Dr. Ing. FRANCESCO MAZZINI
del Laboratorio di Difesa Atomica
del Centro Studi ed Esperienze Antincendi

Dr. ARRIGO CIGNA
del Laboratorio per lo Studio della radioattività
ambientale del CNEN

Alcune considerazioni sulla rete di rilevamento della ricaduta radioattiva e di allarme in Italia

Introduzione

La presenza, in una zona, di ricaduta radioattiva dovuta a cause non naturali, provoca un aumento della intensità di esposizione nella zona stessa. Ne deriva innanzitutto una irradiazione esterna e la sua intensità dipende dall'attività specifica della ricaduta per unità di superficie e dagli eventuali schermi interposti tra l'area contaminata e le persone soggette a tale irradiazione.

Inoltre gli organismi viventi sono soggetti ad un'altra via di irradiazione, quella dovuta alla contaminazione interna che loro deriva dall'assunzione delle sostanze necessarie ai processi metabolici. Nel caso della contaminazione interna intervengono altri fattori a modificarne le conseguenze, quali le caratteristiche chimiche e biologiche del veicolo della contaminazione, il diverso comportamento di quest'ultimo dovuto alla presenza di altri elementi, ecc... È ovvio che lo studio di quest'ultimo caso risulta più complicato a causa appunto della complessità dei fenomeni che lo caratterizzano.

La sorveglianza delle contaminazioni radioattive può essere fatta sia misurando l'intensità di esposizione nell'ambiente, sia l'attività localizzata in particolari costituenti dell'ambiente stesso (per esempio alcuni alimenti).

A seconda del livello di contaminazione si preferisce seguire o l'uno o l'altro metodo.

Per livelli elevati di contaminazione radioattiva si preferisce la misura diretta della intensità di esposizione col vantaggio principale di conoscere immediatamente i risultati della misura, non essendo necessario provvedere ad un prelievo e trasporto di campioni che si deve naturalmente effettuare nell'esempio, prima ricordato, dell'esame degli alimenti.

Per livelli modesti, invece, la variazione della intensità di esposizione nell'ambiente può risultare di gran lunga inferiore alle variazioni occasionali della irradiazione naturale dovuta sia alla radiazione cosmica che a quella emessa dai radionuclidi naturali presenti nell'ambiente. In questi casi si preferisce misurare la quantità di contaminazione localizzata, come si è già prima accennato.

Attualmente in Italia esistono alcune reti per il controllo della contaminazione redioattiva dell'aria, del suolo, delle acque e di alcuni altri anelli della catena alimentare che permettono di conoscere « a posteriori » il valore di tale contaminazione. È chiaro che studi di questo tipo risultano particolarmente utili ed interessanti non tanto per il valore riscontrato in se, quanto per la correlazione che consentono di stabilire tra intensità di ricaduta e quantità di contaminazione in quel determinato anello della catena alimentare (Bibliografia 1).

Tuttavia poiché eventi bellici (che ci si augura rimangano puramente ipotetici) possono diffondere considerevoli quantità di contaminazioni radioattive, a cura della Direzione Generale della Protezione Civile e dei servizi Antincendi del Ministero dell'Interno è stata organizzata una rete di rilevamento della ricaduta radioattiva e d'allarme. Essa comprende 1625 stazioni dislocate in tutta la Nazione, a maglie i cui lati sono dell'ordine dei 15 km. Queste stazioni sono costituite da camere di ionizzazione montate alla distanza di un metro dalla superficie del suolo, collegate con un alimentatore ed un radiametro che misura l'intensità di esposizione cui è sottoposta la camera. In questo modo, quando le stazioni siano collegate con un opportuno sistema di telecomunicazione, è possibile conoscere, in ogni istante, l'intensità di esposizione nell'intero territorio nazionale.

Occorre aggiungere che, mentre l'intensità minima rilevabile con queste stazioni è di 10 mR/h, sono in corso di allestimento 200 strumenti con una soglia minima molto inferiore che verranno dislocati in al-

RETE DI RILEVAMENTO DELLA RICADUTA RADIOATTIVA NELLA REGIONE DEL PIEMONTE

1) Sezzadio, 2) Acqui Terme, 3) Ovada, 4) Spigno, 5) Totona, 6) Garbagna, 7) Rocchetta, 8) Voltaggio, 9) Novi Ligure, 10) Sale, 11) Valenza, 12 Casale Monferrato, 13) Vignale Monferrato, 14) Felizzano, 15) Alessandria, 16) Baldichieri, 17) Villanova, 18 Castelnuovo Don Bosco, 19) Asti, 20) S. Damiano D'Asti, 21) Moncalvo, 22) Agliano, 23) Nizza Monferrato, 24) Bubbio, 25) Caraglio, 26) Sampejre, 27) Venasca, 28 Saluzzo, 29) Paesana, 30) Barge, 31) Moretta, 32) Racconigi, 33) Mondovì, 34) Ceva, 35) Monesiglio, 36) Cortemiglia, 37) Alba, 38) Canale d'Alba, 39) Corneliano d'Alba, 40) Cherasco, 41) Dogliani, 42) Carrù, 43) Bagnasco, 44) Garessio, 45) Ormea, 46) Fossano, 47) San Damiano Macra, 48) Prazzo, 49) Cuneo, 50) Frabosa Soprana, 51) Chiusa Pesio, 52) Limone Piemonte, 53) Demonte, 54) Trino Vercellese, 55) Livorno Ferraris, 56) Santhia, 57) Buronzo, 58) Masserano, 59) Trivero, 60) Biella, 61) Salussola, 62) Borgosesia, 63) Varallo Sesia, 64) Scopa Sesia, 65) Alagna Valsesia, 66) Vercelli, 67) Trecate, 68) Vespolate, 69) Biandrate, 70) Cannobio, 71) Verbania, 72) Premosello, 73) Domodossola, 74) Varzo, 75) Crodo, 76) Santa Maria Maggiore, 77) Bannio Anzino, 78) Stresa, 79) Arona, 80) Borgomanero, 81) Gozzano, 82) Orta S. Giulio, 83) Borgoticino, 84) Momo, 85) Romagnano Sesia, 86) Novara, 87) Venaria Reale, 88) Fiano Torinese, 89) Lanzo, 90) Ciriè, 91) Caselle, 92) Volpiano, 93), Chivasso, 94) Brusasco Cavagnolo, 95) Cassino, 96) Chieri, 97) Poirino, 98) Moncalieri, 99) Carignano, 100) Carmagnola, 101) Vigone, 102) None, 103) Orbassano, 104) Cumiana, 105) Pinerolo, 106) Torre Pellice, 107) Perrero, 108) Perosa Argentina, 109) Fenestrelle, 110) Claviere, 111) Ulzio, 112) Bardonecchia, 113) Bussoleno, 114), Borgone Susa, 115) Ponte Canavese, 116) Locana, 117) Ceresole Reale, 118) Ronco Canavese, 119) Vico Canavese, 120) Settimo Vittone, 121) Ivrea, 122) Strambino, 123) Caluso, 124) Avigliana, 125) Rivoli 126) Torino, 127, Rivarolo Canavese

trettante delle 1625 stazioni. Questa rete sovrapposta alla prima è stata prevista per aumentare la flessibilità del sistema, mettendolo in grado di operare anche in occasione di eventuali incidenti ad impianti nucleari che potrebbero venire ad interessare regioni relativamente ristrette.

Realizzazione della rete

Si è già accennato nell'introduzione ai criteri generali che hanno condotto alla scelta delle località di installazione degli strumenti. Essi sono stati collocati prevalentemente in aree (giardini, prati, cortili, ecc...) appartenenti a Stazioni dei Carabinieri i quali curano il funzionamento degli strumenti stessi. Si sono riscontrate talvolta delle difficoltà nel reperimento delle aree adatte per cui la scelta definitiva delle località è stata decisa contemperando la regola delle maglie di 15 km di lato con la possibilità delle Stazioni prescelte.

I dati rilevati da tutte le stazioni vengono trasmessi ai Comandi Provinciali dei VV.F. che fungono da capimaglia per la rete in questione. Ai Vigili del Fuoco è affidato il coordinamento dei dati nonché la gestione e la normale manutenzione di tutti gli strumenti.

A titolo di esempio, in figura 1 si riporta una carta del Piemonte, dove sono indicate le posizioni delle singole stazioni e dei capimaglia.

Strumentazione

In quasi tutte le stazioni della rete viene installato un radiametro fisso tipo RA5 di costruzione della società Italelettronica.

Solo nei capimaglia e in alcune stazioni vicine ad impianti nucleari di grande potenza verranno installate camere di ionizzazione molto più sensibili che oltre alla misura dell'irraggiamento dovuto al fall-out permettano di rivelare le eventuali variazioni del fondo. Si innesta cioè, nella rete capillare una rete a maglie più ampie e di maggiore sensibilità che, permette non solo una valutazione più estesa della distribuzione del fall-out, ma anche il controllo continuo della radioattività di fondo mediante la registrazione dei dati.

Il radiametro RA5 (fig. 2) è costituito dal rivelatore a camere di ionizzazione RV3 collegato mediante un cavo lungo 50 m al pannello di misura CN8. La lunghezza del cavo può essere aumentata fino a qualche centinaia di metri: si ha così la possibilità di una ampia scelta nella dislocazione del rivelatore. Questo è installato perpendicolarmente alla superficie di ap-

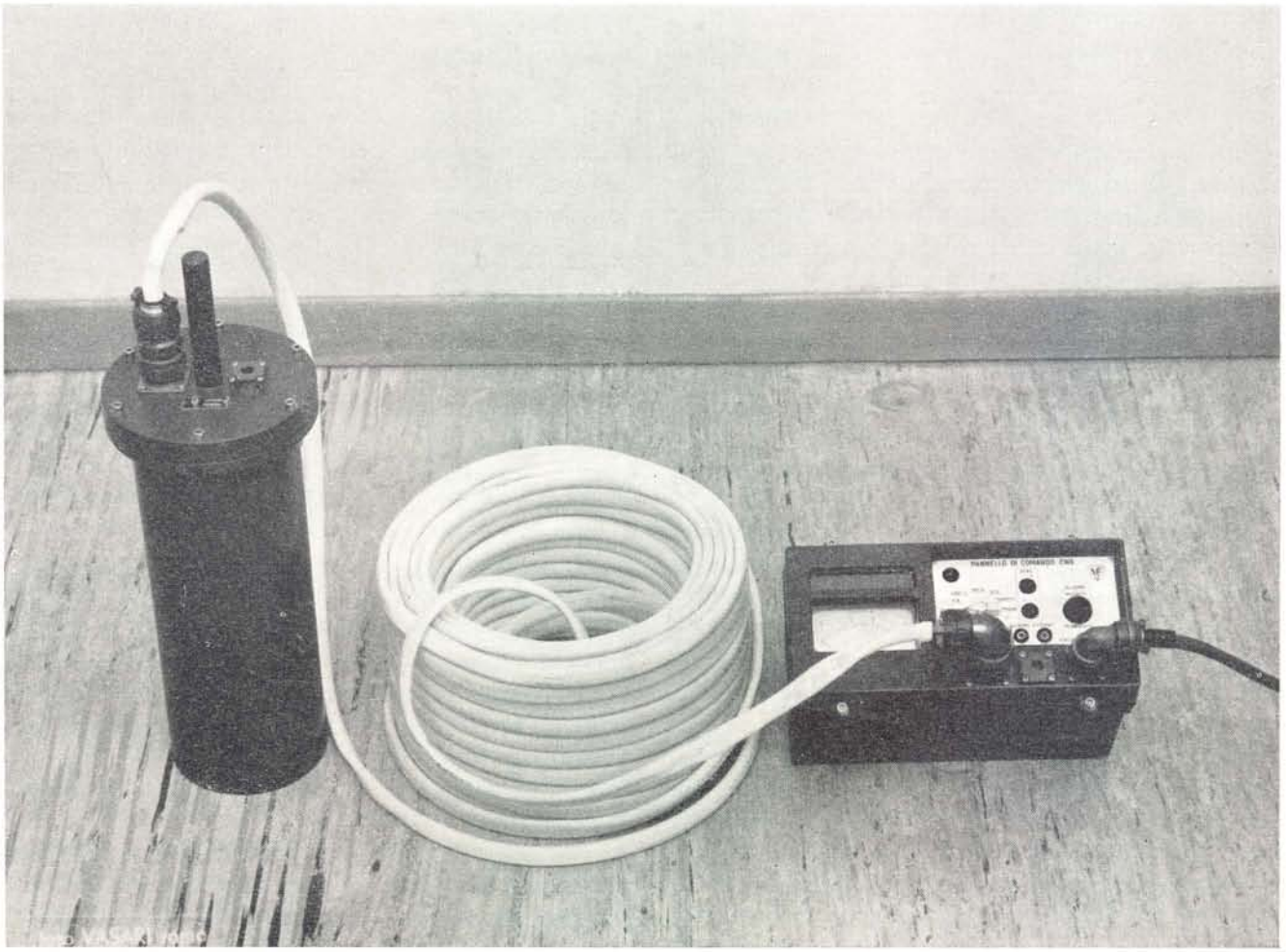

Fig. 2 - Radiametro RA5

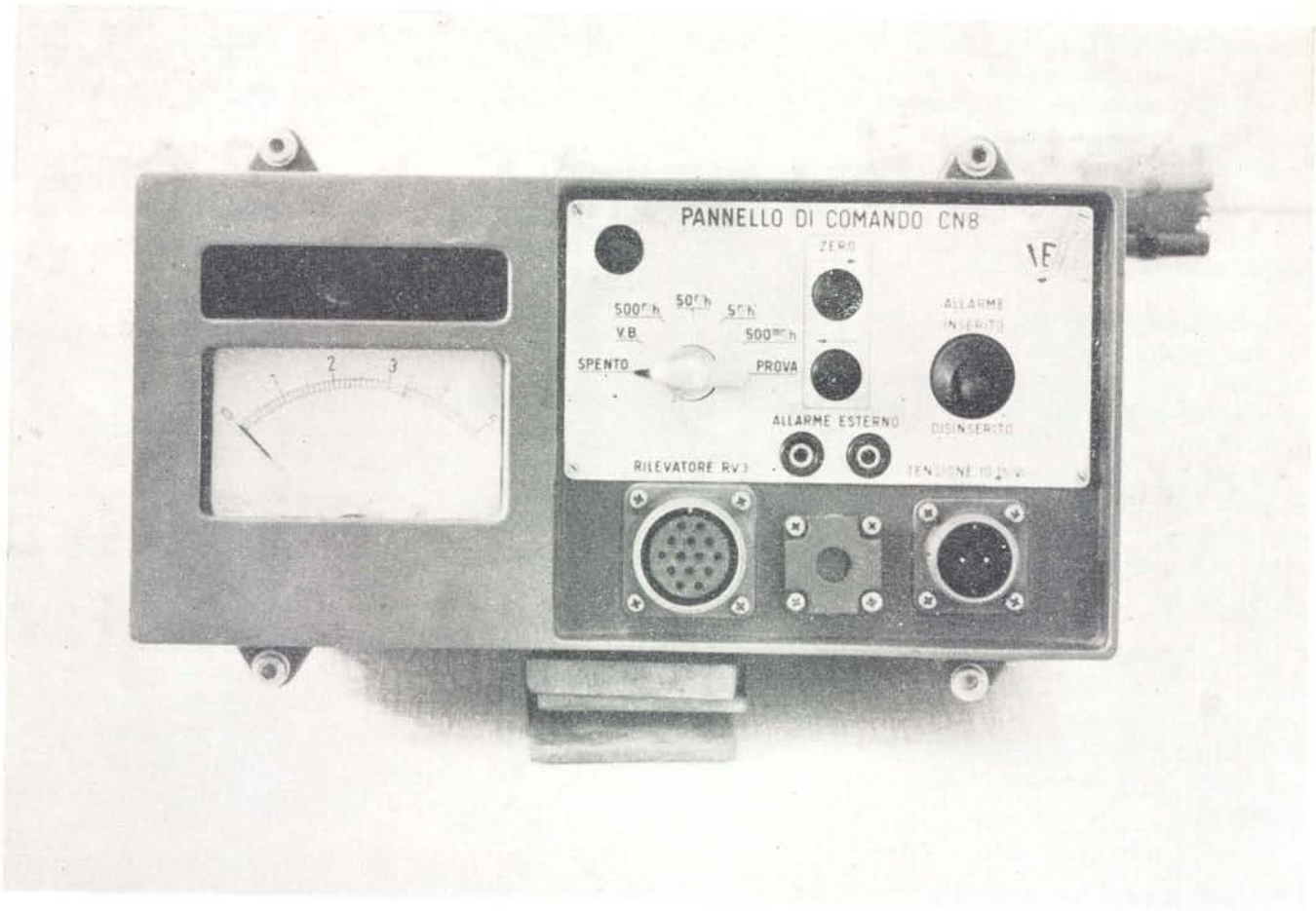

Fig. 3 - Pannello di controllo CN8

poggio. La struttura di sostegno è costituita da tre barre metalliche inclinate portanti una piastra a corona circolare su cui viene appoggiato il rivelatore. Una cravatta, posta inferiormente alla piastra, garantisce il fissaggio alla struttura.

Sulla estremità superiore della struttura è incernierata una leggera cappa estraibile per impedire che polveri radioattive vadano a depositarsi direttamente sullo strumento, falsando così la misura che deve sempre riferirsi alla sola contaminazione del suolo. L'eventuale deposito radioattivo sulla cappa non altera sensibilmente la misura dello strumento. La cappa ha anche la funzione di proteggere l'apparecchio da agenti atmosferici e da raggi solari che potrebbero innalzare la temperatura al di sopra del limite garantito dalla casa costruttrice.

Il rivelatore RV3 contiene due camere di ionizzazione coassiali a pareti aria equivalente, riempite di aria secca a pressione atmosferica.

Il circuito elettronico ha la possibilità di misurare la corrente di ionizzazione che passa nella più piccola delle due camere oppure quella che passa nelle due camere in parallelo. La misura viene effettuata facendo passare tale corrente attraverso una resistenza di alto valore e determinando la differenza di potenziale che si sviluppa ai suoi capi per mezzo di un amplificatore per tensioni continue. Detto amplificatore ha la possibilità di moltiplicare per 10 la sensibilità del circuito di misura consentendo la suddivisione della misura in 4 gamme:

0 - 500 mR/h con le due camere in parallelo e amplificazione 10;

0 - 5 R/h con le due camere in parallelo e amplificazione 1;

0 - 50 R/h con la sola camera piccola e amplificazione 10;

0 - 500 R/h con la sola camera piccola e amplificazione 1.

Sul pannello di controllo CN8 (fig. 3) un commutatore seleziona le quattro scale di misura. Un quadrante luminoso, per maggiore semplicità di lettura, indica il fattore di moltiplicazione della scala su cui lo strumento è predisposto. Lo stesso commutatore serve all'accensione, predispone l'apparecchio al funzionamento come voltmetro per il controllo delle batterie di alimentazione e permette il controllo del funzionamento del circuito.

Sul pannello CN8 sono posti i pulsanti di telecomando per l'azzeramento, con le frecce che indicano il senso verso cui si sposta l'indice. Lo strumento è dotato di un dispositivo di allarme che scatta ad un livello di radioattività scelto a piacere. Una volta en-

trato in funzione il dispositivo predetto, la suoneria continua a suonare fino a quando non viene disinserita. A tale scopo sul pannello CN8 vi è l'inseritore di allarme. Le boccole « Allarme esterno » permettono il collegamento di eventuali suonerie esterne, azionate dal dispositivo di allarme.

L'alimentazione del complesso è a corrente continua, a 12 Volt ottenuta con batteria di accumulatori al piombo.

Possibilità e limiti

Le misure effettuate dalla camera di ionizzazione devono rispondere a due esigenze fondamentali:

1) devono indicare l'intensità di esposizione cui è esposta mediamente la popolazione del luogo ove la camera stessa è installata;

2) devono essere standardizzate in modo che sia possibile un confronto con le misure effettuate da tutte le camere della rete per la costruzione delle curve di isointensità sul territorio colpito dal fall-out.

Ammettendo che la intensità di esposizione media a cui è esposta la popolazione sia proporzionale a quella che si ha ad 1 m di altezza da un piano indefinito contaminato uniformemente, se le camere di ionizzazione vengono installate con il centro ad 1 m dal suolo in aperta campagna e su terreno piano e si suppone che il fall-out abbia una distribuzione uniforme, vengono soddisfatte contemporaneamente le due esigenze citate (Bibliografia 2).

Tuttavia, nella realizzazione della rete, non è stato possibile soddisfare su vasta scala condizioni così gravose ed è stato necessario trovare modalità di installazione diverse che portino a risultati non molto discosti da quelli ottenibili nelle condizioni ideali. Si è quindi cercato di valutare l'incidenza della geometria nella misura effettuata dalla camera di ionizzazione, allo scopo di ottenere valori validi con condizioni geometriche diverse.

Il calcolo che segue tiene conto soltanto dell'irraggiamento diretto e non della radiazione diffusa, peraltro trascurabile ai fini di queste misure.

L'intensità di esposizione alla distanza di H metri dal centro di superficie circolare piana di raggio r su cui si ha una distribuzione superficiale uniforme di radionuclidi emittenti radiazioni gamma che per semplicità supponiamo tutti di uguale energia, è data dalla somma di infiniti contributi elementari: (vedi fig. 4)

$$1) \quad dI = \frac{2\pi K \rho C e^{-\mu\sqrt{H^2+\rho^2}}}{H^2+\rho^2}$$

dove K è una costante che dipende dall'energia dei fotoni irradiati espressa in $R\ h^{-1}\ m^2\ Ci^{-1}$

ρ è la distanza dell'elemento superficiale dalla proiezione del centro della camera sul piano, in metri;

C è l'attività specifica della superficie contaminata, in Ci/m^2;

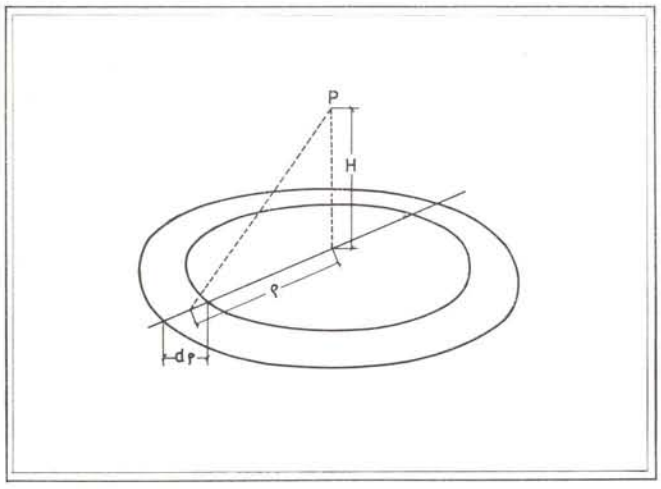

Fig. 4 - C.f.r. testo

μ è il coefficiente di assorbimento dell'aria espresso in m^{-1}.

L'intensità di dose sarà quindi:

$$2) \quad I = 2\pi K C \int_0^r \frac{\rho\, e^{-\mu\sqrt{H^2+\rho^2}}}{H^2+\rho^2}\, d\rho$$

Se si assume:

$$F = 2\pi \int_0^r \frac{\rho\, e^{-\mu\sqrt{H^2+\rho^2}}}{H^2+\rho^2}\, d\rho$$

la 2) diventa:

$$3) \quad I = K \cdot C \cdot F$$

essendo F il fattore di esposizione in cui è conglobata tutta la geometria del sistema compresa l'attenuazione del mezzo.

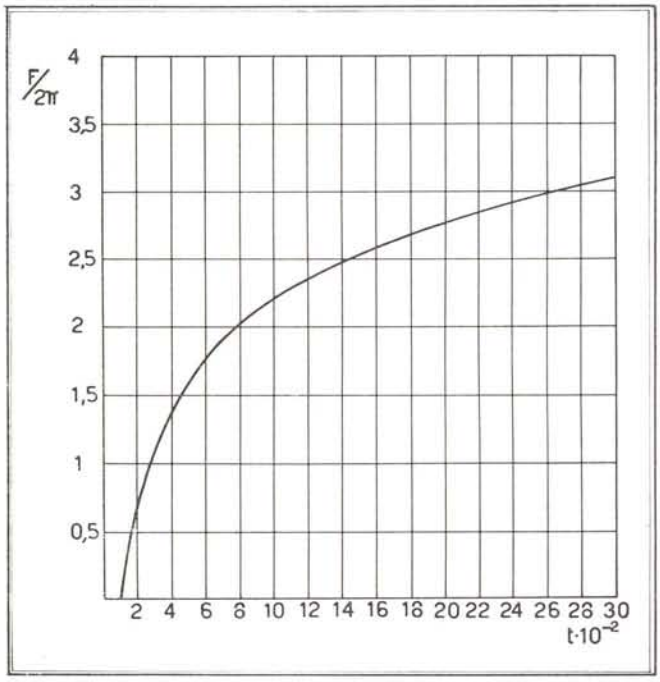

Fig. 5 - Fattore di esposizione in funzione di $t = \sqrt{H^2+r^2}$

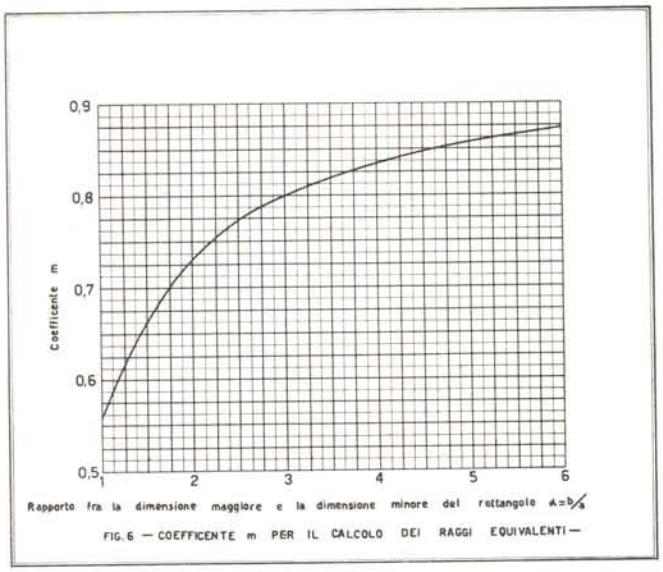

Fig. 6 - Coefficiente m per il calcolo dei raggi equivalenti

Nella fig. 5 sono riportati i valori di $F/2\pi$ in funzione del prodotto $t = \mu \sqrt{H^2 + r^2}$

Si voglia, ad esempio, calcolare l'intensità di esposizione in un punto distante 1 m dal centro di una superficie circolare di raggio r = 8 m, contaminata da una sostanza radioattiva emittente fotoni gamma da 0,7 MeV e con distribuzione superficiale uniforme di 1 Ci/m^2.

Per E = 0,7 MeV si ha K = 0,38 μ = 0,01

$$\mu \sqrt{H^2 + r^2} = 0{,}08$$

da cui $F/2\pi = 2$ e $I = 0{,}38 \times 2 \times 2\pi = 4{,}27$ R/h

La curva ammette un asintodo per $F/2\pi \simeq 4$; questo è il valore del fattore di esposizione nel caso ideale in cui la camera sia esposta ad 1 m da una superficie piana indefinita.

Il fattore di esposizione può essere facilmente calcolato non solo nel caso di esposizioni su superfici circolari di raggio qualunque, ma anche nel caso di superfici diverse e in presenza di schermi.

Nel caso particolare che la superficie sia rettangolare si può trovare il raggio equivalente, cioè il raggio della superficie circolare che comporta lo stesso valore del fattore di esposizione F della superficie rettangolare data.

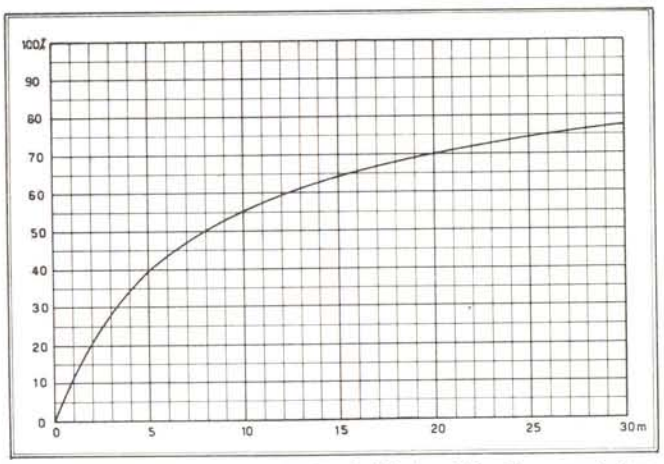

Fig. 7 - Valori percentuali dell'intensità di esposizione rispetto ad una distribuzione piana infinita, in funzione del raggio della superficie di raccolta del fall-out, per una camera di ionizzazione posta a m. 1 dal suolo

Il raggio equivalente R_e si trova impiegando la relazione:

$$R_e = m \cdot a$$

dove a è il lato minore del rettangolo e m è un coefficiente che si ricava dal diagramma di fig. 6 in funzione del rapporto $\alpha = b/a$ tra il lato maggiore e il lato minore del rettangolo.

Se, per esempio si vuole il fattore di esposizione di una superficie rettangolare di lati 10 x 20 si ha:

$$\alpha = \frac{b}{a} = \frac{20}{10} = 2$$

dalla fig. 4 si ricava:

$$m\ (2) = 0{,}731$$

da cui

$$R_e = 0{,}731 \times 10 = 7{,}31$$

Dal diagramma di fig. 5 in corrispondenza di r = 7,31 si ha F = 12.

Nella fig. 7 sono riportati i rapporti percentuali $\frac{F^r}{F\infty}\%$ dove F_r è il fattore di esposizione relativo ad un punto distante 1 m da una superficie circolare di raggio r. Il valore di F_r è stato calcolato assumendo per il coefficiente di assorbimento μ il valore di 0,01 m^{-1}, corrispondente ad una energia dei fotoni di 0,7 MeV.

Si osservi che $\frac{I_r}{I_\infty} = \frac{F}{F_\infty}$, perciò la fig. 7 rappresenta i valori percentuali dell'intensità di esposizione che si hanno installando la camera su una superficie circolare piana di raggio r, anziché su una superficie piana indefinita. Il diagramma della fig. 7 mostra che con una superficie di raccolta circolare di raggio uguale a 8 m, si ha circa il 50 % dell'intensità di dose che si avrebbe con superficie di raccolta infinita. D'altro canto è soprattutto importante conoscere l'ordine di grandezza dell'intensità di esposizione. Inoltre il calcolo è stato eseguito nell'ipotesi che la superficie piana fosse perfettamente levigata.

In realtà le particelle radioattive che costituiscono il fall-out si depositano su un terreno più o meno accidentato e l'intensità di dose che ne consegue è ridotta rispetto a quella che si avrebbe su un piano perfettamente levigato per effetto dell'assorbimento dovuto alla rugosità della superficie. (Bibliografia 2).

In altre parole il fattore di esposizione F_r sarà minore per effetto delle rugosità del terreno e la curva reale risulterà più bassa di quella teorica della fig. 6. Se allora le camere di ionizzazione vengono installate, anziché in aperta campagna, in spazi limitati di raggio non inferiore a 8 m si commetterà un errore certamente non superiore al 50 %. Tale errore in realtà sarà molto inferiore per il contributo di superfici contaminate esterne alla superficie di raccolta considerata e che pertanto non sono state comprese nel calcolo di F_r.

Si è supposto che la contaminazione sia dovuta ad una radiazione monoenergetica. In effetti il fall-out è dovuto a tutti i prodotti di fissione generati nell'esplosione nucleare. Se il fattore di esposizione si mantenesse costante con l'energia, la curva di fig. 7 potrebbe, senza alcun errore essere usata anche nel caso del fall-out. Infatti indicando con K_i , C_i , F_i , rispettivamente la costante [vedi (1)], l'attività specifica e il fattore di esposizione relativo all'isotopo i, l'intensità di dose è:

$$I = \Sigma\, K_i\, C_i\, F_i$$

per cui

$$\frac{Ir}{I\infty} = \frac{\Sigma\, K_i\, C_i\, F_r}{\Sigma\, K_i\, C_i\, F_{ir\,\infty}} .$$

Se il fattore di esposizione è uguale per tutti gli isotopi si ha:

$$\frac{I_r}{I\infty} = \frac{F_r}{F\infty}\ \frac{\Sigma\, K_i\, C_i}{\Sigma\, K_i\, C_i} = \frac{F_r}{F\infty}$$

In realtà il fattore di esposizione dipende dalla energia tramite il coefficiente di assorbimento μ. La variazione di μ è però molto piccola nell'intervallo delle energie dei prodotti di fissione. Pertanto possiamo calcolare F per una energia media pari a 0,7 MeV alla quale corrisponde $\mu = 0{,}01\ m^{-1}$. Con buona approssimazione quindi la curva di fig. 7 può essere usata per i prodotti di fissione.

Per quanto riguarda la natura e la posizione della superficie di raccolta è necessario osservare che il fall-out depositato su di essa deve rappresentare la distribuzione media che si ha su tutta la zona. Sono quindi da escludere tetti, terrazze e tutte le superfici impermeabili perché qui il fall-out è destinato a scomparire dopo la prima pioggia. Inoltre il fall-out depositato nella zona entra nel ciclo di trasformazione fisico-chimica, dovuto agli agenti atmosferici, cui vanno incontro tutte le sostanze costituenti il suolo. Pertanto anche se inizialmente i rilevamenti effettuati su superfici levigate o assorbenti sono uguali, successivamente sono destinati a differire fortemente fra loro. Infatti i fenomeni di assorbimento comportano una diminuzione dell'intensità di dose nel tempo dovuta alla penetrazione dei radionuclidi nel terreno.

Se la superficie è invece levigata e impermeabile e quindi resistente agli agenti atmosferici non avviene il fenomeno dell'assorbimento e quindi la diminuzione del fall-out nel tempo è solo quella dovuta al decadimento radioattivo e al dilavamento. Si prestano invece bene prati o giardini purché non si trovino ai piedi di pendii o in posizione nelle quali è facile l'accumulo di materiale per eventuali scarichi da superfici impermeabili.

Il concetto fondamentale è che l'apporto del fall-out deve essere solo quello relativo alla ricaduta dall'alto.

Conclusione

Da quanto sopra esposto risulta che nella progettazione e nella realizzazione della rete nazionale di rilevamento della ricaduta radioattiva e di allarme si è tenuta principalmente presente l'eventualità bellica. Tuttavia non si è trascurata la sua utilizzazione pratica anche ai fini della protezione civile in tempo di pace in considerazione dei continui progressi e della crescente espansione dell'applicazione dell'energia nucleare a scopi pacifici. È questa la ragione per cui si è ritenuto opportuno inserire nella rete un adeguato numero di camere di ionizzazione di particolare sensibilità nei capimaglia e in prossimità degli impianti nucleari nazionali.

Francesco Mazzini
Arrigo Cigna

Bibliografia

1) M. M. Ferraris, F. G. Giorcelli. Minerva Nucleare 9, 40, (1965).
2) H. A. Knapp. TID, 16457, (1962).

Rassegna bibliografica

J. Treves - *Le trasmissioni al servizio dei pompieri.*
(Le Sapeur Pompier, dicembre 1963, pp. 407-409, ff. 3).

Nella lotta contro il fuoco e contro ogni cataclisma il fattore tempo è di importanza fondamentale e poichè è da escludere in linea di massima l'impiego dei telefoni pubblici, così assumono in questo caso particolare importanza i sistemi di collegamento radio-elettrici. Si descrive l'apparecchiatura oggi a disposizione dei vari corpi pompieri in Francia.

J. Seray - *La lotta contro l'incendio a bordo delle navi.*
(Revue Technique du feu, novembre 1963, pp. 2-8, ff. 4).

Si ricordano le norme che sono state adottate fin dal 1954 per la protezione antincendio delle navi mercantili. Si esamina ora l'effettivo valore di queste norme facendo delle considerazioni generali circa i rischi di incendio sulle navi, in relazione alla loro struttura; quali siano le misure preventive antincendio da prendere durante la costruzione delle navi sia per tutti i tipi di navi, sia quelle particolari per le navi passeggeri. Si accenna ancora alle misure preventive da prendere durante l'esercizio di una nave e si traggono infine delle conclusioni sulle misure di prevenzione antincendio attualmente applicabili.

W .Y. Kimball - *Attacco iniziale del fuoco da parte di modesti corpi di pompieri.*
(Firemen, novembre 1963, pp. 8-10, ff. 5).

La maggior parte dei corpi pompieri nelle città aventi meno di 30.000 abitanti contano dodici uomini o anche meno e sebbene tali modeste forze possano essere completate da quelle dei volontari pure è necessario che esse si assumano i compiti principali nel momento della emergenza.

Nella nota, l'A. precisa quale possa essere il servizio che ci si può ragionevolmente attendere da squadre pompieri del genere che dispongano di due o quattro pompe e della restante attrezzatura, praticamente, in genere molto modesta.