

"PARCO EOLICO FLORINAS (SS)"

Progetto per la realizzazione di un parco eolico con potenza pari a 48 MW
sito nel Comune di Florinas (SS)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA

SCALA

COMMESSA

SVIL-1000183613

CODIFICA DOCUMENTO

FLO-PD-REL-02-R00

4					
3					
2					
1					
0	PRIMA EMISSIONE	Dicembre 2023	VB	EG	MG
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

Questo disegno non può essere riprodotto, nè utilizzato altrove, nè ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori

INDICE

1. PREMESSA	2
2. IL SITO	3
2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI	3
2.2 INQUADRAMENTO URBANISTICO	7
3. L'IMPIANTO EOLICO	8
3.1 GENERALITA'	8
3.2 LAYOUT IMPIANTO	9
3.3 AEROGENERATORI	9
4. INFRASTRUTTURE ED OPERE CIVILI	13
4.1 FONDAZIONI AEROGENERATORI	13
4.2 PIAZZOLE AEROGENERATORI	15
4.3 STRADE DI ACCESSO E VIABILITÀ DI SERVIZIO	16
4.4 RILEVATI E SOVRASTRUTTURE – BONIFICHE E SOTTOFONDI	20
4.4.1 Rilevati aridi e soprastrutture per piazzole e strade	20
4.4.2 Sovrastrutture per piazzole e strade	20
4.4.3 Sistemazione del piano di posa	21
4.4.4 Pavimentazione con materiale arido	23
5. VERIFICA GEOTECNICA DELLA FONDAZIONE STRADALE	25
5.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE STRADE E DELLE PIAZZOLE	25
5.2 VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA (METODO AASHTO)	29
5.3 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE	34
6. OPERE IDRAULICHE	35
7. CAVIDOTTI	36
7.1 GENERALITÀ	36
7.2 SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE	36
7.3 LINEE ELETTRICHE MT DI COLLEGAMENTO	38
8. STAZIONE DI TRASFORMAZIONE AT/MT	39
8.1 UBICAZIONE E VIABILITÀ DI ACCESSO	39
8.2 LAYOUT STAZIONE UTENTE	39
9. OPERE DI INGEGNERIA AMBIENTALE	42
10. MATERIALI DI SCAVO E RIUTILIZZO	43

1. PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "Florinas (SS)" composto da 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,0 MW, per una potenza complessiva di 48 MW, ubicato nel comune di Florinas(SS) e proposto dalla società Edison Rinnovabili S.p.A., facente parte del Gruppo Edison, con sede legale in Milano via Foro Buonaparte 31, 20121.

Il modello tipo di aerogeneratore scelto avrà potenza nominale di 6,0 MW, con diametro rotore fino a 155 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questa tipologia di aerogeneratore è allo stato attuale quella ritenuta più idonea per il sito di progetto dell'impianto. Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade Sa Pedraia (FLO-01), Sadde Senida (FLO-02), Sa Punta de Sas Baddes (FLO-03 e FLO-04), Coladolzos (FLO-05 e FLO-06), Banzos (FLO-07), Peru Saddu (FLO-08).

Oltre che degli aerogeneratori, il progetto si compone dei seguenti elementi:

- elettrodotto interrato MT da 30 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione di trasformazione utente 30/150 kV ed ubicato nei Comuni di Florinas in via Roma 96-102
- stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV;
- un cavidotto interrato AT a 150 kV lungo circa 500 m che collegherà al SSE, con la stazione TERNA RTN "Florinas";
- futuro ampliamento (previsto da Piano di Sviluppo Terna) della Stazione Elettrica (SE) di Smistamento a 150 kV della RTN denominata "Florinas".

Si precisa che la progettazione del futuro ampliamento della stazione elettrica di Terna 150 KV "Florinas" (previsto da Piano di Sviluppo Terna) riportata nella documentazione progettuale, sarà integrata al seguito del benessere Terna.

La seguente relazione descrittiva riporta le caratteristiche tecniche dell'impianto.

2. IL SITO

2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade Sa Pedraia (FLO-01), Sadde Senida (FLO-02), Sa Punta de Sas Baddes (FLO-03 e FLO-04), Coladolzos (FLO-05 e FLO-06), Banzos (FLO-07), Peru Saddu (FLO-08).

Di seguito cartografie e fogli di mappa catastali interessati dalle opere:

IGM 25 K:

- 193_IV_NE Florinas

CTRN 10K WGS84:

- 459120
- 459160
- 460090
- 460130

Catastali

Comune di Florinas

- 10, 19, 20, 21

Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 32 WGS84 degli aerogeneratori:

NOME	EST	NORD	Riferimenti catastali
FLO-01	472074,70	4497973,91	Florinas Foglio 21, p.lla: 3
FLO-02	472926,00	4496121,00	Florinas Foglio 26, p.lla: 31-35
FLO-03	472205,42	4496375,64	Florinas Foglio 20, p.lla: 52
FLO-04	471714,61	4496061,13	Florinas Foglio 20, p.lle: 38
FLO-05	471260,49	4496453,93	Florinas Foglio 19, p.lla: 52
FLO-06	471016,28	4496918,36	Florinas Foglio 19, p.lla: 39
FLO-07	471005,12	4497406,34	Florinas Foglio 19, p.lla: 7
FLO-08	469893,85	4498678,45	Florinas Foglio 10, p.lla: 77

Tabella 1 - Coordinate aerogeneratori nel sistema UTM 32 WGS84

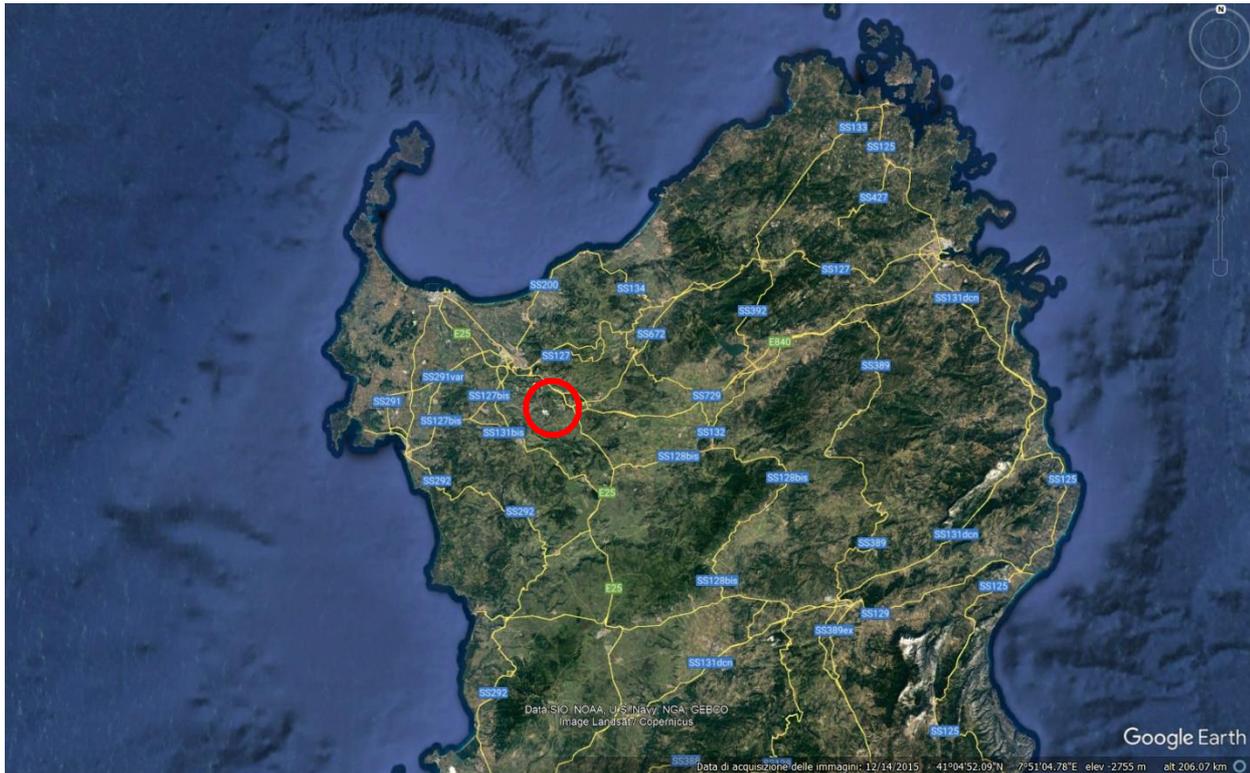


Figura 1 - Ubicazione area di impianto da satellite

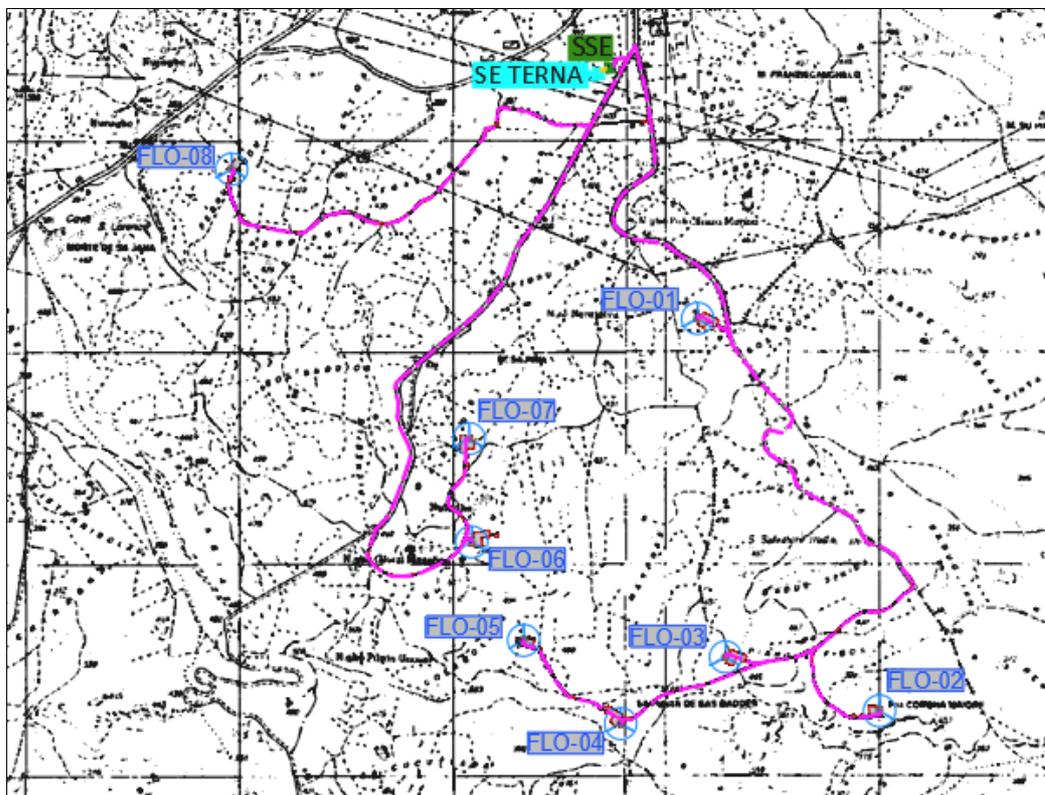


Figura 2 - Inquadramento impianto su IGM 1:25.000

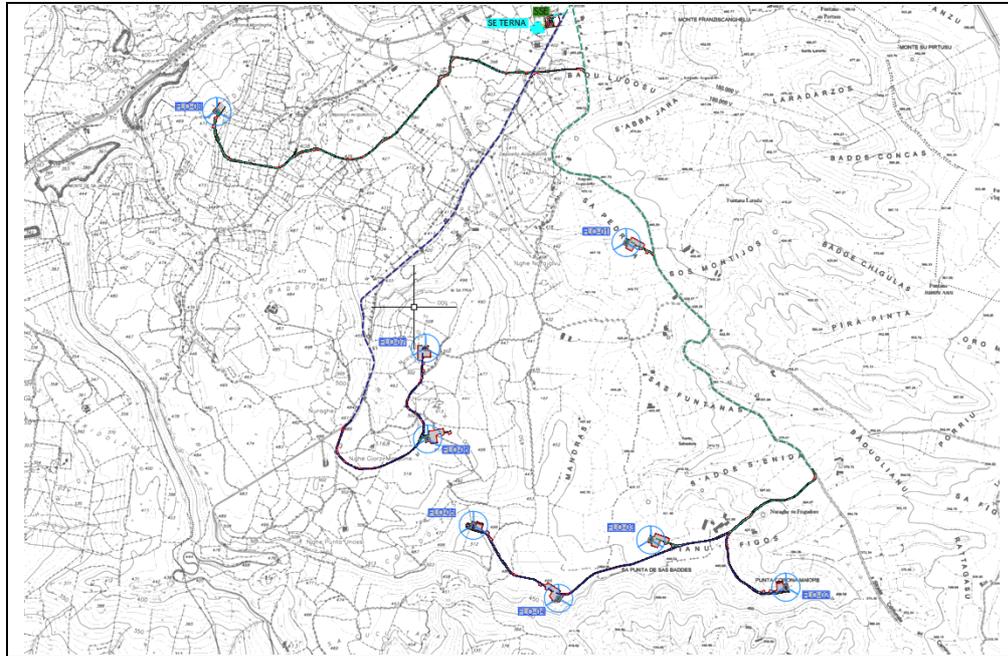


Figura 3 - Inquadramento impianto su CTR 1:10.000

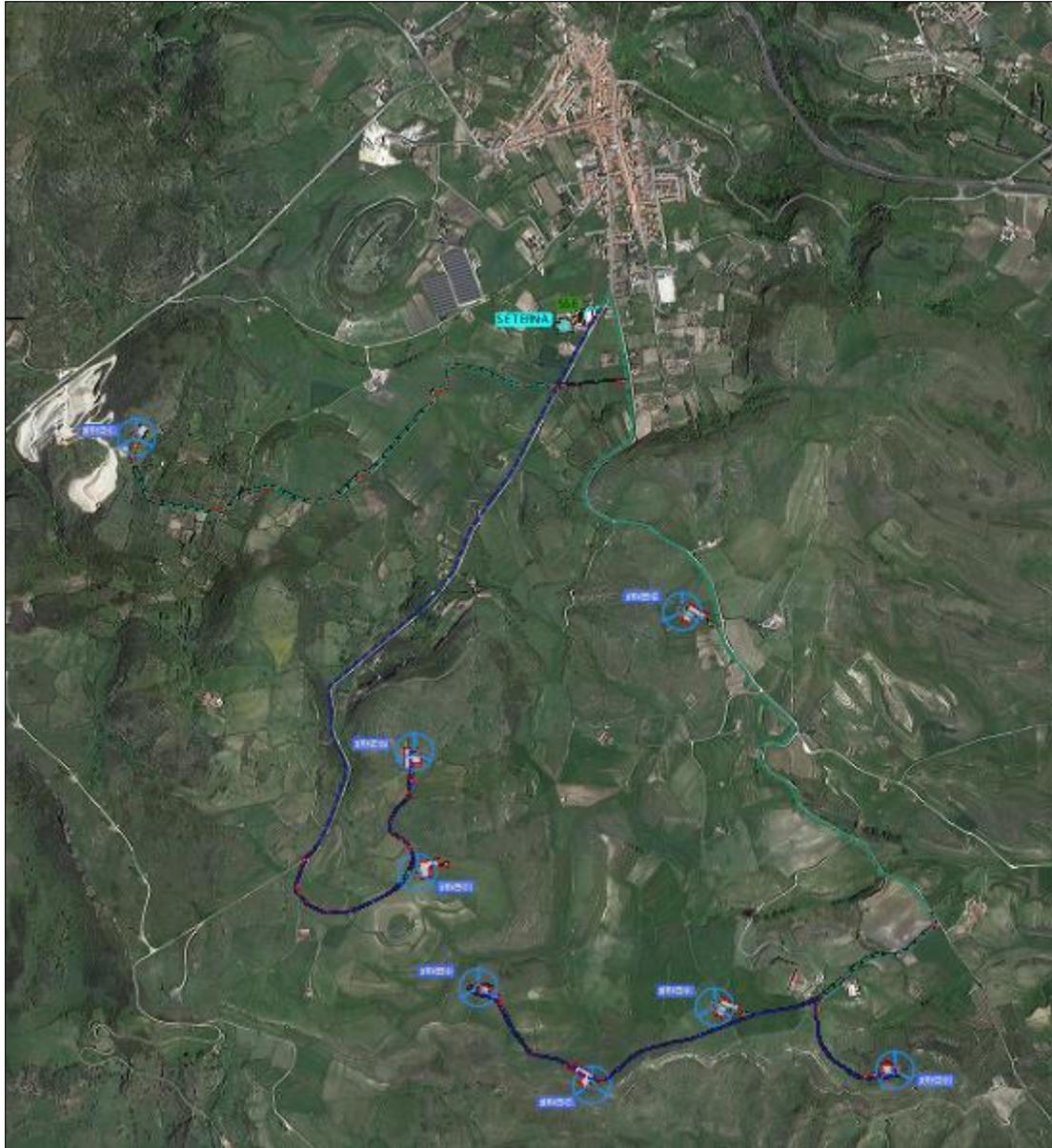


Figura 4 - Inquadramento impianto su ortofoto



Figura 5 - Inquadramento impianto su google 3D

2.2 INQUADRAMENTO URBANISTICO

Per il dettaglio si rinvia a quanto puntualmente indicato nello Studio di Impatto Ambientale.

3. L'IMPIANTO EOLICO

3.1 GENERALITA'

L'impianto eolico è composto da aerogeneratori indipendenti, opportunamente disposti e collegati in relazione alla disposizione dell'impianto, dotati di generatori asincroni trifasi. Ogni generatore è topograficamente, strutturalmente ed elettricamente indipendente dagli altri anche dal punto di vista delle funzioni di controllo e protezione.

Gli aerogeneratori sono interconnessi da un cavo MT e a loro volta si connettono alla sottostazione tramite un cavidotto interrato. Nella stessa sottostazione sarà ubicato il sistema di monitoraggio, comando, misura e supervisione (MCM) dell'impianto eolico che consente di valutare in remoto il funzionamento complessivo e le prestazioni dell'impianto ai fini della sua gestione.

Non saranno necessarie cabine elettriche prefabbricate a base torre, in quanto le apparecchiature saranno direttamente installate all'interno della navicella della torre di sostegno dell'aerogeneratore.

Questo comporterà un minore impatto dell'impianto con il paesaggio circostante.

All'interno della torre saranno installati:

- *l'arrivo cavo BT (690 V) dal generatore eolico al trasformatore,*
- *il trasformatore MT-BT (0,69/30),*
- *il sistema di rifasamento del trasformatore,*
- *la cella MT (30 kV) di arrivo linea e di protezione del trasformatore,*
- *il quadro di BT (690 V) di alimentazione dei servizi ausiliari,*
- *quadro di controllo locale.*

L'impianto Eolico sarà costituito da n° 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza massima da 6,0 MW, corrispondenti ad una potenza installata massima di 48,00 MW.

Per la sua realizzazione sono quindi da prevedersi le seguenti opere ed infrastrutture:

- opere civili: comprendenti l'esecuzione dei plinti di fondazione delle macchine eoliche, la realizzazione delle piazzole degli aerogeneratori, l'adeguamento/ampliamento della rete viaria esistente nel sito e la realizzazione della viabilità di servizio interna all'impianto;
- opere impiantistiche: comprendenti l'installazione degli aerogeneratori e l'esecuzione dei collegamenti elettrici in cavidotti interrati tra i singoli aerogeneratori, tra gli aerogeneratori, l'edificio di consegna e la sottostazione elettrica di trasformazione.

Tutte le opere in conglomerato cementizio armato e quelle a struttura metallica sono state progettate e saranno realizzate secondo quanto prescritto dalle Norme Tecniche vigenti relative alle leggi sopracitate, così pure gli impianti elettrici

3.2 LAYOUT IMPIANTO

L'impianto eolico è composto da otto aerogeneratori, ubicati nel Comune di Florinas (SU).

Le postazioni degli aerogeneratori sono costituite da piazzole accessibili da una viabilità d'impianto. I dispositivi elettrici di trasformazione BT/MT degli aerogeneratori saranno alloggiati all'interno delle navicelle. Pertanto, non sono previste costruzioni di cabine di macchina.

Gli aerogeneratori sono collocati lungo crinali, ovvero su poggi/altipiani, mantenendo in tal modo inalterato l'equilibrio idrogeologico.

A tal uopo è prevista un'ideale sistemazione idraulica, mediante opere di regimazione delle acque superficiali e meteoriche, al fine di assicurarne il recapito presso gli esistenti impluvi naturali.

Detta sistemazione idraulica interesserà l'intero impianto, sia nelle zone d'installazione delle piazzole, sia nelle zone interessate dalla viabilità di progetto.

La fondazione stradale sarà realizzata con un misto granulometrico stabilizzato, ad effetto auto-agglomerante e permeabile allo stesso tempo.

Nella costruzione delle strade previste in progetto e nella sistemazione delle strade esistenti, non sarà attuato alcun artificio che impedisca il libero scambio tra suolo e sottosuolo. Eventuali interventi di consolidamento per la realizzazione delle piste di progetto saranno tali da non influenzare il regime delle acque sotterranee.

3.3 AEROGENERATORI

L'aerogeneratore è una macchina che sfrutta l'energia cinetica posseduta del vento, per la produzione di energia elettrica, rappresentata nell'elaborato "FLO-PD-D25-00_Modello Aerogeneratore".

Sul mercato esistono diverse tipologie di aerogeneratori, ad asse orizzontale e verticale, con rotore mono, bi o tripala, posto sopra o sottovento. Il tipo di aerogeneratore previsto per l'impianto in oggetto è un aerogeneratore ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza massima di 6,0 MW, le cui caratteristiche principali sono di seguito riportate:

- **rotore tripala a passo variabile**, di diametro massimo 155 m, posto sopravento al sostegno, in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro, con mozzo rigido in acciaio;
- **navicella in carpenteria metallica** con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- **sostegno tubolare troncoconico in acciaio**, avente altezza fino all'asse del rotore in conseguenza della tipologia di aerogeneratore che sarà scelto.

L'altezza complessiva prevista (calcolata come l'altezza al mozzo più la lunghezza della pala) è dunque pari a 200 m.

I tronchi di torre sono realizzati da lastre in acciaio laminate, saldate per formare una struttura tubolare troncoconica. Si tratta di aerogeneratori di tipologia già impiegata estesamente in altri parchi italiani/UE,

che consentono il miglior sfruttamento della risorsa vento e che presentano garanzie specifiche dal punto di vista della sicurezza (così come si dimostrerà in vari altri documenti: piano di produzione, studio di gittata etc.);

La turbina verrà equipaggiata, in accordo alle disposizioni dell'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile), con un sistema di segnalazione notturna per la segnalazione aerea.

La segnalazione notturna consiste nell'utilizzo di una luce rossa da installare sull'estradosso della navicella dell'aerogeneratore nonché ulteriori luci lungo il sostegno di acciaio (se richieste dall'Ente).

Le turbine di inizio e fine tratto avranno una segnalazione diurna consistente nella verniciatura della parte estrema della pala con tre bande di colore rosso ciascuna di 6 m per un totale di 18 m.

In ogni caso la definizione della segnaletica diurna/notturna rispetterà le prescrizioni Enac.

La navicella è dotata di un sistema antincendio, che consiste di rilevatori di fumo e CO, i quali rivelano gli incendi e attivano un sistema di spegnimento ad acqua atomizzata ad alta pressione nel caso di incendi dei componenti meccanici e a gas inerte (azoto) nel caso di incendi dei componenti elettrici (cabine elettriche e trasformatore). In aggiunta a ciò, il rivestimento della navicella contiene materiali autoestinguenti.

L'aerogeneratore è dotato di un completo sistema antifulmine, in grado di proteggere da danni diretti ed indiretti sia alla struttura (interna ed esterna) che alle persone. Il fulmine viene "catturato" per mezzo di un sistema di conduttori integrati nelle pale del rotore, disposti ogni 5 metri per tutta la lunghezza della pala. Da questi, la corrente del fulmine è incanalata attraverso un sistema di conduttori a bassa impedenza fino al sistema di messa a terra. La corrente di un eventuale fulmine è scaricata dal rotore e dalla navicella alla torre tramite collettori ad anelli e scaricatori di sovratensioni. La corrente del fulmine è infine scaricata a terra tramite un dispersore di terra. I dispositivi antifulmine previsti sono conformi agli standard della più elevata classe di protezione (Classe I), secondo lo standard internazionale IEC 61024-1.

Generalmente, una moderna turbina eolica entra in funzione a velocità del vento di circa 3-5 m/s e raggiunge la sua potenza nominale a velocità di circa 10-14 m/s. A velocità del vento superiori, il sistema di controllo del passo inizia a funzionare in maniera da limitare la potenza della macchina e da prevenire sovraccarichi al generatore ed agli altri componenti elettromeccanici. A velocità di circa 22-25 m/s il sistema di controllo orienta le pale in maniera tale da mandare in stallo il rotore e da evitare forti sollecitazioni e danni meccanici e strutturali. L'obiettivo è quello di far funzionare il rotore con il massimo rendimento possibile con velocità del vento comprese tra quella di avviamento e quella nominale, di mantenere costante la potenza nominale all'albero di trasmissione quando la velocità del vento aumenta e di bloccare la macchina in caso di venti estremi. Il moderno sistema di controllo del passo degli aerogeneratori permette di ruotare singolarmente le pale intorno al loro asse principale; questo sistema, in combinazione con i generatori a velocità variabile, ha portato ad un significativo miglioramento del funzionamento e del rendimento degli

aerogeneratori.

La frenatura è effettuata regolando l'inclinazione delle pale del rotore ad un angolo di 91° . Ciascuno dei tre dispositivi di regolazione dell'angolo delle pale del rotore è completamente indipendente. In caso di un guasto del sistema di alimentazione, i motori a corrente continua sono alimentati da accumulatori che ruotano con il rotore. L'impiego di motori a corrente continua permette, in caso di emergenza, la connessione in continua degli accumulatori, senza necessità di impiego di inverter. Ciò costituisce un importante fattore di sicurezza, se confrontato con i sistemi pitch, progettati in corrente alternata. La torsione di una sola pala è sufficiente per portare la turbina in un range di velocità nel quale la turbina non può subire danni. Ciò costituisce un triplice sistema ridondante di sicurezza. Nel caso in cui uno dei sistemi primari di sicurezza si guasti, si attiva un disco meccanico di frenatura che arresta il rotore congiuntamente al sistema di registrazione della pala.

I sistemi frenanti sono progettati per una funzione "fail-safe"; ciò significa che, se un qualunque componente del sistema frenante non funziona correttamente o è guasto, immediatamente l'aerogeneratore si porta in condizioni di sicurezza.

Gli aerogeneratori hanno una vita utile di circa 30 anni, al termine dei quali è necessario provvedere al loro smantellamento ed eventualmente alla loro sostituzione con nuovi aerogeneratori.

La fase di decommissioning avverrà con modalità analoghe a quanto descritto per la fase di installazione.

Le componenti elettriche (trasformatore, quadri elettrici, ecc) verranno quindi smaltite, in accordo con la direttiva europea (WEEE - Waste of Electrical and Electronic Equipment); le parti in metallo (acciaio e rame) e in plastica rinforzata (GFR) potranno invece essere riciclate.

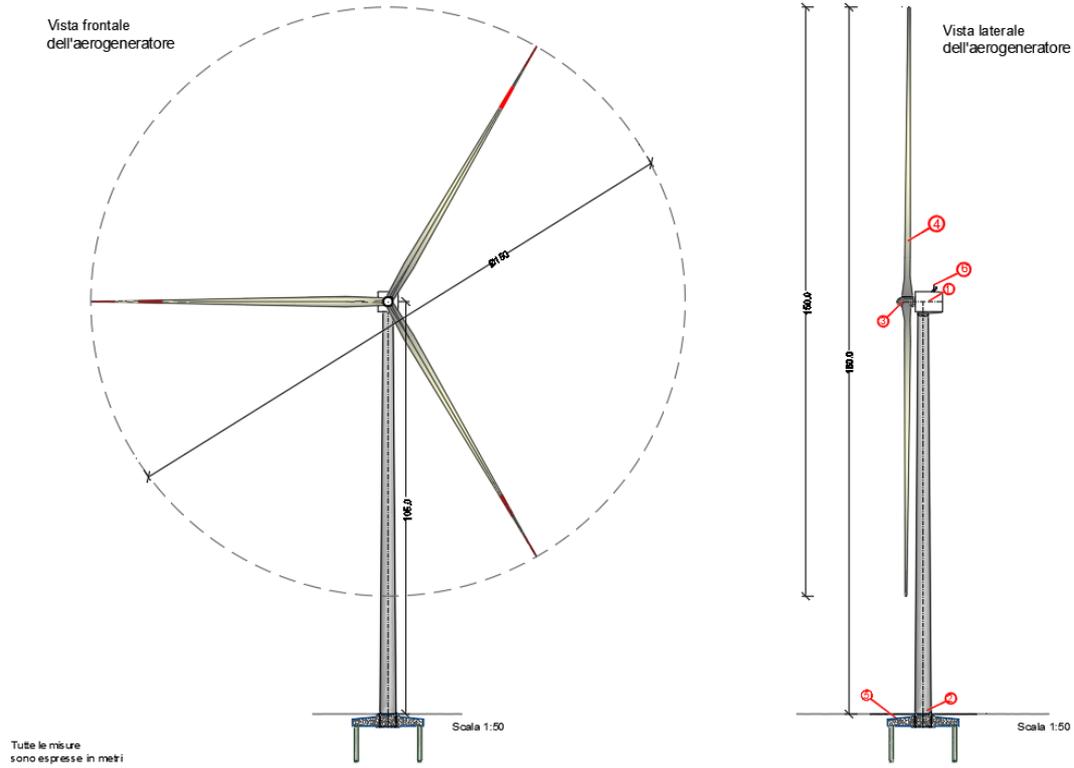


Figura 6 - Schema aerogeneratore H totale 200 m, diametro rotore fino a 155,0 m

4. INFRASTRUTTURE ED OPERE CIVILI

4.1 FONDAZIONI AEROGENERATORI

Nella attuale fase di progettazione definitiva, si eseguiranno dei calcoli preliminari basati sullo studio geologico del dott. Carlo Cibella.

L'analisi dei terreni e il predimensionamento delle fondazioni (cfr. relazione di predimensionamento delle fondazioni FLO-PD-R05-00) suggeriscono l'adozione di una fondazione su pali per gli aerogeneratori FLO-02 ed FLO-03, e l'adozione con fondazioni dirette per gli aerogeneratori FLO-01, FLO-04, FLO-05, FLO-06, FLO-07, FLO-08.

Come risulta dal calcolo di pre-dimensionamento, la fondazione indiretta proposta sarà costituita da un plinto circolare, di diametro 20,00 m e spessore variabile su pali di adeguata lunghezza. All'interno del plinto di fondazione sarà annegata una gabbia di ancoraggio metallica cilindrica dotata di una piastra superiore di ripartizione dei carichi ed una piastra inferiore di ancoraggio. Entrambe le piastre sono dotate di due serie concentriche fori che consentiranno il passaggio di barre filettate ad alta resistenza di diametro 36 mm, che, tramite dadi, garantiscono il corretto collegamento delle due piastre. Dietro ai lati del manufatto dovrà essere realizzato uno strato di drenaggio dello spessore di 180 cm, munito di tubazione di drenaggio forata per l'allontanamento delle acque dalla fondazione. Nella fondazione, oltre al sistema di ancoraggio della torre, saranno posizionate le tubazioni passacavo in PVC corrugato, nonché gli idonei collegamenti alla rete di terra. Il dimensionamento finale delle fondazioni sarà effettuato sulla base dei parametri geotecnici derivanti dalle prove in sito e di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso di appositi sondaggi in fase di progettazione esecutiva.

Come risulta dal calcolo di predimensionamento, la fondazione di tipo diretto è costituita da un plinto circolare avente diametro pari a 25m. Questo presenta una suola di forma troncoconica, con altezza pari a 0,80m al bordo esterno e pari a 2,55m in corrispondenza della parte centrale, ad un raggio di 3,00m. Al centro del plinto è presente un colletto cilindrico di raggio pari a 3,00m che si eleva sulla suola di ulteriori 0,60m per un'altezza complessiva pari a 3,15m.

Il dimensionamento finale delle fondazioni sarà effettuato sulla base dei parametri geotecnici derivanti dalle prove in sito e di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso di appositi sondaggi in fase di progettazione esecutiva. Il predimensionamento delle fondazioni è riportato nel documento FLO-PD-D26-00_Fondazione aerogeneratore, mentre la relazione geotecnica/sismica è riportata nel documento FLO-PD-R18-00_Relazione geotecnica.

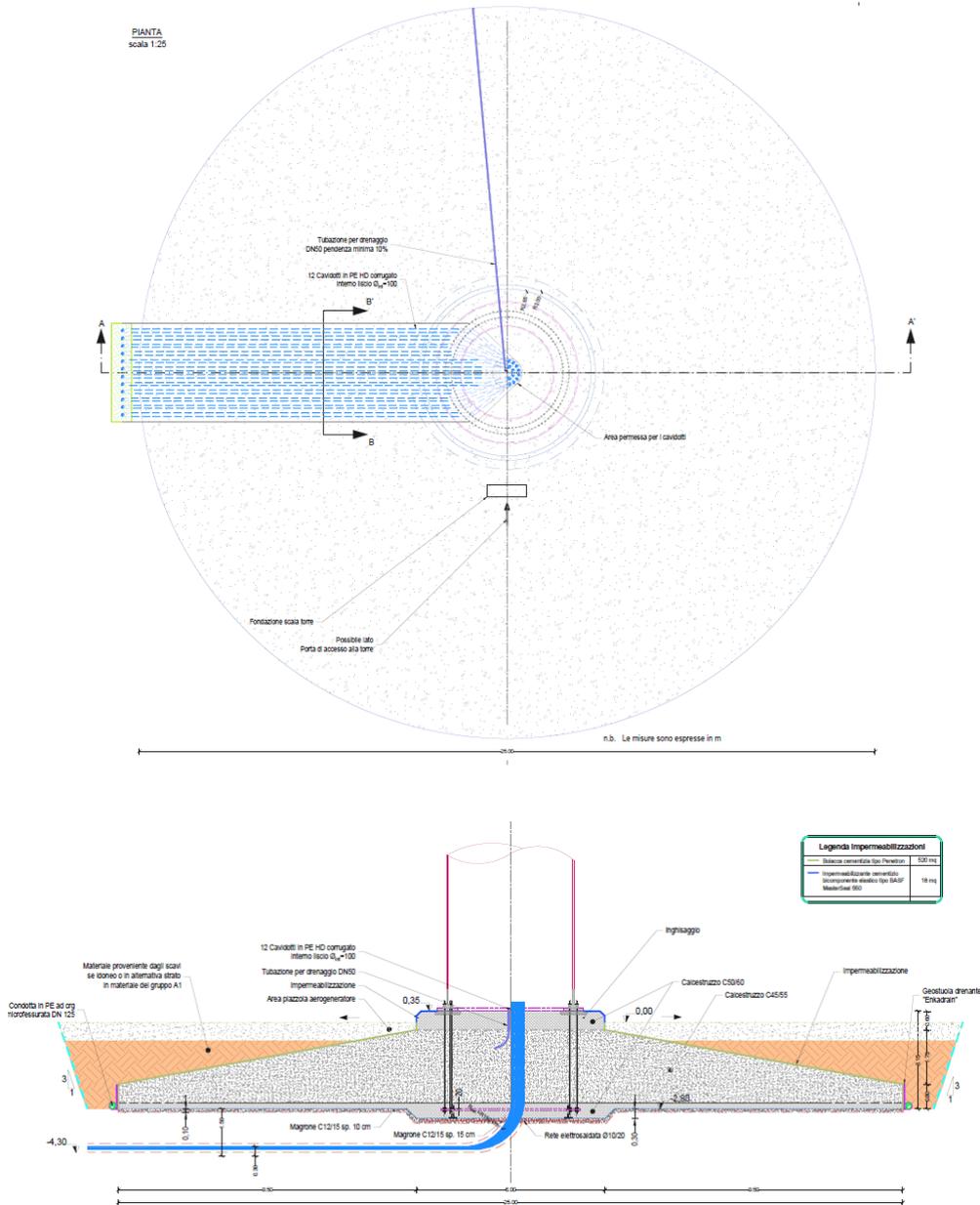


Figura 8 – Pianta e sezione del plinto diretto - diametro fondazione 25,00 m

4.2 PIAZZOLE AEROGENERATORI

La fondazione sarà intestata su un terreno di sedime avente idonee caratteristiche geotecniche; essa avrà una superficie in pianta dell'ordine di 300-400 m², dove troveranno collocazione i dispersori di terra e le vie cavi interrati.

La piazzola per un montaggio standard è costituita da un trapezio rettangolo B=61,00 (m); b=30,00(m); h=38,00(m) oltre a un rettangolo 22,00(m) x 16,00(m) ove sarà allocato l'aerogeneratore

e un ulteriore rettangolo 5,00(m) x 88,00(m).

Le singole piazzole a servizio degli aerogeneratori devono svolgere una doppia funzione:

1. Durante le fasi di costruzione permettere lo scarico dei componenti l'aerogeneratore (conci di torre, navicella, pale, etc.), il posizionamento delle gru per il montaggio, il movimento delle stesse con i componenti durante le fasi di assemblaggio e montaggio;

2. Durante le fasi di esercizio permettere la manutenzione ordinaria e straordinaria per tutta la vita utile del parco eolico. Per le ragioni esposte sopra, per le piazzole a servizio degli aerogeneratori dovrà predisporre lo scotico superficiale, la spianatura, il riporto di materiale vagliato e la compattazione di una superficie, stimata in 50mx30m, tale da garantire una parte destinata come area di scarico dei materiali e una seconda destinata alla movimentazione degli stessi e ai relativi necessari lavori.

A montaggio ultimato, l'area attorno alle macchine (piazzola aerogeneratore) sarà mantenuta piana e sgombra da piantumazioni allo scopo di consentire le operazioni di controllo e/o manutenzione ordinaria e straordinaria delle macchine. Le altre aree eccedenti la piazzola definitiva e quelle utilizzate temporaneamente per le attività di cantiere, montaggio main components WTG e stoccaggio, saranno ripristinate come ante operam, prevedendo il riporto di terreno vegetale per la successiva eventuale coltivazione.

4.3 STRADE DI ACCESSO E VIABILITÀ DI SERVIZIO

All'interno del parco è presente una significativa rete di viabilità esistente. Essa, opportunamente adeguata sarà utilizzata per accedere ad ognuna delle piattaforme degli aerogeneratori, sia durante la fase di esecuzione delle opere che nella successiva manutenzione del parco eolico e costituiranno peraltro spesso una utile viabilità aperta a tutti per la fruizione del territorio. Nella definizione del layout dell'impianto è stata sfruttata la viabilità esistente onde contenere gli interventi. La viabilità del parco serve tutti gli aerogeneratori ed è costituita dagli assi viari le cui caratteristiche dimensionali sono riportati nella tabella seguente.

Nome asse	L tot (m)	L strada esistente (m)	L strada nuova (m)	Pend. Max. (%)
FLO-01	200,00	0,00	200,00	6,0
FLO-02	1.175,00	30,00	1.145,00	15,0
FLO-03	460,00	0,00	460,00	10,0
FLO-04	942,00	0,00	942,00	9,0
FLO-05	460,00	0,00	460,00	11,0
FLO-05 WTG	77,00	0,00	77,00	6,0
FLO-06	905,00	165,00	740,00	8,0
FLO-07	585,00	0,00	585,00	10,0

FLO-08	735,00	135,00	600,00	16,0
BY PASS - A	335,50	0,00	335,50	5,0
BY PASS - B	1.633,30	1.633,30	0,00	18,0
Totale	7.507,80	1.963,30	5.544,50	
%	100%	26%	74%	

Tabella 2 - Tabella con individuazioni degli assi stradali e relative lunghezze

Complessivamente la lunghezza della viabilità del parco eolico è pari a 7,50 km di cui 1,963 km pari al 26%, riguardano modifiche a viabilità esistente mentre 5,54 km pari al 74% riguardano nuove viabilità.

Le nuove strade sterrate saranno realizzate in modo tale da interessare marginalmente i fondi agricoli; esse avranno lunghezze e pendenze delle livellette tali da seguire, per quanto possibile, la morfologia propria del terreno evitando eccessive opere di scavo o riporto.

La costruzione delle strade ed il rinnovo di quelle esistenti non sono solo a vantaggio del parco eolico ma permette anche un migliore accesso a chi le utilizza per l'agricoltura e per la pastorizia, nonché per i mezzi antincendio, fondamentali in una zona arida ed a volte soggetta a incendi specie nel periodo estivo. La progettazione della viabilità è stata condotta secondo le specifiche tecniche tipiche dei maggiori fornitori di aerogeneratori con dimensioni e pesi compatibili.

In particolare, le specifiche principali di carattere generale sono di seguito riportate:

Viabilità	
Larghezza carreggiata per $R > R_{min}$	5,00 m
Pendenza trasversale	2% a schiena d'asino
Raggio planimetrico minimo (R_{min})	120 m
Allargamenti per $R < R_{min}$	Caso per caso con simulazione mezzo
Pendenza max livelletta (rettifilo)	16%
Pendenza max livelletta (curva con $R < 120m$)	16%
Pendenza livelletta con traino	>12%
Raccordo verticale minimo convesso	690 m
Raccordo verticale minimo concavo	690 m
Pendenza max livelletta per stazionamento camion	2%
Carico max assiale sul piano stradale (t)	21t/asse

Viabilità	
Piazzole	
Dimensioni standard per piazzola intermedia	La piazzola per un montaggio standard è costituita da un trapezio rettangolo $B=61,0$ (m); $b=30,0$ (m); $h=38,0$ (m) oltre ad un quadrato $22,00$ (m) x $16,00$ (m) ove sarà allocato l'aerogeneratore e un ulteriore rettangolo $5,0$ (m) x $88,0$ (m).
Piazzola ausiliari per il montaggio del braccio gru stralciata	n.3 da $12,00$ x $10,00$
Pendenze max longitudinali	0,50 %

Tabella 3 - Specifiche principali di viabilità e piazzole

La sezione stradale, con larghezza di 5,00 m più due banchine laterali di 0,5 m, sarà realizzata in massiciata composta da uno strato di fondazione in misto calcareo di 40 cm, eventualmente steso su geotessile disteso alla base del cassonetto stradale a diretto contatto con il terreno, allo scopo di limitare al massimo le deformazioni e i cedimenti localizzati; superiormente sarà previsto uno strato di finitura/usura in misto stabilizzato, dello spessore di 20 cm.

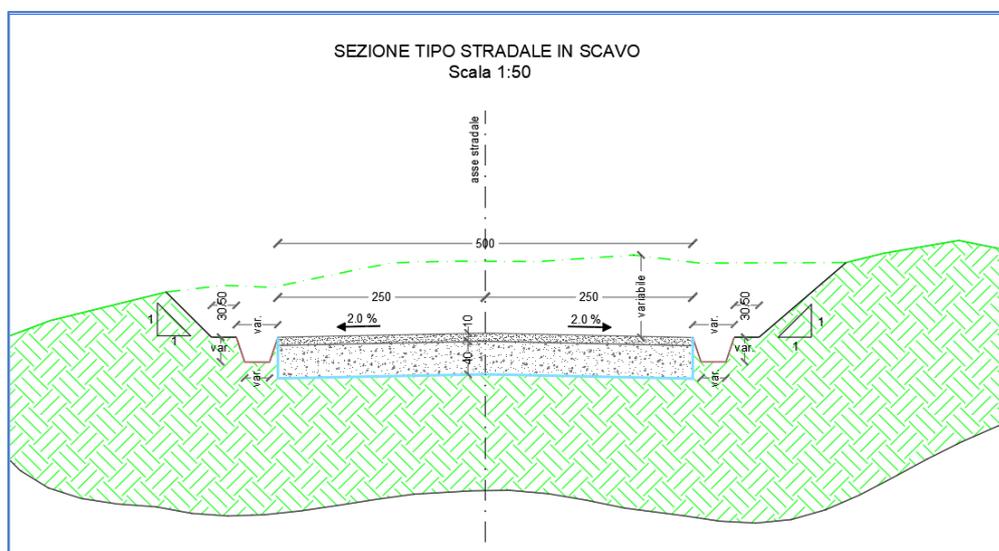


Figura 9 - Sezione tipo stradale in scavo

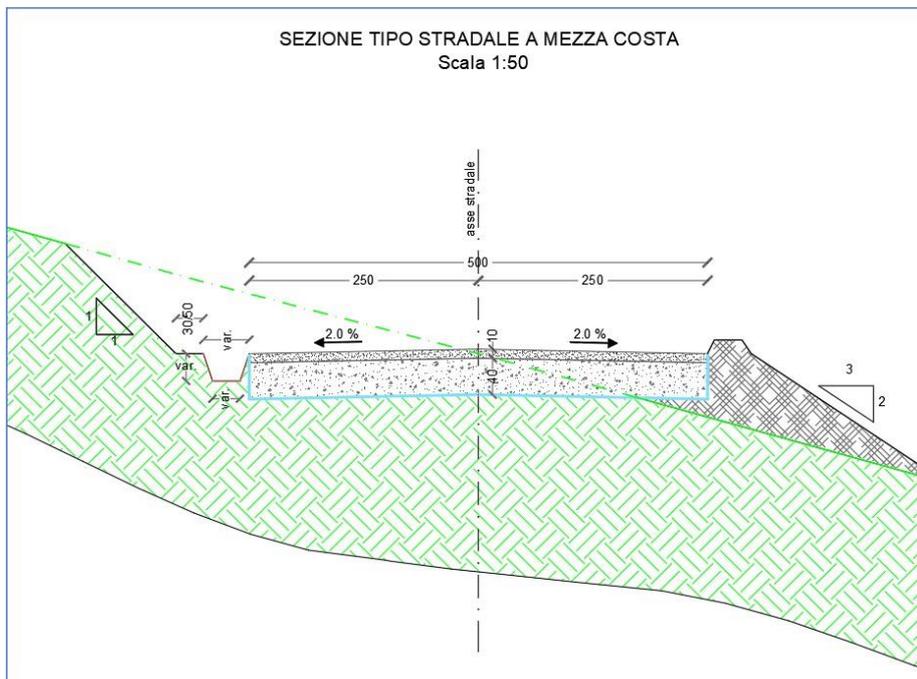


Figura 10 - Sezione tipo stradale a mezza costa

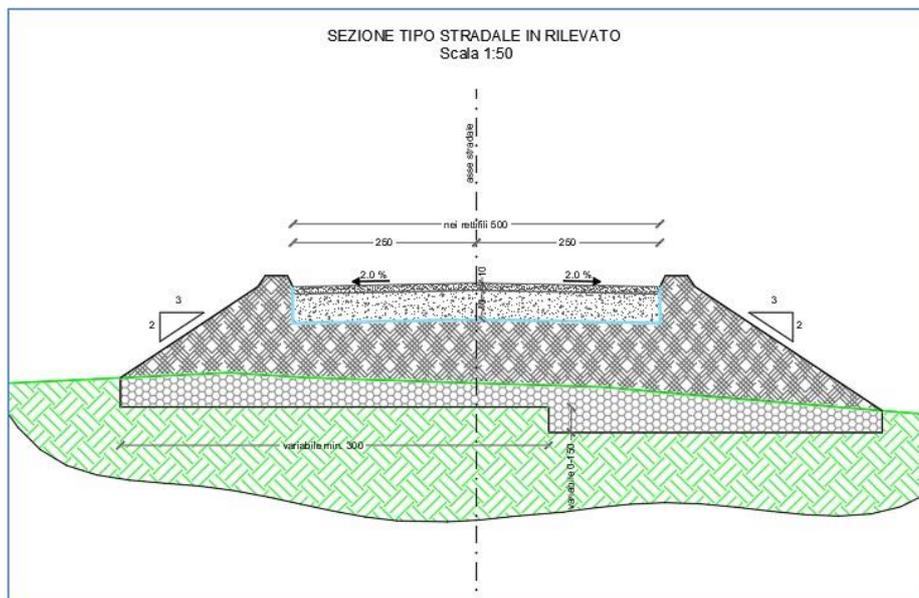


Figura 10 - Sezione tipo stradale in rilevato

4.4 RILEVATI E SOVRASTRUTTURE – BONIFICHE E SOTTOFONDI

Di seguito si riportano le caratteristiche principali dei materiali necessari per la costruzione di strade e piazzole.

4.4.1 Rilevati aridi e soprastrutture per piazzole e strade

L'esecuzione dei corpi di rilevato e delle soprastrutture (ossatura di sottofondo) per strade e per le piazzole di alloggiamento degli aerogeneratori deve avvenire coerentemente ai disegni ed alle prescrizioni di progetto.

È richiesta particolare attenzione nella preliminare “gradonatura” dei piani di posa, nella profilatura esterna dei rilevati e nella conformazione planimetrica delle soprastrutture, specie nelle piazzole. Ove queste ultime si posano su sottofondo ottenuto mediante scavo di sbancamento, allorché la compattazione del terreno in sito non raggiunge il valore prefissato si deve provvedere alla bonifica del sottofondo stesso mediante sostituzione di materiale, come previsto al successivo punto "*Bonifica dei piani di posa*".

I materiali da utilizzare per la formazione dei rilevati delle strade e, o delle piazzole dovranno appartenere alle categorie A1, A2.1, A2.2, A2.3, A2.4, A2.5, A3 secondo la classificazione della norma UNI CNR 10006:2002.

L'esecuzione del rilevato può iniziare solo quando il terreno in sito risulta scoticato, gradonato e costipato con uso di rullo compressore adatto alle caratteristiche del terreno; il costipamento può ritenersi sufficiente quando viene raggiunto il valore di capacità portante corrispondente ad un Modulo di deformazione "Md" di almeno 30 N/mm², da determinarsi mediante prove di carico su piastra, con le modalità riportate nel seguito, e con frequenza di una prova ogni 500 m² di area trattata o frazione di essa.

4.4.2 Sovrastrutture per piazzole e strade

Per la formazione della soprastruttura per piazzole e strade si deve utilizzare esclusivamente il misto granulare di cava classificato A1 secondo la classificazione della norma UNI CNR 10006:2002.

L'esecuzione della soprastruttura può avvenire solo quando il relativo piano di posa risulta regolarizzato, privo di qualsiasi materiale estraneo, costipato fino ai previsti valori di capacità portante (pari ad un "Md" di almeno 30 N/mm² per piani di sbancamento o bonifica, e pari ad un "Md" di almeno 80 N/mm² per piani ottenuti con rilevato) da determinarsi mediante prove di carico su piastra con la frequenza sopra definita.

Sia nell'esecuzione dei rilevati che delle soprastrutture il materiale deve essere steso a strati di 20-25 cm d'altezza, secondo quanto stabilito nei disegni di progetto, compattati, fino al raggiungimento del 95% della densità AASHO modificata, inclusi tutti i magisteri per portare il materiale all'umidità ottima, tenendo presente che l'ultimo strato costipato consenta il deflusso delle acque meteoriche verso le zone di compluvio, e rifilato secondo progetto.

Il costipamento di ogni strato di materiale deve essere eseguito con adeguato rullo compressore previo eventuale innaffiamento o ventilazione fino all'ottimo di umidità.

Il corpo di materiale può dirsi costipato al raggiungimento del 95% della densità AASHO modificata e comunque quando ai vari livelli viene raggiunto il valore di "Md" pari almeno a quello richiesto, da determinarsi mediante prova di carico su piastra con le modalità di seguito descritte.

Per l'eventuale primo strato della soprastruttura è richiesto un Md di almeno 80 N/mm² mentre per lo strato finale della soprastruttura è richiesto un Md di almeno 100 N/mm².

Il controllo delle compattazioni in genere viene eseguito su ogni strato, mediante una prova di carico su piastra ogni 500 m² di area trattata o frazione di essa, e comunque con almeno n. 4 prove per strato di materiale. A costipamento avvenuto, se i controlli risultano favorevoli, si dà luogo a procedere allo stendimento ed alla compattazione dello strato successivo.

4.4.3 Sistemazione del piano di posa

Il piano di posa è costituito dall'intera area di appoggio dell'opera in terra ed è rappresentato da un piano ideale al disotto del piano di campagna ad una quota non inferiore a cm 30, che viene raggiunto mediante un opportuno scavo di sbancamento che allontani tutto il terreno vegetale superficiale; lo spessore dello sbancamento dipenderà dalla natura e consistenza dell'ammasso che dovrà rappresentare il sito d'impianto dell'opera.

Qualora, al disotto della coltre vegetale, si rinvenga un ammasso costituito da terreni A1, A2, A3 (secondo la classificazione C.N.R.) sarà sufficiente eseguire la semplice compattazione del piano di posa così che il peso del secco in sito (massa volumica apparente secca nelle unità S.I.) risulti pari al 90% del valore massimo ottenuto in laboratorio nella prova A.A.S.H.T.O. Mod. su un campione del terreno.

Per raggiungere tale grado di addensamento si potrà intervenire, prima dell'operazione di compattazione, modificando l'umidità in sito per modo che questa risulti prossima al valore ottimo rilevabile dalla prova A.A.S.H.T.O. Mod.

Se, invece, tolto il terreno superficiale (50 cm di spessore minimo) l'ammasso risulta costituito da terreni dei gruppi A4, A5, A6, A7 sarà opportuno svolgere una attenta indagine che consenta di proporre la soluzione più idonea alla luce delle risultanze dei rilevamenti geognostici che occorrerà estendere in profondità.

I provvedimenti da prendere possono risultare i seguenti:

- approfondimento dello scavo di sbancamento, fino a profondità non superiori a 1,50 -; 2,00 m dal piano di campagna, e sostituzione del terreno in sito con materiale granulare A1 (A1a od A1b), A3 od A2, sistemato a strati e compattato così che il peso secco di volume risulti non inferiore al 90% del valore massimo della prova A.A.S.H.T.O. Mod. di laboratorio; si renderà necessario compattare anche il fondo dello scavo mediante rulli a piedi di montone;

- approfondimento dello scavo come sopra indicato completato, dove sono da temere risalite di acque di falda per capillarità, da drenaggi longitudinali con canalette di scolo o tubi drenanti che allontanino le acque raccolte dalla sede stradale;
- sistemazione di fossi di guardia, soprattutto per raccogliere le acque superficiali lato monte, di tombini ed acquedotti in modo che la costruzione della sede stradale non modifichi il regime idrogeologico della zona.

Qualora si rinvenissero strati superficiali di natura torbosa di modesto spessore (non superiore a 2,00) è opportuno che l'approfondimento dello scavo risulti tale da eliminare completamente tali strati. Per spessori elevati di terreni torbosi o limo-argillosi fortemente imbibiti d'acqua, che rappresentano ammassi molto compressibili, occorrerà prendere provvedimenti più impegnativi per accelerare l'assestamento (con pali di sabbia o mediante precompressione statica per mezzo di un sovraccarico) ovvero sostituire l'opera in terra (rilevato) con altra più idonea alla portanza dell'ammasso. Nei terreni acclivi la sistemazione del piano di posa dovrà essere realizzata a gradoni facendo in modo che la pendenza trasversale dello scavo non superi il 5%; in questo caso risulta sempre necessaria la costruzione lato monte di un fosso di guardia e di un drenaggio longitudinale se si accerta che il livello della falda è superficiale.

Per individuare la natura meccanica dei terreni dell'ammasso si consiglia di eseguire, dapprima, semplici prove di caratterizzazione e di costipamento:

- umidità propria del terreno;
- granulometria;
- limiti ed indici di Atterberg;
- prova di costipamento A.A.S.H.T.O. Mod.

Nei terreni che si giudicano molto compressibili si procederà ad ulteriori accertamenti mediante prove edometriche (su campioni indisturbati) o prove penetrometriche in sito.

Per i terreni granulari di apporto (tipo A1, A3, A2) saranno sufficienti le analisi di caratterizzazione e la prova di costipamento.

I controlli della massa volumica in sito negli strati ricostituiti con materiale granulare idoneo dovranno essere eseguiti ai vari livelli (ciascuno strato non dovrà avere spessore superiore a 30 cm a costipamento avvenuto) ed estesi a tutta la larghezza della fascia interessata.

Ad operazioni di sistemazione ultimate potranno essere ulteriormente controllate la portanza del piano di posa mediante la valutazione del modulo di compressibilità M_e , secondo le norme CNR, eventualmente a doppio ciclo:

- per rilevati fino a 4 m di altezza, il campo delle pressioni si farà variare da 0,5 a 1,5 daN/cm²;
- per rilevati da 4 a 10 m, si adotterà il Δp compreso fra 1,5 e 2,5 daN/cm².

In ogni caso dovrà risultare $M_e \geq 300$ daN/cm².

Durante le operazioni di costipamento dovrà accertarsi l'umidità propria del materiale; non potrà procedersi alla stessa e perciò dovrà attendersi la naturale deumidificazione se il contenuto d'acqua è elevato; si eseguirà, invece, il costipamento previo innaffiamento se il terreno è secco, in modo da ottenere, in ogni caso, una umidità prossima a quella ottima predeterminata in laboratorio (prova A.A.S.H.T.O. Mod.), la quale dovrà risultare sempre inferiore al limite di ritiro.

Prima dell'esecuzione dell'opera dovrà essere predisposto un tratto sperimentale così da accertare, con il materiale che si intende utilizzare e con le macchine disponibili in cantiere, i risultati che si raggiungono in relazione all'umidità, allo spessore ed al numero dei passaggi dei costipatori.

Durante la costruzione ci si dovrà attenere alle esatte forme e dimensioni indicate nei disegni di progetto, e ciascuno strato dovrà presentare una superficie superiore conforme alla sagoma dell'opera finita.

Le scarpate saranno perfettamente profilate e, ove richiesto, saranno rivestite con uno spessore (circa 20 cm) di terra vegetale per favorire l'inerbimento.

Il volume compreso fra il piano di campagna ed il piano di posa del rilevato (definito come il piano posto 30 cm al disotto del precedente) sarà eseguito con lo stesso materiale con cui si completerà il rilevato stesso.

I piani di posa in corrispondenza di piazzole o sedi stradali ottenuti per sbancamento ed atti a ricevere la soprastruttura, allorché il terreno di imposta non raggiunge nella costipazione il valore di M_d pari a 30 N/mm^2 , o i piani di posa dei plinti di fondazione il cui terreno costituente è ritenuto non idoneo a seguito di una prova di carico su piastra, devono essere oggetti di trattamento di "bonifica", mediante sostituzione di uno strato di terreno con equivalente in misto granulare arido proveniente da cava di prestito.

Detto materiale deve avere granulometria "B" (pezzatura max 30 mm) come risulta dalla norma CNR-UNI 10006 e deve essere steso a strati e compattato con criteri e modalità già definiti al precedente punto "Rilevati aridi e soprastrutture per piazzole e strade".

Nel caso di piazzole e strade, la bonifica può ritenersi accettabile quando a costipamento avvenuto viene raggiunto il valore di capacità portante corrispondente ad un M_d di almeno 30 N/mm^2 , da determinarsi mediante prove di carico su piastra - con le modalità già definite in precedenza - con la frequenza di una prova ogni 500 m² di area bonificata, o frazione di essa.

Nel caso di plinti di fondazione, per l'accettazione della bonifica devono essere raggiunti i valori di capacità portante corrispondenti ad un M_d di almeno 30 N/mm^2 .

4.4.4 Pavimentazione con materiale arido

Di norma il pacchetto stradale avrà uno spessore complessivo di cm 60 e dovrà essere realizzata con materiale classificato come A1.

I primi 30 cm. a contatto con il terreno naturale, saranno realizzati con materiali provenienti dagli scavi, previa classificazione tipo A1 secondo la classificazione UNI 10006 mentre i rimanenti 30 cm saranno realizzati con misto granulometrico, proveniente da cava, tipo A1 avente dimensioni massima degli inerti pari a 30 mm, rullato fino all'ottenimento di un $M_d > 100 \text{ N/mm}^2$.

5. VERIFICA GEOTECNICA DELLA FONDAZIONE STRADALE

5.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE STRADE E DELLE PIAZZOLE

Nel seguente capitolo si riportano le teorie di calcolo ed i risultati ottenuti per il dimensionamento di massima del pacchetto stradale sia della viabilità che delle piazzole. Le caratteristiche geometriche delle strade sterrate progettate sono state dettate da esigenze derivanti dall'ingombro dei mezzi eccezionali di trasporto dei componenti gli aerogeneratori che, quindi, hanno vincolato sia dal punto di vista altimetrico che planimetrico il tracciamento degli assi e delle piazzole di montaggio.

- Riferimenti tecnici e normativi

Nell'ambito della progettazione, sono stati utilizzati i seguenti riferimenti:

- Norma AASHTO T274-82;
- Catalogo delle Pavimentazioni stradali del CNR.

- Traffico di progetto

Ai fini della progettazione della sovrastruttura stradale si prendono in considerazione i soli veicoli commerciali, intendendosi generalmente in Italia per veicolo commerciale un automezzo avente una massa lorda (massa veicolo + massa trasportata) superiore a 3.000 kg: si considera, inoltre, il traffico composto da un numero finito di tipologie di veicoli.

La componente di traffico che incide sul calcolo è infatti soltanto quella "pesante", costituita dai veicoli (autocarri, autotreni, autoarticolati, autobus e veicoli speciali) che, per le notevoli pressioni trasmesse al suolo, rappresenta la causa prima dell'ammaloramento e degrado della sovrastruttura stradale, ritenendo trascurabili gli effetti relativi agli altri veicoli (autoveicoli e motoveicoli).

Il numero totale di passaggi di ciascuna tipologia di veicolo durante la vita utile, V_k – quindi il numero di ripetizioni del regime di sollecitazione che essa produce nella sovrastruttura – viene valutato in base al volume ed alla composizione del traffico transitante nonché alla sua distribuzione nei sensi di marcia e nelle corsie presenti:

$$V_k = \left(\sum_{j=1}^N (1 + G)^{j-1} \right) \cdot \frac{pk}{100} \cdot V_g \cdot D \cdot C \cdot 365$$

Dove:

- V_k è il numero totale di passaggi di veicoli della classe k-esima durante la vita utile;
- N è la vita utile espressa in anni (nel caso di studio, pari a 20 anni);
- G è il prevedibile tasso di incremento annuo del traffico (posto pari a 0, nell'ipotesi in cui,

- trattandosi di una viabilità di parco, si suppone che il traffico maggiore avvenga durante la fase di realizzazione dell'impianto per poi diminuire drasticamente al termine della stessa);
- P_k è la percentuale di veicoli k-esimi rispetto al volume di traffico commerciale;
 - V_g è il volume giornaliero del traffico commerciale;
 - D è il fattore di distribuzione direzionale del traffico;
 - C è il fattore di distribuzione per corsia del traffico commerciale (percentuale di veicoli presenti sulla corsia di marcia lenta);
 - 365 è il numero di giorni in un anno;

Cat.	Tipo di Veicolo	Assi	Distribuzione dei carichi per asse [kN]				
			1	2	3	4	5
1	Autocarri leggeri	2	10		20		
2	"	2	15		30		
3	"	2	40		80		
4	Autocarri medi e pesanti	2	50		110		
5	"	3	40		80+80		
6	"	3	60		100+100		
7	Autotreni ed Autoarticolati	4	40		90	80	80
8	"	4	60		100	100	100
9	"	5	40	80+80			80+80
10	"	5	60	90+90			100+100
11	"	5	40	100			80+80+80
12	"	5	60	110			90+90+90
13	Mezzi d'opera	5	50	120			130+130+130
14	Autobus	2	40		80		
15	"	2	60		100		
16	"	2	50		80		

Tabella 4 – Distribuzione dei carichi per asse dei veicoli commerciali

La tabella precedente riporta la distribuzione dei carichi per asse dei veicoli commerciali (CNR 178/95).

Nelle pavimentazioni flessibili, poiché è verosimile supporre che il regime di sollecitazione prodotto nella sovrastruttura da un asse di un veicolo non risenta delle azioni esercitate dagli altri assi dello stesso veicolo che si trovano ad una distanza maggiore di circa 2 m, ci si riconduce nel calcolo delle sollecitazioni a considerare direttamente un numero limitato di classi di assi caratterizzate attraverso la tipologia degli assi stessi (assi singoli, tandem o tridem) e il carico che trasmettono alle sovrastrutture. Si raggruppano, quindi, gli assi dello stesso tipo e dello stesso peso presenti su tipologie differenti di veicoli. In tal caso si considera il numero di passaggi di ciascuna delle classi di assi individuata (n_i) che viene valutato attraverso la seguente relazione:

$$n_i = \sum_k V_k \cdot m_{ik}$$

Dove:

- k sono le tipologie di veicoli di cui è composto il traffico transitante;
- n_i è il numero totale di passaggi di assi della classe i -esima durante la vita utile;
- m_{ik} è il numero di assi della i -esima classe presenti nel veicolo della k -esima tipologia.

Per poter eseguire la verifica è necessario, infine, omogeneizzare il dato relativo al traffico pesante "reale" in termini di assi "standard" da 80 kN calcolando il corrispondente *coefficiente di equivalenza* e_i tra le classi di assi presenti nelle varie tipologie di veicoli e l'asse standard.

È evidente, infatti, che i veicoli pesanti presi in esame - autocarro, autotreno, autoarticolato, autobus o veicolo speciale - hanno un diverso impatto al suolo in termini di numero e tipologia di assi (singolo, tandem, tridem) e di carico trasmesso. Utilizzando la Tabella delle distribuzioni dei carichi per asse proposta nel Bollettino Ufficiale CNR 178/95 è possibile stabilire la conformazione media di qualunque veicolo pesante (VP).

Il numero totale di passaggi di assi standard equivalenti durante la vita utile n_s si calcola attraverso la seguente relazione:

$$n_s = \sum_i n_i \cdot e_i$$

dove:

- i sono le classi di assi (diverse sia per peso che per tipologia) presenti nelle k tipologie di veicoli;
- e_i è il coefficiente di equivalenza, ai fini del danno provocato, tra assi standard e assi della i -esima classe.

I coefficienti di equivalenza sono ricavati valutando il numero di passaggi dell'asse standard che produce lo stesso danno provocato dal passaggio di un asse dell' i -esima tipologia. I coefficienti di equivalenza, relativamente ai diversi tipi di assi, adottati nel presente studio sono quelli forniti dal metodo empirico AAHSTO (al variare del carico unitario trasmesso al suolo e dell'indice di spessore) e riportati di seguito.

Il traffico di progetto, nell'ambito di una pavimentazione stradale di parco, segue delle logiche differenti.

Il traffico di progetto, infatti, a differenza di una qualunque viabilità provinciale o statale, in cui si individua un incremento del traffico veicolare nel tempo, presenta un picco di percorrenza nella fase di esecuzione dell'impianto eolico, dunque nei primi 2/3 anni di vita utile.

Questo significa che in questo primo intervallo di tempo, la pavimentazione subirà il maggiore carico di tutta la sua stessa vita utile.

Solamente una conclusiva fase di smontaggio potrà indurre sulla pavimentazione una nuova fase di carico paragonabile a quella sopra descritta.

A vantaggio di sicurezza, pertanto, il traffico “sollecitante” è stato suddiviso in 2 parti:

- Primi due anni di montaggio e ultimi 2 anni per un eventuale smontaggio dell’impianto eolico in oggetto – caratterizzati dal traffico di progetto “A”;
- Restanti 16 anni di vita utile della pavimentazione, soggetta ad un carico veicolare decisamente inferiore – traffico di progetto “B”.

		n. assi	Vk	mik	passaggi ki	pk	ni	ns
2 -Autocarro leggero	Camion	2	292,0	2	40	13%	584	19
4 - Autocarri medi e pesanti	Camion pieno	2	292,0	2	40	13%	584	2448
10 - Autoarticolati e autotreni	Autoarticolato	10	43,8	3	6	2%	131	814
5 - Autocarri pesanti	Betoniera	3	1460,0	2	200	64%	2920	4227
12 - Autoarticolati	Gru 70t	4	73,0	3	10	3%	219	1551
13 - mezzi d'opera	Gru 140t	5	29,2	3	4	1%	88	1766
8 - Autotreni e autoarticolati		4	29,2	2	4	1%	58	173
	Gru montaggio	12	58,4	1	8	3%	58	3282
			2219,2		312		4584,40	14281

Tabella 5 - Traffico di progetto “A” – 4 anni di vita utile

		n. assi	Vk	mik	passaggi ki	pk	ni	ns
2 -Autocarro leggero	Camion	2	0,0	2	0	0%	0	0
4 - Autocarri medi e pesanti	Camion pieno	2	350,4	2	12	100%	701	2937
10 - Autoarticolati e autotreni	Autoarticolato	10	0,0	3	0	0%	0	0
5 - Autocarri pesanti	Betoniera	3	0,0	2	0	0%	0	0
12 - Autoarticolati	Gru 70t	4	0,0	3	0	0%	0	0
13 - mezzi d'opera	Gru 140t	5	0,0	3	0	0%	0	0
8 - Autotreni e autoarticolati		4	0,0	2	0	0%	0	0
	Gru montaggio	12	0,0	1	0	0%	0	0
			350,4		12		700,80	2937

Tabella 6 - Traffico di progetto “B” – 16 anni di vita utile

Carico		SN [pollici]					
kips	kN	1"	2"	3"	4"	5"	6"
2.25	10	0.00072	0.00085	0.00076	0.00055	0.00042	0.00042
4.49	20	0.00498	0.00721	0.00721	0.00547	0.00398	0.00373
6.74	30	0.01879	0.02813	0.02961	0.02339	0.01890	0.01716
8.99	40	0.05475	0.07420	0.08414	0.07117	0.06071	0.05523
11.24	50	0.13364	0.16135	0.18662	0.17062	0.15044	0.13935
13.48	60	0.28670	0.31670	0.35512	0.34282	0.31586	0.29915
17.98	80	0.99555	0.99579	0.99615	0.99614	0.99590	0.99572
20.22	90	1.70812	1.66135	1.56669	1.53992	1.58556	1.63458
22.47	100	2.76607	2.64243	2.38751	2.27914	2.38096	2.52933
24.72	110	4.28050	4.03010	3.52928	3.25727	3.41167	3.70568
26.97	120	6.37481	5.95258	5.07910	4.53882	4.71882	5.20556

Tabella 4: Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse singolo)

Carico		SN [pollici]					
kips	kN	1"	2"	3"	4"	5"	6"
35.96	160	1.37305	1.37348	1.37413	1.37413	1.37370	1.37348
40.45	180	2.33406	2.27503	2.15699	2.12022	2.17699	2.24601
44.94	200	3.77409	3.60572	3.26898	3.12588	3.26006	3.45789

Tabella 5: Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse tandem)

Carico		SN [pollici]					
kips	kN	1"	2"	3"	4"	5"	6"
53.93	240	1.65153	1.65185	1.65283	1.65283	1.65250	1.65185
60.67	270	2.81210	2.73533	2.59503	2.54827	2.62503	2.70518
87.64	390	15.11526	14.05085	11.70424	10.23983	10.45763	11.72203

Tabella 6: Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse triplo)

Tabella 7 - Fattori di equivalenza in funzione del carico per asse (asse triplo)

Pertanto, il numero di passaggi di assi standard $N_{8,2\text{prog}}$ utilizzato per il progetto della sovrastruttura stradale è pari a 17218.

5.2 VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA (METODO AASHTO)

Il metodo utilizzato per il dimensionamento della sovrastruttura è quello empirico previsto nella "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" e proposto dalla AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*),

Tale metodo empirico permette di calcolare, tramite alcune relazioni che tengono conto delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la sovrastruttura, il numero $N_{8,2}$ di passaggi di assi "standard" del peso di 8,2 ton che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un grado di ammaloramento, cioè un livello di funzionalità inaccettabile, in relazione alla "Affidabilità" richiesta.

Il numero ricavato è stato poi confrontato con il numero di passaggi di assi standard alla fine della "vita utile" calcolati a partire dall'analisi del traffico di progetto.

Dati iniziali

Nel progetto delle pavimentazioni, l'obiettivo si sostanzia, quindi, attraverso la definizione di tre

elementi:

1. La **vita utile**, intesa come il numero di anni durante il quale la pavimentazione deve assicurare, attraverso normali operazioni di manutenzione, condizioni di funzionalità superiori allo stato limite. per il progetto in esame è stata posta pari a 20 anni.
2. Lo **stato limite**, cioè il livello minimo di funzionalità della sovrastruttura ritenuto accettabile, superato il quale è necessario comunque intervenire. Secondo il metodo AASHTO, il parametro di riferimento è il PSI "*Present Serviceability Index*", che rappresenta numericamente il grado di ammaloramento della strada, potendo variare da 0 (pessimo) a 5 (ottimo). Tuttavia, livelli inferiori a 1-1.5 non sono in genere accettabili poiché sarebbero compromessi i livelli di servizio e la sicurezza della strada.

Il valore iniziale di PSI si assume pari a 4,2, mentre quello finale varia a seconda dei casi: in questa sede, essendo la strada in oggetto una strada di parco con traffico fortemente variabile in funzione dei periodi della sua vita utile, il valore finale del PSI si può assumere pari a 2.5 ($\Delta\text{PSI}=1,7$).

3. L'**affidabilità R (Reliability)**, cioè la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l'intera durata della vita utile; per il progetto in esame il valore di affidabilità è stato posto pari al 80%. Nello specifico, l'affidabilità R esprime la probabilità che il numero di applicazioni di carico N_t che la struttura può sopportare prima di raggiungere un prefissato grado di ammaloramento finale (PSI_{fin}) sia maggiore o uguale al numero di applicazioni di carico NT che realmente sono applicati alla sovrastruttura nel periodo di progettazione T considerato (vita utile).

$$R(\%) = 100 \cdot \text{Pr ob}(N_t \geq N_T)$$

In sintesi, R esprime la probabilità di sopravvivenza della strada in relazione al periodo di vita utile prefissato e le grandezze Z_R e S_o sono strettamente collegate a tale affidabilità. Z_R rappresenta il valore della variabile standardizzata δ_o al quale corrisponde la probabilità R che si abbiano valori ad esso superiori. Considerando l'espressione di δ_o , l'affidabilità può essere riscritta come

$$R(\%) = 100 \cdot \text{Pr ob}(\delta_o \geq 0)$$

con δ_o variabile aleatoria caratterizzata da una legge di probabilità normale e deviazione standard S_o . Per quest'ultimo parametro, nel caso di pavimentazioni flessibili solitamente si assume un valore compreso tra 0.40 e 0.50 tenendo conto dell'errore che si commette sul traffico e sulle prestazioni previste per la sovrastruttura. In questa sede il parametro utilizzato è $S_o = 0,45$.

Caratteristiche degli strati (calcolo dello *Structural number* SN)

Lo "*Structural Number*" SN è un parametro che tiene conto della "resistenza strutturale" della pavimentazione. Esso è funzione degli spessori degli strati s_i che compongono la pavimentazione,

della “resistenza” dei materiali impiegati rappresentata, attraverso i “coefficienti strutturali di strato” a_i , e della loro sensibilità all’acqua rappresentata attraverso i “coefficienti di drenaggio” m_i . L’espressione analitica dello *structural number* è la seguente:

$$SN = \sum_{I=1}^n a_i \cdot m_i \cdot s_i$$

Ove:

- I è il numero degli strati costituenti la sovrastruttura stradale;
- s_i è lo spessore dello strato i – esimo;
- m_i è un coefficiente funzione della qualità del drenaggio e della percentuale di tempo durante il quale la pavimentazione è esposta a livelli di umidità prossimi alla saturazione. Per tenere conto delle effettive possibilità che il materiale granulare misto e fondazione, perdano nel tempo le loro caratteristiche di permeabilità, m , è stato posto pari a 0,8;
- a_i è un coefficiente che esprime la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura. Tali coefficienti sono funzione del tipo e delle proprietà del materiale. Tali coefficienti, relativi allo strato di fondazione a_2 in misto granulare ed allo strato di finitura a_1 (anch’esso in materiale lapideo), sono tabellati.

Pavement Layer	Layer Strength Coefficient a_i				Cenek and Patrick (1994)
	TRL (1975)	AASHTO (1993)	Paterson (1987)	CRR (1993b)	
Surface Courses					
Surface Treatment (ST)			0.20 - 0.40		0.300
Surface Dressing (SSD/DSD)	0.100				
Premix Carpet (PMC)				0.180	
Semi-Dense Carpet (SDC), 25mm				0.250	
Asphalt Mixture (cold/hot premix of low stability)	0.200		0.200		0.200
Asphalt Concrete (AC), 25 mm	0.180			0.300	
Asphalt Concrete (AC), 40/ 25 mm					
AC, MR30 = 1500 MPa			0.300		0.300
AC, MR30 = 2500 MPa			0.400		0.400
AC, MR30 = 4000 MPa			0.500		0.450
Elastic Mod. at 68F, E = 100,000 psi		0.200			
Elastic Mod. at 68F, E = 200,000 psi		0.300			
Elastic Mod. at 68F, E = 300,000 psi		0.350			
Elastic Mod. at 68F, E = 400,000 psi		0.425			
Base Courses					
GB, CBR = 30%	0.070	0.095	0.00-0.07		
GB, CBR = 50%	0.100	0.110	0.00-0.10		
GB, CBR = 70%	0.120	0.125	0.10-0.12		
GB, CBR = 90%	0.135	0.130	0.12-0.13		
GB, CBR = 110%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam (WBM)				0.140	0.140
CB, UCS = 0.7 MPa	0.100	0.100	0.100		
CB, UCS = 2.0 MPa	0.150	0.140	0.150		
CB, UCS = 3.5 MPa	0.200	0.175	0.200		
CB, UCS = 5.0 MPa	0.245	0.205	0.240		
Bituminous Base Material			0.320		
Dense Bituminous Macadam/				0.200	
Built-Up Spray Grout (BUSG)				0.160	
Thin Bituminous Layer, BT				0.140	
AB, Marshall Stability, 200 lb		0.120			
AB, Marshall Stability, 400 lb		0.160			
AB, Marshall Stability, 800 lb		0.200			
AB, Marshall Stability, 1200 lb		0.240			
Sub-base Courses					
GB, CBR = 5%	0.055	0.040	0.060		
GB, CBR = 15%	0.085	0.090	0.090		
GB, CBR = 25%	0.100	0.100	0.100		
GB, CBR = 50%	0.120	0.130	0.120		
GB, CBR = 100%	0.140	0.140	0.140		
Water Bound Macadam, Oversized				0.140	
Brick Soling				0.120	
Brick Ballast/ Aggregates				0.120	
Local Gravel/ Kankar				0.100	
Cemented Materials,			0.140		

Source: Chakrabarti and Bennett (1994)

Tabella 8 - Coefficiente a_i che esprime la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura

In particolare, nel presente progetto sono utilizzati i seguenti valori per il calcolo del parametro SN.

Strato	Spessori (cm)	a_i	m_i	SN_i (cm)
Fondazione	35	0,13	0,8	3,64
Base	15	0,13	0,8	1,56
SN (cm)	5,2			

Tabella 9 - Valori per il calcolo del parametro SN

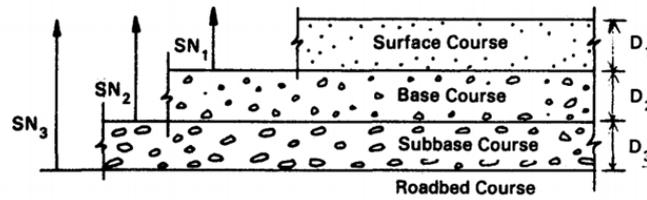


Figura 11 -Distribuzione SN in funzione della tipologia di strato

Caratteristiche del sottofondo

La “portanza” di un terreno è la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni, che risultano essere di tipo elasto–plastico - viscoso. Infatti, la necessità di avere contenute deformazioni nel sottofondo, al fine di garantire le regolarità del piano viabile e consentire un’accettabile vita utile della sovrastruttura, condiziona decisamente lo spessore complessivo della pavimentazione. La portanza dipende da una serie di fattori: (i) natura, porosità e contenuto d’acqua del terreno; (ii) entità, area di impronta e velocità di applicazione del carico e numero di applicazioni del carico. La capacità portante può essere rappresentata con più parametri; nella formula di dimensionamento proposta dall’AASHTO le caratteristiche del sottofondo vengono considerate attraverso il modulo resiliente M_r .

A vantaggio di sicurezza, nel presente dimensionamento, avendo preso in considerazione tutti i parametri provenienti dalle indagini geognostiche effettuate in prossimità delle piazzole degli aerogeneratori, si è assunto un valore del modulo resiliente pari a 30 Mpa.

Calcolo del numero di passaggi di assi equivalenti N8.2

La formula di calcolo proposta dalla AASHTO Guide lega il numero dei passaggi di assi singoli equivalenti, $N_{8,2}$ da 8,2 tonnellate con la Reliability R, il modulo resiliente effettivo M_r del sottofondo, lo *Structural Number*, SN, e la differenza tra l’indice di servizio iniziale e quello finale, indicato come ΔPSI . La relazione è la seguente:

$$\log N_{8,2} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log(M_r) - 8,07$$

I valori utilizzati nella relazione sopra esposta sono riportati in tabella seguente:

Descrizione parametro	Valore parametro
Mr	30 Mpa
SN (cm)	5,2
R	80%
Z _R	-0,841
S ₀	0,45
PSI _{iniz}	4,2
PSI _{fin.}	2,5
ΔPSI	1,7

Tabella 10 - Valori di calcolo utilizzati

Sostituendo la parte numerica si ricava il numero di passaggi di assi da 8,2 tonnellate che la corsia di marcia riesce a sopportare prima di raggiungere il prefissato PSI_{fin.}, cioè sia giunta al termine della vita utile. Risulta, quindi, che il numero di passaggi di assi standard N_{8,2} sopportabili dalla pavimentazione è pari a **18558**.

5.3 VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE

Il metodo empirico si conclude verificando che il numero di passaggi di assi standard N_{8,2prog} (prodotto dai veicoli commerciali durante l'intero arco temporale di vita utile della pavimentazione) risulti inferiore al numero massimo di passaggi di assi standard sopportabili dalla pavimentazione. **Nel caso specifico 17212 < 18558. La sovrastruttura risulta verificata positivamente.**

6. OPERE IDRAULICHE

La durabilità delle strade e delle piazzole di un parco eolico è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche.

La viabilità esistente sarà interessata da un'analisi dello stato di consistenza delle opere idrauliche già presenti: laddove necessario, tali opere idrauliche verranno ripristinate e/o riprogettate per garantire la corretta raccolta ed allontanamento delle acque defluenti dalla sede stradale, dalle piazzole o dalle superfici circostanti.

Le acque defluenti dalla sede stradale, dalle piazzole o dalle superfici circostanti verranno raccolte ed allontanate dalle opere idrauliche in progetto.

La tipologia di strade da realizzarsi permette di affermare che non vi è alcuna modifica apprezzabile dell'equilibrio della circolazione idrica superficiale preesistente. Le opere idrauliche tendono da una parte a garantire l'equilibrio idrico e dall'altra a mantenere agibili le suddette strade.

I fossi di guardia, a sezione trapezoidale, hanno un duplice ruolo di protezione della scarpata lungo la sede stradale e di allontanamento delle acque dalla sede stradale agli impluvi naturali.

Nel primo caso, i fossi di guardia sono posti alla base della scarpata nel caso di sezione stradale in rilevato, mentre sono in testa alla scarpata nel caso di sezione in trincea.

Pur trattandosi di opere idrauliche modeste si è preferito non tralasciare nulla e supportare le scelte progettuali da appositi calcoli idraulici riportati nella apposita relazione "FLO-PD-R.19-00_Relazione idrologica e idraulica".

7. CAVIDOTTI

7.1 GENERALITÀ

Il parco eolico nella sua configurazione avrà una potenza complessiva di 48 MW, data dalla somma delle potenze elettriche di n. 8 aerogeneratori della potenza unitaria massima di 6,00 MW.

Dal punto di vista elettrico, gli aerogeneratori sono collegati fra di loro con un gruppo da 2 ed un DUE gruppi da 3, costituendo così n. 3 distinti sottocampi, come di seguito meglio rappresentato.

Sottocampo	Aerogeneratori	Potenza	Comune
LINEA 1	FLO-02 – FLO-01- SSE	12,00 MW	Florinas
LINEA 2	FLO-05 – FLO-04- FLO-03- SSE	18,00 MW	Florinas
LINEA 3	FLO-07 – FLO-06- FLO-08- SSE	18,00 MW	Florinas

Tabella 11

7.2 SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE

L'immagine di seguito riportata mostra lo schema elettrico del parco eolico, con evidenza dei sottocampi e delle linee di collegamento. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato FLO-PD-D51-00__Schema elettrico unifilare



Figura 12

7.3 LINEE ELETTRICHE MT DI COLLEGAMENTO

Coerentemente con la suddivisione in sottocampi di cui al precedente paragrafo, l'intero sistema di raccolta dell'energia dagli aerogeneratori verso la Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) 150/30 kV è articolato su n.3 distinte linee elettriche a 30 kV, una per ciascun sottocampo. Dall'aerogeneratore capofila di ciascun sottocampo, infatti, si diparte una linea elettrica di vettoriamento in cavo interrato MT, di sezione pari a 300 e 630 mm².

Analogamente, gli aerogeneratori di ciascun sottocampo sono collegati fra loro in entra-esce con una linea elettrica in cavo interrato MT 30 kV, di sezione crescente dal primo all'ultimo aerogeneratore. Tutti i cavi di cui si farà utilizzo, sia per il collegamento interno dei sottocampi che per la connessione alla SSEU, saranno del tipo standard con schermo elettrico (c. § 5.2.1). Nella tabella che segue si riporta calcolo preliminare delle linee elettriche di collegamento da rivalutare in fase esecutiva.

LINEA	PARTENZA	ARRIVO	Sezione cavo [mm ²]	Lunghezza cavo [m]	Potenza attiva [MW]
LINEA 1	FLO-02	FLO-01	3x1x120	3055	6
	FLO-01	SSE	3x1x300	1.585	12
LINEA 2	FLO-05	FLO-04	3x1x120	670	6
	FLO-04	FLO-03	3x1x300	955	12
	FLO-03	SSE	3x1x630	4.670	18
LINEA 3	FLO-07	FLO-06	3x1x120	660	6
	FLO-06	FLO-08	3x1x300	5265	12
	FLO-08	SSE	3x1x630	2.695	18
POTENZA COMPLESSIVA					48,000

Tabella 12

In generale, per tutte le linee elettriche, si prevede la posa direttamente interrata dei cavi, senza ulteriori protezioni meccaniche, ad una profondità di 1,10 m dal piano di calpestio.

In caso di particolari attraversamenti o di risoluzione puntuale di interferenze, le modalità di posa saranno modificate in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-17 e dagli eventuali regolamenti vigenti relativi alle opere interferite, mantenendo comunque un grado di protezione delle linee non inferiore a quanto garantito dalle normali condizioni di posa.

Per il dettaglio dei tipologici di posa, si rimanda all'elaborato grafico FLO-PD-D50-00-Sezioni tipo elettrodotti interrati MT e AT.

8. STAZIONE DI TRASFORMAZIONE AT/MT

8.1 UBICAZIONE E VIABILITÀ DI ACCESSO

Il parco eolico in progetto convoglierà l'energia prodotta verso la Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) in progetto nel Comune di Florinas, via Roma 96-102, (particella 618 e 619 del foglio 11) per la trasformazione e la consegna dell'energia elettrica alla rete di trasmissione nazionale.

La stazione di utenza sarà realizzata all'interno di un'area prevista in condivisione con altri produttori e che costituisce anch'essa opera di progetto.

All'interno dell'area in condivisione è prevista la realizzazione di uno stallo condiviso a partire dal quale si svilupperà il cavidotto AT a 150 kV interrato per il collegamento in antenna del "condominio di connessione" con la stazione esistente RTN "Florinas", di lunghezza pari a circa 40 m. Il condominio di connessione è previsto nell'adiacente Via Roma n 96-102 ed interessa un'area di forma rettangolare di larghezza pari a circa 48.0 m e di lunghezza pari a circa 56,50 m.

8.2 LAYOUT STAZIONE UTENTE

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede (cod. pratica TERNA 202301026) che l'impianto venga collegata in antenna a 150 kV sul futuro ampliamento (previsto da Piano di Sviluppo Terna) della Stazione Elettrica (SE) di Smistamento a 150 kV della RTN denominata "Florinas".

Ai sensi dell'art. 21 dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt/99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, Vi comunichiamo che il nuovo elettrodotto a 150 kV per il collegamento in antenna del Vs. impianto sulla Stazione Elettrica della RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 150 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

In base al preventivo di connessione, la potenza in immissione sarà pari a 48,00 MW. Di seguito l'inquadramento generale della stazione.

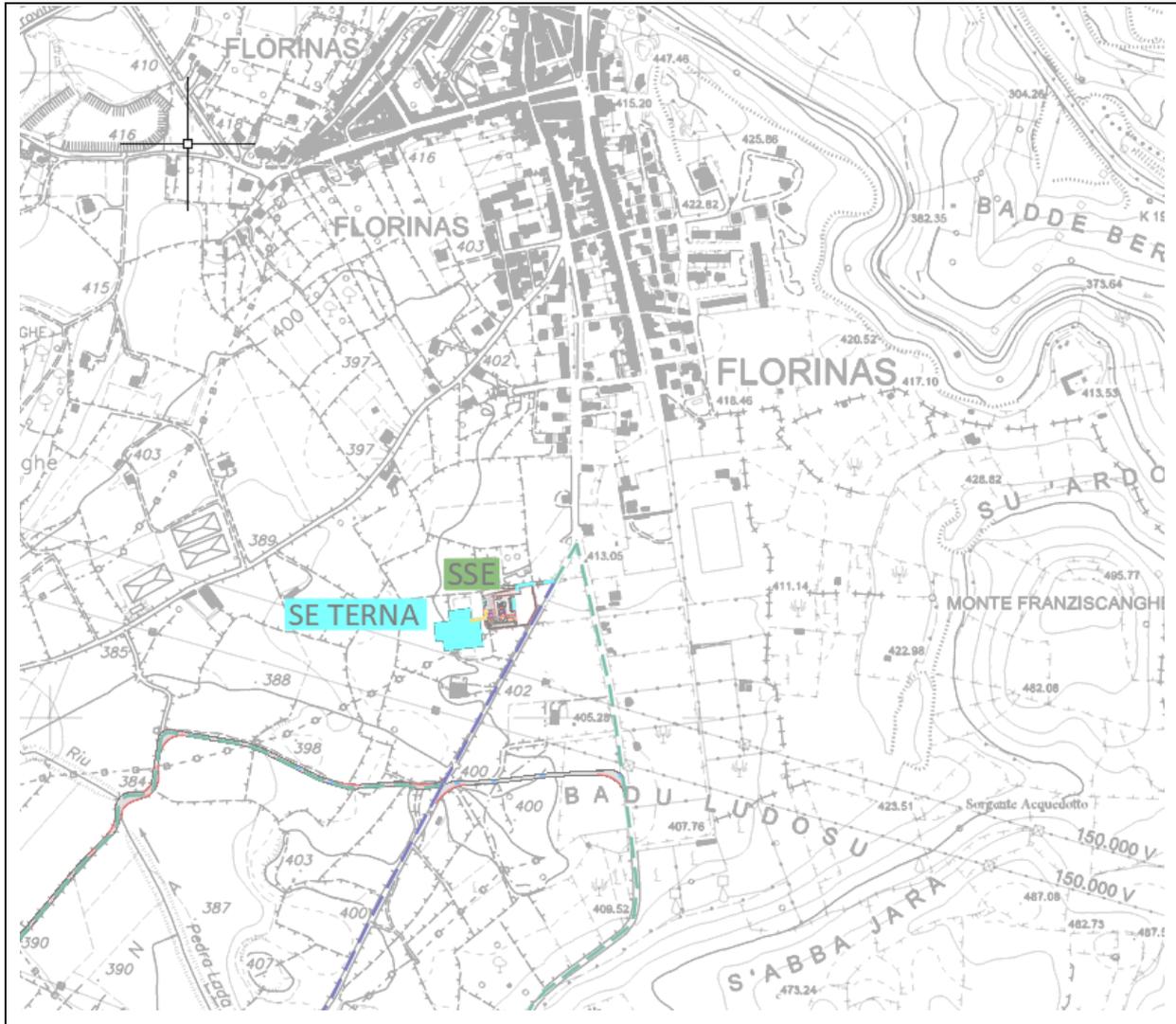


Figura 13 - Inquadramento stazione utente e stazione terna "Florinas" su ctr

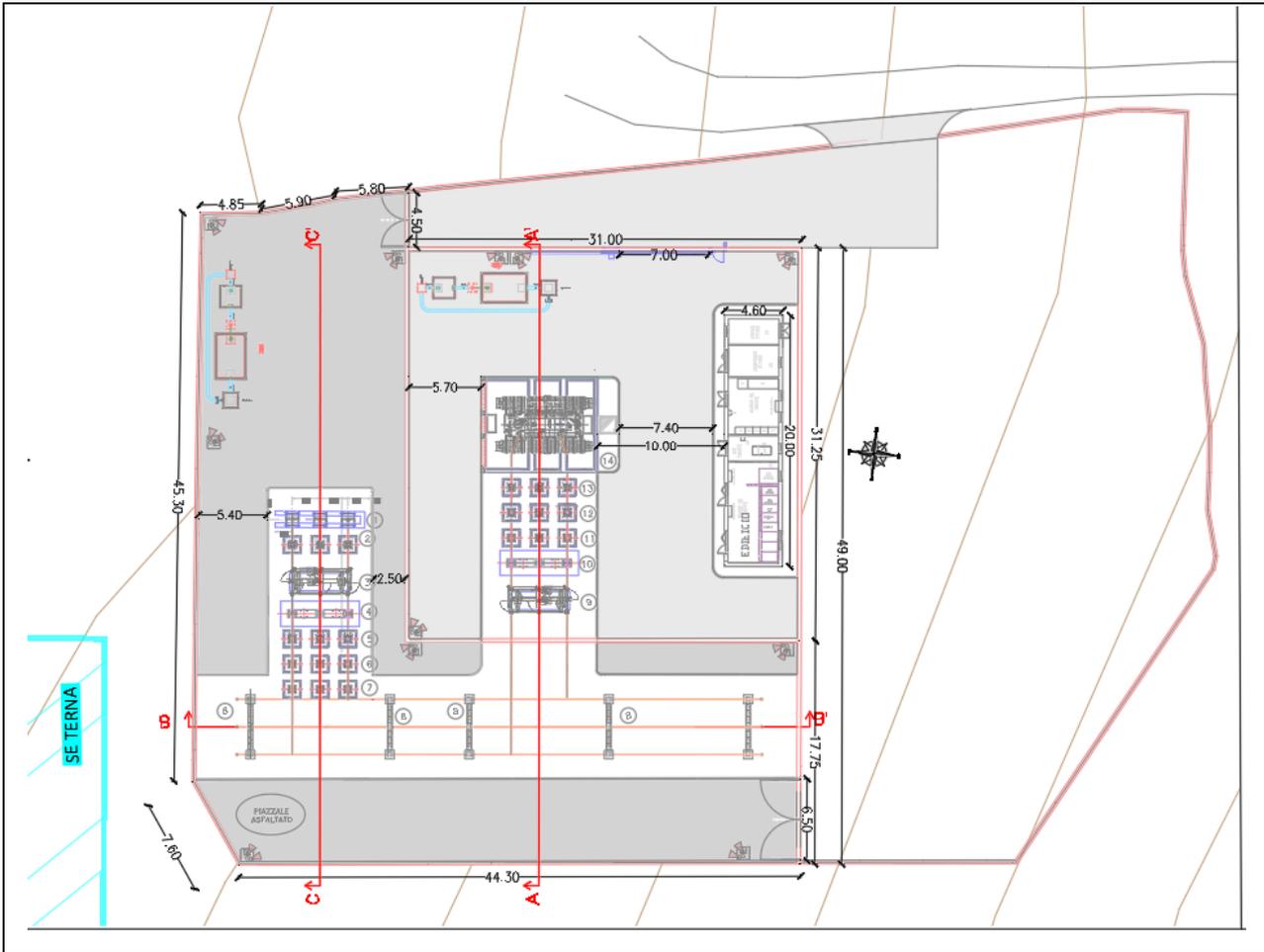


Figura 14 Planimetria stazione utente ed ampliamenti futuri

9. OPERE DI INGEGNERIA AMBIENTALE

Tra le specifiche dettate dal Committente dell'opera riveste un ruolo importante la volontà di preservare

l'“*habitus naturale*” mediante l'adozione di tutte le possibili tecniche di bioingegneria ambientale. Tali interventi di ingegneria naturalistica, intrapresi per la salvaguardia del territorio, dovranno avere lo scopo di:

- intercettare i fenomeni di ruscellamento incontrollato che si verificano sui versanti per mancata regimazione delle acque;
- ridurre i fenomeni di erosione e di instabilità dei versanti;
- regimare in modo corretto le acque su strade, piste e sentieri;
- ridurre il più possibile l'impermeabilizzazione dei suoli creando e mantenendo spazi verdi e diffondendo l'impiego della vegetazione nella sistemazione del territorio.

10. MATERIALI DI SCAVO E RIUTILIZZO

Per maggiori dettagli si rimanda al “**Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti (art. 24 co. 3 dpr 120/2017) FLO-SA-R04_00**”