



# 18

## RADIAZIONI NON IONIZZANTI E IONIZZANTI

A cura di **Laura Anglesio, Sara Adda, Mauro Magnoni, Maria Clivia Losana**  
ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea

Le radiazioni cosiddette non ionizzanti e ionizzanti sono due facce di uno stesso fenomeno fisico: il campo elettromagnetico.

Ma che cosa è il campo elettromagnetico e da cosa viene prodotto? Si tratta di una proprietà fisica dello spazio intorno a corpi carichi (campo elettrico) o percorsi da corrente (campo magnetico): in tale spazio si possono avere effetti su altri oggetti carichi o percorsi da corrente e si può avere la propagazione di energia dalla sorgente allo spazio circostante.

I campi elettromagnetici possono variare nello spazio e nel tempo, oscillando a diverse frequenze (numero di oscillazioni al secondo): in base alla frequenza che caratterizza l'onda elettromagnetica si compone lo spettro elettromagnetico.

Al crescere della frequenza si passa dalla radiazione a radiofrequenza a quella ottica (infrarosso, visibile, ultravioletto), fino ad arrivare alle **radiazioni ionizzanti** (raggi X, raggi gamma) che, a diffe-

renza di quelle prima elencate, trasportano energia sufficiente a ionizzare gli atomi costituenti l'oggetto irraggiato. Frequenze così elevate sono caratteristiche di fenomeni di oscillazione molto rapidi, come quelli che possono avvenire all'interno dell'atomo (raggi X) o del nucleo (raggi gamma).

Le radiazioni EM aventi frequenze inferiori a quelle corrispondenti all'ultravioletto non trasportano energia sufficiente per ionizzare la materia e saranno pertanto denominate **radiazioni non ionizzanti**.

### 18.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI

*Coordinamento e redazione: Laura Anglesio, Sara Adda – ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea.*

*A cura di: Sara Adda, Laura Anglesio, Giorgio Barbaglia, Jacopo Fogola, Davide Guasco, Franco Ossola, Luigi Pagliai, Ivo Riccardi, Stefania Saudino – Dipartimenti ARPA Piemonte.*

#### 18.1.1 CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI A FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE

##### 18.1.1.1 Sviluppo in chilometri delle linee elettriche in rapporto all'area considerata

La trasmissione e distribuzione ad alta tensione è operata tramite linee a 132 kV, 220 kV e 380 kV, a singola o doppia terna (3 o 6 conduttori). Tali linee



## INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO

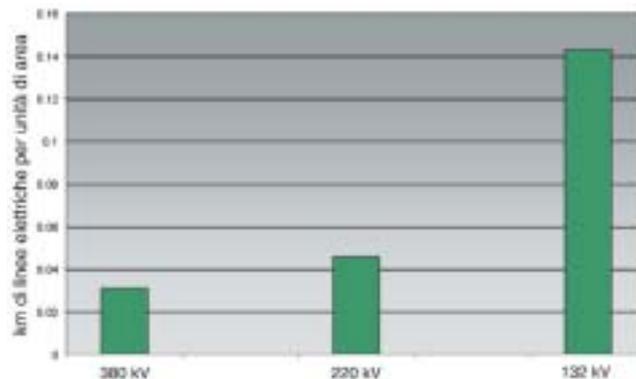
	Indicatore	DPSIR	Livello territoriale	Unità di misura	Anni di riferimento	Disponibilità di dati	Andamento numerico	Stato Ambientale
Bassa frequenza	km di linee elettriche per unità di area	D	Regionale	n/km	2000	☹	↗	☹
	Numero di interventi di misura	R	Provinciale	numero	1999-2001	☺	↔	☺
Radiofrequenza	Densità di impianti	D	Provinciale	n/km <sup>2</sup>	2000-2001	☹	↗	☹
	Potenza complessiva dei siti con impianti per teleradiocomunicazioni	P	Provinciale	Watt	2000-2001	☹	↗	☹
	Popolazione esposta a livelli di campo elettrico prodotto da impianti per teleradiocomunicazioni	S	Comunale	percentuale popolazione	2000	☹		
	Numero di interventi di misura	R	Provinciale	numero	1999-2001	☺	↔	☺
	Superamenti dei limiti e dei valori di cautela	S	Provinciale	numero	2001	☺	↘	☺
	Numero di impianti di teleradiocomunicazioni a cui è stato rilasciato parere	R	Provinciale	numero	1998-2001	☺	↗	☺

trasportano correnti variabili nel tempo a seconda delle necessità di consumo dell'area servita. Poiché i livelli di campo elettrico prodotti dipendono dalla tensione della linea, mentre i livelli di campo magnetico dalla corrente che in essa transita, si comprende come l'impatto delle tre tipologie di linea in termini di emissioni sia differente.

La presenza di tali sorgenti sul territorio del Piemonte è stata perciò caratterizzata indicando i chilometri di linea per unità di area di territorio per ciascuna delle tre classi.

I dati disponibili per questo indicatore sono quelli già utilizzati nel 2000 (**figura 18.1**): essi non sono stati aggiornati in quanto non è disponibile un nuovo atlante delle linee elettriche che riporti le variazioni avvenute nell'ultimo periodo. Queste informazioni saranno però disponibili non appena sarà terminato il popolamento del catasto delle linee ad alta tensione in via di realizzazione da parte della Regione Piemonte. Il catasto sarà costituito da un archivio informatico contenente informazioni tecniche e amministrative relative agli impianti elettrici esistenti sul territorio regionale, e la sua definizione renderà possibile il popolamento di ulteriori indicatori, ad esempio tramite il calcolo teorico dei livelli di campo magnetico emesso per la valutazione dell'esposizione della popolazione residente entro certe fasce di distanza dalle linee.

**Figura 18.1 - Chilometri di linee ad alta tensione per km<sup>2</sup> per ciascuna delle tre tipologie - anno 2000**



Fonte: atlante ENEL

### 18.1.1.2 Interventi di controllo e monitoraggio per le basse frequenze

Per quanto riguarda la valutazione dei livelli di esposizione della popolazione, sono stati effettuati nel 2001 167 interventi di misura in tutta la regione. La **figura 18.2** riporta la variazione in termini di numero di interventi di misura negli anni 1999-2000-2001, per le diverse province e tutta la regione.

Nella provincia di Verbania compaiono solo le rilevazioni effettuate durante il 2001 in quanto quelle



**BOX 1: LINEE ELETTRICHE ED ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI NELLA VALLE DI SUSÀ**

(A cura di Jacopo Fogola, Pasquale Piombo, Guglielmo Aiello, Vincenzo Bevacqua – ARPA Piemonte)

Nel corso dell'anno 2001 è stato effettuato, per conto della Regione Piemonte, uno studio di carattere generale in merito alla localizzazione delle linee di distribuzione elettrica e all'esposizione della popolazione al campo magnetico da esse generato nell'ambito territoriale della Valle di Susa.

Mediante l'utilizzo di software di gestione delle informazioni territoriali (GIS) è stata creata la copertura vettorializzata delle linee elettriche, dei punti di misura e delle aree urbanizzate ubicate ad una distanza inferiore a 150 metri dalle linee stesse.

I principali risultati ottenuti sono sintetizzabili nei seguenti punti:

**Linee elettriche aeree a 132 kV**

- Sviluppo in lunghezza: 93 km
- Superficie residenziale a distanza inferiore a 150 m: 0.951 km<sup>2</sup>
- Persone esposte: 4100

**Linee elettriche aeree a 220 kV**

- Sviluppo in lunghezza: 0 km

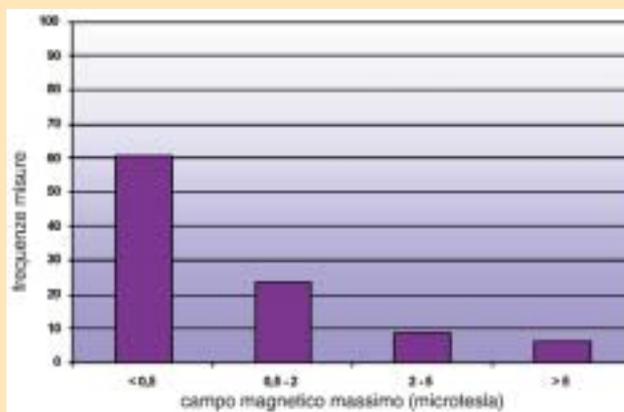
**Linee elettriche aeree a 380 kV**

- Sviluppo in lunghezza: 55 km
- Superficie residenziale a distanza inferiore a 150 m: 0.297 km<sup>2</sup>
- Persone esposte: 1300

Per valutare l'esposizione della popolazione sono stati raccolti i dati delle misurazioni, effettuate in 46 punti in corrispondenza di ricettori e di spazi liberi situati in prossimità delle linee o delle centrali elettriche individuate.

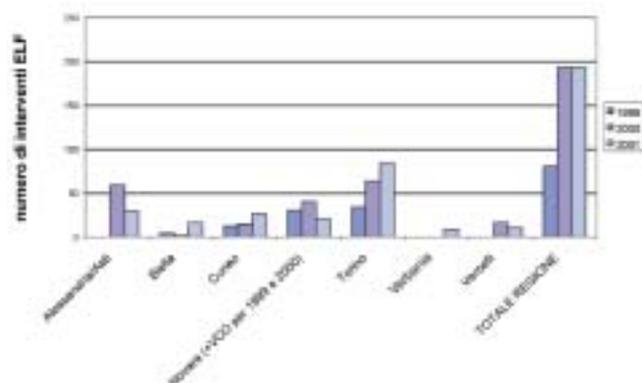
Sebbene tali dati costituiscano un campione poco rappresentativo per la descrizione dell'esposizione in un'area così vasta, essi possono comunque fornire un'idea indicativa dei livelli di campo magnetico mediamente riscontrabili (figura seguente)

**Frequenza di misurazioni di campo magnetico prodotto da linee elettriche in Valle di Susa**



Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.2 - Numero di interventi di misura di campi a bassa frequenza nelle diverse province e in tutta la regione negli anni 1999-2000-2001**



Fonte: ARPA Piemonte

effettuate negli anni precedenti sono accorpate con quelle della provincia di Novara.

Si osserva, dopo la forte crescita di interventi dal 1999 al 2000, uno stabilizzarsi dell'andamento medio del numero di interventi su tutta la regione. In effetti tra il 1999 e il 2000 i Dipartimenti ARPA hanno acquisito strumentazione e personale in grado di effettuare le rilevazioni, e la loro situazione si è stabilizzata durante il 2001. Inoltre è in generale diminuita un po' la pressione da parte del pubblico, con una diminuzione del numero degli esposti e richieste di misurazione di circa il 20%.

## 18.1.2 CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA

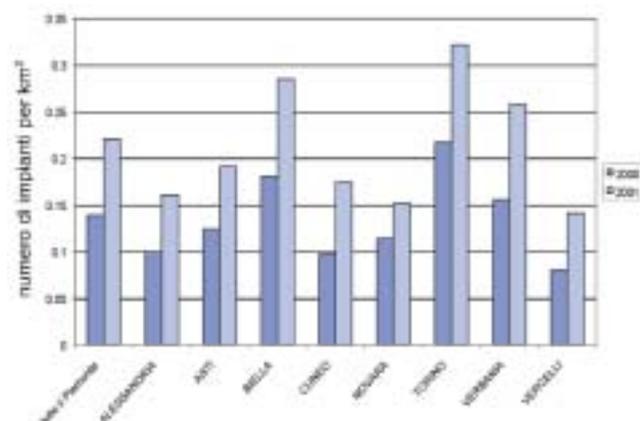
### 18.1.2.1 Densità di impianti per teleradiocomunicazioni

Nella **figura 18.3** è riportata la densità di impianti per teleradiocomunicazioni (numero di impianti per km<sup>2</sup>) presenti sul territorio del Piemonte e nelle diverse province per gli anni 2000-2001.

Il numero totale di impianti censiti è salito da 3.524 a 5.600, con un netto aumento del numero di impianti radiotelevisivi (da 833 a 2.925). Questo aumento è però legato non soltanto all'effettiva installazione di nuovi impianti radio-tv sul territorio, ma soprattutto al maggiore popolamento del catasto di tali sorgenti, dovuto al fatto che le emittenti hanno presentato solo nell'ultimo anno la documentazione richiesta dalla legge regionale (aggiornata nel 2000), e quindi impianti già esistenti (autorizzati con la vecchia normativa) sono entrati a far parte della base dati solo recentemente.

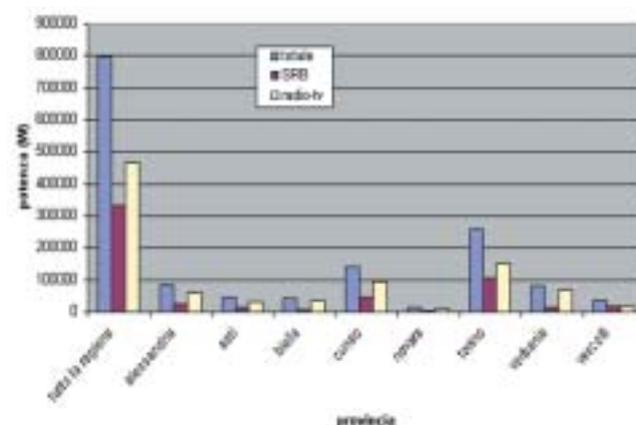
Questo fatto si spiega con la recente maggiore attenzione al controllo delle emissioni di campi elettromagnetici, sia dal punto di vista normativo (più restrittivo e coercitivo in virtù dell'introduzione di un regime sanzionatorio), sia dal punto di vista sociale (maggiore sensibilità della popolazione e degli enti locali), ed è caratteristico della sola emittente radiotelevisiva, dato che gli impianti di telefonia mobile, fenomeno più recente, sono stati in effetti installati con il nuovo regime normativo, cioè solo dopo aver fornito la documentazione richiesta e ricevuto l'autorizzazione prevista dalla legge regionale.

**Figura 18.3 - Densità di impianti per teleradiocomunicazioni in tutto il Piemonte e nelle varie province per gli anni 2000-2001**



Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.4 - Potenza complessiva degli impianti per teleradiocomunicazioni in tutta la regione e nelle varie province: anno 2001**



Fonte: ARPA Piemonte

In relazione a ciò nel numero di impianti di telefonia mobile sopra riportato non sono compresi quegli impianti che sono in attesa di parere ARPA (in quanto si può supporre che non siano in effetti ancora realizzati), mentre nel numero di impianti radio-tv sono compresi gli impianti in attesa di parere, perché quasi sempre essi sono già installati e in fase di adeguamento autorizzativo.

A tale proposito, si può fare riferimento all'indicatore "numero di pareri rilasciati" dall'ARPA per questi impianti – **Figura 18.10**.

### 18.1.2.2 Potenza complessiva degli impianti per teleradiocomunicazioni

La pressione effettiva degli impianti per teleradiocomunicazioni sul territorio è legata all'intensità dell'emissione, la quale dipende principalmente (anche se non esclusivamente) dalla potenza di alimentazione degli impianti stessi. In **figura 18.4** è riportata la potenza complessiva degli impianti nella regione e nelle varie province, sia per quanto riguarda le stazioni radiobase (SRB), sia per gli impianti radiotelevisivi e per il totale.

Si può osservare il fatto che la potenza irradiata dagli impianti radio-tv è maggiore di quella irradiata dalle stazioni radiobase per telefonia cellulare, nonostante queste ultime siano molto numerose e spesso composte da molte antenne (il numero medio di celle per ciascun impianto radiobase è 4, utilizzate per le diverse direzioni di irraggiamento e i diversi sistemi di trasmissione). Ciò è dovuto al fatto che la potenza del singolo impianto radio o tv è in media 6 volte maggiore di quella di una cella di una SRB.

### 18.1.2.3 Interventi di controllo e monitoraggio per le radiofrequenze

#### Numero di interventi di controllo e monitoraggio

Per quanto riguarda la valutazione dei livelli di esposizione della popolazione, sono stati effettuati, tra il 1999 e il 2001, 1581 interventi di misura in tutta la regione (figura 18.5), di cui 609 durante l'anno 2001.

Il fatto che il numero di interventi sia diminuito dal 2000 al 2001 è legato ad alcuni fattori: nel 2001 sono state fatte molte più analisi preventive con valutazioni teoriche (soprattutto per il rilascio parere di stazioni radiobase per telefonia cellulare) ed inoltre è stato effettuato, rispetto al 2000, un maggior numero di misure con analisi spettrale, che permettono di distinguere i contributi al livello di campo delle diverse sorgenti presenti in un sito, ma richiedono molte ore per essere completate (a differenza delle misure "in banda larga" che richiedono circa 20 minuti per un punto).

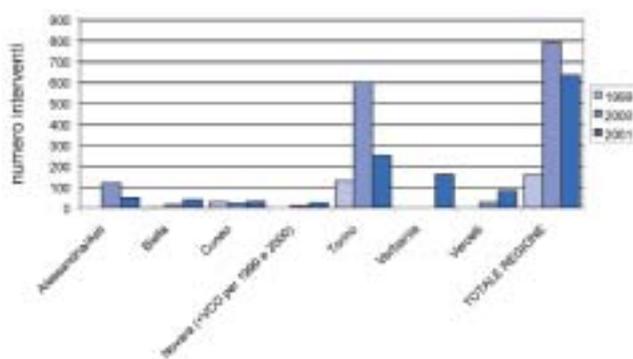
Di questi ultimi interventi (con analisi in frequenza), 28 sono stati effettuati nella zona del Colle della Maddalena, il più grande sito radiotelevisivo del Piemonte, dove risultano in trasmissione circa 95 emittenti radiotelevisive.

Anche in questo caso, infine, valgono le considerazioni fatte per i campi ELF, in particolare per quanto riguarda la diminuzione del numero degli esposti e richieste di misura.

#### Livelli di campo misurati, superamenti dei limiti e dei valori di cautela, risanamenti

Sulla base delle misure effettuate in questi anni è stato possibile caratterizzare i livelli di esposizione

**Figura 18.5 - Numero di interventi di misura di campi a radiofrequenza nelle diverse province e in tutta la regione negli anni 1999-2000-2001**

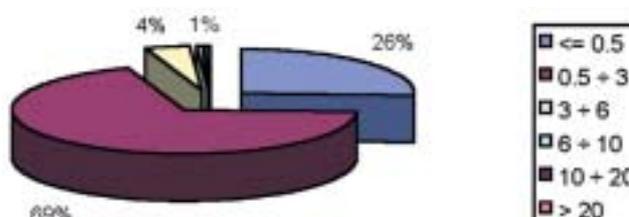


Fonte: ARPA Piemonte

nei siti in cui sono presenti una o più sorgenti di campo a radiofrequenza. Di seguito viene riportata la frequenza di misure entro intervalli di campo specifici nel caso di siti di telefonia cellulare e di siti radiotelevisivi (figure 18.6, 18.7 e 18.8).

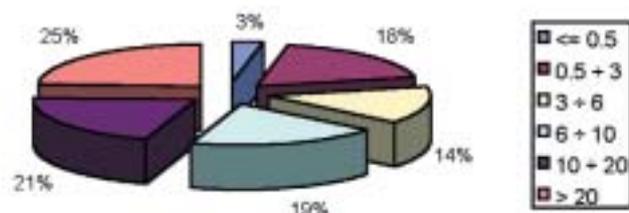
Per comprendere meglio tali risultati è importante sapere che i dati riportati si riferiscono ai livelli massimi di campo elettrico misurati nelle aree più esposte intorno agli impianti, sia all'interno che all'esterno di abitazioni: si tratta quindi di valori che non rappresentano l'esposizione media intorno agli impianti, bensì l'esposizione "massima".

**Figura 18.6 - Distribuzione percentuale dei livelli di campo elettrico intorno a stazioni radiobase - anni 1998-2001**



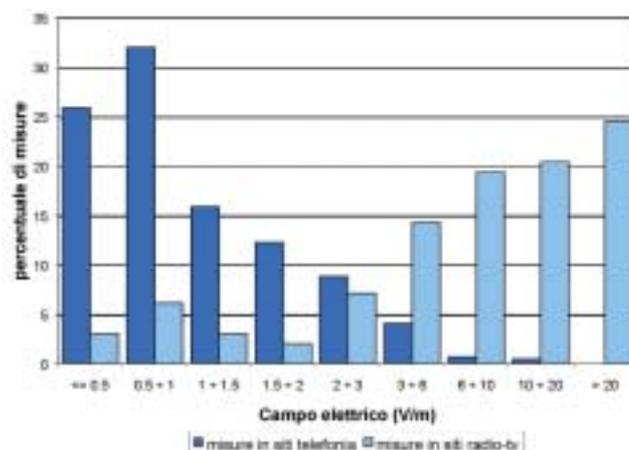
Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.7 - Distribuzione percentuale dei livelli di campo elettrico intorno ad impianti radiotelevisivi - anni 1998-2001**



Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.8 - Confronto tra le distribuzioni dei livelli massimi di campo elettrico misurati in siti di telefonia e radio-tv - anni 1998-2000**



Fonte: ARPA Piemonte

Si può osservare che nel 95% dei casi il livello di campo elettrico massimo misurato in prossimità di impianti radiobase per telefonia cellulare è risultato inferiore a 3 V/m (metà del livello di cautela prescritto dal DM 381/98). Per tale tipologia di sito si sono riscontrati 5 casi di superamento dei 6 V/m (livello di cautela da non superare nei luoghi ove è possibile una permanenza maggiore di 4 ore) su un totale di 441 misure, e nessun caso di superamento del limite di 20 V/m imposto dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda invece i siti radiotelevisivi, si può osservare che la situazione espositiva è pressochè opposta: solamente nel 21% dei casi il livello di campo elettrico massimo misurato è risultato al di sotto dei 3 V/m, mentre si segnalano 7 casi di superamento dei 6 V/m e 17 casi di superamento

(attualmente in corso) del limite di 20 V/m. 5 casi di superamento sono invece stati risanati durante tra il 2001 e il 2002 (è stata ottemperata la riduzione a conformità ex DM 381/98).

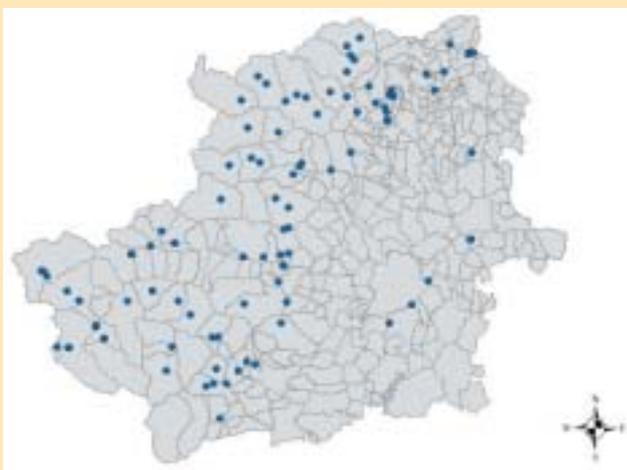
Questo elevato numero di siti non a norma è legato ad una serie di fattori, primo fra tutti l'elevata potenza e la bassa direttività (cioè l'irraggiamento intenso in tutte le direzioni) degli impianti radiotelevisivi rispetto a quelli della telefonia cellulare, ma pesa anche molto il fatto che le misure alle quali si fa riferimento non sono state effettuate campionando a caso i siti da monitorare, bensì andando alla ricerca dei siti potenzialmente più problematici. Se in effetti si analizza un campione di misure distribuito in maniera più casuale i livelli di esposizione risultano mediamente più bassi (vedere box approfondimento progetto Provincia di Torino)

## BOX 2: INQUINAMENTO DA CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA DOVUTI AD EMITTENTI RADIOTELEVISIVE NELLA PROVINCIA DI TORINO

*(A cura di Giovanni d'Amore, Laura Anglesio, Francesco Martire, Massimiliano Alviano, Alberto Benedetto, Alessandro Bonino, Mauro Mantovan - ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea)*

Nell'ambito di un progetto finanziato dalla Provincia di Torino sono stati individuati 103 siti radiotelevisivi dislocati nella provincia stessa, nei quali è stata effettuata una campagna di misura con strumentazione in banda larga (risposta in frequenza 100 kHz - 3 GHz) tendente a valutare il rispetto della normativa esistente sia in relazione a luoghi adibiti a permanenza prolungata (ad esempio pertinenze di abitazioni) che a luoghi accessibili per tempi limitati

### Censimento delle emittenti radiotelevisive della provincia di Torino - anno 2001

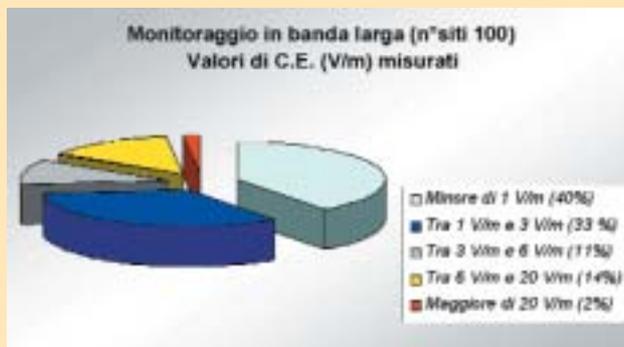


Fonte: ARPA Piemonte

Durante il monitoraggio in banda larga delle emittenti radiotelevisive si è proceduto, inoltre, alla localizzazione di questi ultimi su cartografia numerica anche tramite l'uso del GPS (Global Positioning System). Le coordinate UTM degli impianti, così ricavate, sono state inserite nel Sistema Informativo Geografico che gestisce l'attività di monitoraggio delle emittenti ed hanno consentito di realizzare una carta informatizzata della distribuzione dei siti radiotelevisivi sul territorio (Figura sottostante).

Non si possono escludere lacune dovute alla presenza di impianti non considerati, in quanto abusivi. Si ritiene comunque che tali lacune riguardino una parte esigua del totale degli impianti e non significativa dal punto di vista della potenza di installazione.

### Analisi dei dati rilevati durante il monitoraggio in banda larga - anno 2001

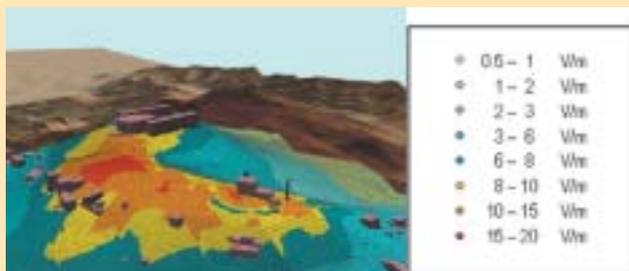


Fonte: ARPA Piemonte



Sono stati successivamente individuati due siti per i quali si è proceduto al confronto tra il campo elettrico calcolato teoricamente e quello misurato. Di seguito vengono riportati i risultati per il sito di Superga.

Mappa di isointensità sovrapposta al modello altimetrico del terreno



Livelli di campo generati dalle diverse emittenti presenti nel sito considerato, valutati teoricamente e sperimentalmente - anno 2001

DENOMINAZIONE EMITTENTE	C.E. (V/m) Sperimentale	DENOMINAZIONE EMITTENTE
Radio 1	2.90 ± 0.58	Radio 1 (2.37)
Radio 2	7.70 ± 1.54	Radio 2 (6.88)
Radio 3	3.45 ± 0.69	Radio 3 (4.93)
Radio 4	2.67 ± 0.53	Radio 4 (2.19)
Radio 5	1.89 ± 0.38	Radio 5 (1.44)
TV 1	0.05 ± 0.01	TV 1 (0.01)
TV 2	0.07 ± 0.01	TV 2 (0.01)
TV 3	0.05 ± 0.01	TV 3 (0.01)
TV 4	0.05 ± 0.01	TV 4 (0.01)
TV 5	2.04 ± 0.41	TV 5 (2.18)
<b>TOTALE (Sperimentale)</b>		<b>TOTALE (Teorico)</b>
C.E. (V/m) = 9.72 ± 1.94		C.E. (V/m) = 9.91

#### 18.1.2.4 Popolazione esposta a diversi livelli di campo elettrico generato da impianti per telecomunicazioni

Nell'ambito della valutazione della popolazione esposta a diversi livelli di campo elettrico, durante il 2001 si è proceduto ad aggiornare il progetto di monitoraggio del fondo a radiofrequenza nel comune di Torino, per il quale è stata effettuata una nuova valutazione teorica del livello di campo elettrico generato da stazioni radiobase, aggiornando contemporaneamente il censimento delle sorgenti sulla base degli impianti effettivamente attivati ad oggi (tra quelli che avevano richiesto parere all'ARPA) (Vedi **Box 2** Capitolo Ambiente Urbano).

Tale valutazione è stata particolarmente utile in quanto essa è stata effettuata su cartografia 3D nei siti più "caldi", in modo da poter valutare con un'analisi più approfondita il potenziale superamento dei limiti di legge. Inoltre, essendo basata sui soli impianti attivi e non, come la precedente, anche su quelli per i quali era stato rilasciato un parere ARPA, ha permesso di osservare che i livelli di esposizione massima risultano mediamente inferiori a quelli calcolati nel 2000, e più prossimi ai livelli effettivamente misurati durante la campagna di misure.

Inoltre una particolare attenzione è stata posta per lo sviluppo di metodologie per il popolamento dell'indicatore, sia dal punto di vista della valutazione dei livelli di campo tramite calcolo, sia dal punto di vista dell'analisi della distribuzione della popolazione esposta.

La valutazione dell'effettiva esposizione della popolazione a campi generati da stazioni radiobase è resa molto complessa da una serie di fattori, relazionabili sia alla sorgente che all'ambiente circostante. Gli impianti per telefonia infatti non irradiano sempre la stessa potenza, bensì essa è variabile in funzione del traffico telefonico, della vicinanza del terminale mobile alla SRB, del fatto che l'utente stia parlando oppure ascoltando; inoltre il livello di campo in un certo punto dipende molto dalle riflessioni e rifrazioni che l'onda elettromagnetica ha subito (ad esempio a causa degli edifici) per propagarsi dalla sorgente a quel punto. È stato quindi sviluppato un metodo di valutazione statistica dei livelli di campo generati dagli impianti, che tiene conto delle caratteristiche di emissione dell'impianto e di alcune caratteristiche dell'ambiente circostante (numero edifici, altezza ostacoli, ecc.). I livelli di campo così valutati vengono quindi analizzati in rapporto alla distribuzione della popolazione nell'area oggetto di indagine, ottenendo così la percentuale di popolazione mediamente esposta a determinati intervalli di valori di campo elettrico.

Un esempio del risultato di questo lavoro è la **tabella 18.1**, ottenuta tramite una valutazione del campo non attenuato all'esterno delle abitazioni (1a colonna). Nella 2a colonna si può vedere come cambia la distribuzione tenendo conto della sola attenuazione dovuta alle pareti delle abitazioni. L'area di valutazione è riportata in **figura 18.9**, dove si vede anche la posizione dell'impianto radiobase che genera il campo analizzato.

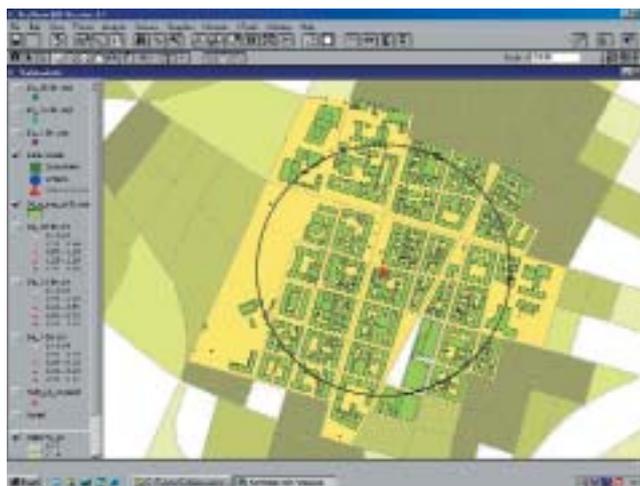
**Tabella 18.1 - Esposizione della popolazione nella zona intorno a via Petitti a Torino**

Campo elettrico (V/m)	Percentuale popolazione esposta (1)	Percentuale popolazione esposta (2)
0.0 - 0.2	37.5	96.8
0.2 - 0.4	51.1	3.2
0.4 - 0.6	8.2	0
0.6 - 0.8	2.4	0
0.8 - 1	0.8	0

### 18.1.2.5 Pareri per l'installazione e modifica degli impianti fissi per teleradiocomunicazioni

La legge regionale n. 6/89 e il successivo Decreto del Presidente della Giunta Regionale n. 1/R del 14 aprile 2000 impongono, ai fini del rilascio dell'autorizzazione all'installazione e modifica degli impianti per teleradiocomunicazioni, il rilascio di

**Figura 18.9 - Area nella quale è stata valutata l'esposizione della popolazione con la classificazione in base al censimento ISTAT**



### BOX 3: COSTRUZIONE DI UN INDICATORE DI ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA IN AMBIENTE URBANO

*(A cura di Tiziano Guidetto, Sara Adda, Laura Anglesio, Giovanni d'Amore - Arpa Piemonte, Dipartimento di Ivrea)*

Al fine della costruzione dell'indicatore di esposizione sono stati studiati i seguenti punti:

- valutazione dell'andamento del campo;
- analisi della distribuzione della popolazione esposta;
- calcolo dell'indicatore a partire dai dati georiferiti costruiti.

La valutazione del livello di campo viene effettuata a partire dal calcolo in condizioni di spazio libero, utilizzando le caratteristiche di emissione della sorgente specifica e un livello di potenza ricavato applicando alla potenza massima teorica un coefficiente che tenga conto della variabilità del traffico telefonico e degli accorgimenti adottati per la riduzione delle potenze impiegate (fattore d'utilizzo dell'antenna,  $\alpha_{UT}$ ).

Ai valori di campo così ottenuti vanno applicate curve di attenuazione che dipendono da una serie di parametri caratteristici dell'ambiente circostante (prevalentemente, il numero di ostacoli tra la sorgente e l'area interessata): questo permette di stimare i livelli di campo effettivamente presenti senza la necessità di ricorrere a modelli di calcolo troppo complessi e senza bisogno informazioni difficili da reperire, come ad esempio le caratteristiche elettriche dei fabbricati (dato necessario per applicare certi modelli di calcolo).

Una volta ottenuti i livelli di campo per le unità territoriali

di riferimento individuate, è necessario caratterizzare la distribuzione della popolazione esposta nelle stesse aree.

La base dati con maggiore estensione territoriale per quest'aspetto è rappresentata in Italia dalle informazioni derivanti dai censimenti dell'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), pubblicate per sezione di censimento. I dati demografici vanno distribuiti spazialmente nelle aree oggetto di indagine, concentrando, se possibile, la presenza dei soggetti esposti negli spazi interni, cioè ripartendo il dato della popolazione residente tra gli edifici presenti e, al loro interno, tra i diversi piani.

Il grado di precisione dei risultati ottenibili da questo tipo di procedura statistica è influenzato dall'accuratezza con cui è possibile modellizzare il fenomeno di propagazione dei campi elettromagnetici e schematizzare la conoscenza della distribuzione dei soggetti esposti in funzione del tempo e dello spazio. Ripetendo le valutazioni in tempi diversi con tecniche comparabili, è possibile desumere informazioni di elevato interesse circa:

- l'andamento nel tempo dell'esposizione;
- l'individuazione di possibili punti critici con la sovrapposizione di dati relativi ad altri fattori di pressione ambientale, anche nell'ottica dello sviluppo della pianificazione territoriale con i piani comunali di localizzazione degli impianti;
- la verifica preliminare dell'efficacia delle tecniche di riduzione delle emissioni adottate sui nuovi impianti trasmettenti, in funzione del perseguimento nel medio e lungo periodo dell'implementazione di tecnologie a minimo impatto ambientale;
- la pianificazione delle azioni di controllo e di prevenzione mediante campagne di misure.

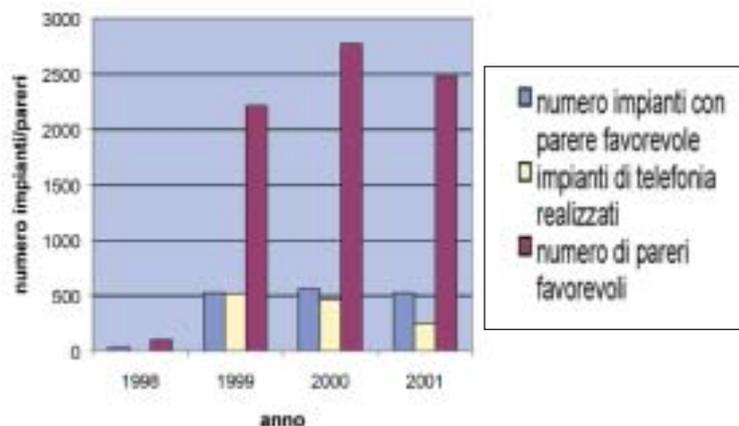


un parere da parte dell'ARPA., sulla base di una valutazione delle emissioni dell'impianto e controllo del rispetto dei limiti stabiliti dal Decreto Ministeriale 381/1998.

Il numero di pareri rilasciati annualmente dall'ARPA Piemonte è perciò un indicatore dell'attività di controllo in risposta alle richieste normative.

Il parere ARPA viene rilasciato al singolo elemento radiante in ogni impianto: se ad esempio una stazione radiobase per telefonia cellulare è composta da 3 celle, ad essa saranno associati 3 pareri. Nella **figura 18.10** viene perciò riportato sia il numero di pareri effettivamente rilasciati (per ogni elemento radiante, colonna rosa), sia il numero di impianti ai quali questi fanno riferimento (colonna azzurra). E' stato anche aggiunto il numero di impianti di telefonia effettivamente realizzati ed attivi tra quelli che hanno ricevuto parere favorevole.

**Figura 18.10 - Numero di pareri rilasciati negli anni 1998-2001**



Fonte: ARPA Piemonte

## 18.2 RADIAZIONI IONIZZANTI

(A cura di Mauro Magnoni, Maria Clivia Losana - ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea)

Nell'ambito delle radiazioni ionizzanti, gli aspetti presi in considerazione riguardano:

- monitoraggio e controllo legati all'attività nucleare del passato. Le procedure di disattivazione e smantellamento (*decommissioning*) interessano la centrale di Trino Vercellese (VC), gli impianti FN

di Bosco Marengo (AL) e il sito di Saluggia (VC). In quest'ultimo si trova l'impianto ENEA-EUREX, che contiene ingenti quantitativi di rifiuti liquidi altamente radioattivi, prodotti dalle attività di riprocessamento;

- valutazione della radioattività naturale (in particolare il radon);
- monitoraggio di matrici ambientali e alimentari nell'ambito della Rete Nazionale coordinata dall'ANPA per la valutazione dei rischi ambientali e sanitari derivanti dalla dispersione in ambiente di radioattività artificiale, sia di provenienza nazionale che estera.

Gli indicatori più significativi, individuati dal gruppo di lavoro CTN-AGF, vengono riportati nella tabella seguente.

Indicatore	DPSIR	Unità di misura	Livello territoriale	Anni di riferimento	Disponibilità dei dati	Andamento numerico	Stato Ambientale
Impianti nucleari	D	Numero	Provinciale	2001	☺	⇔	☺
Altri detentori materiale radioattivo	D	Numero	Puntuale	2001	☹	↗	
Concentrazione di radon indoor	S	Bq/m <sup>3</sup>	Puntuale	1990 - 2001	☺	↗	☺
Concentrazione di attività in aria	S	Bq/m <sup>3</sup>	Puntuale	2001	☺	⇔	☺
Deposizione al suolo	S	Bq/m <sup>2</sup>	Puntuale	2001	☺	⇔	☺
Concentrazione di attività nel latte	S	Bq/l o Bq/kg	Provinciale	2001	☺	⇔	☺
Concentrazione di attività di Cs-137 al suolo	S	Bq/m <sup>2</sup>	Regionale	1993-1995	☺	⇔	☺
Dose efficace	I	mSv/anno	Regionale	1999	☺	⇔	☺

### 18.2.1 IMPIANTI NUCLEARI

Gli impianti e le installazioni nucleari, costituiscono ancora oggi una delle principali fonti di pressione, riconducibili alle radiazioni ionizzanti. Come già ri-

cordato nell'introduzione, i siti nucleari piemontesi sono tre:

- il sito di Saluggia (VC) che comprende al suo interno:



- i) l'impianto di riprocessamento del combustibile nucleare ENEA-EUREX
- ii) l'impianto Avogadro FIAT-AVIO (elementi di combustibile in piscina)
- iii) gli stabilimenti di produzione radiofarmaci Sorin o ex-Sorin
- la centrale elettronucleare di Trino Vercellese (VC)
- l'impianto FN di Bosco Marengo (AL)

Per informazioni più dettagliate sui siti e sulla quantità di materiale radioattivo contenuto in questi impianti si rimanda alla precedente edizione del Rapporto sullo Stato dell'Ambiente.

Per tutti questi impianti è previsto un piano di smantellamento, che non potrà avvenire prima di 5-10 anni, in quanto è strettamente vincolato alla costruzione del Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi.

A questo proposito occorre ricordare che nel corso del 2001 sono stati fatti alcuni passi in avanti in questa direzione, con la presentazione da parte della Sogin (società creata dall'ENEL per gestire lo smantellamento degli impianti nucleari in Italia) della valutazione di impatto ambientale relativa al progetto di stoccaggio a secco del combustibile. L'ARPA è intervenuta su questo aspetto contribuendo alla formazione del parere regionale che è stato inoltrato al Ministero dell'Ambiente. L'esito della VIA nazionale è per il momento interlocutorio poiché, venendo incontro a forti preoccupazioni manifestate dalla pubblica opinione, è stato richiesto alla Sogin di riformulare parte dello studio stesso, riesaminando in dettaglio opzioni alternative a quella presentata, che consisteva nel concentrare provvisoriamente sul sito di Trino Vercellese anche il combustibile irraggiato attualmente stoccato presso il Deposito Avogadro di Saluggia. E' quindi probabile che, a questo proposito, si vada verso una soluzione che prevede due depositi provvisori, uno presso il sito di Trino e l'altro presso quello di Saluggia. Si tratterebbe questa di una soluzione sicuramente percorribile e ancora valida sotto il profilo della sicurezza complessiva, anche se non ottimale sotto il profilo dell'utilizzo delle risorse e dei livelli di sicurezza, intesi nel loro più ampio significato.

Verso la fine del 2001 è stato inoltre presentato da Sogin il piano di smantellamento vero e proprio della centrale di Trino. Si tratta di un impegnativo piano industriale che abbraccia decenni e che presenta come principale incertezza il fatto di presupporre, a partire dal 2009-2010, l'esistenza del Deposito Nazionale Rifiuti Radioattivi. Anche su questa questione l'ARPA, interpellata dalla Regio-

ne, è stata presente fornendo le sue valutazioni preliminari al piano presentato la cui approvazione è peraltro di competenza ANPA.

Il ruolo dell'ARPA, anche in questa materia, resta comunque principalmente rivolto al monitoraggio. La concreta prospettiva dell'avvio delle prime operazioni di *decommissioning* pone infatti all'Agenzia il problema di aumentare e affinare le tecniche di misura e di controllo ambientale attorno ai vari siti, con il varo di programmi di monitoraggio *ad hoc*.

## 18.2.2 ALTRI DETENTORI DI MATERIALI RADIOATTIVI

Oltre alle installazioni nucleari vere e proprie, non vanno dimenticati quel gran numero di utilizzatori di sostanze radioattive che, pur rappresentando un problema molto minore rispetto a quello precedentemente trattato, sono comunque assai più diffusi sul territorio regionale.

Tra questi utilizzatori, quelli che senza dubbio gestiscono, detengono e manipolano i maggiori quantitativi di radioattività sono senza dubbio i presidi ospedalieri, per attività sia nel campo diagnostico che terapeutico. Alcune di queste attività possono infatti essere causa di immissione di radioattività nell'ambiente. Accanto agli ospedali vi è ovviamente l'industria (non nucleare), per la quale però, in generale, la problematica radiologica è meno importante: le sorgenti sovente impiegate in industria sono infatti di tipo "sigillato" e quindi meno suscettibili ad essere immesse nell'ambiente.

Una dettagliata conoscenza di tutti questi utilizzatori e della loro distribuzione sul territorio regionale non è, al momento, completamente assicurata.

A partire dalla scorso anno, però, l'ARPA Piemonte si è data uno strumento che dovrebbe finalmente consentire di colmare questa lacuna. Il Polo radiazioni ionizzanti dell'ARPA ha infatti promosso un censimento delle attività comportanti l'impiego di radioattività ed è stato sviluppato un software che dovrebbe facilitare la raccolta di tutte le informazioni disponibili. Attualmente tale software è in fase di installazione presso le strutture dell'ARPA. La sua efficacia nel consentire la conoscenza delle pressioni esistenti sul territorio sarà però ovviamente legata al suo effettivo impiego e alimentazione. Le nuove norme di legge (D. L.vo 241/00), che inseriscono l'ARPA tra gli enti a cui inviare le comunicazioni di detenzione di sorgenti di radiazione, dovrebbero comunque rendere più agevole il reperimento e l'aggiornamento dei dati.



## 18.2.3 VALUTAZIONE DEL RADON E DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE

### 18.2.3.1 Concentrazione di radon indoor

La concentrazione di radon in aria stima una delle più importanti fonti di esposizione alla radioattività naturale. Studi nazionali e internazionali indicano infatti il radon come il responsabile, in media, di più del 50% della dose da radiazioni. Il radon è inoltre un noto agente cancerogeno, come hanno mostrato numerosi studi epidemiologici effettuati su minatori fin dagli anni settanta. Studi più recenti sull'esposizione residenziale al radon, pur con alcune incertezze legate ai più bassi livelli di concentrazione, tendono a confermare la pericolosità del radon come agente cancerogeno per il tumore al polmone.

È quindi giustificata l'attenzione al radon, sia nelle abitazioni che nei luoghi di lavoro. Tale attenzione si è recentemente concretizzata anche in alcuni importanti documenti ufficiali, tra i quali si ricorda, per la sua autorevolezza, l'Accordo tra Ministero della Salute e la Conferenza Stato Regioni (G.U. n°276 del 27 novembre 2001) sulle "Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati", in cui il rischio radon viene indicato appunto come uno dei principali fattori di rischio.

La normativa italiana (D.Lvo 241/2000) impone al momento solo la misura e definisce un valore limite della concentrazione di radon in aria pari a 500 Bq/m<sup>3</sup> nei luoghi di lavoro interrati, semi-interrati o in zone specifiche (*prone areas*, cioè le zone ad alto rischio radon che ogni regione deve individuare). A questo proposito l'ARPA Piemonte ha attualmente in corso diverse campagne di misura (nel Canavese, nel Verbano-Cusio-Ossola e nell'a-

lessandrino) aventi appunto come scopo quello di rendere possibile una completa mappatura del rischio radon in tutta la Regione.

Per le abitazioni non è stato stabilito alcun limite di concentrazione. Livelli indicativi sono 400 Bq/m<sup>3</sup> per gli edifici esistenti e 200 Bq/m<sup>3</sup> per quelli in costruzione, indicati dalla Raccomandazione 90/143/EURATOM. Per informazioni sulle campagne di misure svolte in passato, sia a livello regionale che nazionale, si rimanda al rapporto dello scorso anno. Il valore medio di concentrazione di radon in aria è di 69 Bq/m<sup>3</sup> per la regione Piemonte e di 77 Bq/m<sup>3</sup> per l'intero territorio nazionale.

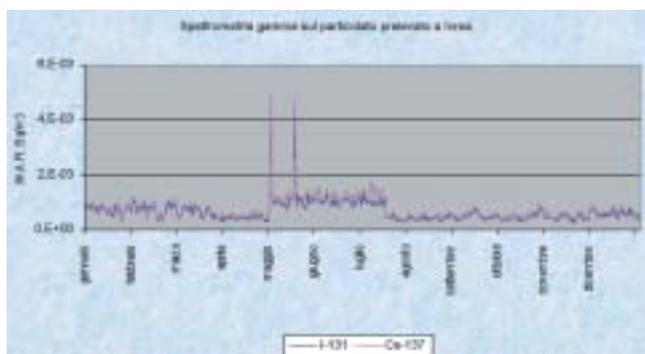
## 18.2.4 MONITORAGGIO DI MATRICI AMBIENTALI E ALIMENTARI

### 18.2.4.1 Concentrazione di attività in aria

Per valutare la concentrazione di radioattività in aria vengono effettuate misure di spettrometria gamma e di attività alfa e beta totale su filtri sui quali si deposita per aspirazione il particolato atmosferico presente nell'aria. Queste misure permettono una pronta individuazione di incidenti o fughe radioattive da impianti nucleari o da industrie od ospedali. I radionuclidi artificiali, a cui si presta particolare attenzione, sono il Cs-137 e lo I-131 per quanto riguarda la spettrometria gamma. Nelle misure di attività alfa e beta totale non possono invece essere identificati specifici elementi, ma un incremento significativo dell'attività è indice di una maggiore concentrazione di elementi alfa e beta emettitori, come plutonio o Sr-90.

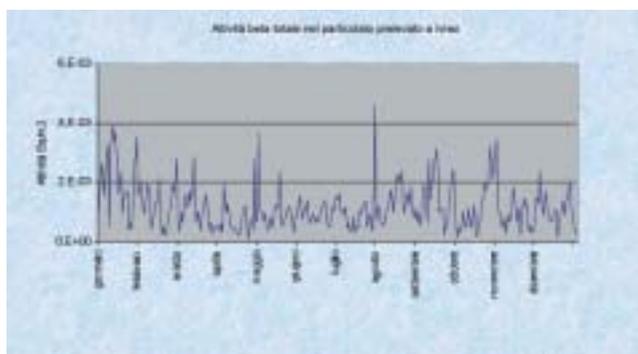
Il prelievo e la misura dei filtri avviene giornalmente presso l'ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea e per quanto riguarda la spettrometria gamma an-

**Figura 18.11 - Andamento della Minima Attività Rivelabile del Cs-137 e dello I-131 nel particolato atmosferico - anno 2000**



Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.12 - Andamento dell'attività beta totale nel particolato atmosferico - anno 2000**



Fonte: ARPA Piemonte

che presso il Dipartimento di Vercelli. Il laboratorio di Ivrea analizza inoltre filtri prelevati in due stazioni dell'Aeronautica Militare (Capo Mele -SV- e Bric della Croce -TO). Nei grafici delle **figure 18.11 e 18.12** viene riportato l'andamento della Minima Attività Rivelabile (M.A.R.) del Cs-137 e dello I-131 e l'andamento dell'attività beta totale per la stazione di prelievo di Ivrea relativi all'anno 2000. I picchi e i valori più elevati nei mesi estivi, osservabili nella figura 18.11 sono dovuti ad anomalie del sistema di aspirazione e non ad eventi incidentali.

#### 18.2.4.2 Deposizione al suolo (*fallout*)

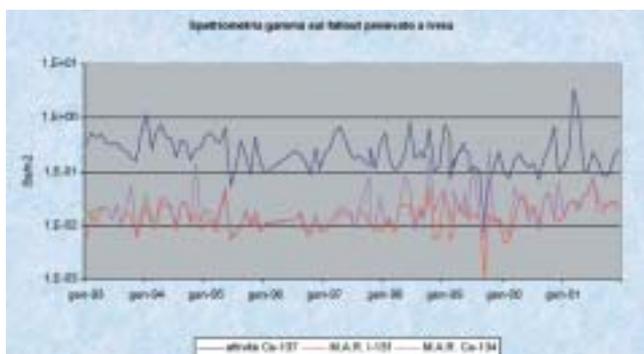
La misura della ricaduta al suolo di materiale radioattivo, sia per deposizione secca che a causa di precipitazioni, permette di raggiungere sensibilità molto elevate. Le analisi di spettrometria gamma sono volte a ricercare in particolare lo I-131, Cs-134 e Cs-137. Il prelievo e la successiva analisi, dopo aver essiccato il campione, vengono effettuati mensilmente presso l'ARPA Piemonte, Dipartimento di Ivrea. Nella **figura 18.13** viene riportato l'andamento dell'attività del Cs-137 e della M.A.R. del Cs-134 e dello I-131 nel *fallout* prelevato a Ivrea dal 1993. In verde sono riportati i valori di attività di Cs-134 superiori alla M.A.R., non più riscontrati negli ultimi anni.

#### 18.2.4.3 Concentrazione di attività nel latte

La concentrazione di attività nel latte è utile sia per stimare la dose introdotta dalla popolazione per ingestione, sia per studiare la mobilità di alcuni contaminanti tra i diversi compartimenti ambientali. Con le analisi di spettrometria gamma, effettuate mensilmente l'ARPA Piemonte, su campioni di latte di vario tipo, si ricerca, come nelle altre matrici ambientali e alimentari, lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137. Con le analisi radiochimiche, effettuate

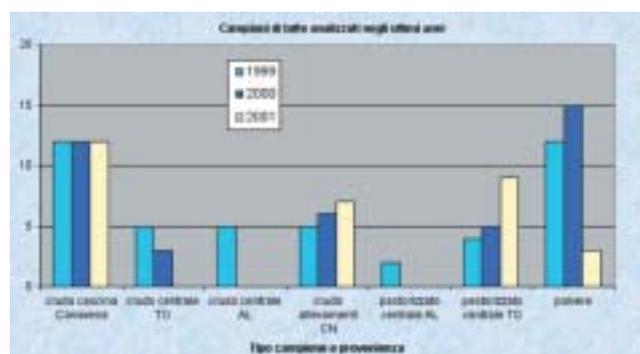
solitamente sul latte crudo componendo i campioni relativi a due mesi, si ricerca lo Sr-90, il più diffuso tra i beta emettitori di origine artificiale. Le concentrazioni riscontrate sono sempre molto inferiori ai valori stabiliti dal Regolamento CEE n° 737/90, emesso in seguito all'incidente di Chernobyl (370 Bq/kg di Cs-134 e Cs-137 per i prodotti lattiero-caseari e a 600 Bq/kg per gli altri alimenti) al quale occorre fare riferimento, in quanto non vi è alcuna normativa italiana sull'argomento. Nel 1999 sono stati analizzati dal Dipartimento dell'ARPA Piemonte di Ivrea 45 campioni di latte così suddivisi: 27 campioni di latte crudo, 6 campioni di latte pastorizzato e 12 campioni di latte in polvere. Nel 2000 i campioni analizzati sono stati 41: 21 di latte crudo, 5 di latte pastorizzato e 15 di latte in polvere. Nel 2001, invece, i campioni analizzati nell'ambito della consueta attività di monitoraggio sono stati 31 (19 di latte crudo, 9 di latte pastorizzato e 3 di latte in polvere), ai quali però si devono aggiungere 54 campioni di latte crudo analizzati nell'ambito di un progetto di ricerca particolare. Nella **figura 18.14** sono illustrati il tipo e la provenienza dei campioni di latte analizzati nel 1999, nel 2000 e nel 2001. La provenienza dei campioni di latte in polvere non è specificata in quanto il punto di prelievo non è rappresentativo della zona di origine del prodotto. Nella **figura 18.15** è riportato l'andamento della concentrazione di attività (Bq/kg) nel latte crudo di cascina prelevato nel 2000. Si osserva che solo per il Cs-137 e solo in alcuni mesi il valore misurato è superiore alla Minima Attività Rivelabile (valori riportati in rosso). Nella **figura 18.16** invece è riportato l'andamento dell'attività dello Sr-90 nel latte crudo di cascina a partire dal 1993. In rosso sono riportati i valori inferiori alla Minima Attività Rivelabile.

**Figura 18.13 - Andamento dell'attività (Cs-137) e della M.A.R. (Cs-134 e I-131) nel fallout**



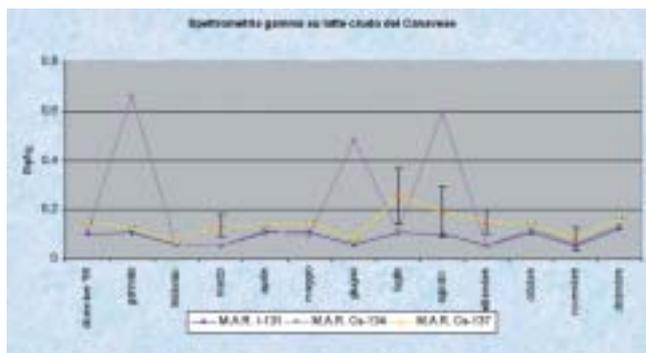
Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.14 - Tipo e provenienza dei campioni di latte crudo analizzati - anni 1999, 2000 e 2001**



Fonte: ARPA Piemonte

**Figura 18.15 - Andamento della M.A.R. nel latte crudo di cascina analizzato nel 2000 (in rosso i valori di Cs-137 superiori alla M.A.R.)**

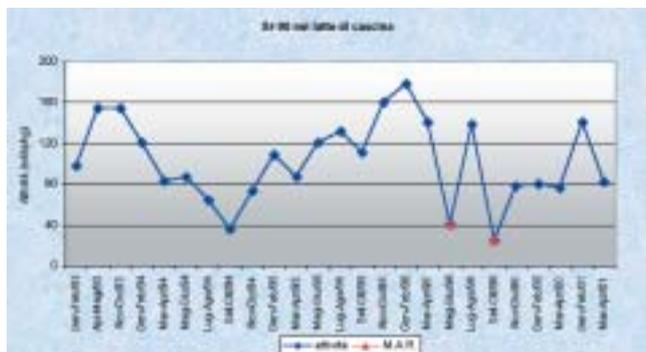


Fonte: ARPA Piemonte

#### 18.2.4.4 Concentrazione di attività di Cs-137 al suolo

Le misure effettuate su campioni di suolo negli ultimi anni hanno confermato i livelli di contaminazione da Cs-137, depositatosi in seguito all'incidente di Chernobyl, che erano stati riscontrati nella campagna di misure effettuata su tutto il territorio piemontese negli anni 1993-'95 in collaborazione con l'Università di Torino. I valori di concentrazione ottenuti vanno da meno di 10 kBq/m<sup>2</sup> a 80 kBq/m<sup>2</sup>, con un valore medio di 15-20 kBq/m<sup>2</sup>, anche se con l'andare del tempo il Cs-137 presente sulla superficie del terreno tende a diminuire, sia per filtrazione in profondità che per decadimento fisico. In base a questi valori è stata calcolata la dose media da irraggiamento su tutto il territorio piemontese (0,120 mSv/anno). Per maggiori dettagli sulle zone più contaminate del Piemonte si rimanda alla carta pubblicata nella precedente edizione del Rapporto sullo Stato dell'Ambiente.

**Figura 18.16 - Andamento dell'attività dello Sr-90 nel latte crudo di cascina analizzato dal 1993**



Fonte: ARPA Piemonte

#### 18.2.4.5 Dose efficace

Sulla base delle concentrazioni di attività misurate negli alimenti, nell'aria e nel suolo è stata calcolata la dose efficace media annuale della popolazione piemontese dovuta ai radionuclidi di origine artificiale. La dose da ingestione è stata calcolata sulla dieta tipo della popolazione adulta italiana, considerando la concentrazione del Cs-137 e, solo per il latte, anche dello Sr-90; quella da irraggiamento è il risultato del lavoro descritto nel precedente paragrafo; quella da inalazione è stata stimata a partire dai livelli di attività dei radionuclidi artificiali in aria, sempre però risultati inferiori alla Minima Attività Rivelabile. Il valore ottenuto è di circa 0,120 mSv/anno, che coincide con la dose da irraggiamento, in quanto l'ingestione e l'inalazione forniscono contributi trascurabili. Questo valore è di molto inferiore al limite di legge, fissato in 1 mSv/anno (escludendo le esposizioni per scopi medici e l'esposizione alle sorgenti naturali di radiazione, che fornisce una dose di circa 2 mSv/anno).

**Tabella 18.2 - Dose efficace dovuta al Cs-137 e alla radioattività naturale in Piemonte (valori medi per la popolazione adulta)**

Dose efficace mSv/anno	
Irraggiamento dal suolo	0,120
Inalazione	< 10 <sup>-4</sup>
Ingestione	10 <sup>-3</sup>
TOTALE	0,120
Radioattività naturale	2 circa

Fonte: ARPA Piemonte

#### BIBLIOGRAFIA

AAVV 2001 - *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Piemonte*. ARPA Piemonte.

ANPA, 2000. *Rassegna di indicatori e indici per il rumore, le radiazioni non ionizzanti e la radioattività ambientale*. RTI CTN\_AGF 4/2000.

ARPA PIEMONTE - DIPARTIMENTO SUBPROVINCIALE DI IVREA POLO REGIONALE RADIAZIONI IONIZZANTI. *La radioattività ambientale in Piemonte - Anni 1993-1999*.

REGIONE PIEMONTE, ARPA PIEMONTE - DIPARTIMENTO SUBPROVINCIALE DI IVREA, 1994. *Indagine sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni del Piemonte*.

REGIONE PIEMONTE, ARPA PIEMONTE, 1997. *L'esposizione ai campi elettromagnetici - Pericoli, valutazioni e normative*.

