

Applicazioni industriali degli acceleratori di elettroni



P.B. Finazzi



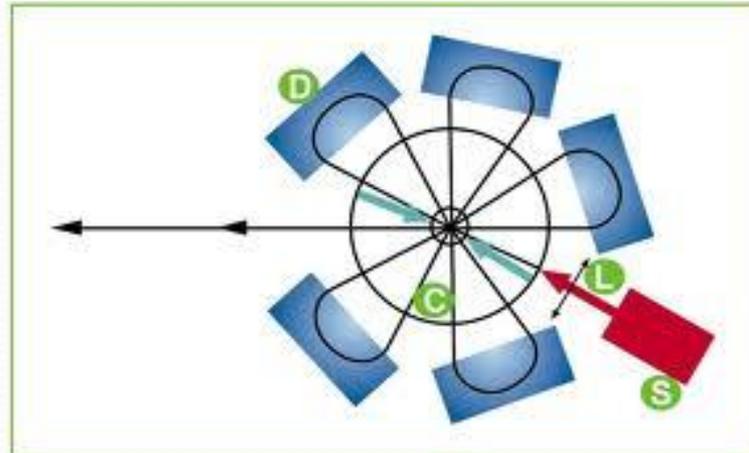
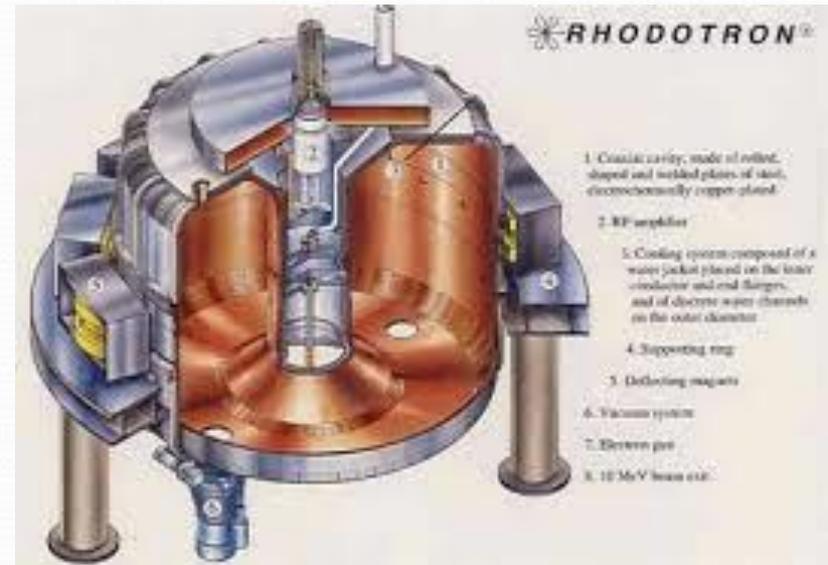
Come acceleratori di particelle si intendono, in generale, quelle macchine che, attraverso opportuni campi magnetici e/o elettrici, attribuiscono energia cinetica ad insiemi di particelle generando, così, dei fasci di particelle caratterizzati da specifiche energie. Gli acceleratori di particelle più comuni sono gli acceleratori elettrostatici (es. Van De Graaf), gli acceleratori ciclici (es. ciclotrone) e gli acceleratori lineari.

In tutti gli acceleratori di elettroni si ha un catodo che produce elettroni per effetto termoionico. Le particelle prodotte da questa sorgente vengono quindi accelerate all'interno di un sistema mantenuto sottovuoto, a valori tipici di 10^{-7} - 10^{-8} mbar. Sempre all'interno del sistema sottovuoto, il fascio di elettroni viene quindi indirizzato verso il bersaglio, sia esso un oggetto da irraggiare o sia un "target" utilizzato per la conversione degli elettroni in raggi X. In quest'ultima fase il fascio viene anche focalizzato, attraverso dei campi magnetici, può essere selezionato in funzione dell'energia e può essere deviato per raggiungere particolari finestre di scansione.

Negli acceleratori lineari (LINAC) l'energia ricevuta dagli elettroni viene loro ceduta attraverso un sistema di cavità risonanti. Queste cavità sono allineate tra loro così da formare un unico cilindro lungo il cui asse possono passare gli elettroni. Si ottiene in questo modo una sorta di guida d'onda all'interno della quale delle radiazioni elettromagnetiche di frequenza opportuna possono viaggiare praticamente senza perdite. L'onda elettromagnetica che percorre il sistema sarà caratterizzata da una oscillazione con un particolare periodo T . Ciò significa che, nello stesso istante t , in quattro cavità consecutive si avrà ad esempio nella prima un campo elettrico diretto in senso positivo, nella seconda il campo elettrico sarà nullo, nella terza avrà senso negativo e nella quarta sarà nuovamente nullo. Questo ciclo si ripeterà per ogni gruppo di quattro cavità (le dimensioni di un gruppo di quattro cavità corrispondono quindi alla lunghezza d'onda della radiofrequenza immessa). È dunque necessario che gli elettroni possano sempre ricevere gli impulsi positivi evitando quelli nulli e, soprattutto, quelli negativi. Perciò il fascio di elettroni viene spezzato in pacchetti di particelle aventi la stessa frequenza della radioonda così che possano viaggiare in fase all'interno di tutte le cavità.

Nei LINAC le onde elettromagnetiche hanno tipicamente una frequenza attorno ai 3GHz a cui corrisponde una lunghezza d'onda di circa 10 centimetri. Perciò le dimensioni tipiche di un LINAC sono di circa 10 centimetri di diametro nelle cavità, ognuna delle quali ha uno spessore tipico compreso tra 2 e 3 centimetri.

L'acceleratore RHODOTRON IBA



Le applicazioni più comuni degli acceleratori di elettroni nell'ambiente industriale sono:

- controlli non distruttivi (radiografie)
- modificazione della materia (cross-linking)
- colorazione dei vetri e delle pietre preziose
- essiccazione delle vernici e degli inchiostri ad acqua
- indurimento delle vernici del legno (parquet)
- Implantazione ionica (incremento della velocità di commutazione dei semiconduttori)
- sterilizzazione e, come casi particolari
 - conservazione dei prodotti alimentari
 - abbattimento della carica batterica nei fanghi tossici
 - impedimento della germinazione delle patate
 - conservazione di ortaggi e sementi
 - eliminazione della carica batterica dalla carne di pollo

Per queste applicazioni si utilizzano fasci di elettroni con diverse energie. Le energie più comunemente usate sono generalmente comprese entro i 10 MeV con un minimo di 1-1,5 MeV. Le diverse energie sono una diretta conseguenza delle diverse necessità e della capacità di penetrazione degli elettroni, a titolo di esempio si pensi che gli elettroni da 10 MeV hanno un range utile di circa 4 centimetri in acqua

100 -500 keV elettroni	2 -10 MeV elettroni	1 -15 MeV raggi X
	sterilizzazione	Cargo-scanning
essiccazione delle vernici e degli inchiostri ad acqua	conservazione dei prodotti alimentari	Controlli non distruttivi (radiografie) di manufatti
indurimento delle vernici del legno (parquet)	abbattimento della carica batterica nei fanghi tossici	abbattimento della carica batterica nei fanghi tossici
	impedimento della germinazione delle patate	
	conservazione di ortaggi e sementi	
	Abbattimento carica batterica nella carne di pollo	
	Implantazione ionica	
	Colorazione dei vetri e delle pietre preziose	

Sterilizzazione

Un impianto di sterilizzazione nasce per l'esigenza di eliminare la carica batterica contenuta in alcuni beni di consumo il cui uso richiede la sterilità del bene stesso.

A titolo di esempio si pensi a tutto ciò che si usa in una sala operatoria, dal lenzuolo per il paziente alle sonde in fibra ottica ai filtri per il sangue ed a tutto ciò che può essere associato con un intervento chirurgico.

Ma anche i cosmetici, alcuni prodotti per l'infanzia, alcuni prodotti alimentari per l'uomo e per gli animali, alcuni prodotti farmaceutici, molti monouso per laboratorio.

Il ciclo di sterilizzazione teso ad eliminare il contenuto batterico (bioburden) di un certo bene deve venir validato attraverso, dapprima, la determinazione del carico batterico e quindi la determinazione della dose necessaria per la sua distruzione. In generale si adottano gli standard della Pharmacopea che stabiliscono una dose di 25 kGy per la completa distruzione di ogni carica batterica.

Tale valore è stato ricavato prendendo come riferimento una coltura di *Bacillus Pumilus* di entità conosciuta e riportando su un grafico la sua diminuzione in funzione della dose ricevuta

Si ottiene così una curva dalla quale si ricava la definizione di: “dose di decimazione” cioè di quella dose che riduce di un decimo il bioburden. Per il *Bacillus Pumilus* si è determinata una dose di decimazione pari a 1,7 kGy.

Introducendo la definizione di SAL (Sterility Assurance Level) come “la massima probabilità che un bene ha di presentare ancora tracce di bioburden dopo un processo di sterilizzazione” e fissando, secondo le indicazioni internazionali, lo stesso SAL a 10^{-6} sappiamo che l’irraggiamento dovrà dare una dose tale da garantire la completa distruzione del carico batterico associando ad ogni colonia batterica una probabilità di sopravvivenza su un milione.

Assumendo il massimo carico batterico iniziale pari a 10^9 colonie si ottiene la seguente dose richiesta:

dose di decimazione = 1,7 kGy

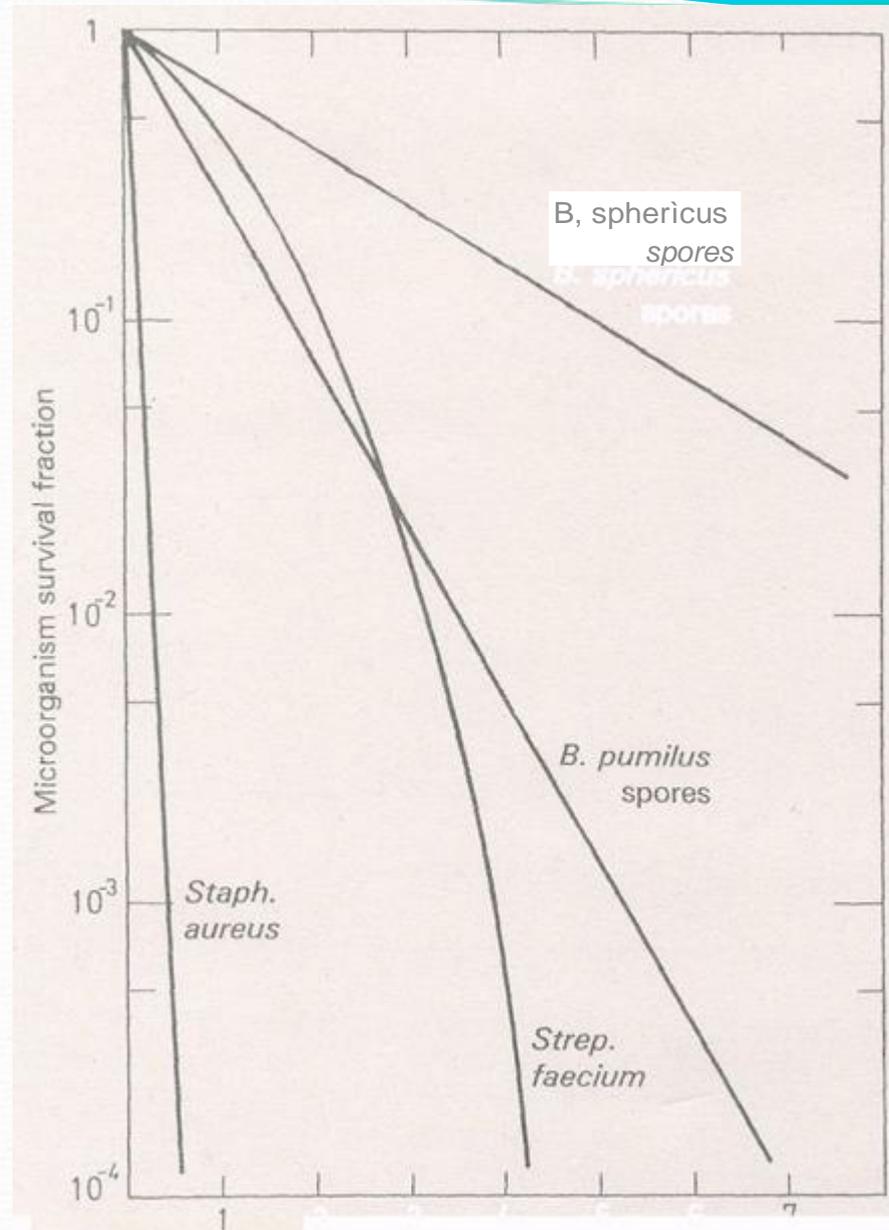
bioburden iniziale = 10^9 colonie $\Rightarrow 1,7 \times 9 = 15,3$ kGy

SAL richiesto = 10^{-6} $\Rightarrow 1,7 \times 6 = 10,2$ kGy

Dose totale richiesta = $= 25,5 \approx 25$ kGy

In alcuni casi è possibile trattare il materiale a dosi inferiori ma è necessario stabilire prima esattamente il bioburden dello specifico bene.

Curve di sopravvivenza in funzione della dose di alcuni batteri



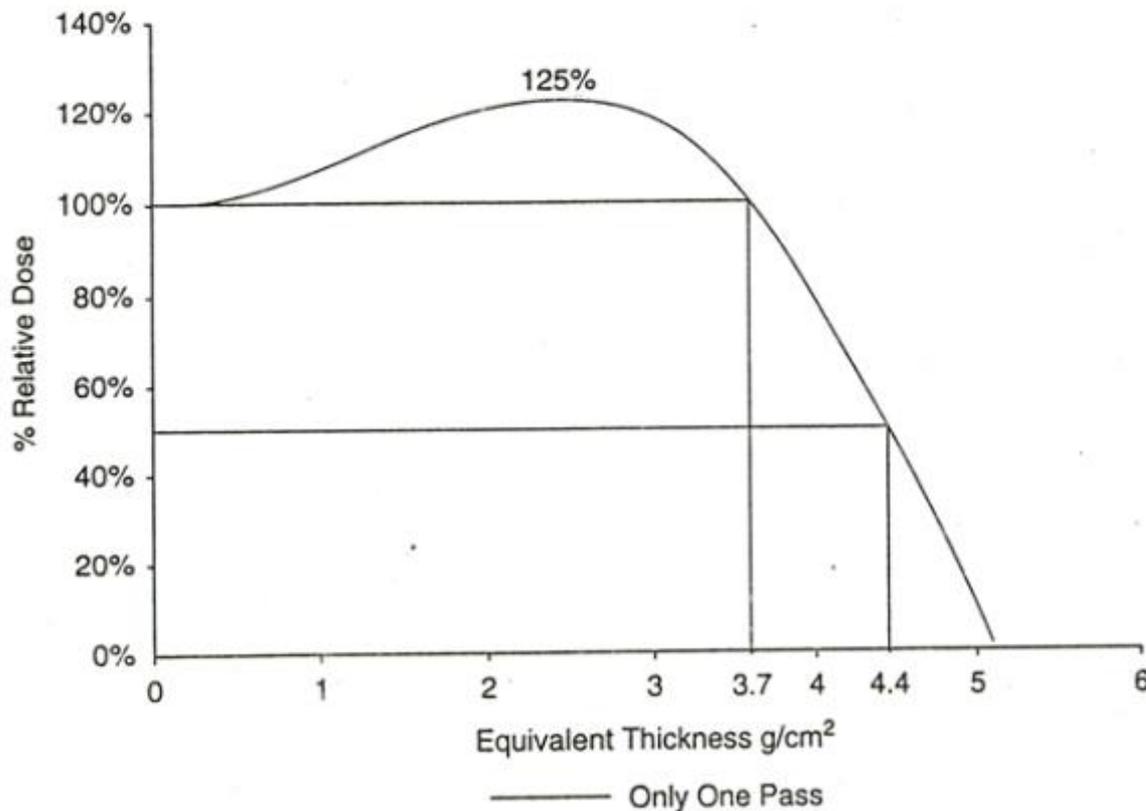


Figura 7

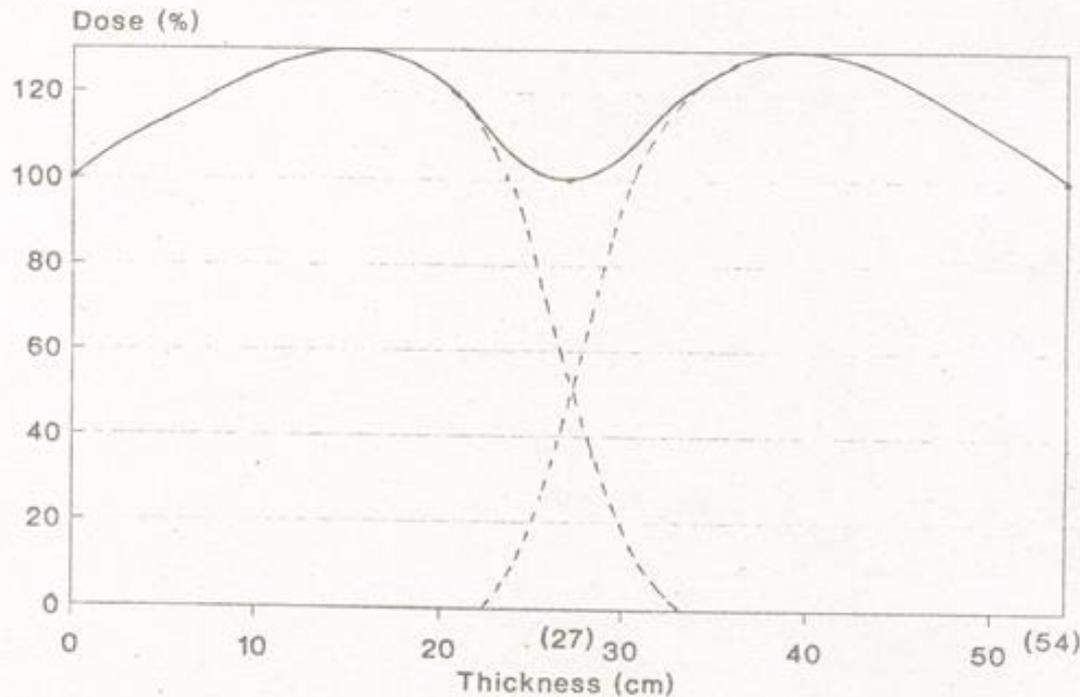
Dovendo garantire la completa sterilità diventa estremamente importante conoscere i meccanismi di distribuzione della dose nel materiale trattato e trovare il modo di misurare dosi della magnitudo richiesta.

Nella figura 7 viene rappresentata la distribuzione di dose nella materia per elettroni monoenergetici. Nel caso specifico si fa riferimento ad elettroni da 10 MeV .

Si noti come il 100% della dose viene attribuito alla superficie di ingresso sino ad una profondità di circa 0,5 cm (con densità 1g/cm³) per poi avere un aumento di dose, ritornando al 100% a circa 3,7 cm dalla superficie di ingresso e scendendo verso lo zero che viene raggiunto a 5 cm di profondità. Questa distribuzione di dose è dovuta, nella prima parte della curva, alla generazione di elettroni secondari da parte del fascio incidente mentre la seconda parte segue le “normali” leggi della interazione degli elettroni con la materia dove il Range massimo è a 5 cm.

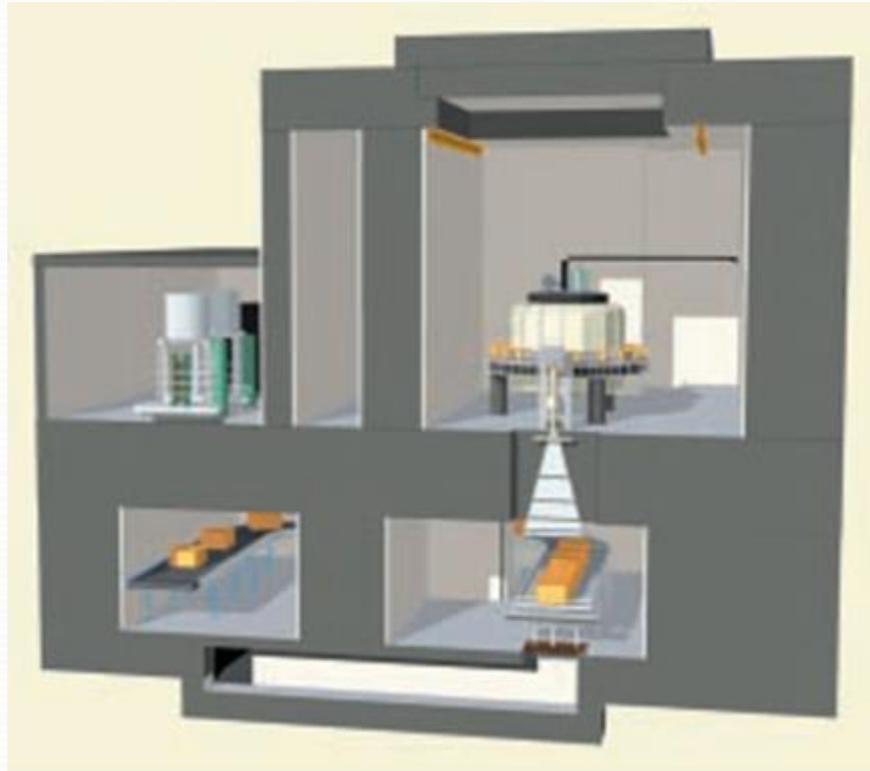
Figura 8

DEPTH/DOSE DISTRIBUTION CURVE
10 MeV e-beam - double sided irradiation



Product density 0,15 g/cm³

Questo significa che oltre i 5 centimetri a densità 1 non avrò più dose e significa anche che se ho 25 kGy alla superficie di ingresso ne avrò 20 a 4 centimetri e solo 12,5 a 4,4 cm. Dovendo garantire la sterilità questa distribuzione di dose non è accettabile. Si rende necessario un nuovo irraggiamento da effettuarsi dalla superficie opposta alla prima ottenendo così una sovrapposizione di dose come riportato nella figura 8. La sovrapposizione delle dosi può generare dei danni nel materiale irraggiato poiché si corre il rischio di esporre i beni da trattare a dosi doppie rispetto a quelle richieste con conseguenti possibili rotture nel materiale trattato. Per tutti questi motivi non è sufficiente fare della dosimetria sulla superficie del prodotto ma è necessario misurare la dose all'interno del collo trattato ottimizzando il confezionamento del prodotto così da rendere la dose il più uniforme possibile.



Rappresentazione schematica di un impianto di sterilizzazione con acceleratore di elettroni

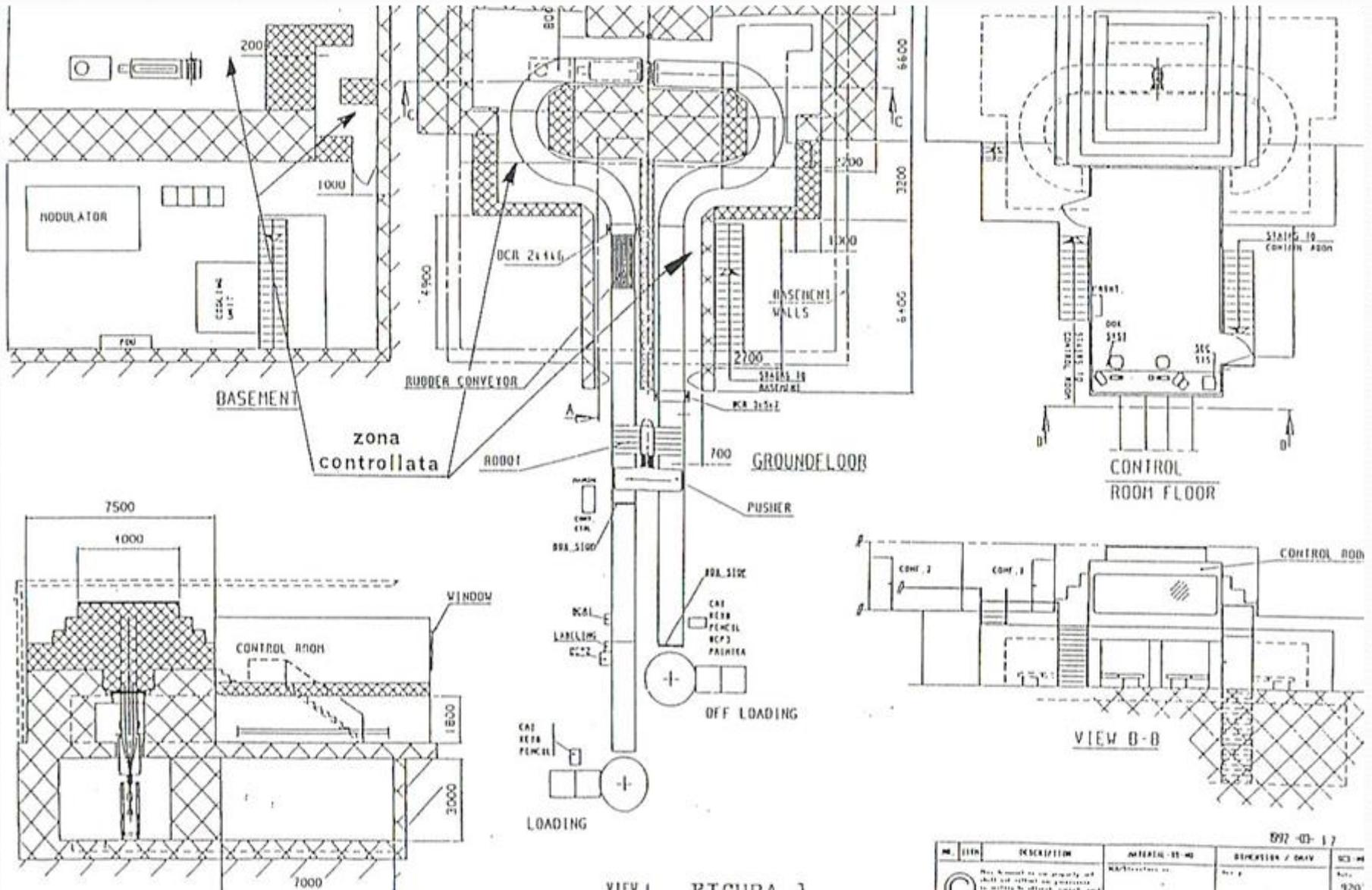
Per parlare di sterilizzazione prenderemo ad esempio il primo impianto di sterilizzazione con elettroni accelerati realizzato sul territorio italiano : l'impianto EB10 della BIOSTER. L'impianto fa parte di un progetto comprendente tre impianti di sterilizzazione già completamente realizzati. EB10 è funzionante a regime dal 1994 ed è stato progettato per la sterilizzazione con raggi beta di prodotti aventi una densità apparente inferiore kg/dmc . La capacità dell'impianto è di circa $300 \text{ m}^3/\text{giorno}$ di materiale con densità $0,1 \text{ kg/dmc}$.

energia degli elettroni	10Mev
precisione dell'energia	+/- 8%
potenza del fascio (valore di progetto)	30 kW
potenza del fascio (valore nominale)	20 kW
corrente media del fascio	180 mA
durata media (massima) dell'impulso	15(17) μsec
frequenza media (massima) dell'impulso	700 (800) Hz
scansione massima	80 cm
uniformità di dose alla massima scansione	+/- 5%
frequenza delle microonde	3GHz
sorgente di elettroni	catodo di Pierce

3.1) sistemi di sicurezza

Il sistema di Sicurezza/emergenza dell'impianto EB10 è costituito dai seguenti componenti:

- 2 pulsanti di blocco totale dell'impianto (SCRAM) che tolgono ogni tipo di alimentazione elettrica;**
- 3 pulsanti che interrompono ogni tipo di alimentazione elettrica fatta eccezione per il PLC e per il sistema di vuoto**
- 8 funi di emergenza, poste nel bunker a circa 120 cm di altezza, che interrompono le alimentazioni elettriche fatta eccezione per il PLC e per il sistema di vuoto;**
- 8 funi di emergenza con le stesse funzioni delle precedenti ma poste a circa 30 cm di altezza dal suolo;**
- 5 segnalatori ottici lampeggianti indicanti il funzionamento dell'acceleratore;**
- 2 segnalatori acustici per segnalare l'inizio della emissione di radiazioni;**
- 3 porte interbloccate attraverso il PLC al funzionamento della macchina;- 3 pulsanti a chiave interbloccati attraverso il PLC al funzionamento della macchina;**
- 4 pulsanti di ispezione collocati all'interno del bunker da premere secondo una precisa sequenza nel corso delle rande di ispezione prima dell'avvio della macchina. Il mancato azionamento di uno di questi pulsanti o il mancato rispetto della sequenza di attivazione non danno il consenso al funzionamento dell'acceleratore**
- 2 rivelatori all'infrarosso posizionati nel tunnel di trasporto del materiale e destinati a rilevare l'eventuale intrusione di un uomo durante il funzionamento della macchina. In questo caso l'allarme generato dai rivelatori causa lo spegnimento del fascio**
- 2 fotocellule posizionate nel tunnel di trasporto materiale e destinate ad intercettare ingombri superiori ai massimi previsti ed assimilabili alla presenza umana. Una volta attivate le fotocellule generano un allarme che spegne il fascio**
- 3 rivelatori di radiazione destinati, rispettivamente, alla verifica del livello di esposizione (2.5 uSv/h) in sala controllo ed in sala elettronica, il terzo rivelatore è destinato alla rilevazione del fascio per una conferma delle condizioni di emissione dei raggi**
- 5 rivelatori di fumo interbloccati, attraverso il PLC, al funzionamento della macchina**
- 2 ventilatori destinati all'aspirazione dell'ozono dalla sala dell'acceleratore e dalla zona di irraggiamento interbloccati, attraverso il PLC, al funzionamento della macchina**
- 2 telecamere destinate alla ripresa di quanto avviene nella zona di irraggiamento**
- interblocchi sulle porte , sui sistemi di messa a terra e sulle temperature del modulatore e del klystron.**



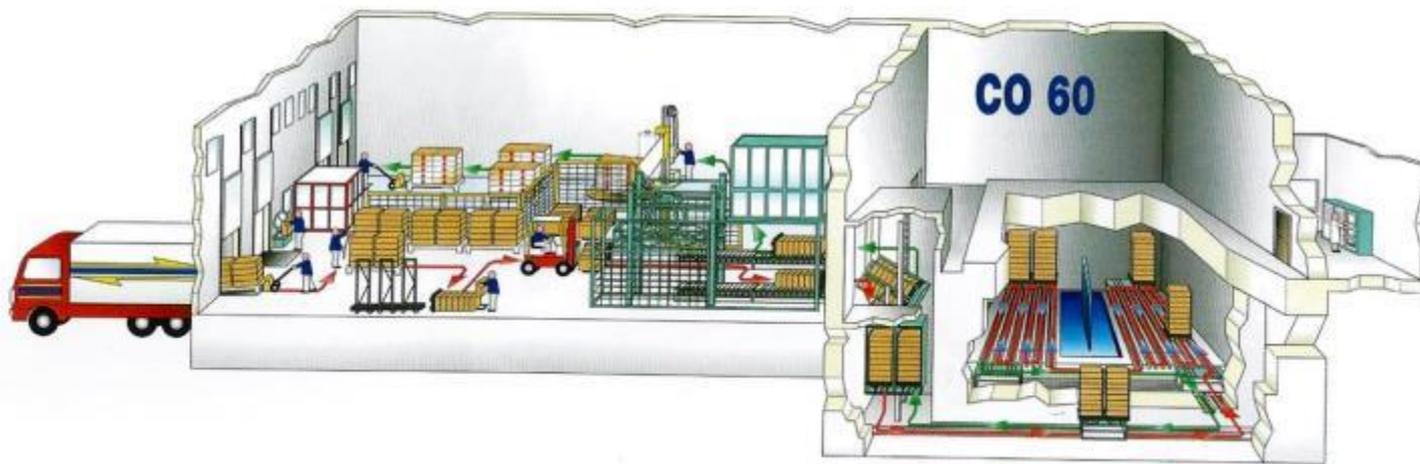
VIEW A-A

VIEW B-B

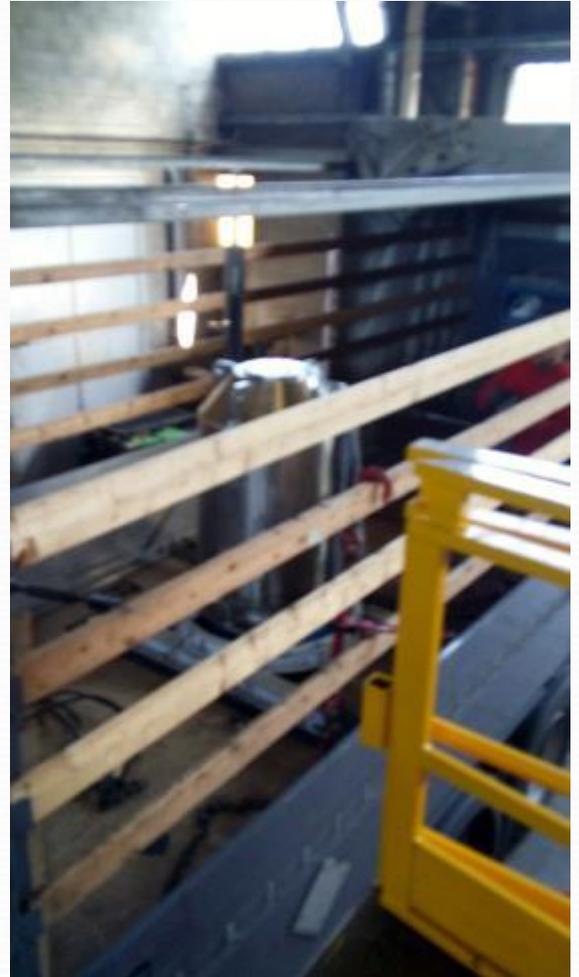
897-03-17

NO.	ITEM	DESCRIPTION	MATERIAL - QUANTITY	DIMENSION / QUANTITY	SCALE
1		See Remarks on the drawings and sheets for reference and quantities to be written by the contractor.			1:200

SCHEMA DELL'IMPIANTO GAMMATOM

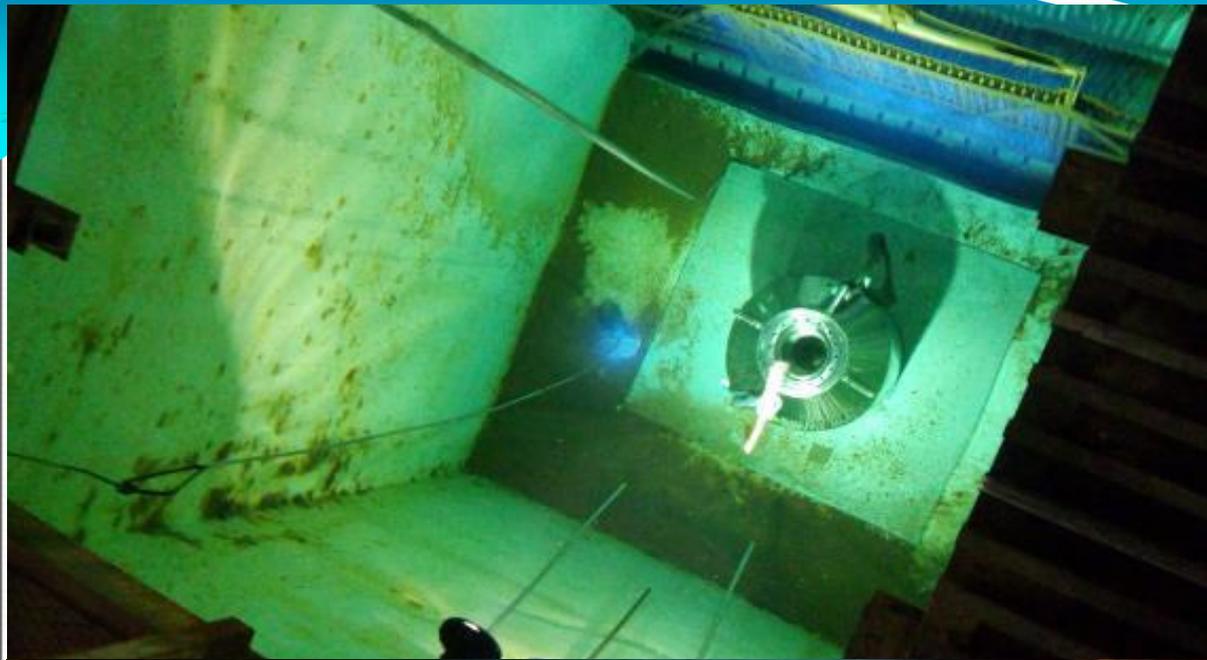


Schema di un impianto di sterilizzazione con Co60 -GAMMATOM





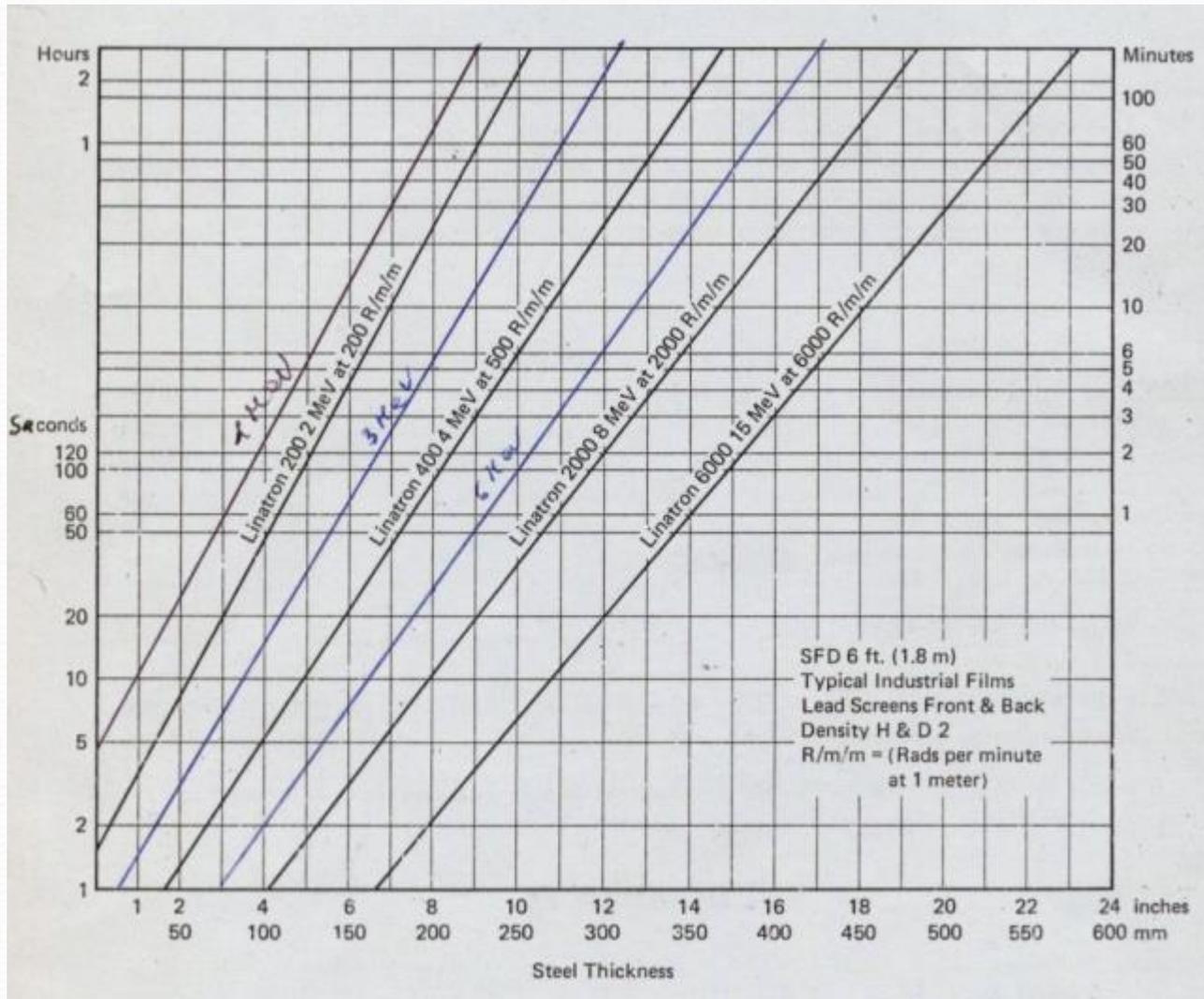






CONTROLLI NON DISTRUTTIVI (NDT)

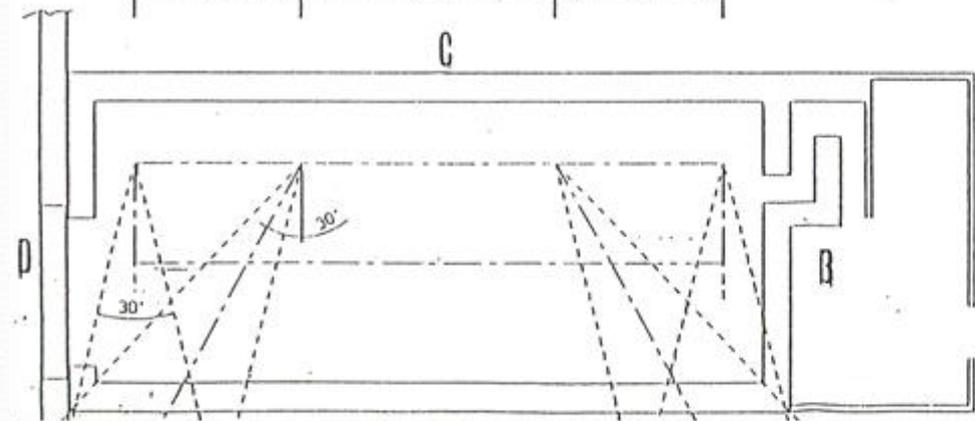
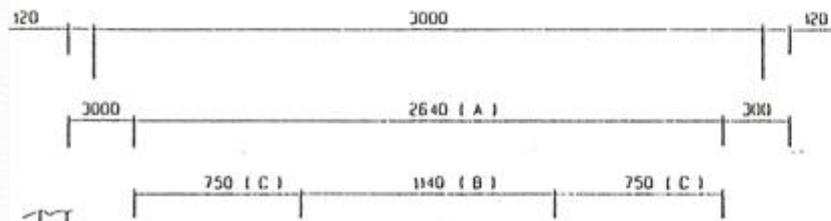
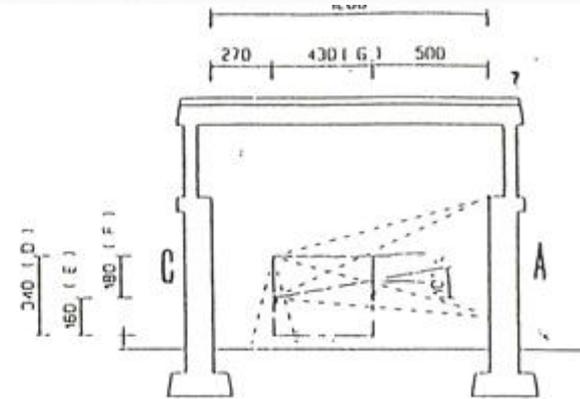
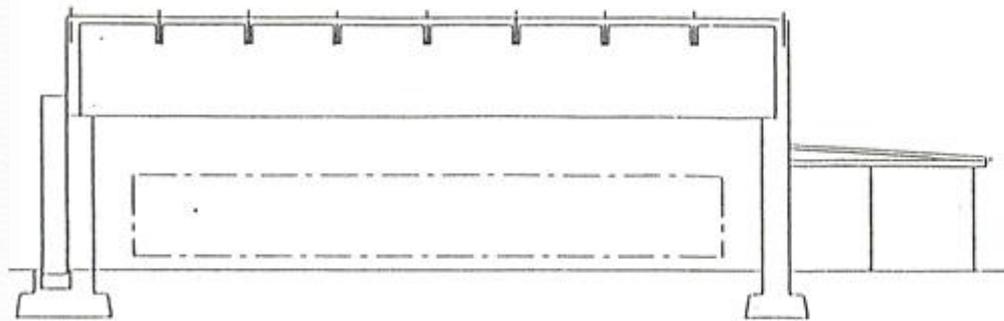
L'uso delle radiazioni elettromagnetiche per l'analisi non distruttiva dei manufatti è di largo uso nell'industria e non solo, si pensi per esempio alla Tomografia Computerizzata applicata alle statue o alle radiografie delle saldature degli oleodotti. Normalmente per l'esecuzione dei controlli radiografici vengono utilizzati tubi a raggi X di energia tipica di 250 kV oppure sorgenti radioattive di Co60 o di Ir192 o Se75. Per radiografare grandi spessori di materiale possono però essere necessarie radiazioni X di energie superiori, che possono raggiungere anche i 15 MeV. In questi casi si utilizzano LINAC con target di tungsteno per la conversione degli elettroni in radiazioni elettromagnetiche. Le macchine più utilizzate sono in grado di emettere due energie diverse, tipicamente 1,2 e 3 oppure 3,5 e 6 oppure 6 e 9 oppure 9 e 12 o 9 e 15 MeV.



Nella figura vengono riportate delle curve standard di penetrazione degli spessori di acciaio da parte delle diverse energie. Le curve permettono di valutare il tempo necessario per impressionare una lastra in funzione dell'energia dei raggi X utilizzati e dello spessore del manufatto, espresso in cm di acciaio.

L'impianto LINEATRON 2000A della Nuovo Pignone SpA di Massa (MS) è concepito per l'analisi non distruttiva di grossi manufatti meccanici. La parte principale dell'insieme è costituita da un acceleratore lineare di elettroni da 6 Mev e 940 W costruito dalla VARIAN (USA). In questa macchina gli elettroni vengono fatti incidere su un target di tungsteno per la generazione dei raggi X utilizzati per radiografare i manufatti. Tale apparecchiatura viene utilizzata all'interno di un bunker inizialmente progettato per ospitare alcune macchine radiogene e 3700 GBq di Co 60. L'accesso del personale è consentito attraverso la porta del labirinto mentre i pezzi da radiografare vengono introdotti attraverso un portone scorrevole. Il portone, realizzato in cemento armato, come il bunker, ha uno spessore di 120 cm ed è azionato elettricamente.

fabbricante	VARIAN (USA)
modello	LINEATRON 2000 A
potenza del fascio	940 Watts
corrente del fascio (massima)	163 mA
energia degli elettroni	6MeV
target	tungsteno



- NOTE : ANGOLO DI APERTURA COLLIMATORE $\pm 15^\circ$
 LIMITAZIONE MOVIMENTI NELL'AREA DI LAVORO :
 ZONA A CORSA LONGITUDINALE
 ZONA B ROTAZIONE MAX $\pm 30^\circ$
 ZONE C ROTAZIONE INTERDITTA
 ZONA D CORSA VERTICALE
 ZONA E DIANDUEGGIO MAX $-90^\circ \pm 10^\circ$
 ZONA F DIANDUEGGIO MAX $-90^\circ \pm 0^\circ$
 ZONA G CORSA TRASVERSALE

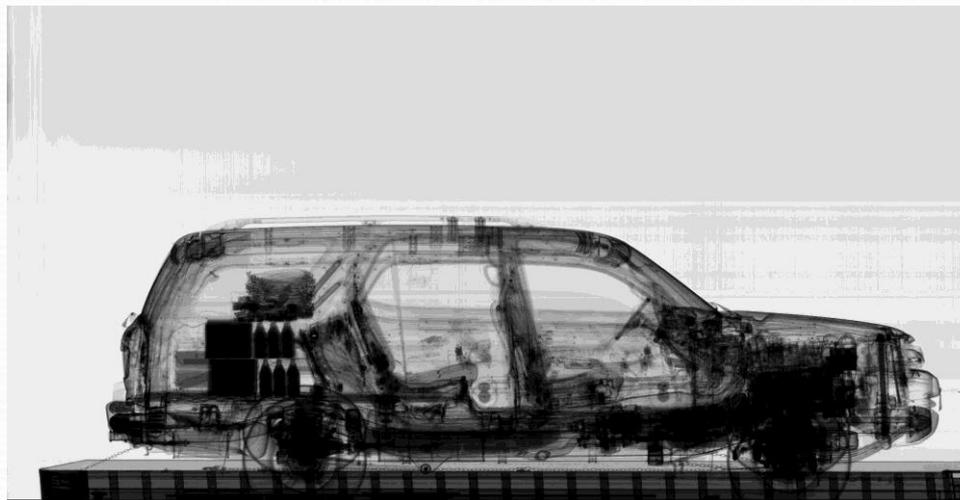
FIGURA 3

Il funzionamento dell'acceleratore e dei sistemi di sicurezza viene gestito da una centralina di comando microprocessoriata, collocata in un locale attiguo al bunker denominato "sala comando". L'acceleratore è fissato, unitamente al suo sistema robotizzato di movimentazione, ad una struttura metallica applicata ad un carro ponte. Tale sistema vincola il movimento della testa di emissione dell'acceleratore cosicché, in qualsiasi condizione di lavoro e per qualsiasi angolazione richiesta, il fascio primario di radiazioni investa soltanto la parete definita primaria. Un ulteriore sistema di blocco installato sul carro ponte consente di poter operare ad una distanza minima di 5 metri fra il target dell'acceleratore e la superficie della barriera primaria.

Sul portone ingresso manufatti e sulla porta di ingresso al labirinto sono installati dei microinterruttori di fine corsa (due per ogni contatto) che permettono l'alimentazione elettrica dell'acceleratore solo con entrambe le porte chiuse. Tale sistema agisce direttamente sul quadro di comando dell'acceleratore in modo tale che l'apertura delle porte e la loro successiva chiusura non ripristini automaticamente il consenso all'emissione del fascio. Lungo le pareti interne del bunker è installata una fune di emergenza che consente, se tirata, l'immediato spegnimento del fascio o il mancato consenso alla sua accensione. Sempre all'interno del bunker, collocati lungo il suo perimetro, sono disposti una serie di pulsanti che devono essere premuti, secondo una precisa sequenza, nel corso della "ronda di ispezione" per poter avere il consenso all'accensione della macchina. La mancata effettuazione della ronda o la sua parziale effettuazione, così come il non rispetto della sequenza dei pulsanti di controllo, causano la non disponibilità del sistema all'esercizio. All'interno del bunker sono, inoltre, collocati due Geiger-Muller per la rilevazione di radiazioni nella sala. Il segnale di questi rivelatori è interbloccato con il comando elettrico di apertura delle porte, per cui viene interdetta la loro apertura dall'esterno in presenza di radiazioni in sala. Per motivi di emergenza è però possibile aprire la porta del labirinto manualmente, con una chiave custodita dal responsabile delle attività. Questa operazione in presenza di radiazioni causa lo spegnimento del fascio di elettroni e innesca un segnale acustico continuo di allarme che si interrompe soltanto quando l'intensità di esposizione all'interno del bunker raggiunge una soglia minima prefissata

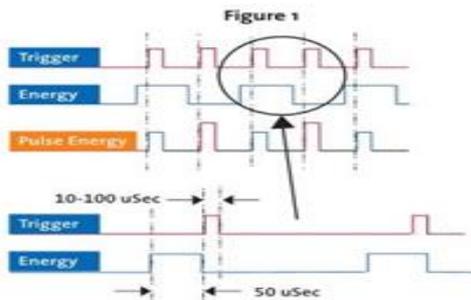
IL CARGO-SCANNING

La necessità di prevenire atti di terrorismo ha causato un inasprimento nei controlli sui materiali trasportati da un Paese all'altro. La necessità di verificare i carichi, unita alla necessità di operare velocemente per non appesantire eccessivamente le operazioni di movimentazione ha portato alla ricerca di nuove tecniche di indagine e di ispezione dei carichi. Già da molto tempo è in uso la tecnica di radiografia per l'analisi dei carichi in transito attraverso i porti o altri valichi doganali. Negli ultimi tempi tale tecnica si è evoluta con l'impiego di acceleratori "interlaced" dove le radiazioni emesse sono di due energie e vengono emesse entrambe in impulsi alternati. Con questa tecnica un acceleratore che emette, ad esempio, un impulso a 3,5 MeV ed un impulso a 6 MeV seguito da un altro impulso a 3,5 e poi da un altro a 6 e così via. L'uso di questi acceleratori e la realizzazione di appositi sistemi di rilevazione e di analisi delle immagini permette di avere informazioni tali da poter riconoscere sia la densità apparente del carico che la densità del materiale trovato. Alcuni software (ad esempio quello di SMITHS DETECTION) sono in grado di riconoscere i numeri atomici delle sostanze presenti nel carico permettendo così una rapida identificazione di merci sospette (sostanze stupefacenti e/o esplosivi). La scansione di un carico (per esempio un container trasportato su un autoarticolato) avviene in circa 60 secondi e la potenzialità di un impianto di "cargo-scanning", considerando i tempi di ingresso ed uscita dei carichi, è di 20 carichi/ora.



Linatron[®]-Mi™ Modular interlaced high-energy X-ray source Preliminary Specifications

The **Linatron-Mi** is a modular high-energy X-ray source with pulse to pulse energy switching capability, especially designed for cargo screening and security applications. By rapidly alternating between two distinct energy levels, systems incorporating the Mi X-ray source can be designed to discriminate between materials based on their density characteristics. Figure 1 illustrates the automated switching between two energy levels.



1.0 Equipment Features

1.1 Control System Modulator

The control system uses a programmable logic controller (PLC) to control and monitor all Linatron-Mi functions. This allows the Linatron-Mi to easily interface with a customer's external control system.

1.2 Control Console

The standard control console is a touch screen display system. An optional desktop PC control console is available (see section 4.6).



Touchscreen Control Console

1.3 X-ray Head/RF Unit



X-ray Head and RF Unit

The Mi X-ray head includes the RF unit which work together to generate X-rays.

2.0 Performance

2.1 X-ray Beam Quality 10 x 10 cm Field

The X-ray beam quality is specified using Half Value Layer (HVL) in steel. This corresponds to the nominal X-ray energy shown in Table 1. The HVL numbers in Table 1 are derived from a compilation of broad beam data.

Table 1

Model	Nominal Energy (MeV)	HVL (in)	Flatness (% @ 7.5")	Max. Dose Rate (Gy/min)
MI-6	3.5	0.96	>71.0	2.5
	6.0	1.10	>62.0	8.0
MI-9	6.0	1.10	>62.0	10.0
	9.0	1.18	>55.0	30.0

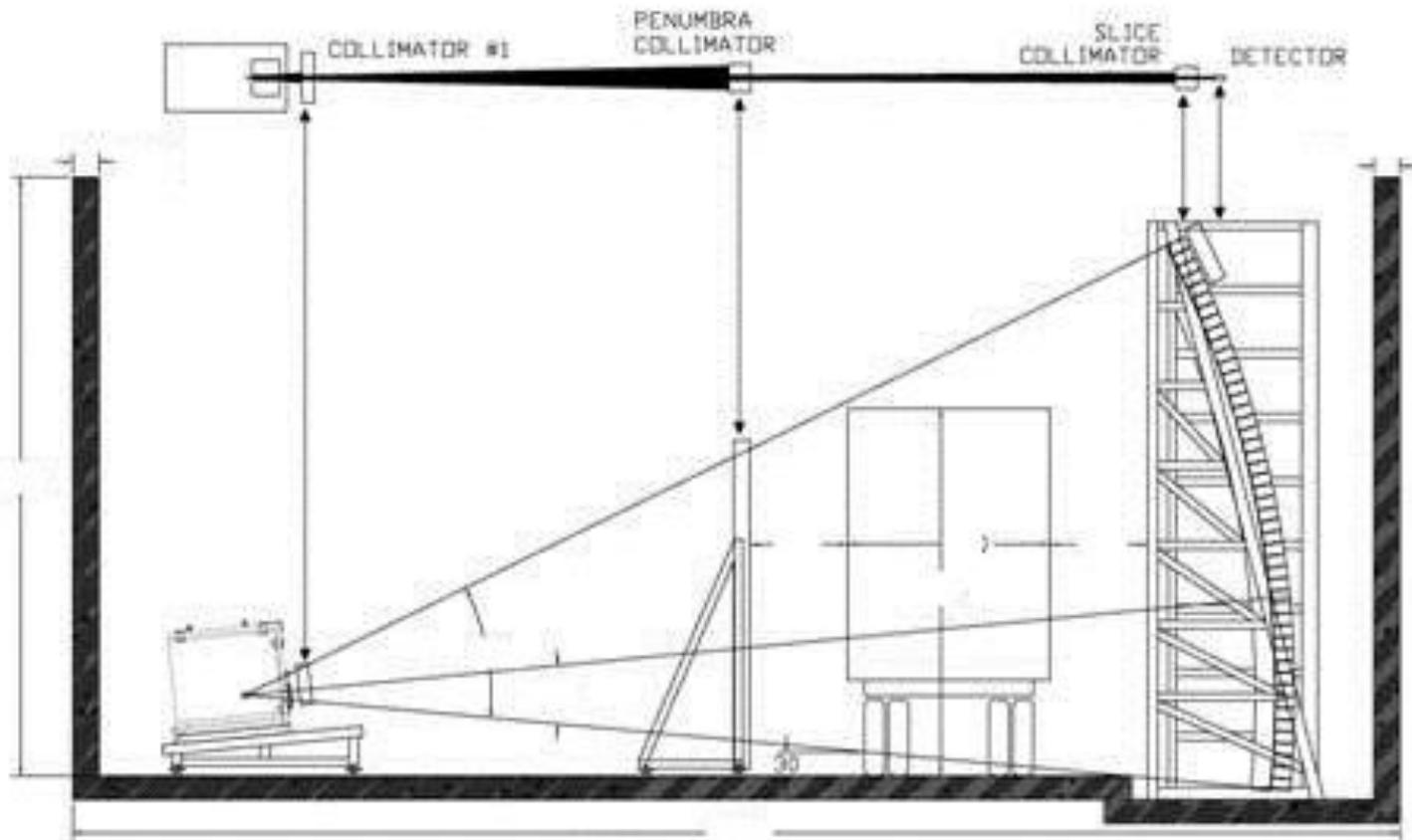
Note: Dose output occurs during each pulse as shown on the waveform representation in Figure 1.

Caratteristica fondamentale dell'impianto è che la sorgente di radiazioni ed il rivelatore si muovono per eseguire la scansione del container. La velocità tipica di scansione è di circa 10 cm/sec. L'insieme sorgente-rivelatore si muove su binari per garantire l'allineamento del sistema. Sia l'acceleratore che il rivelatore sono fortemente schermati per ridurre le fughe e la trasmissione di radiazioni sulle pareti del capannone che ospita la struttura.

In uno schema generale di scansione è possibile apprezzare sia la presenza delle schermature che avvolgono il rivelatore e sia i due collimatori che portano alla formazione di una "finestra" di esposizione larga solo pochi centimetri.

Tutto questo permette di avere una parete primaria (dove è diretto il fascio) dello spessore di poche decine di centimetri di cemento (tipicamente 30 centimetri).

Le barriere secondarie, costituite dalla parete posteriore e dai portoni di ingresso ed uscita dei mezzi, hanno spessori equivalenti di circa 20 centimetri di cemento.



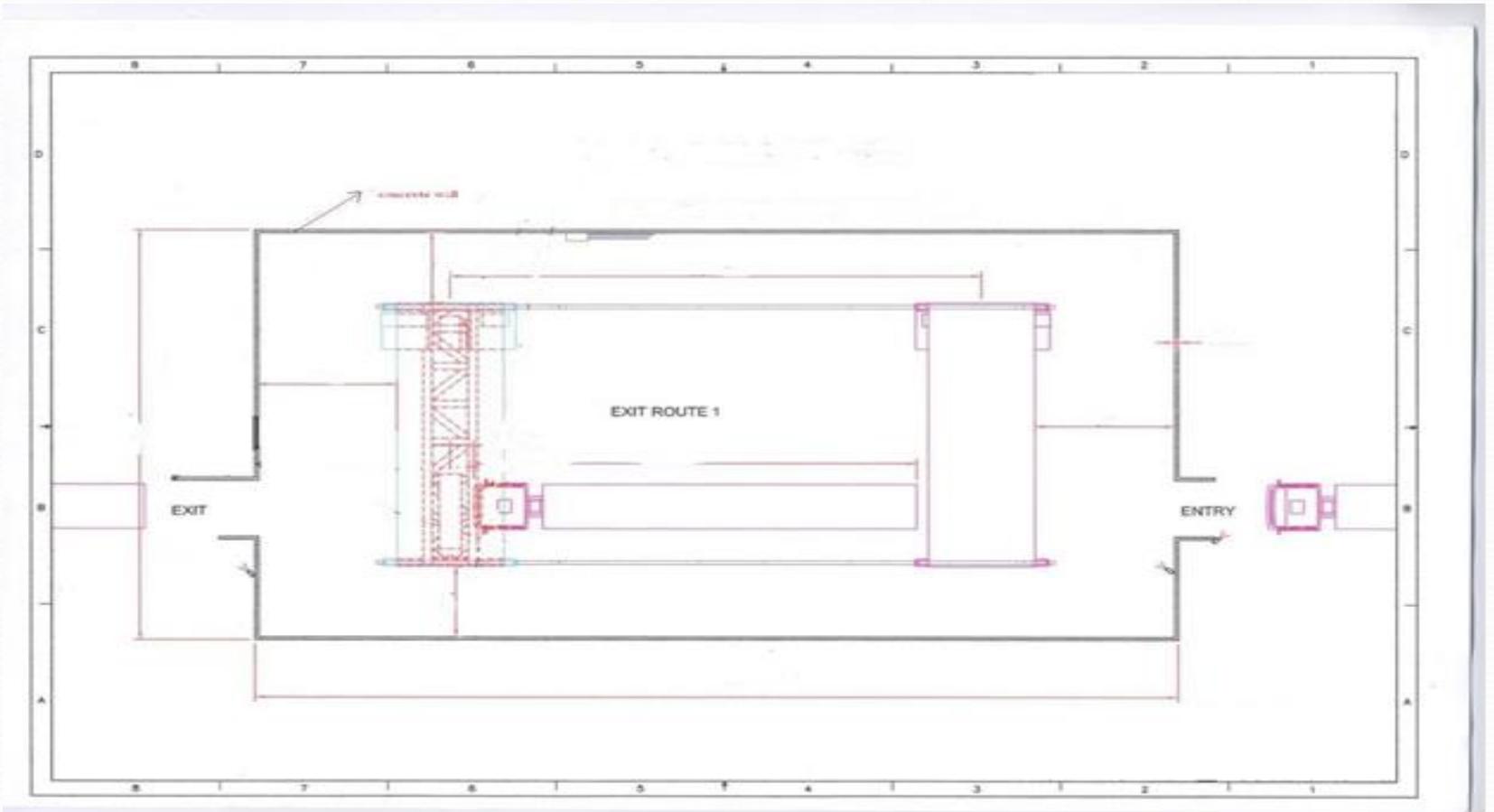
schema generale di scansione in un "cargo-scanning"



Il sistema di scansione HVG SMITHS DETECTION

Per garantire che nessuno possa trovarsi nel tunnel durante l'emissione di raggi X è necessario mantenere attivi e funzionanti una serie di dispositivi di sicurezza. Prima di dare inizio all'emissioni di raggi X l'acceleratore dovrà ricevere il segnale di consenso dai portoni passo carraio chiusi, dai pulsanti ubicati in diversi punti del tunnel, premuti in sequenza durante il giro di ispezione, e dalla positiva verifica del conta persone in uscita. L'imminente emissione di raggi X viene preceduto da un segnale acustico di breve durata. Segnali ottici lampeggianti di colore rosso, sono applicati all'interno del tunnel, all'esterno sulle porte passo carraio e sulla porta di servizio del labirinto e vengono mantenuti accesi per tutto il tempo di emissione di raggi X. Inoltre sia all'interno del tunnel sia in sala controllo dovranno essere installati pulsanti di blocco emissione raggi in caso di emergenza. Diversi rivelatori di radiazioni ionizzanti, collocati all'interno e all'esterno del tunnel dovranno essere collegati separatamente ad un allarme ottico e acustico per indicare l'eventuale superamento dei livelli di soglia assegnati. Il sistema di sicurezza dell'impianto tipo comprende, di solito, anche un sistema di telecamere per il monitoraggio delle aree adiacenti e della zona di scansione.

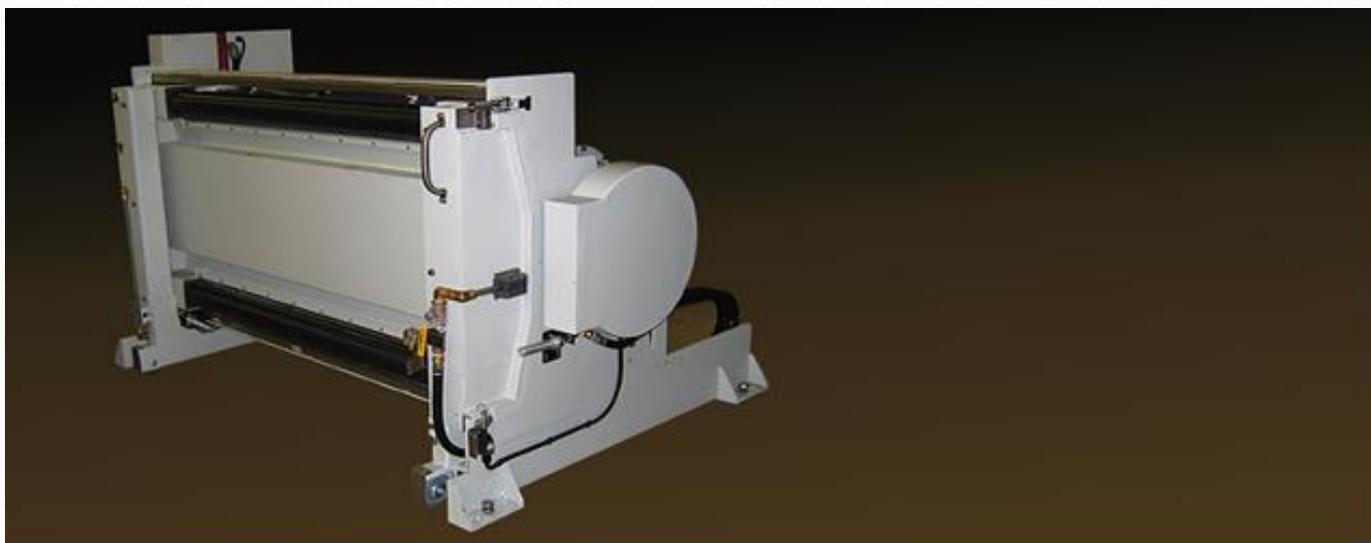
La Sala Controllo da cui viene gestito il sistema è collocata a circa 2 metri di distanza dalla parete secondaria. Accanto alla Sala Controllo viene realizzata una sala di attesa per gli autisti. Le procedure di scansione prevedono che il mezzo carico entri nel tunnel di scansione e l'autista scenda dal mezzo. Un addetto dell'impianto entra dal labirinto accoglie l'autista e si assicura che nessun altro sia presente all'interno del tunnel. Uscendo preme, secondo una sequenza prestabilita ed entro un tempo massimo, una serie di interruttori che compongono la "ronda di sicurezza". Solo dopo la chiusura della porta del labirinto ed a seguito della conclusione positiva della ronda di sicurezza si potrà passare alla emissione delle radiazioni ed alla scansione del carico



Schema di un impianto di cargo-scanning

Alcuni processi industriali quali l'essiccazione delle vernici e degli inchiostri o l'indurimento delle resine e delle materie plastiche richiedono alte dosi (diversi kGy) con energie basse (inferiori a 200 kV) per poter interagire in spessori limitati di materiale. In casi simili vengono utilizzati acceleratori che generano un fascio caotico di elettroni su una grande superficie. Un esempio di questi strumenti è costituito dal sistema EZCURE prodotto dalla Energy Sciences Inc. con marchio ESI (USA)

Il sistema EZCURE è un acceleratore di elettroni che genera un fascio caotico di elettroni su una grande superficie. Questo fascio di elettroni esercita l'azione di evaporazione dell'acqua contenuta negli inchiostri che di conseguenza si seccano.



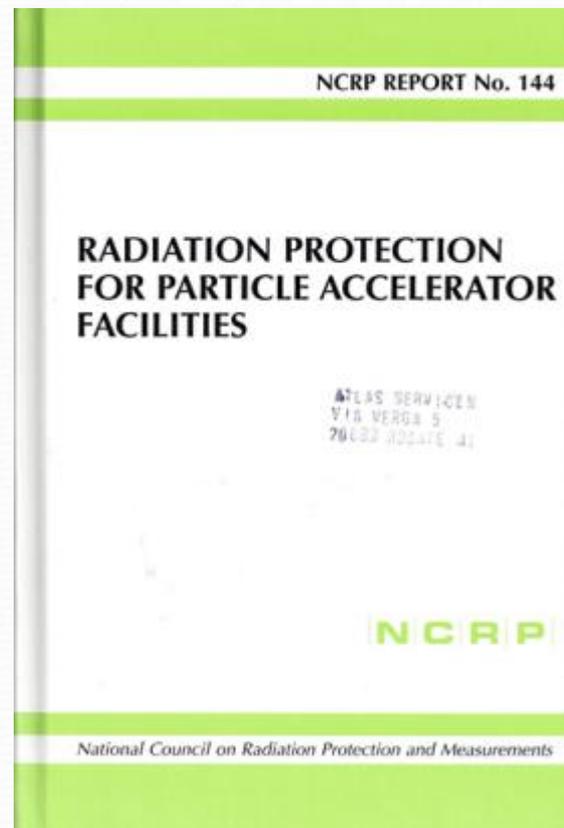
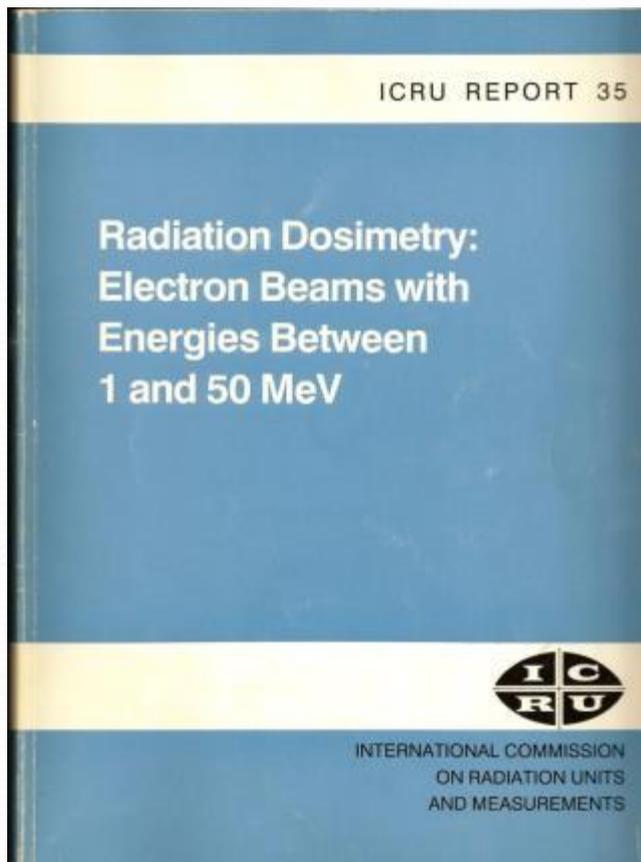
La reticolazione è un fenomeno, anche conosciuto con il termine inglese di “cross-linking”, per il quale le lunghe catene di polimeri, che sono normalmente legate tra loro in senso verticale, sviluppano dei legami orizzontali. I legami chimici trasversali sono permessi dall'eccesso di elettroni, immessi sul materiale, i quali vanno a colmare dei “gap” che normalmente impediscono tali legami. Trattandosi di fenomeni superficiali l'energia degli elettroni deve essere bassa, tipicamente circa 100 keV, ma sono richieste alte dosi anche perché il processo di essiccazione deve avvenire su linee di stampa che girano a velocità comprese tra 200 e 600 metri al minuto su una finestra di esposizione di oltre un metro di lunghezza per cinque centimetri di larghezza. L'emissione di elettroni avviene attraverso un catodo lungo quanto la finestra di esposizione. Gli elettroni vengono accelerati dalla differenza di potenziale applicata tra il catodo e la finestra di emissione. Tipici valori di corrente di fascio sono dell'ordine di 100/200 A. Quindi una grande quantità di elettroni a bassa energia.



L'emissione del fascio avviene dall'alto verso il basso e l'acceleratore non ha nessun grado di libertà. La barriera primaria potrebbe essere rappresentata dal pavimento dello stabilimento ma, in pratica, tutto il fascio di elettroni viene assorbito dal materiale da irraggiare che, essendo a basso numero atomico, non genera apprezzabili radiazioni di bremsstrahlung. L'intero apparecchio è auto schermato.



Esempio di applicazione di un acceleratore per l'essiccazione degli inchiostri di stampa



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

