

# **PROGETTO DEFINITIVO - SIA**

# PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO
ing. Andrea ANGELINI
ing. Antonella Laura GIORDANO
ing. Francesca SACCAROLA
COLLABORATORI

ing. Giulia MONTRONE ing. Francesco DE BARTOLO

# STUDI SPECIALISTICI

GEOLOGIA geol. Matteo DI CARLO ACUSTICA ing. Antonio FALCONE

NATURA E BIODIVERSITÀ BIOPHILIA - dr. Gianni PALUMBO dr. Michele BUX

STUDIO PEDO-AGRONOMICO dr. Gianfranco GIUFFRIDA

ARCHEOLOGIA
ARSARCHEO - dr. archeol. Manuele PUTTI dr. archeol. Gabriele MONASTERO

# INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI arch. Andrea GIUFFRIDA

D.R. ELABORATI DESCRITTIVI	REV.	DATA	DESCRIZIONE
5 Relazione geotecnica e sismica			



# **INDICE**

1.	PRE	MESSE	1
2.	CAF	RATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	2
	2.1.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	2
	2.2.	INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	10
	2.3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	11
	2.4.	Uso del suolo	14
3.	STR	ATIGRAFIA E CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI	17
4.	CEN	INI TEORICI SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE	18
		CARICO LIMITE VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE	
	4.1.1	l. Resistenza alla punta	18
	4.1.2	2. Resistenza laterale del fusto	19
	4.2.	CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI	19
5.	CO	MBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	23
6.	VER	RIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	25





#### 1. PREMESSE

Nella presente relazione vengono esaminati gli aspetti geotecnici di un'area interessata dalla costruzione di un Parco Eolico da realizzarsi all'interno del territorio comunale di Piombino e Campiglia Marittima (LI) per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (vento) e l'immissione dell'energia prodotta, attraverso un'opportuna connessione, nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

Lo studio ha avuto lo scopo, attraverso indagini indirette, di identificare, classificare e definire puntualmente le caratteristiche geotecniche delle unità litostratigrafiche delle aree di sedime interessate dalle opere in progetto.

Nello specifico sono state eseguite:

- n. 3 tomografie sismiche;
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie secondo la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Il progetto prevede la costruzione di n. 8 aerogeneratori della potenza unitaria di 7.2 MW (per una potenza complessiva di 57.6 MW) sorrette da una platea di fondazione circolare in calcestruzzo armato gettato in opera del diametro di 29 m (altezza variabile da 130 cm a 260 cm) su n. 16 pali trivellati di profondità di circa 25 m e diametro pari a 120 cm. È inoltre prevista la realizzazione di vani tecnici realizzati in calcestruzzo armato gettato in opera, ovvero di una cabina di trasformazione/elevazione MT/AT 30/132 kV e sottostazione elettrica consegna (o SSE).

Per definire la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e la scelta ottimale del tipo di fondazione delle opere del progetto sono stati utilizzati i dati geologici, geotecnici ed idrogeologici rilevabili anche dalla bibliografia disponibile per il territorio in esame.



# 2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

#### 2.1. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geologico, l'area in studio ricade nel dominio della Val di Cornia, nel contesto della Toscana Centrale e Costiera, caratterizzato dalla presenza di Unità Neogeniche Toscane impostate su un sistema tettonico complesso, in cui le Unità Liguri e Subliguri sormontano la Falda Toscana.

La zona risulta prossima alla Regione Boracifera di Larderello ed alle Colline Metallifere, sfruttate fin dal passato per la produzione di energia elettrica (energia geotermica) e l'estrazione di metalli, con forte condizionamento delle economie locali.

Anche in Val di Cornia sono note manifestazioni idrotermali, concentrate nell'intorno del plutone granodioritico di Botro ai Marmi, che hanno determinato la mineralizzazione della zona di Campiglia Marittima; anche in questa zona le attività estrattive hanno caratterizzato le attività economiche in epoche storiche, con numerosi siti e reperti oggi ripristinati dall'attività museale.

L'assetto strutturale della Toscana Centro-Meridionale è dominato dalle deformazioni legate alla tettonica distensiva del Tirreno, che nel Neogene e nel Quaternario ha determinato il collasso e lo smembramento della catena nord-appenninica.

Studi recenti sul Tirreno settentrionale e sui depositi epiliguri individuano l'inizio delle deformazioni distensive alla fine del Miocene Inferiore; a partire da tale momento sono stati distinti nella Toscana Meridionale due episodi distensivi.

Il primo evento, relativo al periodo tra il Miocene Inferiore ed il Tortoniano Superiore, si è determinato un assottigliamento della crosta superiore, mediante faglie dirette a basso angolo e a geometria complessa: ne è derivata una situazione geometrica molto caratteristica, nota come "serie ridotta", caratterizzata da rilevanti elisioni degli spessori della successione stratigrafica, con diretta sovrapposizione delle Unità Liguri sulla formazione anidritica triassica.

Il secondo evento, riferito all'intervallo tra il Tortoniano Superiore ed il Pleistocene Medio, è stato caratterizzato dallo sviluppo di faglie a geometria listrica, responsabili di un sistema di fosse tettoniche subparallele, allungate in direzione NO-SE, la cui apertura non è stata contemporanea, ma con una progressiva e graduale migrazione da occidente ad oriente.

La configurazione originaria a falde è rappresentabile attraverso l'impilamento di più unità tettoniche sovrapposte, secondo lo schema seguente:

- Unità Liguri
- Unità Subliguri
- Unità della Falda Toscana
- Unità di Monticiano Roccastrada ("Basamento Cristallino Toscano")
- Unità degli Gneiss ("Basamento Metamorfico").

L'evoluzione sedimentaria neogenica - quaternaria è stata in gran parte condizionata dai movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post - collisionale, mentre mancano specifici riscontri circa gli effetti della ciclicità eustatica, spesso mascherati da quelli indotti dall'attività tettonica.

In particolare è possibile distinguere i seguenti contesti geologici caratteristici del territorio:

✓ Il Promontorio di Piombino, caratterizzato da rilevanti affioramenti di membri della Falda Toscana, anch'essi interessati dai movimenti tettonici, e da elementi Subliguri sovrastanti. Nella zona



affiorano prevalentemente arenarie oligoceniche, quali il Macigno e le Arenarie di Suvereto, bordate da sedimenti sabbiosi quaternari (Sabbie di Val di Gori);

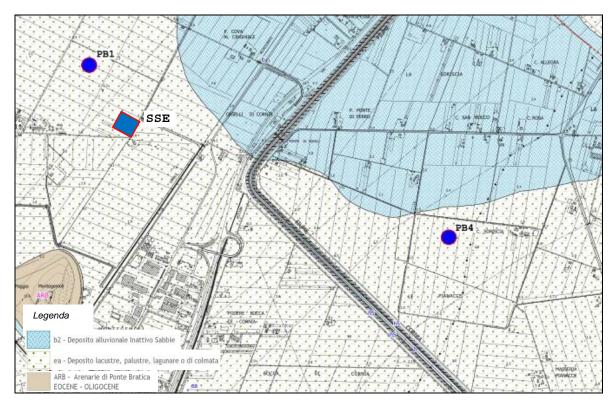
- ✓ La zona di Campiglia, in cui affiora quello che è genericamente definito il "Massiccio Carbo- natico", che rappresenta una finestra tettonica con rilievi costituiti da membri mesozoici della Serie Toscana. In quest'area affiorano elementi vulcanici intrusivi, quali la Granodiorite di Botro ai Marmi e i vari Filoni Porfirici che interessano le successioni sedimentarie, con at- tuali manifestazioni idrotermali sfruttate per attività ricreative. Al margine della zona car- bonatica si ritrovano gli elementi superiori del Dominio Toscano e, verso Ovest, si osserva l'impilamento delle diverse unità tettoniche, attraverso i contatti tettonici con le Unità Sub-liguri e quindi con quelle Liguri;
- ✓ Sui rilievi a Sud-Ovest della valle del Cornia affiorano generalmente membri delle Unità Li- guri, di natura prevalentemente flyshoide, con piccole finestre tettoniche in cui emergonogli elementi sepolti appartenenti alla Falda Toscana; le porzioni pedecollinari sono spesso costituite da depositi neogenici e quaternari, a loro volta incise ed erose dall'azione delle acque superficiali;
- ✓ L'ampia pianura compresa tra il Promontorio di Piombino ed i rilievi più interni, di specifica pertinenza dell'area in studio, rappresenta il punto di congiunzione tra la valle fluviale del Fiume Cornia e la zona retrodunale e palustre della campagna piombinese, bonificata nel corso del XIX secolo; tutt'oggi sono presenti aree umide ed altre in cui la regimazione idraulica è affidata a sistemi di sollevamento meccanico, poste a quote prossime al livello medio marino.

Per quanto attiene la geologia di superficie, dalla consultazione della Carta Geologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, si rileva che gli interventi previsti sono caratterizzati dall'affioramento degli elementi morfologici individuati nella Tabella 3 di pagina seguente, descritti nel dettaglio nel proseguo della presente sezione; nelle Figure 5, 6, 7 e 8 sono riportati gli stralci dei n.4 fogli della Carta Geologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

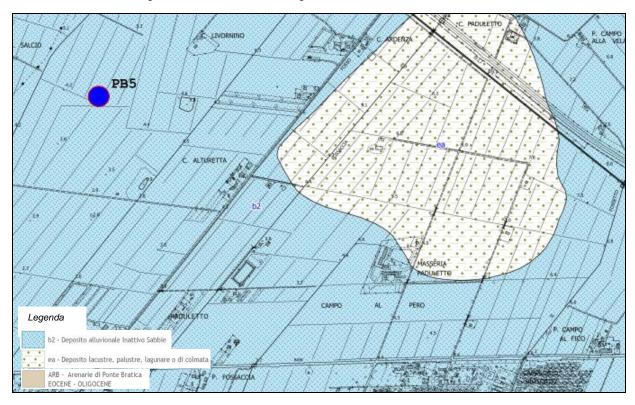
Elemento	Formazione Geologica affiorante		
Aerogeneratore PB1	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata		
Aerogeneratore PB2	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata		
Aerogeneratore PB3	g2a - Spiaggia Sabbie		
Aerogeneratore PB4	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata		
Aerogeneratore PB5	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie		
A orogonorotoro CMD1	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie/ea - Deposito		
Aerogeneratore CMP1	lacustre, palustre, alluvionale o di colmata		
Aerogeneratore CMP2	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie		
Aerogeneratore CMP3	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie		
Sottostazione elettrica (SSE)	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata		

Formazioni geologiche in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica



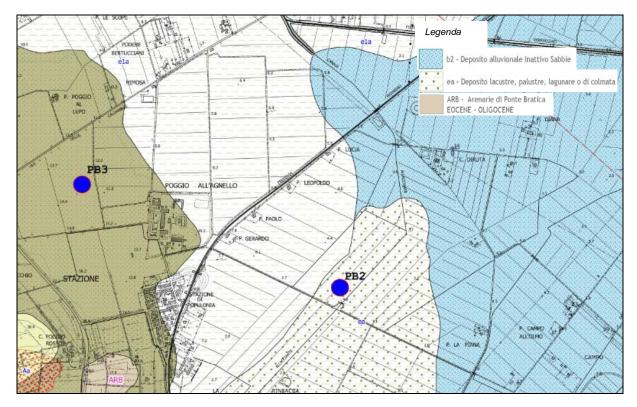


Stralcio Foglio G.01a della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

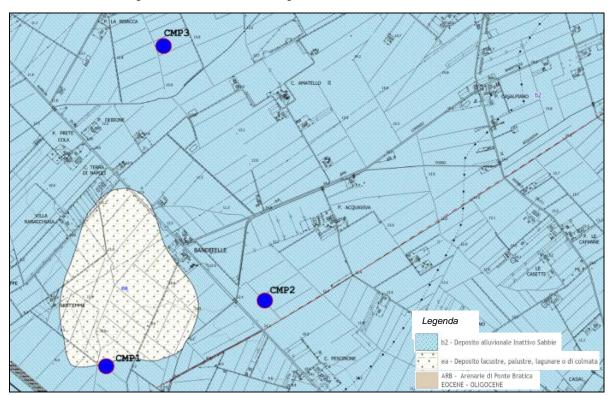


Stralcio Foglio G.01b della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo





Stralcio Foglio G.01c della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo



Stralcio Foglio G.01d della Carta Geologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e relative figure sopra riportate, gli interventi previsti da progetto ricadono su porzioni di territorio contraddistinte dall'affioramento delle seguenti formazioni geologiche:



- ✓ in corrispondenza degli aerogeneratori PB1, PB2 e PB4 e della Sottostazione Elettrica (SSE) affiorano depositi superficiali ascrivibili alla formazione "ea Deposito lacustre, palustre, lagunare o di colmata", sostanzialmente costituita da depositi di consistenza variabile in aumento con la profondità, originati dagli episodi di colmata della pianura costiera e presentano una tessitura ad elevata componente limo-argillosa con sporadica presenza di strati a componente sabbiosa dominante (legati agli episodi di elevata energia, come le piene fluviali);
- ✓ in corrispondenza dell'aerogeneratore PB3 sono cartografati depositi superficiali ascrivibili alla formazione "g2a Spiaggia sabbie"; dalla consultazione del precedente Strumento Urbanistico (Piano Strutturale d'Area) risulta che in realtà affiorano sedimenti ascrivibili alla formazione "VILb Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi" costituita da depositi di natura continentale e di facies ossidanti corrispondono alle fasi epiglaciali di maggior ritiro del livello del mare. Il tipico colore rosso-arancio è probabilmente derivato da quello dei materiali detritici di provenienza in gran parte dallo smantellamento di depositi molto arrossati dovuti a fenomeni pedologici. Sono descritte come sabbie a granulometria molto fine, anche se non è raro ritrovarvi ghiaie e ciottoli di spessore variabile che difficilmente supera i 5 m. I sottostanti;
- ✓ in corrispondenza degli aerogeneratori PB5, CMP2 e CMP3 affiorano depositi superficiali ascrivibili alla formazione "b2 Deposito alluvionale inattivo Sabbie", sedimenti presenti nei fondovalle di tutti i corsi d'acqua e consistenti prevalentemente in argille, limi e sabbie, con presenza di ghiaie nelle aree più interne della valle del Fiume Cornia. La porzione più ampia della pianura alluvionale del Fiume Cornia è caratterizzata da depositi argillosi, con presenza di rilevanti spessori di sedimenti fini e scarsamente compattati;
- ✓ l'aerogeneratore CMP1 ricade in una porzione di territorio contraddistinta dall'affioramento della formazione "b2 Deposito alluvionale inattivo Sabbie" in prossimità del contatto con una "lente" di affioramento della formazione "ea Deposito lacustre, palustre, lagunare o di colmata".

Le coperture detritiche superficiali finora descritte poggiano al di sopra di un substrato costituito da terreni limo-argillosi grigio azzurri (cromatismo relativo ad un ambiente fortemente riducente) legati ad una deposizione prevalentemente marina/lagunare, a loro volta sovrastanti orizzonti litologicamente riconducibili a sabbie fini di color giallo ocra con inclusi frammenti litoidi calcarenitici che, sulla base delle conoscenze oggi a disposizione, sono rilevabili oltre - 15,00/20,00 m dal piano campagna.

Il substrato della successione finora descritta, rinvenibile a profondità superiori a 30,00 m di profondità, è verosimilmente costituito da formazioni arenacee o argillitico-marnose che costituiscono l'ossatura dei promontori di Piombino e Campiglia Marittima.

Dal punto di vista geomorfologico la porzione di territorio oggetto di studio ricade nel contesto della pianura alluvionale del Fiume Cornia, delimitata a Nord dai monti di Campiglia Marittima a Nord Est dalle colline di Suvereto, a Est dalle colline che si estendono dalla località "I forni" fino ai rilievi di Vignale e Riotorto, a Ovest dal Promontorio di Piombino ed infine a Nord Ovest e Sud dalle coste sabbiose rispettivamente di Rimigliano e del Golfo di Follonica.

L'intera pianura è suddivisibile in due parti ciascuna di forma triangolare: la piana di Palmentello - Luimiere e la Pianura propriamente detta del Cornia.

In particolare, la zona di interesse ricade nel tratto terminale della Pianura del Cornia delimitata a sud dalla linea congiungente il tratto di costa che da Ponte d'oro (zona Est dell'abitato di Piombino) arriva a Torre Mozza (Ovest di Follonica) e come vertice opposto verso nord il piede occidentale del Monte Peloso (Sud di Suvereto) con quote intorno ai 30 m s.l.m..

Il dominio geomorfologico di pertinenza è caratterizzato da una superficie topografica sub-pianeggiante, leggermente degradante in direzione della linea di costa; al contorno si rilevano i rilievi collinari costituiti da



formazioni calcaree aventi un'altitudine che varia dai 300 m ai 650 m s.l.m. circa, i quali conferiscono al paesaggio forme aspre con versanti ripidi e valli profondamente incise.

Da un punto di vista prettamente geologico strutturale l'intera pianura del fiume Cornia si è impostata su un Graben riferibile al periodo Neogenico o quaternario facente parte della tettonica prossimale che ha interessato tutto il margine tirrenico della catena appenninica.

Durante tale fenomeno le depressioni costiere come la pianura del Cornia sono state invase dal mare che ha depositato sedimenti costituiti da sabbie argillose e arenarie poco cementate.

All'inizio del quaternario antico, l'attuale pianura del Cornia era sommersa dal mare formando un ampio golfo che raggiungeva la località de "I forni" e che costeggiava i rilievi di Campiglia Marittima, cosicché il promontorio di Piombino risultava essere un'isola posta a breve distanza dalla costa.

Gli apporti solidi del Fiume Cornia e la concomitante formazione di cordoni sabbiosi hanno ridotto l'originario golfo in un sistema di stagni di vaste dimensioni sopravvissuti fino all'inizio del nostro secolo.

I sedimenti della bassa pianura del fiume Cornia sono pertanto il risultato di questa particolare situazione paleogeografica ed il loro spessore valutato intorno ai 100 m è il risultato di un fenomeno di subsidenza tettonica che si è verificato nella zona.

La zona di pianura del Cornia propriamente detta, rispetto alla pianura Palmentello - Lumiere non presenta alcun livello di Panchina pleistocenica, bensì spessori variabili dai 50 ai 100 m di alternanze di ghiaie e/o sabbie e limi e/o argille. Ciò può trovare una spiegazione nel fatto che tali depositi siano stati erosi durante l'ultima variazione eustatica e sostituite da depositi lagunari e palustri e fluviali collegati al trasporto solido del fiume Cornia.

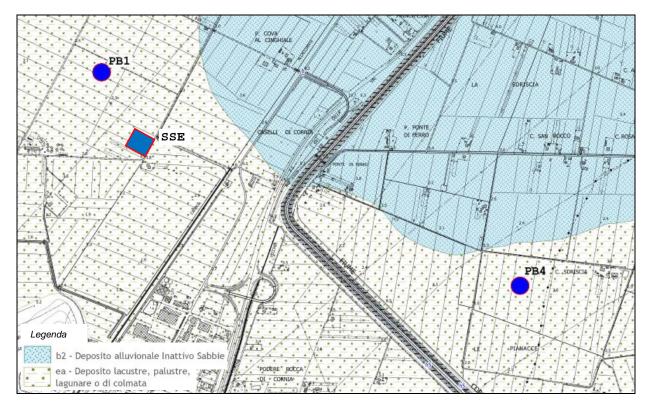
In sintesi, le escursioni eustatiche, gli apporti solidi del fiume Cornia ed i lenti movimenti di subsidenza tettonica, hanno trasformato nel tempo l'assetto geologico, determinando nell'intera area dapprima un ambiente di mare basso e successivamente, dopo lo sviluppo di esili cordoni dunali, un ambiente prettamente palustre caratterizzando in tal modo tutto il periodo dell'olocene fino al secolo scorso.

Dalla consultazione della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima, si rileva che gli interventi previsti sono caratterizzati dall'affioramento degli elementi morfologici individuati nella Tabella 2 di pagina seguente, descritti nel dettaglio nel proseguo della presente sezione; nelle Figure 1, 2, 3 e 4 sono riportati gli stralci dei n.4 fogli della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Piombino e Campiglia Marittima nell'ambito dei quali ricadono le opere oggetto di valutazione.

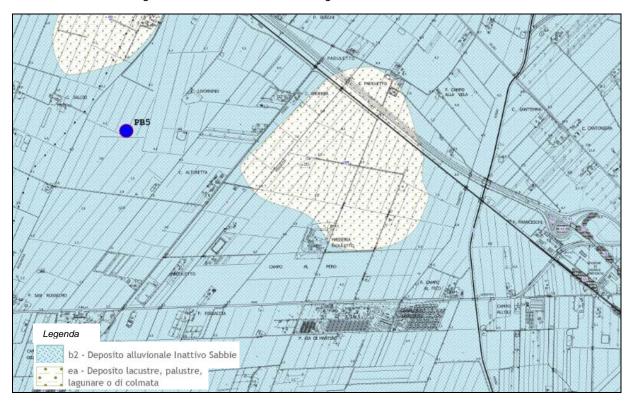
Elemento	Elemento Geomorfologico
Aerogeneratore PB1	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata
Aerogeneratore PB2	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata
Aerogeneratore PB3	nessun elemento rilevante/cartografato
Aerogeneratore PB4	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata
Aerogeneratore PB5	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie
Aerogeneratore CMP1	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie/ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata
Aerogeneratore CMP2	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie
Aerogeneratore CMP3	b2 - Deposito aluvionale Inattivo Sabbie e DMT - Depressioni morfologiche potenzialmente instabili
Sottostazione elettrica (SSE)	ea - Deposito lacustre, palustre, alluvionale o di colmata

Elementi geomorfologici in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione elettrica



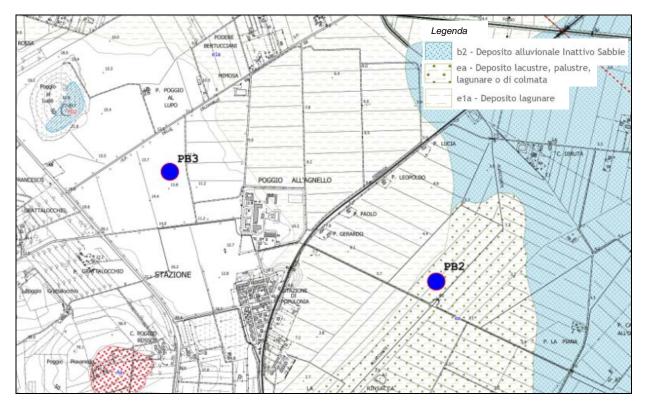


Stralcio Foglio G.03a della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

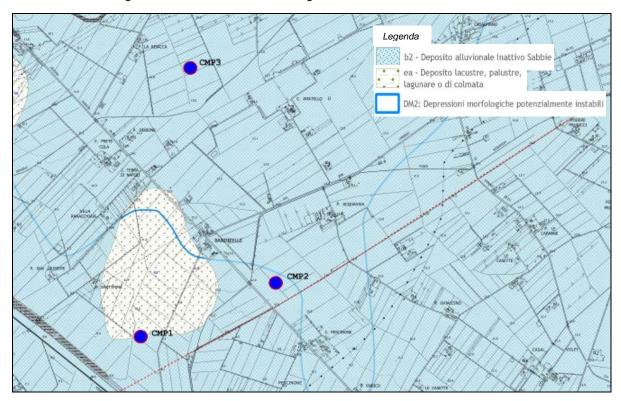


Stralcio Foglio G.03b della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo





Stralcio Foglio G.03c della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo



Stralcio Foglio G.03d della Carta Geomorfologica del P.S.I. con individuati elementi di rilievo

Come si evince dalla consultazione delle tabelle e figure sopracitate, in corrispondenza dell'area d'insistenza di 7 degli 8 aerogeneratori (PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, CMP1 e CMP2) e della Sottostazione Elettrica (SSE) non sono rilevati elementi morfologici significativi, oltre i depositi superficiali che costituiscono le coperture detritiche identificate quali "b2 – Deposito alluvionale Inattivo Sabbie" ed "ea – Deposito lacustre, palustre,



lagunare o di colmata", ascrivibili al dominio geomorfologico di pertinenza quale pianura fluviale, solcata da un asse drenante principale (Fiume Cornia) e da una serie di corsi minori, che ha dato luogo alla sedimentazione di una spessa coltre alluvionale dalle caratteristiche assai variabili, con frequenti eteropie verticali e laterali.

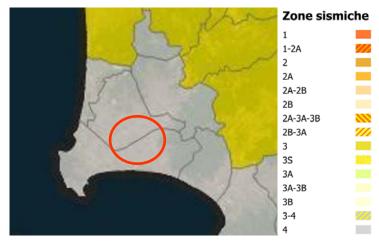
Come ricostruito attraverso l'analisi dei dati geognostici a disposizione, la zona di pianura presenta caratteristiche diverse tra la zona più interna e quella costiera; la parte alta della valle del Fiume Cornia presenta depositi ghiaioso - sabbiosi, a testimonianza della maggiore energia del corso d'acqua che permette il trasporto di materiale più grossolano, mentre nella zona più distale sono presenti depositi fini (prevalentemente argille scarsamente compattate) e sedimenti palustri, tipici di zone dunali e retrodunali.

Esclusivamente in corrispondenza della zona di insistenza dell'aerogeneratore identificato quale CMP3 è cartografata la presenza di una "DM2 - Depressione morfologica potenzialmente instabile" (si veda Figura 4) che identificata una ristretta porzione di territorio caratterizzata da orizzonti di terreno in affioramento con scadenti caratteristiche geomeccaniche che possono dar luogo a cedimenti/abbassamenti nell'ordine di 10/20 mm all'anno. Tale porzione di territorio, notoriamente interessata da tale fenomeno di "subsidenza", è stata nel tempo oggetto di numerosi studi ed approfondimenti da parte di autorevoli Professionisti/Enti specializzati nel settore che hanno individuato come cause concomitanti le scadenti caratteristiche meccaniche dei terreni che subiscono una notevole compattazione in relazione sovraccarichi indotti dalle strutture in relazione anche alla tipologia di fondazione, con entità degli spostamenti rilevante in particolare su strutture/edifici storici con fondazioni superficiali "a sacco".

In conclusione, da punto di vista geomorfologico le porzioni di territorio interessate dalla realizzazione degli interventi previsti non presentano particolari morfologie/indizi di fenomeni dissestuali passati, in atto o prevedibili, eccezion fatta per la porzione di territorio dove è prevista la realizzazione dell'aerogeneratore CMP3; considerando tuttavia che a livello fondazionale gli aerogeneratori andranno ad insistere su plinti di fondazione insistenti ciascuno su 16 pali di fondazione del diametro di 1,2 m e lunghezza 25,00 m, si ritiene che non sussisteranno problematiche dal punto di vista della portanza/cedimenti del terreno.

# 2.2. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Si illustra di seguito la Classificazione sismica dei comuni di Piombino e Campiglia Marittima (LI) secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009, successivamente modificata con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019.



Individuazione zona sismica dei comuni di Piombino e Campiglia Marittima (LI)

I comuni di Piombino e Campiglia Marittima (LI) ricadono in zona sismica 4:





# Zona sismica 4 Intensità sismica molto bassa: è la meno pericolosa, nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguiti n. 3 profili MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). Sulla base dell'indagine sismica è stato possibile stimare la categoria di suolo per il sito in esame. Dalle risultanze della prospezione sismica, è emerso che per gli aerogeneratori l'area in studio è classificata come **Categoria** "**C**" Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra **180 m/s** e **360 m/s**.

Tabella 3.2. II - Categoria di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato					
Categoria	Descrizione				
А	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.				
В	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.				
С	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.				
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.				
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.				

Si rimanda all'allegato *PD.R.4 Relazione geologica, morfologica e idrogeologica* per i necessari approfondimenti.

#### 2.3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

A seguito delle indagini condotte è stato possibile creare dei modelli geologici-geotecnici come illustrato di seguito.



# Modello geologico-geotecnico aerogeneratori CMP1-CMP2-CMP3

# Comune di CAMPIGLIA MARITTIMA (Livorno) AEROGENERATORI CMP1 - CMP2 e CMP3 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

CONDIZIONE DI STABILITA':		Area stabile						
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica - FALDA TOSCANA interessata da movimenti tettonii e da elementi Subliguri							
	sovrastanti, Nel oligocenichela zona affiorano prevalentemente arenarie, quali il Mac		cigno e le					
		Arenarie di Suvereto, bordate da sedimenti sabbiosi qua	trnari, so	rmonta	ti da depos	iti dicimata,		
		depositi lacustri e alluvionali,						
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA		ZONA 2 (Sismicità 0.15 <pga< 0.25="" g)<="" td=""></pga<>						
		CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia m	ediame	nte ad	Idensate e	e/o di		
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	argille mediamente consistenti							
		Vs30 = 332,2 m/s;						
CATEGORIA TOPOGRAFICA T1								
				p. 1/1				
CARATTERISTICHE LITOLOGIC	CHE	GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA	SUPERF	ICIAL	E			
l° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	RE	LATIVE AL PRIMO LIVELLO						
LITOLOGIA da 1,50 a 20,00 metri	H	Peso dell'unità di volume	Y	=		KN/m³		
Limo argilloso deb sabbioso di colore ocraceo		Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat	=	18.90	KN/m <sup>3</sup>		
alda -30 metri	GEOTECNICHE	Angolo di attrito	φ'	=	22.00	0		
	OII.	Coesione drenata	c'	=	5.00	KPa		
	8	Coesione non drenata	Cu	-	50.00	KPa		
	H	Modulo Edometrico	$\mathbf{E}_{\mathbf{ed}}$	-	5.00	MPa		
	Ιĕ	Velocità onde S	V	-	278	m/s		
	RIS	Coefficiente di Poisson	V	-	0.33	-		
	CARATTERISTICHE	Coefficiente di Winkler	K	-	31,124	KN/m3		
	RA	Coefficiente tangenziale	Кт	Е	24,256	KN/m3		
	S	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	27,875	KN/m3		
LITOLOGIA da 20,00 a 40,00 metri	Ħ	Peso dell'unità di volume	Y	-		KN/m <sup>3</sup>		
Sabbie e ghiaie	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat	-	20.20	KN/m3		
falda -30 metri	EC	Angolo di attrito	φ'	=	32.00	0		
	lo	Coesione drenata	c'	=	-	KPa		
	15	Coesione non drenata	Cu	-	•	KPa		
	Œ	Modulo Edometrico	$\mathbf{E}_{\mathbf{ed}}$	-	8.00	MPa		
	SII	Velocità onde S	V	=	528	m/s		
	ERI	Coefficiente di Poisson	ν	-	0.33			
		Coefficiente di Winkler	K	-		KN/m3		
	AR	Coefficiente tangenziale Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kτ Kd	-	24,256 27,875	KN/m3		



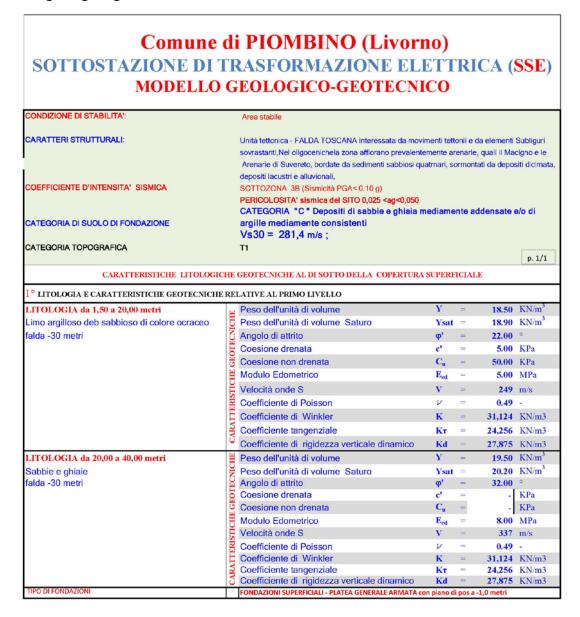
# Modello geologico-geotecnico aerogeneratori PB1-PB2-PB3- PB4- PB5

# Comune di PIOMBINO (Livorno) AEROGENERATORI PB1 - PB2 - PB3 - PB4 e PB5 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

CONDIZIONE DI STABILITA':		Area stabile				
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica - FALDA TOSCANA interessata da movimenti tettonii e da elementi Su sovrastanti,Nel oligocenichela zona affiorano prevalentemente arenarie, quali il Macig					
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	Arenarie di Suvereto, bordate da sedimenti sabbiosi quatrnari, sormontati da depositi depositi lacustri e alluvionali, SOTTOZONA 3B (Sismicità PGA< 0.10 g) PERICOLOSITA' sismica del SITO 0,025 <ag<0,050< td=""><td>iti dicimata</td></ag<0,050<>					iti dicimata
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE		CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia margille mediamente consistenti Vs30 = 281,4 m/s;	nediame	nte ac	Idensate 6	e/o di
CATEGORIA TOPOGRAFICA	VI. (1990 K.) In the case of					p. 1/1
CARATTERISTICHE LITOLOGIC	CHE	GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA	SUPERF	ICIAL	E	
l° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICH	ERE	LATIVE AL PRIMO LIVELLO				
LITOLOGIA da 1,50 a 20,00 metri	Ξ	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.50	KN/m³
Limo argilloso deb sabbioso di colore ocraceo	GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat	=	18.90	KN/m <sup>3</sup>
falda -30 metri	CS	Angolo di attrito	φ'	=	22.00	0
	)II	Coesione drenata	c*	_	5.00	KPa
	E E	Coesione non drenata	Cu	-	50.00	KPa
		Modulo Edometrico	$\mathbf{E}_{\mathbf{ed}}$	-	5.00	MPa
	IIC	Velocità onde S	V	-	249	m/s
	CARATTERISTICHE	Coefficiente di Poisson	V	=	0.49	-
	Œ	Coefficiente di Winkler	K	-	31,124	KN/m3
	RA	Coefficiente tangenziale	Кт	=	24,256	KN/m3
	C	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	27,875	KN/m3
LITOLOGIA da 20,00 a 40,00 metri	H	Peso dell'unità di volume	Y	-		KN/m <sup>3</sup>
Sabbie e ghiaie	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat	-		KN/m <sup>3</sup>
falda -30 metri	EG	Angolo di attrito	φ'	=	32.00	0
	lo.	Coesione drenata	c'	=	-	KPa
	3	Coesione non drenata	Cu	-	•	KPa
	H	Modulo Edometrico	$\mathbf{E}_{\mathbf{ed}}$	-	8.00	MPa
	SIL	Velocità onde S	V	=	337	m/s
	ERI	Coefficiente di Poisson	V	-	0.49	
	Æ	Coefficiente di Winkler	K	=	31,124	
	I S	Coefficiente tangenziale	Кт	=	24,256	
TIPO DI FONDAZIONI	Ü	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico  FONDAZIONI su PALI Lunghezza 25,0 metri - diametro 1,2 m	Kd	-	27,875	KN/m3



#### Modello geologico-geotecnico area SSE



#### 2.4. USO DEL SUOLO

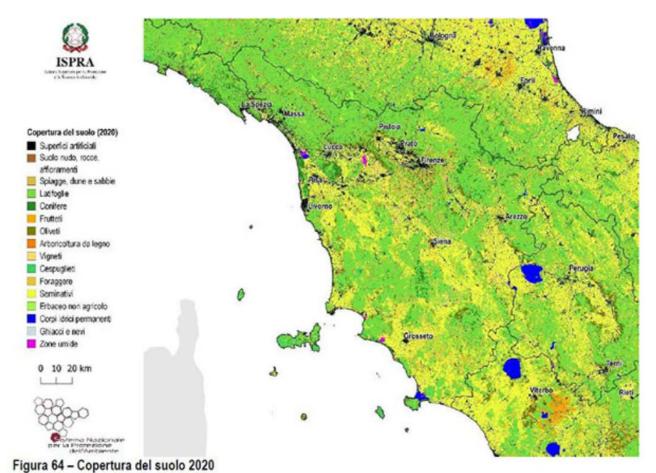
Il Programma europeo CORINE (Coordination of Information on the Environment) è stato approvato il 27 giugno 1985, come programma sperimentale per la raccolta, il coordinamento e la messa a punto delle informazioni sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali della Comunità. All'interno dei progetti che compongono la totalità del programma CORINE (Biotopi, Emissioni atmosferiche, Vegetazione naturale, Erosione costiera, etc.) il Land Cover costituisce il livello di indagine sull'occupazione del suolo. Obiettivo primario è la creazione di una base dati vettoriale omogenea, relativa alla copertura del suolo classificato sulla base di una nomenclatura unitaria per tutti i Paesi della Unione Europea.

Il rilievo, effettuato all'inizio degli anni Novanta dalla UE sul territorio di tutti gli stati membri (rappresentato alla scala 1:100.000), ha prodotto una classificazione secondo una Legenda di 44 classi suddivisa in 3 livelli gerarchici con una unità minima cartografata di 25 ettari.



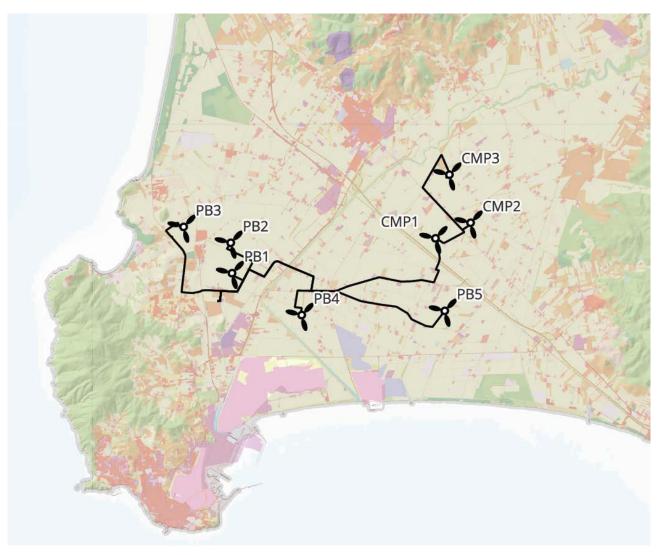
Per analizzare l'uso del suolo dell'area in esame si è consultato il geoportale ISPRA in cui sono presenti i tematismi ottenuti dal progetto CORINE LAND COVER dell'anno 2019.

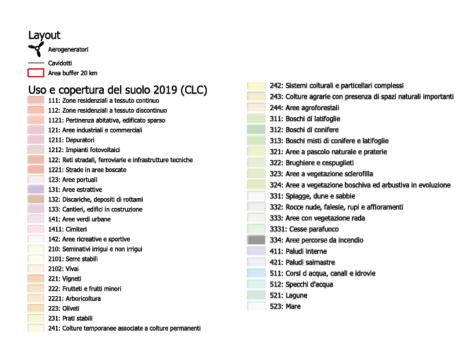
Osservando la cartografia riportatata nelle seguenti figure si osserva che l'area in esame è principalmente



una zona caratterizzata da seminativi.









# 3. STRATIGRAFIA E CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI

Il modello geologico locale è stato ricostruito attraverso le attività di rilevamento geologico, l'analisi dei dati pregressi disponibili e i risultati delle indagini geofisiche effettuate in situ.

Il sottosuolo investigato è stato contraddistinto in un unico sismostrato caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione. Generalmente, data la lunghezza dello stendimento eseguito, è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità di 30 m a partire dalla superficie topografica. Di seguito si riportano le risultanze di questa base sismica eseguita:

✓ Aerogeneratori e SSE: si individuano due sismostrati

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	278	1,5 ÷ 20,0	Limo argilloso e sabbioso di colore ocraceo
2	528	20,0 ÷ 40,0	Sabbie e ghiaie

Sulla base delle indagini geognostiche eseguite è possibile asserire che in corrispondenza delle opere in progetto, sono presenti i sequenti terreni:

 Area installazione aerogeneratori e Area SSE – Sabbie limose con possibilità di intercettare limo e ghiaia (Tab.1)

Argille, argille limose, a luoghi con cristalli di gesso;

Tab. 1 - Limo argilloso e sabbioso di colore ocraceo

Parametri fisici	
p.v. naturale	18.5 kN/mc
p.v. saturo	18.90 kN/mc
poisson	0.33
angolo di attrito	22°

Tab. 2 - Sabbie e ghiaie

Parametri fisici	
p.v. naturale	19.50 kN/mc
p.v. saturo	20.20 kN/mc
poisson	0.33
angolo di attrito	32°

I valori di cui sopra saranno validati in sede di progettazione esecutiva, mediante esecuzione di specifiche indagini geognostiche funzionali a una più dettagliata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica di ogni singolo sito di installazione degli aerogeneratori.



# 4. CENNI TEORICI SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE

Si riportano nel seguito le formulazioni teoriche che saranno adottate per le verifiche geotecniche del progetto esecutivo.

#### 4.1. CARICO LIMITE VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE

È prevista la realizzazione di strutture di fondazione di tipo profondo quali pali trivellati del diametro  $\phi$  1200 e lunghezza pari a 25 m.

La valutazione del carico limite verticale a <u>compressione</u> del palo viene effettuata facendo riferimento alle condizioni drenate per i materiali incoerenti ed alle condizioni non drenate per i materiali coerenti.

La portanza è espressa come somma di due contributi indipendenti:

- resistenza alla punta (alla base) QP;
- resistenza lungo il fusto per attrito laterale Q<sub>L</sub>;

ovvero dalla formula:

$$Q_{lim} = Q_P + Q_L$$

Anche la valutazione del carico limite verticale a <u>trazione</u> del palo viene effettuata facendo riferimento alle condizioni drenate per i materiali incoerenti ed alle condizioni non drenate per i materiali coerenti.

La portanza è espressa come somma di due contributi indipendenti:

- peso proprio del palo W<sub>P</sub>;
- resistenza lungo il fusto per attrito laterale Q<sub>L</sub>;

ovvero dalla formula:

$$Q_{lim} = W_P + Q_L$$

# 4.1.1. Resistenza alla punta

La resistenza alla punta del palo è fornita dall'espressione:

$$P_{pu} = A_p(cN'_c + \eta \bar{q}N'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_{\gamma} s_{\gamma})$$

dove

Ap (superficie della punta del palo) =  $(\pi * D^2/4)$ 

 $\gamma$  = peso di volume del terreno

c = coesione

B = larghezza della punta del palo

L = lunghezza del palo

D = diametro del palo

q = sforzo verticale efficace agente (pressione geostatica) alla profondità a cui è posta la punta del palo

Nq, Nc = fattori di capacità portante

 $\eta$  = coefficiente che assume la seguente formulazione (Vesic)

$$\eta = \frac{1 + 2k_0}{3}$$

nella quale k<sub>0</sub> è il coefficiente di spinta a riposo.

Pertanto la resistenza alla punta del palo è fornita dalla seguente espressione:

$$P_{pu} = A_p(cN'_c + \eta \bar{q}(N'_a - 1))$$





Secondo Vesic, i fattori di capacità portante assumono le seguenti formulazioni:

$$N_q' = \frac{3}{3-\sin\phi} \left\{ exp\left[ \left(\frac{\pi}{2} - \phi\right)\tan\phi \right] \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) I_{rr}^{(4\sin\phi)/[3(1+\sin\phi)]} \right\}$$

nella quale l'indice di rigidezza ridotto Irr è pari a:

$$Irr = \frac{Ir}{1 + \epsilon_v Ir}$$

l'indice di rigidezza Ir è pari a:

$$Ir = \frac{G}{c + \overline{q} \tan \emptyset} = \frac{G}{s}$$

ed ε<sub>v</sub> è pari a:

$$\in_{v} = \frac{(1+v)(1-2v)\sigma_{z}}{E(1-v)}$$

е

$$N_c' = (N_a - 1)cot\emptyset$$

#### 4.1.2. Resistenza laterale del fusto

Il valore della capacità portante laterale del fusto del palo si ricava tramite la formula:

$$\mathbf{Q_L} = \sum \mathsf{As} * \mathsf{fs}$$

nella quale:

As = area della superficie laterale efficace del palo

fs = resistenza che si sviluppa sulla superficie laterale del palo

 $\Sigma$  = sommatoria dei contributi dovuti ai diversi strati geotecnici in cui è suddiviso il palo.

La resistenza laterale fs si calcola con il metodo  $\alpha$  proposto da Tomlinson (1971), ovvero attraverso la formula:

**fs** =  $\alpha$  c + K q tan  $\delta$ 

dove

 $\alpha$  = coefficiente di adesione terreno-pali (pari a 0,40 per i terreni coesivi ed a 1,25 per i terreni incoerenti)

q = pressione efficace agente al centro dello strato di terreno considerato =  $\gamma$  H<sub>med</sub>

H<sub>med</sub> = quota in mezzeria del tratto considerato rispetto alla sommità del palo

 $\gamma$  = peso di volume del terreno

 $\delta$  = angolo di attrito efficace calcestruzzo-terreno di fondazione =  $\phi$ 

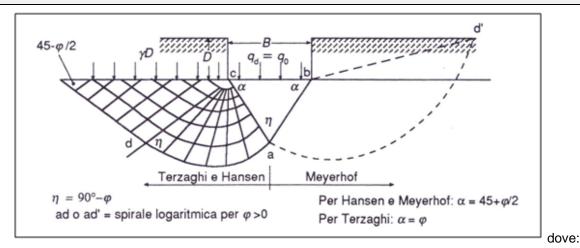
 $K = \text{coefficiente empirico dipendente dalla natura del terreno e dalle modalità costruttive del palo = <math>k_0$  (coefficiente di spinta a riposo) (Ireland, 1957, Flates e Selnes, 1977, Tavenas, 1971)

# 4.2. CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI

Per il calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione è stata utilizzata la relazione di **Meyerhof** (1951, 1963), per le piastre di base con carico verticale, che riprende la formulazione di Terzaghi opportunamente modificata mediante l'introduzione di coefficienti correttivi dipendenti dalla forma, profondità ed inclinazione della fondazione:



$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \qquad (1)$$



c = coesione

 $\gamma_1$  = peso volume del terreno posto al disopra del piano di fondazione;

 $\gamma_2$  = peso volume del terreno di fondazione;

D = profondità di incasso della fondazione;

B = lato minore della fondazione

 $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  = fattori di capacità portante, pari, <u>nel caso di terreni</u>:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$N_c = (N_a - 1) \cdot \cot \varphi$$

$$N_{\gamma} = (N_q - 1) \cdot \tan(1.4 \cdot \varphi)$$

 $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  = fattori di capacità portante, pari, nel caso di roccia:

$$N_q = \tan^6\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$N_c = 5 \cdot \tan^4 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$N_{\gamma} = N_q + 1$$

 $s_c$ ,  $s_q$  e  $s_\gamma$ ,  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_\gamma$  = fattori di forma, pari a:

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot K_p \cdot \frac{B}{L}$$

$$s_q = s_y = 1 + 0.1 \cdot K_p \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_c = 1 + 0.2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_{\gamma} = 1 + 0.1 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{R}$$

 $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_y$  = fattori di inclinazione dei carichi dovuti alle forze orizzontali indotte dal sisma, pari a:





$$i_c=i_q=1-\frac{\theta}{90}$$

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2$$

nelle quali □ è l'angolo di inclinazione del carico = arctang(Khi) ove Khi nello spettro di progetto orizzontale corrisponde al valore delle ordinate al periodo T1 lungo l'asse delle ascisse, pari a

$$K_{hi} = S_S \cdot S_T \cdot \frac{a_g}{g}$$

 $z_c$ ,  $z_q$  e  $z_\gamma$  = fattori che tengono conto degli effetti cinematici sul terreno di fondazione secondo il criterio di Paolucci e Pecker, pari a:

$$z_{q}=z_{\gamma}=\left(1-\frac{K_{hk}}{tang\varphi}\right)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot K_{hk}$$

nelle quali khk è il coefficiente sismico orizzontale pari a:

$$K_{hk} = \beta_m \cdot S_S \cdot S_T \cdot \frac{a_g}{g}$$

dove □m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, come indicato dalla tabella 7.11.I del D.M. 14.01.2008, di seguito riportata:

	Categoria	di sottosuolo
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_{\rm g}(g) \le 0.4$	0,30	0,28
$0,1 \le a_{\rm g}(g) \le 0,2$	0,27	0,24
$a_{g}(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel caso di fondazioni su roccia il valore del q<sub>lim</sub> è moltiplicato per R.Q.D.<sup>2</sup>.

Per quanto concerne il valore del **coefficiente di sottofondo** (K di Winkler), è stata utilizzata la relazione proposta dal Vesic (1961) che correla K con il modulo di elasticità del terreno e della fondazione:

$$k_s' = 0.65 \cdot \sqrt[12]{\frac{E_d \cdot B^4}{E_f \cdot I_f}} \cdot \frac{E_s}{1 - v^2}$$
 (2)

dove:

E<sub>d</sub> (daN/cmq) = modulo elastico del terreno (Young);

E<sub>f</sub> (daN /cmq) = modulo elastico della fondazione;

 $I_f$  (cm<sup>4</sup>) = momento d'inerzia della fondazione;

B (cm) = larghezza della fondazione;

v = rapporto di Poisson.

Poiché il prodotto dei primi due fattori della (2) ha generalmente un valore prossimo all'unità, l'espressione può essere semplificata come segue:



$$k_s' = \frac{E_d}{B \cdot (1 - v^2)} \tag{3}$$

Nel caso di fondazione unitaria (B = 1,00 m) la costante elastica di sottofondo può essere assunta pari a:

$$k_s' = \frac{E_d}{(1 - v^2)}$$
 (4)



# 5. COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

In accordo con quanto stabilito dal D.M. 17/01/2018, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E<sub>d</sub> è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$\boldsymbol{E}_{d} = \boldsymbol{E} \left[ \boldsymbol{\gamma}_{F} \boldsymbol{F}_{k}; \frac{\boldsymbol{X}_{k}}{\boldsymbol{\gamma}_{M}}; \boldsymbol{a}_{d} \right]$$

ovvero

$$\mathbf{E}_{d} = \gamma_{E} \cdot \mathbf{E} \left[ \mathbf{F}_{k}; \frac{\mathbf{X}_{k}}{\gamma_{M}}; \mathbf{a}_{d} \right]$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$ , e dove R<sub>d</sub> è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_{d} = \frac{1}{\gamma_{R}} R \left[ \gamma_{F} F_{k}; \frac{X_{k}}{\gamma_{M}}; a_{d} \right]$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto ad. L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d=E_k x\gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico delle fondazioni (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni. L'analisi può essere condotta:

- con l'approccio 1 attraverso la Combinazione 2 (A2+M2+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti del gruppo M2 e la resistenza globale del sistema tramite i coefficienti γR del gruppo R2. Nell'uso di questa combinazione, le azioni di progetto in fondazione derivano da analisi strutturali che devono essere svolte impiegando i coefficienti parziali del gruppo A2;
- con l'approccio 2 attraverso la Combinazione unica (A1+M1+R3), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) sono unitari e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti γR del gruppo R3. Tali coefficienti si applicano solo alla resistenza globale del terreno, che è costituita, a seconda dello stato limite considerato, dalla forza normale alla fondazione che produce il



collasso per carico limite, o dalla forza parallela al piano di scorrimento della fondazione che ne produce il collasso per scorrimento.

La verifica agli stati limite ultimi (SLU) sarà effettuata tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I di cui al D.M. 17/01/2018

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_{F}$ (o $\gamma_{E}$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G1	Favorevole	γ <sub>G1</sub>	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G2(1)	Favorevole	γ <sub>G2</sub>	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	Υ <sub>Q</sub>	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE	COEFFICIENTE	(M1)	(M2)
	APPLICARE IL	PARZIALE		
	COEFFICIENTE PARZIALE	γм		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan φ′ <sub>k</sub>	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c′ <sub>k</sub>	γ <sub>c</sub> ,	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c <sub>uk</sub>	γ <sub>cu</sub>	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma$ R non deve essere portato in conto.

Verifica	Coefficiente	
	parziale (R3)	
Carico limite	$\gamma_R = 2.3$	
Scorrimento	$\gamma_R = 1.1$	

**Tabella 6.4.I** - Coefficienti parziali γ<sub>R</sub> per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali



# 6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Saranno presi in considerazione almeno i seguenti stati limite di esercizio, quando pertinenti:

- eccessivi cedimenti o sollevamenti;
- eccessivi spostamenti trasversali.

Specificamente, saranno calcolati i valori degli spostamenti e delle distorsioni nelle combinazioni caratteristiche previste per gli stati limite di esercizio di cui al § 2.5.3 del DM 17.01.2018, per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, come prescritto dalla condizione [6.2.7]. La geometria della fondazione (numero, lunghezza, diametro e interasse dei pali) sarà stabilita nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra i pali e considerando i diversi meccanismi di mobilitazione della resistenza laterale rispetto alla resistenza alla base, soprattutto in presenza di pali di grande diametro.