

Oltre al campo medico le radiazioni ionizzanti trovano applicazioni utili e benefiche in molti altri settori

Applicazioni in campo industriale

Radiation Processing

La disponibilità di sorgenti di radiazioni ad alta energia a costi ragionevoli, necessari per il trattamento di grossi volumi di prodotti (avvenuta dopo la II guerra mondiale) ha permesso la nascita di una nuova tecnologia chiamata "*radiation processing*" o trattamento con radiazioni ionizzanti.

Questa nuova tecnologia utilizza su scala industriale gli specifici effetti chimici, fisici e biologici indotti dalle radiazioni nei materiali, allo scopo di avere prodotti commerciali con caratteristiche nuove o migliori rispetto a quelli ottenuti con i processi tradizionali.

Applicazioni in campo industriale

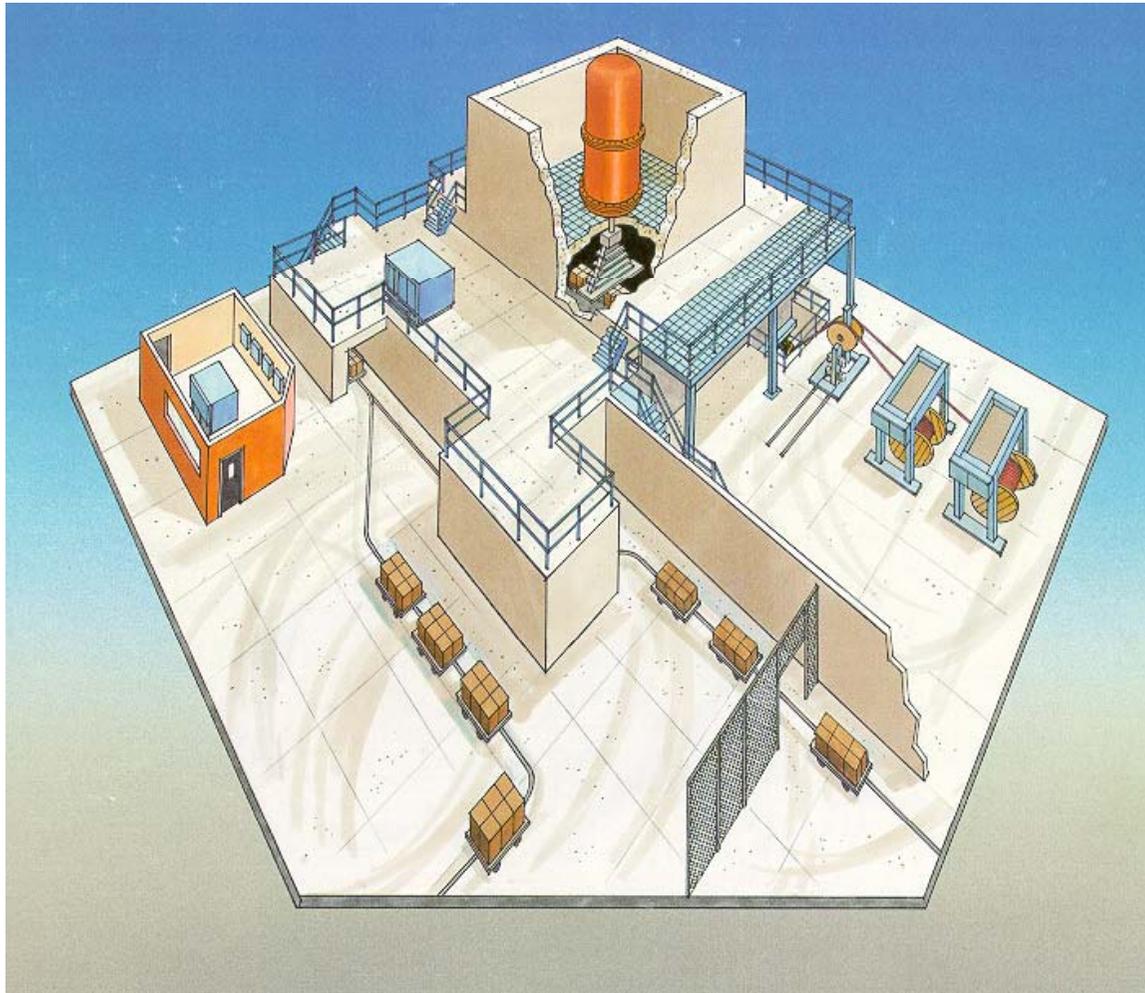
Radiazioni ionizzanti più comunemente usate nei processi industriali:

- Raggi γ emessi dal radioisotopo ^{60}Co (1,25 MeV)
- Raggi X aventi energia ≤ 5 MeV
- Elettroni con energia 0,15-10 MeV

La ragione non secondaria della scelta risiede nel fatto che la loro energia è tale da non provocare radioattività nei materiali trattati

Fattori economici e di sicurezza

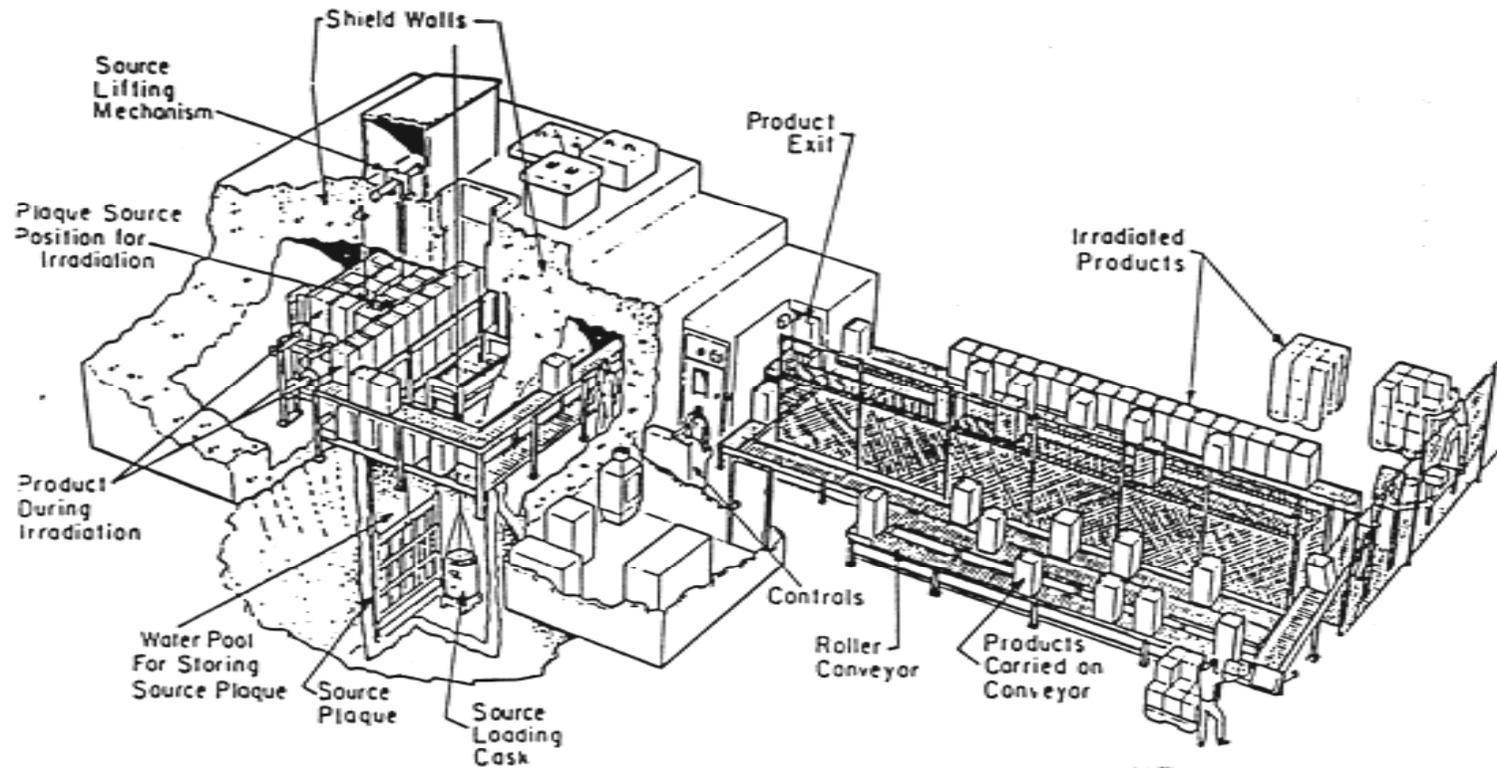
Impianti di Irraggiamento per il Radiation Processing



**Oggi sono disponibili
anche acceleratori auto-
schermanti che si
possono mettere
direttamente nella linea
di produzione**

Schema di un impianto commerciale di irraggiamento con acceleratore di elettroni

Impianti di Irraggiamento per il Radiation Processing



Impianto commerciale per il trattamento gamma (^{60}Co) di prodotti vari, con stoccaggio della sorgente in piscina

Impianti commerciali nel mondo (dati aggiornati al 2009):

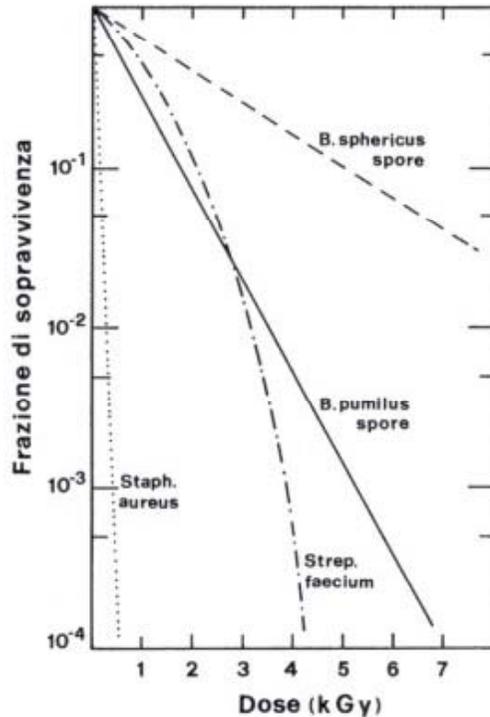
- circa 170 a ^{60}Co distribuiti in circa 50 paesi contenenti circa 240 MCi
-
- circa 1200 acceleratori di elettroni con energie da 0,15 a 10 MeV: 300 nelle Americhe; 400 nella zona del Pacifico di cui 320 solo in Giappone; 150 in Europa; 200 ex USSR; 50 altri

Applicazioni in campo industriale

Sterilizzazione

È il settore in cui le radiazioni ionizzanti sono state utilizzate su scala commerciale con successo grazie alla loro capacità di inattivare o distruggere microrganismi e germi patogeni a causa del danno che la radiazione può produrre direttamente o indirettamente al DNA cioè al materiale genetico che governa la loro riproduzione.

Sterilizzazione



Curve di sopravvivenza alle radiazioni per alcuni tipi di batteri

I microrganismi presentano maggior sensibilità alle radiazioni se:

- maggiore è la quantità di DNA nel nucleo
- è presente acqua
- il trattamento è fatto in presenza di aria o ossigeno

Le Farmacopee Ufficiali considerano sicura una Sterilità Garantita (SAL) tale che la probabilità di sopravvivenza di microrganismi nel materiale trattato sia 10^{-6} . La dose di radiazioni necessaria per ottenere il livello di 10^{-6} di Sterilità Garantita è pari a 25 kGy. Tuttavia nei paesi scandinavi si utilizzano dosi di 32 kGy per la sterilizzazione con raggi γ e 35 kGy per gli elettroni.

Sterilizzazione

La radiosterilizzazione è applicata a una grande varietà di prodotti:

- Siringhe e aghi,
- Garze per medicazioni,
- Materiale di sutura,
- Materiali e tessuti per innesti (valvole cardiache, innesti ossei, tendini, ecc.),
- Corredi per dialisi e per chirurgia (ferri, guanti, mascherine, camici, ecc.)
- Vassoi e contenitori per trasporto vivande e ferri chirurgici,
- Diete per pazienti immunodepressi,
- Diete per animali esenti da infezioni patogene,
- Materie prime per uso farmaceutico e cosmetico (dosi 10-25 kGy e 2-10 kGy)



Sterilizzazione

Gli impianti che utilizzano raggi γ da ^{60}Co sono quelli maggiormente usati. La comparsa di nuovi e più potenti acceleratori da utilizzarsi per produrre raggi X, molto più penetranti degli elettroni, sta rinnovando l'interesse per il loro utilizzo in questo settore.

$7 \times 10^6 \text{ m}^3$ di prodotti medicali monouso e presidi medico-chirurgici sono trattati attualmente nel mondo pari al 45% della produzione mondiale.

La radiosterilizzazione di moltissimi prodotti medicali è ormai una valida alternativa alla sterilizzazione a vapore in autoclave a 120°C e alla fumigazione con ossido di etilene (ETO, gas tossico, inquinante e pericoloso) per i seguenti motivi:

- Buona penetrazione della radiazione
- Minor impatto ambientale e sanitario perché non c'è rilascio o ritenzione di residui tossici
- Utilizzabile per materiale deformabile ad alte temperature
- Utilizzabile su prodotti già confezionati

Applicazioni in campo industriale

Produzione e modifica di materiali polimerici
(non sono richiesti solventi, iniziatori e additivi)

Giro d'affari: centinaia di miliardi di dollari/anno

- ✓ **Polimerizzazione di monomeri (10-100 kGy)**
- ✓ **Reticolazione di polimeri (500-1000 kGy)**
- ✓ **Degradazione di polimeri (> 1000 kGy)**

Polimerizzazione di monomeri

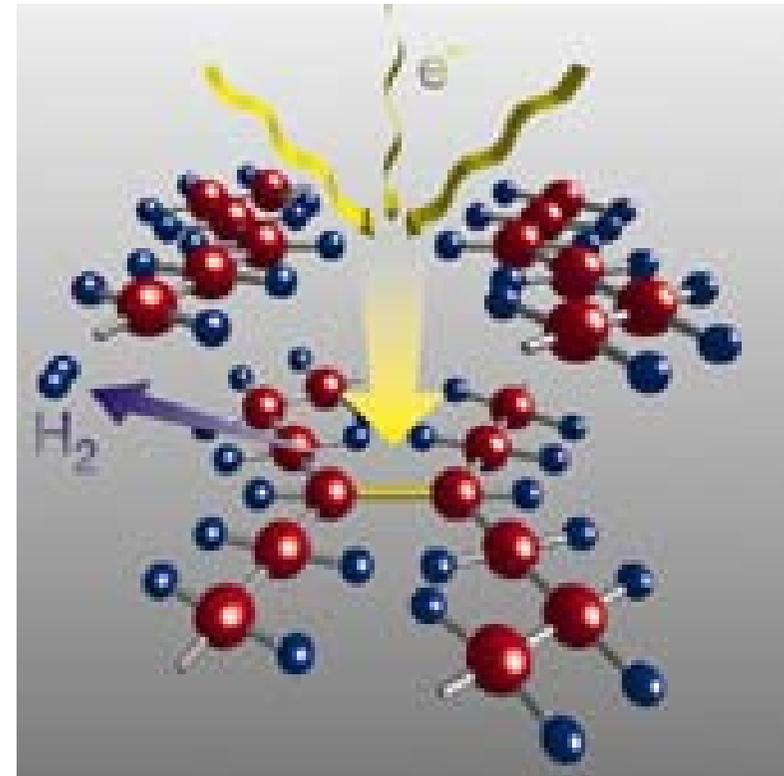
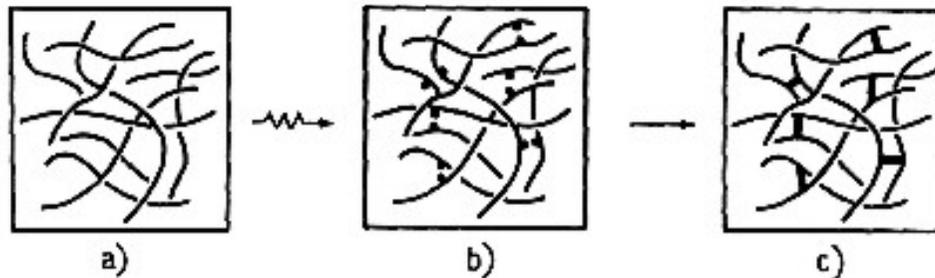
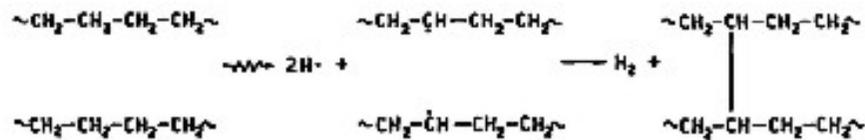
Si ottengono polimeri altamente monodispersi, senza uso di solventi e iniziatori.

Il grado di polimerizzazione (peso molecolare) è funzione della dose

Reticolazione di polimeri

Il polimero reticolato ha

- peso molecolare maggiore
- maggiore stabilità termica
- minore solubilità in oli e solventi
- maggiore elasticità
- maggiore resistenza all'abrasione
- migliori proprietà elettriche



Reticolazione di polimeri

Policarbosilano reticolato in assenza di ossigeno con fasci di elettroni e successivamente sottoposto a trattamento termico a 1200°C produce una **fibra ceramica flessibile di carburo di silicio**, impiegata nella produzione di materiali compositi ad alta resistenza termica (1800°C)

Il Teflon (PTFE) reticolato mediante irraggiamento allo stato fuso (340°C) in atmosfera inerte con fasci di elettroni dà un **prodotto che trova applicazioni** nei settori dove esistono condizioni ambientali estreme ad es. **in campo aerospaziale** avendo buona resistenza alle radiazioni e all'usura mantenendo le caratteristiche di buon isolante termico e ottimo lubrificante a secco

Effetto memoria nei polimeri

Proprietà presentata da alcuni polimeri (es. PE, PVC, polivinilidene fluoruro) in seguito ad irraggiamento in condizioni particolari. Polimeri così reticolati vengono impiegati nella produzione di:

- Pellicole termoretraibili per alimenti e imballaggi
- Guaine termoretraibili per ricoprire a tenuta parti saldate di cavi e fili elettrici, tubi per oleodotti.



Reticolazione di elastomeri

- La prevulcanizzazione di componenti in gomma (es. il battistrada, la carcassa e i fogli telati di armatura interna) prima dell'assemblaggio e del processo finale di vulcanizzazione termica del pneumatico (Processo commerciale in Francia, USA e Giappone dal 1980).
- La reticolazione di lattice di gomma naturale per la produzione di guanti chirurgici e altri prodotti che vengono a contatto con la pelle. Vantaggi rispetto al processo di vulcanizzazione termica in presenza di zolfo: miglior stabilità, minor di tossicità per l'assenza di nitrosammine, sostanze tossiche causa di dermatiti, emissioni gassose con meno ceneri e prive di gas acidi. In Malesia dal 1996 ne vengono prodotti 6000 t/anno.



Degradazione di polimeri

Scissione della catena polimerica che permette il riciclo di polimeri come il poliisobutilene, il teflon e la cellulosa.

Cascami di teflon, altrimenti inutilizzabili, vengono degradati ottenendo una polvere usata come lubrificante a secco, per rivestimenti antiaderenti, per la produzione di tensioattivi e per inchiostri da stampa a prova di macchia.



Cascami di gomma butilica vengono degradati macinati e il granulato così ottenuto viene aggiunto a mescole di gomma vergine (processo su scala commerciale in Cina e in Russia).

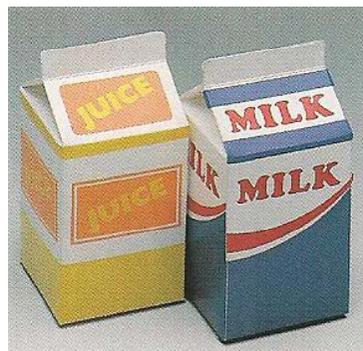
In Sicilia le ricoperture di plastica delle serre ormai usurate vengono degradate con le radiazioni e il materiale ottenuto macinato viene aggiunto alla mescola per produrre nuovi teli plastici con risparmio di materia prima vergine.

Curing

Simultanea polimerizzazione e reticolazione indotta dalle radiazioni ionizzanti di uno o più monomeri depositati su supporti di varia natura



- ✓ Pannelli di legno
- ✓ Contenitori per alimenti
- ✓ Nastri per videoregistratori
- ✓ Dischetti magnetici



Curing

- ✓ Carta moneta
- ✓ Pavimenti con alta usura
- ✓ Specchi antiappannanti



Produzione di compositi avanzati in fibre mediante curing con elettroni o raggi X

Fibre di carbonio, carburo di silicio, vetro, kevlar impregnate con resine epossidiche o esteri vinilici in presenza di iniziatori e in seguito ad irraggiamento con fasci di elettroni o raggi X producono materiali compositi con alto valore tecnologico.

Questi compositi stanno trovando svariate applicazioni

- In campo aerospaziale
- Nel settore automobilistico
- Per la produzione di silos e serbatoi



FIG 4. X-ray cured six-ply carbon fiber composite motorcycle fender.

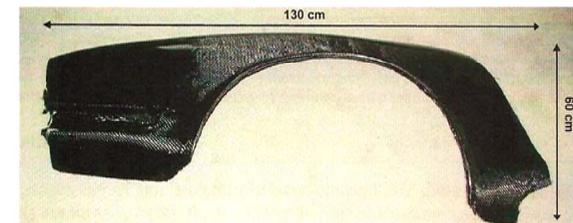


FIG 5. X-ray cured six-ply carbon fiber composite sports car fender.

Innesto su polimeri

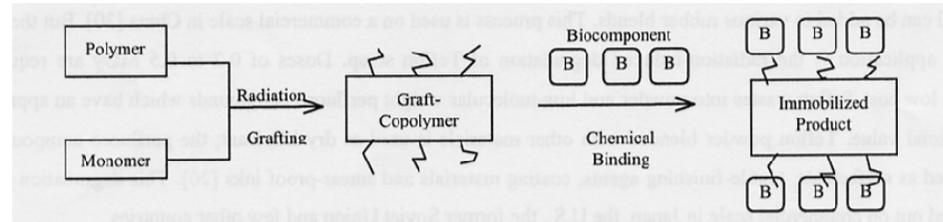
Grafting (250-500 kGy)

Innesto di monomeri o oligomeri su materiale già pronto per conferire proprietà superficiali speciali

- ✓ Tessuti impermeabili o idrorepellenti
- ✓ Tessuti antimacchia
- ✓ Tessuti antipiega
- ✓ Tessuti con ridotta corrente elettrostatica

Applicazioni biotecnologiche

- ✓ Materiale biocompatibile per innesti o trapianti

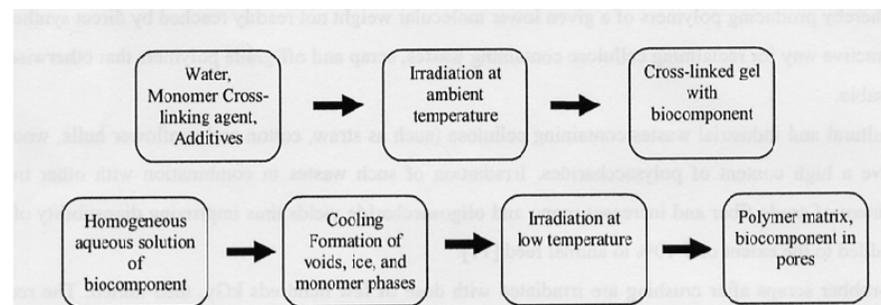


- ✓ Lenti a contatto

- ✓ Idrogeli per medicinali



- ✓ Matrici per rilascio controllato di farmaci, ormoni

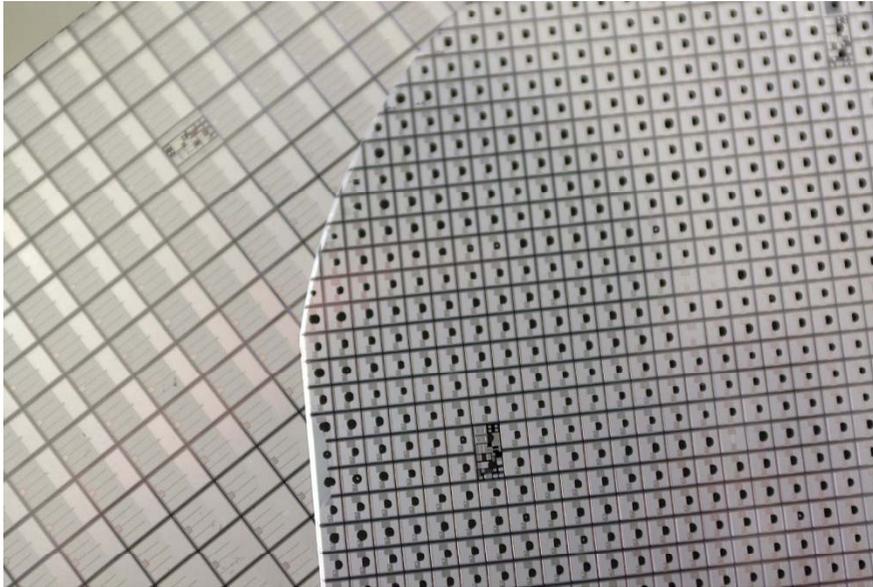


Applicazioni biotecnologiche

Radioinnesto di amminoacidi o collagene su polifosfazeni per ottenere guaine adatte alla ricrescita guidata dei nervi periferici

Totalmente biodegradabili dopo il tempo necessario alla ricrescita dei nervi

Applicazioni tecnologiche



Drogaggio dei semiconduttori di potenza
Miglioramento delle caratteristiche elettriche
di tiristori e diodi a commutazione veloce

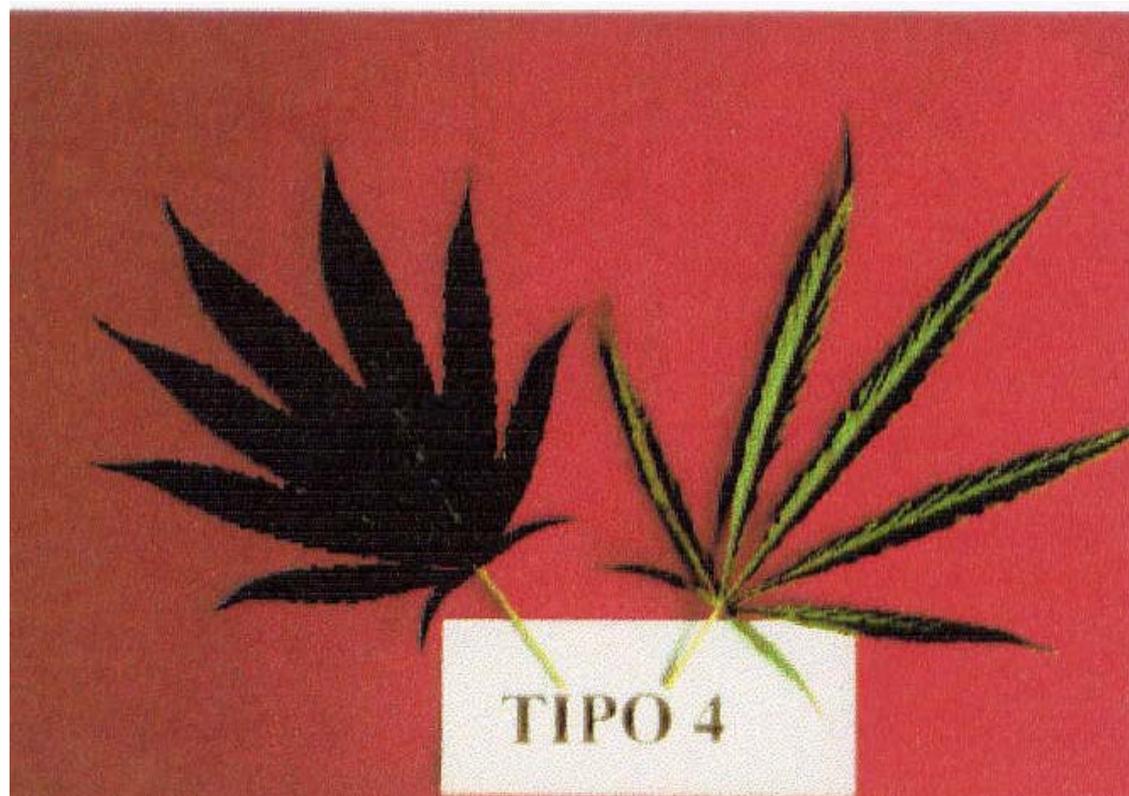
Sterilizzazione ossa per trapianti



Sterilizzazione di teste di femore con fasci di elettroni (collaborazione fra il CNR di Bologna e l'ospedale di Cittadella di Padova)

Sterilizzazione di teche craniche con la stessa tecnica (collaborazione fra il CNR di Bologna e l'Istituto di neurochirurgia e neuroscienze del Policlinico di Milano)

Mutazioni genetiche radioindotte nella canapa sativa



Induzione di caratteri fenotipici distintivi dalla canapa indica (collaborazione fra il CNR di Bologna, l'Istituto sperimentale per le Colture industriali di Bologna e il Ministero delle Risorse agricole)

Situazione in Italia

- **4 impianti a ^{60}Co** (Gammarad a Bologna, Gammatom a Como, Ethicon a Latina, Novico a Ascoli Piceno)
sterilizzazione prodotti medicali; trattamento spezie
- **10 acceleratori di elettroni**
 - (2) **Cryovac** (Milano): materiale termoretraibile
 - (2) **Bipan** (Udine): trattamento pannelli in legno
 - (1) **Metallurgica Bresciana** (Brescia): cavi speciali
 - (2) **Bioster** (Bergamo): sterilizzazione medicali
 - (1) **Gambro Dasco** (Modena): linea sangue
 - (1) **Megarad** (Cassino): materiale termoretraibile
 - (1) **Alenia Spazio** (Prato): materiali compositi

Applicazioni in ambito ambientale

Trattamento di rifiuti solidi urbani e dell'agricoltura

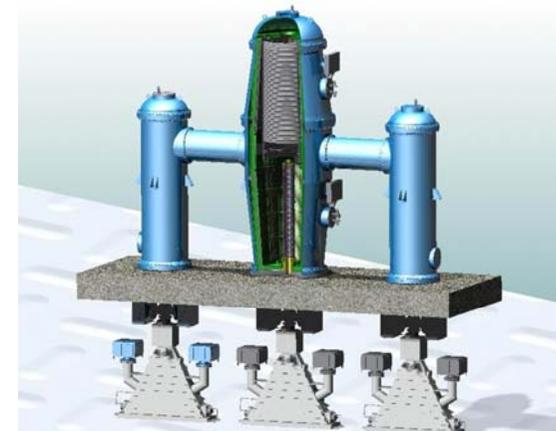
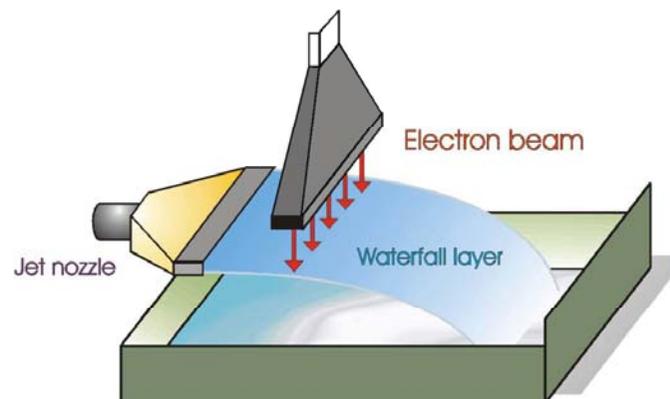
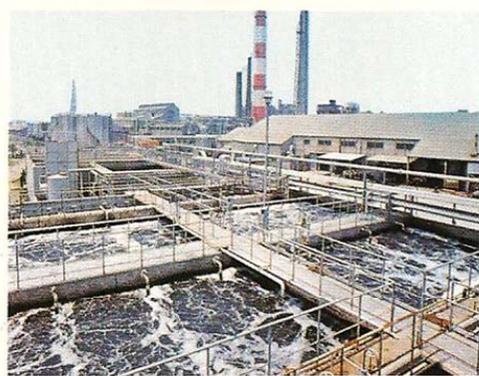
Sono una notevole risorsa economica per i residui alimentari che contengono

Per poter essere riciclati allo scopo di ottenere fertilizzanti e mangimi l'elevata carica microbica viene abbattuta per trattamento con radiazioni ionizzanti

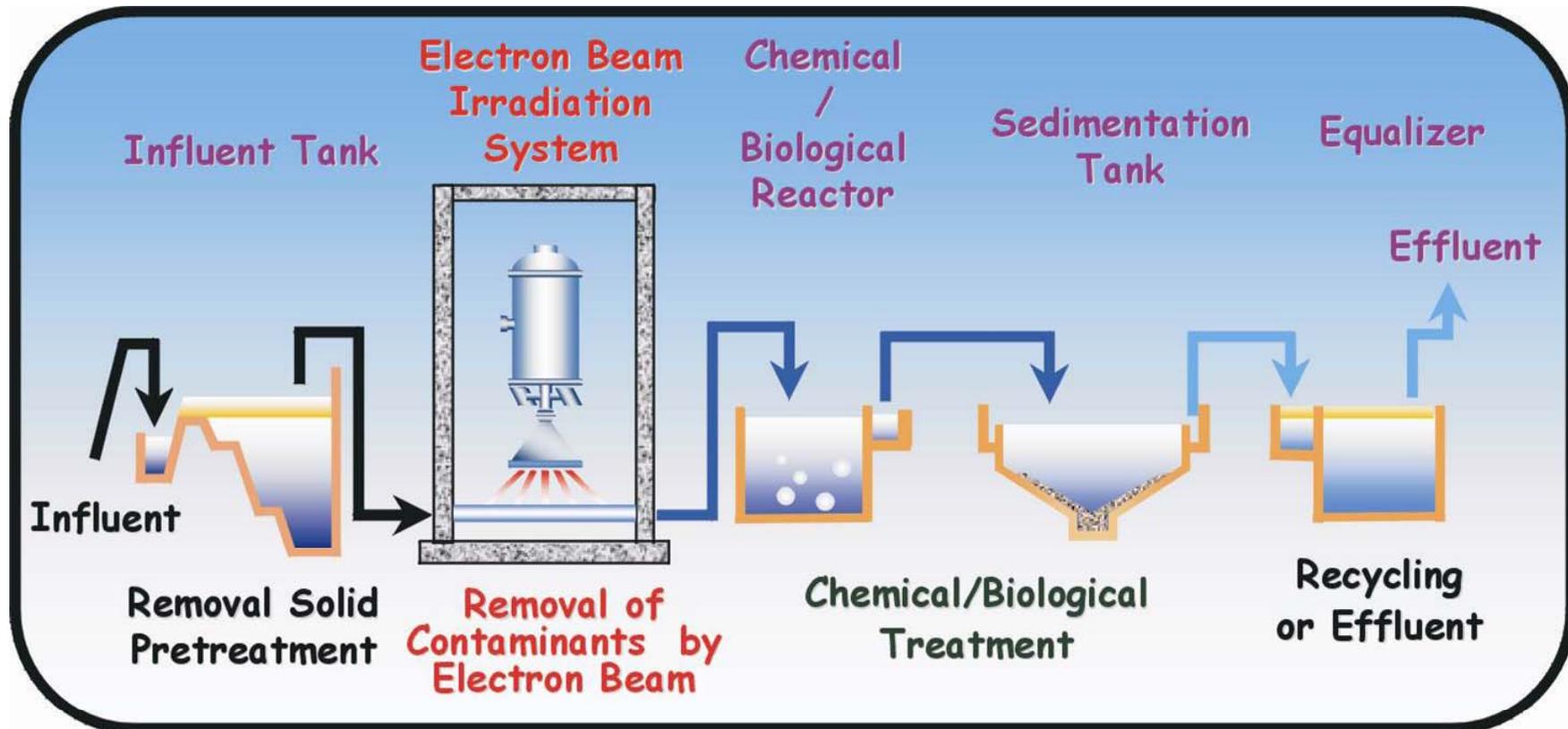
Impianti pilota in Germania, Stati Uniti, Giappone e India

Controllo dell'inquinamento ambientale

Scopo del trattamento è il risanamento e decomposizione di sostanze tossiche nelle acque e fanghi di scarico urbani e industriali. Numerosi studi sono stati fatti in varie parti del mondo in impianti pilota operanti con sorgenti di raggi γ o con acceleratori di elettroni di bassa o media energia. I risultati ottenuti hanno mostrato che già a basse dosi di radiazioni (ca. 1kGy) si ottiene decolorazione, eliminazione di odori e disinfezione delle acque ad uso potabile, mentre acque contaminate da inquinanti come pesticidi, fungicidi, cloroderivati, detergenti e cianuri possono essere recuperate come acque di riciclo industriale combinando il trattamento con radiazioni ad altri processi chimici. La decomposizione di questi inquinanti è il risultato dell'azione delle specie reattive, e_{aq}^- , OH^\bullet e H^\bullet prodotte dalla radiolisi dell'acqua.



Un impianto industriale per il trattamento di acque di scarico da uno stabilimento tessile è entrato in funzione nel 2005 in Corea del Sud a Daegu e tratta 10.000 m³/giorno di acque inquinate da coloranti

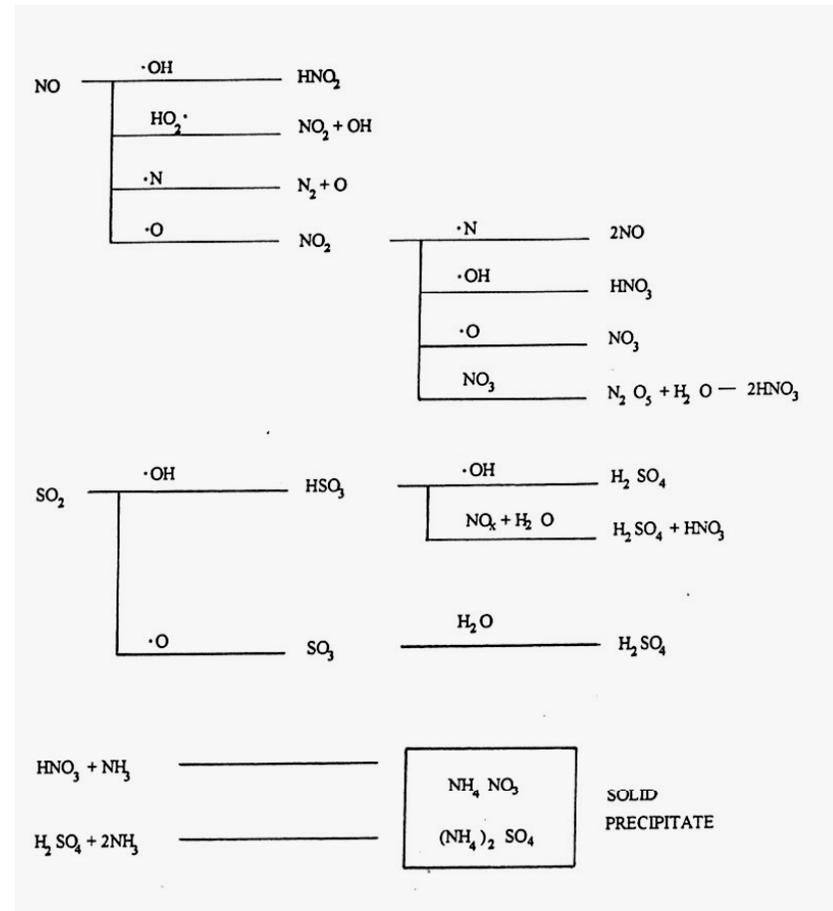


Abbattimento di inquinanti gassosi

I combustibili fossili bruciati nelle centrali termoelettriche e negli impianti siderurgici producono emissioni gassose contenenti ossidi di zolfo (SO_2) e ossidi di azoto (NO_x) che nell'atmosfera in presenza di vapor acqueo vengono convertiti attraverso un processo fotochimico in acido solforico e acido nitrico causa delle piogge acide.

Studi effettuati in impianti pilota hanno dimostrato che l'abbattimento di questi fumi con fasci di elettroni è competitivo con i trattamenti convenzionali con calce umida e riduzione catalitica selettiva con ammoniacca.

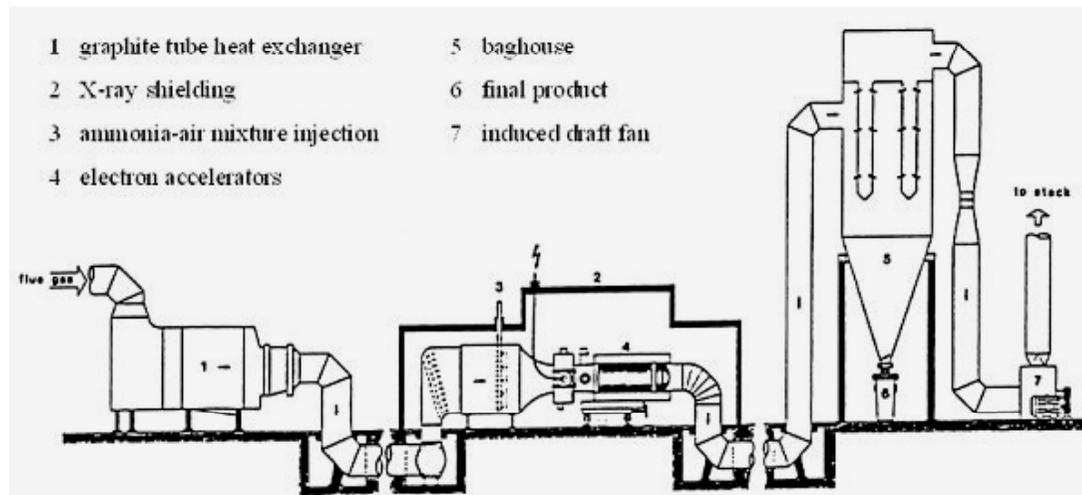
Gli ossidi di zolfo e azoto reagendo con i radicali OH^\bullet , O^\bullet , O_3^\bullet , HO_2^\bullet e N^\bullet prodotti per radiolisi portano alla formazione di solfato d'ammonio e nitrato d'ammonio che possono essere usati come fertilizzanti o condizionatori del suolo.



Abbattimento di inquinanti gassosi

Tra il 2000-2001 è stato completato un impianto industriale, dotato di quattro acceleratori da 700 keV, per la rimozione di questi gas da una centrale termoelettrica a carbone da 500 MW a Szczecin (Polonia); può trattare circa 300.000 m³/giorno di effluenti gassosi.

Altri due impianti sono in costruzione o sono stati ultimati in Giappone, a Nishi-Nagoya, e in Cina, a Chengdu, presso le locali centrali termoelettriche



La centrale di Szczecin

