

<b>Cliente</b>	EniPower Mantova
<b>Oggetto</b>	Valutazione dei livelli di esposizione professionale ai campi elettrici e magnetici all'interno dello stabilimento EniPower Mantova.
<b>Ordine</b>	4200011089 del 17/05/2007 Prot. CESI A7013717
<b>Note</b>	Lavoro Nexus L53083E Commessa Nexus 72240G

PUBBLICATO A7016988 (PAD - 943507)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

**N. pagine** 17                      **N. pagine fuori testo** 0

**Data** 11/07/2007

**Elaborato** Capra Davide (CESI ATM), Bassi Roberto (CESI ATM)  
A7016988 3293 ALT                      A7016988 3838 ALT

**Verificato** Carboni Gabriele (CESI ATM)  
A7016988 3709 VER

**Approvato** Fiore Antonio (CESI AMB)  
A7016988 3743 APP

Mod. RAPP v. 01

*Indice*

<b>SOMMARIO.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2 QUADRO LEGISLATIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>3 MISURE DI INDUZIONE MAGNETICA A FREQUENZA INDUSTRIALE .....</b>	<b>8</b>
3.1 Ambienti di misura .....	8
3.2 Strumentazione impiegata e modalità di esecuzione delle misure.....	9
3.3 Presentazione dei risultati .....	9
3.3.1 Confronto risultati CC1 e CC2.....	12
<b>4 MISURE DI CAMPO ELETTRICO A FREQUENZA INDUSTRIALE.....</b>	<b>13</b>
4.1 Strumentazione impiegata e modalità di esecuzione delle misure.....	13
4.2 Presentazione dei risultati .....	13
<b>5 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI.....</b>	<b>15</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	11/07/2007	A7016988	Prima emissione

## SOMMARIO

Nel presente documento sono presentati i risultati di una campagna di rilievi sperimentali di campo elettrico e magnetico effettuata presso gli ambienti di lavoro degli impianti di EniPower Mantova individuati selezionando quelli che, per la continua presenza di personale o per la presenza di apparecchiature, sono stati considerati rappresentativi per la caratterizzazione della situazione espositiva in tutto l'impianto.

I risultati delle misure costituiscono quindi una base per la valutazione dei livelli di esposizione professionale dei lavoratori addetti alle operazioni di gestione e manutenzione e consentono, laddove necessario, di individuare le opportune azioni da adottare per ridurre l'esposizione stessa.

Nel presente documento non sono contemplate le misure relative alla centrale B6 in quanto indisponibile per manutenzione nel periodo programmato per le misure.

## 1 INTRODUZIONE

La campagna di rilievi sperimentali illustrata nel presente rapporto ha riguardato la misura dell'induzione magnetica e del campo elettrico a frequenza industriale in luoghi individuati dal Cliente all'interno degli impianti a ciclo combinato e del sistema di distribuzione elettrica degli impianti EniPower Mantova. I luoghi di misura sono stati individuati sulla base di un'analisi dell'impianto selezionando quelli potenzialmente affetti dai livelli più elevati di induzione magnetica e di campo elettrico.

Dati i criteri di scelta dei punti di misura, il presente rapporto consente di effettuare una valutazione della conformità dei livelli di campi elettromagnetici presenti negli impianti EniPower Mantova con quanto prescritto dalla Direttiva Europea 2004/40/CE sulla protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici.

## 2 QUADRO LEGISLATIVO

La Legge 22 febbraio 2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2001 è stata emanata con i seguenti obiettivi:

- assicurare la tutela della salute dei lavoratori e della popolazione (limiti di esposizione);
- promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine ed attivare misure di cautela (valori di attenzione ed obiettivi di qualità);
- assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio, promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento.

Detta legge ha introdotto limiti e valori espositivi che sono numericamente definiti da ulteriori dispositivi legislativi e precisamente:

- *limite di esposizione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori;
- *valore di attenzione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge ed ha l'ulteriore obiettivo di assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.
- *obiettivi di qualità* sono:
  - i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili;
  - i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi.

Il DPCM 8 luglio 2003<sup>1</sup> individua i limiti di esposizione, i livelli di attenzione e gli obiettivi di qualità per la popolazione. Per quel che riguarda la frequenza industriale i limiti di esposizione per la popolazione sono 5 kV/m per il campo elettrico e 100  $\mu$ T per il campo magnetico. Inoltre, per i soli campi magnetici prodotti dagli elettrodotti, vengono fissati il valore di 10  $\mu$ T, quale valore d'attenzione (per gli ambienti abitativi, nelle aree gioco per l'infanzia, nelle scuole e in tutti i luoghi dove si soggiorna più di 4 ore al giorno), e quello di 3  $\mu$ T come obiettivo di qualità da applicare ai nuovi elettrodotti.

L'adozione di limitazioni meno restrittive per l'esposizione dei lavoratori rispetto a quella del pubblico è sostanzialmente dovuta al fatto che la popolazione esposta per motivi professionali è formata da adulti che sono generalmente esposti in condizioni note e sono informati e consapevoli dei potenziali rischi e delle opportune precauzioni da adottare. Al contrario, il pubblico generico comprende individui di tutte le età e con diverso stato di salute, e può includere gruppi di persone particolarmente sensibili. In molti casi, i membri del pubblico non sono consapevoli della loro esposizione ai campi elettromagnetici. Inoltre, non ci si può ragionevolmente attendere che i singoli individui della popolazione adottino misure per minimizzare o per evitare l'esposizione.

Rispetto all'esposizione dei *lavoratori*, la citata Legge quadro 36/2001 prevede l'emanazione di un Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri che individui – sia per la frequenza industriale che per la radiofrequenza – i limiti di esposizione, i livelli di attenzione e gli obiettivi di qualità per i lavoratori e le lavoratrici disciplinando, altresì, “*il regime di sorveglianza medica sulle lavoratrici e sui lavoratori professionalmente esposti*”. I tempi per l'emanazione di detto Decreto sono tuttora incerti.

A livello comunitario è stata emanata la Direttiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004, pubblicata sulla GUEE L 184/1 del 24/05/2004, riguardante le prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici).

---

<sup>1</sup> DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 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.”

La Direttiva 2004/40/CE recepisce i suggerimenti delle linee guida ICNIRP<sup>2</sup> del 1998, basati su un'attenta valutazione di tutta la documentazione scientifica esistente sui possibili effetti sanitari acuti. In particolare, nella Direttiva vengono individuati due livelli:

- limiti di esposizione (coincidenti con i limiti di base ICNIRP): ovvero limitazioni all'esposizione ai campi elettromagnetici variabili nel tempo che si fondano direttamente su effetti accertati sulla salute e su considerazioni di ordine biologico. Vengono espressi tramite grandezze fisiche strettamente correlate agli effetti sanitari (che nel caso delle basse frequenze sono rappresentate dalla densità di corrente indotta nel corpo umano [ $\text{mA}/\text{m}^2$ ] e, nel caso delle radiofrequenze, dal rateo specifico di assorbimento *SAR* [ $\text{W}/\text{kg}$ ]).
- Valori di azione (coincidenti con i livelli di riferimento ICNIRP): questi valori sono indicati a fini pratici di valutazione dell'esposizione in modo da determinare se siano probabili superamenti dei limiti di base. Alcuni sono derivati dai limiti di base attraverso misurazioni e/o tecniche informatiche; altri si riferiscono alla percezione e agli effetti nocivi indiretti dell'esposizione. Sono definiti mediante identificazione di livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici misurabili con una strumentazione adeguata.

I valori delle grandezze suddette sono riportati, in funzione della frequenza, nelle seguenti tabelle tratte dalla Direttiva.

---

<sup>2</sup> ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)" Health Physics, 74, 4, 1998.

**Tabella 1** Valori limite di esposizione (tutte le condizioni devono essere rispettate)

Intervallo di frequenza	Densità di corrente per capo e tronco J [mA/m <sup>2</sup> ] (rms)	SAR mediato sul corpo intero [W/kg]	SAR localizzato (capo e tronco) [W/kg]	SAR localizzato (arti) [W/kg]	Densità di Potenza [W/m <sup>2</sup> ]
Fino a 1 Hz	40	-	-	-	-
1 ÷ 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 ÷ 1 000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz ÷ 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz ÷ 10 MHz	f/100	0.4	10	20	-
10 MHz ÷ 10 GHz	-	0.4	10	20	-
10 ÷ 300 GHz	-	-	-	-	50

Note:

1. f è la frequenza in Hertz.
2. I valori limite di esposizione per la densità di corrente si prefiggono di proteggere dagli effetti acuti, risultanti dall'esposizione, sui tessuti del sistema nervoso centrale nella testa e nel torace. I valori limite di esposizione nell'intervallo di frequenza compreso fra 1 Hz e 10 MHz sono basati sugli effetti nocivi accertati sul sistema nervoso centrale. Tali effetti acuti sono essenzialmente istantanei e non v'è alcuna giustificazione scientifica per modificare i valori limite di esposizione nel caso di esposizioni di breve durata. Tuttavia, poiché i valori limite di esposizione si riferiscono agli effetti nocivi sul sistema nervoso centrale, essi possono permettere densità di corrente più elevate in tessuti corporei diversi dal sistema nervoso centrale a parità di condizioni di esposizione.
3. Data la non omogeneità elettrica del corpo, le densità di corrente dovrebbero essere calcolate come medie su una sezione di 1 cm<sup>2</sup> perpendicolare alla direzione della corrente.
4. Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di picco della densità di corrente possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per (2)<sup>1/2</sup>.
5. Per le frequenze fino a 100 kHz e per i campi magnetici pulsati, la massima densità di corrente associata agli impulsi può essere calcolata in base ai tempi di salita/discesa e al tasso massimo di variazione dell'induzione magnetica. La densità di corrente indotta può essere confrontata con il corrispondente valore limite di esposizione. Per gli impulsi di durata tp la frequenza equivalente per l'applicazione dei limiti di esposizione va calcolata come  $f = 1/(2tp)$ .
6. Tutti i valori di SAR devono essere ottenuti come media su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
7. La massa adottata per mediare il SAR localizzato è pari a ogni 10 g di tessuto contiguo. Il SAR massimo ottenuto in tal modo costituisce il valore impiegato per la stima dell'esposizione. Si intende che i suddetti 10 g di tessuto devono essere una massa di tessuto contiguo con proprietà elettriche quasi omogenee. Nello specificare una massa contigua di tessuto, si riconosce che tale concetto può essere utilizzato nella dosimetria numerica ma che può presentare difficoltà per le misurazioni fisiche dirette. Può essere utilizzata una geometria semplice quale una massa cubica di tessuto, purché le grandezze dosimetriche calcolate assumano valori conservativi rispetto alle linee guida in materia di esposizione.
8. Per esposizioni pulsate nella gamma di frequenza compresa fra 0.3 e 10 GHz e per esposizioni localizzate del capo, allo scopo di limitare ed evitare effetti uditivi causati da espansione termoelastica, si raccomanda un ulteriore valore limite di esposizione. Tale limite è rappresentato dall'assorbimento specifico (SA) che non dovrebbe superare 10 mJ/kg calcolato come media su 10 g di tessuto.
9. Le densità di potenza sono ottenute come media su una qualsiasi superficie esposta di 20 cm<sup>2</sup> e su un qualsiasi periodo di 68/f<sup>1.05</sup> minuti (f in GHz) per compensare la graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza. Le massime densità di potenza nello spazio, mediate su una superficie di 1 cm<sup>2</sup>, non dovrebbero superare 20 volte il valore di 50 W/m<sup>2</sup>.
10. Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale per quanto riguarda l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, è necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal Cenelec.

**Tabella 2** Valori di azione (valori efficaci rms imperturbati)

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E [V/m]	Intensità di campo magnetico H [A/m]	Induzione Magnetica B [ $\mu$ T]	Densità di potenza di onda piana equivalente $S_{eq}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Corrente di contatto, IC [mA]	Corrente indotta attraverso gli arti, IL [mA]
0 ÷ 1Hz	-	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-	1.0	-
1 ÷ 8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1.0	-
8 ÷ 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	-	1.0	-
0.025 ÷ 0.82kHz	500/f	20/f	25/f	-	1.0	-
0.82 ÷ 2.5 kHz	610	24.4	30.7	-	1.0	-
2.5 ÷ 65 kHz	610	24.4	30.7	-	0.4 f	-
65 ÷ 100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0.4 f	-
0.1 ÷ 1 MHz	610	1.6/f	2/f	-	40	-
1 ÷ 10 MHz	610/f	1.6/f	2/f	-	40	-
10 ÷ 110 MHz	61	0.16	0.2	10	40	100
110 ÷ 400 MHz	61	0.16	0.2	10	-	-
400 ÷ 2000 MHz	$3f^{0.2}$	$0.008f^{0.2}$	$0.01f^{0.2}$	f/40	-	-
2 ÷ 300 GHz	137	0.36	0.45	50	-	-

Note:

- f è la frequenza espressa nelle unità indicate nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
- Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz,  $S_{eq}$ , E, H, B e IL devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
- Per le frequenze che superano 10 GHz,  $S_{eq}$ , E, H e B devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di  $68/f^{1.05}$  minuti (f in GHz).
- Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo possono essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per  $(2)^{1/2}$ . Per gli impulsi di durata  $t_p$  la frequenza equivalente da applicare per i valori di azione va calcolata come  $f = 1/(2t_p)$ .  
Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di azione di picco per le intensità di campo sono calcolati moltiplicando i pertinenti valori efficaci (rms) per 10, dove  $a = (0.665 \log(f/10) + 0.176)$ , f in Hz.  
Per le frequenze comprese tra 10 MHz e 300 GHz, i valori di azione di picco sono calcolati moltiplicando i valori efficaci (rms) corrispondenti per 32 nel caso delle intensità di campo e per 1 000 nel caso della densità di potenza di onda piana equivalente.
- Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, è necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal Cenelec.
- Per i valori di picco di campi elettromagnetici pulsati modulati si propone inoltre che, per le frequenze portanti che superano 10 MHz,  $S_{eq}$  valutato come media sulla durata dell'impulso non superi di 1'000 volte i valori di azione per  $S_{eq}$ , o che l'intensità di campo non superi di 32 volte i valori di azione dell'intensità di campo alla frequenza portante.

### 3 MISURE DI INDUZIONE MAGNETICA A FREQUENZA INDUSTRIALE

Scopo delle misure riportate nel presente capitolo è la valutazione dei livelli di campo magnetico a frequenza industriale presenti in diversi ambienti di lavoro all'interno dello stabilimento.

Le misure sono state effettuate in maniera sistematica in tutti i punti descritti nella Tabella 3 sull'impianto CC1, mentre sono state effettuate solo alcune misure di conferma sull'impianto CC2.

#### 3.1 Ambienti di misura

Le misure sono state eseguite nei seguenti ambienti e/o in corrispondenza delle seguenti apparecchiature:

**Tabella 3** *Elenco dei punti di misura*

Posizione	Descrizione
MGN 1	Trasformatore TR-0
MGN 2	Cabina CE-2
MGN 3	Locale passaggio cavi sottocabina CE2
MGN 4	TRM-1
MGN 5 + MGN 6	TR-U1
MGN 7	Zona sottostante sbarre TG1
MGN 8	Sotto alternatore TV1
MGN 9	Alternatore TV1 - Interno cabinato
MGN 10	Zona sottostante sbarre TV1
MGN 11	Alternatore TG1 - Interno cabinato
MGN 12	Cabina CE-11
MGN 13	Locale passaggio cavi sottocabina CE-11
MGN 14	Motore BT Ventilatore Condensatore
MGN 15	Motore MT pompa estrazione condensato (PEC)
MGN 16	Motore MT pompa acqua torre di raffreddamento
MGN 17	Motore MT pompa alimento GVR
MGN 18	Sala controllo
MGN 23	Cabina C1 - piano terra gabbie a giorno
MGN 24	Cabina C3-bis - piano terra gabbie a giorno
MGN 25	Box TR-S
MGN 26	Sottostazione GIS - zona blindato
MGN 27	Cabina C1-A



### 3.2 Strumentazione impiegata e modalità di esecuzione delle misure

I livelli di induzione magnetica, riscontrabili negli ambienti presi in esame, sono dovuti alle correnti che circolano negli impianti e nelle apparecchiature elettriche funzionanti nei locali stessi ed al contributo dovuto alla presenza di linee elettriche.

Le misure di induzione magnetica a frequenza industriale sono state effettuate utilizzando misuratori Emdex II. Questo tipo di strumento misura i valori efficaci delle tre componenti ortogonali del vettore induzione magnetica, chiamato anche densità di flusso magnetico, e ne ricava il valore efficace del corrispondente campo ellittico  $B$  (espresso in Tesla o suoi sottomultipli  $\mu$ Tesla). L'induzione magnetica è una grandezza di uso più comune del campo magnetico  $H$  (espresso in A/m) ed è direttamente correlata a quest'ultimo attraverso la relazione  $B=\mu H$  dove  $\mu$  rappresenta la permeabilità magnetica del mezzo (per l'aria  $\mu$  assume il valore di  $4\pi \cdot 10^{-7}$  henry/m).

L'Emdex II determina il valore dell'induzione magnetica per frequenze comprese tra 40 Hz e 800 Hz con intensità tra 0.01  $\mu$ T e 300  $\mu$ T con un'incertezza del 1 %.

Per i punti caratterizzati da campi magnetici più elevati è stato utilizzato un High Field Emdex II che determina il valore dell'induzione magnetica per frequenze comprese tra 40 Hz e 800 Hz con intensità tra 0.4  $\mu$ T e 12 mT con un'incertezza del 1 %.

Le misure sono state eseguite spostando manualmente lo strumento, ad un'altezza di circa 1 m dal piano calpestabile, in tutte le aree accessibili al personale negli ambienti di interesse o in vicinanza (~ 20 cm) dell'apparecchiatura da caratterizzare.

La frequenza di campionamento dello strumento è pari ad una misura ogni 1.5 secondi.

I risultati vengono presentati in termini di numero di misure effettuate, valore minimo e valore massimo.

Le misure sono state eseguite in accordo con i seguenti standard nazionali ed internazionali:

- CEI 211-6 (2001): "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana";
- IEC 61786 (1998): "Measurements of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements".

I certificati di verifica di taratura della strumentazione utilizzata sono archiviati presso il laboratorio metrologico CESI.

### 3.3 Presentazione dei risultati

Nel presente paragrafo vengono presentati i risultati delle misure effettuate in ciascuno degli ambienti elencati al precedente § 3.1.

Nel periodo di esecuzione delle misure lo stabilimento era in condizioni di funzionamento normali. Le misure effettuate possono quindi essere considerate rappresentative dei livelli di campo magnetico comunemente presenti nei diversi ambienti.

**Tabella 4** Risultati delle misure effettuate sull'impianto CCI

Posizione	Descrizione	Data e ora di misura	Campo magnetico [μT]		Numero misure	Note
			Minimo	Massimo		
MGN 1	Trasformatore TR-0	12-6-07 12.31	0.0	0.1	17	
MGN 2	Quadro MCC-0A	12-6-07 12.11	0.1	0.3	27	
MGN 2	Quadro PC00	12-6-07 12.16	0.4	22	48	
MGN 2	Quadro PCE0	12-6-07 12.08	0.1	2	40	
MGN 2	Quadro PCE-D	12-6-07 12.19	0.1	0.4	31	
MGN 2	Quadro QCC-0	12-6-07 12.12	0.2	9	50	
MGN 2	Quadro QMT-0	12-6-07 12.10	0.0	1	57	
MGN 2	Quadro QMT-00	12-6-07 12.07	0.0	0.2	45	
MGN 2	Quadro QSA-0	12-6-07 12.17	0.3	13	39	
MGN 2	Quadro QSP-0	12-6-07 12.20	0.2	9	40	
MGN 3	Misura d'insieme	12-6-07 12.22	0.0	155	327	Max vicino a cavi 6 kV ventilatori torri
MGN 4	Misure d'insieme	13-6-07 10.22	1.0	234	179	Max vicino carcassa lato edificio
MGN 5	Misure d'insieme	13-6-07 10.22	1.8	166	84	Max vicino a passerella cavi 6 kV
MGN 7	Tetto edificio	13-6-07 10.05	2.2	301	183	Max vicino a sbarre (sotto)
MGN 7	Transetto a terra passaggio sotto sbarre	13-6-07 10.19	0.4	1	57	
MGN 7	Transetto davanti a TRA-1A/TRA-1B/TREGG-1/TRCGG-1	13-6-07 10.19	0.9	10	57	
MGN 8	Locale scambiatori zona sotto alternatore	13-6-07 9.05	0.9	180	54	Max davanti a porta accesso a centro stella (chiusa)
MGN 8	Misura d'insieme sul pianerottolo sotto arrivo sbarre	13-6-07 9.02	2.9	374	105	Max sotto le sbarre
MGN 9	Locale lato compressore	13-6-07 8.55	6.6	280	60	
MGN 9	Locale spazzole	13-6-07 8.50	6.1	365	175	Max dentro armadio spazzole
MGN 9	Misura d'insieme sull'esterno del piano cabinato	13-6-07 8.57	0.1	14	163	
MGN 10	Terrazzo	13-6-07 10.14	0.6	4	108	
MGN 10	Tetto edificio	13-6-07 10.05	1.8	63	130	
MGN 11	Locale lato compressore	13-6-07 8.43	51.1	390	32	
MGN 11	Locale spazzole	13-6-07 8.40	28.0	616	90	Max dentro armadio spazzole
MGN 11	Misura d'insieme piano terra	13-6-07 8.36	1.8	8	97	

			Campo magnetico [ $\mu$ T]			
MGN 12	Quadro ECCITATRICE EGD-1	13-6-07 9.52	1.5	19	44	
MGN 12	Quadro ECCITATRICE EGG-1	13-6-07 9.47	0.4	18	61	
MGN 12	Quadro MCC-1B	13-6-07 9.49	0.1	1	39	
MGN 12	Quadro MCC-1C e MCC-1G	13-6-07 9.49	0.8	12	230	
MGN 12	Quadro PC10	13-6-07 9.44	1.7	22	179	
MGN 12	Quadro PC11	13-6-07 9.56	0.2	23	109	
MGN 12	Quadro PC12	13-6-07 9.56	1.4	23	192	
MGN 12	Quadro PCE	13-6-07 9.38	0.2	4	135	
MGN 12	Quadro QCC-1	13-6-07 9.51	0.1	6	43	
MGN 12	Quadro QMT-1	13-6-07 9.42	0.1	9	143	
MGN 12	Quadro QSA-1	13-6-07 9.54	0.2	9	66	
MGN 12	Quadro QSP-1	13-6-07 10.00	0.3	8	49	
MGN 12	Quadro UPS GD1 GG1 INVERTER	13-6-07 9.42	2.1	95	58	
MGN 13	Misure d'insieme	12-6-07 17.47	0.1	458	634	Max vicino cavi BT
MGN 14	Misura d'insieme	13-6-07 15.10	0.4	23	49	
MGN 15	Misura d'insieme	13-6-07 11.24	0.4	78	138	
MGN 16	Misura d'insieme	13-6-07 11.18	0.2	14	139	
MGN 17	Misura d'insieme	13-6-07 11.31	0.4	117	83	Max vicino scatola alimentazione MT
MGN 18	Misura d'insieme	12-6-07 11.51	0.0	1	299	
MGN 23	Gabbie 1T	13-6-07 15.27	1.1	143	321	Max davanti a gabbia 13 (entrambi i lati) e 3 (lato muro)
MGN 23	Gabbie PT	13-6-07 15.20	0.7	162	277	Max davanti a gabbia 13 e 3 (lato interno)
MGN 24	Misura d'insieme	13-6-07 16.06	0.8	53	139	
MGN 25	Misura d'insieme	13-6-07 16.15	2.5	2682	122	Max vicino cavi MT
MGN 26	Davanti strumenti SF6	13-6-07 16.27	1.4	6	75	
MGN 26	Lato TR-S	13-6-07 16.29	0.6	138	98	Max in corrispondenza dei giunti di dilatazione (a contatto ~ 400 $\mu$ T)
MGN 26	Passerella superiore	13-6-07 16.32	0.4	3	109	
MGN 26	Quadri comando	13-6-07 16.35	1.0	10	108	
MGN 26	Sala quadri	13-6-07 16.40	0.0	14	223	
MGN 27	Locale protezioni	13-6-07 15.56	1.3	25	51	

			Campo magnetico [ $\mu$ T]			
MGN 27	Quadro PC-C1/A	13-6-07 15.48	0.9	5	67	
MGN 27	Quadro QE-5	13-6-07 15.52	0.6	2	26	
MGN 27	Quadro QMT-C1A	13-6-07 15.10	0.9	25	125	
MGN 27	Quadro QMT-C1A Sbarre A	13-6-07 15.51	0.3	17	169	
MGN 27	Quadro QSP-C1A	13-6-07 15.58	1.5	4	32	
MGN 28	Misura d'insieme	13-6-07 15.38	1.8	458	315	Max in punti diversi vicino a cavi MT

### 3.3.1 Confronto risultati CC1 e CC2

Al fine di confrontare i livelli di campo magnetico presenti nei diversi punti degli impianti CC1 e CC2, sono state effettuate, in accordo con il Cliente, alcune misure di confronto sull'impianto CC2 nei punti che, nel CC1, avevano evidenziato i valori più elevati di induzione magnetica.

I risultati delle misure sono riportati nella successiva Tabella 5.

**Tabella 5** Confronto tra i risultati delle misure effettuate sull'impianto CC2 e sul CC1

Posizione	Descrizione	Data e ora di misura	Campo magnetico [ $\mu$ T]		Numero misure	Note
			Minimo	Massimo		
MGN 8	TV2 - Misura d'insieme sul pianerottolo sotto arrivo sbarre	14-6-07 10.32	11.6	565	78	Max vicino a sbarre (sotto)
MGN 8	TV1 - Misura d'insieme sul pianerottolo sotto arrivo sbarre	13-6-07 9.02	2.9	374	105	Max vicino a sbarre (sotto)
MGN 11	TG2 - Locale lato compressore	14-6-07 10.25	60.7	554	50	
MGN 11	TG1 - Locale lato compressore	13-6-07 8.43	51.1	390	32	
MGN 11	TG2 - Locale spazzole	14-6-07 10.27	22.8	723	122	Max esterno armadio spazzole lato compressore
MGN 11	TG1 - Locale spazzole	13-6-07 8.40	28.0	616	90	Max dentro armadio spazzole

L'analisi della Tabella 5 evidenzia che i livelli di induzione magnetica riscontrati sull'impianto CC2 sono leggermente più elevati rispetto a quelli riscontrati negli ambienti analoghi dell'impianto CC1.

Ciò, per gli impianti TV, è presumibilmente dovuto al diverso carico dei due impianti durante l'esecuzione delle misure. Infatti nel periodo di esecuzione delle misure il TV1 erogava 67 MW mentre il TV erogava 101 MW<sup>3</sup>.

Per quel che riguarda gli impianti TG invece, nel periodo di esecuzione delle misure essi erogavano approssimativamente la stessa potenza (TG1: 236 MW; TG2: 237 MW). La differenza tra i livelli di induzione magnetica rilevati è quindi ascrivibile a piccole differenze nel layout e nella tipologia delle apparecchiature presenti sui due impianti.

<sup>3</sup> Dati forniti dal Cliente

## 4 MISURE DI CAMPO ELETTRICO A FREQUENZA INDUSTRIALE

Scopo delle misure riportate nel presente capitolo è la valutazione dei livelli di campo elettrico a frequenza industriale presenti nella sottostazione a 220 kV.

Il campo elettrico a frequenza industriale è sostanzialmente riconducibile alla presenza di conduttori in tensione non schermati. Esso viene inoltre facilmente schermato, quindi, in pratica, all'interno di un edificio il contributo di linee elettriche aeree o di altre sorgenti esterne è del tutto trascurabile.

Gli ambienti della sottostazione in cui era pertanto prevedibile rilevare valori significativi di campo elettrico, e che si è quindi proceduto a caratterizzare, sono quelli all'aperto interessati dalla presenza del sistema di sbarre e dai pannelli di linea e trasformatore.

### 4.1 Strumentazione impiegata e modalità di esecuzione delle misure

Le misure di campo elettrico sono state condotte tramite una sonda triassiale, posta su apposito cavalletto realizzato in materiale isolante, che fornisce, in accordo con la normativa tecnica di riferimento, la misura del valore efficace del campo elettrico  $E$  espresso come:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

dove  $E_x$ ,  $E_y$  ed  $E_z$  sono i valori efficaci delle tre componenti ortogonali del campo.

Lo strumento impiegato (EFA-3 della Wandel & Goltermann) misura il campo elettrico con frequenza compresa nel range 5 Hz ÷ 30 kHz e di intensità tra 0.1 V/m e 100 kV/m con un'incertezza del 5 %.

Si rammenta come le misure di campo elettrico a frequenza industriale siano fortemente influenzate dalla presenza di oggetti conduttori (compreso il corpo umano) e da costruzioni, vegetazione, ecc.

Le misure sono state eseguite in accordo con i seguenti standard nazionali ed internazionali:

- CEI 211-6 (2001): "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana";
- IEC 61786 (1998): "Measurements of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements".

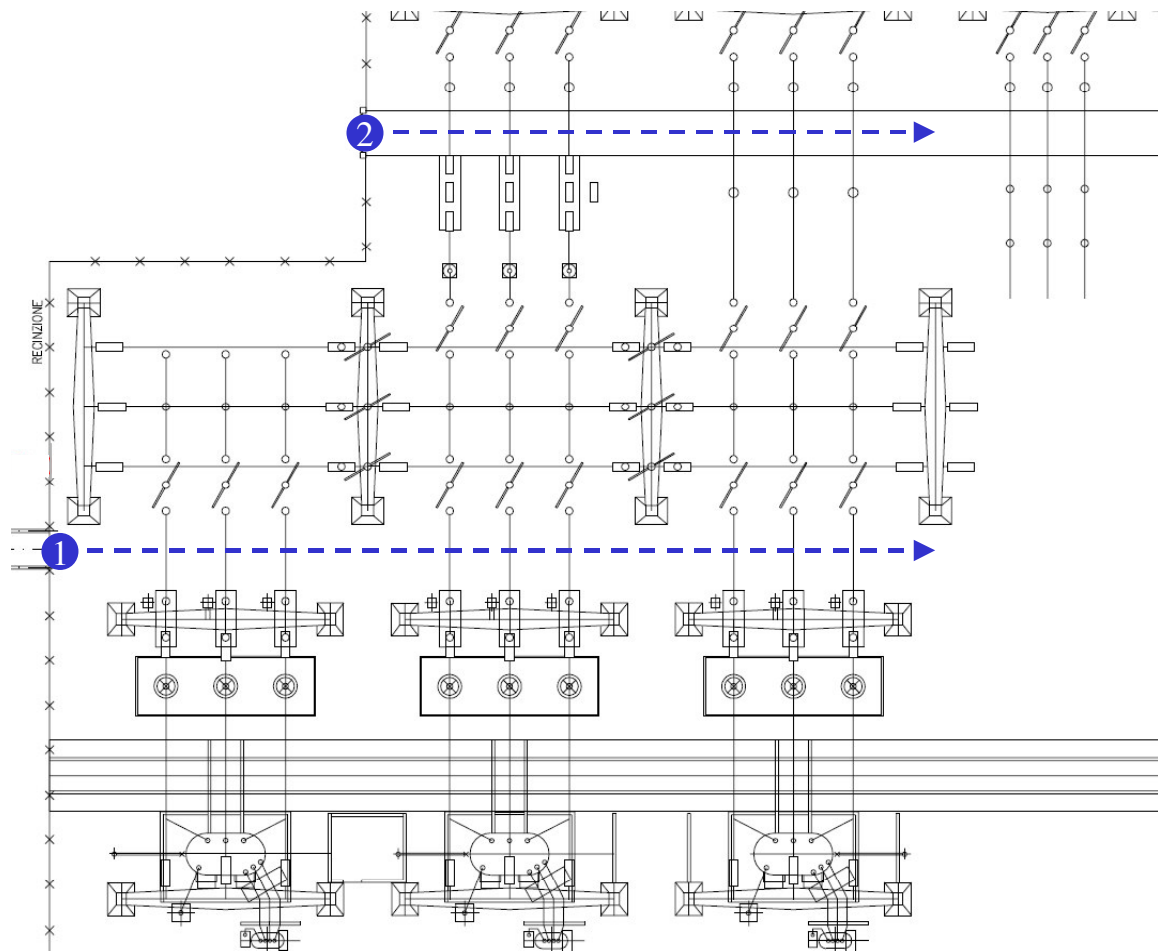
I certificati di verifica di taratura della strumentazione utilizzata sono archiviati presso il laboratorio metrologico CESI.

Le misure sono state condotte posizionando il cavalletto con la sonda ( $h=1$  m) in punti equispaziati lungo un transetto. L'operatore, posto a distanza appropriata per non alterare la misura, registra il valore indicato dal ricevitore, collegato alla sonda tramite fibra ottica. I risultati delle misure sono presentati sotto forma di grafico {x,y} (distanza, campo elettrico).

### 4.2 Presentazione dei risultati

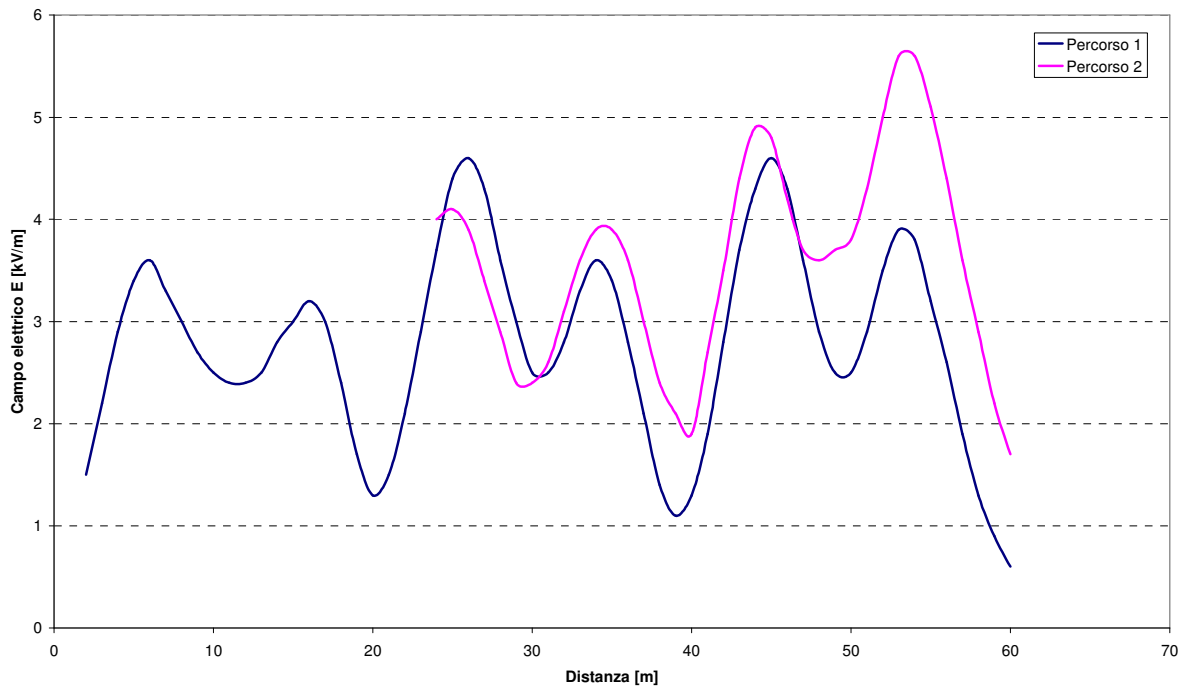
Le misure di campo elettrico sono state eseguite nella mattinata del 17/06/2007 lungo due vie di transito nella sottostazione seguendo i percorsi evidenziati nella Figura 1. Nel periodo di esecuzione delle misure i conduttori nella sottostazione erano normalmente alla tensione di esercizio. Le misure effettuate possono quindi essere considerate rappresentative dei livelli di campo elettrico presenti nella sottostazione.

I risultati delle misure effettuate lungo i percorsi sono riportati nel grafico di Figura 2.



**Figura 1** Percorsi di misura del campo elettrico all'interno della sottostazione a 220 kV

Campo elettrico nella sottostazione a 220 kV



**Figura 2** *Andamento del campo elettrico all'interno della sottostazione a 220 kV*

## 5 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Le attività di misura effettuate per la stesura del presente rapporto hanno consentito di determinare i livelli di campo elettrico e magnetico presenti negli ambienti degli impianti EniPower Mantova.

I risultati ottenuti nel corso della presente indagine consentono di effettuare una valutazione della conformità dei livelli di campi elettromagnetici con quanto prescritto dalla Direttiva Europea 2004/40/CE alla quale è necessario riferirsi in assenza di una normativa italiana specifica per i lavoratori.

Come già accennato, la Direttiva Europea, nella Tabella 2 richiamata all'art. 3, raccomanda l'adozione di un valore di azione di 500  $\mu\text{T}$  per il campo magnetico e 10 kV/m per il campo elettrico per la protezione di lavoratori esposti per motivi professionali ai campi magnetici alla frequenza di 50 Hz.

All'interno della sottostazione a 220 kV non sono stati rilevati campi superiori a 10 kV/m.

I soli punti dello stabilimento dove sono stati rilevati superamenti del valore di azione, per il solo campo magnetico, sono:

- sul pianerottolo del TV2 (MGN 8) sotto le sbarre:  $B=565 \mu\text{T}$ ,
- nel locale spazzole del TG1 (MGN 11):  $B=616 \mu\text{T}$ ,
- nel locale spazzole del TG2, (MGN 11):  $B=723 \mu\text{T}$ ,
- in vicinanza dei cavi MT in uscita dal TR-S (MGN 25):  $B=2682 \mu\text{T}$ .

### MGN 8

Per quel che riguarda il punto MGN 8, essendo un punto di passaggio, non ci si aspetta uno stazionamento di personale che, comunque, è esposto a livelli di campo magnetico tali che il limite di

esposizione di  $10 \text{ mA/m}^2$  nel tronco e nella testa, definito dalla Direttiva Europea nella Tabella 1 richiamata all'art. 3, non viene superato<sup>4</sup>.

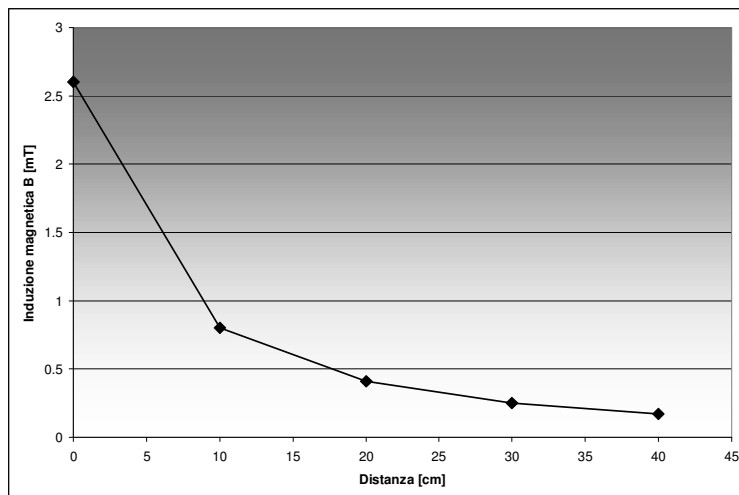
### MGN 11

Nei locali spazzole (MGN 11), i punti caratterizzati da un'induzione magnetica superiore a  $500 \mu\text{T}$  sono limitati e difficilmente accessibili. Valgono quindi le stesse considerazioni fatte sopra per il punto MGN 8. Inoltre, poiché i valori limite di esposizione della Direttiva Europea si riferiscono agli effetti nocivi sul sistema nervoso centrale, essi possono permettere densità di corrente più elevate in tessuti corporei diversi dal sistema nervoso centrale a parità di condizioni di esposizione.

Si ritiene comunque opportuno segnalare con appositi cartelli i punti sopra evidenziati<sup>5</sup>.

### MGN 25

Considerando infine i cavi MT in uscita dal trasformatore TR-S, il campo magnetico rilevato appare elevato ed in grado di provocare un superamento del limite di  $10 \text{ mA/m}^2$  per lavoratori che dovessero, anche occasionalmente, stazionare in vicinanza dei conduttori. A questo proposito è opportuno segregare l'area circostante con una protezione (costituita ad esempio da una rete rigida metallica) che non consenta al personale di avvicinarsi ai cavi MT. A tale scopo, è utile il grafico della figura seguente, nel quale è riportato l'andamento dell'induzione magnetica in direzione perpendicolare ai cavi in questione e dal quale si evince che la protezione dovrebbe essere posta ad una distanza non inferiore a 20 cm dai cavi stessi.



<sup>4</sup> Per il calcolo delle correnti indotte (non direttamente misurabili) dai campi magnetici può essere utilizzato il modello contenuto nella bozza di norma IEC 62226 Parte 2 (Draft IEC Project 62226: Calculation methods of induced current in human body by electric or magnetic field in low or intermediate frequency range: Part 2: exposure to magnetic fields – section 1: 2D models.). In particolare, simulando la testa umana con un disco (o sfera) omogeneo di raggio 100 mm e conducibilità pari  $0.7 \text{ S/m}$ , il modello analitico richiamato nella suddetta bozza di norma IEC consente di valutare in  $5.5 \text{ mA/m}^2$  il valore massimo della corrente indotta nel cervello da un campo magnetico di  $500 \mu\text{T}$ . Risulta quindi evidente che per indurre nel cervello una corrente massima di  $10 \text{ mA/m}^2$  occorrerebbe un campo magnetico a 50 Hz ben superiore al valore di azione della Direttiva Europea che, pertanto, va inteso come comprendente ulteriori ampi margini di sicurezza.

<sup>5</sup> Si suggerisce di utilizzare, secondo quanto prescritto dalla norma UNI 7545 parte 23<sup>a</sup> (1994): “Segnali grafici per segnali di pericolo – Radiazioni non ionizzanti” la seguente segnaletica





Anche in questo caso è opportuno apporre sulla protezione appositi cartelli che segnalino il pericolo di esposizione a radiazioni non ionizzanti.

Nella sala controllo dell'impianto, in cui è prevista la presenza continuativa di personale, i livelli rilevati di campo magnetico a frequenza industriale sono risultati sensibilmente inferiori sia al valore di azione ( $10 \mu\text{T}$ ) che all'obiettivo di qualità previsto dalla normativa italiana per la popolazione ( $3 \mu\text{T}$ ).

In conclusione, è opportuno segnalare, in ottemperanza all'articolo 5, comma 3, della Direttiva 2004/40/CE, la necessità di un'azione di formazione e di informazione del personale che deve essere edotto sui rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e sui risultati delle campagne di misura effettuate.

Il personale dovrà inoltre essere informato sulle procedure di lavoro da adottare nei luoghi in cui sono presenti livelli di induzione magnetica superiori a  $500 \mu\text{T}$  segnalati con appositi cartelli.