D'APPOLONIA

VIA SAN NAZARO, 19 - 16145 GENOVA, ITALIA
TEL. +39 010 362 8148 FAX +39 010 362 1078 P. IVA 03476550102
e-mail dappolonia@dappolonia.it www.dappolonia.it

0	LUGLIO 2012	PROGETTO DEFINITIVO	PRJ	AO	AED
REV	DATE	DESCRIZIONE/DESCRIPTION	ESEGUITO/BY	CONTR/CHKD BY	APPROV/APPROV BY

CLIENTE/CLIENT

Enel Green Power S.p.A.

PROGETTO/PROJECT

Impianto di Produzione di Energia da Fonte Eolica in Ambito Portuale - Porto di Genova

TITOLO/TITLE

Progetto Definitivo
Elaborati Impiantistici
Relazione di Impatto Elettromagnetico

TIMBRO/STAMP

	FIRMA/SIGNATURE	DATA/DATE	No INT/INTERNAL No	SCALA/SCALE	TAV/PLATE No	REV
ESEGUITO/BY	PRJ	LUGLIO 2012	12-412-H18	-	12-412_PD_D_003	0
CONTR/CHKD BY	AO	LUGLIO 2012				
APPROV/APPROV BY	AED	LUGLIO 2012				

INDICE

Pagina

ELENCO DELLE TABELLE **II**
ELENCO DELLE FIGURE **III**
1 INTRODUZIONE **1**
2 GENERALITÀ SUI CEM **1**
3 NORMATIVE SULL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO **3**
4 CAMPI ELETTROMAGNETICI NEL PARCO EOLICO **5**
4.1 CAMPO ELETTRICO 5
4.2 CALCOLO DELLA DPA CABINE SECONDARIE 6
4.3 CALCOLO DELLA DPA CABINE SECONDARIE DI CONSEGNA 6
4.4 CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA ELETTRODOTTI 7
4.4.1 TRATTO SOTTOMARINO ELETTRODOTTO 9
4.4.2 TRATTO ELETTRODOTTO IN AMBITO PORTUALE 9
5 COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA (EMC) **10**
6 RIFERIMENTI NORMATIVI **11**
7 CONCLUSIONI **12**

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella No. **Pagina**

Tabella 1- D.P.C.M. 8 Luglio 2003 – 50 Hz 4
Tabella 2 – Zone produttive parco eolico 5
Tabella 3 – Fascia di rispetto elettrodotti MT 8

ELENCO DELLE FIGURE

Figura No. **Pagina**

Figura 1 – Andamento Dpa/rad(I) al variare del diametro cavi 6
Figura 2 – sezione elettrodotto MT 7
Figura 3 - Schematizzazione cavi interrati 8

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE DI IMPATTO ELETTROMAGNETICO

1 INTRODUZIONE

Con la presente relazione si intende analizzare l'impatto ambientale in riferimento ai campi elettromagnetici (CEM) prodotti dal parco eolico che verrà costruito sulla diga foranea di Genova ed eventualmente individuare le fasce di rispetto laddove fossero necessarie per garantire i limiti di esposizione indicati dalla legislazione vigente.

Il parco è concepito con una suddivisione in zone di cui 5 ospiteranno gli aerogeneratori. In ognuna di queste zone gli aerogeneratori saranno collegati con uno schema entra - esci ed avranno un trasformatore elevatore con rapporto 0,4/15 kV. La consegna avverrà con 5 elettrodotti che transiteranno in parte sulla diga ed in parte su tratta sottomarina fino alle cabine poste a terra.

2 GENERALITÀ SUI CEM

Si definisce campo elettrico (indicato con E) una proprietà o una perturbazione dello spazio prodotta da cariche elettriche statiche. In ogni punto dello spazio il campo elettrico può essere rappresentato come un vettore dato dal rapporto tra il vettore della forza F che agisce su una carica elettrica q ed il valore della carica stessa.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

L'unità di misura nel Sistema Internazionale è il Volt/metro [V/m].

Si definisce induzione magnetica (indicata con B) una grandezza vettoriale che in ogni punto dello spazio determina una forza F su una carica q con velocità v.

$$\vec{F} = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$$

L'unità di misura dell'induzione magnetica nel S.I. è il Tesla [T] o il Weber per metro quadro [Wb/m2].

La definizione di campo magnetico (indicato con H) si ricava dall'induzione magnetica come rapporto tra induzione e permeabilità magnetica μ.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

L'unità di misura è l'Ampere per metro [A/m].

Il campo elettromagnetico (CEM) è costituito dall'oscillazione dei campi elettrico e magnetico variabili nel tempo.

Di qui un altro parametro fondamentale per lo studio dei campi elettromagnetici e degli effetti che possono produrre su sistemi biologici: la frequenza. Quest'ultimo parametro influenza in maniera fondamentale le modalità con cui le onde elettromagnetiche interagiscono con esseri viventi ma influenza anche la stessa struttura del CEM. Nella zona vicino alle sorgenti e fino a circa un decimo della lunghezza d'onda il campo elettrico e il campo magnetico sono del tutto indipendenti e possono essere studiati separatamente. Questa zona dello spazio è detta dei "campi reattivi". A distanze superiori invece diventa fondamentale l'interazione tra campo elettrico e magnetico come descritto dalle equazioni di Maxwell e questa zona dello spazio viene definita dei "campi radiativi".

Le stesse normative fanno una distinzione nel considerare l'interazione tra corpo umano e CEM.

La CEI ENV 50166-1 tratta dell'esposizione a campi di bassa frequenza 0 - 10 kHz mentre la CEI ENV 50166-2 si occupa delle altre frequenze 10 kHz – 300 GHz.

3 NORMATIVE SULL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO

L'inquinamento elettromagnetico è un tema sempre più ricorrente nello studio degli impatti che le attività umane hanno sull'ambiente e sulla vita dell'uomo stesso. Con il progresso della tecnologia e l'utilizzo sempre più massiccio di apparecchi elettrici ed elettronici cresce continuamente il numero delle onde elettromagnetiche nell'ambiente. La preoccupazione sulla potenziale pericolosità per la salute umana delle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti ha portato alla stesura di normative e leggi che possano fissare dei parametri e dei valori limite.

Come premessa generale va detto che tutta la regolamentazione in merito opera una distinzione sia in base alla frequenza che in base agli effetti sull'uomo. I limiti vengono fissati dalle norme:

- CEI ENV 50166-1 (Esposizione umana ai campi elettromagnetici a bassa frequenza (0 Hz - 10KHz))
- CEI ENV 50166-2 (Esposizione umana ai campi elettromagnetici ad alta frequenza (10KHz - 300GHz))

Queste norme sono armonizzate a livello internazionale e si occupano degli effetti acuti e noti delle onde elettromagnetiche sull'uomo. Tra gli effetti che si conoscono alcuni sono la stimolazione di cellule dei tessuti nervosi e muscolari eccitabili elettricamente e il riscaldamento o aumento della temperatura. Le grandezze che esprimono questa interazione a livello fisico sono la densità di corrente indotta e il tasso di assorbimento specifico SAR (Specific Absorption Rate). Da notare che tutti i limiti specificati fanno riferimento ad effetti di tipo acuto e quindi a breve termine. Per quanto riguarda gli effetti cronici e a lungo termine la ricerca scientifica non ha ancora prodotto sufficienti dati per poter fissare dei limiti e la legislazione vigente si richiama al principio di precauzione.

In Italia il provvedimento legislativo di riferimento è la **Legge 22 febbraio 2001 n. 36** "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".

La legge opera una distinzione tra i concetti:

- limite di esposizione
- valore di attenzione
- obiettivo di qualità

Il limite di esposizione è il valore che non deve essere mai superato in nessuna condizione per la tutela della salute pubblica in relazione agli effetti acuti.

Il valore di attenzione è invece il valore che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici o comunque destinati ad un soggiorno prolungato nel tempo.

Infine viene identificato un obiettivo di qualità che fa riferimento a criteri regionali più restrittivi se presenti oppure alla progressiva diminuzione dell'esposizione.

Come logica conseguenza sono stati emanati nel Luglio del 2003 i decreti attuativi in accordo alla legge 36:

D.P.C.M. 8 Luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".

D.P.C.M. 8 Luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenuazione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz".

	Campo Elettrico [kV/m]	**Induzione magnetica [μT]**
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	-	10
Obiettivo di qualità	-	3

Tabella 1- D.P.C.M. 8 Luglio 2003 – 50 Hz

4 CAMPI ELETTROMAGNETICI NEL PARCO EOLICO

Le emissioni prodotte dall'impianto eolico sono prodotte dagli elementi in tensione quali i generatori, le cabine di trasformazione e gli elettrodotti di media tensione (MT). Poiché non si tratta di apparecchiature di telecomunicazione a RF il campo delle onde ad alta frequenza così come le normative di riferimento non sono oggetto della presente relazione.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale ha invece molto più interesse il campo di frequenze cosiddette ELF (Extremely Low Frequency) che generalmente comprende le onde fino a 300 Hz. Nello specifico la frequenza di lavoro prevista è la frequenza di rete detta anche industriale di 50 Hz.

Di seguito una tabella riassuntiva delle zone produttive dell'impianto con i relativi dati di corrente nominale di esercizio:

Zona	n° WTG	Potenza [kW]	Corrente nominale [A]	Cavo
1	8	1.592	72,5	3 x 50
4	4	796	36,5	3 x 50
6	7	1.393	63.5	3 x 50
7	4	796	36,5	3 x 50
8	16	3.184	145.0	3 x 95

Tabella 2 – Zone produttive parco eolico

Per quanto riguarda gli aerogeneratori, il loro impatto dal punto di vista elettromagnetico è trascurabile e non comporta la necessità di individuare delle fasce di rispetto. La navicella sarà infatti posizionata ad un'altezza di circa 27 m rispetto al basamento ed inoltre nella maggior parte dei casi è costruita in metallo funzionando quindi da gabbia di Faraday ed evitando il disperdersi dei campi all'esterno.

4.1 CAMPO ELETTRICO

Per quanto concerne il campo elettrico è inoltre trascurabile quello prodotto dagli elettrodotti per l'effetto schermante del rivestimento dei cavi, dei tubi e del massello di cemento.

4.2 CALCOLO DELLA DPA CABINE SECONDARIE

Ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008 si calcola la fascia di rispetto nel caso di cabine secondarie. Per fascia di rispetto si intende la distanza da ciascuna delle pareti.

Per il calcolo si considera la corrente nominale in BT di **340 A** per ciascun aerogeneratore operante ad una potenza di 199 kW come da parametri progettuali (viene fornito il dato di una corrente di 467 A @ 275 kW).

I cavi utilizzati saranno 3x240 mm2. Utilizzando come diametro χ il valore del diametro conduttore + isolante ed applicando la seguente formula:

$$\frac{dPA}{\sqrt{I}} = 0.40942 * \chi^{0.5241}$$

La distanza minima con cui si ottiene l'obiettivo di qualità di 3μT è **Dpa = 1.5 m** arrotondata al mezzo metro successivo.

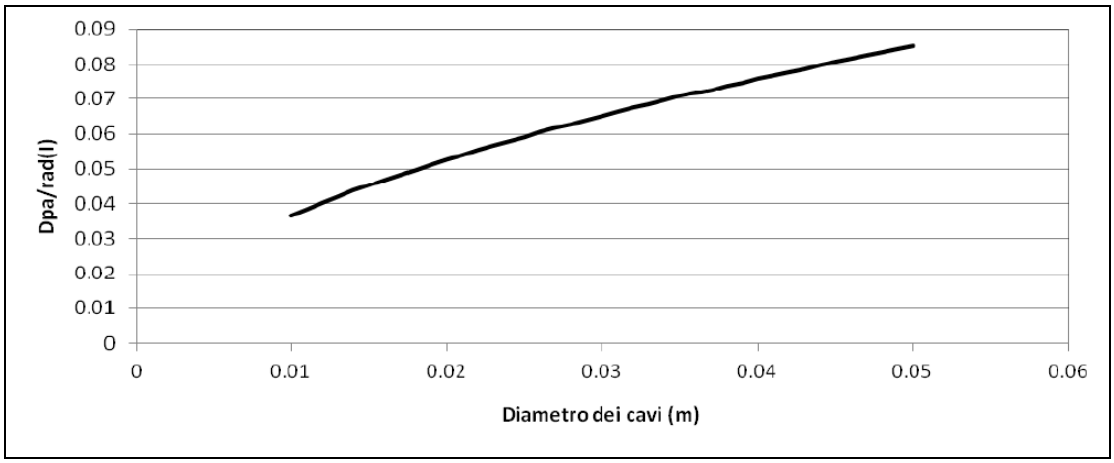


Figura 1 – Andamento Dpa/rad(I) al variare del diametro cavi

4.3 CALCOLO DELLA DPA CABINE SECONDARIE DI CONSEGNA

Per le cabine secondarie di consegna MT in genere la Dpa che si considera è quella della linea MT entrante/uscente. Nel nostro caso poiché ci sarà anche un trasformatore BT si dovrà applicare la stessa formula di cui al punto 4.2. Considerando i dati progettuali ad oggi con la dotazione di un trasformatore 15/0,4 kV da 50 kVA (corrente nominale di circa 72 A) e ipotizzando ad esempio un cavo 3x16 mmq si avrà una Dpa di circa 0,2 m quindi trascurabile.

4.4 CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA ELETTRODOTTI

Per quanto riguarda l'elettrodotto per il convogliamento della MT si suppone che verrà realizzato con tubi in PVC in massello di cemento che viaggeranno parallelamente allo sviluppo longitudinale della diga. Si può assumere quindi per il calcolo dell'induzione magnetica in una sezione generica dell'elettrodotto che i cavi siano rettilinei, paralleli di lunghezza infinita. Con questa semplificazione si può modellare il problema del calcolo in modo bidimensionale.

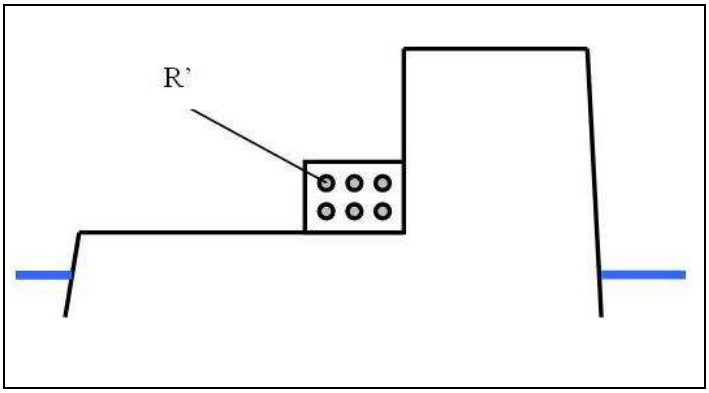


Figura 2 – sezione elettrodotto MT

Coerentemente con le indicazioni della guida CEI 106-11 per il modello di calcolo normalizzato bidimensionale si può applicare la semplificazione delle formule analitiche approssimate. Considerato il caso di cavi posati a trifoglio e i seguenti parametri di calcolo:

- S [m] distanze tra i conduttori adiacenti
- I [A] correnti simmetriche ed equilibrate che percorrono i conduttori

Si applica la seguente equazione:

$$B = 0{,}1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \quad [\mu T] \qquad R' = 0{,}286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \quad [m]$$

Dove R' è la distanza dal centro geometrico dei conduttori corrispondente al valore di B = 3 μT che è l'obiettivo di qualità fissato dal D.P.C.M. 8 Luglio 2003 per gli elettrodotti di nuova costruzione.

Per le cinque stringhe di aerogeneratori ed i relativi elettrodotti MT si hanno quindi le seguenti distanze minime:

Zona	Formazione Cavo	Corrente nominale [A]	R' [m]
1	3 x 50	72,5	**0.24**
4	3 x 50	36,5	**0.17**
6	3 x 50	63.5	**0.23**
7	3 x 50	36,5	**0.17**
8	3 x 95	145.0	**0.42**

Tabella 3 – Fascia di rispetto elettrodotti MT

Nel caso di conduttori percorsi da corrente e diverse disposizioni geometriche si può applicare la formula generalizzata del modello di calcolo normalizzato per calcolare i fasori delle componenti spaziali dell'induzione:

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi}\sum I_i\left[\frac{y_i - y_p}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2}\right] \qquad B_y = \frac{\mu_0}{2\pi}\sum I_i\left[\frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2}\right] \qquad B_z = 0$$

Che fa riferimento alla seguente schematizzazione:

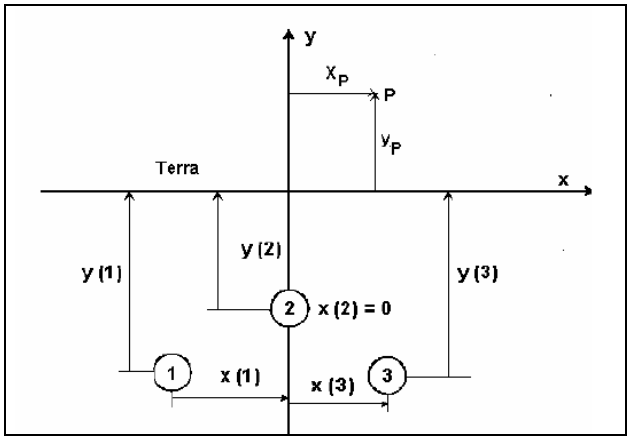


Figura 3 - Schematizzazione cavi interrati

4.4.1 TRATTO SOTTOMARINO ELETTRODOTTO

Per quanto concerne il tratto sottomarino dell'elettrodotto non ci sono normative specifiche riguardo all'esposizione ai CEM. Di conseguenza, applicando gli obiettivi di qualità del D.P.C.M. 8 Luglio 2003 e considerando che l'elettrodotto sarà interrato nel fondale marino ad una profondità di circa 2 metri non si riscontrano elementi di attenzione degni di nota sull'impatto ambientale.

4.4.2 TRATTO ELETTRODOTTO IN AMBITO PORTUALE

Un ultima considerazione sull'impatto dell'elettrodotto può essere fatta considerando che esso si svilupperà all'interno di un contesto portuale. Anche sotto questo punto di vista la legislazione applicabile in materia di esposizione ai CEM è sempre quella del decreto attuativo dell'8 Luglio 2003 che fa riferimento alla legge n. 36 del 22 Febbraio 2011.

Per queste ragioni e per il fatto che le correnti e le sezioni degli elettrodotti sono gli stessi riportati nella Tabella 3 si può affermare che anche le fasce di rispetto per il tratto aeroportuale hanno le stesse distanze minime riportate nella medesima tabella.

In considerazione del fatto che l'elettrodotto attraversa un'area aeroportuale si può ricordare in aggiunta la nota alla legge n.36 che si richiama all'art. 23, comma 4, del **decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626**:

"**4.** Restano ferme le competenze in materia di sicurezza e salute dei lavoratori attribuite dalle disposizioni vigenti agli uffici di sanità aerea e marittima ed alle autorità marittime, portuali ed aeroportuali, per quanto riguarda la sicurezza dei lavoratori a bordo di navi e di aeromobili ed in ambito portuale ed aeroportuale…"

5 COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA (EMC)

Un altro aspetto fondamentale che va considerato nello studio dell'impatto del parco eolico dal punto di vista elettromagnetico è la questione della compatibilità elettromagnetica. Dal punto di vista ambientale è infatti da considerare che l'impianto, sebbene non sarà ubicato in prossimità di centri ad alta densità abitativa, verrà collocato in un'area adiacente quella aeroportuale.

Dalla definizione stessa di compatibilità elettromagnetica, ovvero "la capacità di un apparato, componente p installazione elettrica e/o elettronica di funzionare correttamente nel suo ambiente elettromagnetico senza altresì introdurre disturbi che possono interferire con il funzionamento di altre apparecchiature presenti nello stesso ambiente" si evince come possa essere importante nel contesto aeroportuale che le apparecchiature che verranno installate soddisfino tali requisiti onde evitare ad esempio possibili interferenze con le trasmissioni radio. Per quanto riguarda gli aerogeneratori che sono presi in considerazione in questo studio essi soddisfano la Direttiva Europea **EMC 89/336/CEE (1989)** e la Direttiva di modifica **93/68/CEE (1993)** con relativo Report di conformità N° 04293869 datato 11 Agosto 2004.

La direttiva EMC è stata recepita in Italia con **Decreto legislativo n° 476 del 04/12/1992**.

I requisiti di compatibilità vengono soddisfatti applicando diverse norme armonizzate che si possono suddividere fondamentalmente in:

Norme di prodotto o famiglia di prodotti: definiscono i limiti di emissioni ed i livelli di immunità di determinati prodotti o famiglie di prodotti.

Norme generiche: definiscono i limiti di emissioni ed i livelli di immunità per tutti i prodotti che non posssono essere ricondotti ad una norma di prodotto o famiglia di prodotti.

Norme di base: definiscono gli strumenti e le modalità con cui effettuare ogni singola prova.

6 RIFERIMENTI NORMATIVI

Regolamentazione nazionale:

- D.P.C.M. 8 Luglio 2003 Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.
- Legge - quadro 22 Febbraio 2001, n.36 (Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici)
- Decreto 29 Maggio 2998 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti"

Regolamentazione regionale:

- Legge regionale Liguria 20 Dicembre 1999 N.41

Norme CEI:

- CEI ENV 50166-1 (Esposizione umana ai campi elettromagnetici a bassa frequenza (0 Hz - 10KHz))
- CEI ENV 50166-2 (Esposizione umana ai campi elettromagnetici ad alta frequenza (10KHz - 300GHz))
- CEI 211-4 del 1996 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- CEI 211-6 del 2001 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0Hz— 10kHz.
- CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (art.6). Parte I"

7 CONCLUSIONI

In relazione ai limiti indicati dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 per quanto riguarda l'esposizione a CEM a bassa frequenza si può concludere che non esistono rischi dovuti al campo elettrico e che l'impatto del campo magnetico è assai modesto in relazione all'obiettivo di qualità di 3 μT.

Con i calcoli sviluppati secondo le indicazioni della norma CEI 211-4 e la guida per la determinazione delle fasce di rispetto CEI 106-11 si è visto come la larghezza della fascia di rispetto sia 1,5 metri per la cabina secondaria e inferiore a 0,5 metri per gli elettrodotti a 15 kV sempre in riferimento all'obiettivo di qualità di 3 μT.

La valutazione sugli elettrodotti è valida sia per il tratto lungo la diga foranea che per quello in area portuale.

L'area della diga foranea risulta quindi dal punto di vista dell'impatto elettromagnetico idonea al soggiorno prolungato previa opportuna delimitazione delle fasce di rispetto.

Infine riguardo l'aspetto EMI sulle interferenze elettromagnetiche, si evidenzia come le apparecchiature di prevista installazione siano conformi alle direttive europee sulla compatibilità elettromagnetica. Si sottolinea infine a tal proposito che, nell'ambito dell'iter procedurale di autorizzazione unica alla costruzione e all'esercizio dell'impianto eolico, sarà attivata una procedura dedicata da parte di ENAC/Ispettorato MISE per la verifica delle possibili interferenze con impianti di comunicazione elettronica.