

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-81/4(R)
16 Gennaio 1981

S. Amatiste, P. Cavallucci, A. Esposito e M. Pelliccioni:
PROTEZIONE AMBIENTALE INTORNO ALL'ACCELE
RATORE LINEARE DI FRASCATI.

S. Amatiste, P. Cavallucci, A. Esposito e M. Pelliccioni:

PROTEZIONE AMBIENTALE INTORNO ALL'ACCELERATORE LINEARE DI FRASCATI.

1. - INTRODUZIONE.

Gli acceleratori di particelle non costituiscono in genere un pericolo per l'ambiente esterno, specialmente se la loro potenza non è particolarmente elevata.

Possibili vie di esposizione per gli insediamenti prossimi agli impianti in parola sono la radiazione diretta e la radioattività eventualmente rilasciata nell'aria e nelle acque.

I livelli di dose prodotti dall'esposizione diretta non costituiscono tuttavia un problema di rilievo se le schermature (laterali e verso l'alto) sono adeguatamente progettate. Le dosi collettive valutate per le popolazioni che vivono intorno ai siti ove sono installate grandi macchine acceleratrici risultano infatti di norma molto modeste⁽¹⁾. Per quanto riguarda i LNF, precedenti studi hanno mostrato che le dosi misurate lungo i confini del Centro coincidono praticamente con il fondo naturale^(2, 3).

Ancora meno importante è in genere l'esposizione dovuta alla radioattività rilasciata nelle acque e nell'aria. A questo proposito sono stati recentemente suggeriti limiti per alcuni parametri di macchina al di sotto dei quali i problemi in questione possono considerarsi praticamente irrilevanti⁽⁴⁾. Secondo tale fonte, nel caso di macchine per elettroni di energia superiore ai 150 MeV, si possono considerare trascurabili i problemi di radioattività nelle acque se la potenza della macchina è inferiore a 1 kW. Tale limite può essere elevato a 100 kW quando il raffreddamento avviene a circuito chiuso. Per quanto riguarda la radioattività in aria, sempre nel caso delle macchine per elettroni di alta energia, la soglia per considerare il problema viene situata ancora intorno a 1 kW, o qualora la produzione di neutroni ecceda 10^{14} neutroni al secondo.

L'acceleratore lineare di Frascati lavora a una potenza media di 1,6 kW quando si inietta in Adone. Nella fase Leale può invece raggiungere la sua massima potenza attuale (circa 32 kW),

anche se abitualmente si lavora a valori più modesti. I turni Leale rappresentano una frazione del tempo totale di funzionamento non superiore al 20-30 %.

Poichè le acque dei circuiti di raffreddamento del Linac circolano a circuito chiuso si deve tuttavia considerare estremamente improbabile che esse possano costituire un veicolo di inquinamento radiologico.

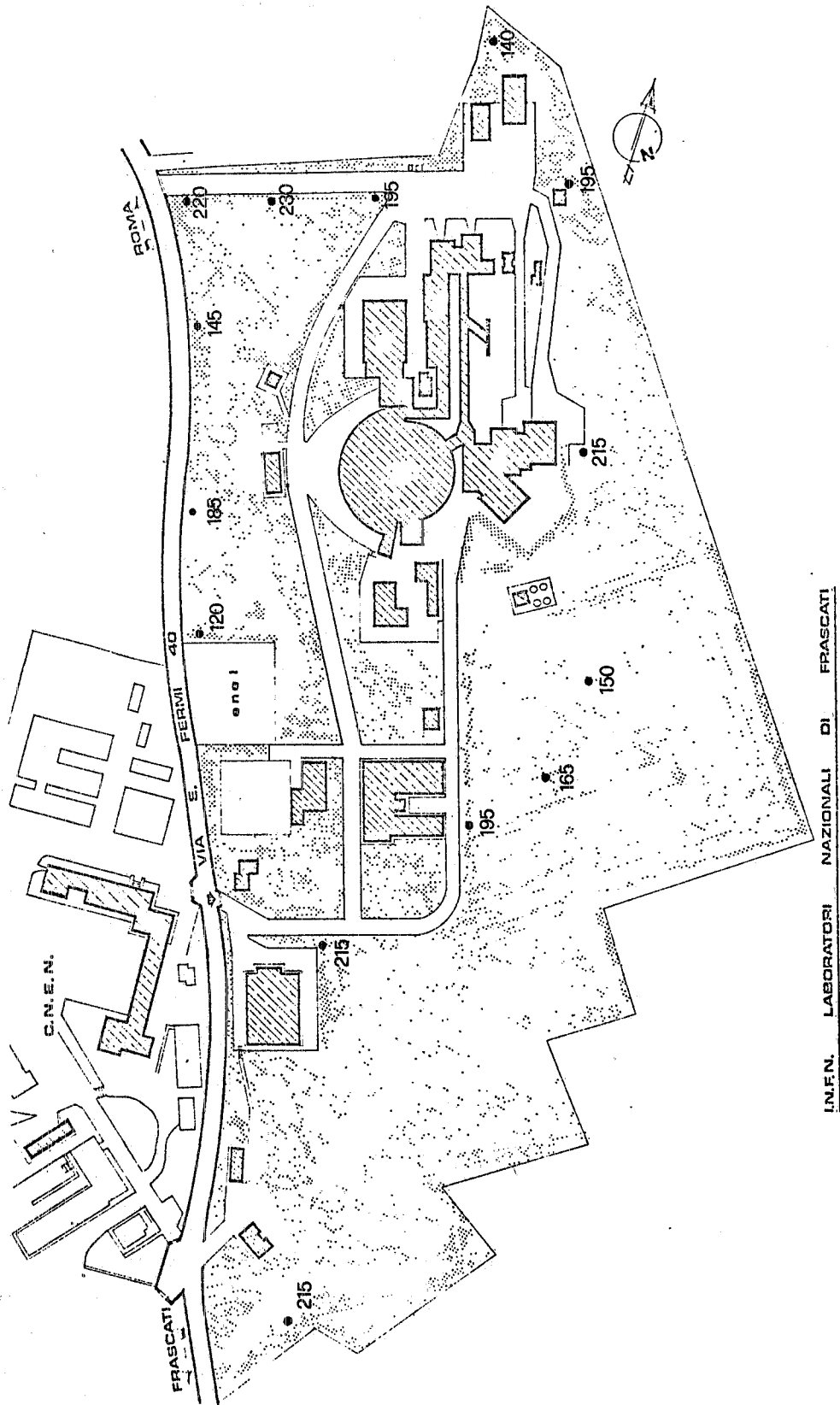
Il problema della radioattività in aria è già stato a suo tempo studiato sia per quanto concerne la produzione di gas radioattivi⁽⁵⁾, sia per quanto concerne la radioattività indotta nelle polveri⁽⁶⁾. In quest'ultimo caso si era in particolare pervenuti alla conclusione che, pur trattandosi di problemi di secondaria importanza, essi meritavano però una certa attenzione, se non altro allo scopo di prevenire eventuali contaminazioni, peraltro di modesta entità, di persone e ambienti. A conclusioni sostanzialmente analoghe sono giunti anche altri esperti presso impianti similari⁽⁷⁾.

Nel corso del 1979 è stata effettuata una serie di controlli sui vari aspetti radioprotezionistici sopra ricordati, con particolare attenzione a quelli riguardanti le vie di inquinamento e gli eventuali rilasci di radioattività nelle acque e nell'aria (polveri e gas radioattivi). I relativi risultati verranno presentati in questa nota unitamente a quelli di alcuni rilievi riguardanti le misure di concentrazione in aria dell'ozono radioprodotto durante il funzionamento del Linac ad elevata potenza. Si tratta in questo ultimo caso di una noxae non radiologica, ma tradizionalmente considerata unitamente a queste in quanto l'ozono, insieme a un certo numero di altri gas tossici (NO , NO_2 , NO_3 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 , HNO_2 , HNO_3) di minore importanza ai fini della protezione del personale, viene prodotto per ionizzazione dell'aria da parte di particelle direttamente e indirettamente ionizzanti.

2. - CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE DIRETTA.

Per quanto riguarda l'esposizione diretta al di fuori dei confini del Centro, merita precisare che essa è attesa essere molto modesta per via delle efficienti schermature messe in opera, come peraltro dimostrato dai risultati dei precedenti studi sopra già citati^(7,8). Una conferma al riguardo, relativamente alla componente elettromagnetica, può essere desunta osservando i risultati delle letture relative al 1979 dei dosimetri di controllo (TLD al CaF_2) dislocati lungo i confini del Centro. Tali dati, che sono mostrati nella Fig. 1, coincidono praticamente con il fondo naturale di radiazioni presente nella zona di Frascati⁽⁸⁾.

Non è stata installata un'analogha rete di controllo per la componente neutronica, in quanto quest'ultima, come abitualmente avviene intorno agli acceleratori di elettroni, risulta molto meno importante di quella elettromagnetica. Non si esclude tuttavia qualche provvedimento in proposito in un prossimo futuro⁽⁹⁾.



I.N.F.N. LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI

FIG. 1 - Ratei di esposizione (mR/anno) misurati lungo i confini dei LNF nel 1979. I valori riportati sono compresi del fondo strumentale.

3. - CONTROLLI SULLA RADIOATTIVITA' RILASCIATA IN ARIA.

La radioattività nell'aria può essere dovuta a radionuclidi trasportati come polveri o aerosol, o prodotti direttamente nell'aria stessa. Gli ambienti in cui tale produzione può essere maggiormente significativa sono sostanzialmente quelli in cui viene fatto passare il fascio accelerato e principalmente il settore finale dell'acceleratore lineare (la cosiddetta Catacomba).

I controlli effettuati, i cui risultati verranno qui di seguito presentati, riguardano la radioattività presente nelle polveri raccolte negli ambienti di cui sopra e i gas radioattivi prodotti nel tunnel ove è installato l'acceleratore lineare.

3.1. - Polveri.

In tutti gli ambienti ove corre il fascio di elettroni accelerati sono stati prelevati campioni di polvere dai pavimenti, dalle pareti e dalle superfici della guida metallica della macchina.

Per ogni campione, sono state effettuate una misura dell'attività beta totale e la spettrometria gamma. La spettrometria, eseguita con l'ausilio di un cristallo di Ge-Li, ha permesso di concludere che nella maggioranza dei campioni esaminati era presente soltanto radioattività naturale. Tale risultato ha trovato conferma nei modesti valori dell'attività totale beta riscontrata nei campioni stessi.

La presenza di alcuni radionuclidi è stata tuttavia rilevata nei cinque campioni prelevati all'interno del locale denominato "Catacomba", in prossimità del pozzo di spegnimento. Lo spettro di uno di tali campioni è mostrato a titolo d'esempio nella Fig. 2.

I radionuclidi individuati nei predetti campioni sono elencati nella Tabella I. Nella stessa tabella sono anche riportate, per ciascun radionuclide, l'attività specifica massima misurata e le possibili reazioni di provenienza.

Per quanto riguarda queste ultime, l'analisi è stata condotta in base ai dati attualmente disponibili sulle sezioni d'urto delle reazioni fotonucleari, tenendo conto della composizione dei materiali più comunemente impiegati nella costruzione degli acceleratori⁽¹⁰⁻¹²⁾.

Ad esempio, il ^{54}Mn può essere originato nelle reazioni $^{55}\text{Mn}(\gamma, n)$, $^{56}\text{Fe}(\gamma, np)$, $^{57}\text{Fe}(\gamma, T)$, $^{59}\text{Co}(\gamma, \alpha)$. Per poter stabilire una scala di priorità tra le varie reazioni, si è preso in considerazione il fattore d'intensità, definito come il prodotto dell'abbondanza isotopica del nuclide generatore per l'intensità percentuale delle principali righe di emissione del nuclide radioattivo prodotto (numero di quanti gamma emessi ogni cento disintegrazioni).

I fattori d'intensità, per le reazioni sopra menzionate, valgono rispettivamente 100.0, 91.7, 2.2, 100.0.

E' quindi evidente che la reazione $^{57}\text{Fe}(\gamma, T)$ è la meno importante, mentre le altre possono portare alla formazione di ^{54}Mn in quantità proporzionali alle rispettive sezioni d'urto.

Vista la provenienza e la composizione dei campioni raccolti, sembra però molto più probabile la reazione $^{56}\text{Fe}(\gamma, np)$. Si può infatti, verosimilmente, avanzare l'ipotesi che nei campioni si trovino, mescolati alla polvere, frammenti provenienti dalle parti metalliche del-

Polvere Catacomba N. 3

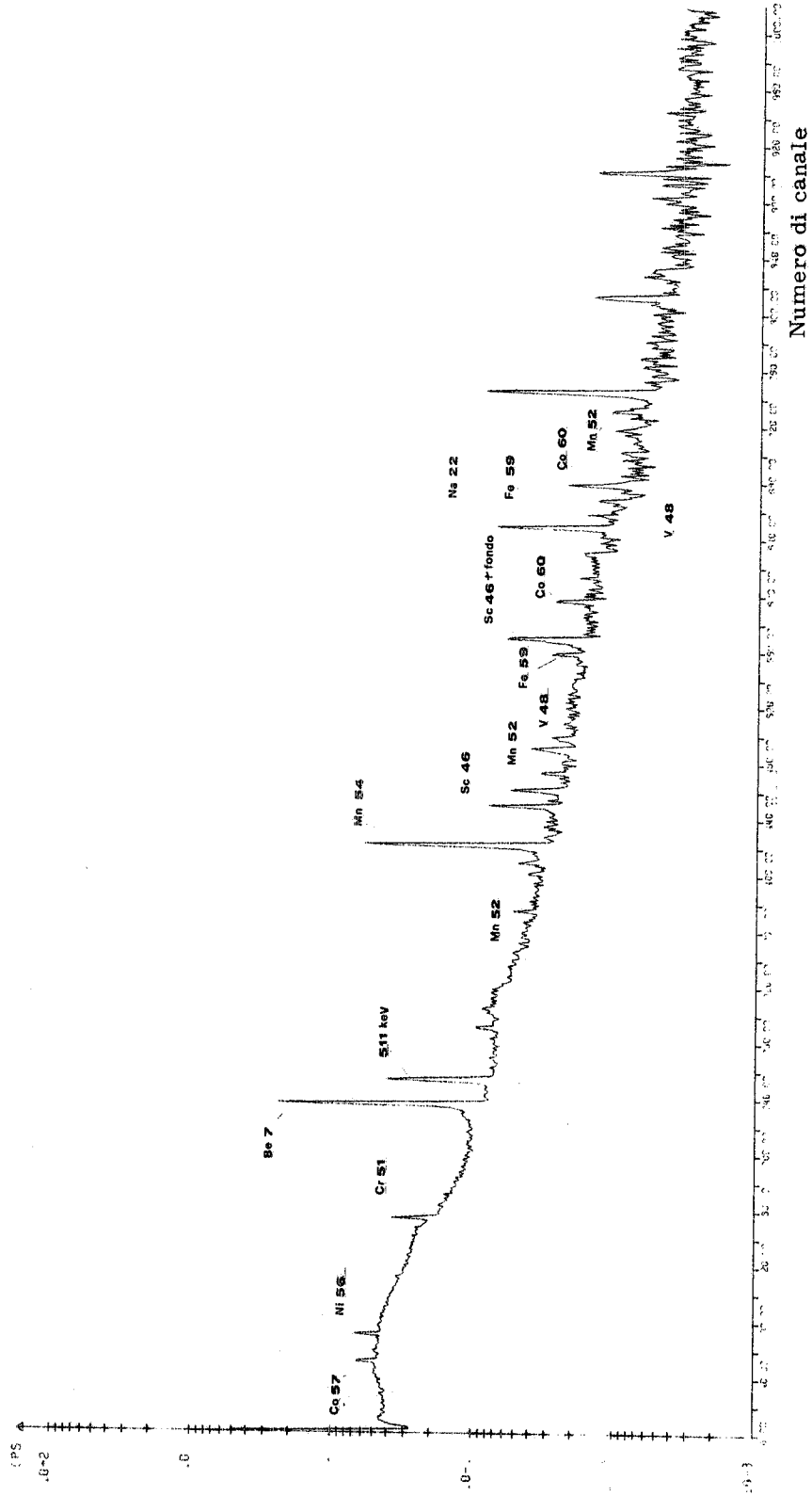


FIG. 2 - Spettro gamma di un campione di polveri prelevato nel locale sottostante la "Catacomba". I picchi senza alcuna indicazione sono dovuti al fondo ambientale.

TABELLA I

Nuclide	E_{γ} (keV)	P	T1/2	Concentrazione max misurata (Bq/g)	Reazioni di provenienza
Co-57	122	87	270 giorni	8.1×10^{-1}	Ni-58 (γ , p)
Ni-56	158	100	6.1 "	2.5×10^{-1}	Ni-58 (γ , 2n)
Cr-51	320	9	27.8 "	1.3×10	Cr-52 (γ , n)
Be-7	477	10	53.6 "	1.0×10^2	C-12 (γ , n α); O-16 (γ , n2 α)
Mn-52	511	67	5.69 "	1.9×10^{-1}	Fe-54 (γ , np); Fe-56 (γ , 3np)
	743	82			
	935	84			
	1434	100			
Mn-54	835	100	280 "	5.2×10	Fe-56 (γ , np); Mn-55 (γ , n)
Sc-46	889	100	84 "	4.8	V-51 (γ , n α); Ti-47 (γ , n)
	1121	100			
V-48	511	100	16.2 "	3.7	Cr-50 (γ , np); V-50 (γ , 2n)
	983	100			
	1312	98			
Fe-59	1099	100	45 "	4.4×10^{-1}	Ni-61 (γ , 2p)
	1291	79			
Co-60	1173	100	5.27 anni	3.7×10^{-1}	Ni-62 (γ , np)
	1332	100			
Na-22	511	180	2.60 anni	3.4×10^{-1}	Al-27 (γ , n2 α)
	1274	99			

la macchina, polverizzati in seguito a lavori sulla guida del fascio (saldature, ecc.), o anche ruggine staccatasi dai tubi metallici.

Analogamente si è proceduto per studiare le reazioni degli altri radionuclidi identificati.

Le attività riportate nella Tabella I, come si può notare, sono estremamente modeste e ampiamente inferiori ai limiti di applicazione del D. P. R. 185/1964, salvo che per il ^{54}Mn e il ^7Be . Le concentrazioni misurate per questi ultimi radionuclidi sono infatti confrontabili con tali limiti.

Si deve comunque osservare che il locale ove sono stati prelevati i campioni di cui trattasi costituisce un'area interdetta all'accesso, e nella quale quindi la presenza del personale è richiesta soltanto sporadicamente.

TABELLA II

N. del campione	Attività beta totale (Bq/g)
1	1.33
2	1.41
3	3.38
4	0.67
5	28.1

Nella Tabella II sono poi riportati per ogni campione i valori delle attività beta totali misurate.

Anche i dati riportati in tale tabella rappresentano attività così modeste da poter escludere che il Linac possa costituire una sorgente di inquinamento radiologico per il sito di Frascati.

Durante occasionali lavori di scavo nelle zone esterne al

tunnel dell'acceleratore, in prossimità del pozzo di spegnimento dei fasci, sono stati anche prelevati ed analizzati vari campioni di terra (del peso da circa 40 g ciascuno) senza tuttavia riscontrarvi la presenza di radioattività diversa da quella naturale.

3.2. - Gas radioattivi.

Misure riguardanti la produzione di gas radioattivi sono state effettuate, durante il funzionamento del Linac, sia all'interno del tunnel dell'acceleratore, sia all'esterno, in prossimità dell'uscita del sistema di ventilazione. Le concentrazioni di gas sono state misurate con una camera avente pareti rivestite di scintillatore plastico, nella quale si faceva fluire l'aria da esaminare con l'ausilio di un apposito aspiratore, munito di filtro per il pulviscolo.

Una prima serie di misure è stata effettuata all'interno del tunnel del Linac, in prossimità dell'odoscopio. L'andamento della concentrazione in funzione del tempo d'irradiazione è mostrata nella Fig. 3 nel caso di un fascio di energia pari a 300 MeV, corrente di picco 50 mA, durata dell'impulso 4 μ sec e frequenza 2 Hz.

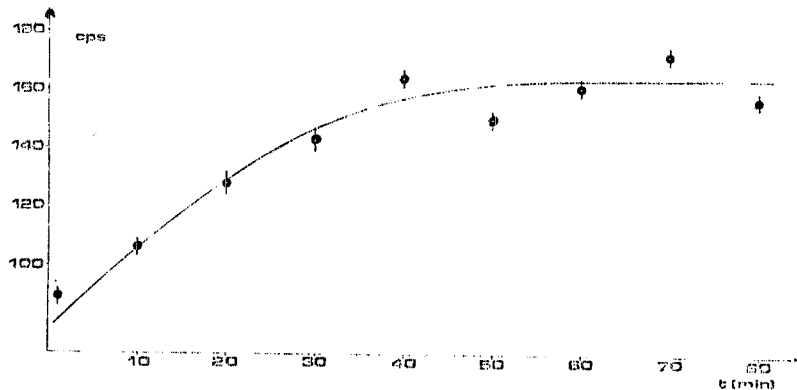


FIG. 3 - Andamento della concentrazione di gas radioattivi in funzione del tempo d'irradiazione in un punto all'interno del tunnel del Linac in prossimità dell'odoscopio (Condizioni di lavoro: E = 300 MeV; I = 50 mA; ν = 2 Hz; τ = 4 μ s).

I valori delle concentrazioni, registrate dopo un'ora di funzionamento circa dall'inizio dell'irradiazione, in varie condizioni di lavoro della macchina, sono riassunte nella Tabella III.

E' importante osservare che le misure effettuate in un ambiente quale il tunnel del Linac, in cui funziona un sistema di ventilazione, sono inevitabilmente affette da fluttuazioni, dovute al continuo ricambio dell'aria e alla perdite occasionali del fascio, e dipendono

TABELLA III

Corrente di picco (mA)	Energia (MeV)	N. conteggi (cps)	Concentrazioni (Bq/cm^3)
50	300	116.2	0.64
100	300	144.8	0.80
25	150	88.4	0.49
50	150	122.2	0.68
100	150	220.2	1.22

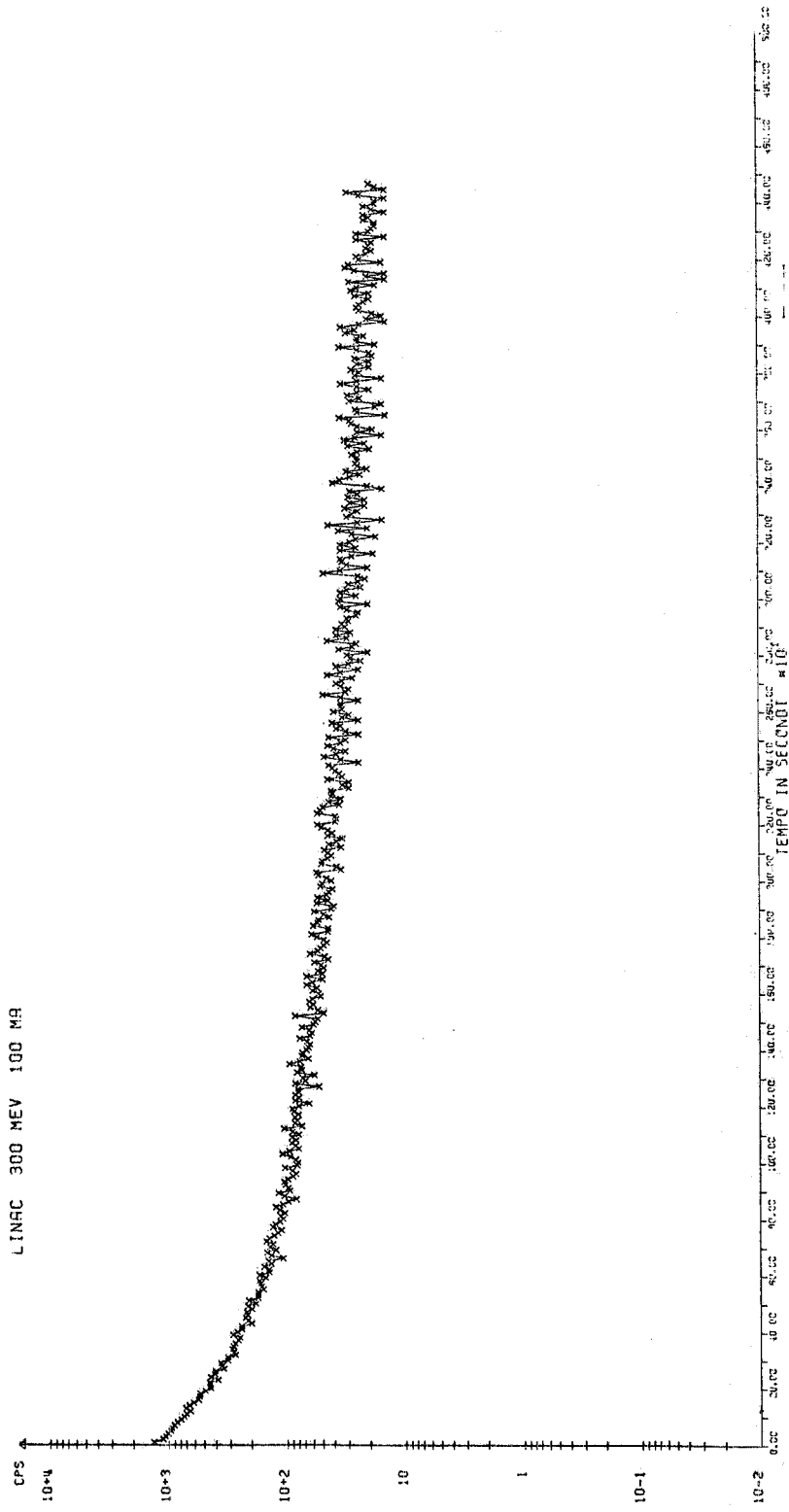


FIG. 4 - Curva di decadimento dei gas radioattivi prodotti nel tunnel del Linac.

fortemente dal punto in cui è collocato l'aspiratore. Quindi le concentrazioni sopra riportate devono essere considerate soltanto come valori indicativi dell'ordine di grandezza delle concentrazioni di gas presenti nel locale.

Si può comunque notare che la concentrazione, al crescere del tempo di irradiazione, tende ad un valore limite (concentrazione a saturazione) che si può considerare praticamente raggiunto dopo circa 50 minuti dall'accensione della macchina. Tale valore cresce con l'aumentare della potenza del fascio accelerato.

Per identificare i nuclidi presenti nella miscela di gas radioattivi prodotti, si è quindi studiato il decadimento di alcuni campioni di aria attivata. Una delle curve di decadimento trovate è riportata, a titolo d'esempio, nella Fig. 4. In base ai diversi tempi di dimezzamento è stata così messa in evidenza la presenza di ^{15}O ($T_{1/2} = 2.1$ min), ^{13}N ($T_{1/2} = 10.1$ min) e, anche se in concentrazioni più modeste, di ^{38}Cl ($T_{1/2} = 37.3$ min), con il procedimento illustrato nella Fig. 5.

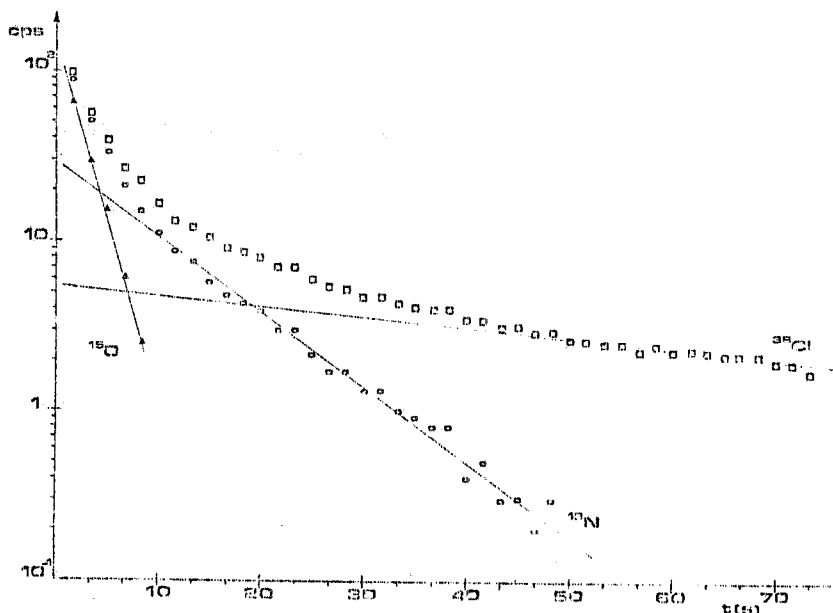


FIG. 5 - Identificazione dei radionuclidi gassosi presenti in base ai rispettivi tempi di dimezzamento.

Si fa notare che, per interazione dei raggi gamma con l'aria, dovrebbe essere prodotto anche il ^{11}C , la cui presenza non è però stata rilevata nel corso delle misure descritte. Ciò probabilmente perchè la frazione di carbonio in aria è così piccola ($1.6 \times 10^{-2} \%$) da rendere trascurabile la concentrazione di ^{11}C all'equilibrio rispetto a quella degli altri gas.

Una seconda serie di misure è stata effettuata all'uscita del circuito della ventilazione, dentro il camino e a varie distanze da esso, allo scopo di studiare l'effetto della diluizione atmosferica. Queste misure sono state eseguite durante il funzionamento della macchina nei

turni Leale. Nelle Figg. 6 e 7 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni della miscela di gas radioattivi in funzione della distanza dalla bocca di scarico, per due diverse condizioni di funzionamento dell'acceleratore.

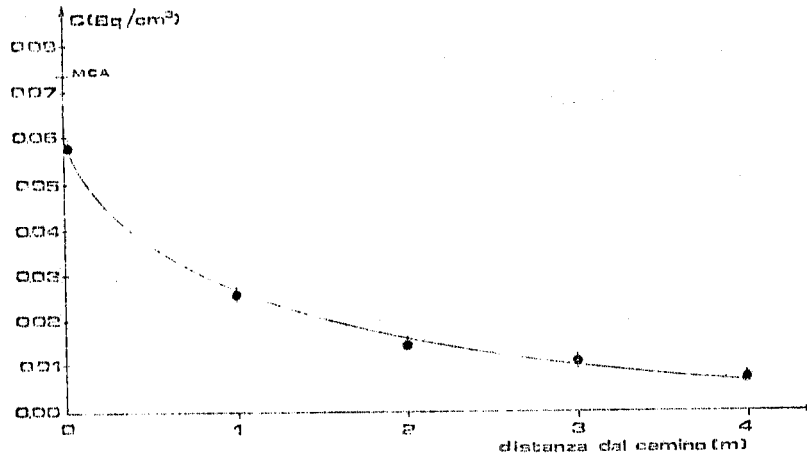


FIG. 6 - Andamento della concentrazione dei gas radioattivi in funzione della distanza dal punto di scarico (Condizioni di lavoro: $E = 317$ MeV; $I = 95$ mA; $\nu = 100$ Hz; $\tau = 3.2$ μ s).

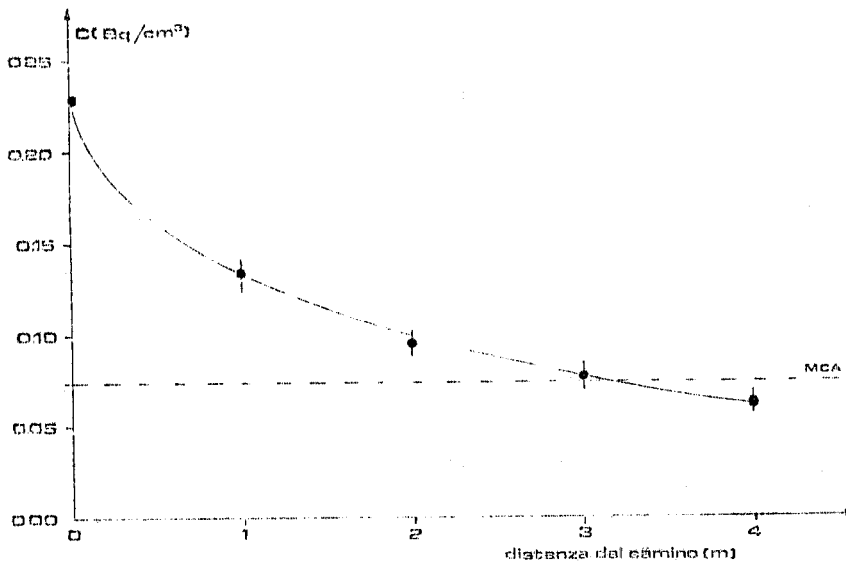


FIG. 7 - Andamento della concentrazione dei gas radioattivi in funzione della distanza dal punto di scarico (Condizioni di lavoro: $E = 320$ MeV; $I = 100$ mA; $\nu = 150$ Hz; $\tau = 3.2$ μ s).

Nel primo caso la concentrazione della miscela è già al momento dello scarico inferiore alla MCA, pari a circa 7.4×10^{-2} Bq/cm³(14). Nel secondo caso, invece, risulta più elevata di tale valore, ma limitatamente a una ristretta zona in prossimità del camino. Tale zona, trattandosi del tetto di un edificio, non è però abitualmente accessibile nemmeno per il per-

sonale che lavora nel Centro.

Merita anche rilevare che la dose protezionisticamente significativa, nel caso in parola, è quella da sommersione. Tale dose può quindi essere valutata con i comuni dosimetri usati per la sorveglianza fisica individuale del personale esposto. I valori di dose così misurati in corrispondenza dell'uscita dal canale della ventilazione in questi ultimi anni risultano compresi tra circa 0.83 mSv/anno e 5.1 mSv/anno.

4. - CONTROLLI SULLA RADIOATTIVITA' RILASCIATA IN ACQUA.

Si è voluto, per completezza, effettuare un accurato controllo sulle acque presenti nel Centro, nonostante risultasse molto improbabile l'eventualità di trovarvi tracce di radioattività indotta.

Tale eventualità appare infatti molto remota, in quanto le resine impiegate per la demineralizzazione delle acque di raffreddamento trattengono efficacemente il berillio che vi si può formare, mentre la formazione di trizio (tempo di dimezzamento 12.2 anni) è resa assai difficile dai frequenti ricambi delle acque stesse.

Per le considerazioni sopra svolte, sembra perciò poco probabile che gli eventuali nuclidi prodotti possano essere presenti in quantità apprezzabile nelle acque piovane e possano quindi diffondersi nell'ambiente circostante.

Il campionamento è stato effettuato in modo da raccogliere informazioni sia sulla radioattività dei circuiti di raffreddamento, sia sulle effettive possibilità che ha la radioattività formata all'interno del Linac di raggiungere l'ambiente esterno, attraverso l'azione di trasporto delle acque piovane.

Campioni di acqua, da 20 cc ciascuno, sono stati quindi prelevati presso le torri di raffreddamento del Linac e di Adone, all'interno di due pozzi nei quali scorrono le acque di scarico del Centro, in un canaletto che convoglia le acque piovane, ed infine in una piccola pozza di acqua piovana infiltratasi nella "Catacomba".

Di questi campioni è stato analizzato lo spettro dei raggi gamma emessi con un cristallo di Ge-Li ed è stata effettuata, presso i Laboratori del CNEN del C. S. N. Casaccia, il conteggio della radioattività beta totale. Le previsioni hanno trovato conferma nell'esito delle analisi, in quanto sono stati rilevati picchi fotoelettrici e concentrazioni di radioattività beta totale attribuibili essenzialmente soltanto al fondo naturale.

Fa eccezione il solo caso del campione prelevato nella pozza d'acqua piovana della "Catacomba", nel quale è stata riscontrata la presenza di ^7Be , riconoscibile dalla caratteristica riga a 477 keV nello spettro di emissione gamma.

L'attività per unità di volume del berillio trovato nel suddetto campione era di circa 2 Bq/cm^3 . Si ricorda al proposito che la legislazione vigente fissa, per il ^7Be , una MCA in acqua potabile pari a $5.4 \times 10^2 \text{ Bq/ml}$ per i lavoratori esposti⁽¹⁴⁾, e un valore 10 volte minore per gli adulti appartenenti al gruppo terzo della popolazione⁽¹⁵⁾.

Si è comunque del parere che il ^7Be trovato in quest'unico caso non possa essere stato originato per attivazione dell'acqua, visto che negli altri campioni, prelevati anche dai circuiti di raffreddamento, non ne sono state mai identificate le benchè minime tracce. Appare molto più probabile che la presenza del ^7Be sia invece da attribuire alla polvere presente in "Catacomba" e mescolatasi nel campione d'acqua al momento del prelievo: ipotesi questa che trae motivo di conferma dai risultati relativi ai campioni di polvere prelevati nella "Catacomba" e nei quali il ^7Be è risultato sempre presente.

5. - MISURE DI CONCENTRAZIONE DI OZONO.

I problemi di protezione connessi con la produzione di gas tossici, e in particolare di ozono, durante il funzionamento dell'acceleratore lineare di Frascati sono stati già illustrati in altra nota⁽¹⁶⁾.

La concentrazione del predetto gas tossico, misurata all'interno di recipienti di plastica o di vetro esposti al fascio diretto di elettroni, è risultata variare con il tempo di irradiazione t secondo la semplice legge:

$$C = C_s (1 - e^{-Bt}) \quad (1)$$

dove C_s rappresenta la concentrazione a saturazione e B è una costante legata al tempo di dissociazione dell'ozono.

A sua volta, la concentrazione a saturazione varia con la corrente media I del fascio di elettroni secondo una relazione empirica del tipo:

$$C_s = K I^{0.8} \quad (2)$$

dove K è una costante che dipende dalle condizioni di irradiazione e dal tipo di recipiente usato.

Si è inoltre trovato che C_s non varia al variare dell'energia del fascio di elettroni accelerato e che una legge simile alla (2) vale anche nel caso di produzione di ozono da parte dei raggi X di frenamento originati dal fascio di elettroni urtando un bersaglio spesso.

Una volta formatosi, l'ozono si dissocia quindi con una legge che, in prima approssimazione, può essere assunta esponenziale. Tale approssimazione sembra senz'altro adeguata per le previsioni di ordine protezionistico.

Si vuole ora riferire delle misure di concentrazione di ozono effettuate in vari ambienti del Leale, durante il funzionamento del Linac per la produzione del fascio di π^- . Le misure sono state effettuate con un analizzatore Dasibi mod. 1003AH, che consente la determinazione della concentrazione di ozono presente in un campione d'aria sfruttando l'assorbimento di luce ultravioletta da parte delle molecole di ozono. Le condizioni di funzionamento della macchina erano quelle in cui la produzione di gas tossico dovrebbe essere la massima ipotizzabile (fascio di elettroni: 320 MeV; 100 mA di picco; 100 Hz).

I risultati delle misure in alcuni dei punti più rappresentativi sono mostrati nella Tab. IV.

TABELLA IV

Ambiente	C (ppm)	Tempo impiegato a raggiungere la concentrazione misurata (h)
Catacomba altezza I pozzo spegnimento	0.166	14
Cancello catacomba	0.061	4
Sala smistamento	0.042	9
Cancello sala smistamento	0.036 0.068	9
	(allineamento fascio)	
Area γ monocromatici	0.033	9
Sala Pioni	0.059	9.5
Sala Pioni (dietro le schermature)	0.018	9.5
Sala Pioni (in prossim- ità della piattaforma magneti)	0.033	9.5
Cella calda	0.075	~ 0.1

Come si può notare, la concentrazione di ozono supera il livello consentito (0.1 ppm)^(17, 18) soltanto in "Catacomba" ove il fascio viaggia in aria e, probabilmente, in cella calda se si tiene conto che la misura è stata interrotta pochi minuti dopo l'accensione della macchina, a causa degli elevati livelli di radiazione presenti che avrebbero potuto danneggiare lo strumento di misura.

Si deve peraltro notare che i due sopra citati ambienti sono preclusi al personale durante il funzionamento della macchina e, anche quando questa è spenta, l'accesso vi è consentito soltanto dopo adeguati tempi di attesa, fissati in base ai livelli di radiazione indotta presenti. Tali tempi sono largamente sufficienti anche ai fini della protezione dall'ozono.

All'altezza del cancello della sala smistamento è stata fatta una doppia misura: la prima nelle normali condizioni di funzionamento di Leale (π^-) e la seconda durante una operazione di allineamento del fascio di elettroni. Come si nota (cfr. Tabella IV) la concentrazione di ozono della seconda misura risulta più elevata, poichè nelle condizioni in cui essa è stata eseguita il fascio di elettroni finiva direttamente in "Catacomba", al contrario del caso precedente in cui veniva intercettato all'altezza della sala Pioni.

Tra gli ambienti accessibili al personale durante il funzionamento della macchina, la sala Pioni risulta quello ove la concentrazione di ozono può raggiungere i valori più elevati, anche se non pericolosi dal punto di vista sanitario. Ciò si spiega con la maggiore vicinanza di tale ambiente alla targhetta dei pioni, al punto cioè ove si perde gran parte del fascio.

Nel complesso non sembra che la concentrazione di ozono nelle zone controllate del Leale raggiunga limiti tali da suscitare preoccupazione per il personale che vi lavora. Per quanto concerne il rischio nelle zone esterne all'impianto non può non concludersi che trattasi di problema praticamente irrilevante.

BIBLIOGRAFIA.

- (1) - R. H. Thomas, The radiological impact of high energy accelerators on the environment, Lawrence Berkeley Laboratory, Report LBL-8101 (1978).
- (2) - F. Lucci e M. Pelliccioni, Esperienza di sorveglianza fisica dalle radiazioni ai confini del Centro di Frascati, Frascati Report LNF-74/38 (1974).
- (3) - F. Lucci and M. Pelliccioni, Radiation levels at the boundaries of the Frascati Center and natural background, Third European Congress of the IRPA, Amsterdam, 13-16 May, 1975.
- (4) - K. Goebel, Radioecological considerations for operating particle accelerators, Report CERN 79-09 (1979).
- (5) - M. Ladu, M. Pelliccioni e M. Roccella, Produzione e scarico di gas tossici e radioattivi nel tunnel del Linac di Frascati, Giornale di Fisica Sanitaria e Protezione contro le Radiazioni, 11, n. 2, 112 (1967).
- (6) - F. Lucci, S. Merolli and M. Pelliccioni, Measurements of induced radioactivity in dust around a 400 MeV Linac, Health Phys. 24, 411 (1973).
- (7) - H. Vialettes, Gas and dust activation in the target room of the Saclay electron Linac, Proceedings 2nd Intern. Conf. on Accelerator Dosimetry and Experience, Stanford, 1969, pag. 121.
- (8) - F. Lucci, M. Pelliccioni e M. Paganelli, Risultati di un'indagine campione sul fondo naturale di radiazioni nella zona di Roma, Frascati Report LNF-75/24 (1975).
- (9) - A. Esposito, F. Lucci, M. Pelliccioni e C. Zampa, Messa a punto di un sistema ad integrazione per la dosimetria dei neutroni intorno ad acceleratori di elettroni, Annali di Radioprotezione (in corso di stampa).
- (10) - M. Ladu, M. Pelliccioni e M. Roccella, Radioattività residue sulla guida d'onda del Linac di Frascati, Minerva Fisico-Nucleare 11, n. 2, 103 (1967).
- (11) - J. M. Wyckoff, Beam monitoring by activation at SLAC, SLAC Int. Report (1968).
- (12) - J. M. Wyckoff, Radioactivity produced by a Linac, IEEE Trans. on Nuclear Science (1967).
- (13) - C. Yamaguchi, MPC calculation for the radionuclides produced during accelerator operation, Health Phys. 29, 393 (1975).
- (14) - D. M. 6/6/1968 (G. U. n. 220 del 30/8/1968), Determinazione delle dosi e delle concentrazioni massime ammissibili ai fini della protezione sanitaria dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti.
- (15) - D. M. 2/2/1971 (G. U. n. 58 del 6/3/1971), Determinazione dei valori delle dosi massime ammissibili e delle concentrazioni massime ammissibili, nonché dei valori della efficienza biologica relativa per la popolazione nel suo insieme e per i gruppi particolari della popolazione, ai fini della protezione contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti.
- (16) - P. Cavallucci, A. Esposito, M. Pelliccioni e A. Rindi, Produzione di ozono in aria con fasci di elettroni di alta energia, Annali di Radioprotezione 1, 13 (1979).
- (17) - ACGIH, Threshold limit values of airborne contaminants and physical agents with intended changes adopted by ACGIH for 1971.
- (18) - ACGIH, Documentation of the threshold limit values for substances in workroom air (American Conf. of Governmental Industrial Hygienist, Cincinnati), 3rd edition.