

Stima del rischio di superamento del valore di attenzione a partire da misure spot di campo magnetico generato da elettrodotti ad alta tensione

Adda S., Caputo E., Anglesio L., d'Amore G., Arpa Piemonte - Dipartimento Tematico Radiazioni
Via Jervis 30, 10015 Ivrea (TO), radiazioni@arpa.piemonte.it

Il DM 29/05/2008 prevede un metodo per la valutazione indiretta, tramite estrapolazione, dell'induzione magnetica in condizioni di massimo carico delle linee, basata sull'effettuazione di misure prolungate. Ciò comporta che le misure spot (per brevi periodi di tempo) non sono adeguate a dare informazioni circa il rispetto dei limiti, e quindi non sono utilizzabili per le attività di controllo delle Agenzie se non ad un livello puramente conoscitivo.

Dal punto di vista dell'organizzazione dell'attività di un'Agenzia, non sempre è agevole prevedere misure prolungate nel tempo in tutti i recettori interessati dal passaggio di una linea. Per questo motivo, è stata condotta un'analisi statistica finalizzata a fornire un criterio di determinazione dei casi in cui sussiste un comprovato rischio di superamento del valore di attenzione, sulla base di misure spot, in modo da definire quando sia necessario procedere ad una misura prolungata e quando invece sia sufficiente fermarsi alla misura spot stessa.

INTRODUZIONE

Il metodo per la valutazione indiretta dell'induzione magnetica in condizioni di massimo carico delle linee previsto dal DM 29/05/2008 è basato sull'acquisizione di almeno 100 coppie di valori sincroni campo-corrente sulla base dei quali procedere ad un'extrapolazione. Tale metodo è stato testato e verificato (Colonna, Licitra, 2009), garantendo in determinate condizioni la possibilità di confrontare il dato ricavato con il valore di attenzione fissato dal DPCM 08/07/2003.

Se quindi da un lato il confronto con il valore d'attenzione può essere effettuato soltanto in presenza di un campione adeguato di misure prolungate nel tempo, dall'altro le attività di monitoraggio e controllo di un'Arpa devono poter coniugare questa esigenza con la necessità di garantire un'adeguata copertura territoriale (numero di punti monitorati) e con problemi pratici quali la difficoltà a trovare postazioni adeguate all'installazione di centraline o al posizionamento di strumenti per la misura prolungata nel tempo.

L'obiettivo di questo lavoro è stato pertanto di fornire un metodo di stima del rischio di superamento del valore di attenzione, basato su misure spot (per brevi periodi di tempo) di campo magnetico, utile per definire quando sia necessario procedere a misure prolungate nel tempo (casi di rischio significativo), ovvero quando le misure spot siano sufficienti a garantire che in qualunque condizione di carico della linea non sia possibile un superamento (rischio non significativo).

Il metodo utilizzato è stato quello di un'analisi statistica su serie di dati campo-corrente relativi a misure prolungate nel tempo, che ha confrontato il dato di massima mediana su 24h annua ricavato con la metodologia del DM 29/05/2008 con quello ricavato da un'extrapolazione tout-court dalla misura spot. Il fine è stato quello di determinare fino a quale valore di campo massimo ricavato dalla misura spot si può essere certi che il valore reale di massima mediana su 24h resti al di sotto di una certa soglia, scelta in modo da garantire il rispetto del valore di attenzione.

MATERIALI E METODI

Sono state prese in analisi 25 campagne di misura per periodi superiori a 24 ore, prevalentemente su linee a 220kV (12) e su linee a 380kV (10), per un totale di 9000 coppie campo-corrente. Di queste 25 serie di dati, 5 corrispondono a misure effettuate da Arpa Valle d'Aosta su linee a 220kV di questa regione, mentre le restanti sono dati di misura su linee in Piemonte.

Per questi dati, sono stati calcolati i valori di induzione magnetica estrapolati alla massima mediana annua, ricavati con il metodo definito dal DPCM 29/05/2008 (di seguito denominati $B_{prolung}$), e ricavati con una estrapolazione dal dato spot (B_0).

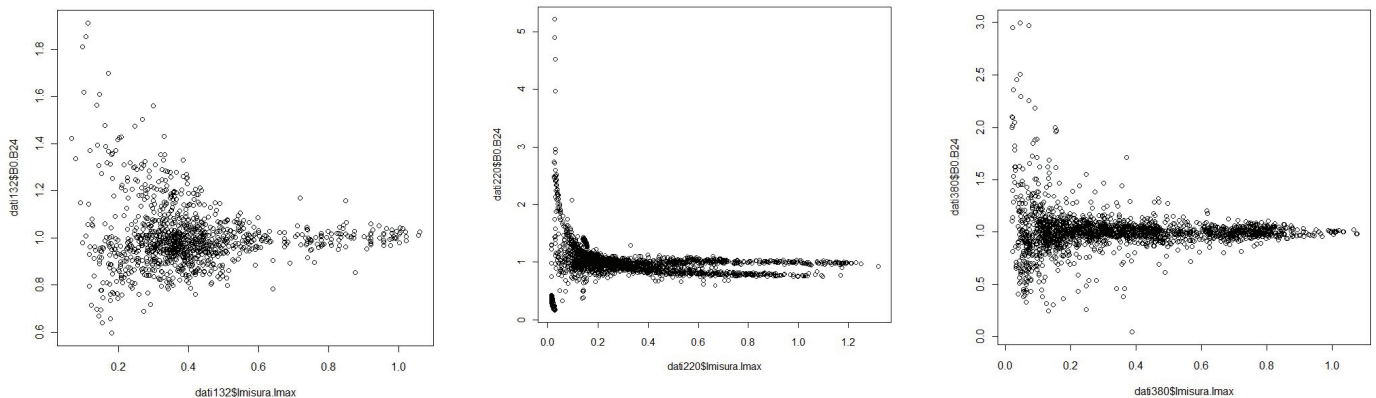
$$B_0 = B_{spot} \cdot \frac{I_{\max \text{ mediana } 24h}}{I_{spot}}$$

Dove B_{spot} è la misura istantanea e I_{spot} è il valore di corrente nel quarto d'ora in cui ricade l'istante di misura.

La grandezza sulla quale sono state effettuate le analisi è quindi stata il rapporto $B_0/B_{prolung}$ (indice di bontà dell'estrapolazione).

Nell'analizzare questi rapporti per categoria di tensione della linea, si è verificato che la loro distribuzione dipende dal rapporto tra la corrente al momento della misura e il valore massimo della corrente mediana su 24 ore per quella linea, come si può vedere nei grafici di fig. 1.

Figura 1 - Andamento dei rapporti $B_0/B_{prolung}$ in funzione del rapporto I_0/I_{\max}



E' possibile vedere che per valori di corrente al momento della misura inferiori al 20% del valore massimo annuo della mediana su 24 ore, l'estrapolazione da misura spot ha una dispersione molto ampia dei risultati, con una tendenza alla sovrastima rispetto a $B_{prolung}$, mentre per valori superiori al 20% si ha una convergenza a 1 del rapporto $B_0/B_{prolung}$, con una dispersione dei dati più contenuta.

La maggiore dispersione dei rapporti nell'intervallo inferiore di valori di corrente è da addebitarsi congiuntamente alla maggiore incertezza sul dato di campo (valori bassi in corrispondenza di basse correnti) e sul dato di corrente (essendo tipicamente l'incertezza sulla corrente determinata in funzione del fondo-scala, e quindi percentualmente maggiore sui valori più bassi). La convergenza a valori prossimi a 1 per i casi di misure spot con correnti più elevate evidenzia invece che, come prevedibile, l'utilizzo di questa estrapolazione tende a diventare più affidabile in condizioni di alto carico della linea durante le misure.

Per questo motivo, si è scelto di effettuare l'analisi statistica su tre intervalli di valori del rapporto tra la corrente al momento della misura e la massima mediana su 24 ore nell'anno: <0.2 , $0.2 - 0.5$, >0.5 .

E' stata per prima cosa osservata la distribuzione dei valori $B_0/B_{prolung}$ nei suddetti intervalli, caratterizzandone poi i parametri statistici, con la principale finalità di determinare il parametro corretto che definisce l'allargamento della distribuzione, ossia quel valore che permette di affermare con un certo grado di confidenza che una percentuale definita di dati ricade all'interno dell'intervallo fissato.

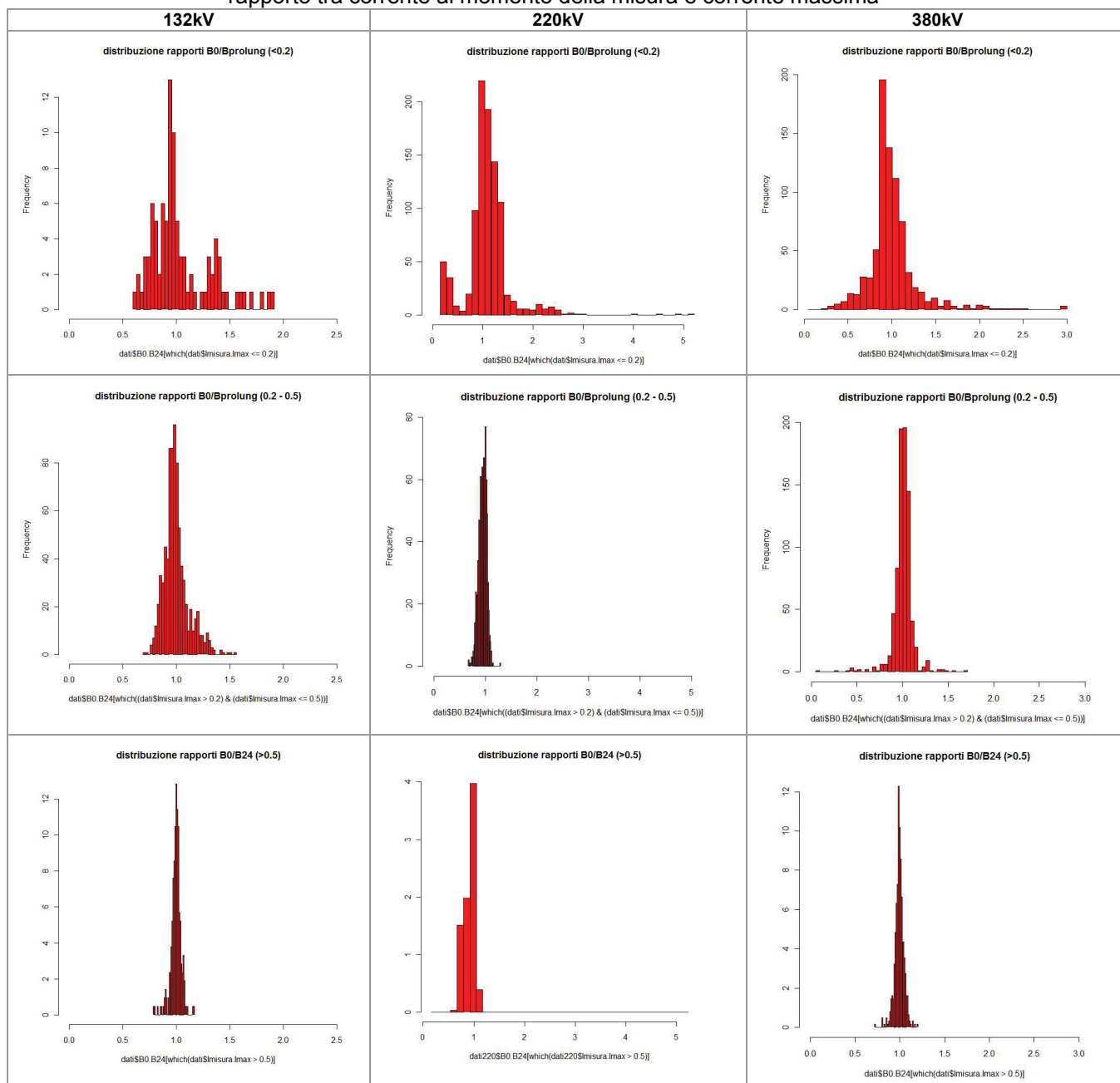
Sulla base di questo parametro, sono stati quindi definiti degli intervalli di valori possibili di $B_0/B_{prolung}$, ed è stato determinato fino a quale valore di B_0 si può essere certi che $B_{prolung}$ resti al di sotto di una certa soglia, determinata in modo da garantire il rispetto del valore di attenzione.

Infine, i risultati sono stati validati grazie al confronto con i risultati di altre campagne di misura, per le quali è stato verificato che il valore del rapporto $B_0/B_{prolung}$ ricadesse all'interno degli intervalli definiti con la metodologia sopra descritta.

RISULTATI

In fig. 2 è possibile vedere la distribuzione dei valori di B_0/B_{prolung} per linee analizzate, corrispondenti ai 3 intervalli definiti per il rapporto tra la corrente al momento della misura e la corrente massima.

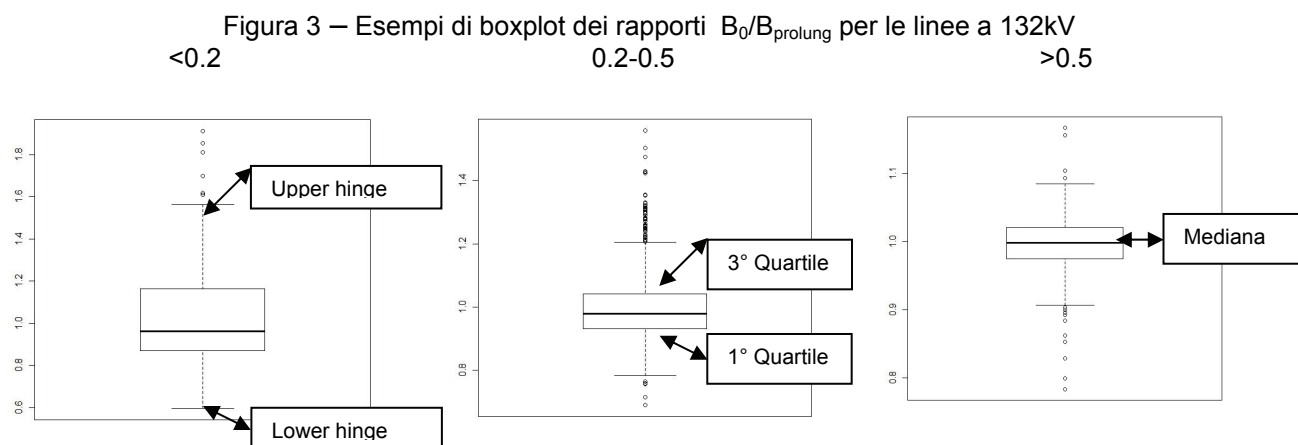
Figura 2 – Distribuzioni dei rapporti B_0/B_{prolung} , raggruppati per tensione delle linee e per valore del rapporto tra corrente al momento della misura e corrente massima



Tali distribuzioni sono caratterizzate tramite l'analisi dei parametri statistici. In particolare, non essendo stato possibile confermare specifiche ipotesi sulla forma funzionale della distribuzione, l'analisi è stata orientata alla definizione dei parametri della distribuzione campionaria, con l'intento di determinare l'intervallo di possibili valori del rapporto B_0/B_{prolung} .

Per la definizione degli intervalli di valori, le distribuzioni sono state considerate come sostanzialmente simmetriche, dato che media e mediana erano in tutti i casi confrontabili (con una differenza tra il 2% e l'8% per le distribuzioni con $I_0/I_{\text{max}} < 0.2$, che si riporta a meno dello 0.18% per tutte le altre).

Per la determinazione dell'allargamento delle distribuzioni campionarie, è stata anche effettuata l'analisi tramite boxplot (come nell'esempio di fig. 3). I parametri che sono stimati nell'analisi di boxplot sono riportati a fianco della figura. L'upper hinge e il lower hinge sono rispettivamente il valore più alto tra quelli inferiori al 3° quartile sommato alla differenza interquartilica, e il valore più basso tra quelli superiori al 1° quartile meno la differenza interquartilica.



I parametri statistici che sono stati utilizzati per caratterizzare l'allargamento delle distribuzioni sono i seguenti:

- due volte la deviazione standard
- differenza tra 95° percentile e 5° percentile (larghezza della distribuzione campionaria)
- differenza tra l'upper e il lower hinge nell'analisi di boxplot

In tab. 1 sono riportati i valori di questi parametri in percentuale rispetto alla mediana, stimati per le diverse tensioni di linea e raggruppamenti di valori di corrente. Tra questi, sono evidenziati i valori scelti per la definizione degli intervalli di valori di $B_0/B_{prolung}$. Mantenendo un approccio conservativo, i valori scelti sono quelli che definiscono l'intervallo più ampio.

Nell'ultima colonna è quindi riportato il dato denominato "probabilità residua", in pratica la percentuale di dati che rimane fuori dall'intervallo definito dal parametro evidenziato, che costituisce un livello di significatività dell'ipotesi che il valore reale ricada all'interno dell'intervallo stesso. L'approccio usato per la definizione degli intervalli garantisce che questa probabilità sia al massimo del 10%.

Tabella 1 - parametri statistici per la definizione degli intervalli di valori possibili di $B_0/B_{prolung}$

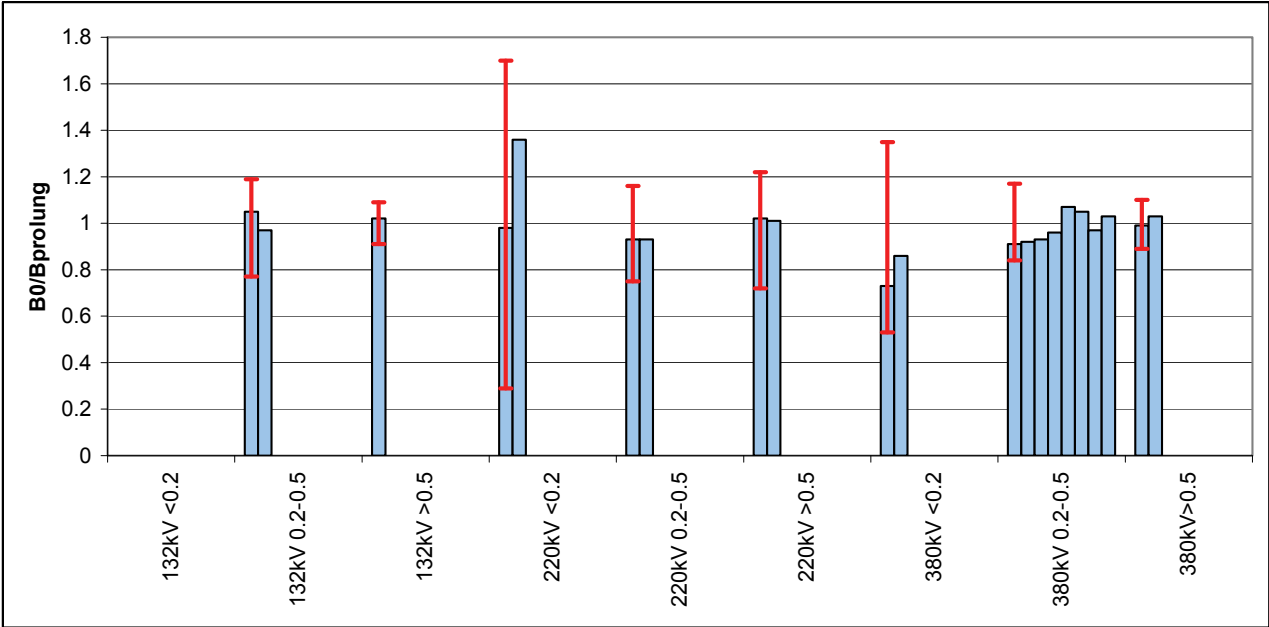
Intervallo di valori I_0/I_{max}	Tensione (kV)	2σ (%)	95° perc. – 5° perc. (%)	Upper – lower hinge (%)	Probabilità residua (%)
<0.2	132	58.3	95.27	100.70	6.3
	220	86.4	145.87	116.77	10.0
	380	55.9	89.25	81.05	10.0
0.2 – 0.5	132	23.7	39.44	42.99	7.8
	220	16.0	25.73	43.14	0.8
	380	22.4	24.89	32.57	6.4
>0.5	132	9.6	15.95	17.93	6.4
	220	22.2	28.85	51.82	10.0
	380	11.7	16.20	21.33	3.9

* In questo caso non è stato scelto l'intervallo più ampio, in quanto la probabilità residua risulterebbe pari a 0, e si è ritenuta una scelta eccessivamente conservativa.

Questa analisi è stata validata grazie al confronto con i risultati di altre campagne di misura, per le quali è stato verificato che il valore del rapporto $B_0/B_{prolung}$ ricadesse all'interno degli intervalli definiti con la metodologia sopra descritta.

Per la validazione, si sono utilizzati i dati relativi a 20 campagne di misura, con dati non appartenenti alla serie usata per ricavare gli intervalli. I risultati sono riportati in fig. 4, dalla quale si evince che è confermata la validità degli intervalli definiti.

Figura 4 - Dati di B_0/B_{prolung} (in azzurro) confrontati con gli intervalli definiti (in rosso)



Degli intervalli così definiti e validati, viene preso in considerazione il valore minimo, pensando cautelativamente di operare sempre una sottostima nel procedere all'estrapolazione dal dato spot. In tab. 2 sono pertanto riportati il limite inferiore dell'intervallo di valori di B_0/B_{prolung} , ed il conseguente valore limite di B_0 che garantisce che B_{prolung} sia minore o uguale ad $8\mu\text{T}$. Quest'ultimo valore è stato scelto, rispetto al valore di attenzione, tenendo un margine del 20% in relazione a possibili incertezze aggiuntive nella misura.

Tabella 2. - limite inferiore dell'intervallo di valori di B_0/B_{prolung} e e conseguente valore massimo di B_0 che garantisce che $B_{\text{prolung}} < 8\mu\text{T}$

Intervallo di valori I_0/I_{max}	Tensione (kV)	B_0/B_{prolung} minimo	B_0 limite
<0.2	132	0.48	3.5
	220	0.29	2
	380	0.53	4
0.2 – 0.5	132	0.77	6
	220	0.75	6
	380	0.84	6.5
>0.5	132	0.91	7
	220	0.72	5.5
	380	0.89	7

Pertanto, qualora il livello estrapolato da misura spot sia inferiore al valore limite riportato in tabella 2, è possibile affermare che il rischio di superamento del valore di attenzione è non significativo. Nel caso in cui invece lo superi, è opportuno effettuare la misurazione su almeno 24 ore. Dall'analisi dei risultati, è evidente che quando la misura viene effettuata in condizioni di basso carico della linea è in genere opportuno ripeterla per periodi prolungati al fine di ridurre l'incertezza sul dato ottenuto.

CONCLUSIONI

Questo lavoro è stato orientato a fornire un criterio utile per l'organizzazione delle attività di monitoraggio e controllo del campo magnetico generato da elettrodotti, tramite la stima del rischio di superamento del valore di attenzione a partire da misure spot (per brevi periodi di tempo).

Tale criterio è fondato su una estrapolazione del valore di campo corrispondente alle condizioni di massima mediana su 24 ore, a partire dalla singola misura spot: il dato estrapolato va confrontato con un valore limite, al di sotto del quale è possibile affermare che il rischio di superamento del valore di attenzione è non significativo. Qualora invece il dato estrapolato superi tale limite, il rischio diviene significativo ed è opportuno effettuare la misurazione su almeno 24 ore (100 coppie campo-corrente ai sensi del DM 29/05/2008).

Il valore limite con il quale confrontarsi è stato ricavato sulla base di un'analisi statistica di circa 9000 coppie di dati campo-corrente, corrispondenti a misure in prossimità di linee ad alta e altissima tensione nelle regioni Piemonte e Valle d'Aosta. I risultati dell'analisi sono stati quindi validati grazie al confronto con i risultati di ulteriori campagne di misura.

In conclusione, viene fornita una tabella di valori limite del dato estrapolato da misura spot, variabili in funzione della tensione della linea e del rapporto tra la corrente al momento della misura e la corrente massima mediana su 24 ore nell'arco dell'anno, utilizzabile per valutare l'opportunità di effettuare misure prolungate nel sito indagato.

Bibliografia

N.Colonna, G.Licitra, "Valutazione indiretta dell'induzione magnetica: verifiche su casi reali della procedura fissata dal D.M. 29/05/08", Atti del Convegno "Controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti" (2009).

S. Borra, A. Di Ciaccio, "Statistica, Metodologie per le scienze economiche e sociali", McGraw-Hill, Milano, 2008