



CITTA' DI BRINDISI

REGIONE PUGLIA

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "CONTESSA"

della potenza di 68,00 MW in DC
PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:



3P Più Energia S.r.l.
Via Aldo Moro 28
25043 Breno (BS)
P.IVA 04230070981

PROGETTAZIONE:



TEKNE srl
Via Vincenzo Gioberti, 11 - 76123 ANDRIA
Tel +39 0883 553714 - 552841 - Fax +39 0883 552915
www.gruppotekne.it e-mail: contatti@gruppotekne.it



PROGETTISTA:

Ing. Renato Pertuso
(Direttore Tecnico)

LEGALE RAPPRESENTANTE:
dott. Renato Mansi

CONSULENTI:



Direttore Tecnico
ing. Orazio Tricarico



TEKNE srl
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
IL PRESIDENTE
Dott. RENATO MANSI

dott. Michele Bux



PD

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Tavola: **RE10**

Filename:

TKA690-PD-RE10-RelazioneCampiElettromagneticiR1.doc

Data 1°emissione: Luglio 2021	Redatto: O.T. - M.B.	Verificato: G.PERTOSO	Approvato: R.PERTUSO	Scala:	Protocollo Tekne:
n° revisione	1 Maggio 2023	O.T. - M.B.	G.PERTOSO	R.PERTUSO	TKA690
2					
3					
4					

1. PREMESSA	2
1.1. <i>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</i>.....	3
2. GENERALITA' SULL'IMPIANTO	8
2.1. <i>DATI GENERALI COMMITTENTE</i>.....	11
2.2. <i>DATI DI PROGETTO RELATIVI ALLA RETE DI COLLEGAMENTO</i>	12
3. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO	12
3.1. <i>IMPATTO DERIVANTE DA CAMPI ELETTROMAGNETICI ED INTERFERENZE (R.R.16/2006, ART.10 C.1 LETT. E)</i>.....	12
3.2. <i>CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO</i>	14
3.3. <i>MODULI FOTOVOLTAICI</i>.....	15
3.4. <i>CAVIDOTTO DI PROGETTO</i>.....	15
3.5. <i>INVERTER</i>.....	15
3.6. <i>LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA</i>.....	16
3.7. <i>CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE</i>.....	18
3.8. <i>CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO</i>.....	19
4. Analisi dei risultati.....	20
5. CONCLUSIONI.....	20



1. PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto fotovoltaico in oggetto e connesse ad esso, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

La presente relazione è stata redatta nell'ambito di un Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale (P.A.U.R.), ai sensi dell'art. 27-bis D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. avente in oggetto la realizzazione di un impianto di generazione energetica alimentato da Fonti Rinnovabili e nello specifico da fonte solare.

La società proponente è la 3Più Energia s.r.l., con sede in Via Aldo Moro 28, 25043 Breno (BS), P.IVA 04230070981.

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto si sviluppa nel territorio del Comune di Brindisi, in contrada Caracci.

L'area in oggetto si trova ad un'altitudine media di m 10 s.l.m. e le coordinate geografiche nel sistema WGS84 sono nell'intorno delle seguenti coordinate:

latitudine: 40°36'53.02"N - longitudine: 17°59'18.19"E

L'area di intervento è raggiungibile attraverso attraverso la strada provinciale 88 e attraverso la strada comunale 78.

L'area di progetto è catastalmente individuata:

- Superficie di impianto:

- Foglio 87 p.lle 181, 88, 109, 3, 87, 111, 156, 117, 118, 162, 176, 6, 8, 28, 45, 47, 54, 55,
- 56, 60, 61, 66, 67, 77, 89, 90, 91, 98, 108, 116, 124, 143, 145, 154, 155, 170, 184, 185, 252,
- 253, 107, 112, 130, 131, 141, 26, 59, 63, 64, 83, 92, 160, 336, 338, 340, 342, 344, 43, 94,
- 113, 148, 233, 174, 182, 325, 166, 167, 168, 169, 68, 69, 95, 175;
- Foglio 117 p.lle 9, 52, 77, 78, 127, 129.
- Stazione di elevazione: Foglio 107 p.lle 67, 188
- Stazione smistamento Terna e raccordo in entra-esci: Foglio 107 p.lle 596, 34

In particolare per l'impianto saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche, ai cavidotti ed alla stazione utente per la trasformazione. Si individueranno, in base al DM del MATTM (*Ministero dell'ambiente del Territorio e della Tutela del Mare*) del 29.05.2008, le DPA per le opere sopra dette.

Nel presente studio è stata presa in considerazione le condizioni maggiormente significative al fine di



valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti.

Verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 15 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0m, +1,5m, +2m, +2,5m e +3m dal livello del suolo. Si fa presente che la quota di +1,5m dal livello del suolo è la quota nominale cui si fa riferimento nelle misure di campo elettromagnetico.

1.1. **Normativa di riferimento**

La normativa e le leggi di riferimento adoperate per la progettazione e l'installazione degli impianti fotovoltaici sono:

- Norma CEI 0-2 "Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici"
- [4] Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- [5] Norma 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 1: Linee elettriche aeree e in cavo."
- [6] DM del MATTM del 29.05.2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti"

- norme CEI/IEC e/o JRC/ESTI per i moduli fotovoltaici; in particolare, la CEI EN 61215 per moduli al silicio cristallino;
- conformità al marchio CE per i moduli fotovoltaici e per il convertitore c.c./c.a.;
- UNI 10349, o Atlante Europeo della Radiazione Solare, per il dimensionamento del campo fotovoltaico.

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici include:

- Legge 22/2/01 n°36 - la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- DPCM 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".



Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003. Nel DPCM 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*", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

"Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci" [art. 3, comma 1];

"A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio." [art. 3, comma 2];

"Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore



dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio". [art. 4]

L'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai $3\mu\text{T}$ come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto FV trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 50 MW).

Come detto, il 22 Febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Il 28 Agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione come riportato nelle Tabelle 1 e 2:

Tabella 1 Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0.1-3	60	0.2	-
>3 – 3000	20	0.05	1
>3000 – 300000	40	0.01	4



Tabella 2 Valori di attenzione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003 in presenza di aree, all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA'DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

L'art. 4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate come riportato in Tabella 3:

Tabella 3 Obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensita' di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensita' di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA'DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)



2. GENERALITA' SULL'IMPIANTO

Nel seguito si riportano le informazioni tecniche relative all'impianto fotovoltaico

Impianto Fotovoltaico CONTESSA	
Comune	BRINDISI (BR) – campo fotovoltaico e cavidotto BRINDISI (BR) – cavidotto e stazioni elettriche
Identificativi Catastali	Campo pv: Catasto Terreni <ul style="list-style-type: none">Foglio 87 p.lle 181, 88, 109, 3, 87, 111, 156, 117, 118, 162, 176, 6, 8, 28, 45, 47, 54, 55, 56, 60, 61, 66, 67, 77, 89, 90, 91, 98, 108, 116, 124, 143, 145, 154, 155, 170, 184, 185, 252, 253, 107, 112, 130, 131, 141, 26, 59, 63, 64, 83, 92, 160, 336, 338, 340, 342, 344, 43, 94, 113, 148, 233, 174, 182, 325, 166, 167, 168, 169, 68, 69, 95, 175;Foglio 117 p.lle 9, 52, 77, 78, 127, 129. Stazioni elettriche: Catasto terreni Stazione utente: Foglio 107 p.lle 67, 188 Stazione smistamento Terna: Foglio 107 p.lle 596, 347
Coordinate geografiche impianto	latitudine: 40°36'53.02" Nord longitudine: 17°59'18.19" Est
Potenza Modulo PV	620 W – bifacciali
n° moduli PV	109.680 moduli
Potenza in DC	68 MW
Tipologia strutture	Strutture fisse
Lunghezza cavidotto di connessione	Cavidotto MT di connessione 12.095,00 m
Punto di connessione	SE Terna "Brindisi Pignicelle"

Al fine di massimizzare la produzione di energia annuale, compatibilmente con le aree a disposizione, si è adottato come criterio di scelta prioritario quello di suddividere l'impianto in 35 sottocampi, di cui 32



con potenze da 3,125 MW e 3 da 1,250 MW e di trasformare l'energia elettrica da bassa tensione a media tensione in ogni singolo trasformatore previsto per ogni sottocampo.

La conversione da corrente continua in corrente alternata è effettuata, mediante l'inverter trifase collegato direttamente al trasformatore per ciascun sottocampo. Inoltre, al fine di incrementare ulteriormente la producibilità dell'impianto, verranno impiegati moduli fotovoltaici bifacciali che producono elettricità da entrambi i lati del modulo ed il loro rendimento energetico totale è pari alla somma della produzione della parte anteriore e posteriore.

Tramite questa tecnologia è possibile ottimizzare e massimizzare il rapporto tra superficie occupata e producibilità del generatore fotovoltaico.

Il generatore fotovoltaico sarà costituito da un totale di 7.416 stringhe da 24 moduli, per un totale di 177.984 moduli fotovoltaici, pari ad una potenza di 615 Wp cadauno per una potenza totale complessiva installata di 109,46 MWp. Da un punto di vista elettrico il sistema fotovoltaico è stato suddiviso in 35 sottocampi indipendenti. Sono state previste due cabine di raccolta, una a cui faranno capo le cabine 1.x, 2.x, 3.x e 4.x, l'altra a cui sarà collegata sia la prima cabina, sia i restanti sottocampi e che risulta connessa alla stazione di consegna dove avviene la trasformazione dell'energia in AT per poi fornire il collegamento alla rete del TSO. I sottocampi sono costituiti ciascuno da: 8 quadri parallelo (QP), nel caso dell'inverter da 1,250 MW, o 21 QP nel caso degli inverter da 3,125 MW. Questi saranno composti da stringhe fotovoltaiche collegate in parallelo all'interno del quadro stesso e dotate di sezionatori, in modo da essere singolarmente sezionabili, di un fusibile e di uno scaricatore di sovratensione. Le uscite delle stringhe, collegate in parallelo nei quadri, vengono portate all'ingresso dell'inverter. I campi presentano inverter da 1.250 kVA e 3.125 kVA con uscita, rispettivamente a 550V o 600V, che risulta collegata, mediante tutte le necessarie protezioni previste dalla normativa, al rispettivo trasformatore MT/bt alloggiato in adiacenza, su un'unica piazzola, all'inverter con uscita a 30 kV. La tensione in continua verrà così convertita in alternata trifase ed elevata. La rete MT prevede 11 feeder tra cui uno che collegherà la cabina di raccolta dei campi 1.x, 2.x, 3.x e 4.x alla cabina di raccolta generale, gli altri anelli collegheranno tra loro e alle cabine di raccolta i rimanenti sottocampi. Tutti i sottocampi presentano cabine MT/BT collegate in entra-esci. Ciascun feeder farà capo ad un modulo del quadro MT in cabina di campo. Tutta la distribuzione, BT e MT, avviene tramite cavidotto interrato all'interno dell'impianto. Dalla cabina di raccolta parte una linea in MT a 30kV che arriva alla stazione di trasformazione MT/AT nei pressi della Stazione elettrica di Terna a 150kV.



Connessione alla rete elettrica

A circa 12,11 km in direzione ovest dal sito oggetto d'intervento verrà ubicato il futuro ampliamento della Stazione Elettrica "Pignicelle" di proprietà di TERNA SpA in agro di Brindisi. Dalla Cabina di Consegna ubicata all'interno dell'impianto partirà una linea in MT che si conetterà alla Stazione di Utenza MT/AT vicina alla SE, e condivisa da più produttori, per poi trasferire l'energia allo stallo riservatoci nella SE.

Il cavidotto che convoglierà l'energia elettrica prodotta dall'impianto sino alla stazione elevatrice MT/AT avrà tensione a 30 kV

Pannelli fotovoltaici

Il modulo JOLYWOOD "JW-HD156N Series" è composto da celle solari quadrate realizzate con silicio monocristallino.

Il modulo è costituito da 156 celle solari, questa nuova tecnologia migliora l'efficienza dei moduli, offre un migliore aspetto estetico rendendo il modulo perfetto per qualsiasi tipo di installazione.

La protezione frontale è costituita da un vetro a tecnologia avanzata costituito da una trama superficiale che consente di ottenere performance eccellenti anche in caso di condizioni di poca luminosità. Le caratteristiche meccaniche del vetro sono: spessore 2,0mm; superficie antiriflesso; temperato. La cornice di supporto è realizzata con un profilo in alluminio estruso ed anodizzato.

Le scatole di connessione, sulla parte posteriore del pannello, sono realizzate in resina termoplastica e contengono all'interno una morsettiera con i diodi di bypass, per minimizzare la perdita di potenza dovuta ad eventuali fenomeni di ombreggiamento, ed i terminali di uscita, costituiti da cavi precablati a connessione rapida impermeabile. Tutte le caratteristiche sono rilevate a Standard Test Conditions (STC): radiazione solare 1000 W/m², spettro solare AM 1.5, temperatura 25°C (EN 60904-3).

Centrale di produzione di idrogeno

Il progetto fotovoltaico prevede l'integrazione di una centrale di produzione di idrogeno cosiddetto 'verde' all'interno del lotto 5 del campo. L'idrogeno, abbondante in natura, non si trova libero, di solito si



lega all'ossigeno per formare l'acqua o al carbonio per formare gli idrocarburi quali il metano o idrocarburi più pesanti come il carbone.

Per ricavare quindi idrogeno, occorre staccarlo dalle molecole in cui è combinato, utilizzando perciò energia. Si preferisce estrarre l'idrogeno dall'acqua perché in questo modo si produce solo ossigeno invece che, per esempio, estrarlo dagli idrocarburi, producendo come scarto carbonio che combinandosi con l'ossigeno formerebbe anidride carbonica.

L'idrogeno prodotto per mezzo di energia proveniente da impianti a fonte rinnovabile prende il nome di 'idrogeno verde', e questo sarà il caso del progetto in esame.

La centrale di produzione prevede l'installazione di appositi macchinari e pile che sfruttano la tecnologia PEM (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) che contribuiranno a trasformare l'energia elettrica in energia chimica necessaria a scindere l'acqua in atomi di idrogeno e ossigeno per complessivi 10 MW.

Nel processo di elettrolisi mediante tecnologia PEM l'idrogeno è prodotto mediante l'azione di una corrente continua che divide l'acqua in una reazione chimica che genera ossigeno e, appunto, idrogeno. La tecnologia PEM ha come principali vantaggi, rispetto ad altre tecnologie concorrenti, di avere un design più compatto e una maggiore efficienza.

Oltre alle batterie PEM che serviranno a innescare il processo di idrolisi, la centrale prevederà l'utilizzazione di un chiller (refrigeratore) per mantenere alta l'efficienza delle batterie, e un dispositivo in grado di condensare l'acqua presente nell'ambiente per poterla utilizzare in idrolisi. L'idrogeno prodotto sarà destinato in una percentuale da concordare con il gestore al blending con il gas metano della rete Snam. L'ossigeno prodotto, invece, sarà liberamente ceduto all'ambiente.

I dispositivi saranno installati in un apposito edificio sito nel lotto 5 di circa 30 metri per 60.

2.1. **Dati generali committente**

COMMITTENTE	3Più Energia srl
SITO INSTALLAZIONE	Comune di Brindisi
OGGETTO DEI LAVORI	Fornitura e posa in opera di un impianto



	Fotovoltaico da 100 MW di potenza in immissione e 109,46 MW in DC
VINCOLI	Interfacciamento alla rete consentito a norme CEI e norme tecniche Enel Distribuzione e/o Terna. I convertitori statici e i quadri dovranno essere accessibili solo a personale specializzato.

2.2. *Dati di progetto relativi alla rete di collegamento*

TENSIONE NOMINALE	30 kV (in dipendenza delle indicazioni fornite dal Distributore di Energia)
FREQUENZA	50 Hz
POTENZA	100,0 MWp
RETE DI TERRA	Da realizzare
PROT. SCARICHE ATMOSFERICHE	Eventualmente da realizzare

3. CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO

3.1. *Impatto derivante da campi elettromagnetici ed interferenze (R.R.16/2006, art.10 c.1 lett. e)*

Il progetto prevede la realizzazione di un campo fotovoltaico di complessivi 177.984 moduli da 615 Watt ciascuno tra loro interconnessi con una rete in corrente continua e tensione fluttuante realizzata con linee posate entro cavidotti interrato ad una profondità minima di 60 cm.

Il progetto prevede, quindi, la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per complessivi 100,00 MWp in immissione, da collegare, per mezzo di un cavidotto interrato di circa 12,1 km su strade esistenti, ad una nuova stazione elettrica a 150 kV della RTN da collegare in entra-esce alla linea 150 kV " SE Terna "Brindisi Pignicelle".



Nei seguenti paragrafi verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale del cavidotto MT e nelle sue immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 10 m dal suo asse; la valutazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0 m, +1 m, +2 m e +3 m dal livello del suolo.

Le simulazioni relative al calcolo dell'intensità del campo magnetico sono state elaborate con il software "**MoE**" (**Monitoraggio Elettrodotti**) v.1.0 sviluppato dal CESI – *Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano* - utilizzando modelli di calcolo basati sul metodo standardizzato dal Comitato Elettrotecnico Italiano Norma CEI 211-4/1996.

Per quanto riguarda il campo elettromagnetico generato dalle singole apparecchiature installate nelle cabine di trasformazione, non è stato eseguito il calcolo preventivo, si sottolinea comunque che tutte le apparecchiature installate rispetteranno i requisiti di legge e tutte le normative tecniche di prodotto riguardo la compatibilità e le emissioni elettromagnetiche.

Disposizioni legislative:

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003.

Nel DPCM 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", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:



"Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci" [art. 3, comma 1];

"A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio." [art. 3, comma 2];

"Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio". [art. 4]

L'obiettivo di qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai 3 μ T come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione che assumiamo pari a 100 MW.

3.2. Calcolo del campo elettrico e magnetico

Il programma applicativo "MoE", svolge tutte le funzioni che, partendo dai dati di input, consentono di ottenere i valori dell'induzione magnetica in corrispondenza dei siti monitorati; ovvero: la definizione dei parametri geometrici del sito e dell'elettrodotto, compreso il suo stato



di funzionamento, il calcolo dell'induzione magnetica, la presentazione e l'archiviazione su file dei risultati dei calcoli effettuati.

Per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrate, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

Nel seguito verranno pertanto esposti i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

3.3. Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché assolutamente irrilevanti.

3.4. Cavidotto di progetto

È stata esaminata la situazione ritenuta più significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo magnetico: calcolo del campo magnetico generato dal tratto di cavidotto a 30 kV, dal campo fotovoltaico al punto di connessione, con potenza elettrica trasmessa pari a 100,0 MW; si calcola quindi il seguente valore della corrente di esercizio, necessario al calcolo del campo magnetico generato dal cavidotto di progetto:

- cavo tripolare con carico da 100,0 MW → 2.138 A

3.5. Inverter

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi pertanto sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. D'altro canto il legislatore ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, possiedano le necessarie certificazioni a garantirne sia l'immunità dai disturbi



elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo). A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6)) Tra gli altri aspetti queste norme riguardano:

- i livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- Disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in superim-posizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Variazioni di tensione e frequenza. La propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e frequenze sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico.
- La componente continua immessa in rete. Il trasformatore elevatore contri-buisce a bloccare tale componente. In ogni modo il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.
- Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3 s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

3.6. Linee elettriche in corrente alternata

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a 3 μ T. La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede all'interno del campo fotovoltaico l'utilizzo di soli cavi elicordati, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-solar. Come illustrato nella suddetta norma CEI 106-11 la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di 3 μ T, anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già a brevissima distanza.



Considerando:

- la tipologia di posa dei cavi previsti in progetto,
- la tipologia di cavidotto definito in progetto: trifase unipolare,

si è stimato il valore di intensità del campo elettromagnetico, o più precisamente le distanze minime dal cavidotto che garantiscono il rispetto dei limiti normativi, mediante le formule matematiche per il calcolo del campo magnetico. Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore, pertanto per il calcolo del valore del campo magnetico si è preso in considerazione la linea elettrica interrata destinata al trasporto dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto, ossia si è considerato il cavidotto che raccoglie tutta la energia elettrica prodotta dal parco eolico (caso peggiore dal punto di vista dell'induzione di campi elettromagnetici), e disposizione dei conduttori ai vertici di un triangolo equilatero. L'equazione per conduttori trifase disposti a triangolo (che rappresenta la scelta progettuale adottata) è la seguente:

$$B = \frac{0.245 * I * S}{2D}$$

Dove:

- B è il campo magnetico, espresso in μT , generato alla distanza D espressa in metri;
- S è la distanza tra i conduttori che, nel caso di posa a trefolo, si può assumere pari a non più di 0,1 m;
- I è il valore mediano della corrente che circola nei conduttori, espressa in Ampere;

Dalla formula precedente è facile ricavare:

$$D = \frac{0.245 * I * S}{2B}$$

È evidente che il campo elettromagnetico si attenui all'aumentare della distanza D, dunque è immediato determinare la distanza D alla quale si riscontrano i limiti di legge.

Nel nostro caso la corrente massima complessivamente circolante è, come già detto, pari a 2.138 A. Al fine di individuare il valore mediano del campo elettromagnetico precedente è evidente che, poiché la formula precedente presenta una linearità diretta tra corrente e campo magnetico, è importante determinare il valore mediano della corrente che circola nei cavidotti interrati.



A tal proposito, la valutazione della producibilità complessiva dell'impianto, porta a concludere che le "ore equivalenti" di produzione sono pari a circa 2000 sulle 8640 annualmente disponibili.

Dunque, pur nell'ipotesi estremamente conservativa che il valor medio della corrente coincida col valor mediano si avrebbe che il valor mediano della corrente sarebbe pari al 23% del valor massimo, per una cautela ancora maggiore, si assumerà che il valore mediano della corrente sarà pari al 30% del valor massimo, cioè 641 A.

Il valore mediano di 641 A, assunto come base di calcolo, inoltre, è ulteriormente cautelativo in quanto non tiene conto del fatto che le diverse terne di cavi sono distanziate orizzontalmente una dall'altra, dunque gli effetti delle terne più lontane sono vettorialmente attenuati dalla loro maggior distanza dal punto di interesse.

Trascurando anche questo secondo aspetto e sostituendo i valori determinati si possono calcolare le distanze D al di sotto delle quali il valore di campo è maggiore del limite imposto, in corrispondenza di ciascuna soglia di campo magnetico considerata.

Dunque, imponendo le condizioni limite, si ottiene:

1. $B = 100 \mu T$ in corrispondenza di $D = 0,079 m$
2. $B = 10 \mu T$ in corrispondenza di $D = 0,79 m$;
3. $B = 3 \mu T$ in corrispondenza di $D = 2,62 m$.

In riferimento al valore di soglia di attenzione epidemiologica (SAE) che è di $3 \mu T$, si ha, dunque, che il limite del campo magnetico è a una distanza dalla proiezione del cavidotto sulla sede stradale pari a circa 2,33 metri su ciascuno dei lati.

Dunque, pur ocnsiderando tutte le ipotesi conservative suddette, l'unica fascia entro la quale si ha il superamento del solo limite di qualità fissato a $3 \mu T$ è quella estesa per 2,33 m a destra e sinistra del tracciato del cavidotto. Fascia all'interno della quale non è ipotizzabile che via permanenza continuativa dell'uomo per 4 ore.

Gli altri due limiti normativi sono, invece, sempre rispettati in quanto il superamento delle soglie avviene ad una distanza tale da ricadere al di sotto della superficie stradale.

3.7. Cabine elettriche di trasformazione

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di trasformazione, all'interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT.



In questo caso si valutano le emissioni dovute ai trasformatori di collocati nelle cabine di trasformazione. La presenza del trasformatore BT/MT viene usualmente presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica la formula:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

dove:

- DPA= distanza di prima approssimazione (m)
- I= corrente nominale (A)
- x= diametro dei cavi (m)

Considerando che I = 2138 A è la massima corrente che transita sul cavidotto, il valore di DPA è pari a qualche metro, dunque unduvudua un'area delimitata all'interno dell'impianto.

3.8. Cabina elettrica d'impianto

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto resta da considerare la cabina elettrica di smistamento MT d'impianto, alla quale confluiscono i cavidotti MT provenienti dalle Power Station.

Considerando sempre la corrente MT massima pari a 2.138 A ed il massimo diametro del conduttore di MT =pari a 44,5 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a circa 3 m.

D'altra parte, anche nel caso in questione la cabina normalmente non è presidiata.



4. Analisi dei risultati

Come mostrato al paragrafo precedente le azioni di progetto fanno sì che sia possibile riscontrare intensità del campo di induzione magnetica superiore al valore obiettivo di 3 μ T, sia in corrispondenza delle cabine di trasformazione che in corrispondenza dei cavidotti MT esterni e del cavidotto AT; d'altra parte è stato dimostrato come la fascia entro cui tale limite viene superato è circoscritto intorno alle opere suddette e, in particolare, ha una semi-ampiezza complessiva di circa 2,33m a cavallo della mezzeria di tutto il cavidotto MT, della lunghezza di circa 11 km.

D'altra parte trattandosi di cavidotti che si sviluppano sulla viabilità stradale esistente o in territori scarsissimamente antropizzati, si può certamente escludere la presenza di recettori sensibili entro le predette fasce, venendo quindi soddisfatto l'obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti fissato dal DPCM 8 Luglio 2003.

La stessa considerazione può ritenersi certamente valida per una fascia di circa 4 m attorno alle cabine di trasformazione ed alla cabina di impianto, oltre che nelle immediate vicinanze della stazione di utenza AT/MT e del breve cavidotto AT.

Infatti, anche per la stazione d'utenza, ad eccezione che in corrispondenza degli ingressi e delle uscite linea, al di fuori della recinzione della stazione, i valori di campo magnetico sono inferiori ai limiti di legge.

5. CONCLUSIONI

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo DPCM 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 di 50 Hz degli elettrodotti".

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa) e per il livello 150 kV esso diventa inferiore a 5 kV/m già a pochi metri dalle parti in tensione.



Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo elettrico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Infatti per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente ai cavidotti MT, in tutti i tratti interni realizzati mediante l'uso di cavi elicordati, si può considerare che l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea. Per quanto concerne i tratti esterni, realizzati mediante l'uso di cavi unipolari posati a trifoglio, è stata calcolata un'ampiezza della semi-fascia di rispetto pari a 4 m e, sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore BT/MT, quindi in riferimento al DPCM 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29.05.2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel caso peggiore (trasformatore da 2500kVA), già a circa 4 m (DPA) dalla cabina stessa. Per quanto riguarda la cabina d'impianto, vista la presenza del solo trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari in BT e l'entità delle correnti circolanti nei quadri MT l'obiettivo di qualità si raggiunge a circa 3 m (DPA) dalla cabina stessa. Comunque considerando che nelle cabine di trasformazione e nella cabina d'impianto non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana.

L'impatto elettromagnetico può pertanto essere considerato non significativo.

