

# **APPLICAZIONE E ANALISI DELLA PROCEDURA DI MISURA DEL DM 29/05/08**

Bidini L.

ARPAT, Settore Agenti Fisici, Via Ponte alle Mosse 211, 50144 Firenze, l.bidini@arpat.toscana.it

Fossi R.

ARPAT, Settore Agenti Fisici, Via Ponte alle Mosse 211, 50144 Firenze, r.fossi@arpat.toscana.it

Giovannini F.

ARPAT, Settore Modellistica Previsionale, Via Ponte alle Mosse 211, 50144 Firenze,  
f.giovannini@arpat.toscana.it

## **1. PREMESSA**

Nell'ambito dell'attività di controllo dei livelli di campo di induzione magnetica prodotto dagli elettrodotti, eseguito ai fini della verifica del rispetto dei limiti, il Settore Agenti Fisici di ARPAT - Area Vasta Centro - ha eseguito un'indagine sull'elettrodotto a 380 kV nel Comune di Montaione, Provincia di Firenze. Il valore del campo di induzione magnetica utile ai fini della verifica dei limiti di cui al DPCM 8/07/03, è stato determinato secondo la procedura riportata nell'allegato al DM 29/05/08 "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica". L'elettrodotto è costituito da una singola terna. La misura prolungata è stata eseguita in ambiente abitativo, nel punto più esposto in base alla posizione dell'elettrodotto, distante dai cavi circa 12 m.

## **2. ESECUZIONE DELLE MISURE**

Per la misura del campo di induzione magnetica è stato utilizzato lo strumento Emdex II, opportunamente tarato. E' stata eseguita una misura prolungata, con periodo di campionamento di 1 minuto, dalle ore 13:00 del 28/03/2011 alle ore 11:45 del 31/03/2011.

## **3. PROCEDURA DI VERIFICA DEL RISPETTO DEI LIMITI SECONDO IL DM 29/05/08**

Per la verifica del rispetto dei limiti previsti dalla normativa (L. 36/01, DPCM 8/07/03, DM 29/05/08) è necessario tenere conto dell'andamento temporale della corrente circolante nella linea, che varia alle diverse ore del giorno e nei diversi periodi dell'anno. La grandezza individuata dalla normativa per descrivere l'esposizione è infatti la mediana giornaliera<sup>1</sup> del campo di induzione magnetica  $B$ .

Per stimare il livello di esposizione in qualunque giorno dell'anno, anche diverso da quello di misura, si ricorre ad un metodo indiretto estrapolando il valore del campo di induzione magnetica a partire dalla misura del campo stesso e dai dati di corrente storici dell'elettrodotto. La condizione che permette l'estrapolazione è la dipendenza causa-effetto tra la corrente dell'elettrodotto e il campo di induzione magnetica nel punto di misura. Per accertare tale dipendenza tra il valore di campo di induzione magnetica misurato e i valori di corrente forniti da TERNA, il DM 29/05/08 richiede che il coefficiente di correlazione  $r(B, I)$  valga almeno 0.9. Per la verifica di questo si devono acquisire valori di campo di induzione magnetica per un periodo pari ad almeno 24 ore. Il periodo di misura deve inoltre consentire l'acquisizione di almeno 100 valori di campo di induzione magnetica in sincronia con altrettanti dati di corrente. Da tale campionamento dovranno essere esclusi i valori di campo di induzione magnetica inferiori o uguali a  $0.1 \mu T$ .

Una volta verificato che il coefficiente di correlazione è maggiore o uguale a 0.9, si passa alla fase successiva dell'analisi:

---

<sup>1</sup> La grandezza individuata per descrivere l'esposizione e, quindi, da confrontare con i valori di legge è la mediana giornaliera – cioè il valore di campo che non viene superato per il 50 % del tempo – nelle normali condizioni di esercizio dell'elettrodotto.

- per ogni coppia  $i$  di campioni  $(B_i, I_i)$  si calcola il rapporto  $R_i = B_i / I_i$  (coefficiente di proporzionalità tra il valore di campo di induzione magnetica misurato e l'intensità di corrente);
- si determina la quantità  $R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$ , valore medio dei rapporti  $R_i$ ;
- si individua la massima mediana giornaliera  $I_{Max}$ , delle correnti, nelle normali condizioni di esercizio, rilevate in un periodo di 365 giorni precedenti il giorno delle misure;
- si calcola il valore del campo di induzione magnetica rappresentativo di quella giornata, pari al valore massimo nel periodo considerato:  $B_{Max} = R_m \cdot I_{Max}$ .

Il DM 29/05/08 precisa che per valutare l'affidabilità del dato ottenuto si deve valutare l'incertezza associata nel seguente modo:

- si determina preliminarmente l'incertezza associata a ciascun rapporto  $R_i$ ; dato che le grandezze da cui dipende ciascun  $R_i$  sono correlate, la propagazione va effettuata anche tenendo conto del coefficiente di correlazione  $r(B, I)$ . Nel DM viene fornita la seguente formula per effettuare il calcolo:

$$u(R_i) = \sqrt{\left(\frac{\partial R_i}{\partial B_i}\right)^2 u^2(B_i) + \left(\frac{\partial R_i}{\partial I_i}\right)^2 u^2(I_i) + \left(\frac{\partial R_i}{\partial B_i}\right)\left(\frac{\partial R_i}{\partial I_i}\right) u(B_i) u(I_i) r(B, I)};$$

- successivamente si propaga l'incertezza calcolata per ciascuna  $R_i$  sulla media per ottenere l'incertezza su  $R_m$ :  $u(R_m) = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n u^2(R_i)}$ ;
- infine si propaga l'incertezza sull'espressione di  $B_{Max}$ , tenendo conto che  $R_m$  e  $I_{Max}$  sono indipendenti:  $u(B_{Max}) = \sqrt{I_{Max}^2 u^2(R_m) + R_m^2 u^2(I_{Max})}$ .

Ciascun contributo deve essere considerato al netto del fattore di copertura e l'incertezza complessiva deve essere moltiplicata per il fattore di copertura 2.

A questo punto il DM 29/05/08 specifica come deve essere eseguito il confronto con i limiti di legge:

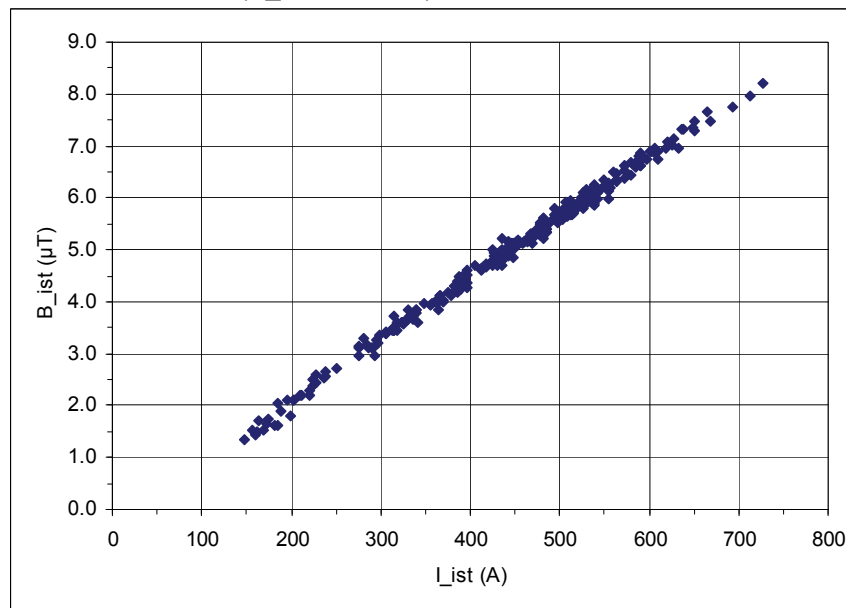
- se  $B_{Max} + u(B_{Max})$  è inferiore al valore di riferimento si può concludere che lo stesso non è stato effettivamente superato e la valutazione è conclusa;
- se  $u(B_{Max}) / B_{Max} \leq 20\%$ , la stima viene ritenuta valida e quindi se  $B_{Max}$  è superiore al valore limite si constata il superamento, altrimenti non si ha superamento;
- se  $u(B_{Max}) / B_{Max} > 20\%$ , in ogni caso non è possibile attestare il superamento del valore di riferimento e si dovrà procedere ad ulteriori verifiche al fine anche di ridurre l'incertezza.

#### 4. LE MISURE E I RISULTATI OTTENUTI APPLICANDO LA PROCEDURA DESCRITTA NEL DM 29/05/08

Al fine di verificare il rispetto dei limiti di legge, secondo il DM 29/05/08, successivamente all'esecuzione delle misure, sono stati richiesti a TERNA sia i dati relativi alla corrente circolante nell'elettrodotto durante il periodo di misura, che le mediane giornaliere dei 365 giorni precedenti la misura. TERNA ha fornito i dati di corrente, relativi alla misura, sia come valore istantaneo al 15° minuto, sia come valore medio su 15 minuti, con un'incertezza del 10% indipendentemente dal valore di corrente. Poiché il set di correnti varia da 148 A a 727 A, tali dati avrebbero dovuto essere forniti con un'incertezza inferiore a quella dichiarata da TERNA: infatti secondo il DM (cap. 6) "l'incertezza attribuita ai dati di corrente deve essere inferiore al 10% per valori di corrente superiori a 100 A".

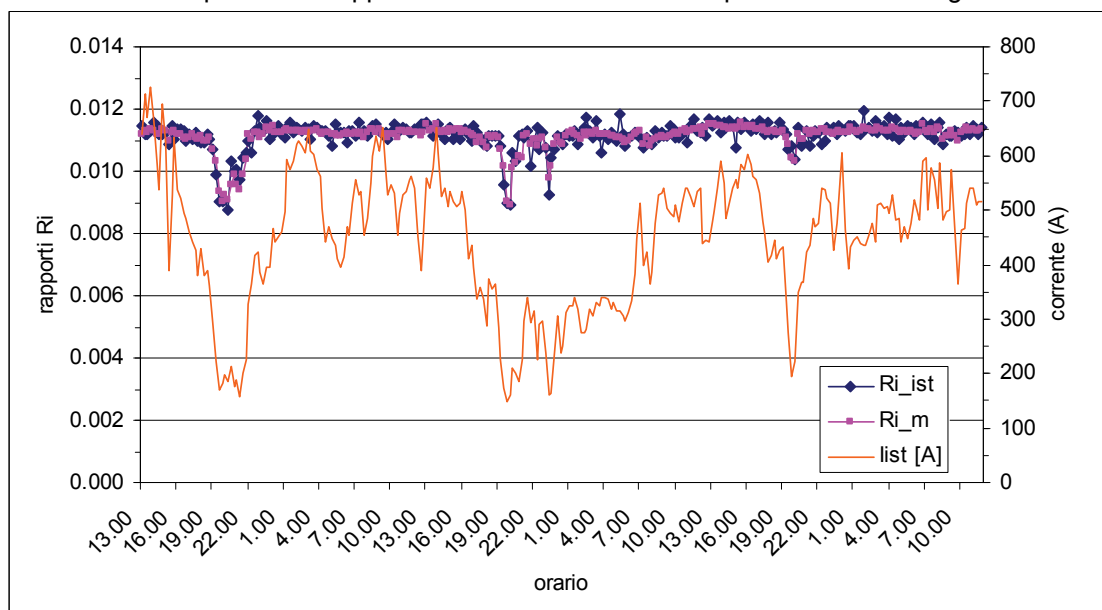
Per la stima del coefficiente di correlazione sono state considerate 284 coppie  $(B_i, I_i)$ , corrispondenti a tutto il periodo della misura. Inizialmente è stata valutata la correlazione tra i valori istantanei di corrente al 15° minuto e i corrispettivi valori di  $B$  misurati al corrispondente minuto (vedi Fig. 1). In questo caso è stato ottenuto un  $r(B, I)$  pari a 0.997. Successivamente è stata valutata la correlazione tra i valori medi di corrente al 15° minuto con i corrispettivi valori medi di  $B$  sullo stesso intervallo di tempo, ottenendo un coefficiente di correlazione ancora maggiore, pari a 0.999. Le successive analisi sono state sviluppate considerando le coppie formate dai valori medi di corrente al 15° minuto  $(\bar{I})$  ed il corrispettivo valore medio del campo di induzione magnetica  $(\bar{B})$ .

Fig. 1 - Misure istantanee di corrente ( $I_{\text{ist}}$ , fornita da TERNA) e campo di induzione magnetica ( $B_{\text{ist}}$ , misurato) al 15° minuto



In Fig. 2 è riportato l'andamento nel tempo dei rapporti istantanei ( $Ri_{\text{ist}}$ ) e medi ( $Ri_m$ ) tra il campo di induzione magnetica  $B$  misurato e i valori di corrente, rappresentati insieme a quello della corrente istantanea.

Fig. 2 - Andamento temporale dei rapporti istantanei e medi tra campo di induzione magnetica e corrente



I grafici riportati in Fig. 2 mettono in evidenza un buon accordo tra i rapporti istantanei ( $R_{i\_ist}$ ) e i rapporti medi ( $R_{i\_m}$ ), però si osserva che il loro valore varia nel tempo e, in particolare, tende a diminuire nei periodi in cui diminuisce significativamente la corrente.

A partire dalle coppie di dati  $(\overline{B}, \overline{I})$  si è proceduto quindi al calcolo dei rapporti  $R_i$  e della loro media ottenendo per  $R_m$  il valore di  $0.0111 \mu T / A$ .

E' stata quindi individuata la mediana giornaliera più elevata delle correnti,  $I_{Max}$ , nelle normali condizioni di esercizio dell'elettrodotto, rilevate in un periodo di 365 giorni precedenti le misure da TERNA, pari a 818 A – di poco esterno al range di valori delle correnti utilizzate per la correlazione - fornendo così un valore di  $B_{Max}$  pari a  $9.1 \mu T$ .

Per quanto riguarda il calcolo dell'incertezza associata al valore di  $B_{Max}$ , l'incertezza estesa associata alla misura del campo di induzione magnetica è dell'ordine di  $0.5 \mu T$ , mentre l'incertezza sui dati di corrente fornita da TERNA è in media pari a  $45 A$ ; con questi valori e applicando la formula del DM 29/05/08 si ottiene una incertezza estesa associata a  $B_{Max}$  di  $0.9 \mu T$ .

Riassumendo, l'applicazione del DM 29/05/08 alla misura presso l'elettrodotto a 380 kV nel Comune di Montaione, ha fornito un valore di mediana giornaliera per il campo di induzione magnetica massimo nei 365 giorni antecedenti le misure pari a:

$$B_{Max} = (9.1 \pm 0.9) \mu T.$$

Poiché la somma di  $B_{Max}$  con la sua incertezza non è inferiore al limite di legge (valore di attenzione,  $10 \mu T$  - DPCM 8/07/03), ma uguale, deve essere calcolata l'incertezza relativa  $u(B_{Max})/B_{Max}$ , pari in questo caso a circa il 10% (in pratica l'incertezza corrispondente ai valori di corrente); essendo tale rapporto inferiore al 20%, si accetta la stima e si effettua il confronto di  $B_{Max}$  direttamente con il valore limite.

Quindi, secondo la procedura di stima del DM 29/05/08, si ha il rispetto del limite di legge.

## 5. OSSERVAZIONI

Il metodo di valutazione contenuto all'interno della procedura del DM 29/05/08 è di estrema semplicità. Si osserva tuttavia che la stima della grandezza di interesse potrebbe essere ottenuta anche con metodi di stima differenti, ad esempio adottando diversi modelli funzionali oppure impiegando stimatori alternativi del rapporto tra variabili in modo da tener conto, direttamente nella stima, dell'incertezza di misura. Poiché il valore  $B_{Max}$  ottenuto nel caso esaminato è molto vicino al limite ci si chiede se utilizzando dei metodi di stima alternativi si possano ottenere valori anche oltre il limite.

Utilizzando lo stesso insieme di dati richiesto dalla procedura del DM, ovvero a parità di informazione, sono stati selezionati alcuni metodi di stima alternativi con i quali appare interessante indagare i valori  $B_{Max}$  che si ottengono nel presente caso.

## 6. METODI DI STIMA ALTERNATIVI

In generale si richiede che i dati corrispondenti a misure più precise abbiano una maggiore influenza nella determinazione della stima rispetto alle misure affette da più elevata incertezza.

Uno dei metodi più semplici per tener conto di tale richiesta è quello di calcolare la media pesata dei rapporti tra grandezze (Bevington, 1969). Si ha così:

$$m_i = \frac{y_i}{x_i} \text{ con } \sigma^2(m_i) = \frac{y_i^2}{x_i^2} \left( \frac{\sigma_{xi}^2}{x_i^2} + \frac{\sigma_{yi}^2}{y_i^2} \right) \text{ o } \sigma^2(m_i) = \frac{y_i^2}{x_i^2} \left( \frac{\sigma_{xi}^2}{x_i^2} + \frac{\sigma_{yi}^2}{y_i^2} - 2\rho \frac{\sigma_{xi}\sigma_{yi}}{x_i y_i} \right) \text{ con grandezze}$$

correlate. Lo stimatore risulta  $\tilde{m} = \sum_i \sigma^{-2}(m_i) m_i / \sum_i \sigma^{-2}(m_i)$  con varianza  $\sigma^2(\tilde{m}) = 1 / \sum_i \sigma^{-2}(m_i)$ .

Una scelta alternativa può essere quella di effettuare un fit lineare sui dati considerando gli errori su entrambe le variabili; in tal caso si introduce un modello a due parametri per il quale la soluzione è soltanto numerica (e richiede dei metodi iterativi). Nella sterminata bibliografia che tratta di questo argomento si può considerare conclusivo, almeno dal punto di vista operativo, quanto riportato in (Cantrell, 2008), e riferirsi al caso generale nella soluzione corretta proposta da (York, 1969) e (York et al., 2004) che permette di trattare anche errori correlati.

Come nel comune fit lineare con errori considerati su di una sola variabile (Bevington, 1969), la soluzione del caso generale viene ottenuta o in base a considerazioni di natura probabilistica (maximum likelihood estimation o MSE) o di ottimizzazione (least-squares estimation o LSE). In termini di LSE viene ad esempio utilizzata la funzione obiettivo:

$$S = \sum_i W_i (y_i - mx_i - q)^2 \quad \text{con} \quad W_i = \frac{w_{xi} w_{yi}}{w_{xi} + m w_{yi} - 2mr_i \sqrt{w_{xi} w_{yi}}} \quad \text{nelle quali i termini } w_{xi} \text{ e } w_{yi}$$

rappresentano usualmente i reciproci delle varianze delle incertezze associate alle misure  $x_i$  ed  $y_i$  rispettivamente, e con  $r_i$  è indicata la correlazione tra gli errori di misura delle variabili  $x$  ed  $y$ . I valori dei parametri  $m$  e  $q$  scelti sono quelli che rendono minima tale funzione obiettivo.

In maniera simile può essere analizzato e risolto numericamente il modello semplificato di proporzionalità tra due grandezze entrambe affette da errori. Questo caso è analizzato in dettaglio in (Moreno, 1996) utilizzando la funzione obiettivo  $S = \sum_i \frac{(y_i - mx_i)^2}{\sigma_{yi}^2 + m^2 \sigma_{xi}^2}$  mediante la quale il valore

del parametro  $m$  può essere ottenuto risolvendo numericamente  $\frac{\partial S}{\partial m} = 0$ . Noto  $m$  è possibile valutarne la varianza associata (per semplicità non si riportano le espressioni esplicite).

Nella parte successiva questi tre metodi alternativi di stima sono applicati ai dati di misura per valutare l'indicatore  $B_{Max}$  da confrontare con il limite di legge.

## 7. STIME ALTERNATIVE

Come avviene usualmente, nel caso di interesse le incertezze sono date in termini di errori relativi; si può porre quindi  $\sigma_{xi} = \alpha x_i$  e  $\sigma_{yi} = \beta y_i$ .

Per la stima utilizzando la media pesata dei rapporti, nel caso di variabili correlate si ha  $\sigma^2(m_i) = \frac{y_i^2}{x_i^2} (\beta^2 + \alpha^2 - 2\rho\alpha\beta)$ , mentre per variabili non correlate si ha  $\sigma^2(m_i) = \frac{y_i^2}{x_i^2} (\beta^2 + \alpha^2)$ .

Questo comporta che lo stimatore  $\tilde{m}$  risulta in pratica indipendente da  $\alpha$  e  $\beta$  ed indipendente dal fatto che le variabili siano considerate correlate o meno:  $\tilde{m} = \sum_i \frac{x_i}{y_i} / \sum_i \frac{x_i^2}{y_i^2}$

Valutando la media pesata con le rispettive incertezze dei rapporti ottenuti dai dati istantanei di corrente e di induzione magnetica, si ottiene un valore di  $\tilde{m}$  pari a 0.0111, analogo a quello ottenuto con la procedura del DM 29/05/08. Si ottiene inoltre una deviazione standard dell'ordine di  $2.9 \times 10^{-3}$  (sarebbe stata circa tre volte superiore nella stima con grandezze non correlate).

In questo caso quindi l'errore sulla stima risulta maggiore di quello ottenuto seguendo la procedura del DM.

Al set di dati di misura (sia istantanei che mediati sui 15') sono quindi state applicate le procedure di stima numerica precedentemente descritte (regressione lineare con errori su entrambe le variabili, rapporto tra grandezze o regressione lineare per l'origine con errori su entrambe le variabili) ipotizzando il caso di errori non correlati.

In Tab. 1 sono riportate le stime ottenute per i parametri dei modelli adottati e quella conseguente relativa a  $B_{Max}$ .

Tab. 1 – Stime dei parametri applicando i modelli Regressione lineare e Rapporto tra grandezze

Set dati istantanei			
Regressione lineare	$m=0.0121$ $q=-0.3808$	$\sigma_m=1.1 \times 10^{-4}$ $\sigma_q=0.040$	$B_{Max}=9.5$ $2\sigma_{B_{max}}=1.2$
Rapporto tra grandezze	$m=0.0113$	$\sigma_m=4.1 \times 10^{-5}$	$B_{Max}=9.2$ $2\sigma_{B_{max}}=1.0$
Set dati medi			
Regressione lineare	$m=0.0121$ $q=-0.3859$	$\sigma_m=1.1 \times 10^{-4}$ $\sigma_q=0.041$	$B_{Max}=9.5$ $2\sigma_{B_{max}}=1.3$
Rapporto tra grandezze	$m=0.0113$	$\sigma_m=4.1 \times 10^{-5}$	$B_{Max}=9.2$ $2\sigma_{B_{max}}=1.0$

I valori delle stime di  $B_{Max}$  ottenuti risultano tendenzialmente superiori al valore derivante dalla procedura del DM 29/05/08; si osserva come in questo caso i valori più elevati corrispondano al modello di regressione lineare.

In termini di stima degli errori le incertezze estese su  $B_{Max}$ , ottenute ancora con l'usuale propagazione dell'errore e considerando il fattore di copertura 2, risultano leggermente superiori a quella valutata con la procedura del DM. Anche in questo caso occorre osservare che è l'incertezza associata alla corrente che assume il ruolo predominante.

## 8. ULTERIORI OSSERVAZIONI

La metodologia con la quale vengono determinati gli stimatori è fondata sul presupposto che i dati derivino da un campionamento casuale, mentre quelli impiegati in questa analisi costituiscono una serie temporale (campionamento sistematico). Per ovviare a questo tipo di problema i precedenti metodi di stima sono stati applicati anche a valle di una procedura di ricampionamento (bootstrap):

- a partire dal set di dati istantanei sono stati estratti un numero elevato di campioni ( $10^5$ ) ciascuno composto da 100 coppie di misure (simulando quindi il campione di dimensione minima richiesto dalla procedura del DM 29/05/08); l'estrazione è stata effettuata sia con ripetizione che senza ripetizione (ovvero permettendo o meno la presenza nel campione di dati ripetuti)<sup>2</sup>.

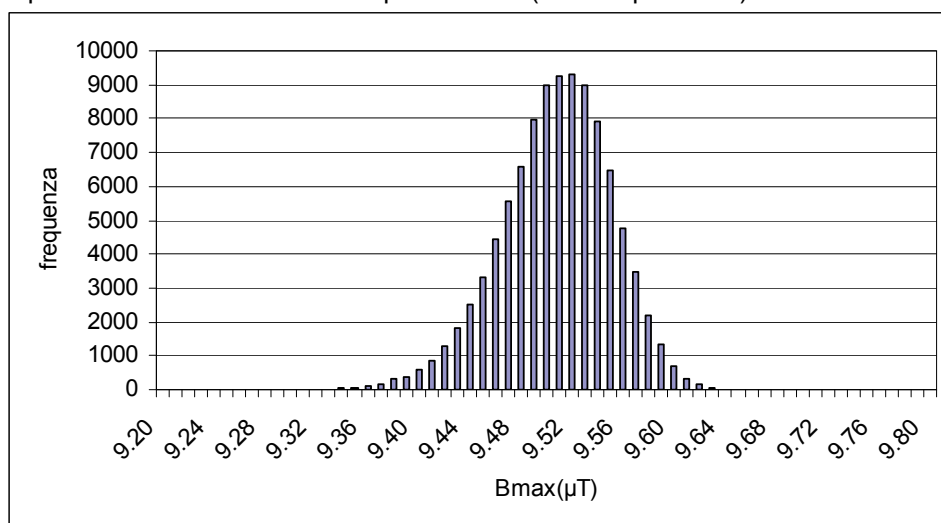
Su ciascun campione sono state quindi applicate le procedure di stima precedenti (regressione lineare con errori su entrambe le variabili, stima del rapporto con errori su entrambe le variabili), ottenendo così la distribuzione dei valori di stima dei parametri per ciascun insieme di campioni.

Con ogni valore dei parametri calcolato è stato stimato il corrispondente  $B_{Max}$  ottenendo quindi l'ipotetica distribuzione di questa grandezza per ciascuno dei due modelli adottati. In Fig. 3 viene riportata, a titolo indicativo, la distribuzione delle stime di  $B_{Max}$  ottenuta applicando la regressione lineare con il metodo di ricampionamento.

Nel caso mostrato in Fig. 3 i valori di  $B_{Max}$  ottenuti dai 100000 campioni estratti variano tra 9.29  $\mu T$  e 9.66  $\mu T$ , mentre con il campionamento con ripetizione si è ottenuto un intervallo compreso tra 9.27  $\mu T$  e 9.71  $\mu T$ . Nessun campione di dati ha quindi portato ad una stima di  $B_{Max}$  superiore al valore di riferimento (10  $\mu T$ ). Analogamente per la regressione passante per l'origine (o stima del rapporto) utilizzando il campionamento senza ripetizione si è ottenuto un range di variazione di  $B_{Max}$  compreso tra 9.18  $\mu T$  e 9.30  $\mu T$ .

<sup>2</sup> Il numero di campioni possibili, distinti per almeno un elemento, è in questo caso pari a  $284!/184!100!$ , circa  $5.14 \times 10^{78}$ .

Fig. 3 – Distribuzione dei valori delle stime di  $B_{Max}$  ottenute con la regressione lineare, sui  $10^5$  campioni prodotti con il metodo di ricampionamento (senza ripetizione)



L'applicazione del metodo di ricampionamento, producendo direttamente la distribuzione di frequenza delle stime, permette di valutare la probabilità di superamento del limite di riferimento con il set di misure utilizzato.

## 9. CONCLUSIONI

Nelle diverse fasi della procedura di stima indiretta del campo di induzione magnetica contenuta nel DM 29/05/08 si evidenziano alcuni elementi di criticità.

Il metodo di stima è infatti basato su di una estrapolazione a partire da un numero molto limitato di misure (100 coppie di valori  $B$ ,  $I$ ). Tale estrapolazione è via via meno affidabile quando la più elevata mediana giornaliera di corrente dei 365 giorni precedenti la misura si allontana dell'intervallo di corrente misurato e utilizzato nella stima.

A favore di questa scelta vi è senz'altro la presunzione della validità del modello fisico di proporzionalità diretta tra campo di induzione magnetica e corrente; tuttavia questa assunzione appare ben circostanziata nei casi di elettrodotti con configurazioni semplici ma non è detto lo sia con geometrie ed in situazioni più complesse.

Nella procedura del DM 29/05/08, a garanzia della linearità e validità del modello di proporzionalità diretta tra campo di induzione magnetica e corrente, viene richiesto di valutare la correlazione lineare (o di Pearson) tra le misure delle due grandezze. Occorre osservare che neppure il valore assai elevato richiesto per l'indice di correlazione (maggiore di 0.9) è una garanzia sufficiente all'esistenza di questa linearità<sup>3</sup>.

Questo tipo di problemi potrebbe essere in parte superato con alcuni semplici accorgimenti, come ad esempio l'utilizzo di un grafico corrente-campo di induzione magnetica (vedi Fig. 1) per accertarsi dell'effettiva esistenza della relazione di proporzionalità tra le due grandezze, e/o inserendo delle condizioni (quantitative) sul range di valori adottato per la stima del rapporto rispetto alla corrente impiegata per valutare  $B_{Max}$ .

Per quanto riguarda invece la relazione tra corrente e campo di induzione magnetica, i metodi alternativi precedentemente presentati hanno indicato che almeno nel caso presente la procedura del DM 29/05/08 tende a produrre stime inferiori per la grandezza  $B_{Max}$ . Le stime alternative ottenute risultano più vicine al limite di riferimento anche se non lasciano prefigurare il suo

<sup>3</sup> Si veda ad esempio il noto "Anscombe's quartet" anche in [http://en.wikipedia.org/wiki/Anscombe's\\_quartet](http://en.wikipedia.org/wiki/Anscombe's_quartet)

superamento. Le incertezze ottenute su queste stime alternative risultano dello stesso ordine di grandezza di quelle ottenute con l'applicazione della procedura del DM, ed in gran parte determinate dall'incertezza con la quale TERNA ha fornito i dati di corrente.

Diversamente dalla procedura del DM 29/05/08, i metodi alternativi presentati tengono conto, nella valutazione, degli errori associati alle grandezze misurate ed appaiono pertanto tecnicamente più corretti e convincenti, anche se ovviamente più onerosi in termini di elaborazione dati.

Si osserva che, considerata la potenzialità della linea oggetto di misura (circa 3000 A) ed il valore di  $B_{Max}$  ottenuto con la mediana più elevata delle correnti giornaliere (818 A), la situazione indagata risulta comunque a rischio di superamento.

Sulla base delle precedenti considerazioni, nei casi in cui il campo di induzione magnetica massimo sommato all'incertezza risulti superiore al limite di legge, si ritiene opportuno suggerire di non limitare l'analisi alla stima indicata dal DM 29/05/08, ma di valutare  $B_{Max}$  anche con metodi alternativi come quelli qui presentati.

## BIBLIOGRAFIA

- (Bevington, 1969) P.R. Bevington *"Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences"* 1969, New York, Mac Graw-Hill.
- (Cantrell, 2008) C.A. Cantrell *Technical Note: Review of methods for linear least-squares fitting of data and application to atmospheric chemistry problems*, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 8, 6409-6436, 2008.
- (Moreno, 1996) C. Moreno *A least-squares-based method for determining the ratio between two measured quantities*, Meas. Sci. Technol. 7, 137-141, 1996.
- (York, 1969) D. York *Least squares fitting of a straight line with correlated error*, Earth Planet. Sci. Lett. 5, 320-324, 1969.
- (York et al., 2004) D. York, N.M. Evensen, M. Lopez Martinez and J. De Basabe Delgado *Unified equations for the slope, intercept, and standard error of the best straight line*, Am. J. Phys. 72 (3), 367-375, 2004.