN
	$Q_{l,traz}$	Portata laterale in trazione	2898.08	kN

PORTATA PALO			
Peso proprio palo	791.68	[kN]	<input type="radio"/> tenere in conto nel calcolo della portata <input checked="" type="radio"/> non tenere in conto nel calcolo della portata
PORTATA TOTALE LIMITE IN COMPRESSIONE	5356.3	kN	

STIMA APPROSSIMATA DEL CEDIMENTO - Secondo Viggiani			
Q	carico in esercizio sul palo	3737.5	kN
Q_{lim}	portata limite di calcolo	5356.3	kN
λ	coefficiente relativo al tipo di palo	40	
w	cedimento stimato	0.021	m
k	rigidezza verticale	178543	kN/m

Tipo di palo	Terreno	λ
Battuto	Incoerente	60
	Coesivo	120
Trivellato	Incoerente	40
	Coesivo	100
Trivellato pressato	Incoerente	50
	Coesivo	100

4.5.2. PORTATA LATERALE

La portata laterale viene determinata secondo la teoria di Broms.

Proprietà palo

Lunghezza palo	L=	28 m
Altezza di applicazione del carico rispetto a testa palo	e=	0 m
Diametro del palo	d=	1.2 m
Momento di plasticizzazione della sezione	My=	643400 Nm
	L/d=	23.3
	e/d=	0

Caratteristiche meccaniche terreno

Peso specifico terreno	γ =	2000 N/m ³
Resistenza non drenata	c _u =	24 Pa
	c _u ·d ² =	34.56 N
Angolo di attrito	ϕ =	23 °
	sin(ϕ)=	0.391
Coefficiente di resistenza passiva	k _p =	2.283
	k=3k _p ·d=	16435 [N/m ²]

Resistenze in terreni granulari

Palo libero di ruotare in testa

Resistenza per palo corto	H corto=	6442 kN
Momento massimo	M _{max} =	120260 kN m
Resistenza per palo medio	H medio=	25126 kN
Resistenza per palo lungo	H lungo=	313 kN
Tipo meccanismo		Corto
Resistenza di calcolo	H=	313 kN

Palo incastrato in testa

Resistenza per palo corto	H corto=	1675 kN
Momento massimo	M _{max} =	14086 kN m
Resistenza per palo lungo	H lungo=	197 kN
Tipo meccanismo		Lungo
Resistenza di calcolo	H=	197 kN

5. PARTE TERZA - ANALISI SISMICA

5.1. ASPETTI SISMICI

5.1.1. INTRODUZIONE

Per quanto riguarda gli aspetti sismici la Normativa prende atto della classificazione fornita in prima approssimazione dalla O.P.C.M. N. 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono nelle zone 2, 3 e 4 esclusivamente per gli edifici considerati strategici e/o rilevanti di uso pubblico.

Per quanto riguarda i Comuni nel territorio dei quali ricadono le torri in progetto i Comuni di Marsala e Mazara del Vallo sono classificati di Categoria 2, mentre quello di Salemi risulta in un'area classificata di categoria 1. Per le torri quindi ricadenti nel territorio di Salemi, non sarebbe necessaria l'analisi sismica ma data la tipologia d'intervento, a livello di indicazione dei parametri da applicare nella presente verrà comunque data indicazione.

Si segnala anticipatamente che i dati elencati sono stati stimati su base bibliografica, sono come tali validi per una valutazione di progettazione preliminare, come d'altra parte tutti i contenuti e le indicazioni della presente. Per una valutazione propedeutica ad una progettazione esecutiva si ritiene indispensabile l'esecuzione di una serie di prove in sito, utili alla determinazione precisa e reale dei parametri da utilizzare in corso di progettazione costruttiva. La tipologia, il numero e l'ubicazione delle prove necessarie saranno oggetto di specifica progettazione da parte del Progettista incaricato.

Per garantire anche in questo caso una rapida consultazione dei dati stimati gli stessi verranno editati in schede che conterranno una parte generale su base comunale ed una parte di dettaglio relativa alle singole torri. Questo perché, data la distribuzione delle opere a gruppi, la loro consultazione sarà sicuramente più rapida ed efficace. Data la dimensione delle tabelle che ne derivano le stesse verranno concentrate in un apposito allegato a latere della presente.

Per quanto riguarda invece le N.T.C. 2018 gli edifici e le strutture vengono suddivisi in 4 categorie al § 2.4.3 come nel caso precedente. La classificazione delle N.T.C. riveste importanza, per quanto concerne la valutazione sismica, in quanto la stessa fa esplicito riferimento a dette classificazioni per quanto riguarda il "livello di valutazione" da adoperare nella assegnazione dei parametri sismici. Tenendo conto di detta procedura l'analisi sismica predisposta a livello geotecnico sarà quindi limitata alla così detta "Fase di secondo livello", verrà quindi semplicemente riportata una valutazione numerica dei parametri a_g ed F_0 sulla base del tempo di ritorno T_c relativa ad ogni singola torre.

5.1.2. I PARAMETRI SISMICI LOCALI

Data la preliminarità della presente e l'indisponibilità di dati sito specifici misurati in sito la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione verrà eseguita su base zonale territorialmente definita sito sulla base dei valori riportati nell'Allegato B al D.M. 2008 "Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica", a questo proposito la suddivisione del territorio in zone operata dall'OPCM 3274/03 (più volte ri aggiornato) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento dei parametri sismici che sono al massimo 4.

Il primo grado d'indagine si riferisce semplicemente all'individuazione della classe di appartenenza dell'area su base normativa. In base alla suddivisione vigente in Sicilia i territori comunali di Marsala e Mazara del Vallo rientrano in un'area classificata di Classe II. Sono quindi considerati a media sismicità, quello di Salemi è invece di classe, quindi sismico.

Questo da un punto di vista generale, ma andrebbe considerato anche il dettaglio locale, che è funzione della geometria del rilievo e della litologia che costituisce il substrato. Questa fase della verifica non può essere effettuata in questa sede mancando gli utili dati di dettaglio. La stessa fase va rimandata ad un secondo documento che verrà emesso quando saranno disponibili dati di sito. La valutazione presente rimane comunque utile per una fase preliminare e sarà frutto di un'analisi essenzialmente bibliografica derivante da dati pubblicati in rete o da dati forniti dalla Committente provenienti da lavori precedenti.

Per quanto concerne la classificazione, dati i tipi litologici (in base alle indagini eseguite in passato), lo spessore presunto delle coperture e le prove di sismica a rifrazione (eseguite in sito prima dell'entrata in vigore del NTC 2018), i terreni di fondazione possono essere ritenuti di classe B così come definito nell'elenco seguente (riferimento NTC 2018).

Suolo	Descrizione geotecnica	V _{seq} (m/s)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V _{seq} > 800m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m	>800
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{seq} compresi tra 360 m/s e 800 m/s	360 ÷ 800
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V _{seq} compresi tra 180 m/s e 360 m/s	180 ÷ 360
D	Depositi di granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di V _{seq} < 180 m/s	<180
E	Depositi di granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di V _{seq}	< 180m/s

5.1.3. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

Date le considerazioni sopra effettuate a questo punto si può procedere con la valutazione dei parametri da applicare. Il calcolo va effettuato su base normativa e sarà finalizzato a fornire al Signor Progettista informazioni il più complete possibile sui parametri sismici da applicare in sede di progetto. La categoria sismica di appartenenza dei terreni di fondazione è già stata definita al Capitolo precedente "B" o "C" a seconda dei casi considerati, vedi schede allegate.

Per quanto riguarda invece il valore dei parametri sono frutto dello studio statistico di tipo macro e micro sismico effettuato dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nel corso della realizzazione del progetto DPC-S 2, una cui utility è disponibile on-line. Al fine di applicare i parametri corretti occorre fare riferimento alla Normativa Tecnica delle Costruzioni del 2018.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale del progetto, che è dirimente e stabilita su base normativa in base alla tipologia di struttura.

Si possono quindi definire due tipologie di Stati Limite:

- stati limite ultimi (S.L.U.): "capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera".

Tra essi si definiscono quelli dinamici:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (S.L.C.).

Oppure stati limite di esercizio (S.L.E.): "capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio". Anche in questo caso ve ne sono di tipo dinamico:

- Stato Limite di Operatività (S.L.O.);
- Stato Limite di Danno (S.L.D.).

Per quanto concerne le verifiche di stato che vanno applicate a ciascuna parte degli, dello o a parte delle strutture le verifiche da effettuare sono composte di due parti, verifiche strutturali e verifiche di carattere geotecnico legate all'interazioni esistenti tra i terreni e le strutture attraverso le fondazioni.

Solo di questa seconda parte si occupa il presente paragrafo.

Per farlo occorre procedere per gradi fino alla definizione dei parametri sismici veri e propri da applicare nel corso delle successive verifiche di carattere strutturale. Sotto l'effetto dell'azione sismica le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita dell'edificio come sopra definito e altrettanti requisiti di sicurezza.

Infatti le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (S.L.V.) mentre quelle agli stati limite di esercizio si riferiscono al solo stato limite di danno (S.L.D.). I parametri relativi ad entrambi gli stati possono essere semplicemente calcolati con i Software disponibili in rete e sono specifici per la costruzione in oggetto e sono tabulati nelle schede allegate per ciascuna Torre.

Data la dipendenza normativa dal tempo e dalla tipologia di edificio delle sollecitazioni a cui la struttura può essere sottoposta è necessario tenere conto di altri parametri definiti in

ultima analisi dalle N.T.C. al § 2.4. I e che sono i parametri utili alla determinazione del tipo di edificio e, sulla base del tipo di edificio, sono i parametri necessari alla valutazione del Tempo T₀, ossia il tempo di ritorno caratteristico da considerare in sede di progetto che nel presente caso è di 50 anni. Nel dettaglio i parametri da considerare sono stati definiti come qui di seguito:

Vita Nominale di progetto (VN):

1) è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali; i valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati in tabella LLL.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V _N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 4: Valore nominale delle costruzioni

occorre poi valutare la classe d'uso del suolo che è conseguenza della classe a cui appartiene l'edificio, in questo caso la classe dell'edificio è II e il corrispondente valore di CU è 1,0.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C _U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 5: Valori del Coefficiente d'uso del suolo

2) le classi d'uso sono definite come nella tabella 5;

3) Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU.

CU è anche in questo caso tabulato, pertanto:

$$VR = VN * CU$$

VR è a tutti gli effetti un periodo di riferimento, caratteristico per ciascun tipo di edificio e per un dato tipo di stato limite. Nel presente caso VR = 50 [anni]

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un dato lasso di tempo (appunto il periodo di riferimento VR espresso in anni), in un dato sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

In relazione ai differenti tipi di edificio si definiscono, sulla base del periodo VR una serie di parametri numerici che descrivono lo scuotimento del suolo, in particolare:

- accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1, in questo caso);
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro "F0" di accelerazione orizzontale (-);
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c (sec).

Nel caso in esame la classe dell'edificio è la II e il periodo di riferimento VN è 50 anni, di conseguenza la vita utile (VR) che abbiamo visto si debba considerare è 50 anni. Su tale periodo vanno eseguiti i calcoli per valutare i tre parametri qui sopra elencati che costituiscono la base le verifiche da eseguire in campo strutturale. Per i valori numerici di ag, F0 e T_c si faccia quindi riferimento agli abachi e tabelle in allegato.

Sulla base dei parametri in allegato si dovrà quindi provvedere alla determinazione dell'"accelerogramma di progetto" ossia alla determinazione della funzione che descrive la forma e l'intensità dell'energia sismica a cui il generico edificio in progetto deve opporsi durante un sisma naturale. La relazione che ne scaturisce ha la tipica forma di un'equazione d'onda che è quella che viene applicata dal Signor Progettista nel calcolo della sollecitazione orizzontale a cui la struttura in progetto è soggetta.



Engineering & Construction



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.11629.12.006.02

PAGE

30 di/of 57

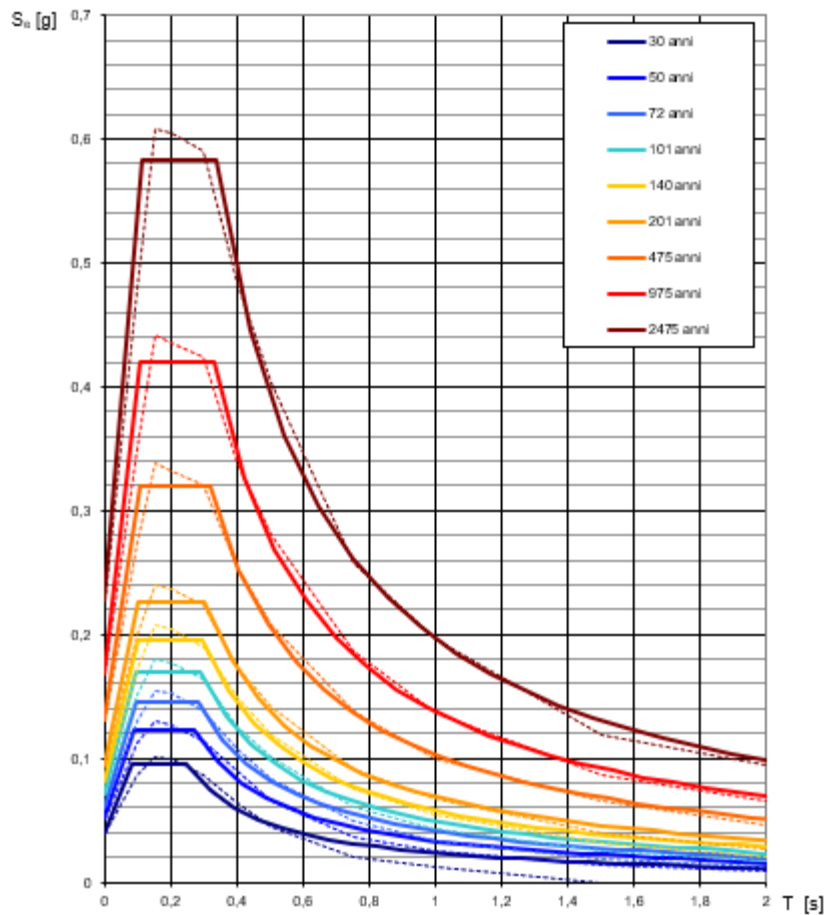
Si ricorda che, ai sensi della vigente normativa, il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito nei confronti di tutti gli stati limite ultimi S.L.U. quando siano soddisfatte le verifiche al solo S.L.V., mentre nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio S.L.E. quando siano rispettate le verifiche relative al solo S.L.D..

5.1.4. COMUNE DI SCLAFANI BAGNI (PA)

Valore dei parametri di riferimento per il tempo generico di ritorno T_R

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,040	2,417	0,245
50	0,052	2,386	0,270
72	0,061	2,405	0,281
101	0,071	2,399	0,289
140	0,081	2,407	0,297
201	0,094	2,415	0,303
475	0,131	2,452	0,320
975	0,168	2,493	0,328
2475	0,228	2,557	0,337

Grafico spettri di risposta elastici per il generico periodo di riferimento T_c



T_r

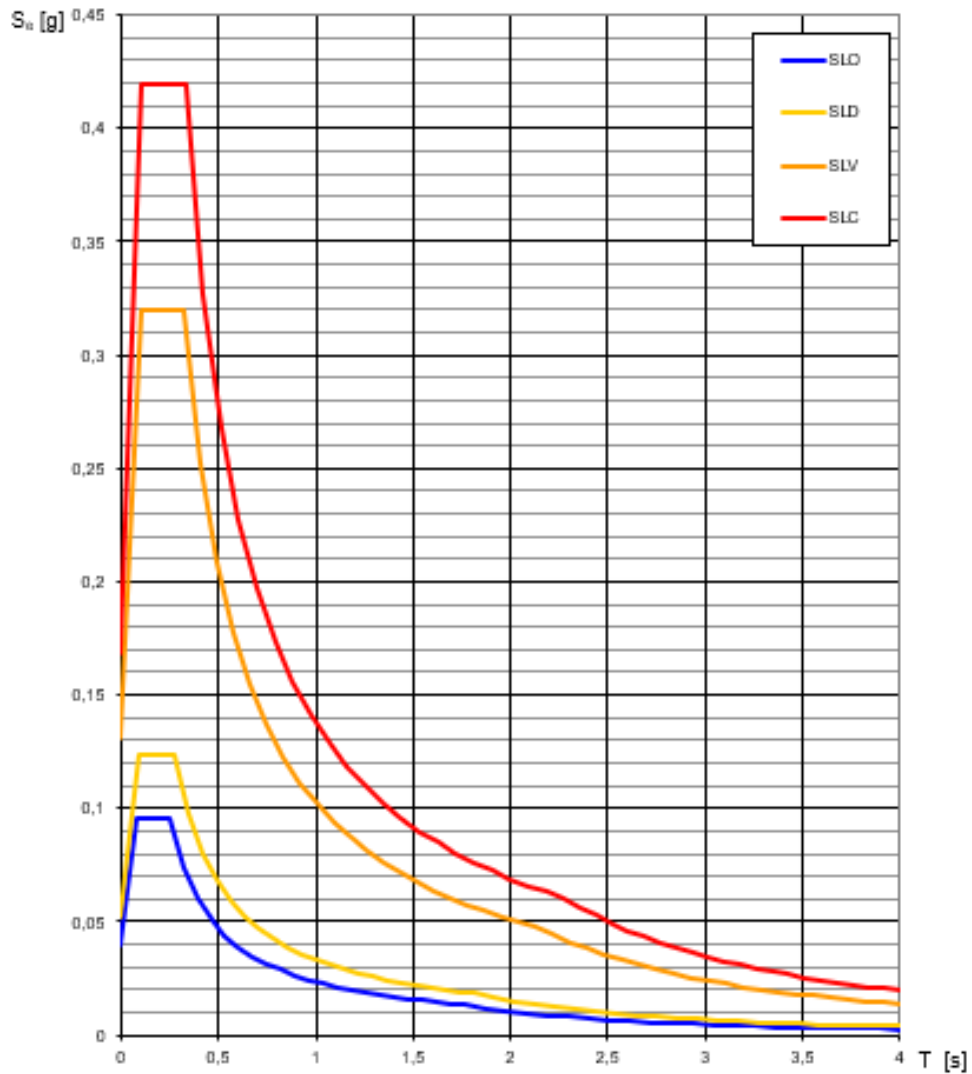
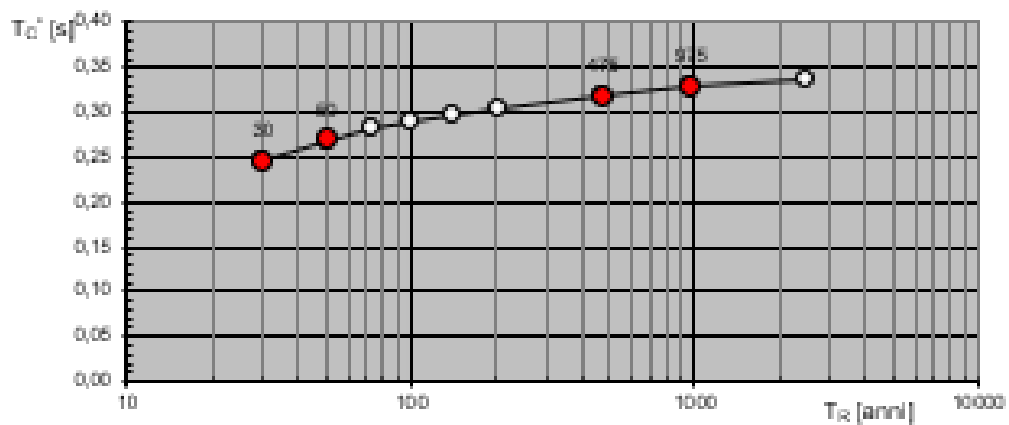
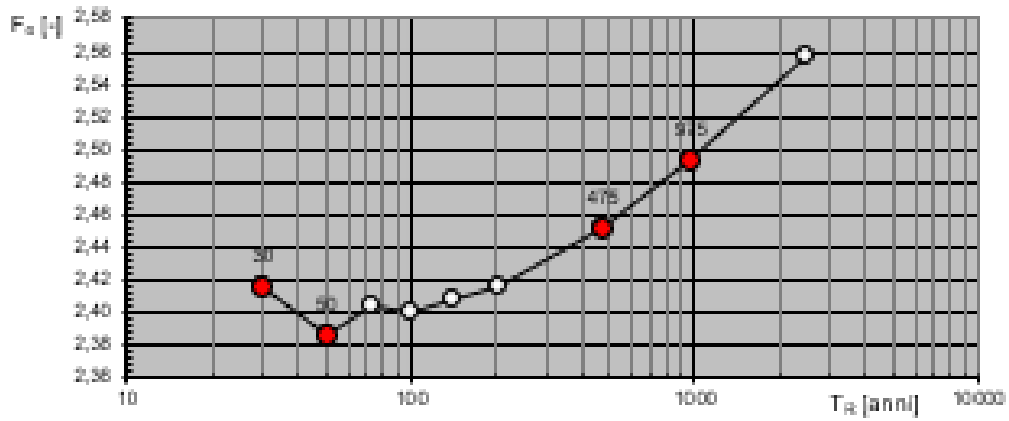
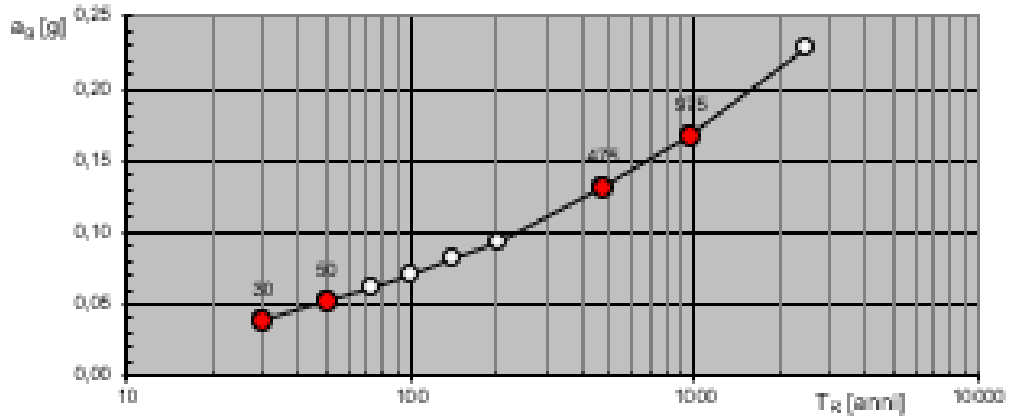


Tabella parametri di azione per dati tempi di ritorno T_r

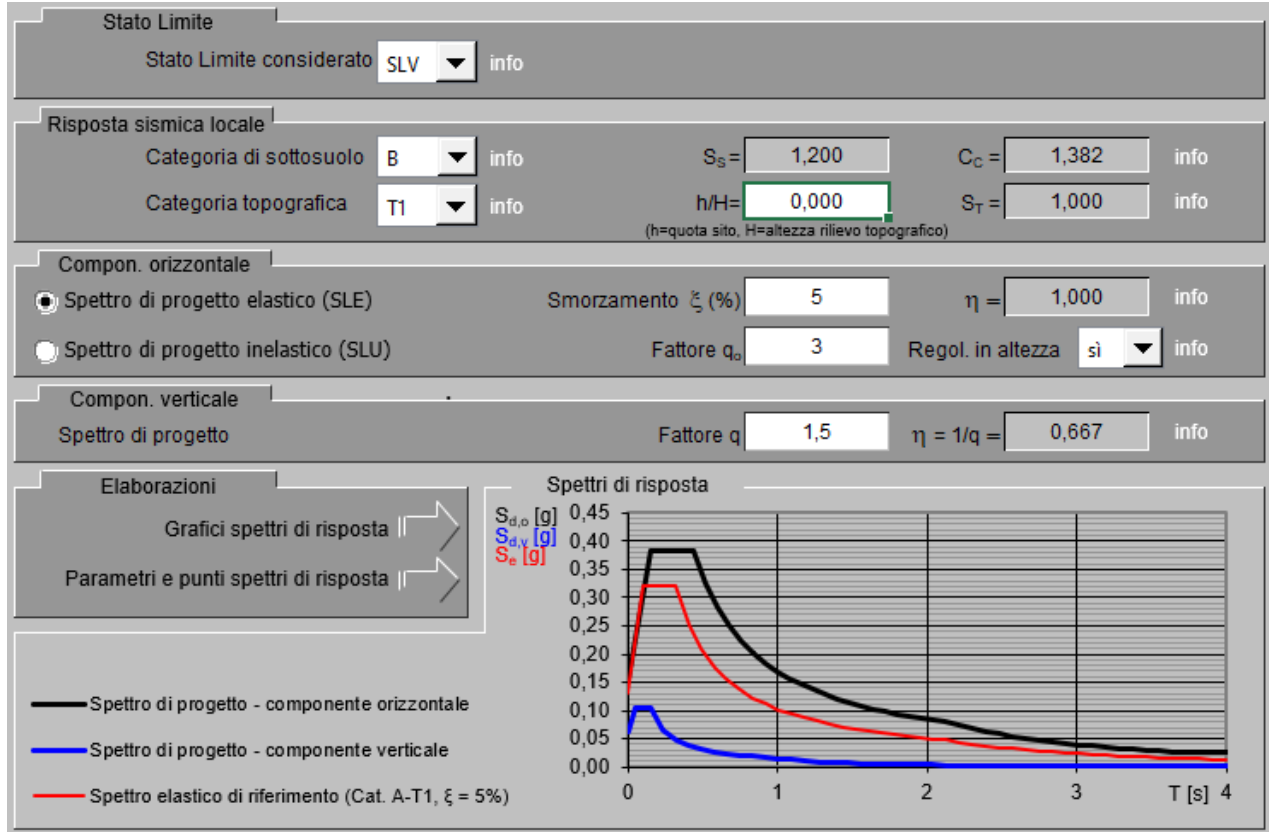
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,040	2,416	0,245
SLD	50	0,052	2,387	0,270
SLV	475	0,131	2,452	0,320
SLC	975	0,168	2,493	0,328

Grafici variazione per parametri di azione per il tempo generico di ritorno T_R



Grafici variazione spettri di risposta per i diversi "Stati limite"

DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO PER TERRENI DI CATEGORIA "C" - Per lo stato elastico (SLE)



Per la componente verticale

Parametri indipendenti		Espressioni dei parametri dipendenti	
STATO LIMITE		$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)	
a_{qv}	0,064 g	$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)	
S_S	1,000	$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)	
S_T	1,000	$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)	
q	1,500	$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)	
T_B	0,050 s	Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)	
T_C	0,150 s	$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$	
T_D	1,000 s	$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$	
		$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$	
		$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$	
Parametri dipendenti			
F_v	1,196		
S	1,000		
η	0,667		

Per la componente orizzontale

Parametri indipendenti		Espressioni dei parametri dipendenti	
STATO LIMITE	SLV	$S = S_S \cdot S_T$	(NTC-08 Eq. 3.2.5)
a_g	0,131 g	$\eta = 1/q$	(NTC-08 §. 3.2.3.5)
F_o	2,452	$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$	(NTC-08 Eq. 3.2.11)
T_C	0,320 s		
S_S	1,200		
C_C	1,382		
S_T	1,000		
q	1,000		
Parametri dipendenti		Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)	
S	1,200	$0 \leq T < T_B$	$S_z(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
η	1,000	$T_B \leq T < T_C$	$S_z(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$
T_B	0,147 s	$T_C \leq T < T_D$	$S_z(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$
T_C	0,442 s	$T_D \leq T$	$S_z(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$
T_D	2,122 s		

6. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

6.1. INTRODUZIONE

Il rilievo fotogrammetrico di prossimità è operato mediante Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR, comunemente assimilati al termine "droni"): la finalità è quella di fornire, attraverso l'ausilio e il supporto di un tecnico qualificato, un modello fotogrammetrico, ovvero un modello tridimensionale misurabile, in scala, dell'oggetto rilevato, che ne riporta tutte le caratteristiche geometriche, cromatiche e materiche e che rappresenta un database sempre interrogabile.

La fotogrammetria digitale è la tecnica di rilievo che consente di ottenere informazioni metriche e geografiche, forma e posizione, di oggetti tridimensionali, come terreni ed edifici mediante la elaborazione di immagini fotografiche digitali.

Può essere impiegata con ottimi risultati nel caso di rilievi aventi una grande estensione ottenendo un modello metricamente completo, rispondente alla realtà e georiferito.

Il punto è l'entità fondamentale su cui si fonda il metodo di rilievo fotogrammetrico. Il riconoscimento di punti cosiddetti "omologhi" nei fotogrammi, infatti, ne consente l'allineamento e la successiva elaborazione di un modello a "nuvola di punti": un modello in cui ogni punto è univocamente determinato da tre coordinate spaziali X, Y, Z e da tre coordinate di colore RGB.

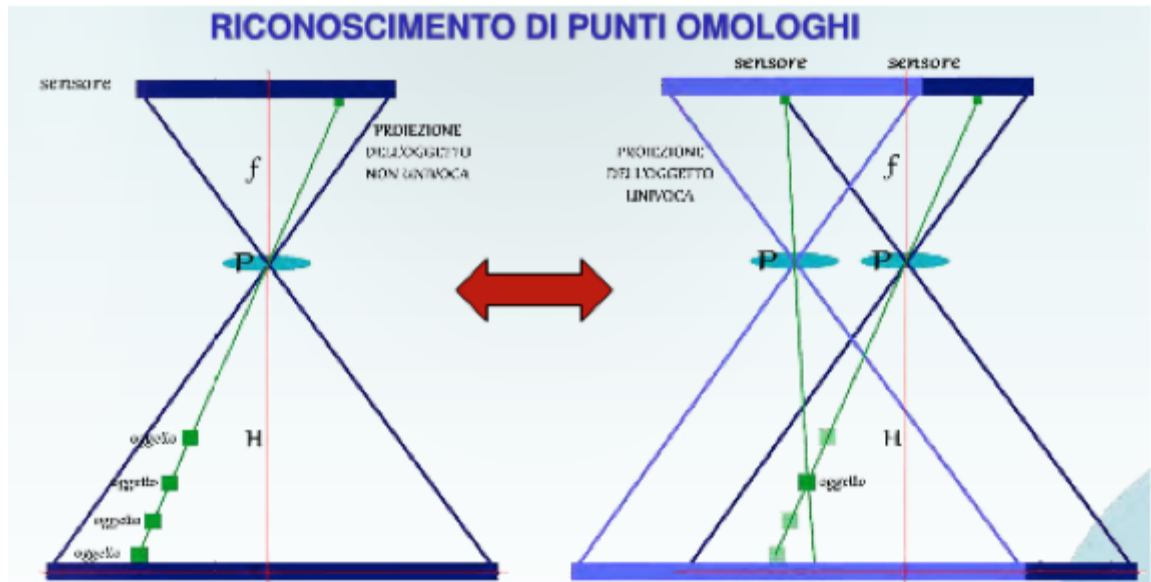
6.1.1. DATI DI INPUT NEL MODELLO FOTOGRAMMETRICO

1) Fotogramma

È l'immagine ottenuta dalla ricostruzione della proiezione centrale che ha generato la corrispondente fotografia, una volta eliminate le distorsioni e le aberrazioni indotte dall'ottica utilizzata.

Un solo fotogramma non contiene informazioni sufficienti a definire univocamente la posizione tridimensionale di ogni punto dell'oggetto. Infiniti sono, infatti, i punti dell'oggetto reale che

vengono proiettati sulla lastra fotografica lungo la stessa direttrice che passa per il punto principale. Due fotogrammi generati da due punti di presa distinti contengono invece le informazioni necessarie alla ricostruzione univoca della posizione dei punti dell'oggetto nello spazio grazie all'intersezione dei rispettivi raggi omologhi.



2) Misure

Le misure ottenute devono essere tali da consentire la determinazione del punto principale di ogni fotogramma nello spazio. Si parla allora di:

- a) Orientamento interno: rappresenta l'insieme di parametri (punto principale, distanza principale, lunghezza focale) che consentono di ricostruire la geometria della proiezione centrale. Essi sono uguali per tutti i fotogrammi del rilievo poiché funzione della camera utilizzata nella presa.
- b) Orientamento esterno, si distingue tra:
 - a. Relativo: è la distanza tra i punti principali di due fotogrammi consecutivi.
 - b. Assoluto: rappresenta la posizione dei punti principali nello spazio in un sistema di assi cartesiani scelti convenzionalmente dall'operatore. Nel caso di rilievo territoriale può essere utile la scelta di un sistema di riferimento geografico. In tal caso tutti i punti di riferimento e tutti i punti del modello successivamente elaborato avranno coordinate reali.

6.1.2. PIANIFICAZIONE DEL VOLO DEL SAPR

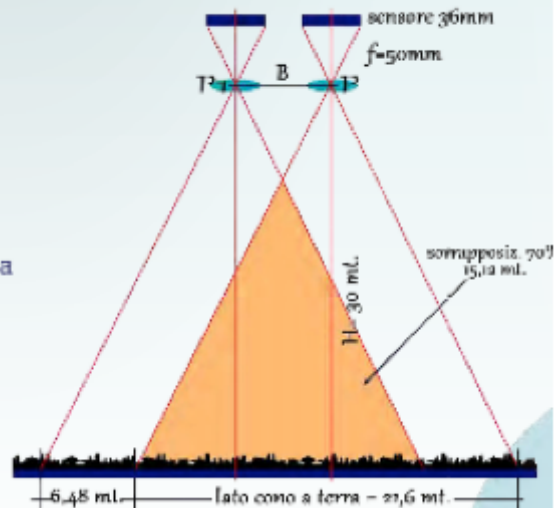
Esempio

- Sensore full frame 24x36mm,
- focale fissa 50mm,
- quota di volo 30 mt.

La superficie ricoperta a terra da un solo fotogramma, per la similitudine tra triangoli, ha lato maggiore $L = 0,036\text{mt.} \times 30\text{mt.} / 0,050\text{mt.} = 21,6 \text{ mt.}$

Per avere una sovrapposizione del 70% significa che la distanza B tra due punti di presa successivi deve essere pari a 6,48 mt.

Impostando un timelaps sulla fotocamera di 2sec. Ottengo che la velocità di volo, alla quota media di 30 metri da terra, deve essere $V = 6,48 \text{ mt.} / 2 \text{ sec.} = 3,24 \text{ mt./sec.}$



I parametri necessari alla definizione del rilievo fotogrammetrico di prossimità da SAPR sono:
 Tempo di scatto (espresso in secondi): è la velocità di otturazione dell'obiettivo; considerando che le riprese avvengono in movimento, al fine di acquisire foto nitide, è necessario impostare un tempo di scatto rapido;

Frequenza di scatto (n° foto al secondo): è la quantità di foto scattate in automatico dalla fotocamera durante il volo;

Velocità di volo del SAPR (metri/secondo);

Questi ultimi due parametri vanno calcolati in funzione della percentuale di sovrapposizione che si vuole ottenere tra le aree acquisite da due fotogrammi successivi. Tale sovrapposizione può essere considerata come lo spazio da percorrere in un certo tempo. All'inizio e alla fine di questo spazio viene acquisita una immagine dalla fotocamera.

Per un corretto e completo riconoscimento, lato software, dei punti omologhi tra due fotogrammi successivi e per ottenere la completa ricopertura dell'area oggetto di rilievo è necessario che la sovrapposizione tra i fotogrammi sia almeno del 60-80% in senso longitudinale e del 30-50% in senso trasversale.

Restituzione del rilievo aerofotogrammetrico

Il primo fondamentale parametro da definire nella progettazione di tutti i passi necessari alla corretta esecuzione di un rilievo aerofotogrammetrico è la scelta, in base all'obiettivo del rilievo, della scala di rappresentazione, ossia della definizione finale del rilievo che si vuole ottenere: il Ground Simple Distance.

In una ortofoto, il GSD rappresenta la distanza tra il centro di due pixel consecutivi espressa in unità di misura territoriale. E' in altre parole, la "quantità di terreno contenuta" in un pixel di ortofoto, essendo la misura del pixel espressa in metri: es. $GSD = 3\text{m/pix}$ significa: ogni pixel dell'immagine contiene (o meglio rappresenta) 3 metri di oggetto reale rilevato. E' facilmente intuibile come esista un rapporto di proporzionalità inversa tra il valore GSD e la definizione di una immagine: quanto più grande è il pixel tanto minore è il suo livello di dettaglio. Viceversa, quanto più piccolo è il GSD, tanto più dettagliata è l'informazione contenuta nel relativo pixel.

Il GSD dipende dall'altezza di volo/distanza di presa e dalle caratteristiche della fotocamera impiegata, ma soprattutto dipende dall'obiettivo del rilievo e dal dettaglio richiesto.

Vale pertanto la seguente proporzione (che deriva dalla fotogrammetria classica):

dimensione pixel : dimensione oggetto = distanza focale : quota di presa

ovvero

$$d : D (\text{GSD}) = f : H$$

6.1.3. SINTESI RILIEVO ESEGUITO

Progetto	Fotogrammetria Sclafani
Fotocamere utilizzate	FC300X_3.6_4000x3000 (RGB), Anafi_4.0_4608x3456 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	6.53 cm / 2.57 in
Area coperta	6.627 km ² / 662.6683 ha / 2.56 sq. mi. / 1638.3365 acres

Verifica qualità acquisizioni

Images	Media di 33595 punti per immagine utilizzati
Dataset	3635 foto calibrate per il rilievo
Camera Optimization	1.73% differenza tra calibrazione iniziale della fotocamera e finale ottimizzata
Matching	Media di 13367.2 corrispondenze per ogni immagine calibrata
Georeferencing	Georeferenziazione tramite GPS (17 satelliti), assenza di GCP

Number of 3D Densified Points	205.631.865
Average Density(per m ³)	14.72
DSMand Orthomosaic Resolution	1 x GSD (6.53 [cm/pixel])
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes

Dettagli sulla Nuvola di punti, DSM e ortofoto

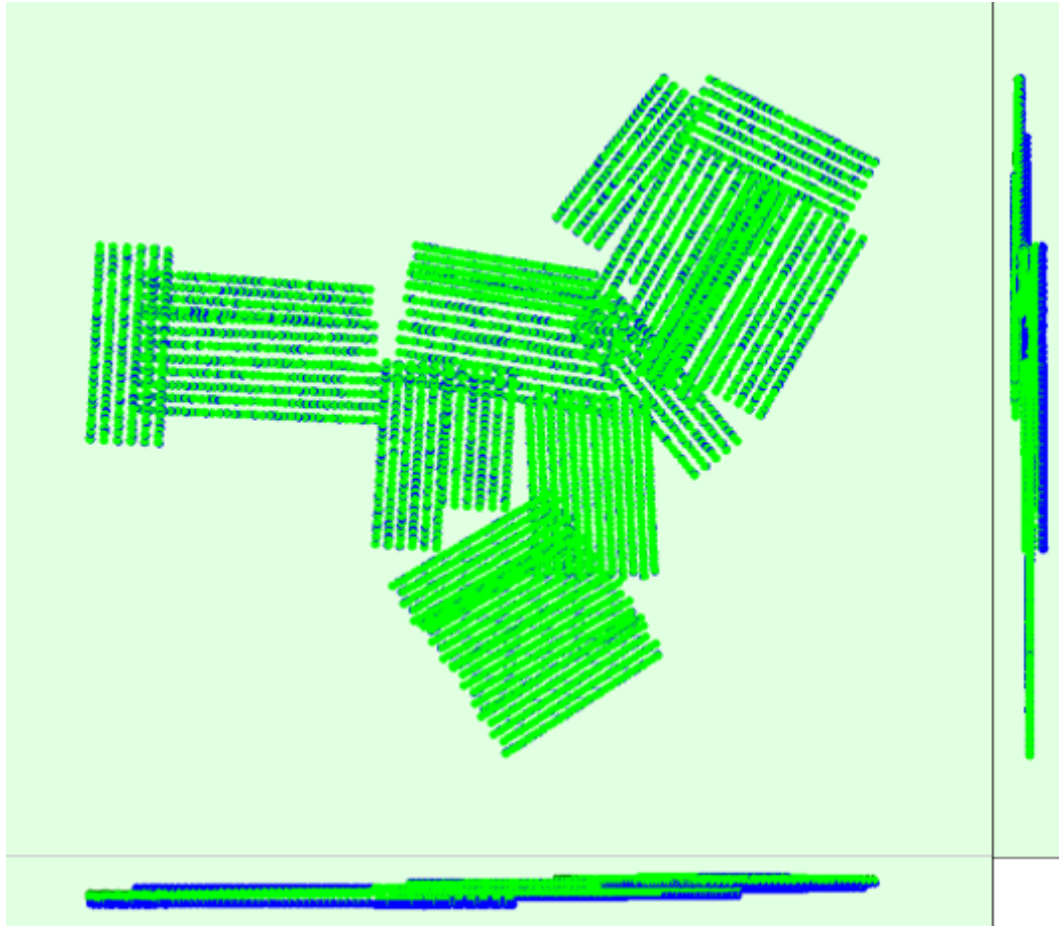
E' stata coperta un area di 663 ettari, sono state scattate circa 3900 foto, di cui ne sono state utilizzate 3635 per la modellizzazione finale.

In media da ogni immagine sono state evidenziate 13.367 corrispondenze, e sono stati utilizzati 205.631.865 punti per costruire il modello.

La risoluzione media a terra risulta di 6,53 cm, ma ciò è dovuto anche al rilievo delle aree di valle, mentre il dettaglio nelle aree di interesse è di 5 cm

6.1.4. RISULTATI

- 1) Nella prima parte di elaborazione le foto sono state ottimizzate e le posizioni corrette in base all'elaborazione. Nella tabella sottostante sono riportati gli errori medi e nell'immagine la posizione delle diverse strisciate

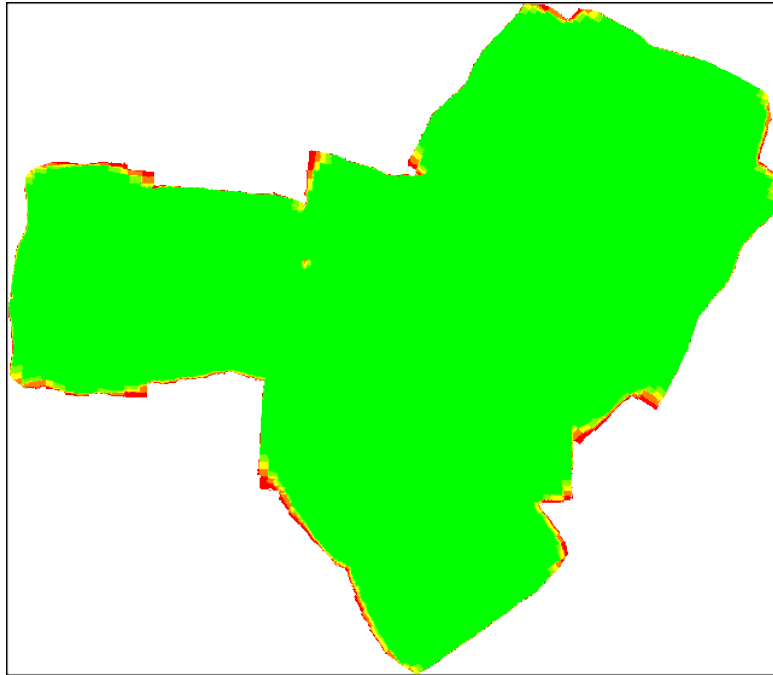


Posizioni acquisizioni dopo ottimizzazione dopo elaborazione

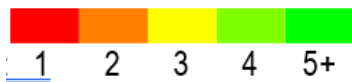
	X[m]	Y[m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.038	0.038	0.054	0.009	0.009	0.004
Sigma	0.022	0.021	0.049	0.003	0.003	0.002

Errore medio

- 2) L'overlap impostato delle acquisizioni fotogrammetriche ha permesso di avere un grado di ricopertura più che adeguato, in pratica ogni punto rilevato è presente in 5 o più fotogrammi, permettendo così una triangolazione ottimale

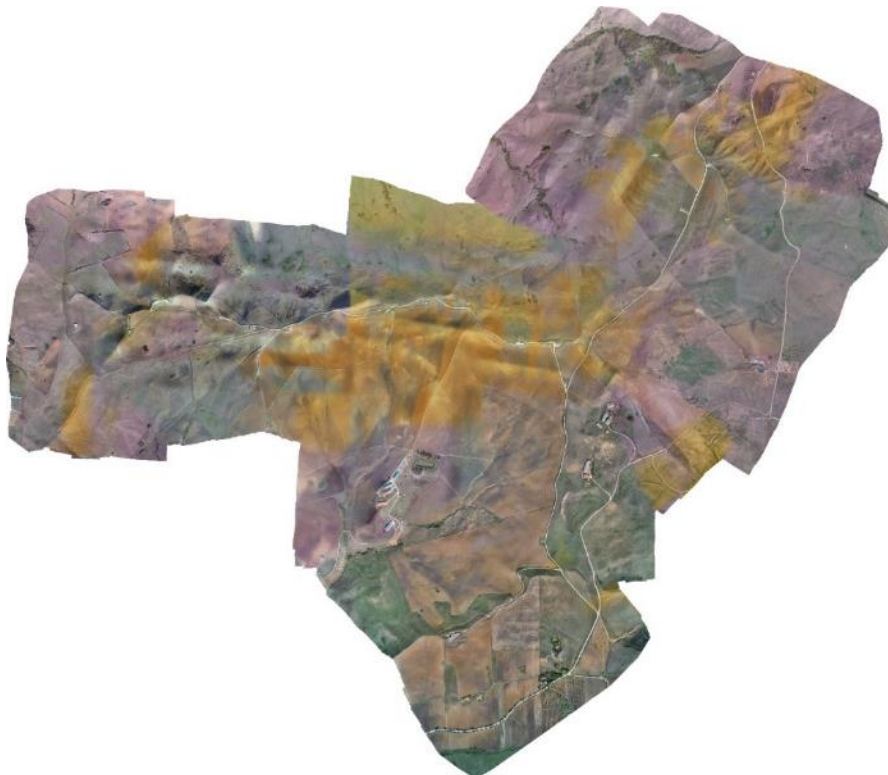


Numero di foto in cui compare lo stesso pixel



A seguito del rilievo fotogrammetrico, è stato possibile modellizzare con estrema precisione la superficie dell'area.

Di seguito viene riportata l'area rilevata, che copre una superficie di 663 ettari



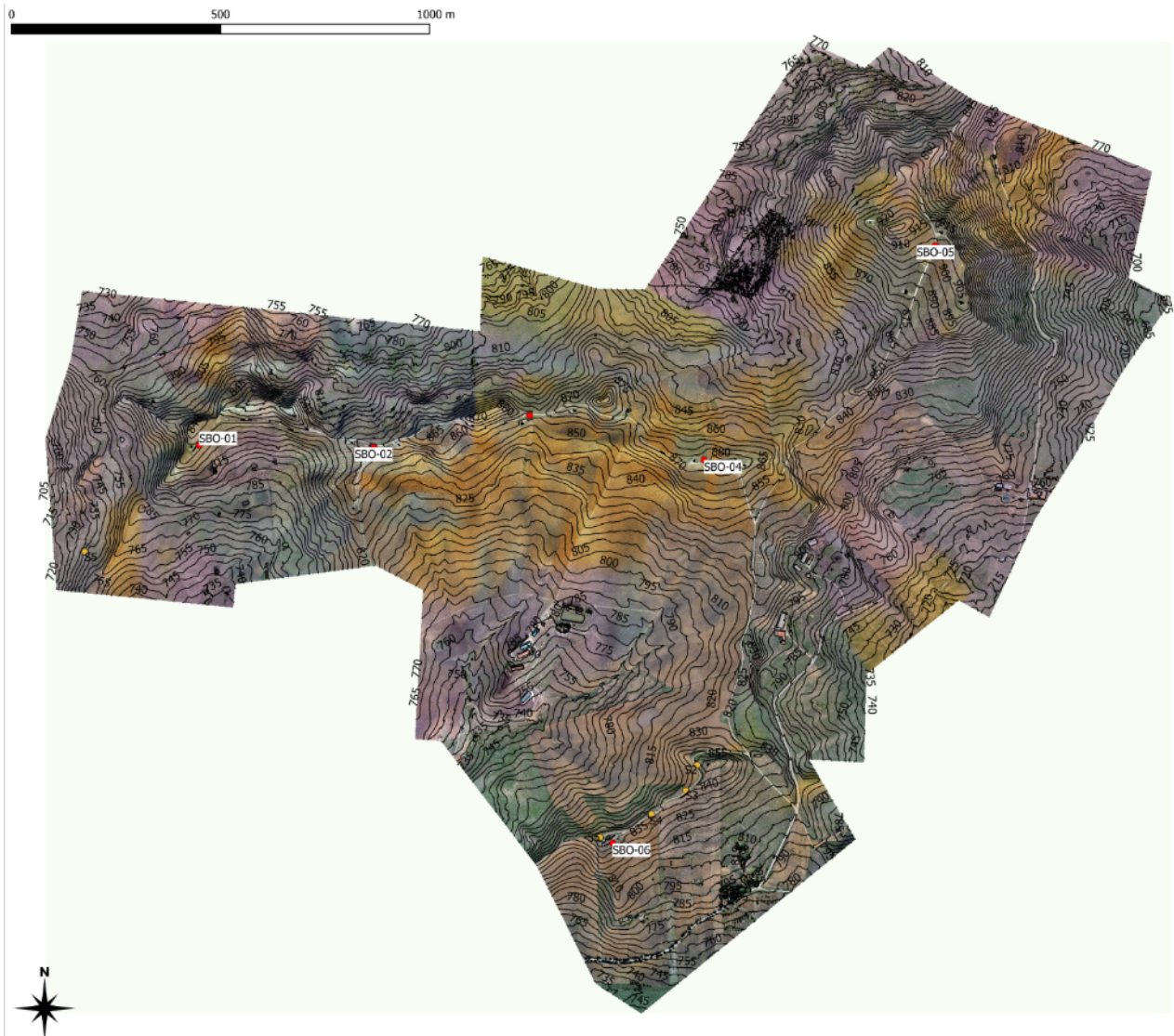
Rilievo fotogrammetrico campo eolico Sclafani

6.1.5. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

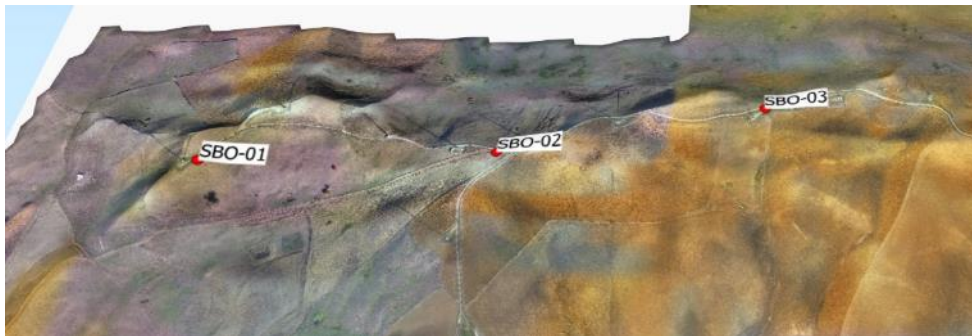
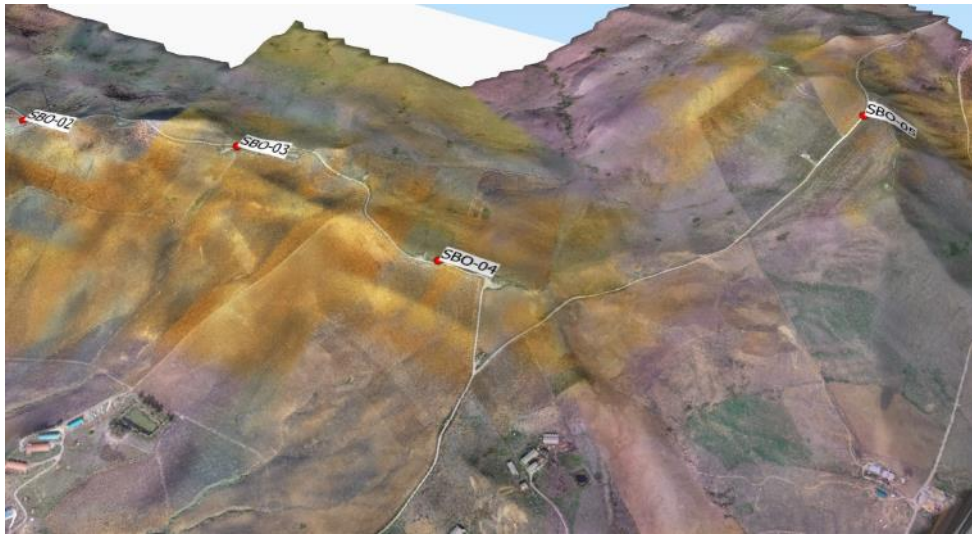
Dal DSM ottenuto sono state estrapolate le curve di livello.

Non avendo a disposizione punti a terra di riferimento, è possibile uno sfasamento lungo l'asse z delle quote, che dipendono dal geode di riferimento.

Si sottolinea come questo non comporti un errore del modello, ma solo una possibile differente collocazione altimetrica, legata ad un diverso sistema di riferimento



Carta topografica dell'area



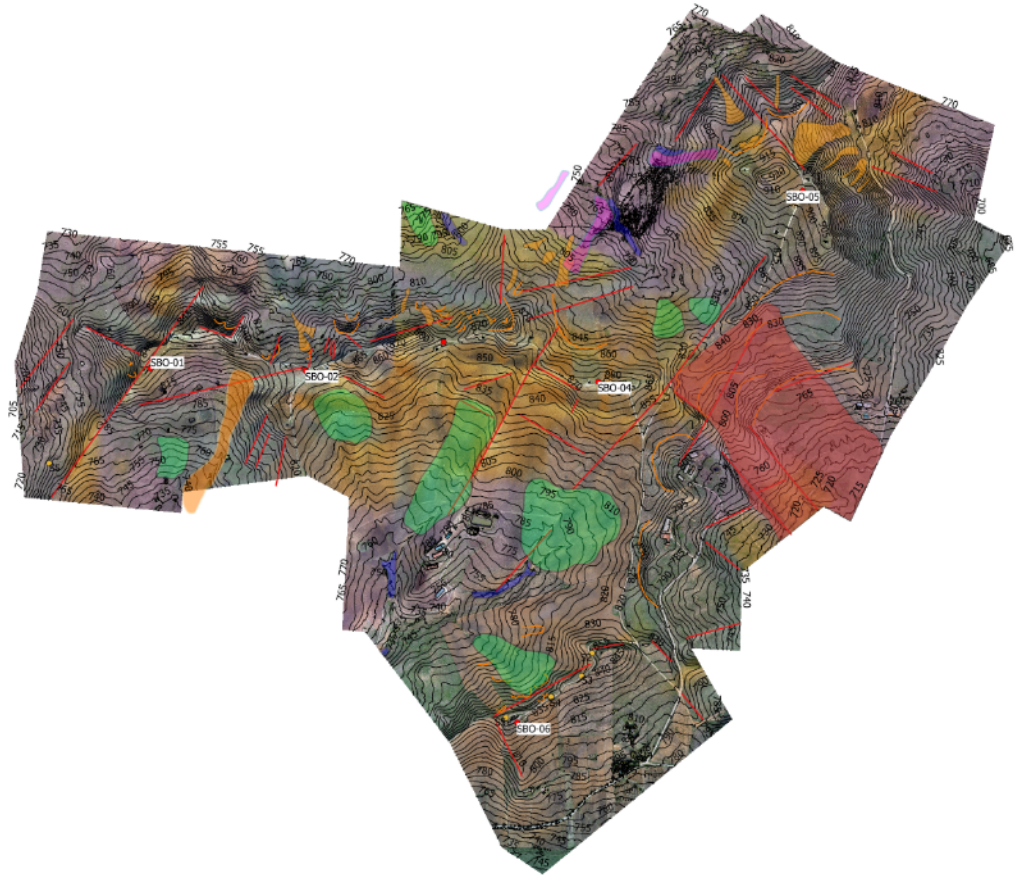
Vista 3D delle torri in progetto














7. RILIEVO DISSESTI

7.1. PREMESSA

I dati già disponibili, provenienti da PAI e dagli studi eseguiti dopo la frana, sono stati integrati grazie all'analisi del rilievo eseguito.

Di seguito viene proposta la mappa elaborata con la sua legenda, e in seguito i dettagli delle posizioni proposte per i nuovi aerogeneratori.



<input checked="" type="checkbox"/>		torri in progetto SBO 5+1 WTG up to 170_v04 20200724
<input checked="" type="checkbox"/>		sondaggi
<input type="checkbox"/>		dissesti
<input checked="" type="checkbox"/>		frana 2011 ok
<input checked="" type="checkbox"/>		PAI
<input checked="" type="checkbox"/>		dissesti attivi PAI dissesti causati da erosione accelerata
<input checked="" type="checkbox"/>		dissesti attivi PAI deformazione superficiale lenta
<input checked="" type="checkbox"/>		dissesto quiescente PAI colamento lento
<input checked="" type="checkbox"/>		dissesti stabilizzato naturalmente o artificialmente PAI stabilizzato naturalmer
<input checked="" type="checkbox"/>		Fotogrammetria
<input checked="" type="checkbox"/>		fotogrammetria colamenti colamenti
<input checked="" type="checkbox"/>		fotogrammetria nicchie distacco nicchie distacco
<input checked="" type="checkbox"/>		fotogrammetria fratture fratture

Carta dissesti

I principali elementi che possono essere evidenziati sono i seguenti:

- 1) L'area è intensamente fratturata e fagliata
- 2) I principali dissesti che si possono riconoscere, hanno una genesi simile, ovvero avvengono a seguito dell'infiltrazione delle acque nelle fratture; l'acqua provoca nel lungo periodo, oltre a sovrappressioni, anche un rammollimento della porzione pelitica, che da estremamente consistente diventa fluida e permette scivolamenti anche a basso angolo della porzione rocciosa disarticolata.
- 3) Dall'analisi della fotogrammetria si possono riconoscere eventi antichi, e la loro evoluzione. Inoltre sono segnalati i depositi di accumulo. Si sottolinea come le operazioni

di aratura, lungo il versante sud della dorsale principale, comportano la cancellazione quasi totale dei segni dovuti a soliflussi e dissesti

- 4) L'area è in continua evoluzione. Le nicchie legate a scivolamenti e franamenti sono diffuse su tutti i versanti. Allo stato attuale prevedere le tempistiche per i futuri dissesti è problematico, per dare una risposta sono necessari monitoraggi ed indagini, finalizzati a definire lo stato dell'ammasso roccioso in profondità e la presenza di acqua.
- 5) Sono in ogni caso evidenti aree con un grado di disturbo minore rispetto alla media dell'area, che ad avviso di chi scrive dovrebbero essere selezionate per eventuali ulteriori approfondimenti, propedeutici al posizionamento delle nuove turbine

7.2. ESEMPI DEI DISSESTI PRESENTI NELL'AREA

- 1) Area della recente frana: non si riporta quanto già evidenziato nei lavori condotti sull'area, si sottolinea soltanto che siamo in presenza di un importante scivolamento a basso angolo; ovvero a causa delle caratteristiche litologiche dell'area, il rammollimento degli orizzonti coesivi comporta la creazione di un livello "fluidico" che permette scivolamenti importanti anche in presenza di basse pendenze.



Area frana

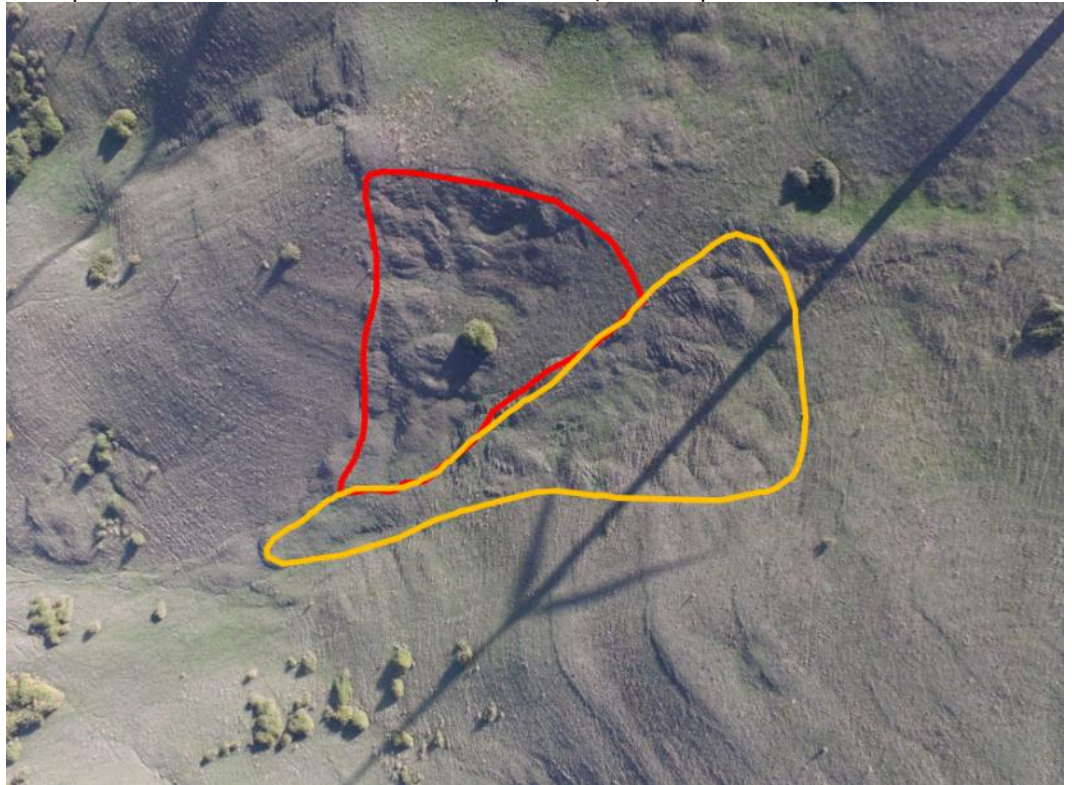
2) Colamenti a valle dell'aereogeneratore:



3) Frana in prossimità di SB05: è interessante notare come il versante più acclive appare stabile, grazie alla giacitura degli strati a reggipoggio ovvero con una immersione che risulta a favore di sicurezza, mentre appena a lato, a causa del diversa direzione del versante, la stessa giacitura risultava meno a sicurezza del pendio ed ha causato un dissesto



- 4) Esempi di aree con dissesti superficiali, in questo caso coalescenti



- 5) assetto strutturale: in questa foto si può apprezzare l'assetto strutturale medio dell'area, a gradini, caratterizzata dall'orizzonte di stratificazione semi-orizzontale, che dà luogo ai tratti pianeggianti presenti nell'area, e lungo il quale avvengono gli scivolamenti più importanti. Inoltre, si possono notare le superfici semi-verticali causate dai principali piani di frattura



7.3. DETTAGLIO DELLE AREE DI POSSIBILE UTILIZZO PER I NUOVI AEREOGENERATORI

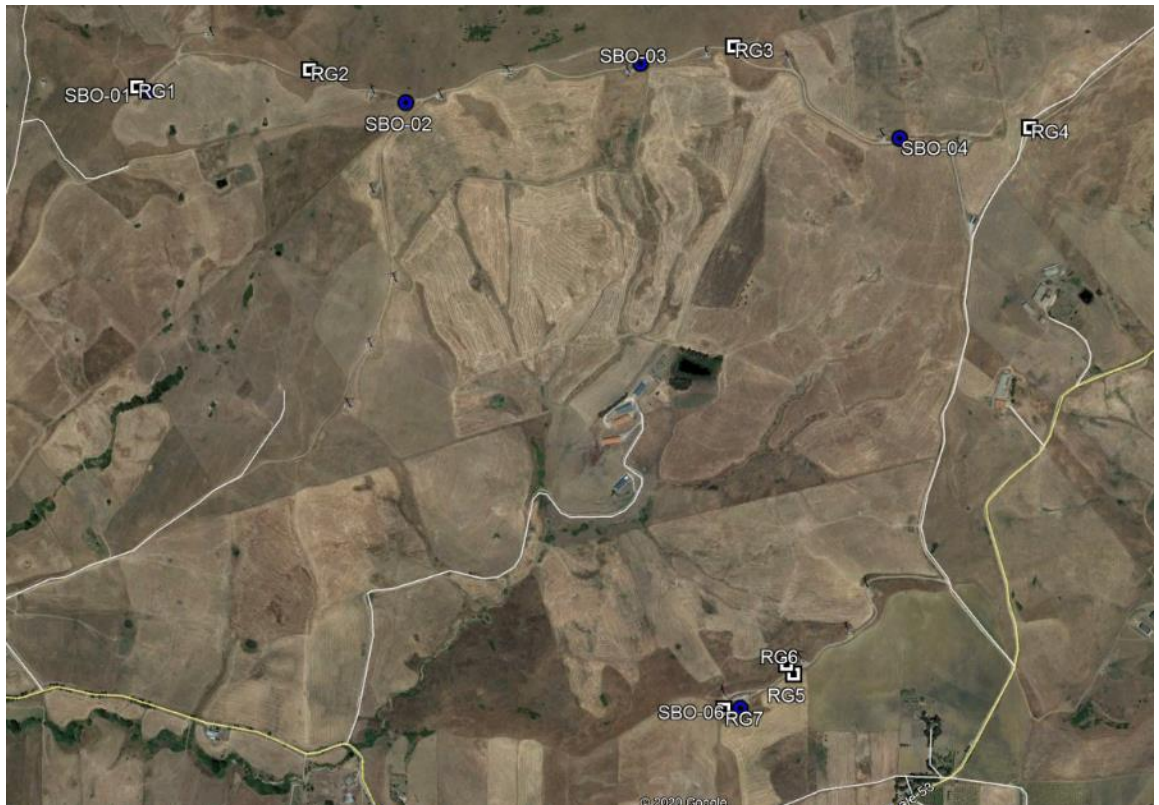
7.3.1. RILIEVI GEOMECCANICI

Sono stati eseguiti 7 rilievi geomeccanici speditivi, finalizzati ad una valutazione delle condizioni superficiali dell'ammasso roccioso.

I dati raccolti sono stati poi confrontati con quelli raccolti nelle precedenti indagini, ma solamente nell'area di frana.

Si sottolinea come le superfici analizzate fossero in sintesi sempre molto alterate e fratturate, i valori massimi di resistenza a compressione misurati variavano tra 10 e 13 Mpa (in sintesi siamo in presenza di rocce che si possono rompere con la pressione delle mani o con un colpo di mazza leggero).

In media la qualità dell'ammasso roccioso in superficie è riferibile alle classi IV e V della classificazione RMR, ovvero da very poor a poor



Ubicazione rilievi RG1-RG7

7.3.1.1. RG1: in prossimità di SB01

Affioramento a lato della turbina esistente. Presenza di alternanza di livelli arenacei e pelitici, con spessori medi di 15-20 cm.

La porzione litica risulta intensamente fratturata, con volumi unitari dei blocchi da centimetrici ad un massimo di 20x30x20 cm



7.3.1.2. RG2: in prossimità di SB02

Assetto identico a RG1. Dimensione dei blocchi da centimetrico a 10x10x20



7.3.1.3. RG3: in prossimità di SB03

Anche in questo caso la roccia appare completamente alterata ed intensamente fratturata. Stesse condizioni generali dei rilievi precedenti



7.3.1.4. **RG4: prossimità di SB04**

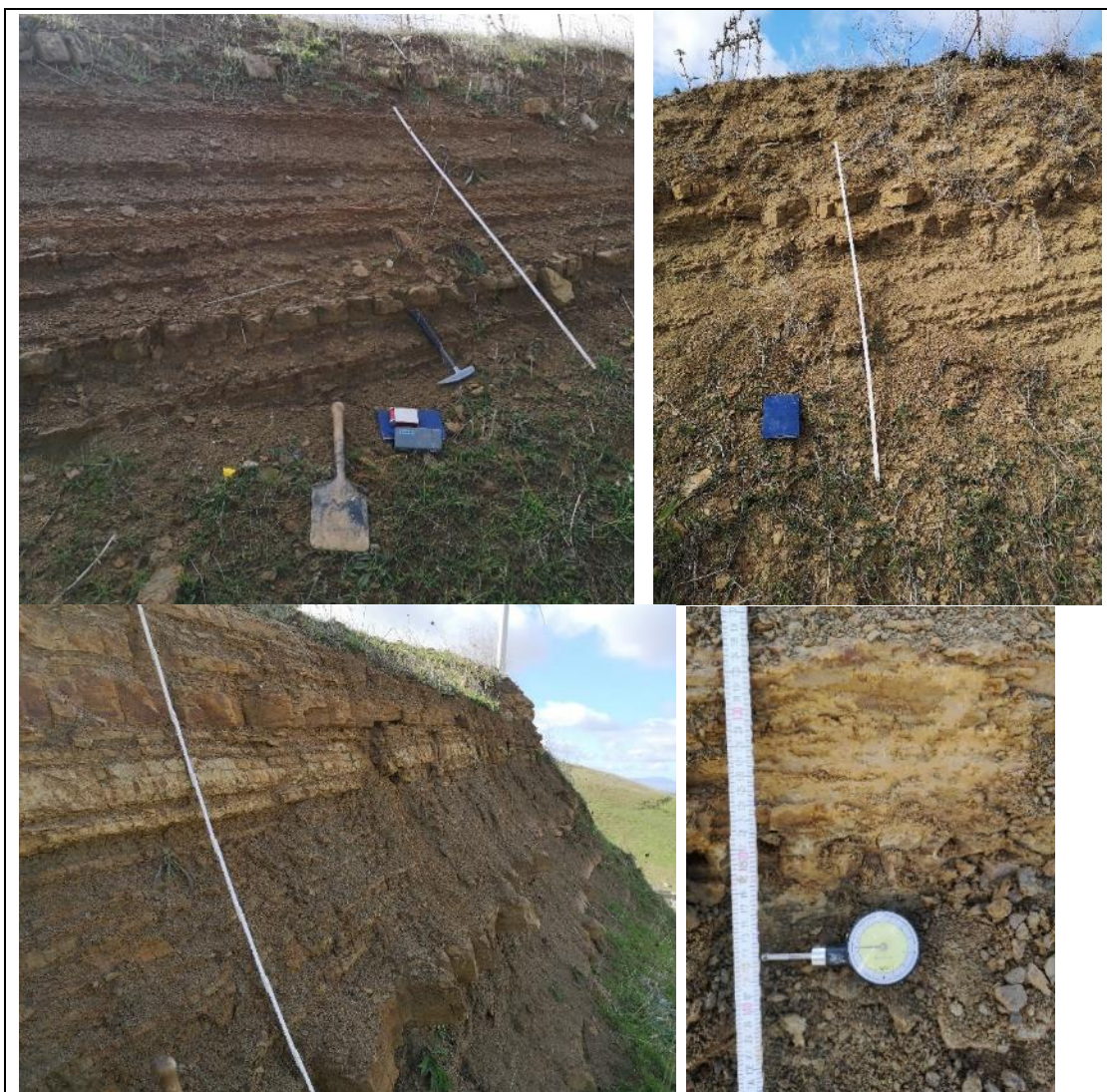
L'assetto generale rimane lo stesso, roccia intensamente fratturata ed alterata



7.3.1.5. **RG5, RG6, RG7: Prossimità SB06**

In questa fascia sono stati condotti 3 rilievi a differente quota. Nella porzione superiore ed intermedia, la roccia appare intensamente fratturata ed alterata con blocchi con dimensione massima di 20x10x10 cm.

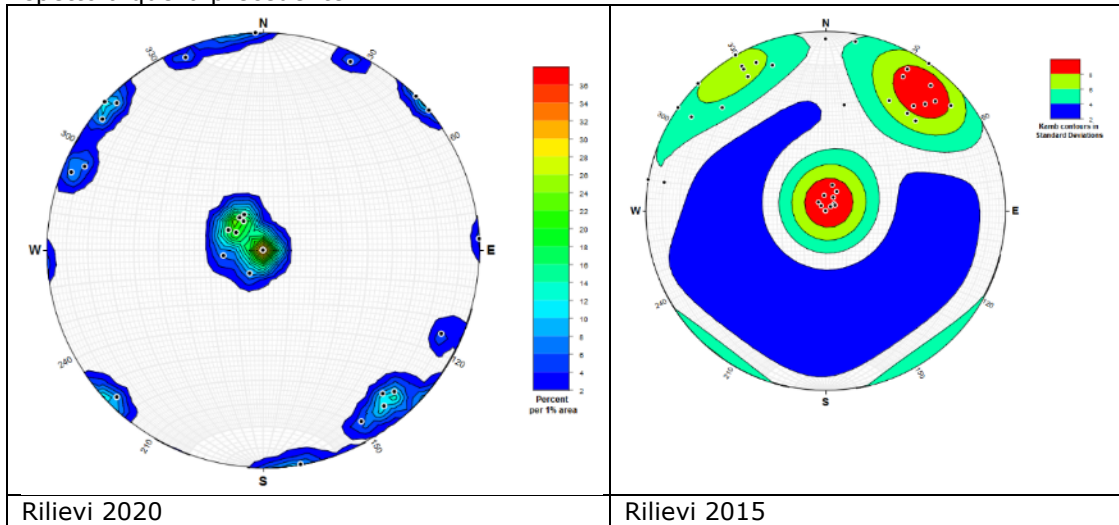
Nella porzione inferiore, circa 10/15 m più in basso del rilievo più alto, l'assetto appare migliore, con bancate arenacee più spesse e livelli coesivi più ridotti. La dimensione massima dei blocchi risulta essere 30x20x20 cm.



7.3.2. CONFRONTO TRA DATI ACQUISITI NELLE PRECEDENTI CAMPAGNE E NELL'ATTUALE

Risulta utile verificare se l'assetto delle principali discontinuità, ovvero i piani di frattura rilevati, siano uniformi su tutta l'area. I rilievi condotti in precedenza hanno interessato l'area della frana ed in prossimità di SB05.

Di seguito vengono riportati gli stereogrammi ottenuti dalle misure della campagna 2020 rispetto a quella precedente

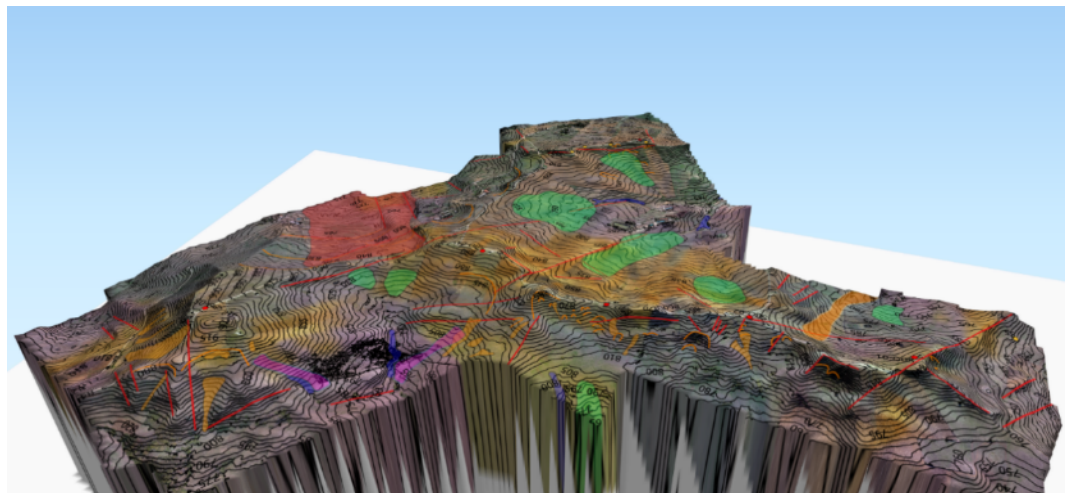


In sintesi si conferma l'assetto strutturale principale che risulta essere :

- 1) Livello S, coincidente con la stratificazione semiorizzontale, che da luogo ai terrazzi semipianeggianti presenti nell'area
- 2) Due sistemi principali di frattura semiverticali, tendenzialmente perpendicolari tra loro

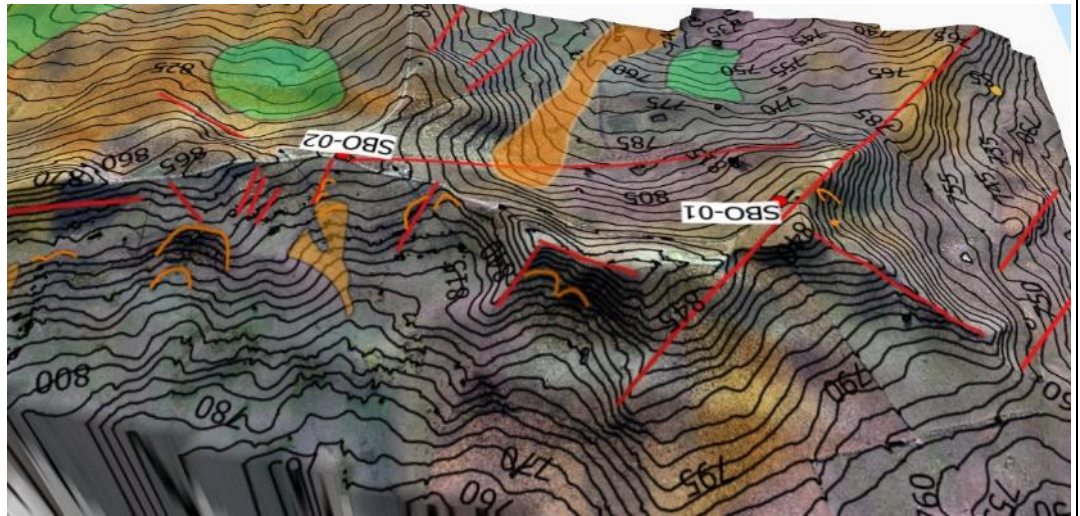
Queste sono le 3 famiglie di discontinuità principali presenti in tutta l'area.

7.4. ANALISI DEI DISSESTI DA FOTOGRAMMETRIA

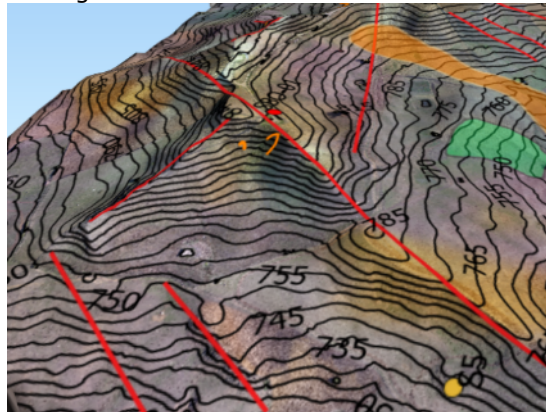


Vista 3D dell'area

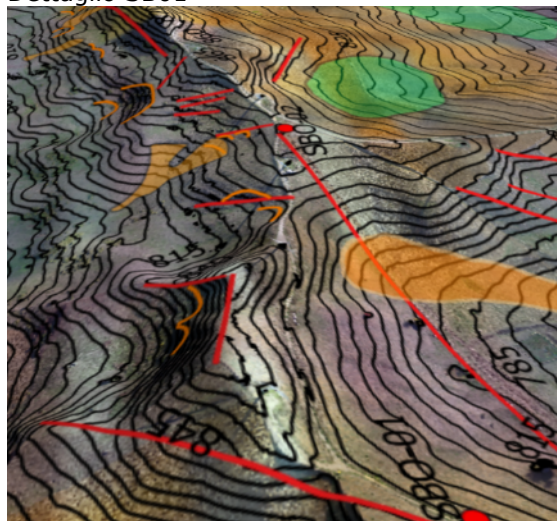
7.4.1. AREA SB01-SB02



Vista generale



Dettaglio SB01



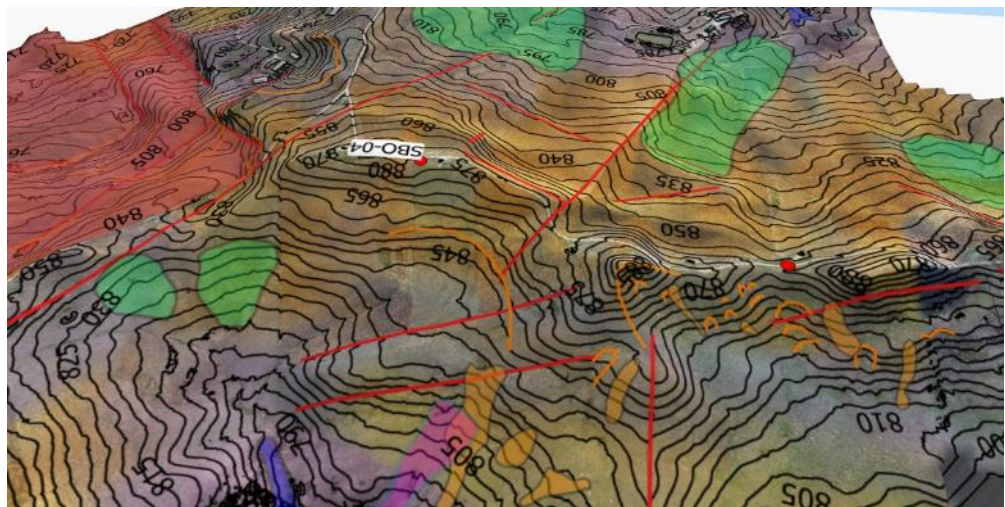
Dettaglio SB02

Le torri in progetto SB01 e 02 si trovano in prossimità di una scarpata. Sono evidenti sia lineamenti tettonici (faglie e/o fratture), che chiari segni di progressivo arretramento del ciglio della scarpata (nicchie di distacco e accumuli di frana). In particolare entrambe le torri si trovano in coincidenza di un lineamento tettonico marcato, che può aver comportato oltre ad infiltrazioni di acqua, un quadro fessurativo in profondità importante. Sarà necessaria una verifica geognostica e geofisica, finalizzata a definire le aree disturbate

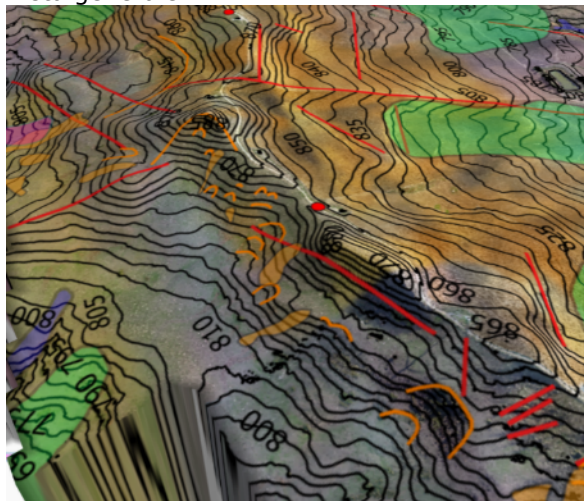


Vista al di sotto di SB01

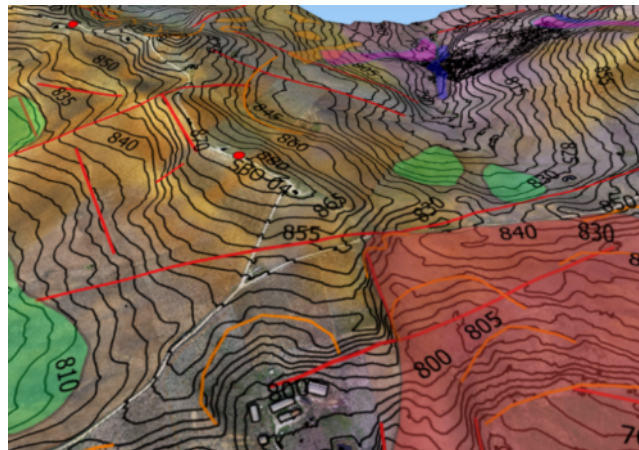
7.4.2. AREA SB03-SB04



Vista generale



Dettaglio SB03



Dettaglio SB04

SB03 si trova in vicinanza ad un lineamento principale, ed a valle sono presenti nicchie di distacco.

Sarà da verificare la stabilità del versante a valle al fine di posizionare la struttura ad una distanza ottimale dalla possibile fascia di dissesto.

La SB04 appare più distante da fenomeni dissestivi, ma è possibile che un lineamento, riconoscibile fino a valle della posizione proposta, si prolunghi in direzione della stessa



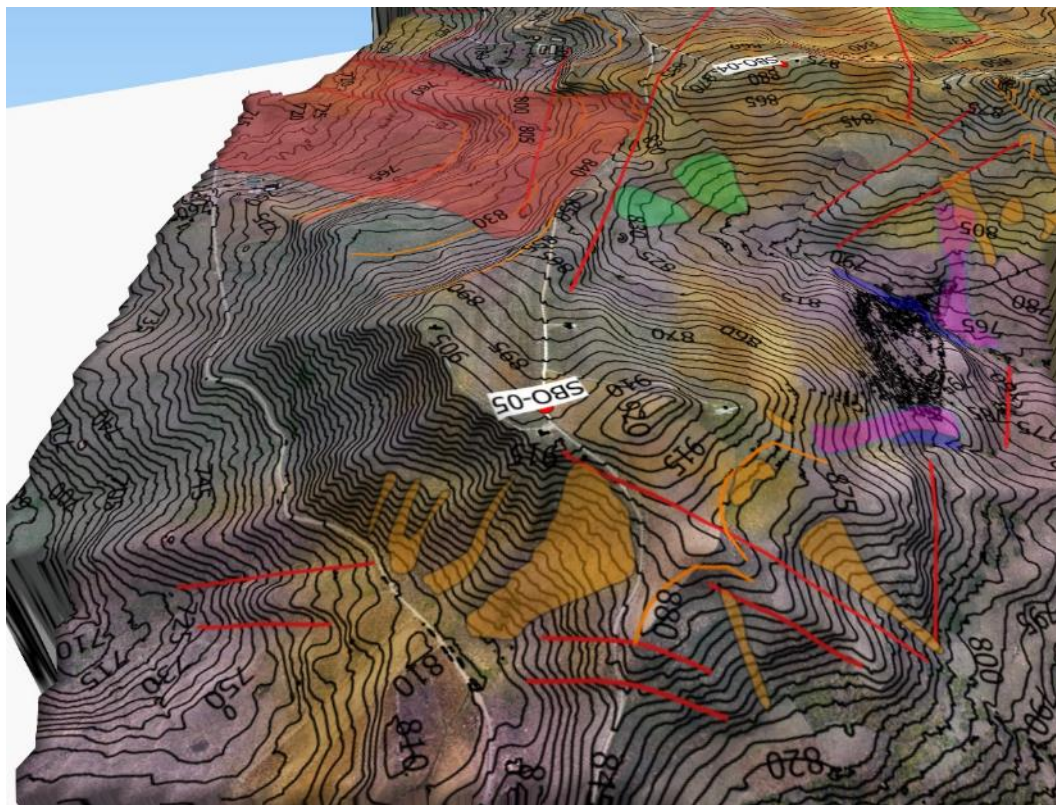
Visione da est verso ovest verso SB04-03-02-01

7.4.3. Area SB05

Questa torre verrebbe a trovarsi in prossimità del versante maggiormente acclive dell'area. Sono visibili numerosi dissesti, e lineamenti tettonici.

In base alle osservazioni si ritiene che parte dell'attuale altopiano, su cui insistono le torri, sia già scivolato a valle.

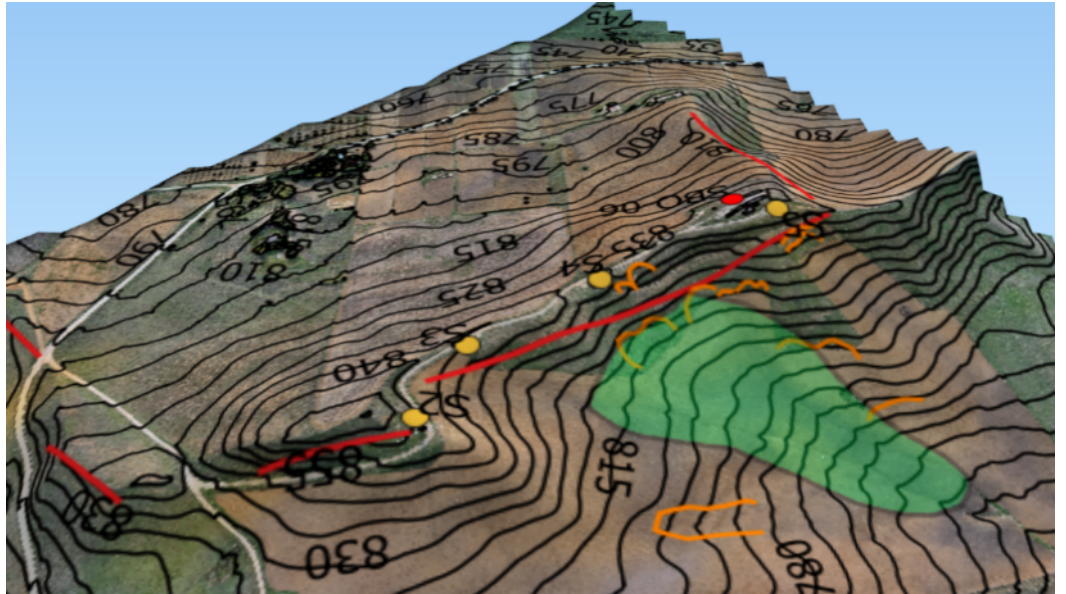
Si consiglia di evitare di posizionare aereogeneratori in prossimità della scarpata, e di condurre le indagini adeguate per escludere la presenza di possibili superfici che possano comportare scivolamenti importanti del versante



Nella foto risulta ben visibile la frana in primo piano, che probabilmente ha causato il franamento di una porzione di versante adiacente alle attuali torri, che in origine era in continuità altimetrica

7.4.4. Area SB06

L'area proposta si trova su di una cresta, anche essa con evidenze di dissesto, in particolare sul versante esposto a nord. Sono presenti nicchie e vecchi accumuli di detrito di versante. Si segnala anche in posizione centrale della cresta, il passaggio di elementi strutturali che potrebbero aver dislocato dei blocchi dell'ammasso roccioso



SB06



Erosione concentrata al piede della turbina.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi dei dati disponibili, integrati con le osservazioni ed i rilievi di ottobre 2020, hanno portato alle seguenti conclusioni:

- 1) La caratterizzazione geotecnica delle formazioni presenti in sito si è basata sulle indagini e gli studi precedenti; in base alle osservazioni si ritiene che a livello preliminare questi dati possano essere estendibili a tutta l'area
- 2) L'intera area è interessata dalla presenza del Flysch Numidico, che nell'area di studio, nei primi 15-20 metri si presenta con tipica struttura a scaglie, ed un'alternanza di livelli sottili, arenacei e limosi con spessori massimi di 10-20 cm. Sia in base alle osservazioni che in base alle risultanze delle indagini sismiche e geognostiche condotte in passato, almeno fino a e metri di spessore risulta alterata, e in base alle tracce sismiche raggiunge valori elevati di velocità, ovvero di addensamento, verso i 12-15 metri. In base alle osservazioni si ritiene comunque corretto, allo stato attuale delle conoscenze, considerare che per almeno 12-15 metri l'ammasso roccioso risulta alterato o comunque dotato di caratteristiche geotecniche inferiori agli strati presenti al di sotto.
- 3) L'ammasso roccioso presenta 3 famiglie principali di fratture, una a bassa pendenza, coincidente con la stratificazione, e due famiglie principali semiverticali e mediamente perpendicolari tra loro. Questo assetto facilita la disgregazione dell'ammasso roccioso in elementi tabulari con dimensioni da centimetriche ad al massimo di 20/30 cm in corrispondenza delle bancate arenacee più spesse
- 4) In tutti gli affioramenti l'ammasso roccioso si presenta intensamente fratturato ed alterato
- 5) I fenomeni gravitativi di dissesto si verificano nella porzione di ammasso roccioso alterato e fratturato, in cui la sua stabilità è connessa principalmente con la coesione esercitata dai livelli limoso argillosi. Se a seguito di imbibizione la coesione viene a mancare, si verificano scivolamenti e movimenti che generalmente hanno come livello di base un orizzonte arenaceo a bassa pendenza. In sintesi la massa rocciosa disarticolata e sciolta scivola lungo questi piani. Si possono osservare molti esempi nel rilievo di queste strutture a gradini.
- 6) Oltre agli scivolamenti, le pareti semiverticali create da franamenti precedenti, o da elementi tettonici, presentano accumuli di detrito al piede a seguito della continua e progressiva caduta a valle degli elementi litici disarticolati
- 7) In base a quanto descritto ai punti precedenti, allo stato attuale delle conoscenze, per il posizionamento delle nuove turbine sono da considerare i seguenti aspetti:
 - a. In base alla geofisica, si deve considerare che almeno per 10 m a partire da piano campagna, la roccia possiede caratteristiche geotecniche scarse e sia suscettibile ad essere coinvolta in scivolamenti.
 - b. La presenza di linee di frattura importanti, oltre a disarticolare l'ammasso roccioso, comporta facilità di infiltrazione di acque. La verifica di livelli di falda dovrà fare parte delle indagini di approfondimento, in quanto la falda rappresenta una componente importante nella perdita di coesione e nell'abbassamento del fattore di sicurezza della stabilità del pendio.
 - c. Si dovrà mantenere una distanza adeguata da aree con segni evidenti di dissesti importanti avvenuti anche a valle della postazione individuata per l'aerogeneratore. Questo in quanto l'evoluzione dei pendii nell'area avviene tramite fenomeni franosi regressivi, ed il verificarsi un evento dissestivo a valle può comportare l'innescò di altri fenomeni a monte, ed il passaggio in fascia di non sicurezza della porzione di versante al di sopra.
 - d. Si dovrà quindi prevedere, fino a quando non sarà possibile eseguire indagini di approfondimento, che bisognerà mantenere un'area spessa 10 metri a partire dal ciglio dei versanti, che rappresenterà un buffer non utilizzabile per posizionamento di carichi, e la turbina dovrà essere posizionata ad una distanza di sicurezza da questa fascia, in modo che non possa essere coinvolta in eventuali movimenti della porzione alterata. Si sottolinea come solo l'analisi puntuale delle condizioni, che sarà realizzata in fase di progettazione esecutiva, possa dare indicazioni precise sullo spessore della porzione di ammasso roccioso alterato.

9. LAVORI PRECEDENTI DI RIFERIMENTO

- Balisoni L. – Litostratigrafia della Sicilia – Regione Sicilia – Palermo, 2012;
- A.A.V.V. – “A constrained African craton source for the Cenozoic Numidian Flysch: Implications for the palaeogeography of the western Mediterranean basin” The University of Manchester, Williamson building, Oxford Road, Manchester, 2010;
- A.A.V.V. – “Walking along a crustal profile across the Sicily fold and crustal belt- A.A.P.G. International conference and Exhibition – Milano 2011;
- Impianto eolico di “Sclafani Bagni “Incatena-Cugno” – Fase II – Relazione geologica – Firenze, 2001 – ENEA S.p.A.;
- Zaffuto G. – Progetto di costruzione di un impianto eolico da realizzare nella Contrada “Incatena-Cugno” del territorio comunale di Sclafani Bagni (Potenza 6,6 MW) – Relazione Geologica – Termini Imerese, 1998 – ISMES S.p.A.;
- A.A.V.V. – “Impianto eolico di Sclafani Bagni “Incatena-Cugno” Comune di Sclafani Bagni – Fase II – Lotto 2, Comune di Sclafani Bagni (PA) – Progetto Esecutivo – Relazione Geologico-Tecnica – ENEL S.p.A.;
- Sering Ingegneria – “Impianto eolico di Sclafani Bagni “Incatena-Cugno” Comune di Sclafani Bagni – Fase II – Lotto 2, Comune di Sclafani Bagni (PA) – Progetto Esecutivo, Fondazione aerogeneratori – Relazione Geotecnica e di calcolo– Palermo, ENEL S.p.A.;
- CESI – Consulenza geologica per la messa in sicurezza degli impianti eolici di Sclafani Bagni 1 e 2 sottocampo 3 di Caltavuturo 1 – Nota di sopralluogo – Milano, 2015 – Enel Greenpower S.p.A.;