



COMUNE DI
ESTERZILI



COMUNE DI
ESCALAPLANO



PROVINCIA DEL
SUD SARDEGNA



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
DENOMINATO " ESTERZILI/ESCALAPLANO " COMPOSTO DA 11
AEROGENERATORI DA 5,6 MW PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI
61,60 MW SITO NEI COMUNI DI ESTERZILI ED ESCALAPLANO (SU), CON
OPERE DI CONNESSIONE



Proponente:
ETANRG SRL
Via Pietro Cossa n. 5
20122 Milano (MI)

Antonino Apreda

ETANRG S.R.L.

Progettazione:
LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti snc
81100 Caserta

Ing. Giovanni Savarese



Elaborato	EE.PD.STR.01	RELAZIONE SULLE STRUTTURE			
Cod. pratica	Data	Consegna	Formato	Scala	Livello progettuale
EE_01	18/12/2023		-	A4	Progetto definitivo

REVISIONI	Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
	01	Dicembre 2023	Prima emissione	G. Donnarumma	V. Vanacore	M. Afeltra

Il presente elaborato è di proprietà della Leonardo Engineerin srl

E' vietata la comunicazione a terzi e/o la riproduzione senza il preventivo permesso scritto della suddetta società. La società tutela i proprio diritti a rigore di Legge.



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
4. DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE	5
4.1 AEROGENERATORI.....	5
4.2 CABINA UTENTE.....	8
5. DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO	8
a) Geologia Escalaplano.....	9
b) Geologia Esterzili	10
6. MATERIALI IMPIEGATI	11
7. METODOLOGIA DI CALCOLO	13
7.1 CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITA' DEI RISULTATI.....	13
7.2 VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITÀ.....	14
7.3 PRESTAZIONI ATTESE AL COLLAUDO	15
7.4 MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	15
7.5 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE.....	16
7.6 METODO DI CALCOLO.....	17
8. SCHEMA DI CALCOLO E RIEPILOGO CARICHI PLINTO AEROGENERATORE	25
9. ANALISI DEI CARICHI PLINTO AEROGENERATORE	27
9.1 PESO PROPRIO.....	27
9.2 CARICHI FISSI E PERMANENTI.....	27
9.3 CARICHI ACCIDENTALI	27
10. RISULTATI DEL CALCOLO PLINTO AEROGENERATORE	31
11. SCHEMA DI CALCOLO E RIEPILOGO CARICHI PLATEA CABINA UTENTE.....	35
12. ANALISI DEI CARICHI PLATEA CABINA UTENTE	36
12.1 PESO PROPRIO.....	36
12.2 CARICHI FISSI E PERMANENTI.....	36
12.3 CARICHI ACCIDENTALI	36



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

13. RISULTATI DEL CALCOLO PLATEA CABINA UTENTE..... 36

14. CONCLUSIONI 39



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



1. PREMESSA

La presente costituisce la **Relazione di calcolo preliminare delle Strutture** delle opere previste nel progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica proposto dalla società ETANRG S.r.l.

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da 11 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 5,6 MW per una potenza complessiva di 61,6 MW, da realizzarsi nei territori comunali di Esterzili ed Escalaplano e delle relative opere di connessione alla Cabina Utente che si collegherà con cavo d'alto tensione alla stazione Elettrica Terna.

Il progetto si pone come obiettivo la realizzazione di un parco eolico per la produzione di energia elettrica da immettere nella rete di trasmissione nazionale (RTN) in alta tensione. In questo scenario il parco eolico consentirà di raggiungere obiettivi più complessi fra i quali si annoverano:

- la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, priva di alcuna emissione diretta o

derivata nell'ambiente;

- la valorizzazione di un'area marginale rispetto alle altre fonti di sviluppo regionale con destinazione prevalente a scopo agricolo e con bassa densità antropica;
- la diffusione di know-how in materia di produzione di energia elettrica da fonte eolica, a valenza fortemente sinergica per aree con problemi occupazionali e di sviluppo.

Il campo eolico è ubicato nei comuni di Escalaplano e Esterzili nella provincia del Sud Sardegna, nell'area centro-orientale della Sardegna che rientra nelle regioni storiche del Sarcidano e del Gerrei. L'area interessata dal posizionamento degli aerogeneratori si sviluppa nella parte Sud e Sud-Est del territorio comunale di Esterzili e nella parte nord del paese di Escalaplano, in un contesto montano caratterizzato da un'altitudine compresa tra i 490 e gli 890 m s.l.m. e la distanza minima dal mare si attesta su circa 22 Km.

La presente relazione preliminare si basa sulle stime delle sollecitazioni necessarie al pre-dimensionamento delle fondazioni, rimandando alla progettazione esecutiva l'elaborazione del



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

dimensionamento esecutivo delle opere, nel rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza strutturale.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione in oggetto è stata effettuata in conformità alle disposizioni della normativa vigente ed in particolare:

- **Legge 5 Novembre 1971 n.1086**
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- **D.M. LL. PP. 14 Febbraio 1992**
Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- **Legge 2 Febbraio 1974 n.64**
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- **Ordinanza del presidente del consiglio dei ministri 20-3-2003 n. 3274 modificata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2/10/2003 e dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/2005.**
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- **D.M. 17 GENNAIO 2018**
Nuove norme tecniche per le costruzioni.
- **Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7**
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Lo studio dell'area in esame è stato impostato partendo da una ricerca bibliografica, dopodiché è stato eseguito un rilevamento di dettaglio atto a verificare la corrispondenza dei dati trovati in bibliografia con quelli reali.

Nel sito in esame è possibile riscontrare la stratigrafia del terreno mediante l'ausilio di tagli stradali prossimi all'area di studio.

L'evoluzione geomorfologica della regione è il risultato della combinazione dei processi di natura endogena ed esogena e come tale è influenzata dalla struttura geologica, intesa, sia come caratteristiche mineralogico-petrografiche delle rocce, sia come giacitura e diversa competenza in relazione alla resistenza che esse oppongono agli agenti di modellamento.

La morfologia ricalca pertanto fedelmente la distribuzione areale e i caratteri giaciturali della formazione geologica predominante, costituita dal potente complesso metamorfico del Paleozoico.

Il sistema territoriale, caratterizzato dagli affioramenti clastici (metarenarie, scisti, porfiroidi, ...) delle formazioni Paleozoiche, presenta rilievi generalmente ondulati, con versanti acclivi e depressioni vallive a V da vallecole prevalentemente a fondo prevalentemente convesso in cui l'azione incisiva delle acque incanalate è compensata dalla deposizione dei colluvi provenienti dalla disgregazione proveniente dagli interfluvi operata dalle acque di ruscellamento.

4. DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE

4.1 AEROGENERATORI

Gli aerogeneratori saranno ad asse orizzontale, costituiti da un sistema tripala, con generatore di tipo asincrono. Il tipo di aerogeneratore da utilizzare verrà scelto in fase di progettazione esecutiva dell'impianto; le dimensioni previste per l'aerogeneratore tipo e che potrebbe essere sostituito da uno ad esso analogo:

- diametro del rotore pari 162 m,
- altezza mozzo pari a 119 m,
- altezza massima al tip (punta della pala) pari a 200 m.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



L'aerogeneratore eolico ad asse orizzontale è costituito da una torre tubolare in acciaio che porta alla sua sommità la navicella, all'interno della quale sono alloggiati l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico ed i dispositivi ausiliari.

All'estremità dell'albero lento, corrispondente all'estremo anteriore della navicella, è fissato il rotore costituito da un mozzo sul quale sono montate le pale, costituite in fibra di vetro rinforzata.

La navicella può ruotare rispetto al sostegno in modo tale da tenere l'asse della macchina sempre parallela alla direzione del vento (movimento di imbardata); inoltre è dotata di un sistema di controllo del passo che, in corrispondenza di alta velocità del vento, mantiene la produzione di energia al suo valore nominale indipendentemente dalla temperatura e dalla densità dell'aria; in corrispondenza invece di bassa velocità del vento, il sistema a passo variabile e quello di controllo ottimizzano la produzione di energia scegliendo la combinazione ottimale tra velocità del rotore e angolo di orientamento delle pale in modo da avere massimo rendimento.

Il funzionamento dell'aerogeneratore è continuamente monitorato e controllato da un'unità a microprocessore.

Le fondazioni degli aerogeneratori sono delle strutture realizzate in opera per il trasferimento al terreno di fondazione delle sollecitazioni derivanti dalle strutture in elevazione. In questa fase progettuale si rappresenta l'ipotesi progettuale nella configurazione è di plinto su pali di fondazione trivellati realizzato in calcestruzzo armato. L'esatto dimensionamento geometrico e meccanico dell'opera di fondazione sarà possibile solo in fase di progettazione esecutiva supportata da una campagna più approfondita delle caratteristiche geo-meccaniche del terreno e da una esaustiva progettazione geotecnica.

Il plinto di fondazione calcolato presenta una forma assimilabile a un tronco di cono con base maggiore avente diametro pari a 16,80 m e base minore avente diametro pari a 6,00 m. L'altezza massima della fondazione, misurata al centro della stessa è di 3,12 m mentre l'altezza minima misurata sull'estremità è di 1,10 m. Al centro della fondazione viene realizzato un accrescimento di 0,33 m al fine di consentire l'alloggio dell'anchor cage per l'installazione della torre eolica.

Viste le caratteristiche geologiche e le sollecitazioni, la fondazione è del tipo indiretto fondata su n.14 pali di diametro 120 cm e lunghezza pari a 27 m, disposti ad una distanza dal centro pari a 6,90 m.

Si riportano, di seguito la pianta e la sezione della suddetta fondazione:



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"

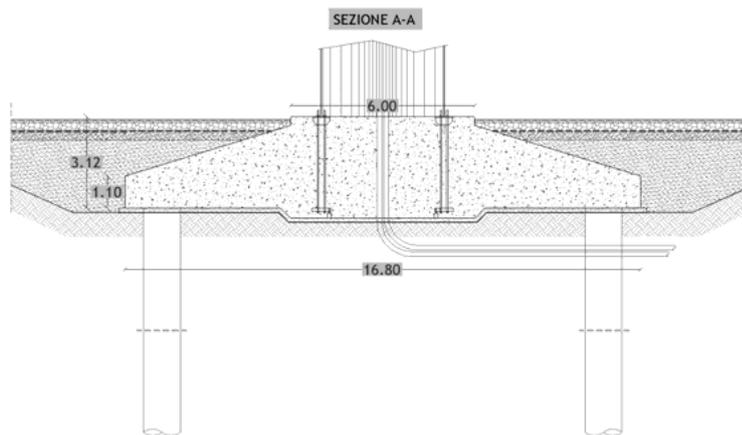
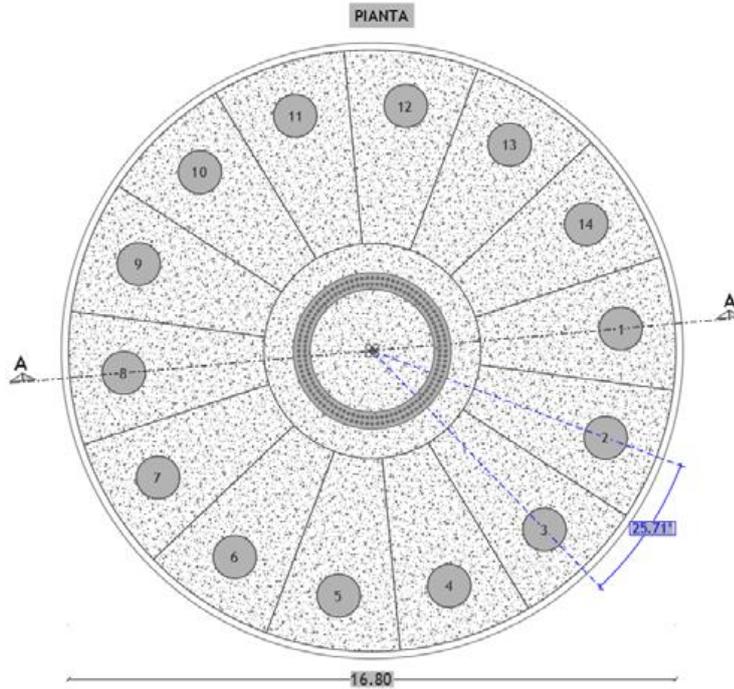
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



4.2 CABINA UTENTE

È prevista la realizzazione di una cabina utente da 36kV a servizio dell'impianto eolico oggetto del presente progetto al cui interno sarà realizzato un fabbricato dove saranno installate le celle di arrivo e di partenza delle linee del parco eolico.

La stazione utente di trasformazione completa delle apparecchiature ausiliarie ha dimensioni in pianta di 14.30 x 4.50 m.

Il box è realizzato ad elementi componibili prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato o a struttura monoblocco, tali da garantire pareti interne lisce senza nervature e una superficie interna costante lungo tutte le sezioni orizzontali.

Le opere strutturali di fondazione relativa alla stazione utente, sarà realizzata in conglomerato cementizio armato, gettato in opera e nello specifico è prevista la realizzazione di una platea in calcestruzzo armato di classe C25/30 con le seguenti dimensioni in pianta 15,50 x 5,50 metri.

5. DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO

L'area interessata dal progetto, litologicamente, è caratterizzata morfologicamente da superfici sub orizzontali o leggermente inclinate, impostate per di più su un livello metamorfico, in cui le quote degradano leggermente in direzione est che ovest. L'altitudine media del piano in cui giace la strada e sul quale verranno ubicate le opere è compresa tra 490 e 890 m. s.l.m ca.

In corrispondenza dei banchi più teneri i fenomeni erosivi, prevalentemente gravitativi e quelli dovuti al ruscellamento superficiale determinano un addolcimento dei versanti e un conseguente arrotondamento delle forme che si assestano con dei pendii poco inclinati.

Il paesaggio collinare appare quindi dominato da rilievi che localmente si presentano isolati e smembrati dall'erosione selettiva, caratterizzati dalla sommità più o meno pianeggianti. Essi sono caratterizzati da quote relative tra sommità e fondovalle talvolta elevate, indicando uno stadio di erosione (ringiovanimento) in corso del rilievo.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO" 11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna

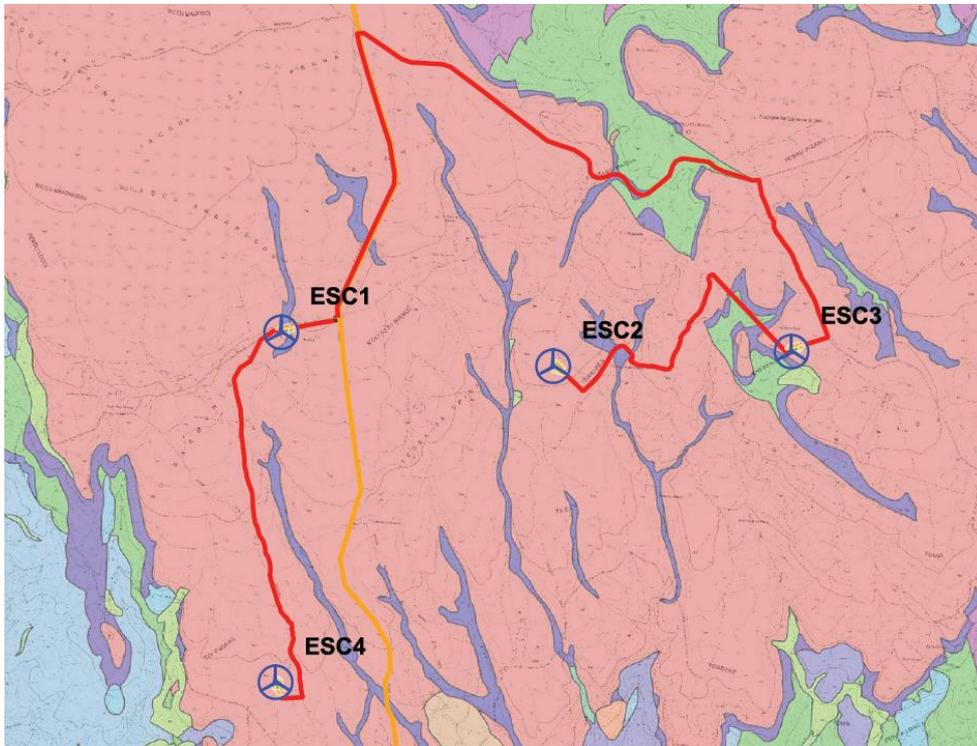


REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

Al fine di valutare la situazione dell'area in esame è stato eseguito un rilievo geologico che ha messo in evidenza la presenza di diverse componenti stratigrafiche e tettoniche del settore di studio.

Per meglio rappresentare la situazione geologica sono stati rappresentate le varie componenti sedimentarie presenti in prossimità dei punti in cui è prevista la realizzazione dei singoli aerogeneratori.

a) Geologia Escalaplano



- FORMAZIONE DI DORGALI. Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circalitorali, con foraminiferi e alghe calcaree. DOGGER-MALM
- Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metaepiclastiti: metaepiclastiti a matrice vulcanica, metaquarzogrovacche e metarenarie, metaconglomerati a prevalenti componenti di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDI
- FORMAZIONE DI GENNA SELOLE. Conglomerati quarzosi e quarzoareniti molto mature; alla base livelli carboniosi e argille. DOGGER
- Depositi antropici. OLOCENE
- Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



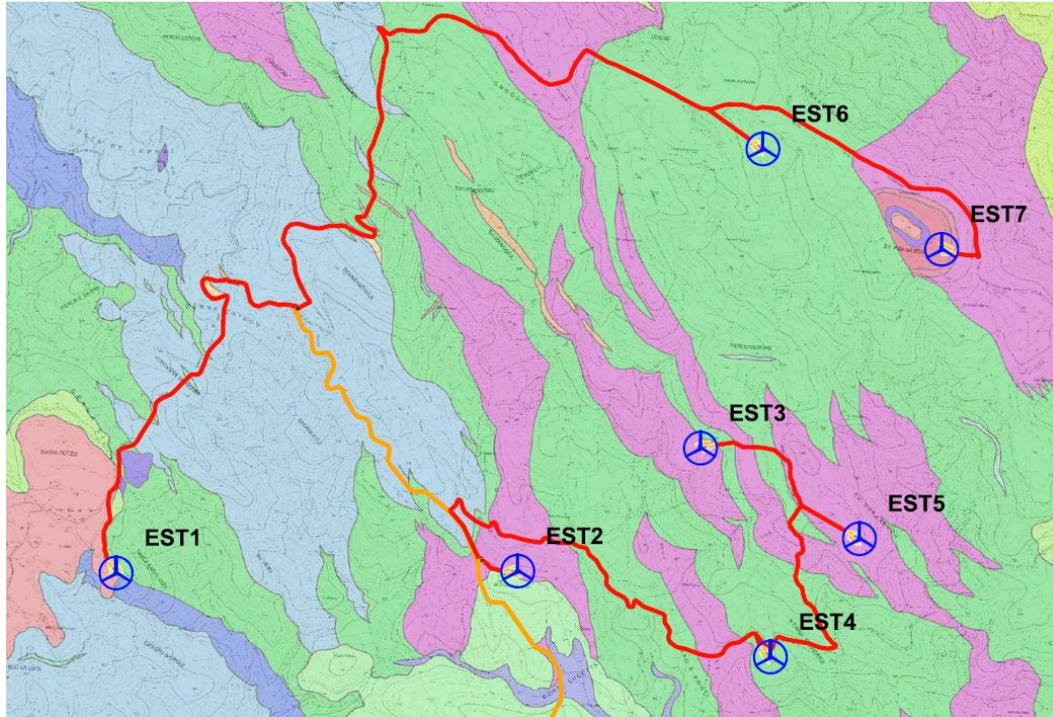
LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



b) Geologia Esterzili



- FORMAZIONE DI DORGALI. Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circalitorali, con foraminiferi e alghe calcaree. DOGGER-MALM
- Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metarioliti: metarioliti afanitiche ("formazione di Monte Corte Cerbos" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO
- Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metaepiclastiti: metaepiclastiti a matrice vulcanica, metaquarzogrovacche e metarenarie, metaconglomerati a prevalenti componenti di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDI
- Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metagrovacche vulcaniche e metavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione Serra Tonnai" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO
- FORMAZIONE DI GENNA SELOLE. Conglomerati quarzosi e quarzoareniti molto mature; alla base livelli carboniosi e argille. DOGGER
- Litofacies nella FORMAZIONE DI RIO SU LUDA. Alla base, conglomerati e microconglomerati in matrice arenacea fortemente arrossata. PERMIANO INF. (AUTUNIANO)
- Litofacies nella FORMAZIONE DI RIO SU LUDA. Siltiti e argilliti laminari nere, con abbondanti resti di piante, sporomorfi e pollini; rari livelli di arenarie e conglomerati. PERMIANO INF. (AUTUNIANO)
- Litofacies nelle ARENARIE DI SAN VITO. Livelli di metacalcari intercalati nella parte alta. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.
- ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta. CAMBRIANO MEDIO - ORDOVICIANO INF.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



6. MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO PER I PALI DI FONDAZIONE

Il calcestruzzo cementizio armato utilizzato è ottenuto mediante materiali inerti (brecciamme bene assortito 0.8 m3, sabbia naturale 0.4 m3), miscelato con litri 130 di acqua per ciascun m3 e dosato con quintali 3.00 di cemento tipo 325 per m3 (rapporto acqua/cemento < 0.6), onde ottenere una resistenza cubica a pressione, a 28 giorni, non inferiore a 30 N/mm².

Il calcestruzzo cementizio utilizzato per le strutture è della **classe C25/30** (con classe di esposizione **XC2** e Classe di consistenza **S4**) a cui

$$f_{ck} = 250 \text{ kg/cm}^2 - R_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{resistenza caratteristica a compressione}$$

CALCESTRUZZO PER LA PLATEA DI FONDAZIONE

Il calcestruzzo cementizio armato utilizzato è ottenuto mediante materiali inerti (brecciamme bene assortito 0.8 m3, sabbia naturale 0.4 m3), miscelato con litri 130 di acqua per ciascun m3 e dosato con quintali 3.00 di cemento tipo 325 per m3 (rapporto acqua/cemento < 0.6), onde ottenere una resistenza cubica a pressione, a 28 giorni, non inferiore a 30 N/mm².

Il calcestruzzo cementizio utilizzato per le strutture è della **classe C32/40** (con classe di esposizione **XC2** e Classe di consistenza **S4**) a cui corrispondono i seguenti valori di resistenza caratteristica a compressione e resistenza di calcolo:

$$f_{ck} = 320 \text{ kg/cm}^2 - R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{resistenza caratteristica a compressione}$$

CALCESTRUZZO PER LA ZONA CENTRALE DELLA FONDAZIONE

Il calcestruzzo cementizio armato utilizzato è ottenuto mediante materiali inerti (brecciamme bene assortito 0.8 m3, sabbia naturale 0.4 m3), miscelato con litri 130 di acqua per ciascun m3 e dosato con quintali 3.00 di cemento tipo 325 per m3 (rapporto acqua/cemento < 0.6), onde ottenere una resistenza cubica a pressione, a 28 giorni, non inferiore a 30 N/mm².

Il calcestruzzo cementizio utilizzato per le strutture è della **classe C45/55** (con classe di esposizione **XC2** e Classe di consistenza **S4**) a cui corrispondono i seguenti valori di resistenza caratteristica a compressione e resistenza di calcolo:



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



$$f_{ck} = 450 \text{ kg/cm}^2 - R_{ck} = 550 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{resistenza caratteristica a compressione}$$

ACCIAIO DI ARMATURA

Le armature saranno realizzate con barre di **acciaio del tipo B 450 C** ad aderenza migliorata e controllati in stabilimento per le quali si può assumere una tensione caratteristica di snervamento, rottura e calcolo:

$$f_{y,k} = 4500 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tensione di snervamento}$$

$$f_{y,nom} = 5400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tensione di rottura}$$

$$f_{cd} = 3913 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{resistenza di calcolo}$$

Per l'acciaio di armatura delle strutture in c.a. i valori dei rapporti (f_k/f_y) , assunti a base del calcolo, sono:

$$(f_k/f_y)_k \geq 1.13 \quad ; \quad (f_k/f_y)_k \leq 1.35$$

dove:

f_y = singolo valore della tensione di snervamento dell'acciaio;

f_{yk} = valore nominale di riferimento della tensione caratteristica di snervamento;

Inoltre deve verificarsi che il rapporto $(f_y/f_{y,nom})$, assunto a base del calcolo, sono:

$$(f_y/f_{y,nom}) \leq 1.25$$

Le suddette scelte progettuali in relazione ai materiali costruttivi, inducono ad operare nelle elaborazioni statiche con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Diagramma di calcolo sforzi-deformazioni ottenuto con:

⇒ calcestruzzo: diagramma parabola-rettangolo $\alpha = 0,85$

$$\gamma_c = 1,60 \quad \text{epsilon limite} \quad \varepsilon_{c1} = 2,0 \% \quad \varepsilon_{cu} = 3,5 \%$$

⇒ acciaio: diagramma elastico-perfettamente plastico

$$\gamma_c = 1,15 \quad \text{epsilon limite} \quad \varepsilon_{su} = 10,0 \%$$



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



ACCIAIO IN CARPENTERIA METALLICA

L'acciaio da carpenteria utilizzato è del tipo **S355 JR** per la quale si può assumere la seguente tensione caratteristica di snervamento e calcolo:

$$f_{y,k} = 3550 \text{ kg/cm}^2 \text{ tensione caratteristica di snervamento}$$

$$f_{t,k} = 5100 \text{ kg/cm}^2 \text{ tensione caratteristica di rottura}$$

I collegamenti verranno realizzati mediante bulloni della classe 10.9 con una tensione caratteristica di snervamento pari a 900 N/mm² e tensione caratteristica di rottura pari a 1000 N/mm², serrati con sistema antisvitamento (dado e controdado) con rondelle piane pal-nut e rosette antisvitamento mentre le saldature sono realizzate a filo continuo o ad arco con elettrodi tipo 4B UNI 5132.

7. METODOLOGIA DI CALCOLO

Per il **calcolo statico** in oggetto si utilizza il programma di calcolo CDS-WIN i cui risultati sono riportati in allegato alla presente.

SOFTWARE UTILIZZATO: CDSWin versione CDS full 2022 con licenza chiave n° 33338 intestata al sottoscritto prodotto dalla:

S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.

Via Tre Torri n°11 – Compl. Tre Torri

95030 Sant'Agata li Battiati (CT).

7.1 CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITA' DEI RISULTATI

Come previsto al punto **10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018** l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La validazione del codice di calcolo costituita dai test sui casi prova è fornita dalla S.T.S. s.r.l. a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



La S.T.S. s.r.l. a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti fornisce direttamente on-line i test sui casi prova:

(<http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm>).

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulle verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

7.2 VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITÀ

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare la coerenza geometrica e le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a trave continua.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

7.3 PRESTAZIONI ATTESE AL COLLAUDO

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al § 9 del D.M. 17.01.2018.

Ai fini della verifica delle prestazioni il collaudatore farà riferimento ai valori di tensioni, deformazioni e spostamenti desumibili dall'allegato fascicolo dei calcoli statici per il valore delle le azioni pari a quelle di esercizio.

7.4 MODALITA' DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Nella relazione di calcolo sono riportati alcuni diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione (momento, taglio, ecc.) che descrivono il comportamento strutturale della costruzione in oggetto.

Inoltre, al paragrafo dell'allegato STAMPA PROGETTO

S.L.U. - AZIONI S.L.V. -VERIFICA PIASTRE - QUOTA: ... ELEMENTO: ...

S.L.E. - VERIFICA PIASTRE - QUOTA: ... ELEMENTO: ...

S.L.U. - AZIONI S.L.V. -VERIFICA SHELLS - QUOTA: ... ELEMENTO: ...

S.L.E. - VERIFICA SHELLS - QUOTA: ... ELEMENTO: ...

vengono riportate in forma numerica le verifiche per ognuna delle pareti e delle piastre dalle quali si evincono i risultati del calcolo eseguito.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



7.5 INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE

Le analisi e le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite (SLU ed SLE) utilizzando i coefficienti parziali della normativa di cui al DM 17.01.2018 come in dettaglio specificato nei tabulati di calcolo.

L'analisi delle sollecitazioni è stata effettuata in campo elastico lineare, per l'analisi sismica si è effettuata una analisi statica lineare.

La struttura è stata modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

In particolare le travi ed i pilastri sono schematizzati con elementi trave a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite.

Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali.

Per gli elementi strutturali bidimensionali quali pareti a taglio, setti, nuclei irrigidenti, piastre o superfici generiche viene utilizzato un modello finito a 3 o 4 nodi di tipo **shell** che modella sia il comportamento membranale (lastra) che flessionale (piastra).

Tale elemento finito di tipo isoparametrico viene modellato con funzioni di forma di tipo polinomiale che rappresentano una soluzione congruente ma non esatta nello spirito del metodo FEM.

Per questo tipo di elementi finiti la precisione dei risultati ottenuti dipenderà quindi dalla forma e densità della MESH, si ricorda che il calcolo agli elementi finiti è per sua natura un calcolo approssimato.

Il metodo è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne.

La precisione nel calcolo delle tensioni è inferiore a quella ottenuta nel calcolo degli spostamenti, inoltre è fortemente dipendente dalla mesh.

Le verifiche saranno effettuate sia direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio, mentre per le azioni dovute al sisma ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica, sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale (muro a taglio, trave accoppiamento, etc..).



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Nel modello vengono tenuti in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

La presenza di eventuali orizzontamenti è tenuta in conto o con vincoli cinematici rigidi o modellando la soletta con elementi SHELL.

L'analisi delle sollecitazioni viene condotta in fase elastica lineare tenendo conto eventualmente degli effetti del secondo ordine.

Le sollecitazioni derivanti dalle azioni sismiche possono essere ottenute sia da analisi statiche equivalenti che da analisi dinamiche modali.

I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno sono modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

7.6 METODO DI CALCOLO

Per il calcolo delle **strutture in oggetto** si è utilizzato il programma di calcolo **CDS-WIN** i cui risultati sono riportati in allegato alla presente.

I metodi di calcolo adottati per il calcolo sono i seguenti:

- 1) Per i carichi statici: *METODO DELLE DEFORMAZIONI*;
- 2) Per i carichi sismici: metodo dell'*ANALISI SISMICA STATICA NODALE*.

Per lo svolgimento del calcolo si è accettata l'ipotesi che, in corrispondenza dei piani sismici, i solai siano infinitamente rigidi nel loro piano e che le masse ai fini del calcolo delle forze di piano siano concentrate alle loro quote.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



- **CALCOLO SPOSTAMENTI E CARATTERISTICHE**

Il calcolo degli spostamenti e delle caratteristiche viene effettuato con il metodo degli elementi finiti (F.E.M.).

Possono essere inseriti due tipi di elementi:

- 1) Elemento monodimensionale asta (*beam*) che unisce due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà. Per maggiore precisione di calcolo, viene tenuta in conto anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi. Queste aste, inoltre, non sono considerate flessibili da nodo a nodo ma hanno sulla parte iniziale e finale due tratti infinitamente rigidi formati dalla parte di trave inglobata nello spessore del pilastro; questi tratti rigidi forniscono al nodo una dimensione reale.
- 2) L'elemento bidimensionale shell (*quad*) che unisce quattro nodi nello spazio. Il suo comportamento è duplice, funziona da lastra per i carichi agenti sul suo piano, da piastra per i carichi ortogonali.

Assemblate tutte le matrici di rigidezza degli elementi in quella della struttura spaziale, la risoluzione del sistema viene perseguita tramite il *metodo di Cholesky*.

Ai fini della risoluzione della struttura, gli spostamenti X e Y e le rotazioni attorno l'asse verticale Z di tutti i nodi che giacciono su di un impalcato dichiarato rigido sono mutuamente vincolati.

- **ANALISI SISMICA DINAMICA A MASSE CONCENTRATE**

L'analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle "iterazioni nel sottospazio". I modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell'85% della massa totale della struttura.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si sono valutate le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti). Per la verifica della struttura si è fatto riferimento all'analisi modale, pertanto sono prima calcolate le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi viene calcolato il loro valore efficace.

I valori stampati nei tabulati finali allegati sono proprio i suddetti valori efficaci e pertanto l'equilibrio ai nodi perde di significato. I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinati linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



di calcolo. Gli angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all'asse X del sistema di riferimento globale.

• VERIFICHE

Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limite ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

In fase di verifica è stato differenziato l'elemento trave dall'elemento pilastro. Nell'elemento trave le armature sono disposte in modo asimmetrico, mentre nei pilastri sono sempre disposte simmetricamente.

Per l'elemento trave, l'armatura si determina suddividendola in cinque conci in cui l'armatura si mantiene costante, valutando per tali conci le massime aree di armatura superiore ed inferiore richieste in base ai momenti massimi riscontrati nelle varie combinazioni di carico esaminate.

Anche l'elemento pilastro viene scomposto in cinque conci in cui l'armatura si mantiene costante. Vengono però riportate le armature massime richieste nella metà superiore (testa) e inferiore (piede). La fondazione su travi rovesce è risolta contemporaneamente alla sovrastruttura tenendo in conto sia la rigidezza flettente che quella torcente, utilizzando per l'analisi agli elementi finiti l'elemento asta su suolo elastico alla *Winkler*.

Le travate possono incrociarsi con angoli qualsiasi e avere dei disassamenti rispetto ai pilastri su cui si appoggiano.

La ripartizione dei carichi, data la natura matriciale del calcolo, tiene automaticamente conto della rigidezza relativa delle varie travate convergenti su ogni nodo.

Le verifiche per gli elementi bidimensionali (setti) vengono effettuate sovrapponendo lo stato tensionale del comportamento a lastra e di quello a piastra. Vengono calcolate le armature delle due facce dell'elemento bidimensionale disponendo i ferri in due direzioni ortogonali.

• SISTEMI DI RIFERIMENTO

1) SISTEMA GLOBALE DELLA STRUTTURA SPAZIALE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



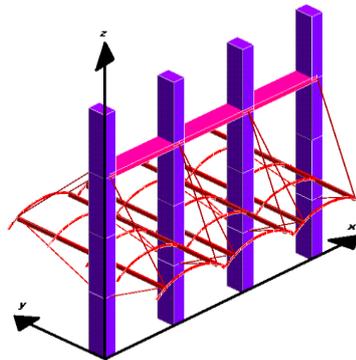
LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

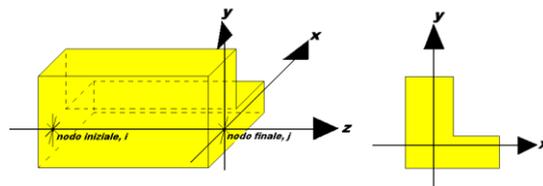


Il sistema di riferimento globale è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali (O-XYZ) dove l'asse Z rappresenta l'asse verticale rivolto verso l'alto. Le rotazioni sono considerate positive se concordi con gli assi vettori:



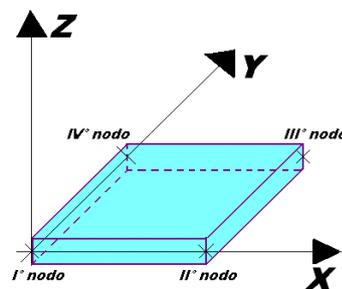
2) SISTEMA LOCALE DELLE ASTE

Il sistema di riferimento locale delle aste, inclinate o meno, è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali che ha l'asse Z coincidente con l'asse longitudinale dell'asta ed orientamento dal nodo iniziale al nodo finale, gli assi X ed Y sono orientati come nell'archivio delle sezioni:



3) SISTEMA LOCALE DELL'ELEMENTO SHELL

Il sistema di riferimento locale dell'elemento shell è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali che ha l'asse X coincidente con la direzione fra il primo ed il secondo nodo di input, l'asse Y giacente nel piano dello shell e l'asse Z in direzione dello spessore:



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



• **UNITÀ DI MISURA**

Si adottano le seguenti unità di misura:

- [lunghezze] = m
- [forze] = kgf / daN
- [tempo] = sec
- [temperatura] = °C

• **CONVENZIONI SUI SEGNI**

I carichi agenti sono:

- 1) Carichi e momenti distribuiti lungo gli assi coordinati;
- 2) Forze e coppie nodali concentrate sui nodi.

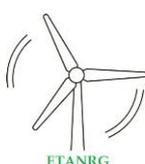
Le forze distribuite sono da ritenersi positive se concordi con il sistema di riferimento locale dell'asta, quelle concentrate sono positive se concordi con il sistema di riferimento globale.

I gradi di libertà nodali sono gli omologhi agli enti forza, e quindi sono definiti positivi se concordi a questi ultimi.

• **COMBINAZIONI DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE**

Le azioni definite come al § 2.5.1 delle NTC 2018 sono state combinate in accordo a quanto definito al § 2.5.3. applicando i coefficienti di combinazione come di seguito definiti:

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

• **AZIONI AMBIENTALI E NATURALI**

Si è concordato con il Committente che le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche siano verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

Stati Limite PVR:		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del D.M. 17 gennaio 2018 § 3.2.3. sono stati definiti i seguenti termini:

- Vita Nominale



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



- Classe d'Uso;
- Categoria del suolo;
- Coefficiente Topografico;
- Latitudine e longitudine del sito oggetto di edificazione

Tali valori sono stati utilizzati da apposita procedura informatizzata sviluppata dalla STS s.r.l., che, a partire dalle coordinate del sito oggetto di intervento, fornisce i parametri di pericolosità sismica da considerare ai fini del calcolo strutturale, riportati nei tabulati di calcolo.

- **DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE**

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si è fatto riferimento alla tabella del D.M. 17.01.2018 in funzione della destinazione d'uso.

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²]
- carichi verticali concentrati Q_k [kN]
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad altri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

I valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k ed H_k di riferimento sono riportati nella Tab. 3.1.II. delle NTC 2018. In presenza di carichi verticali concentrati Q_k essi sono stati applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento, in generale con forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali i carichi si sono applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti assialmente di 1,80 m.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

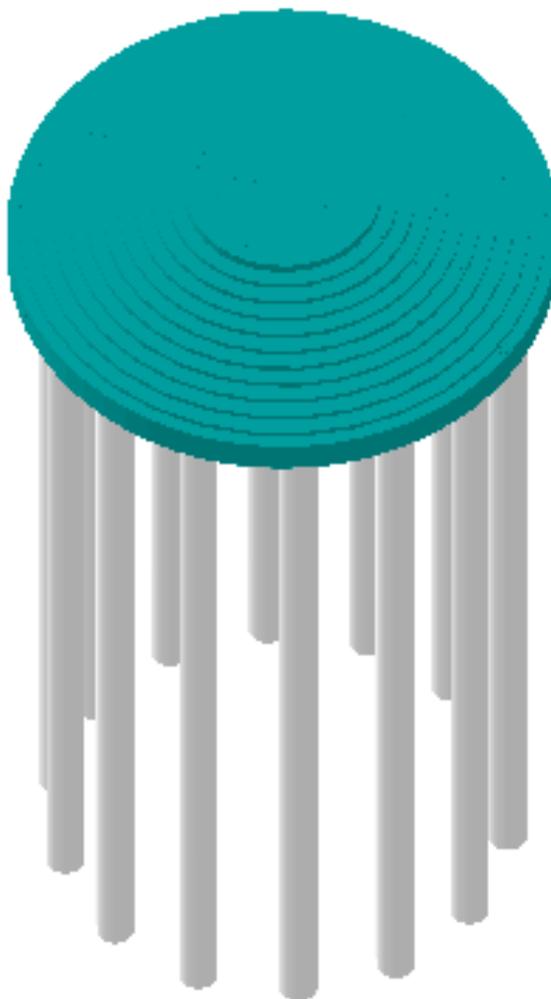


Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

8. SCHEMA DI CALCOLO E RIEPILOGO CARICHI PLINTO AEROGENERATORE



Si riporta di seguito un Riepilogo dei carichi utilizzati nel prosieguo.

Tipo di carico	
Peso calcestruzzo	2500 kg/m ³
Classe d'uso	IV
Longitudine Est	9.17
Latitudine Nord	39.46



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

Categoria suolo	A
Coefficiente topografia	1.00
Peso specifico del terreno in sito	1900 kg/m ³
Angolo di attrito del terreno in sito	22°
Costante K di winkler	1 kg/cm ²



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



9. ANALISI DEI CARICHI PLINTO AEROGENERATORE

Un'accurata valutazione dei carichi e un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica. La valutazione dei carichi e sovraccarichi agenti sulla fondazione e dei carichi e sovraccarichi derivanti dalla sovrastruttura, e stata effettuata in accordo con le disposizioni del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".

9.1 PESO PROPRIO

- Peso calcestruzzo 2500 kg/m³
- Peso specifico del terreno in sito 1900 kg/m³

9.2 CARICHI FISSI E PERMANENTI

- Peso proprio della fondazione;
- Peso proprio della torre eolica;

9.3 CARICHI ACCIDENTALI

Azione del vento

La pressione del vento in ottemperanza alle normative vigenti in materia è data dalla seguente espressione:

$$P = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

dove:

P è la pressione sulla superficie;

q_b è pressione cinetica di riferimento (N/m²) = ½*ρ*v_b²

dove:

v_b è la velocità di riferimento del vento in m/s =28 m/s

Zona 3 ; Altitudine > 500 m s.l.m.m.

ρ= 1.25 kg/m³ è la densità dell'aria



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



c_e è il coefficiente di esposizione.

C_f è il coefficiente di forma.

c_d è il coefficiente dinamico.

Si riporta di seguito il calcolo del vento:

Carico da neve

L'azione della neve è stata ricavata come previsto dalla normativa vigente e perciò valutata con la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t$$

in cui:

q_s carico neve sulla copertura

μ_i coefficiente di forma della copertura

q_{sk} valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo

C_E coefficiente di esposizione

C_t coefficiente termico

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

La struttura in esame è localizzata ad una quota inferiore ai 1500 m sul livello del mare, pertanto, non risulta necessario fare riferimento a caratteristiche locali del clima, ma si può adoperare la metodologia proposta dalla normativa vigente per un periodo di ritorno di 200 anni.

La zona da prendere a riferimento è la n° 3 per la quale, per quote del suolo sul livello del mare del sito in esame $a_s > 200$ mt, vale il seguente valore:

$$q_{sk} = 0,60 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Il coefficiente di forma si assume pari a quello stabilito dalla normativa vigente NTC2018.

Il coefficiente di esposizione C_E deve essere utilizzato per modificare il valore del carico da neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area nella quale sorge l'opera. Nel caso in esame è possibile affermare che siamo in normali condizioni e pertanto è lecito assumere $C_E = 1$.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Nel caso in esame è possibile assumere $C_t = 1$.

Azione sismica

L'azione sismica e quindi lo spettro di risposta di progetto è valutata direttamente dal software di calcolo una volta impostati i seguenti parametri:

Analisi sismica

La tipologia scelta per il tipo di struttura è la **dinamica nodale**.

Vita nominale

La vita nominale V_N è il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in esame è lecito assumere **$V_N = 50$ anni**

Classe d'uso

La classe d'uso tiene conto delle conseguenze legate ad una interruzione di operatività o di un eventuale collasso della costruzione oggetto del calcolo rispetto alle attività della società pubblica. Nel caso in esame è lecito assumere come **classe d'uso la IV**.

Coordinate geografiche

Le coordinate geografiche servono per valutare la zona sismica in oggetto e quindi i parametri che intervengono nel calcolo dello spettro di risposta. Nel caso in esame si ha:

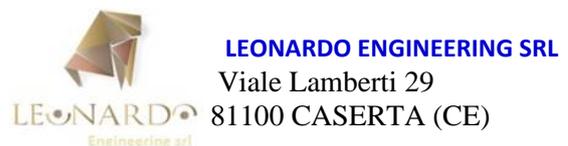
Longitudine Est	9.17
Latitudine Nord	39.46

Categoria suolo

Nella definizione dell'azione sismica di progetto viene considerata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie. In particolare la vigente normativa identifica cinque diverse categorie del suolo di fondazione denominate con lettere da A ad E.

Nel caso in esame, in accordo con la relazione geologica è lecito assumere: **Categoria A**

Coefficiente topografia





ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

Nel caso in esame l'inclinazione media del pendio può considerarsi inferiore di 15° e pertanto ricade nella **categoria topografica T1** dove corrisponde un **coefficiente di topografia S_T pari a 1.00**.



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



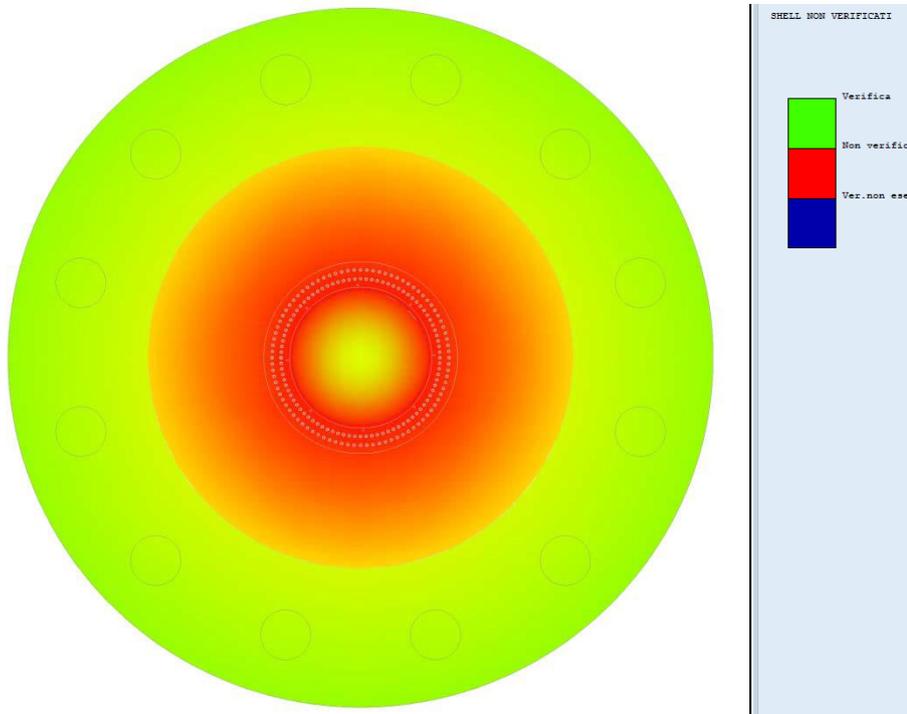
REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

10.RISULTATI DEL CALCOLO PLINTO AEROGENERATORE

Come specificato nel paragrafo dedicato alla metodologia di calcolo la progettazione della struttura è stata condotta grazie all'ausilio del programma di calcolo CDS-WIN e pertanto si rimanda all'allegato apposito per tutti gli approfondimenti riguardo le caratteristiche della sollecitazione.

Dall'analisi di calcolo riportata nei tabulati, si evince che le sezioni costituenti il modello di calcolo della struttura sono verificate.

Si riporta di seguito a titolo esemplificativo:



VERIFICA GENERALE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"

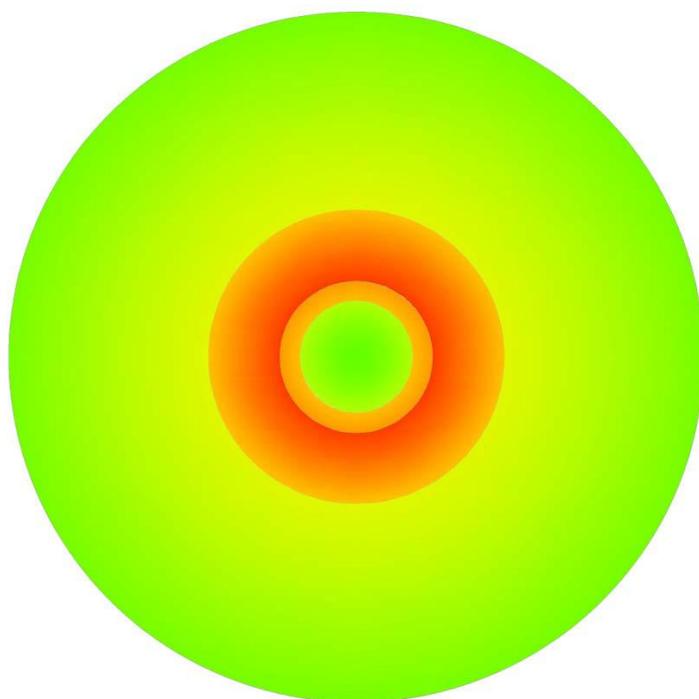
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



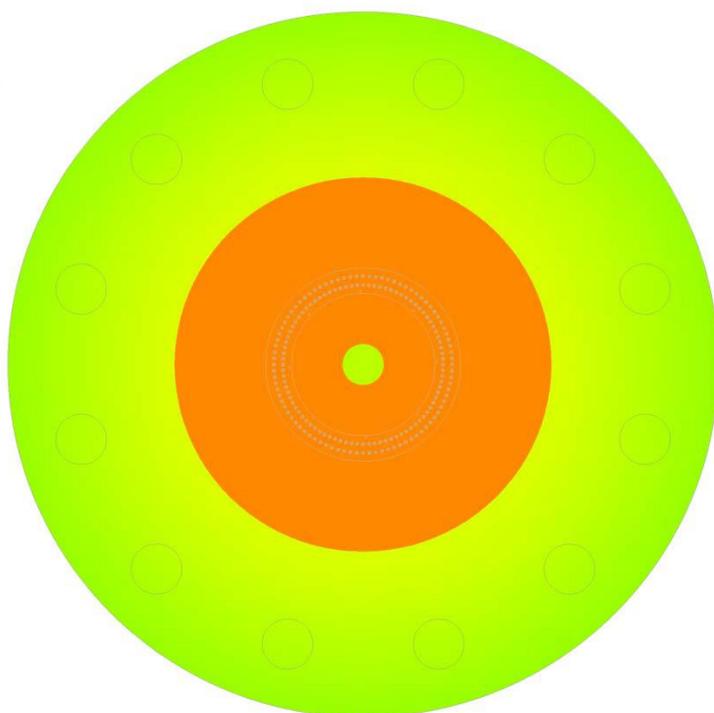
Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA



VERIFICA A TAGLIO



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

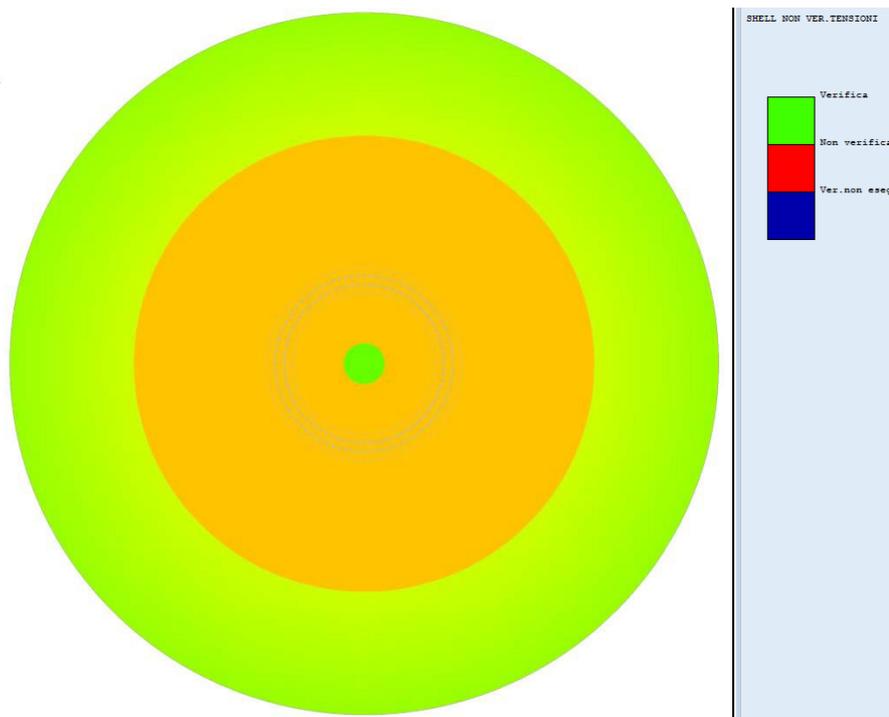


Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

VERIFICA A FESSURAZIONE



VERIFICA TENSIONI SLE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"

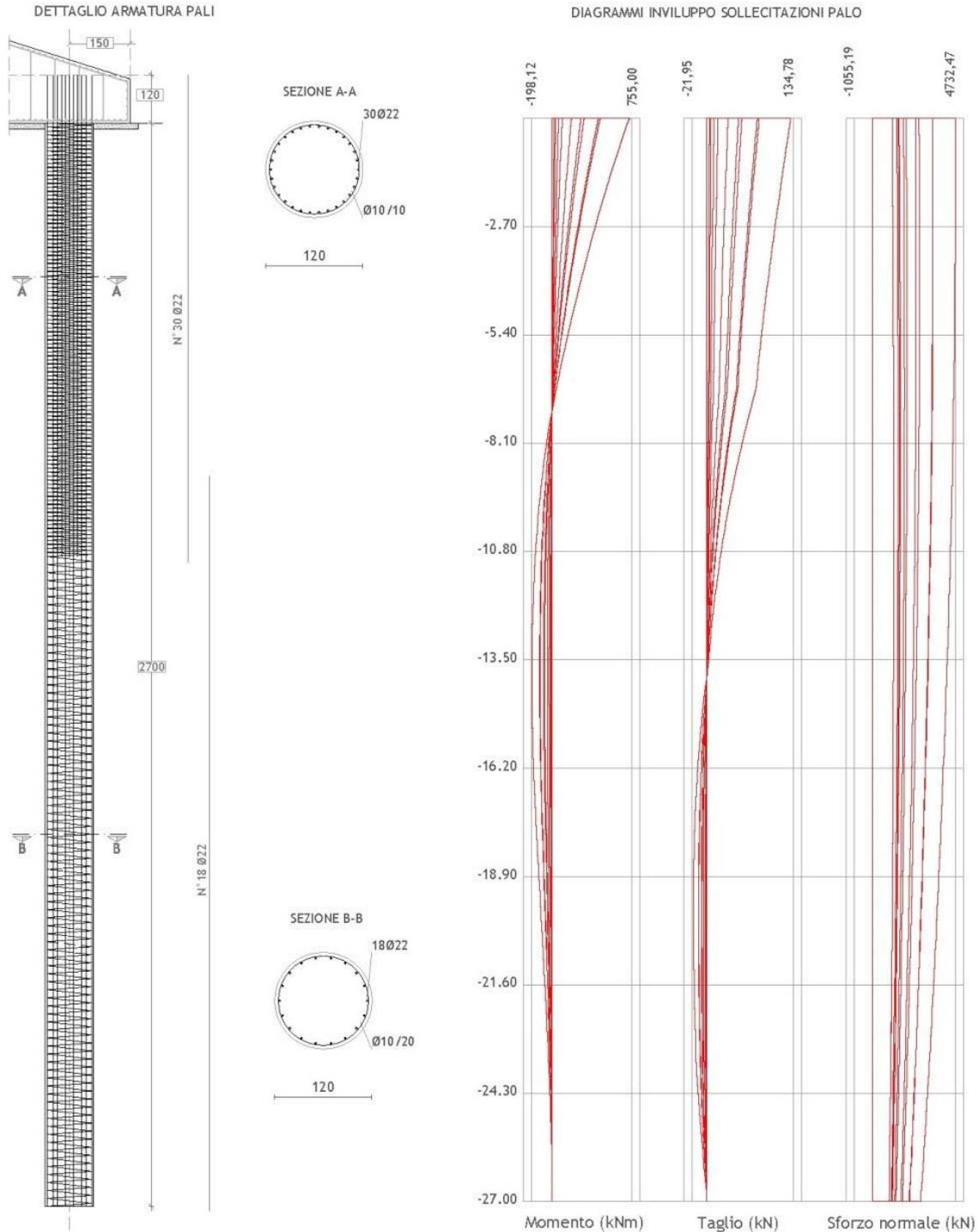
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA



PALI FONDAZIONE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

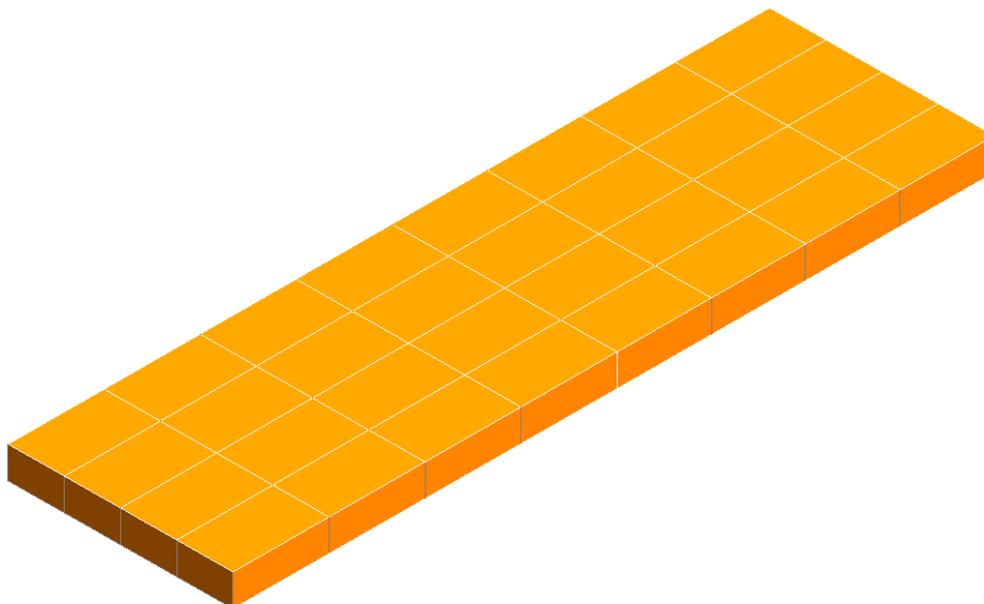


Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

11.SCHEMA DI CALCOLO E RIEPILOGO CARICHI PLATEA CABINA UTENTE



Si riporta di seguito un Riepilogo dei carichi utilizzati nel prosieguo.

Tipo di carico	
Peso calcestruzzo	2500 kg/m ³
Classe d'uso	IV
Longitudine Est	15.10
Latitudine Nord	41.10
Categoria suolo	B
Coefficiente topografia	1.00
Peso specifico del terreno in sito	1900 kg/m ³
Angolo di attrito del terreno in sito	22°
Costante K di winkler	1 kg/cm ²



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



12. ANALISI DEI CARICHI PLATEA CABINA UTENTE

12.1 PESO PROPRIO

- Peso calcestruzzo 2500 kg/m³
- Peso specifico del terreno in sito 1900 kg/m³

12.2 CARICHI FISSI E PERMANENTI

- Peso della cabina prefabbricata completa di vasca pari a 2000 kg/m²

12.3 CARICHI ACCIDENTALI

- Sommando i Sovraccarichi accidentali applicati sulla cabina prefabbricata quali peso delle apparecchiature, carico da neve applicato in copertura, carico applicato al piano per la destinazione d'uso a cui è destinato è valutato pari a 1000 kg/m²

13. RISULTATI DEL CALCOLO PLATEA CABINA UTENTE

Come specificato nel paragrafo dedicato alla metodologia di calcolo la progettazione della struttura è stata condotta grazie all'ausilio del programma di calcolo CDS-WIN e pertanto si rimanda all'allegato apposito per tutti gli approfondimenti riguardo le caratteristiche della sollecitazione.

Dall'analisi di calcolo riportata nei tabulati, si evince che le sezioni costituenti il modello di calcolo della struttura sono verificate.

Si riporta di seguito a titolo esemplificativo:



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



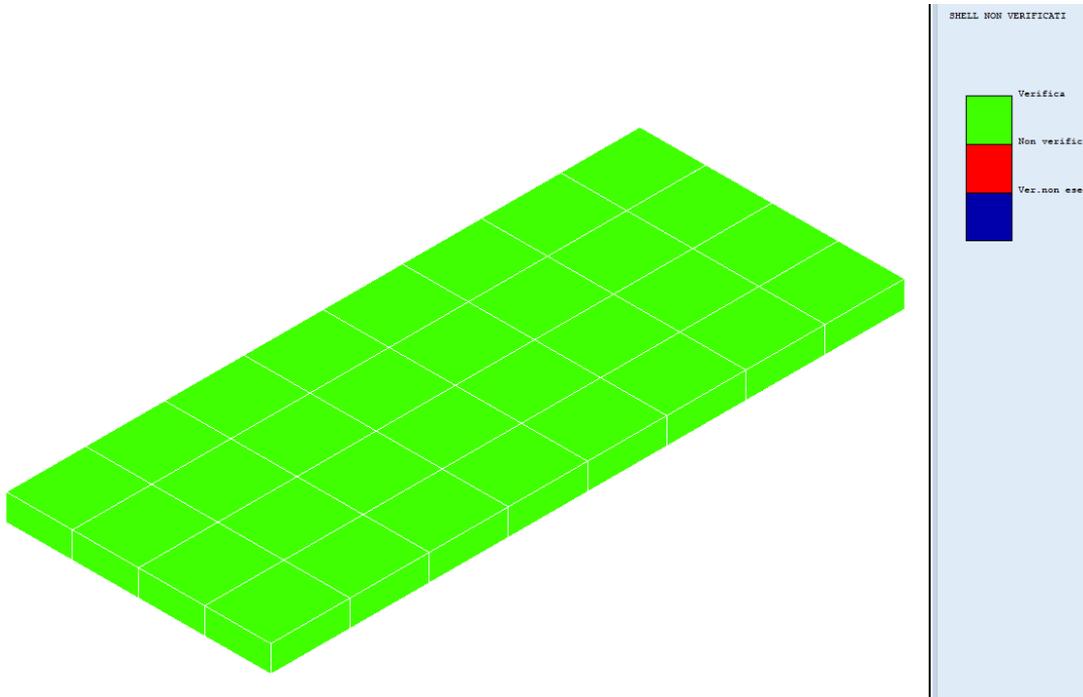
PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
 11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
 POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



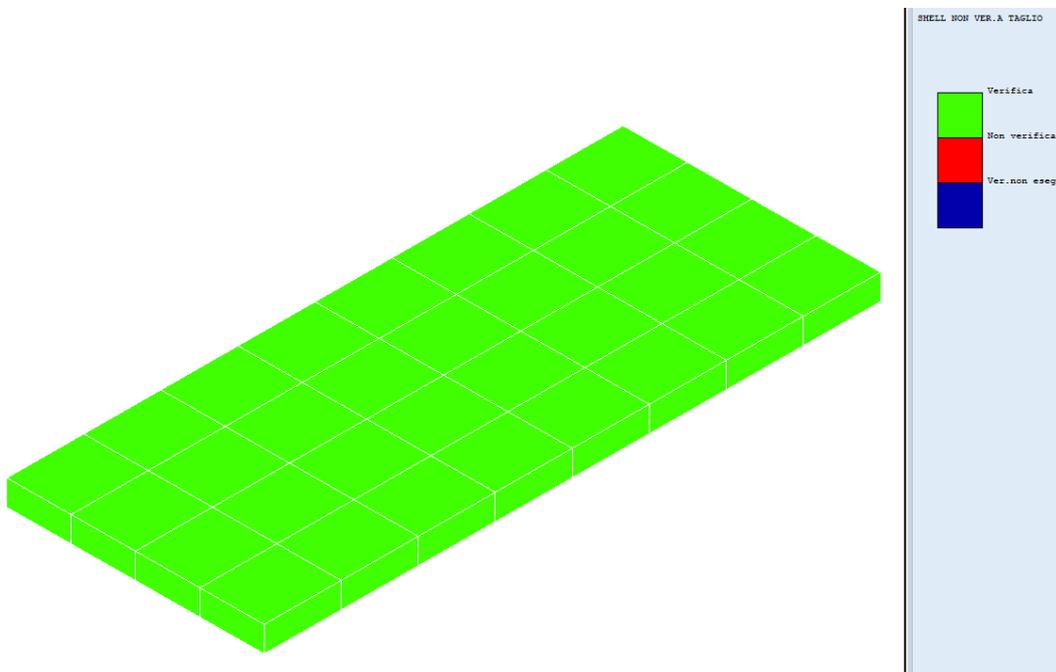
**Provincia del
Sud Sardegna**



**REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA**



VERIFICA GENERALE



VERIFICA A TAGLIO



ETANRG SRL
 Via Pietro Cossa
 20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
 Viale Lamberti 29
 81100 CASERTA (CE)



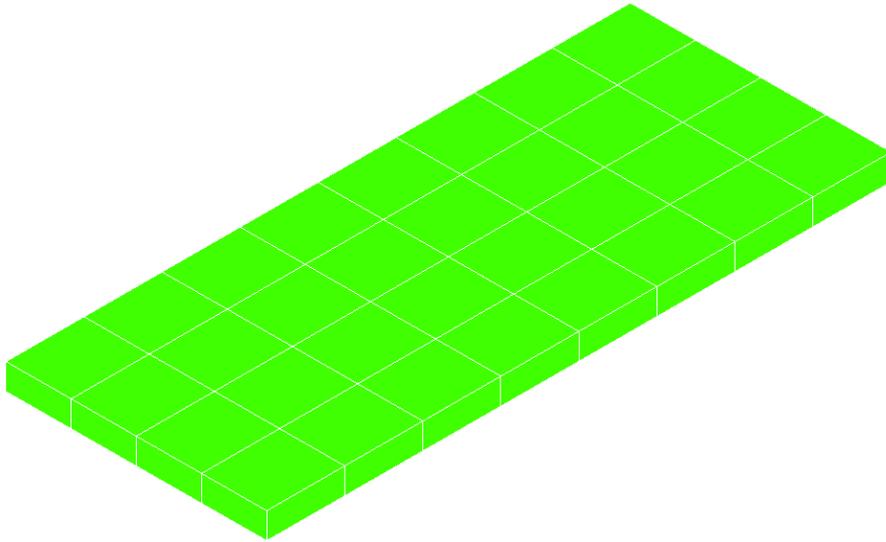
PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
 11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
 POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



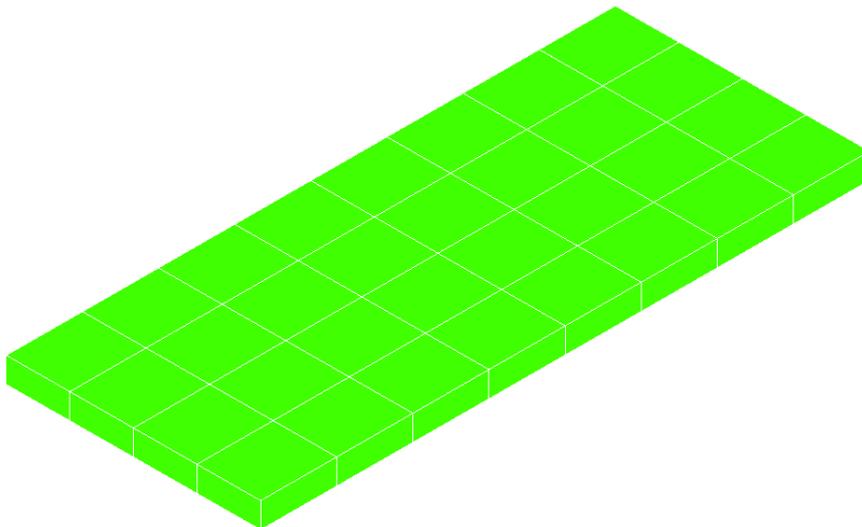
**Provincia del
Sud Sardegna**



**REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA**



VERIFICA A FESSURAZIONE



VERIFICA TENSIONI SLE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)



ESTERZILI



ESCALAPLANO

PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Provincia del
Sud Sardegna



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

14.CONCLUSIONI

Il sottoscritto progettista strutturale visti i risultati delle verifiche ottenute dai calcoli effettuati, dichiara che la struttura è verificata ai sensi della L.1086/71 e L.64/74, nonché dei D.M. 17/01/2018.

IL PROGETTISTA STRUTTURALE



ETANRG SRL
Via Pietro Cossa
20122 MILANO (MI)



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29
81100 CASERTA (CE)