

Radiazioni

**Campi
elettromagnetici
Radiazioni ionizzanti**



Stefania Facta
Sara Adda
Laura Anglesio
Arpa Piemonte

12.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI

Le sorgenti di radiazioni di maggiore interesse per l'esposizione della popolazione emettono campi elettrici e magnetici a frequenze ELF e campi elettromagnetici RF. Tra le prime vi sono gli elettrodotti e tutte le apparecchiature che, in quanto alimentate elettricamente, disperdono in ambiente campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50Hz e alle sue armoniche, tra le seconde vi sono tutti i dispositivi usati per le telecomunicazioni quali trasmettitori radiotelevisivi e stazioni radio base per telefonia mobile.

La conoscenza di questi impianti sul territorio è un elemento indispensabile per valutare lo stato ambientale. A questo fine è fondamentale la disponibilità di basi dati relative alla descrizione delle caratteristiche tecniche e alla georeferenziazione degli impianti e alle misure ad essi associate. In Arpa Piemonte è presente un archivio informatizzato sugli impianti per telecomunicazioni ed è in fase di predisposizione quello relativo alle linee di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica.

I fattori di pressione, rispetto agli scorsi anni, tendono a stabilizzarsi, ad eccezione degli impianti per telecomunicazioni che continuano a crescere soprattutto in seguito allo sviluppo e diffusione delle nuove tecnologie di telefonia mobile e della Tv digitale. Si osserva anche un netto miglioramento del sistema di monitoraggio e controllo dei livelli di inquinamento, in particolar modo per i campi a radiofrequenza, legato all'implementazione di reti con acquisizioni prolungate e di monitoraggi ripetuti nel tempo.

Sono riportati di seguito i dati di popolamento degli indicatori: i primi tre riguardano i campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF, frequenze da 0Hz a 10kHz), mentre i restanti si riferiscono alle radiofrequenze e microonde (RF-MW, frequenze da 100kHz a 300GHz).

12.1.1 Densità di impianti per telecomunicazioni

In figura 12.1 è riportato l'andamento negli anni della densità di impianti per telecomunicazioni presenti nelle diverse province del Piemonte, con i dati riferiti sia alle stazioni radio base (SRB) per telefonia mobile sia ai trasmettitori radiotelevisivi. I dati si basano sul numero di pareri e pronunciamenti rilasciati da Arpa. Questa informazione, nel caso delle SRB, può non corrispondere al numero di impianti di telefonia attivi sul territorio, in quanto alcuni tra gli impianti per i quali è stato richiesto e rilasciato un parere potrebbero non essere realizzati o non ancora attivi. Si ritiene comunque che tali fattori non incidano in modo significativo e che, pertanto, i dati riportati si possano associare, con buona approssimazione, anche alla distribuzione degli impianti presenti sul territorio e già attivati.

Si rileva un costante aumento negli anni della densità di impianti, sia per le SRB sia per le antenne Radio-Tv. La crescita è legata alla sempre maggiore diffusione della telefonia mobile e all'evoluzione tecnologica che porta ad un costante sviluppo delle reti. Per quanto riguarda gli impianti Radio-Tv la loro crescita è, in realtà, in parte apparente perché dovuta anche all'entrata in vigore della LR 19/04 che ha comportato l'emersione di impianti precedentemente non censiti.

12.1.2 Potenza complessiva degli impianti per telecomunicazioni

La pressione effettiva degli impianti per le telecomunicazioni sul territorio è legata all'intensità dell'emissione, la quale dipende principalmente dalla potenza di alimentazione degli impianti stessi. L'incremento del numero di impianti, discusso nel paragrafo precedente, ha come diretta conseguenza l'aumento della loro potenza complessiva che, negli ultimi anni, ha avuto l'andamento crescente riportato in figura 12.2.

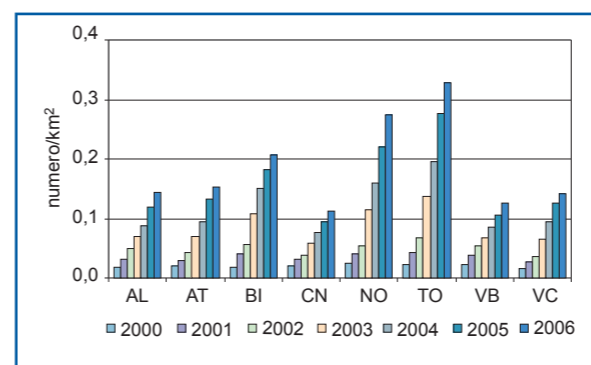
Si osserva inoltre che la potenza complessiva applicata agli impianti radiotelevisivi è maggiore rispetto a quella irradiata dalle stazioni radio base per telefonia mobile, nonostante queste siano in numero molto maggiore. Ciò è dovuto al fatto che la potenza di un impianto Radio-Tv è mediamente molto maggiore di quella di una SRB.

12.1.3 Interventi di controllo e monitoraggio a radiofrequenza

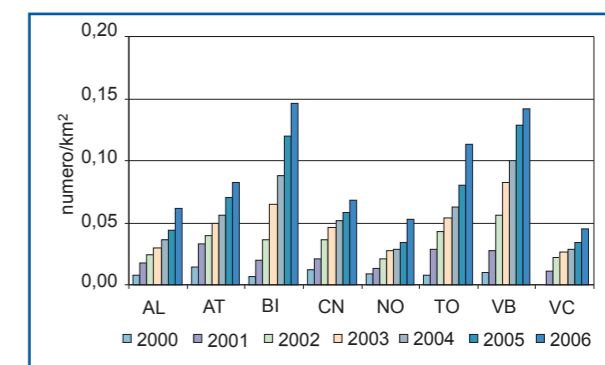
La misura dei livelli di campo elettromagnetico presenti nell'ambiente è un'attività di controllo che permette di valutare i livelli di esposizione della popolazione e di verificare il rispetto dei limiti di legge. Tra il 1999 e il 2006, sono stati effettuati 4.533 interventi di misura su tutta la regione (figura 12.3), di cui 846 nel 2006.

L'aumento di interventi registrato nel 2006 è legato al monitoraggio in continuo dei livelli di campo elettromagnetico

Figura 12.1 - Densità di impianti per telecomunicazioni: impianti di telefonia (a sinistra) e impianti radiotelevisivi a destra - anno 2006

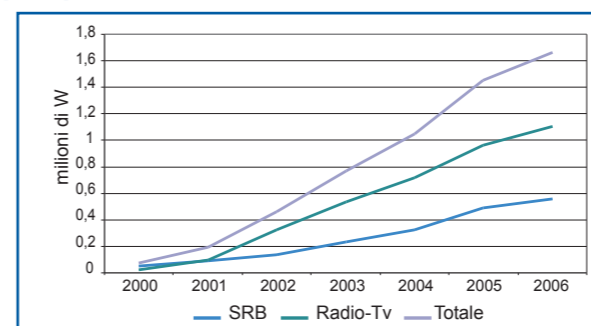


Fonte: Arpa Piemonte



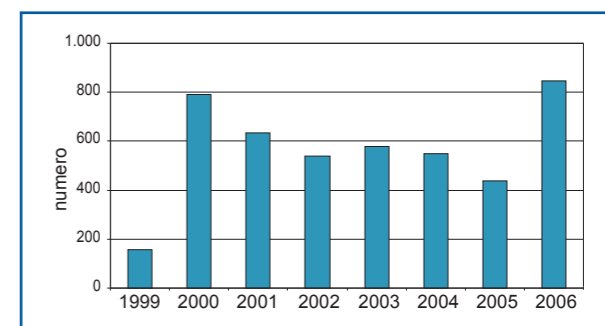
Fonte: Arpa Piemonte

Figura 12.2 - Andamento nel tempo della potenza complessiva degli impianti per telecomunicazioni - anni 2000-2006



Fonte: Arpa Piemonte

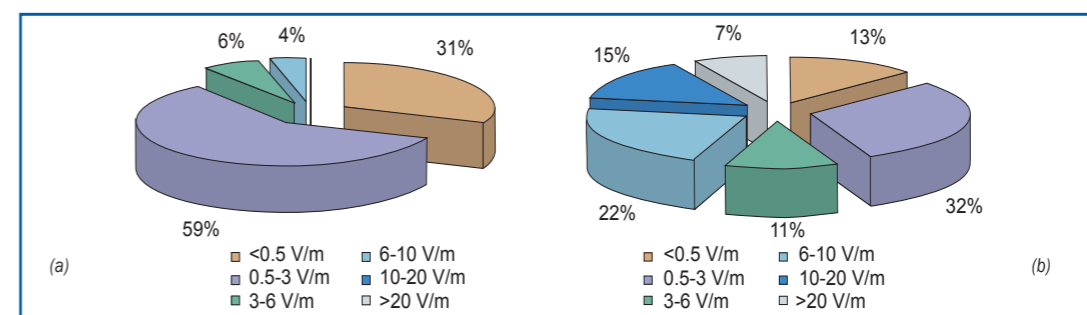
Figura 12.3 - Interventi di misura dei campi a radiofrequenza - anni 1999-2006



Fonte: Arpa Piemonte

Indicatore/Indice	DPSIR	Fonte dei dati	Unità di misura	Copertura geografica	Anno di riferimento	Disponibilità dei dati
Densità di impianti per telecomunicazioni	D	Arpa Piemonte	numero/km ²	Provincia Regione	2006	+++
Estensione linee elettriche	D	Arpa Piemonte	km/km ²	Regione	2006	++
Potenza complessiva dei siti con impianti per telecomunicazioni	P	Arpa Piemonte	Watt	Regione	2006	+++
Superamenti dei limiti e dei valori di attenzione	S	Arpa Piemonte	numero	Regione	2006	++
Interventi di misura per i campi a radiofrequenza	R	Arpa Piemonte	numero	Regione	2006	+++
Interventi di misura per campi a bassa frequenza	R	Arpa Piemonte	numero	Regione	2006	+++
Valutazioni teoriche e pareri preventivi per i campi a bassa frequenza	R	Arpa Piemonte	numero	Regione	2006	+++
Impianti di telecomunicazioni a cui è stato rilasciato parere/pronuncia	R	Arpa Piemonte	numero	Regione	2006	+++

Figura 12.4 - Distribuzione dei livelli di campo elettrico misurati in prossimità delle stazioni radio base (a), e in prossimità di antenne radiotelevisive (b) - anno 2006



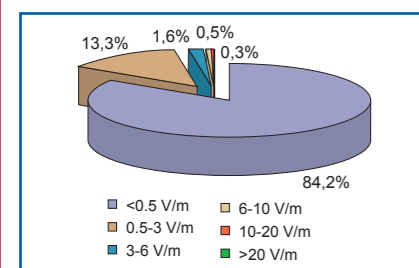
Fonte: Arpa Piemonte

Valori più elevati e superamenti del valore di attenzione e di esposizione sono stati riscontrati in prossimità di siti Radio - Tv

Box 1 - Distribuzione dei livelli di campo presenti sul territorio

Una delle maggiori fonti di conoscenza dei livelli di campo presenti mediamente sul territorio deriva da un'attività di monitoraggio effettuata con una rete di centraline fisse e rilocabili dislocate su tutto il territorio. Tale attività è stata svolta all'interno di un progetto finanziato dal Ministero delle Comunicazioni, coordinato a livello nazionale dalla Fondazione Ugo Bordoni, e finalizzato alla realizzazione di una rete nazionale di monitoraggio in continuo dei livelli di campo elettromagnetico, che sul territorio piemontese è stata organizzata e gestita da Arpa.

Livelli di campo misurati con centraline in modo capillare sul territorio

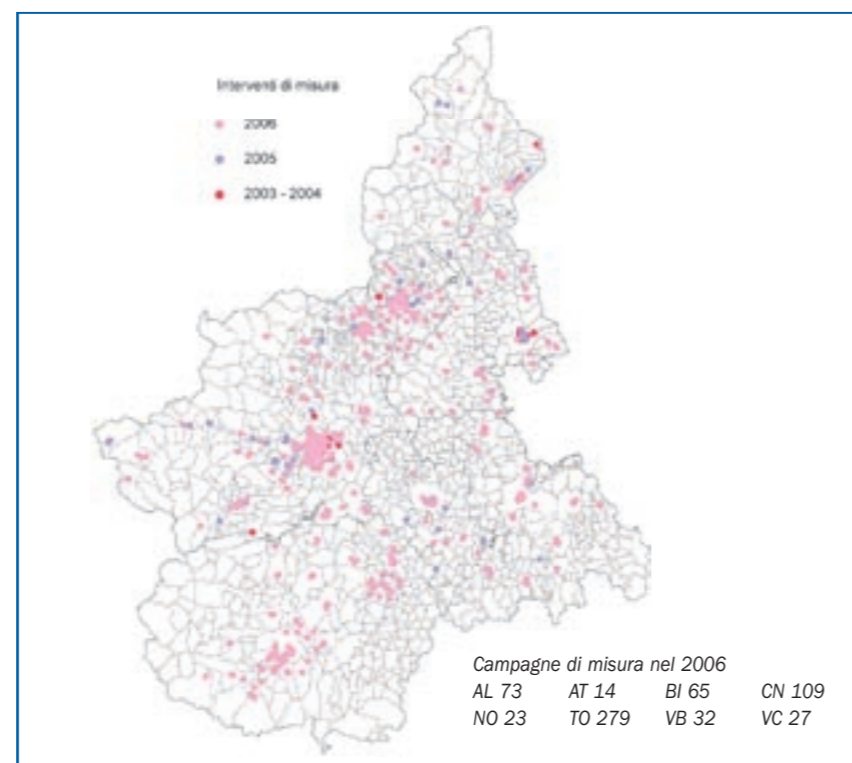


Fonte: Arpa Piemonte

Le centraline, posizionate per un periodo di circa 4 settimane in ogni sito, sono gestite da un centro di controllo remoto, posto presso la sede di Ivrea del Centro Regionale per le Radiazioni, al quale inviano giornalmente i dati via GSM.

In figura si riporta la distribuzione dei siti monitorati in Piemonte, per un totale di 847

Dislocazione delle centraline posizionate al 31/12/2006



Fonte: Arpa Piemonte

misure effettuate a partire dal 2003, di cui più di 600 nel 2006. Relativamente al 2006, le 645 campagne di misura sono state effettuate in 288 abitazioni private, 57 edifici o luoghi pubblici, 272 strutture scolastiche, 23 uffici o luoghi di lavoro e 5 strutture sanitarie o ospedaliere. I livelli di campo misurati sono pertanto rappresentativi dei livelli di esposizione della popolazione. Nella figura a sinistra è riportata la distribuzione dei livelli di campo misurati nei diversi siti con la rete di centraline nel 2006: nell'84% delle misure

i livelli di campo sono risultati inferiori a 0,5 V/m e nel 97,5% inferiori a 3 V/m, valore pari alla metà del valore di attenzione (6 V/m). Inoltre, non sono mai stati misurati livelli di campo superiori al limite di esposizione (20 V/m), mentre nello 0,3% delle misure si è rilevato il superamento del valore di attenzione. Dall'analisi di questi dati si evince, pertanto, che i livelli medi di esposizione della popolazione a campi elettromagnetici sono nella quasi totalità dei casi notevolmente inferiori ai valori limite.

eseguito all'interno del progetto coordinato a livello nazionale dalla Fondazione Ugo Bordoni (vedi box 1).

Dai risultati delle misure effettuate sul territorio si possono determinare le distribuzioni percentuali dei livelli di campo elettromagnetico presenti nelle diverse condizioni di esposizione. In questo paragrafo vengono illustrati solo i dati relativi ad aree vicine agli impianti, rappresentativi delle situazioni di maggiore esposizione e non dell'esposizione media della popolazione. Tali dati, rilevati a seguito di richieste specifiche dei cittadini o di azioni di controllo sugli impianti, sono riportati in figura 12.4 in termini di distribuzioni dei livelli di campo misurati in prossimità delle SRB (a) e in prossimità dei siti radiotelevisivi (b).

I livelli di campo rilevati in prossimità delle SRB sono mediamente inferiori a quelli rilevati in prossimità dei trasmettitori Radio-Tv, essendo maggiori le potenze utilizzate da questi ultimi impianti.

Nelle misure di controllo, effettuate in prossimità di SRB, non sono mai stati riscontrati superamenti del limite di esposizione di 20 V/m, mentre si è rilevato in un unico caso il superamento del valore di attenzione di 6 V/m (aree adibite a permanenza prolungata), che ha dato luogo ad un processo già concluso di riduzione a conformità. Complessivamente, tenendo conto anche delle aree dove non è applicabile il valore di attenzione (permanenze non prolungate), valori superiori a 6 V/m sono stati rilevati nel 4% delle misure. In generale, quindi, i livelli di campo elettromagnetico rilevabili in prossimità di SRB sono ampiamente inferiori al limite di esposizione, valore di attenzione

BOX 2 - Gli sviluppi tecnologici nel campo dei sistemi di telecomunicazione

L'enorme diffusione dei sistemi portatili di telecomunicazione quali computer portatili e palmari e la richiesta di velocità di connessione sempre maggiori ha reso possibile lo sviluppo dei sistemi "wireless" a larga banda quali il Wi-Fi (Wireless Fidelity) e il Wi-Max (Worldwide Interoperability for Microwave Access). I sistemi WiFi, operanti sulla banda dei 2,4GHz e 5GHz, rispondono allo standard IEEE 802.11 e utilizzano potenze di trasmissione non superiori a 1 W (EIRP) che consentono collegamenti fino a 300 m circa. Vengono normalmente utilizzati per fornire accessi Internet a larga banda con un bitrate

compreso tra 2 Mbit/s e 54 Mbit/s. Data la bassa potenza utilizzata, non presentano particolari problemi di inquinamento elettromagnetico. Diverso è il discorso per i sistemi Wi-Max (IEEE 802.16), utilizzati per integrare i sistemi WiFi e garantire l'interoperabilità, consentendo connessioni fino a 50 km con potenze di trasmissione fino a 20 W. Questi ultimi, ancora in fase sperimentale, presentano alcune problematiche per quanto concerne la misura dei campi elettromagnetici a causa della larghezza di banda utilizzata (tra 1,25 MHz e 20 MHz) ed è quindi in corso uno studio, nell'ambito di un gruppo CEI, sulle risposte dei sensori a segnali digitali a larga banda. Altro sistema di telecomunicazione è la televisione digitale per dispositivi portatili (DVB-H, ovvero Digital Video Broadcast

- Handheld). Si tratta di una nuova tecnologia di diffusione (broadcasting) che consente la fruizione di contenuti televisivi in mobilità su terminali portatili quali telefoni cellulari, PC portatili e palmari (PDA). Gli aspetti principali di questa tecnologia, derivata dalla televisione digitale terrestre (DVB-T), sono l'adozione di più efficaci metodi di compressione dei dati (MPEG4), l'utilizzo di modulazioni più resistenti alle interferenze (COFDM 4k) e lo sviluppo di sistemi per la riduzione del consumo delle batterie del dispositivo portatile (Time Slicing). Il sistema funziona operando una sinergia tra il fornitore del servizio televisivo (broadcaster) e il gestore di telefonia mobile che abilita il servizio implementando i propri impianti con antenne dedicate al servizio con potenze di trasmissione dell'ordine dei 10 W.

e obiettivo di qualità, indipendentemente dall'area considerata.

Valori più elevati sono stati misurati in prossimità di siti Radio-Tv. In questo caso, nel 31% delle misure si è riscontrato un superamento del valore di attenzione di 6 V/m, dove applicabile, a fronte di un totale del 44% di valori misurati superiori a 6 V/m. In circa il 7% dei casi si è inoltre rilevato il superamento del limite di esposizione di 20 V/m in aree accessibili alla popolazione anche se, spesso, scarsamente frequentate. E' da rilevare che la maggioranza di queste misure viene condotta in siti già considerati critici, nell'ambito dell'attività di istruttoria tecnica per il rilascio di pareri. Come già affermato in precedenza, la distribuzione di frequenza di questi valori di campo elettromagnetico non è, quindi, un dato rappresentativo dei livelli medi di esposizione presenti su tutta la regione, (per il qual dato si rimanda al box 1 relativo al monitoraggio Fondazione Ugo Bordone - FUB) Il numero di superamenti dei limiti fissati dal DPCM 08/07/2003 rilevati negli anni in prossimità dei trasmettitori radiotelevisivi e delle SRB per telefonia mobile è riportato in figura 12.5.

12.1.4 Pareri e pronunciamenti per l'installazione e modifica degli impianti fissi per telecomunicazioni

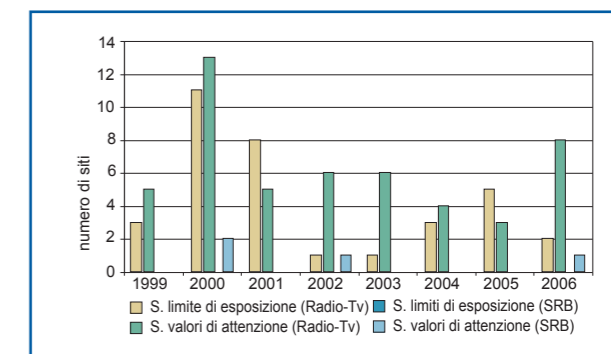
Sulla base delle valutazioni previsionali dei livelli di campo elettromagnetico emessi da un impianto nuovo o sul quale deve essere effettuata una modifica, Arpa verifica il rispetto dei limiti di legge e rilascia un parere tecnico o un pronunciamento (rispettivamente ai sensi della LR 19/04 e del DLgs 259/03).

Il numero totale di pareri e pronunciamenti rilasciati rappresenta un buon indicatore sia dell'attività di controllo svolta dall'Agenzia, in relazione alla richiesta normativa, sia dello sviluppo delle reti per telecomunicazioni. In figura 12.6 è riportato l'andamento negli anni di questo indicatore. Dal grafico è evidente che il numero di pratiche analizzate, per il rilascio di pareri tecnici, è sensibilmente aumentato nel corso degli anni, soprattutto tra il 1998 e il 2003. L'aumento rilevato nel 2005 è legato all'entrata in vigore della Legge Regionale 19/04 nell'agosto del 2004 e alla successiva regolarizzazione di molti impianti radiotelevisivi.

12.1.5 Sviluppo in chilometri delle linee elettriche in rapporto all'area

La distribuzione delle linee elettriche ad alta tensione, sul territorio piemontese, è sostanzialmente invariata rispetto agli anni precedenti. Le province con maggiore impatto da parte degli elettrodotti sono quelle di Torino e Novara, mentre un impatto decisamente inferiore, in rapporto

Figura 12.5 - Superamenti del valore di attenzione e dei limiti di esposizione dovuti alle antenne radiotelevisive e alle stazioni radio base - anni 1999-2006



Fonte: Arpa Piemonte

alla superficie totale, si verifica per le province di Biella, Asti e Cuneo. Si rimanda al RSA 2004 per la rappresentazione grafica della distribuzione delle linee. In **figura 12.7** viene riportato lo sviluppo delle linee elettriche per unità di area. Si osserva la netta preponderanza delle linee di distribuzione 132kV rispetto alle linee di trasmissione ad altissima tensione. Queste ultime, in numero abbastanza limitato, sono le linee che possono generare i livelli di esposizione più elevati e territorialmente estesi, mentre le prime, benché più numerose, sono spesso associabili a livelli di corrente mediamente più bassi e quindi a livelli di campo magnetico inferiori.

12.1.6 Interventi di monitoraggio per le basse frequenze

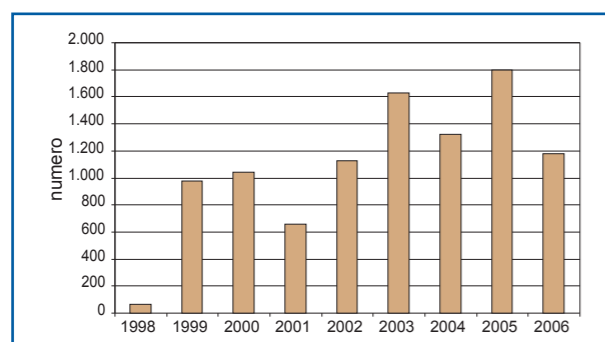
Al fine di valutare i livelli di esposizione della popolazione agli elettrodotti, nel 2006 sono stati effettuati 67 interventi di misura in tutta la regione, suddivisi fra esposti provenienti dai cittadini, richieste da parte di amministrazioni pubbliche e attività di monitoraggio. In **figura 12.8** è riportato l'andamento dell'indicatore negli anni: dopo l'aumento rilevato nel corso del 2000 e 2001, il numero di interventi di controllo si è assestato intorno a circa sessanta l'anno. L'aumento registrato negli anni 2000 e 2001 è legato alla campagna di misura dei livelli di campo magnetico nei luoghi per l'infanzia in prossimità di linee ad alta tensione svolta, su richiesta della Regione Piemonte, a seguito della Circolare del Ministero dell'Ambiente 3205/99/SIAR, al fine di confrontare i livelli esposizione presenti con il valore di 0.2 μ T preso come riferimento nella circolare stessa.

12.1.7 Valutazioni teoriche per le basse frequenze

Oltre all'attività di misura, il controllo sui livelli di campo elettrico e magnetico generati dagli elettrodotti viene effettuato tramite valutazioni teoriche e pareri preventivi, in particolare per rispondere a quanto previsto dal DPCM 08/07/2003 (per ciò che riguarda la verifica del rispetto dell'obiettivo di qualità nei nuovi fabbricati in prossimità di elettrodotti e per la costruzione di nuove parti di elettrodotti). Nell'anno 2006 sono state effettuate 33 tra valutazioni teoriche e pareri preventivi (**Figura 12.9**).

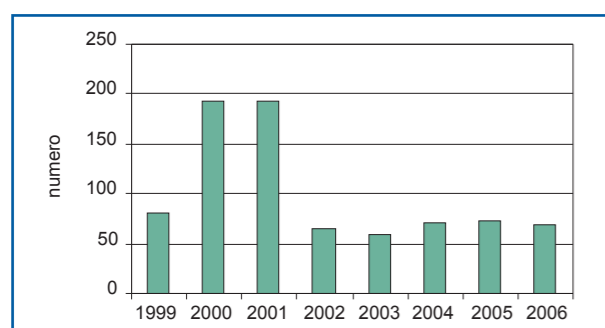
Sulla base delle valutazioni effettuate, suffragate dall'attività di misure sul campo sotto riportate, sono stati identificati alcuni siti (circa una decina sul territorio regionale) nei quali si può riscontrare il superamento del valore di attenzione per il campo magnetico (10 μ T) fissato dalla normativa vigente.

Figura 12.6 - Pratiche analizzate all'anno per il rilascio di pareri - anni 1998-2006



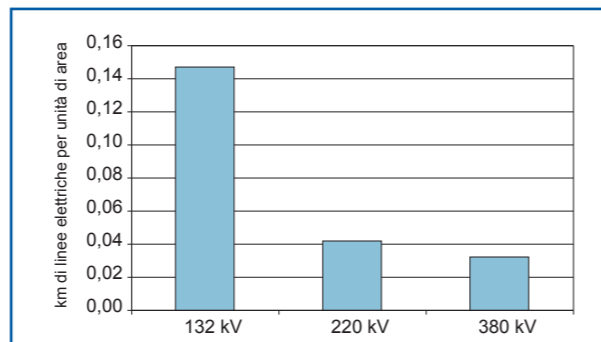
Fonte: Arpa Piemonte

Figura 12.8 - Interventi di misura dei campi elettrici e magnetici a bassa frequenza - anni 1999-2006



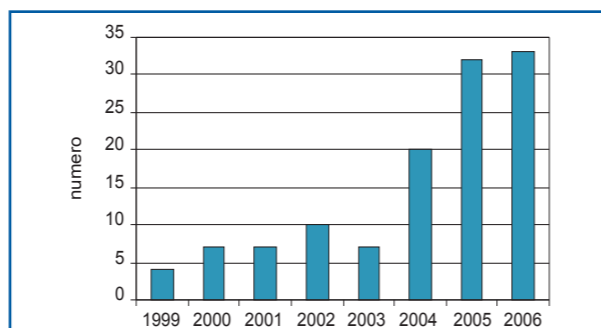
Fonte: Arpa Piemonte

Figura 12.7 - Sviluppo in km delle linee elettriche in rapporto alla superficie regionale - anno 2006



Fonte: Arpa Piemonte

Figura 12.9 - Valutazioni teoriche e pareri preventivi - anni 1999 - 2006



Fonte: Arpa Piemonte

12.2 RADIAZIONI IONIZZANTI

La presenza di tre siti nucleari sul territorio regionale e di numerose centrali nucleari in esercizio oltre confine determina una considerevole pressione sul territorio piemontese. Una fitta rete di monitoraggio radiologico ambientale - costituita non solo da una rete regionale e nazionale, ma anche da specifiche reti locali dei siti nucleari - consente di realizzare un sistema di controlli adeguato ai fattori di pressione presenti sul territorio. Oltre alle citate reti di monitoraggio radiologico ambientale, la recente istituzione di una rete Geiger di allerta (vedi box 3) per la rilevazione in tempo reale della dose in aria permette, inoltre, di ottimizzare i controlli e individuare tempestivamente anomalie radiologiche sia di origine nazionale che estera.

Le attività svolte nell'ambito delle radiazioni ionizzanti riguardano, inoltre, non solo la gestione delle reti di monitoraggio ma anche il controllo di sorgenti artificiali utilizzate in campo industriale, sanitario ecc., dei materiali radioattivi eventualmente rinvenuti nell'ambiente (tipico è il caso delle fonderie) e della radioattività di origine naturale, finalizzato soprattutto all'individuazione delle zone a rischio radon sul territorio piemontese.

Tutte le azioni di monitoraggio, oltre a permettere la tempestiva individuazione di eventi anormali, hanno lo scopo finale di valutare la grandezza "dose efficace" su cui si basa il sistema normativo nazionale e internazionale per la limitazione dell'esposizione della popolazione a radiazioni ionizzanti.

12.2.1 Reti regionale e nazionale di monitoraggio

Lo scopo delle reti di monitoraggio nazionale e regionale è quello di valutare la contaminazione ambientale da radionuclidi artificiali, individuando così eventuali incidenti radiologici o semplicemente seguendo l'andamento della contaminazione avvenuta in passato, in particolare quella dovuta all'incidente di Chernobyl del 1986. Nell'ambito delle reti di monitoraggio nazionale e regionale, previste dalla vigente normativa (art. 104 del DLgs 230/95) vengono analizzate matrici sia ambientali che alimentari, i cui risultati vengono utilizzati per il calcolo della dose media relativa al territorio piemontese e per lo studio approfondito di alcune realtà territoriali. Infatti il monitoraggio effettuato attraverso le reti, oltre al fine sanitario del rispetto dei limiti di dose stabiliti dalla normativa, è utilissimo per conoscere la distribuzione degli inquinanti radioattivi nell'ambiente e l'eventuale dispersione o accumulo in zone o matrici particolari.

La scelta della tipologia e del numero delle matrici è effettuata sulla base di indicazioni provenienti dall'APAT (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente e i Servizi Tecnici) e dalla Regione.

Reti regionale e nazionale di monitoraggio - radon

Indicatore/Indice	DPSIR	Fonte dei dati	Unità di misura	Copertura geografica	Anno di riferimento	Disponibilità dei dati
Concentrazione di Cesio-137 nelle matrici alimentari	S	Arpa Piemonte	Bq/kg	Puntuale	2006	+++
Concentrazione di Cesio-137 nelle matrici ambientali	S	Arpa Piemonte	Bq/kg	Puntuale	2006	+++
Concentrazione di radon indoor	S	Arpa Piemonte	Bq/m ³	Regione	2006	++
Dose efficace	I	Arpa Piemonte	mSv/anno	Regione	2006	+++

Reti locali di monitoraggio dei siti nucleari

Indicatore/Indice	DPSIR	Fonte dei dati	Unità di misura	Copertura geografica	Anno di riferimento	Disponibilità dei dati
Impianti nucleari	D	Apat	numero	Puntuale	2007	+++
Impianti nucleari: attività di radioisotopi rilasciati in aria e in acqua	P	Apat, Sogin, Deposito Avogadro	Bq	Puntuale	2006	+++
Quantità di rifiuti radioattivi e combustibile irraggiato detenuti	P	Apat, Sogin, Deposito Avogadro	Bq	Puntuale	2006	+++
Concentrazione di attività di radionuclidi in matrici ambientali e alimentari	S	Arpa Piemonte	Bq/kg Bq/l Bq/m ² Bq/m ³	Puntuale	2006	+++
Dose efficace media agli individui dei gruppi critici in un anno	I	Arpa Piemonte	mSv/anno	Locale	2006	+++
Attuazione delle reti locali di sorveglianza della radioattività ambientale	R	Arpa Piemonte	numero campioni	Regione	2006	+++

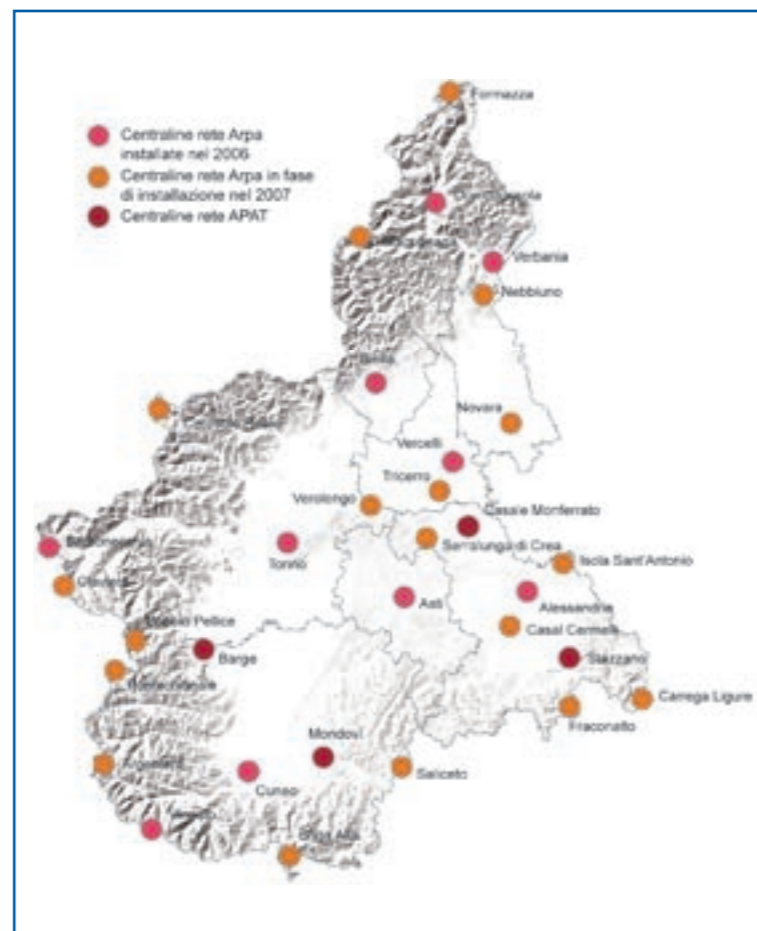
Luca Albertone
Donatella Bianchi
Enrico Chiaberto
Maria Clivia Losana
Mauro Magnoni
Laura Porzio
Arpa Piemonte

Mauro Magnoni
Maria Clivia Losana
Donatella Bianchi
Stefano Bertino
Brunella Bellotto
Rosamaria Tripodi
Maura Ghione
Paolo Rabbia
Sonia Gastaldo
Arpa Piemonte

BOX 3 - Rete Geiger di allerta per la misura della dose gamma in aria

Arpa ha deciso di installare una rete di monitoraggio della radiazione gamma che, a regime, sarà basata su 29 sensori Geiger-Mueller ad elevata sensibilità, disposti lungo l'arco alpino e nei principali centri urbani della regione. Tale rete, integrata con le centraline meteo, anch'esse gestite da Arpa, consente di ottenere, in tempo reale, i dati sui livelli di radioattività ambientale in tutto il territorio del Piemonte. L'installazione di reti di monitoraggio della radioattività ambientale che operano in tempo reale sono infatti ormai un'esigenza imprescindibile nelle moderne società industriali. La segnalazione tempestiva di anomalie radiometriche è infatti di fondamentale importanza per poter gestire al meglio emergenze nucleari o radiologiche. Per il Piemonte questa esigenza è particolarmente rafforzata dalla peculiare collocazione geografica: oltre confine, in Francia e in Svizzera, sono infatti operative (a una distanza inferiore ai 200 km) ben 6 impianti elettronucleari, per un totale di circa 20 reattori potenzialmente attivi.

Dose gamma in aria - anni 2006-2007

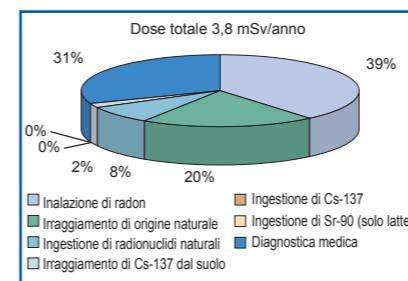


Fonte: Arpa Piemonte

di decadimento a vita breve, che concorrono per il 39 % alla dose totale (vedi Box 4).

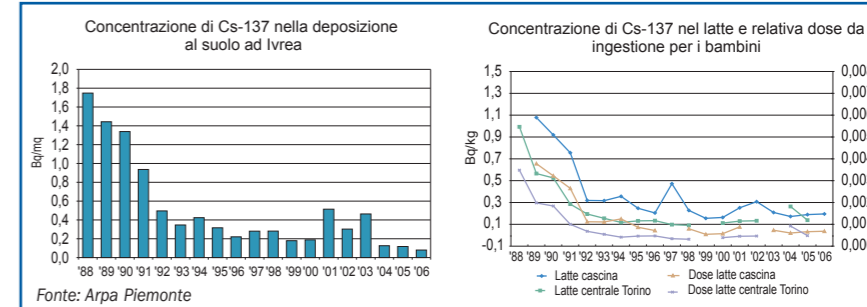
Una particolare tipologia di controlli riguarda le acque potabili. Il DLgs 31/01, infatti, relativo ai controlli sulle acque destinate al consumo umano, stabilisce un limite per la concentrazione di trizio e per la dose totale indicativa da ingestione. Mentre per il trizio, i bassi livelli misurati in tutti i comparti ambientali rendono non necessaria l'esecuzione di sistematici controlli sulle acque potabili, per la dose totale indicativa si deve procedere a verifiche puntuali. Per una prima valutazione di questo parametro, vengono effettuate analisi di screening di attività alfa totale e beta totale. Solo nel caso in cui le concentrazioni superino i valori di soglia raccomandati a livello internazionale (0,5 Bq/kg per l'attività alfa totale e 1 Bq/kg per l'attività beta totale), vengono disposte analisi più approfondite, volte all'identificazione dei singoli radioisotopi. D'altra parte, sia nel corso del 2005 che nel corso del 2006 non sono state riscontrate concentrazioni superiori a tali valori soglia in alcun campione analizzato (vedi Box 5).

BOX 4 - Andamento della concentrazione di Cs-137 in alcune matrici ambientali e alimentari (1988-2006)



Fonte: Arpa Piemonte

Attualmente le concentrazioni di Cs-137 nelle matrici alimentari e ambientali, dopo una rapida diminuzione negli anni immedia-



tamente successivi all'incidente di Chernobyl, si sono attestate su valori più o meno stabili, che variano da frazioni di Bq/kg ad alcuni Bq/kg a seconda delle matrici. Nelle matrici ambientali in genere le concentrazioni sono maggiori che in quelle alimentari. Nelle figure sono riportate le concentrazioni di Cs-137

in alcune matrici. Si osserva come la dose da ingestione sia diminuita nel corso degli anni parallelamente alla diminuzione del Cs-137 nelle matrici alimentari. Ai fini della dose complessiva, tuttavia, la radioattività artificiale è decisamente secondaria rispetto alla radioattività naturale.

Tabella 12.1 - Alcune matrici analizzate nell'ambito delle Reti di monitoraggio della radioattività ambientale

Matrici ambientali			Matrici alimentari		
Matrice	Scopo principale	Periodicità minima di misura	Matrice	Scopo principale	Periodicità minima di misura
Particolato atmosferico	individuazione incidenti	giornaliera	Latte	valutazioni dosimetriche	mensile
Deposizione al suolo	individuazione incidenti	mensile	Carne	valutazioni dosimetriche	mensile
Suolo	diffusione inquinanti	semestrale	Pesce	diffusione inquinanti	semestrale
Acque superficiali	diffusione inquinanti	trimestrale	Funghi	diffusione inquinanti	semestrale
DMOS* fluviale	diffusione inquinanti	semestrale	Alimenti per l'infanzia	valutazioni dosimetriche	semestrale

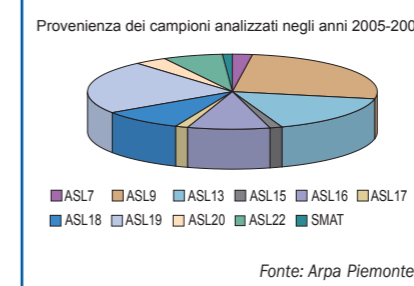
* Detrito Minerale Organico Sedimentabile: è il particolato in sospensione trasportato dalle acque fluviali

Negli ultimi anni il numero totale dei campioni analizzati si è attestato intorno a un valore di circa 700 (escludendo le misure effettuate per servizio o per conto di privati). L'unico radionuclide artificiale ancora oggi facilmente rivelabile è il Cs-137, immesso nell'ambiente in modo massiccio a seguito dell'incidente di Chernobyl (1986) o dei test nucleari in atmosfera (anni '50-'60 del secolo scorso).

Le concentrazioni di questo radionuclide, dopo una rapida diminuzione negli anni immediatamente successivi all'incidente di Chernobyl, si sono ora attestate su livelli più o meno stabili, che vanno dalla frazione di Bq/kg, per le matrici alimentari, alla decina di Bq/kg, per alcune matrici ambientali. La dose alla popolazione non è tuttavia influenzata in modo significativo dal Cs-137 diffuso nell'ambiente, essendo per la maggior parte dovuta alla radioattività di origine naturale, in special modo dall'inalazione di gas radon e dei suoi prodotti

BOX 5 - Analisi su campioni di acque destinate al consumo umano ai sensi del DLgs 31/01

Le analisi di attività alfa e beta totale sono funzionali alla valutazione della dose totale indicativa da ingestione di acqua, su cui il DLgs 31/01 pone il limite di 0,1 mSv/anno. A livello internazionale sono stati stabiliti dei valori di concentrazione di screening di attività alfa e beta totale. Tali valori sono di 0,5 Bq/kg per l'attività alfa totale e 1 Bq/kg per l'attività beta totale. Concentrazioni inferiori a tali valori garantiscono nella quasi totalità dei casi il



rispetto del limite di dose. Nel corso del 2005 e del 2006, su un totale di 256 analisi, non sono state riscontrate concentrazioni superiori a tali valori.



12.2.2 Le reti locali di monitoraggio dei siti nucleari

Il Piemonte ospita sul proprio territorio tre siti nucleari presso i quali hanno sede, unico caso in Italia, impianti rappresentativi di tutto il ciclo del combustibile nucleare.

Gli impianti si trovano tutti in stato di fermo e si stanno avviando le prime operazioni propedeutiche al decommissioning degli stessi.

Luca Albertone
Laura Porzio
Arpa Piemonte

Tabella 12.2 - Gli impianti nucleari piemontesi

Sito nucleare	Impianto	Tipologia
Bosco Marengo (AL)	Ex FN-SOGIN	Fabbricazione combustibile nucleare
Trino (VC)	Centrale "E. Fermi"-SOGIN	Impianto di potenza
Saluggia (VC)	Eurex-SOGIN	Riprocessamento combustibile irraggiato
	Deposito Avogadro	Deposito temporaneo combustibile irraggiato

Attività di radioisotopi rilasciati in aria e in acqua

Gli impianti rilasciano nell'ambiente effluenti radioattivi liquidi e aeriformi nel rispetto di precise formule di scarico assegnate in sede autorizzativa.

Arpa Piemonte, in accordo con Apat e con gli esercenti, effettua controlli sistematici sui campioni di effluenti liquidi, al fine di verificare il rispetto delle formule di scarico, e indagini ambientali specifiche in occasione di ogni scarico. Per quanto riguarda gli effluenti aeriformi il monitoraggio ambientale viene effettuato tramite postazioni di campionamento di particolato atmosferico.

Le formule di scarico sono in media impegnate per piccole frazioni.

Tabella 12.3 - Impegno delle formule di scarico per effluenti radioattivi liquidi

Impianto	Impegno formula di scarico anno 2005	Impegno formula di scarico anno 2006
Eurex-Sogin - Saluggia	0%	0,006%
Deposito Avogadro - Saluggia	39%	0%
Centrale "E. Fermi" -Trino	9,2% (dati Sogin)	3,4% (dati Sogin)
Ex FN - Bosco Marengo	1,1%	1,45%

Quantità di rifiuti radioattivi e combustibile irraggiato

Il Piemonte ospita attualmente il 69% dei rifiuti radioattivi presenti sul territorio nazionale. Questi rifiuti, allo stato solido e liquido, derivano dal funzionamento pregresso degli impianti. La quantità di rifiuti radioattivi solidi e, nel caso dell'impianto Eurex di Saluggia, anche di rifiuti liquidi è rimasta invariata rispetto al 2006 (RSA 2006). Le operazioni di *decommissioning* porteranno alla produzione di altri rifiuti radioattivi. Anche la quantità complessiva di combustibile nucleare irraggiato - pari al 19% di tutto il quantitativo nazionale - presente nelle piscine di stoccaggio della centrale "E. Fermi" di Trino, dell'impianto Eurex e del Deposito Avogadro di Saluggia è la stessa.

Dall'impianto di Bosco Marengo, invece, nel corso del 2006 è stato trasferito il combustibile fresco ancora stoccato (tabella 12.4).

Tabella 12.4 - Quantità di Uranio allontanata dal sito di Bosco Marengo (AL)

Materiale	Quantità	Attività	Modalità di trasporto
	t	GBq	
Uranio naturale	22,31	563,63	stradale
Uranio impoverito	15,85	237,53	stradale
Uranio arricchito	8,83	622,46	stradale

Concentrazione di attività di radionuclidi in matrici ambientali ed alimentari

La conoscenza dello stato di contaminazione dell'ambiente circostante i siti nucleari è condizione necessaria per la determinazione dell'equivalente di dose efficace ricevuto dagli individui dei gruppi critici della popolazione. Arpa gestisce tre reti locali di monitoraggio della radioattività ambientale (tabelle 12.5, 12.6, 12.7 e 12.8) che prevedono il prelievo periodico di matrici ambientali e alimentari in punti ritenuti significativi.

Dose efficace media agli individui dei gruppi critici

Utilizzando i dati di contaminazione delle matrici alimentari e ambientali, tenendo conto delle vie critiche individuate, è possibile effettuare, per ogni sito, una stima dell'equivalente di dose efficace ricevuta dagli individui dei gruppi critici della popolazione. Questa grandezza si è mantenuta al di sotto del limite per la non rilevanza radiologica - fissato dal DLgs 230/95 in 10 µSv per anno - anche presso il sito di Saluggia dove, a partire dal 2006, è stata riscontrata contaminazione da Sr-90 nell'acqua di falda superficiale (tabella 12.9).

Tabella 12.9 - Stima dell'equivalente di dose efficace al gruppo critico della popolazione di Saluggia (VC) per effetto della presenza di contaminazione da Sr-90 nell'acqua di falda superficiale.

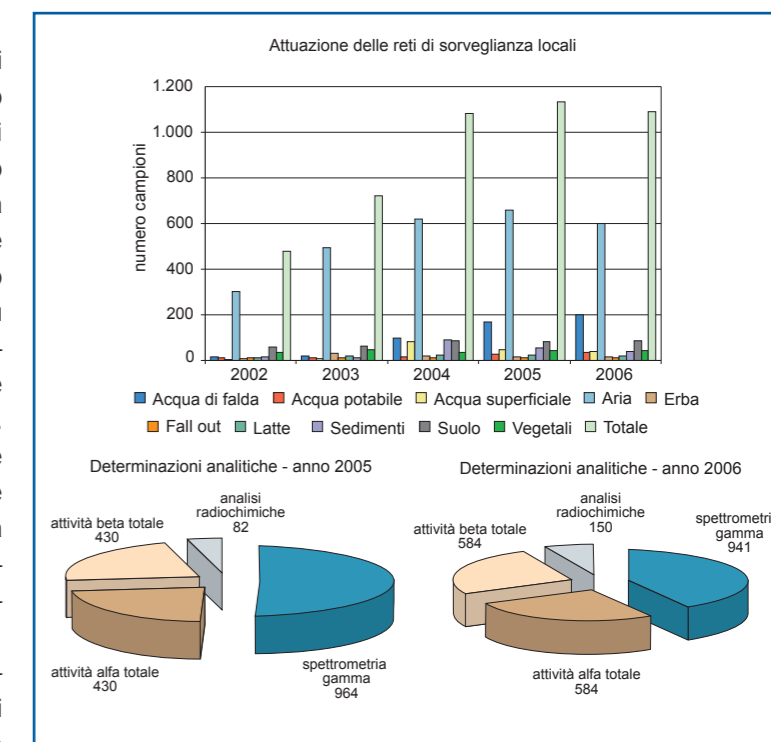
Via critica	Matrice	Dose - mSv/anno
Ingestione		0,0043
Irraggiamento	acqua di falda superficiale	-
Inalazione		-
Totale		0,0043
Limite non rilevanza radiologica		0,01
Limite di dose efficace		1

Fonte: Arpa Piemonte

Stato di attuazione delle reti locali di monitoraggio dei siti nucleari

Al fine di adeguare le reti locali di monitoraggio ai mutati assetti ambientali e alle nuove situazioni legate all'avvio delle operazioni di *decommissioning*, negli ultimi anni sono stati aggiornati tutti gli studi radioecologici e sono stati effettuati specifici approfondimenti in maniera sinergica tra i settori Radiazioni Ionizzanti, Geologico e Meteorologico di Arpa Piemonte che hanno permesso di caratterizzare e/o ridefinire i comparti ambientali più vulnerabili e le vie preferenziali di diffusione della contaminazione. Sono così emerse alcune criticità in funzione delle quali sono state ridefinite le strategie di controllo. Le reti locali di monitoraggio della radioattività ambientale dei siti di Trino e Bosco Marengo sono rimaste invariate per l'anno 2006, mentre presso il sito di Saluggia è stata ulteriormente potenziata la rete di monitoraggio straordinario mirata al controllo dell'acquifero superficiale affiancata alla rete locale ordinaria a partire dal giugno 2004. La figura 12.10 mostra l'evoluzione delle reti locali di monitoraggio dei siti nucleari. Il considerevole incremento di analisi radiochimiche nell'anno 2006 è correlabile alle azioni di controllo dell'acqua di falda messe in atto presso il sito di Saluggia.

Figura 12.10 - Evoluzione delle reti locali di monitoraggio dei siti nucleari



Fonte: Arpa Piemonte

Il considerevole incremento di analisi radiochimiche nell'anno 2006 è correlabile alle azioni di controllo dell'acqua di falda messe in atto presso il sito di Saluggia.

12.2.3 Il radon e la mappatura del rischio

Il radon è un inquinante naturale degli ambienti confinati. Provenendo principalmente dal suolo, tende ad accumularsi in abitazioni, luoghi di lavoro ed edifici specialmente se poco aerati. È radioattivo e può provocare, assieme ai suoi prodotti di decadimento a vita breve, il tumore al polmone. Per tale motivo è classificato dallo IARC-OMS nel gruppo 1 (massima evidenza di cancerogenicità).

In Italia si stima siano imputabili al radon ben 3.000 casi di tumore al polmone all'anno e ciò pone sicuramente tale inquinante al secondo posto, dopo il fumo di sigaretta, quale causa di neoplasie polmonari. Dal punto di vista sanitario l'interesse verso questo inquinante naturale degli ambienti confinati è quindi notevole.

Sotto l'aspetto normativo il radon è disciplinato nel DLgs 241/00, in attuazione alla Direttiva Europea Euratom 29/96. Le prescrizioni di questa legge riguardano solo i luoghi di lavoro anche se la loro applicazione, tuttavia, ha avuto ricadute più generali, stimolando di fatto lo studio della distribuzione territoriale del radon.

In tale Decreto è stabilito per il radon un Livello d'Azione per i Luoghi di Lavoro interrati di 500 Bq/m³. Superato tale livello si rendono perciò necessarie opere di bonifica tali da ridurre la concentrazione di attività e quindi l'esposizione dei lavoratori. Il Decreto impone inoltre alle Regioni di individuare l'eventuale presenza di "...aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon...", più sinteticamente indicate come aree a rischio radon, nelle quali l'obbligo della misura del radon è estesa anche ai luoghi di lavoro non interrati.

Nonostante l'assenza di indicazioni a livello nazionale sui criteri per la definizione delle suddette aree a rischio, la Regione, nel corso del 2005, ha incaricato ufficialmente Arpa di predisporre una proposta di classificazione del

Mauro Magnoni
 Enrico Chiaberto
 Franco Righino
 Salvatore Procopio
 Elena Serena
 Arpa Piemonte

rischio radon sul territorio piemontese. Attualmente, dunque, il principale compito di Arpa Piemonte in questo settore è quello di costruire una “mappa” che descriva la distribuzione territoriale del rischio radon. Per far ciò Arpa sta operando in varie direzioni, tra le quali si ricorda:

- effettuazione di nuove campagne di misura, al fine di ottenere nuovi dati a completamento dell'attuale database (tabella 12.10)
- indagini e valutazioni geologiche connesse al problema dell'emanazione del radon dal suolo e correlazione con le misure del radon (tabella 12.11)

Tabella 12.10 - Le misure del radon in aria

	Periodo	Totale misure
Abitazioni	1990 -2004	1.388
Scuole	2001-2006	649
Totale misure		2.037

Tabella 12.11 - Le misure di spettrometria gamma su campioni di rocce

Misura	Province	Periodo di campionamento	Punti di misura numero
Ricerca di radionuclidi naturali in campioni di rocce	Asti	2005 -2006	5
	Biella	2005 -2006	9
	Vercelli	2005 -2006	13
	Alessandria	2006 -2007	10
	Cuneo	2006 -2007	26
	Torino	2006 -2007	10
	Verbania	2006 -2007	Campionamenti in corso
Totale misure in campioni di rocce			73

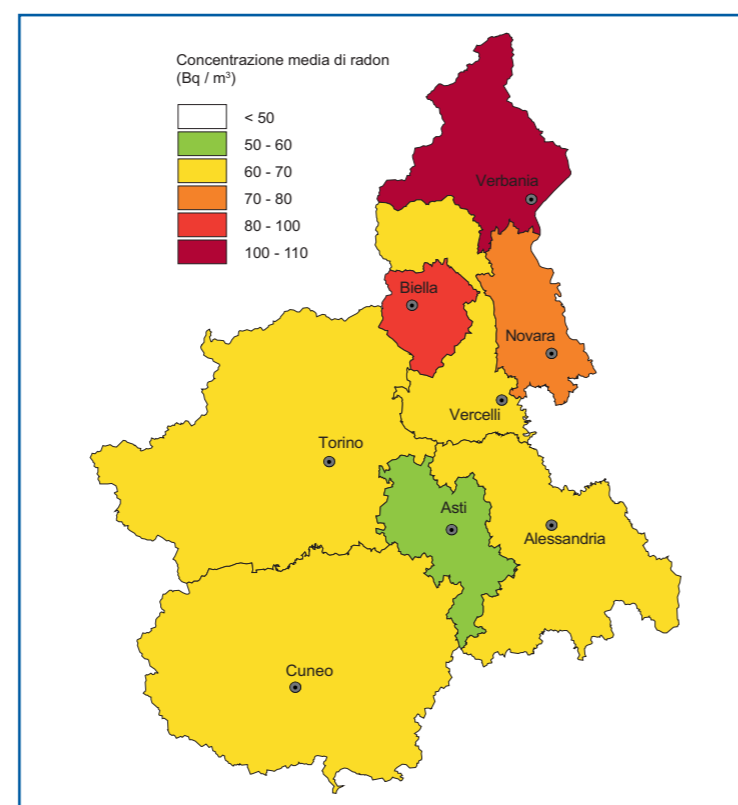
Fonte: Arpa Piemonte

Un aspetto di particolare interesse sviluppato durante il lavoro di elaborazione delle misure di radon, raccolte sul territorio, è stato l'armonizzazione dei dati rivolta alla definizione delle *aree a rischio radon*.

Partendo da una composizione eterogenea del campione sono state elaborate le distribuzioni di densità di probabilità lognormali al variare del piano dell'edificio, per poi ottenere la normalizzazione delle concentrazioni radon al piano terra.

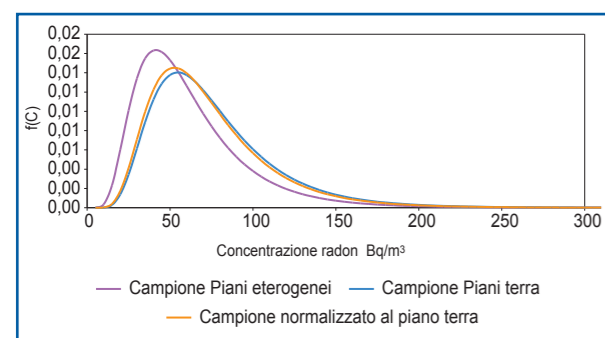
Possedere un campione di misure radon normalizzato al piano terra permette, infatti, di studiare e individuare eventuali correlazioni tra il radon e la litologia e geologia del suolo. La distribuzione ottenuta è risultata

Figura 12.12 - Bozza della mappa delle concentrazioni medie di gas radon su base provinciale - anno 2007



Fonte: Arpa Piemonte

Figura 12.11 - Distribuzione del radon. Campagna Nazionale normalizzazione al piano terra



Fonte: Arpa Piemonte

congruente con i soli dati originariamente già riferiti al piano terra, a garanzia dell'efficacia della normalizzazione operata sull'intero campione (figura 12.11).

Un'altra tematica di fondamentale importanza che si sta affrontando è lo studio e lo sviluppo dei criteri da utilizzare per l'individuazione delle aree a rischio radon.

In tal senso, una possibile scelta operativa, e in linea con i principi che hanno ispirato la normativa, potrebbe essere quella che si appella all'equità dell'esposizione al rischio, un concetto intrinseco alla radioprotezione. Poiché la normativa impone l'obbligo della misura nei luoghi di lavoro interrati, per i quali è possibile stimare la media a livello regionale, e poiché nelle aree individuate a rischio radon l'obbligo della misura è estesa anche ai piani non interrati, in linea di principio si può classificare a rischio quella porzione di territorio in cui la media al piano terra è maggiore o uguale a quella regionale per i soli piani interrati. Dai dati sperimentali, con riferimento al campione di misura della Campagna Nazionale Radon, si stima per il Piemonte una media ai piani interrati pari a 128 Bq/m³. Si potrà quindi considerare ad “alto rischio radon” la generica area la cui media ai piani terra è uguale o superiore a tale valore medio regionale ottenuto per i piani interrati.

A fronte del vantaggio dell'equità riguardo all'esposizione al rischio, una tale scelta potrebbe portare a grosse discrepanze da regione a regione: i valori delle medie regionali ai piani interrati potrebbero essere molto diverse tra loro. Si potrebbe forse superare il problema facendo valere il medesimo principio a livello nazionale, confrontando le medie locali con la media nei piani interrati nazionale.

In alternativa a questo approccio, si può dare una formulazione generica della condizione di “rischio radon” sulla base della maggiore probabilità, per una certa area, di superare, ad esempio, il Livello d'Azione (500 Bq/m³) fissato dalla normativa, tenendo conto anche della dose collettiva.

Sono attualmente in corso elaborazioni tendenti a verificare l'applicazione di questi diversi approcci teorici all'attuale database.

È importante aggiungere che la suddivisione del territorio regionale, adottata ai fini della presente opera di caratterizzazione territoriale, è quella che tiene conto sia dei confini amministrativi che litologici e geologici del Piemonte. La carta litologica piemontese è stata infatti sovrapposta ai dati radon e le concentrazioni radon medie sono state rielaborate partendo da una suddivisione amministrativa della regione, in prima analisi su base provinciale (figura 12.12) e quindi procedendo su base comunale. Perseguire l'obiettivo di fornire una mappa del rischio radon con dettaglio comunale è ritenuto di fondamentale importanza al fine di rendere lo studio maggiormente fruibile anche da parte delle amministrazioni locali.

Oltre ai compiti legati strettamente agli aspetti istituzionali, l'attività di Arpa si è rivolta ad approfondire ulteriori campi di particolare interesse:

- la messa a punto in laboratorio di metodiche e protocolli di misura
- lo studio e la messa in opera di azioni di bonifica
- la divulgazione del problema del radon
- lo studio del radon *outdoor* come tracciante di inquinanti atmosferici
- la partecipazione ad interconfronti nazionali e internazionali
- esposizioni a concentrazioni controllate in “camera radon”
- studio del radon in acqua (tabella 12.12)

Tabella 12.12 - Le misure del radon: campagne di misura in acqua

Misura	Campagne di misura	Periodo	Numero punti di misura
Radon in acqua	Provincia di Vercelli (acque potabili)	2003	28
	Canavese (acque potabili)	1999	184
	Val di Susa (acque potabili)	1998 -1999	27
	Acque minerali e termali	1997 -1998	56
	Acque minerali e termali (in corso)	2005-2006	15
Totale misure in acqua			310

Fonte: Arpa Piemonte

Bibliografia

DECRETO LEGISLATIVO 17 marzo 1995, n. 230. *Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti.* Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 136 del 13 giugno 1995.

DECRETO LEGISLATIVO 26 maggio 2000, n. 241. *Attuazione della direttiva 96/29 Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.* Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 203 del 31 agosto 2000.

DECRETO LEGISLATIVO 9 maggio 2001, n. 257. *Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.* Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 153 del 4 luglio 2001.

DECRETO LEGISLATIVO 2 febbraio 2001, n. 31. *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano.* Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n.52 del 3 marzo 2001.

REGIONE PIEMONTE Assessorato alla assistenza sanitaria, 1994. *Indagine sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni del Piemonte.* A cura del Laboratorio di Sanità pubblica Sezione fisica USSL n. 40 Ivrea (ora Arpa).

ISS-ANPA ISTISAN, 1994. *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni.* Congressi 34, Roma, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004. *Guidelines for Drinking-water Quality.* Third Editionon.

RACCOMANDAZIONE 2000/473/Euratom.

APAT, 2006. *Annuario dei dati ambientali.*

www.arpa.piemonte.it (Campi elettromagnetici e radiazioni ionizzanti)