

5.4 Radiazioni

Il termine 'radiazione' viene utilizzato per indicare generalmente qualunque propagazione di energia da un punto all'altro dello spazio che non abbia necessità di un contatto diretto o del trasferimento di energia ad un mezzo interposto.

Rientrano in questa definizione i campi elettromagnetici alle varie frequenze (ionizzanti e non ionizzanti) e le particelle (elettroni, protoni, neutroni ecc.) che rappresentano i costituenti elementari della materia: entrambi infatti si propagano anche nel vuoto. Non rientra invece in questa definizione il rumore, che per propagarsi ha bisogno di un mezzo.

I campi elettromagnetici sono una componente fondamentale della nostra vita; la luce visibile, la radiazione ultravioletta, le onde radio, le microonde sono tutti esempi di radiazioni di campi elettromagnetici con diverse energie. Gli scambi di energia tra le varie componenti dell'atomo e tra atomi diversi sono anch'essi governati da campi elettromagnetici di diverse frequenze.

Sciami di particelle elementari raggiungono la Terra dagli spazi cosmici, come residuo delle reazioni termonucleari che hanno luogo nelle stelle e in particolar modo nel Sole. La crosta terrestre stessa è ricca di elementi radioattivi, la cui disintegrazione produce particelle elementari (radiazione alfa e beta) e campi elettromagnetici sotto forma di radiazione gamma.

Tutti gli esseri viventi utilizzano, in maniera diretta o indiretta, la componente visibile del campo elettromagnetico, la luce, senza la quale non sarebbe possibile la vita sulla terra; tutti si sono perlomeno adattati, anche senza utilizzarle, alle altre componenti dello spettro di radiazioni emesso dal Sole e alle radiazioni cosmiche.

Nell'ultimo secolo alle radiazioni dovute al fondo naturale si sono aggiunte quelle prodotte dalle attività umane, utilizzate per gli scopi più vari nelle attività produttive, in medicina, nello scambio di informazioni e, massicciamente, nella vita domestica; se inquinamento significa brusca variazione antropogenica dello stato 'normale' della natura, indipendentemente dall'esistenza di effetti nocivi per la specie umana o per altre specie, allora ha sicuramente senso parlare di inquinamento da radiazioni in tutte le aree antropizzate della Terra.

5.4.1 Radiazioni ionizzanti

Con il termine *radiazioni ionizzanti* ci si riferisce alle radiazioni in grado di rompere - direttamente o indirettamente - il legame che tiene gli elettroni uniti in un atomo, creando così degli ioni positivi e negativi.

L'energia necessaria per il processo di ionizzazione dipende dall'atomo coinvolto, e viene convenzionalmente posta a 12 elettronvolt (12 eV); sono dunque radiazioni ionizzanti tutte le particelle elementari con energia superiore a 12 eV, compresi i fotoni del campo elettromagnetico di energia superiore a 12 eV, corrispondente ad una frequenza situata nella fascia della radiazione ultravioletta.

Non sono ionizzanti i campi elettromagnetici di frequenza inferiore (radiazione visibile, radiofrequenze, ecc.).

Le radiazioni ionizzanti possono essere generate da apparecchiature (acceleratori di particelle, apparecchi a raggi X) o provenire dalla disintegrazione del nucleo dell'atomo. Gli atomi i cui nuclei disintegrano emettendo radiazioni ionizzanti sono detti radionuclidi e la loro attività (numero di decadimenti in un dato intervallo di tempo) diminuisce in maniera percentualmente costante con il passare del tempo, tanto che a ciascun radionuclide viene associato un periodo di emivita, variabile a seconda del radionuclide da frazioni di secondo a miliardi di anni, periodo nel quale l'attività iniziale si riduce della metà. L'unità di misura della radioattività è il Becquerel (Bq): 1 Bq è pari a 1 disintegrazione al secondo.

Il danno associato alle radiazioni ionizzanti è di due tipi:

graduato, non stocastico, tipico delle irradiazioni forti e di breve durata, che si verifica solo se è superato un determinato valore, detto soglia di dose. Al di sopra della soglia il danno è praticamente certo; la gravità del danno cresce al crescere della dose di radiazioni assorbita, ed è modificata dalla sua diluizione nel tempo.

stocastico, che si verifica con una probabilità tanto maggiore quanto maggiore è stata la dose assorbita: è la probabilità del danno, non la sua gravità, ad essere in relazione con l'esposizione alle radiazioni. Questo tipo di danno può verificarsi anche a dosi molto piccole (non è definita una soglia) e può manifestarsi anche dopo molti anni dall'irradiazione. L'induzione di tumori è un tipico esempio di danno stocastico: le radiazioni ionizzanti sono uno dei primi agenti cancerogeni accertati.

La grandezza fisica cui si fa riferimento in relazione agli effetti sull'uomo delle radiazioni ionizzanti è la quantità di energia depositata per unità di massa, tenuto conto del tipo di radiazione e della diversa radiosensibilità di organi e tessuti, denominata *dose*, la cui unità di misura è il Sievert (Sv).

Una stima dei vari contributi alla dose collettiva (la somma delle dosi individuali, espressa in Sv-uomo) alla popolazione mondiale dal 1945 al 1992 è riportata in figura 5.4-1.

Il maggior contributo all'esposizione della popolazione alle radiazioni ionizzanti è dato dal fondo naturale di radiazione, formato dall'insieme delle radiazioni provenienti dallo spazio esterno (radiazione cosmica) e delle radiazioni provenienti dai radionuclidi naturali. Sono infatti presenti in natura più di 60 radionuclidi, di origine primordiale, associati quindi alla formazione della Terra, o di origine cosmogenica, cioè risultanti dalle interazioni delle radiazioni provenienti dagli spazi cosmici.

Ripartizione dei contributi alla dose alla popolazione

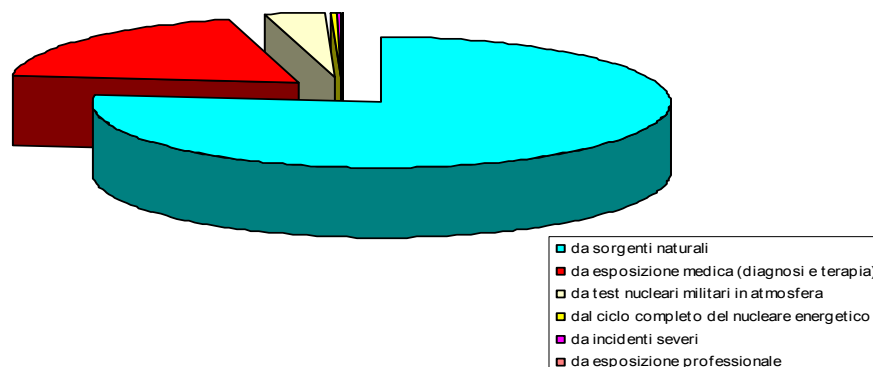


Figura 5.4-1 Contributi alla dose collettiva alla popolazione mondiale derivanti da tutti gli eventi verificatisi nel periodo 1945-1992

Alcuni radionuclidi sono dunque naturalmente presenti nelle acque, nel suolo e anche nell'uomo; i più abbondanti sono riportati nella seguente tabella:

Nuclide	Simbolo	Emivita
Uranio 238	U^{238}	4.47×10^9 anni
Torio 232	Th^{232}	1.41×10^{10} anni
Radio 226	Ra^{226}	1.60×10^3 anni
Radon 222	Rn^{222}	3.82 giorni
Potassio 40	K^{40}	1.28×10^9 anni
Carbonio 14	C^{14}	5730 anni
Tritio	H^3	12.3 anni
Berillio 7	Be^7	53.28 giorni

Tabella 5.4-1 Elenco e caratteristiche dei principali radionuclidi naturali

Alcuni radionuclidi primordiali, come U^{238} , danno luogo ad una lunga catena di discendenti che in un campione di materiale che non abbia subito manipolazioni sono

tutti presenti con la medesima attività. Della catena di U^{238} fanno parte Ra^{226} e il gas Rn^{222} e i discendenti di quest'ultimo, che ha come vedremo una particolare rilevanza sanitaria.

Tra le sorgenti di origine artificiale, le sorgenti che maggiormente contribuiscono all'esposizione umana sono quelle impiegate in medicina per diagnosi o terapia, siano esse sostanze radioattive (in forma libera o sigillate) o apparecchiature radiogene (apparati per diagnostica a raggi X, apparati per terapia quali gli acceleratori di particelle).

Gli impieghi medici delle sostanze radioattive devono essere considerati con particolare attenzione dal punto di vista ambientale; infatti queste sostanze somministrate ai pazienti potrebbero essere reimmesse nell'ambiente sotto forma di rifiuti, prodotti dal paziente stesso o residuati dalla manipolazione del farmaco. Bisogna dunque esercitare un controllo dell'intero ciclo della sostanza radioattiva, dalla somministrazione al paziente fino al suo naturale decadimento a quantità non significative.

Inquadramento normativo

Gli effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti sono stati studiati in maniera approfondita fin dagli inizi del secolo scorso. Da quando è stato chiaro che non esiste dose, per quanto piccola, alla quale non sia associato un rischio, la necessità di salvaguardare le salute dei lavoratori e della popolazione pur mantenendo i benefici derivanti alla collettività dall'impiego delle radiazioni ha portato alla formazione di un sistema di protezione articolato e concettualmente complesso. Esso si basa sulla formulazione di tre principi fondamentali, che sono alla base di tutte le normative.

Il Principio di giustificazione stabilisce che l'esposizione dell'individuo e della popolazione a dosi aggiuntive di radiazione è giustificabile solo se i benefici derivanti dalle pratiche che generano le dosi aggiuntive sono superiori all'insieme degli effetti negativi statisticamente prevedibili.

Il Principio di ottimizzazione stabilisce che - una volta comprovata la giustificazione - l'esposizione della popolazione deve essere mantenuta al livello più basso ragionevolmente ottenibile (principio ALARA = As Low As Reasonably Achievable), tenendo anche conto dei fattori economici e sociali.

Il Principio di limitazione del rischio individuale si pone a valle dei due principi precedenti e afferma che le dosi individuali, anche se ammissibili sulla base dei principi di giustificazione e di ottimizzazione, non devono comunque eccedere specifici limiti determinati, in relazione all'intera durata della vita, in base ai coefficienti nominali di rischio e per confronto con i rischi accettati nella industria convenzionale.

La normativa nel campo delle radiazioni ionizzanti è integrata nella normativa comunitaria, e si compone di un insieme molto articolato di norme; il testo base è il DLgs 230/95, integrato con il DLgs 241/00 che recepisce le novità introdotte dalle ultime direttive EURATOM in materia di protezione dei lavoratori e della popolazione, collegato a numerosi decreti applicativi, alcuni dei quali ancora da emanare.

E' utile ricordare anche che la prima normativa organica sulla materia è

rappresentata dal DPR 185 del 13 febbraio 1964 e relativi decreti applicativi, in alcune parti ancora in vigore.

Il DLgs 230/95, integrato con il DLgs 241/00, presenta i seguenti punti fondamentali:

- sono accettati i principi generali di radioprotezione (giustificazione, ottimizzazione, rispetto dei limiti) e sono stabiliti i criteri di definizione di una pratica radiologica (capo I: Campo di applicazione. Principi generali di protezione dalle radiazioni ionizzanti)
- sono disciplinate le attività lavorative nelle quali vi è un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori o di persone del pubblico a causa della presenza di sorgenti naturali di radiazioni (capo III-bis Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni)
- è definito un Regime giuridico per importazione, produzione, commercio, trasporto e detenzione delle materie radioattive (Capo V)
- è definito un sistema autorizzativo per tutte le sorgenti di radiazioni, comprendente anche disposizioni particolari per i rifiuti radioattivi (Capo VI)
- il capo VIII stabilisce la normativa per la protezione sanitaria della popolazione, stabilendo i limiti di esposizione a radiazioni ionizzanti da rispettare, il regime di sorveglianza medica, gli obblighi dei lavoratori e dei datori di lavoro.
- il capo IX si occupa della protezione sanitaria della popolazione, stabilendo i limiti da rispettare, e occupandosi anche dei controlli sulla radioattività ambientale.
- il capo X disciplina gli interventi, sia per quanto riguarda i piani di emergenza, sia per quanto riguarda l'informazione della popolazione

Monitoraggio ed indicatori

Vengono esaminati nel seguito gli indicatori monitorati a Padova in relazione alle radiazioni ionizzanti:

- *Percentuale attesa di abitazioni con concentrazione di radon superiore al livello di riferimento*
- *Concentrazione di Cs¹³⁷ nel latte vaccino*
- *Concentrazione radionuclidi nel fall-out*
- *N° trattamenti con radionuclidi effettuati*
- *Concentrazione di radionuclidi nei reflui in ingresso e uscita dal depuratore*

Le sorgenti naturali: il Radon

Il Radon (Rn) è un elemento radioattivo naturale appartenente al gruppo dei gas nobili, prodotto dal decadimento di radionuclidi primordiali (Uranio e Torio), presenti sulla terra fin dalla sua origine.

Il Radon è presente naturalmente nel suolo, nelle rocce, nelle falde acquifere e nei materiali da costruzione. In quanto gas, il radon è in grado di muoversi e fuoriuscire dal terreno (principale sorgente di radon) e propagarsi facilmente nell'ambiente. Mentre in spazi aperti viene diluito e disperso rapidamente, in ambienti chiusi, quali le abitazioni, può accumularsi con facilità raggiungendo talvolta concentrazioni elevate.

Il gas Radon tende a decadere in una sequenza di altre sostanze radioattive che attraverso la respirazione penetrano nei polmoni e tramite la loro irradiazione possono danneggiare i tessuti e agire come fattore cancerogeno; l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) classifica il Radon tra gli agenti cancerogeni per l'esposizione umana.

In Italia manca ancora una normativa riguardante il Radon negli ambienti abitativi; la regione Veneto ha recentemente stabilito tramite una Delibera della Giunta Regionale (N. 79 del 18/1/02) un livello di riferimento pari ad una concentrazione media annua di 200 Bq/m³. Per gli ambienti di lavoro il DLgs 241/00 prevede altresì dei limiti per quanto riguarda le esposizioni dovute a radionuclidi naturali, tra cui il radon, il cui livello di riferimento è posto ad una concentrazione pari a 500 Bq/m³.

Nella nostra regione, la principale sorgente di Radon è data dal suolo, le cui caratteristiche nel comune di Padova (suolo di tipo alluvionale) non sono particolarmente favorevoli alla fuoriuscita del Radon.

Il principale indicatore collegato al Radon è la concentrazione media annua di gas nelle abitazioni, normalizzata al piano terra; per quanto riguarda il Comune di Padova nel 1989-90 sono state svolte nell'ambito di una campagna nazionale una serie di misure di radon nelle abitazioni, i cui risultati in termini di concentrazione sono riportati nella tabella seguente, accanto ai valori regionali.

	n.abitazioni	Concentrazione (Bq/m ³) media aritmetica	Concentrazione (Bq/m ³) media geometrica
Padova	23	79	70
Veneto	360	72	64

Figura 5.4-2 Concentrazione di gas radon nelle abitazioni

La distribuzione dei valori misurati è riportata nell'istogramma seguente.

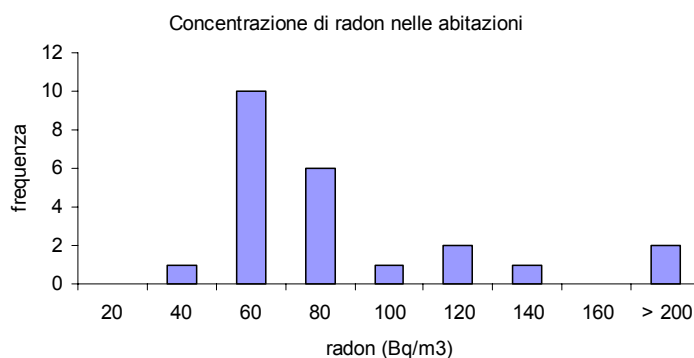


Figura 5.4-3 Concentrazione di gas Radon nelle abitazioni

Di un certo interesse è anche la stima attraverso tecniche statistiche della percentuale attesa di abitazioni del comune di Padova con livelli superiori a 200 Bq/m^3 , che risulta pari al 4% (dati normalizzati al piano terra).

La ricaduta radioattiva

Anche a Padova, come in tutto il resto del Veneto, viene effettuato il monitoraggio della concentrazione di radionuclidi artificiali presente nelle principali matrici alimentari e ambientali dopo l'incidente alla centrale di Chernobyl. Nella Figura 5.4-4 viene riportato l'andamento della concentrazione di Cs^{137} nel latte vaccino campionato nella provincia di Padova dal 1988 in poi.

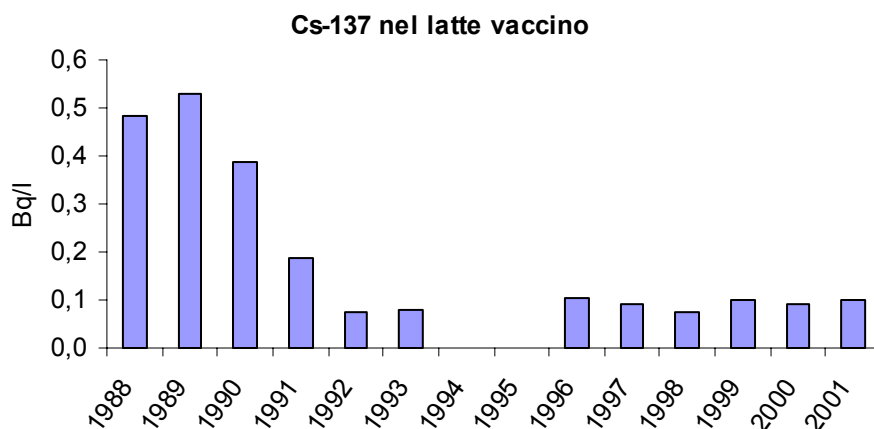


Figura 5.4-4 Concentrazione di Cs^{137} nel latte vaccino

Dal secondo semestre del 2001 viene inoltre regolarmente monitorata a Padova la concentrazione di radionuclidi presente nelle deposizioni umide e secche (fall-out), che permette il controllo delle ricadute di radionuclidi artificiali. Le concentrazioni di Cs^{137} rilevate nell'ultimo semestre del 2001 sono riportate in Fig. 5.4-5.

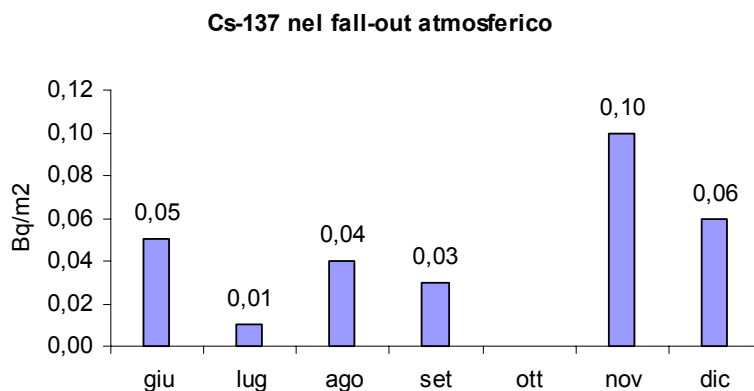


Figura 5.4-5 Concentrazione di Cs^{137} nel fall-out atmosferico nel secondo semestre 2001

Le sorgenti artificiali di radiazioni ionizzanti impiegate a Padova

Padova è caratterizzata dalla presenza di due strutture sanitarie di notevole importanza, l'Azienda Ospedaliera di via Giustiniani, convenzionata con l'Università di Padova per le attività di studio, di ricerca e di assistenza medico-sanitarie, e l'ULSS 16 che raggruppa l'Ospedale S. Antonio, l'Ospedale Geriatrico e le strutture territoriali. Sono inoltre presenti Laboratori e Cliniche private che utilizzano radiazioni per scopi diagnostici.

Le sorgenti di radiazioni ionizzanti utilizzate nelle strutture sanitarie possono essere distinte in apparecchiature radiogene e sostanze radioattive, utilizzabili in ambedue i casi per scopi diagnostici o terapeutici.

Le apparecchiature radiogene sono installate in ambienti opportunamente schermati in modo da garantire il rispetto dei limiti previsti dalla normativa per la protezione della popolazione; la maggior parte delle apparecchiature radiogene è concentrata nelle strutture ospedaliere.

L'impiego delle sostanze radioattive per terapia presso l'Azienda Ospedaliera di Padova è riassunto relativamente all'anno 2001 nella Tabella 5.4-2.

Radionuclide	n. pazienti	Attività massima MBq	Tipo trattamento
I¹³¹	374	5500*	Carcinoma tiroideo
I¹³¹	88	920	Ipertiroidismo
Sr⁸⁹	19	148*	Metastasi ossee

*: pazienti ricoverati i cui liquidi biologici non vengono smaltiti direttamente in ambiente

Tabella 5.4-2 Sostanze radioattive artificiali impiegate a scopo medico in Padova nel 2001 (fonte: Servizio di Fisica Sanitaria dell'Azienda Ospedaliera)

Il monitoraggio della concentrazione di radioattività presente nel sistema fognario viene regolarmente effettuato a Padova fin dal 1991, prima dall'ULSS 16 e successivamente dall'ARPAV.

Il principale radionuclide identificato è I¹³¹, per quale il limite di concentrazione è di 370 Bq/l per gli scarichi in fognatura, mentre il limite di concentrazione nelle acque superficiali è di 12 Bq/l. La concentrazione di radioattività rilevata all'uscita del depuratore è sempre risultata compatibile con il limite di legge per le acque superficiali; il monitoraggio della concentrazione in ingresso ha individuato sporadicamente delle punte isolate, collegabili con ogni probabilità ai pazienti in terapia con I¹³¹ e comunque inferiori a 370 Bq/l.

Per quanto riguarda il forno inceneritore sono state effettuate delle valutazioni della concentrazione radioattiva presente al camino, che risulta trascurabile. Dal 1992 il forno inceneritore è dotato di una linea di controllo dei colli in ingresso, per verificare l'attività in essi presente. Se quest'ultima supera la soglia di rilevabilità, il collo non viene accettato.

5.4.2 Le radiazioni non ionizzanti

Con il termine radiazioni non ionizzanti viene considerata tutta la gamma di frequenze del campo elettromagnetico (vedi Figura 5.4.6) che va da zero (campi elettrici e magnetici statici) fino a qualche eV (ultravioletto), e che comprende le radiazioni a bassissima frequenza generate dalla rete di distribuzione dell'energia elettrica, le radionde, le microonde e la radiazione visibile e ultravioletta.

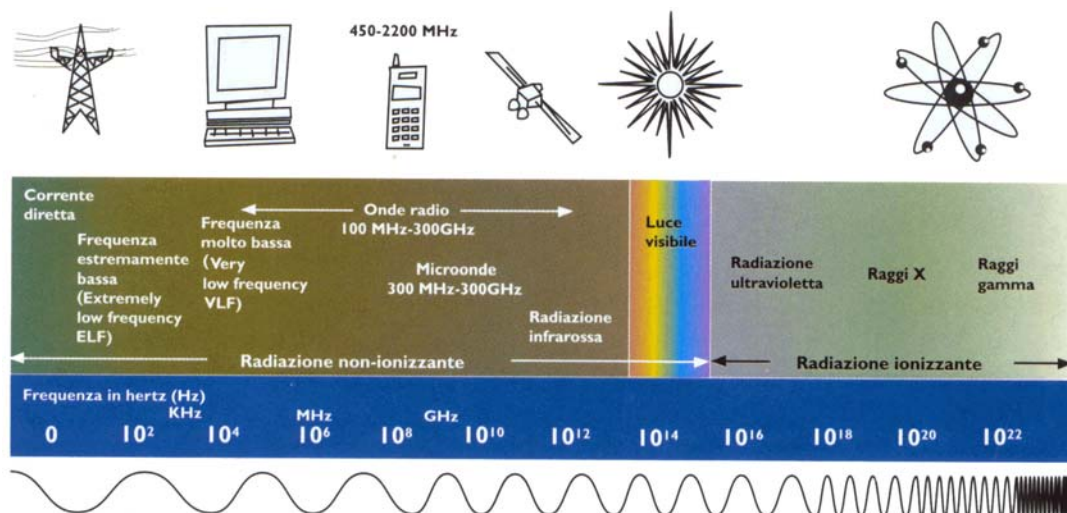


Figura 5.4-6 Lo spettro del campo elettromagnetico

Come è implicito nella definizione, si tratta di radiazioni che non possiedono l'energia sufficiente a ionizzare un atomo.

I loro effetti sui materiali cambiano moltissimo al cambiare della frequenza: per i campi statici e di bassissima frequenza gli effetti sono legati allo spostamento delle cariche elementari e alle correnti indotte, per le radiofrequenze gli effetti sono prevalentemente associati all'assorbimento di energia da parte delle strutture molecolari e al suo rilascio sotto forma di calore, per la luce visibile e ancor di più per l'ultravioletto è possibile l'eccitazione degli elettroni più esterni degli atomi, e il conseguente riassetto con emissione di energia.

Gli effetti delle radiazioni non ionizzanti sull'organismo umano sono ancora più variati: per la radiazione visibile e ultravioletta sono da sempre noti gli effetti sul sistema visivo e sulla cute, e sono attualmente studiati gli effetti modulanti della luce alle varie frequenze sull'attività dell'intero organismo. Per le radiofrequenze sono ben noti e studiati i danni provocati dall'assorbimento di calore, danni possibili solo al di sopra di una certa soglia, mentre non c'è ancora accordo sull'esistenza e sull'entità di danni risultanti da effetti di tipo non termico¹. Per le ELF l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha attivato da qualche anno un progetto di ricerca per valutare tutti gli effetti sulla salute dei campi ELF, progetto che verrà concluso nel 2002-2003. Le radiazioni ELF sono attualmente classificate dalla IARC (Agenzia Internazionale dell'OMS per la Ricerca sul Cancro) come possibile cancerogeno, categoria nella quale è compreso il caffè, e non come probabile cancerogeno (come i fumi dei motori Diesel) né tantomeno come cancerogeno accertato, come le radiazioni ionizzanti, l'amianto e il tabacco.

Per quanto riguarda le radiofrequenze l'OMS, pur concordando sull'assenza di evidenze di danno al di sotto delle soglie indicate per gli effetti termici, stima che esistano ancora delle lacune nella definizione del rischio, che potranno essere colmate nei prossimi 3-4

¹ Si fa riferimento in particolare alle conclusioni dell'ICNIRP (International Commission for Non Ionizing Radiation Protection)

anni.

A differenza delle radiazioni ionizzanti, per le radiazioni non ionizzanti l'apporto delle radiazioni generate artificialmente dall'uomo è notevole: infatti l'intensità dei campi elettromagnetici di origine naturale nelle frequenze da 0 a 300 GHz è parecchie migliaia di volte inferiore a quella rilevabile mediamente negli ambienti antropizzati.

E' a questa componente del campo elettromagnetico che ci si riferisce quando si parla di *inquinamento elettromagnetico*.

Per la luce visibile la natura dispone di una sorgente senza confronto per intensità, cioè il Sole; nel periodo diurno dunque le sorgenti artificiali non perturbano apprezzabilmente l'ambiente.

Nel periodo notturno invece la situazione è profondamente diversa, tanto che è lecito parlare di un *inquinamento luminoso*, particolarmente importante nei centri urbani e con riflessi non solo sull'ambiente ma anche su alcune importanti attività umane, come l'astronomia.

Inquadramento normativo

La normativa italiana vigente risente della situazione di incertezza che caratterizza attualmente la valutazione degli effetti delle radiazioni non ionizzanti. La normativa infatti considera come limiti solo i valori proposti dall' ICNIRP, ma ipotizza un'applicazione del 'principio di precauzione' a valori inferiori, definiti per ora solo per le radiofrequenze.

Nel 2001 è stata approvata la Legge Quadro (Legge 22 febbraio 2001), che definisce gli ambiti di competenza e il quadro autorizzativo, ma demanda sia la definizione dei limiti che le norme per l'autorizzazione delle singole attività a successivi decreti attuativi, ancora da emanare.

Restano dunque in vigore i limiti definiti dalle norme precedenti.

E' comunque interessante rilevare come la Legge Quadro, coerentemente con il principio di precauzione, distingua tra limiti e valori da non superare in nome del principio stesso, definisca i seguenti concetti:

- › **limiti di esposizione** valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti
- › **valori di attenzione** valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo
- › **obiettivi di qualità** valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo

In realtà per le radiofrequenze già il DM 381/98 fissa dei limiti in accordo con i principi informativi della legge quadro: esso infatti stabilisce in tutte le zone aperte al pubblico dei limiti in sostanziale accordo con le raccomandazioni ICNIRP, mentre negli ambienti abitativi¹ vengono definiti dei 'valori di cautela' sensibilmente inferiori, riconducibili a pieno titolo ai 'valori di attenzione' definiti dalla Legge Quadro.

La Legge regionale 29/93 regola l'installazione degli impianti per teleradiocomunicazione: per gli impianti con potenza compresa tra 7-150 W (es. stazioni radio base per telefonia cellulare) è prevista solamente la comunicazione dell'avvenuta installazione al competente Dipartimento Provinciale dell'ARPAV, mentre per potenze superiori a 150 W (es. impianti radiotelevisivi) prevede l'autorizzazione preventiva del Presidente della Provincia, con il parere tecnico dell'ARPAV.

Il Comune di Padova ha predisposto un regolamento, attualmente in fase di approvazione, per regolamentare l'installazione di stazioni per telefonia cellulare e favorire la pianificazione annuale delle installazioni.

Per le ELF generate da linee elettriche sono tuttora in vigore il DPCM 23 aprile 1992 "*Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*", integrato dal DPCM 28 settembre 1995 "*Norme tecniche procedurali di attuazione del DPCM 23 aprile 1992 relativamente agli elettrodotti*", che fissano limiti in accordo con le prescrizioni dell'ICNIRP e distanze tra le linee e gli edifici abitati calcolate per assicurarne il rispetto, sia pure in modo estremamente conservativo.

Nel Veneto è operativa dal gennaio 2000 la Legge Regionale 30 giugno 1993 (e successive modifiche e integrazioni) "*Prevenzione dei danni derivanti dai campi elettromagnetici generati da elettrodotti*", integrata dalle direttive contenute nella DGR n°1526 dell'11 aprile 2000 e dalla recentissima DGR 31 maggio 2002 n°1432.

Essa riguarda i nuovi elettrodotti di alta tensione e i nuovi piani regolatori relativamente a destinazioni d'uso residenziali (o comunque di tipo prolungato) in prossimità di elettrodotti esistenti, e fissa delle fasce di rispetto atte a garantire il non superamento di 0.2 uT per il campo di induzione magnetica e di 0.5 V/m per il campo elettrico.

Non stabilisce limiti di campo né valori di attenzione validi per le situazioni esistenti, e dunque non può essere utilizzata ai fini di un risanamento.

Nella Tabella 5.4-3 i limiti della normativa nazionale e i valori assunti come riferimento dalla normativa regionale vengono messi a confronto, per meglio evidenziarne la diversità; il DPCM fa infatti riferimento agli effetti acuti dei campi ELF, mentre la LR introduce, con criteri di stampo urbanistico, misure di prevenzione per i nuovi elettrodotti e le nuove aree residenziali in vicinanza di elettrodotti esistenti.

¹ edifici abitativi o ambienti di lavoro nei quali sia possibile la permanenza abituale per più di 4 ore al giorno

Normativa	Rif. Campo elettrico (kV/m)	Rif. Campo magnetico (μ T)	Distanze di rispetto
DPCM 23/4/92	5	100	132 kV: 10 m 220 kV: 18 m 380 kV: 28 m (*)
L R 27/93	0,5	0.2	132 kV: 40÷70 m 220 kV: 40÷80 m 380 kV: 70÷150 m(**)

(*) distanze dal conduttore

(**) distanze calcolate dalla proiezione sul terreno dell'asse della linea

Tabella 5.4-3 Confronto tra limiti e distanze della normativa regionale e nazionale

Per l'inquinamento luminoso, il Veneto ha adottato recentemente una normativa specifica, la Legge regionale 27 giugno 1997 n. 22, che prevede un piano regionale di prevenzione dell'inquinamento luminoso e impone ai Comuni l'adozione di piani comunali dettagliati.

Monitoraggio ed indicatori

Gli indicatori individuabili per le radiazioni non ionizzanti e utilizzabili in ambito urbano sono i seguenti:

- % di edifici esposti a campi ELF (utile per costruire l'indicatore di impatto “% di popolazione esposta”)
- % di edifici esposti a sistemi fissi per teleradiocomunicazioni

Sorgenti ELF: le linee elettriche di alta tensione

L'esposizione a campi magnetici a 50 Hz è collegata all'intensità di corrente circolante nei conduttori e alla vicinanza ai conduttori stessi.

Considerando la vicinanza ai conduttori, la sorgente più importante di esposizione è dunque rappresentata per la maggior parte della popolazione dalla rete interna alle abitazioni e dagli elettrodomestici collegati.

Una frazione della popolazione si troverà tuttavia esposta anche al campo magnetico derivante dalla rete di distribuzione dell'energia elettrica, convenzionalmente suddivisa in alta tensione (oltre 132 kV), media e bassa tensione.

La corrente trasportata dalla rete di distribuzione dell'energia elettrica assume i valori massimi (migliaia di Ampère) per le linee di alta tensione; mentre le linee di alta

tensione devono comunque mantenere una distanza minima di almeno 10 m dagli edifici, le linee di bassa tensione possono essere posizionate anche vicinissime ad essi, e dunque rappresentano sorgenti non trascurabili di esposizione.

ARPAV ha recentemente completato la mappatura degli elettrodotti di alta tensione per tutta la regione Veneto; una mappatura della rete di media e bassa tensione, molto più capillare, non è viceversa disponibile.

Padova è percorsa da più elettrodotti di alta tensione, riportati nella Tavola 5.4.1 dell'Atlante allegato. Come è evidente da un esame della Tavola 5.4.1, molte tratte delle linee elencate corrono in prossimità di edifici, pur nel rispetto delle distanze previste dalla normativa vigente.

Considerando le attuali incertezze nella definizione degli effetti a lungo termine e l'assenza, a tutt'oggi, dei decreti attuativi della Legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, si è ritenuto utile effettuare una valutazione degli edifici che ricadono nella fascia individuata dalla LR 27/93, individuazione beninteso non collegabile né a superamento di limiti né ad ipotesi di risanamento.

TENSIONE	Tipologia	Fascia di rispetto (m)	N°edifici
380 kV	DT non ottimizzata	150	259
380 kV	Terna singola	100	71
220 kV	Terna singola	70	167
132 kV	Terna singola	50	1932

Tabella 5.4-4 Edifici ricadenti nella fascia di rispetto

Si ritiene anche utile riportare qui l'esito del censimento dei 'siti sensibili', effettuato da ARPAV nel 1999 su richiesta del Ministero dell'Ambiente, dove per sito sensibile si intende qualunque sito collegato alla presenza di una comunità infantile (asili nido, scuole materne, elementari e medie, campi gioco) e posto ad una distanza inferiore a 150 m dall'asse di una linea elettrica aerea di alta tensione.

Il censimento ha portato ad individuare 26 siti sensibili nella provincia di Padova, siti nei quali sono state effettuate misure puntuali negli ambienti più esposti. In 10 di questi, 3 dei quali in comune di Padova, sono stati rilevati valori superiori a 0.2 uT.

Il risultato delle misure nei 3 siti in comune di Padova è riassunto nella Tabella 5.4-5.

E' interessante notare come valori paragonabili con quelli rilevati nel corso della campagna siano stati rilevati in una scuola di Salboro, situata al di fuori delle fasce di rispetto relative ad elettrodotti di alta tensione, in prossimità della linea di bassa tensione corrente in cavo interrato.

Tipologia sito	Località	uT media annuale
Scuola media	Pontevigodarzere	1.34
Scuola materna	Guizza	1.96
Scuola materna	Granze	1.44

Tabella 5.4-5 Media dei valori di campo magnetico rilevati in siti sensibili

Sorgenti a radiofrequenza

Le stazioni di diffusione radio e televisiva

Nell'ambiente esterno le sorgenti a radiofrequenza con maggiore potenza, e quindi maggior impatto potenziale sull'esposizione umana, sono quelle destinate all'emissione radio e TV. Esse tuttavia sono concentrate di norma al di fuori dei centri abitati; a Padova sono presenti solo 5 impianti di radiodiffusione, nell'intorno dei quali i controlli sperimentali effettuati da ARPAV hanno fatto rilevare valori ampiamente inferiori ai limiti e ai valori di cautela.

Sono invece presenti numerosi impianti di tipo direttivo, che assicurano la comunicazione da punto a punto, come i ponti radio. Questi non rappresentano un problema, dato che il fascio di radiazioni è estremamente collimato e, per le stesse necessità della comunicazione, non interseca alcun edificio.

Le stazioni di telefonia cellulare

La rete delle stazioni di telefonia cellulare ha caratteristiche ancora differenti; essa è distribuita sul territorio ed è costituita da un insieme di elementi, ognuno dei quali è in grado di dialogare con gli altri: le centrali di calcolo in grado di localizzare l'utente e di gestirne la mobilità, le centrali che fisicamente connettono le linee e le Stazioni Radio Base (SRB).

Ciascuna SRB è costituita da un insieme di antenne, operanti a frequenze comprese tra 900 e 1900 MHz, installate su appositi tralicci oppure su edifici, con modesti livelli di potenza (da 25 Watt per i sistemi GSM acirca 70 Watt per sistemi TACS). Ogni SRB interessa una porzione limitata di territorio, detta comunemente *cella*, con dimensioni inversamente proporzionali al numero di utenti servito.

Il campo elettromagnetico associato a ciascuna stazione è modesto e aumenta all'aumentare dell'altezza, come mostrato nella Figura 5.4-7

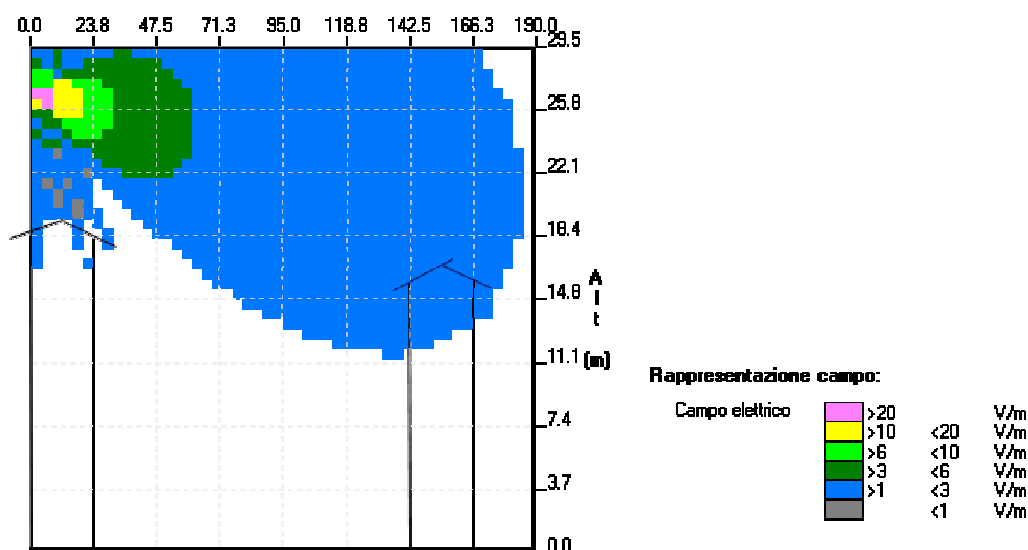


Figura 5.4-7 Mappa della distribuzione verticale del campo elettrico generato da una tipica SRB (distanze orizzontali e verticali in m)

Non ci sono dunque problemi per quanto riguarda il rispetto dei limiti di campo o dei valori di cautela da parte della singola stazione. I problemi possono invece sorgere dalla installazione non regolata e pressochè contemporanea di un gran numero di stazioni, afferenti a diversi gestori. Le necessità di espansione di questo tipo di comunicazione spingono infatti ad un'installazione più fitta nelle zone più densamente abitate; dato che i siti appetibili dal punto di vista radioelettrico sono in numero limitato, la sovrapposizione dei segnali di diverse stazioni può creare delle zone con valori di campo più elevati, la cui intersezione con i piani più alti degli edifici abitati deve essere valutata accuratamente.

Il Dipartimento di Padova di ARPAV ha effettuato, nel febbraio 2002, la mappatura del campo elettrico derivante dalle SRB installate e in fase di installazione su tutto il territorio comunale (Tavola 5.4.2), considerando i trasmettitori funzionanti alla massima potenza dichiarata, e adottando le approssimazioni di campo libero e campo lontano, che rappresentano una stima cautelativa della reale esposizione.

Il calcolo è stato effettuato su sezioni orizzontali con passo verticale di 1 m, partendo da 6 m rispetto alla quota al piede minima degli edifici presenti nell'area di analisi, fino alla quota in gronda massima degli stessi; su ogni sezione il calcolo è stato effettuato con passo orizzontale di 2 m. Sono stati considerati per ciascuna area di analisi da 17 a 45 sezioni orizzontali, corrispondenti a diverse quote s.l.m.

Nelle Tavole 5.4-3, 5.4-4, 5.4-5 sono riportate le mappe di campo elettrico sui tre livelli più significativi: 17 m s.l.m. (corrispondenti in media alle abitazioni al primo piano), 23 m (terzo piano), 29 m (quinto piano).

Sovrapponendo la mappatura alla carta tecnica regionale, e considerando le altezze degli edifici, è stato possibile verificare l'assenza di situazioni in cui viene superato il valore di cautela di 6 V/m. E' stato possibile anche evidenziare gli edifici per i quali era ipotizzabile il superamento del valore di 3 V/m, valore oltre il quale è necessario

procedere ad una verifica sperimentale; questi edifici risultano essere in totale 250, pari allo 0.4% degli edifici presenti nel comune.

L'individuazione degli edifici è il primo passo per la determinazione dell'esposizione della popolazione.

L'inquinamento luminoso

Con il termine inquinamento luminoso si intende l'alterazione della condizione naturale del cielo notturno dovuta alla luce artificiale. La diffusione di luce artificiale nel cielo pulito non dovrebbe aumentare la luminosità del cielo notturno oltre il 10% del livello naturale più basso in ogni parte dello spettro tra le lunghezze d'onda di 3.000 Å e 10.000 Å (Smith).

L'alterazione della luminosità notturna ha effetti su tutto l'ecosistema e influenza anche la salute degli esseri umani; essa inoltre rende più difficile, e a volte impossibile, l'osservazione del cielo. Ricordiamo che Padova ospita l'Istituto di Astronomia dell'Università, anche se ora l'Osservatorio Astronomico dell'Università è trasferito ad Asiago, e che in città è attivo l'Osservatorio del Gruppo Astrofili.

Si consideri inoltre che il fenomeno è determinato non dalla parte 'utile' della luce, ma dal flusso luminoso disperso verso il cielo (in media almeno il 25% ÷ 30% dell'energia elettrica degli impianti di illuminazione pubblica viene diffusa verso il cielo) e dunque un intervento sull'inquinamento luminoso contribuirebbe anche al risparmio energetico.

Come già detto, la Regione Veneto è una delle poche Regioni italiane che intervengono con una normativa (LR 22/97) che prescrive misure per la prevenzione dell'inquinamento luminoso "al fine di tutelare e migliorare l'ambiente, di conservare gli equilibri ecologici nelle aree naturali protette ... di promuovere le attività di ricerca e divulgazione scientifica degli osservatori astronomici".

La Legge delega ai Comuni la predisposizione, l'approvazione e l'aggiornamento del piano comunale dell'illuminazione pubblica, l'integrazione del regolamento edilizio con disposizioni concernenti la progettazione, l'installazione e l'esercizio degli impianti di illuminazione esterna e i relativi controlli.

Essa fornisce inoltre alcuni criteri progettuali per l'illuminazione esterna, che riportiamo integralmente:

1. Impiegare preferibilmente sorgenti luminose a vapori di sodio ad alta pressione.
2. Per le strade con traffico motorizzato, selezionare ogniqualvolta ciò sia possibile i livelli minimi di luminanza ed illuminamento consentiti dalle normative UNI 10439.
3. Evitare per i nuovi impianti l'adozione di sistemi di illuminazione a diffusione libera o diffondenti o che comunque emettano un flusso luminoso nell'emisfero superiore eccedente il tre per cento del flusso totale emesso dalla sorgente.
4. Limitare l'uso di proiettori ai casi di reale necessità, in ogni caso mantenendo l'orientazione del fascio verso il basso, non oltre i sessanta gradi dalla verticale.
5. Adottare sistemi automatici di controllo e riduzione del flusso luminoso, fino al cinquanta per cento del totale, dopo le ore ventidue, e adottare lo spegnimento programmato integrale degli impianti ogniqualvolta ciò sia possibile, tenuto conto

delle esigenze di sicurezza.

Nella Figura 5.4-8 si riporta una mappa redatta dall'Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL) in cui è rappresentato il rapporto tra la luminosità artificiale del cielo e quella naturale media (rapporto dei rispettivi valori di luminanza, espressa come flusso luminoso (in candele) per unità di angolo solido di cielo per unità di area di rivelatore).

Al nero corrisponde una eccedenza della luminanza artificiale inferiore al 5% di quella naturale, al blu tra il 6% e il 15%, al verde scuro tra il 16 e il 35%, al verde chiaro tra il 36 e il 110% e al giallo 1.1-3 volte, all'arancio 3-10 volte, al rosso 10-30 volte, al magenta 30-100 volte e al bianco oltre 100 volte i livelli di luminanza naturali.

Si può notare che l'area di Padova è caratterizzata dal rosso e quindi da un incremento di luminosità da 10 a 30 volte il livello naturale; nella stessa area nel 1971 l'incremento di luminosità era inferiore a 3 volte.

5.4.3 Conclusioni

La peculiarità di Padova nel settore delle radiazioni ionizzanti è data essenzialmente dalla presenza di un grosso centro di radioterapia e dal conseguente impiego di sostanze radioattive per la cura dei pazienti: il monitoraggio dei reflui nel depuratore comunale consente di tenere sotto controllo le immissioni nell'ambiente.

Per quanto riguarda le radiazioni non ionizzanti, la concentrazione di attività commerciali e di popolazione determina una notevole concentrazione di stazioni radio base per telefonia cellulare, e innalza conseguentemente il campo elettrico mediamente presente, soprattutto ai piani alti delle abitazioni. Nessun edificio risulta esposto a valori superiori al valore di cautela (6 V/m), ma 250 edifici (pari allo 0.4%) risultano ricadere nella fascia compresa tra 3 e 6 V/m.

Il censimento del numero di edifici ricadenti nelle fasce di rispetto circostanti gli elettrodotti di alta tensione ha permesso di individuare più di 2000 edifici potenzialmente esposti a livelli di campo magnetico superiori a 0.2 uT a causa delle linee di alta tensione.

Per valutare l'impatto, entrambi i dati devono essere integrati con una stima della popolazione residente negli edifici.

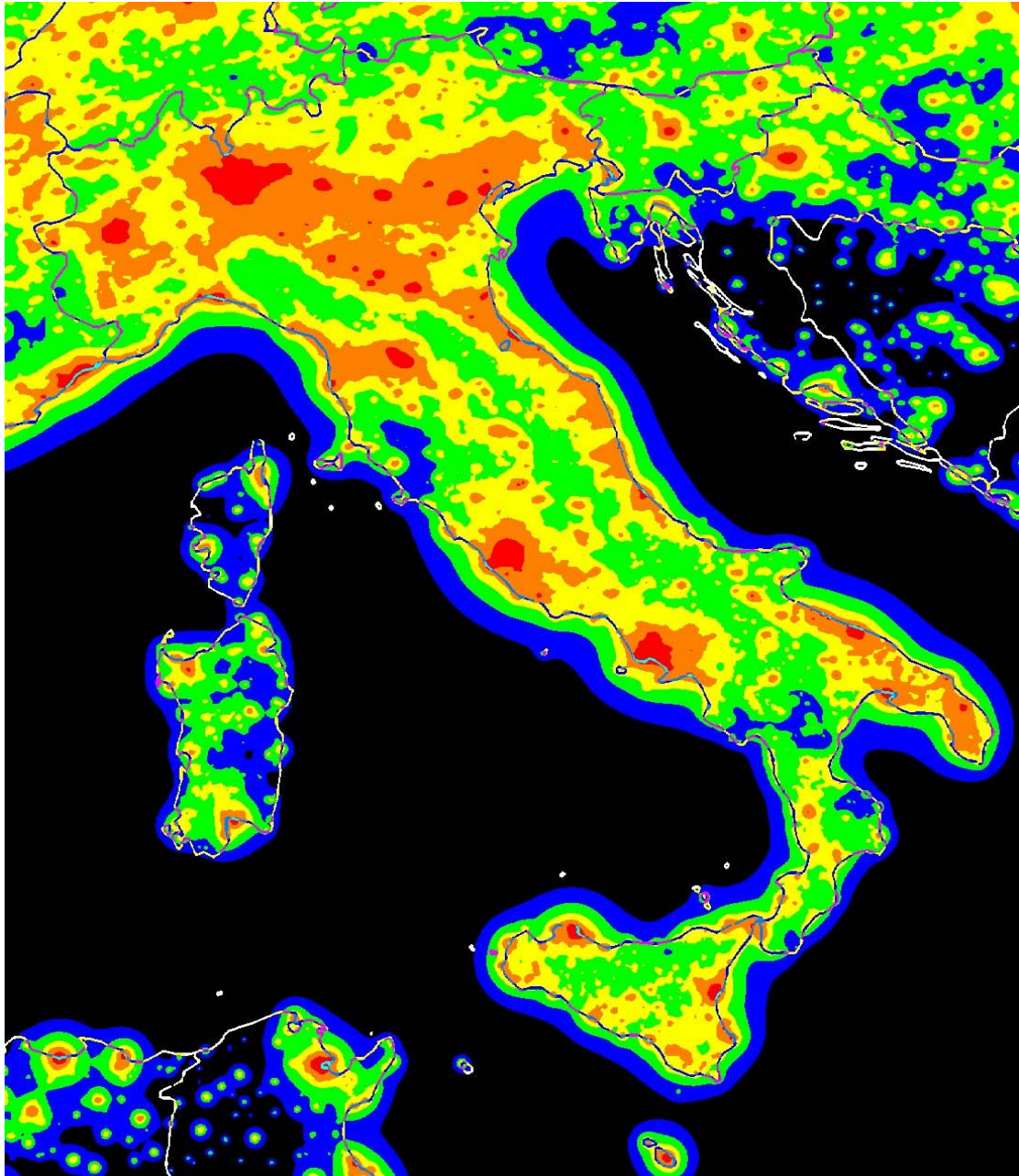


Figura 5.4-8 L'inquinamento luminoso in Italia nel 1998

Fonte: Pierantonio Cinzano, Fabio Falchi, Christopher D. Elvidge (ISTIL 2000)

5.4.4 Glossario

Frequenza, ν : numero di oscillazioni nell'unità di tempo. L'unità di misura è l'Hertz (Hz). $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$

Lunghezza d'onda, λ distanza che intercorre tra due massimi successivi di di una grandezza oscillante ("onda"), misurata in metri (m) o in Angstrom per le radiazioni elettromagnetiche visibili.

La lunghezza d'onda è anche il rapporto tra la velocità e la frequenza. Per i campi elettromagnetici la velocità nel vuoto è pari a $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ e dunque $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{\nu} \text{ [m]}$

Elettronvolt (eV) Energia cinetica acquisita da un elettrone accelerato attraverso una differenza di potenziale di un Volt

Attività (A) numero di disintegrazioni spontanee di un radionuclide che si producono in un intervallo di tempo. L'unità di misura è il Becquerel (Bq).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

Si trova a volte espressa in Curie (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Dose grandezza derivata dalla dose assorbita e utilizzata in radioprotezione, ottenuta moltiplicando la dose assorbita per fattori di modifica determinati convenzionalmente per tener conto della diversa efficacia biologica dei vari tipi di radiazioni ionizzanti; viene misurata in Sievert (Sv).

Dose assorbita energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un elemento di volume, divisa per la massa di materia contenuta nell'elemento di volume; l'unità di misura è il Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J Kg}^{-1}$$

Si trova a volte espressa in rad: $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$

Sorgente sigillata sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide inattive o sigillate in un involucro inattivo che presenti resistenza sufficiente da evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive.

ELF Extremely Low Frequency Fields, campi elettromagnetici di frequenza estremamente bassa, cioè di frequenza inferiore a 300 Hz

Radiofrequenza campi elettromagnetici di frequenza compresa tra 300 Hz e 300 GHz

Ultravioletto, UV campi elettromagnetici di lunghezza d'onda compresa tra 100 nm e 400 nm

Visibile campi elettromagnetici di lunghezza d'onda compresa tra 400 nm e 760 nm

IRPA International Radiation Protection Association

campo lontano approssimazione valida rigorosamente per distanze dall'antenna $r > d^2/\lambda$ (d = massima dimensione dell'antenna, λ = lunghezza d'onda) corrispondenti, per gli impianti radio base, a distanze che variano da qualche metro fino ad un massimo di 25 m a seconda del modello di antenna installato;

campo libero, vale a dire senza considerare l'azione schermante di edifici, né i contributi di riflessioni e diffrazioni dati dagli ostacoli e dall'orografia del terreno;

Angstrom (Å) unità speciale di misura della lunghezza $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$

5.4.5 Bibliografia

DLgs 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*, S.O.G.U. n. 203 del 31 agosto 2000

DLgs 17 marzo 1995 n. 230, Attuazione delle Direttive EURATOM in materia di radiazioni ionizzanti, S.O.G.U. n.1356 del 13 giugno 1995

Legge n° 36 del 22 febbraio 2001, Legge Quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

DM 10 settembre 1998 n° 381, Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana, G.U. n° 257 del 3 novembre 1998

Legge Regionale 9 luglio 1993, n° 29, Tutela igienico sanitaria della popolazione dalla esposizione a radiazioni non ionizzanti generate da impianti per teleradiocomunicazione, B.U.R. Veneto n° 58 del 13 luglio 1993

DPCM 23 aprile 1992, Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno, G.U. n° 104 6 maggio 1992

Legge Regionale 30 giugno 1993 (e successive modifiche e integrazioni) "Prevenzione dei danni derivanti dai campi elettromagnetici generati da elettrodotti"

DGR n°1526 11 aprile 2000, B.U.R. Veneto n° 41 del 2 maggio 2000

DGR 31 maggio 2002 n°1432, B.U.R. Veneto n° 67 del 9 luglio 2002

ARPAV, Rapporto sugli indicatori ambientali del Veneto, anno 2000, Padova 2001

ENEA Dossier 1999, Appendice I: la radioprotezione in Italia: la salvaguardia della popolazione e dell'ambiente, ISBN 88-8286-074-4

UNSCEAR 2000, Report of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly of UN, NY 2000

Cinzano P., 2000, Measuring and Modelling Light Pollution, Mem. Soc. Astron. Ital., 71

Smith F.G, 1979, Report on Astronomy, IAU Trans., XVIIIA, 218-222

