

**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

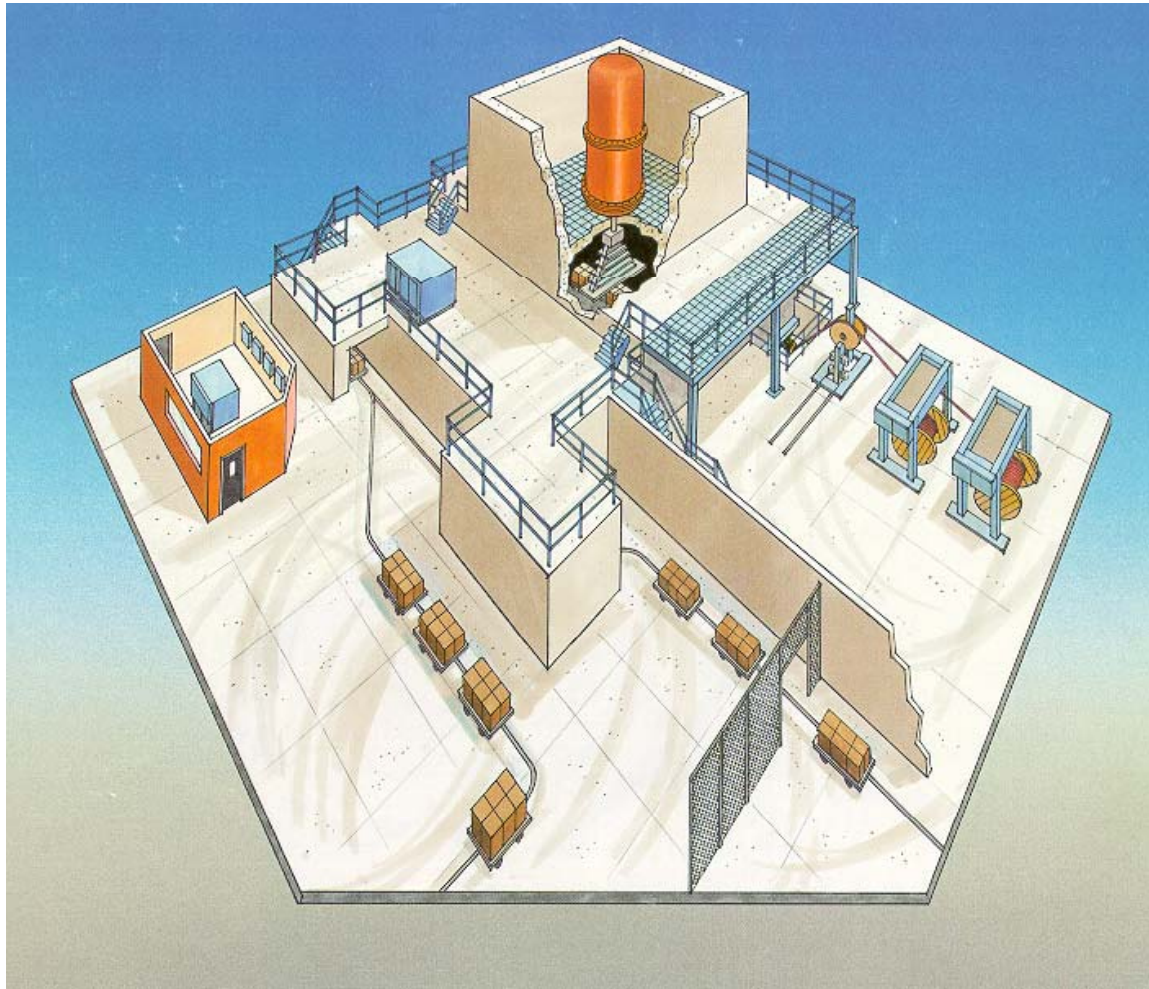
Radiazioni ionizzanti più comunemente usate nei processi industriali:

- Raggi  $\gamma$  emessi dal radioisotopo  $^{60}\text{Co}$  (1,25 MeV)
- Raggi X aventi energia  $\leq 5$  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

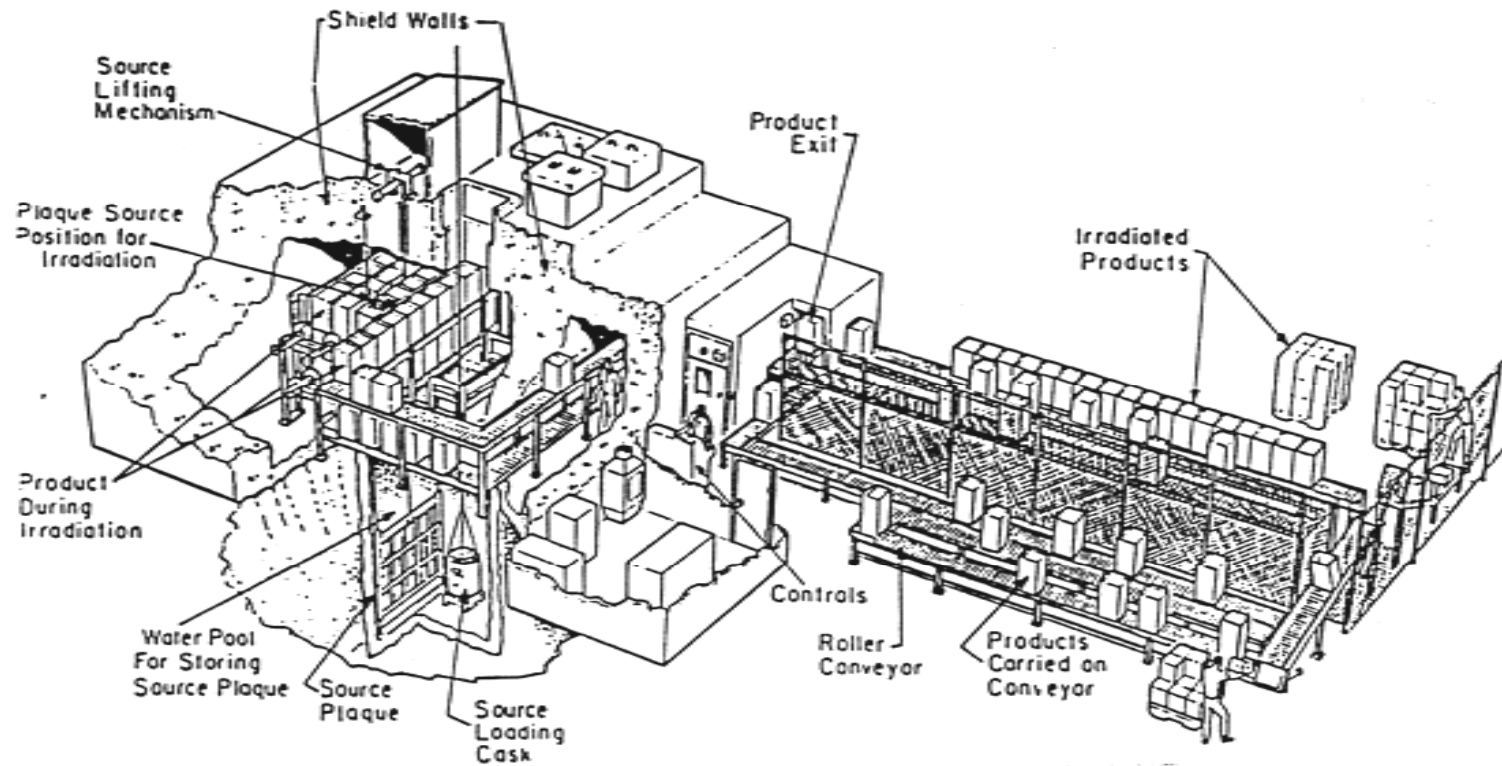
## ***Impianti di Irraggiamento per il Radiation Processing***



**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 ( $^{60}\text{Co}$ ) di prodotti vari, con stoccaggio della sorgente in piscina**

## Impianti commerciali nel mondo (dati aggiornati al 2009):

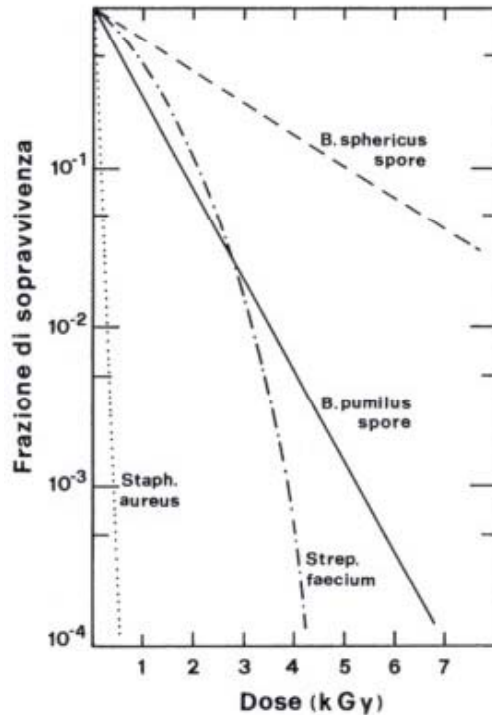
- circa 170 a  $^{60}\text{Co}$  distribuiti in circa 50 paesi contenenti circa 240 MCi
- 
- circa 1200 acceleratori di elettroni con energie da 0,15 a 10 MeV: 300 nelle Americhe; 400 nella zona del Pacifico di cui 320 solo in Giappone; 150 in Europa; 200 ex USSR; 50 altri

# 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  $\gamma$  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  $\gamma$  da  $^{60}\text{Co}$  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  $120^\circ\text{C}$  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

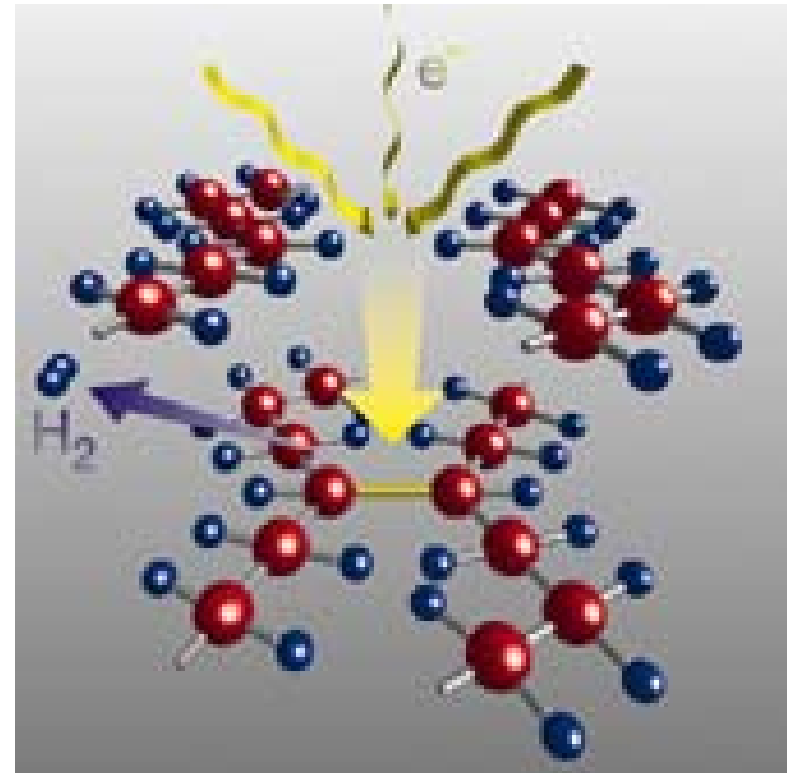
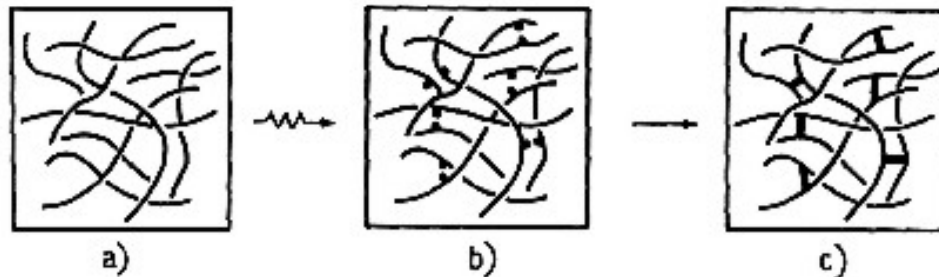
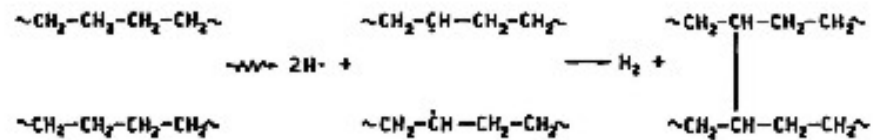
Si ottengono polimeri altamente monodispersi, senza uso di solventi e iniziatori.

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  $1200^{\circ}\text{C}$  produce una **fibra ceramica flessibile di carburo di silicio**, impiegata nella produzione di materiali compositi ad alta resistenza termica ( $1800^{\circ}\text{C}$ )

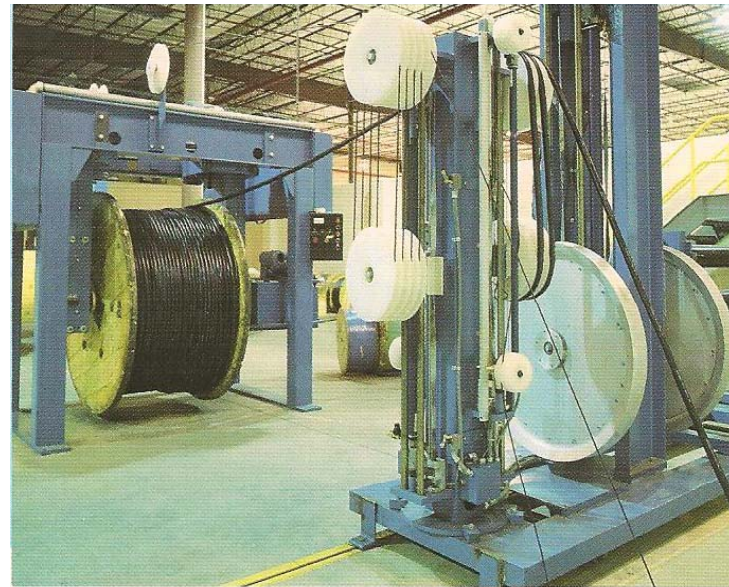
Il Teflon (PTFE) reticolato mediante irraggiamento allo stato fuso ( $340^{\circ}\text{C}$ ) in atmosfera inerte con fasci di elettroni dà un **prodotto che trova applicazioni** nei settori dove esistono condizioni ambientali estreme ad es. **in campo aerospaziale** avendo buona resistenza alle radiazioni 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).

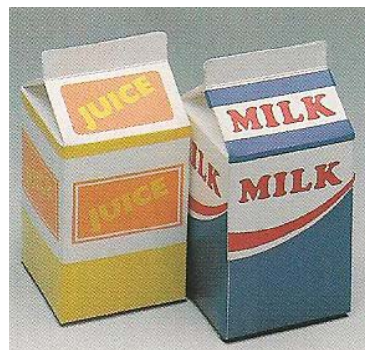
In Sicilia le ricoperture di plastica delle serre ormai usurate vengono degradate con le radiazioni e il materiale ottenuto macinato viene aggiunto alla mescola per produrre nuovi teli plastici con risparmio di materia prima vergine.

# Curing

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

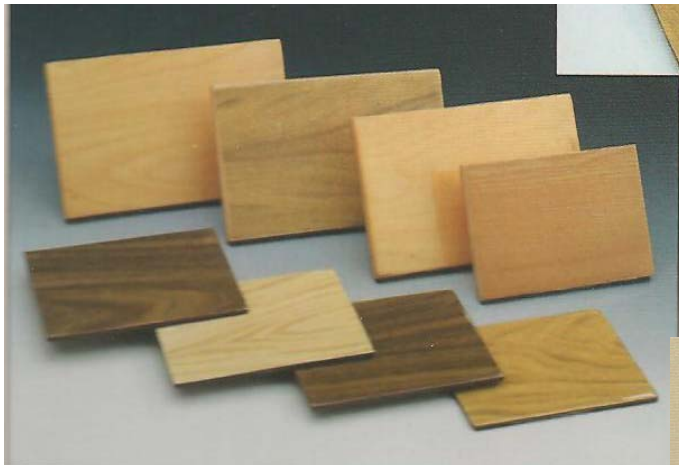


- ✓ Pannelli di legno
- ✓ Contenitori per alimenti
- ✓ Nastri per videoregistratori
- ✓ Dischetti magnetici



# 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

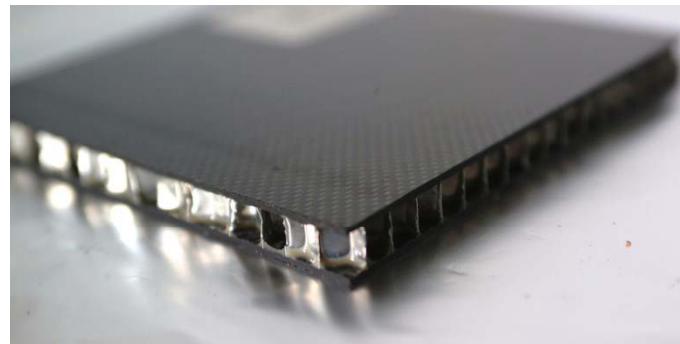


FIG 4. X-ray cured six-ply carbon fiber composite motorcycle fender.

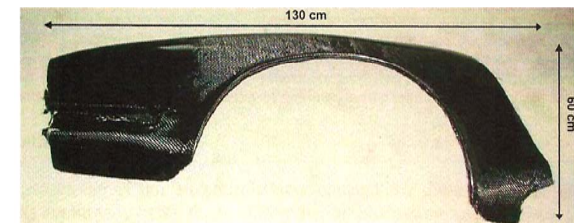


FIG 5. X-ray cured six-ply carbon fiber composite sports car fender.

# Innesto su polimeri

## Grafting (250-500 kGy)

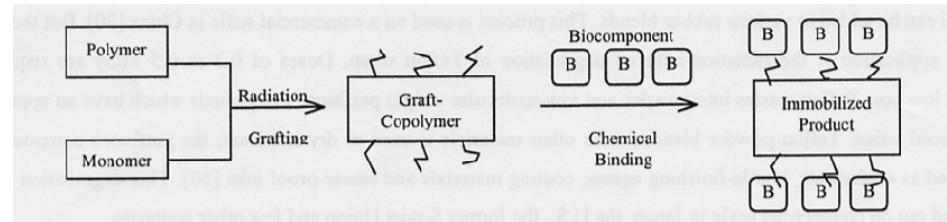
Innesto di monomeri o oligomeri su materiale già pronto per conferire proprietà superficiali speciali

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



# Applicazioni biotecnologiche

- ✓ Materiale biocompatibile per innesti o trapianti

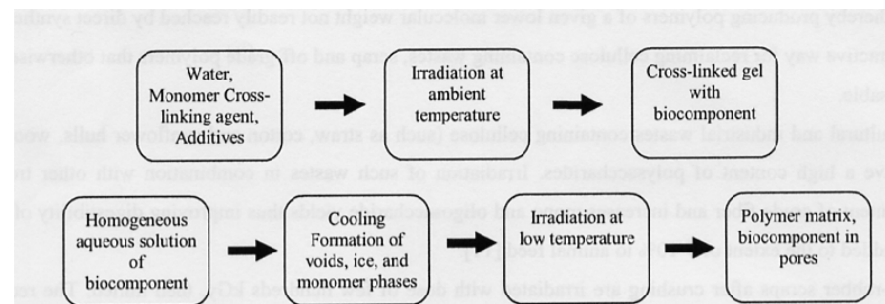


- ✓ Lenti a contatto

- ✓ 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



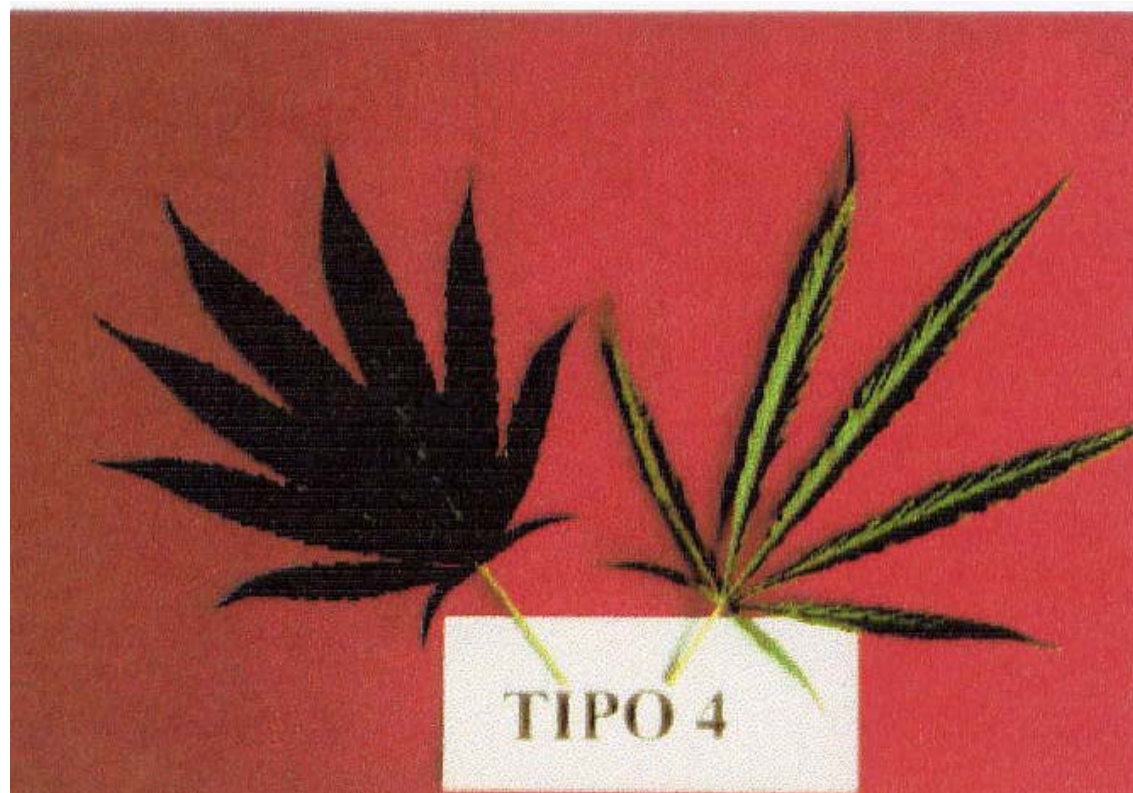
# Sterilizzazione ossa per trapianti



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  $^{60}\text{Co}$**  (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

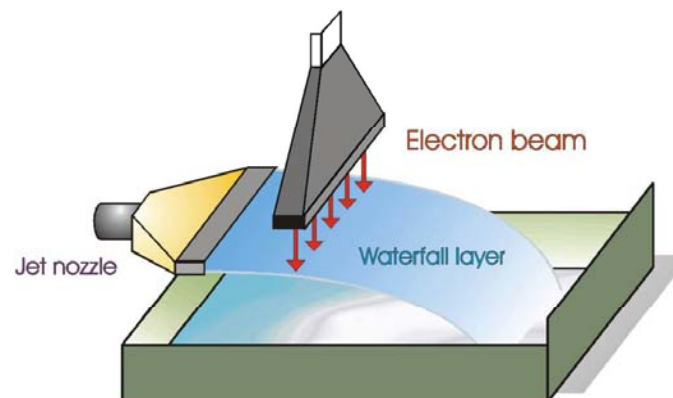
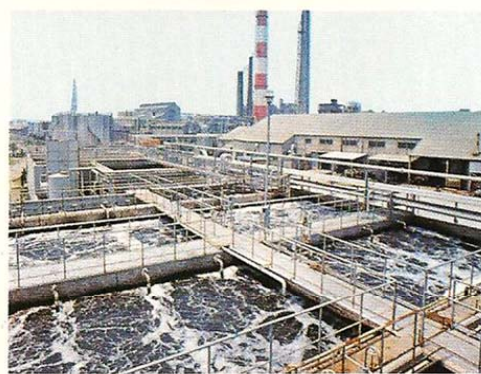
Sono una notevole risorsa economica per i residui alimentari che contengono

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

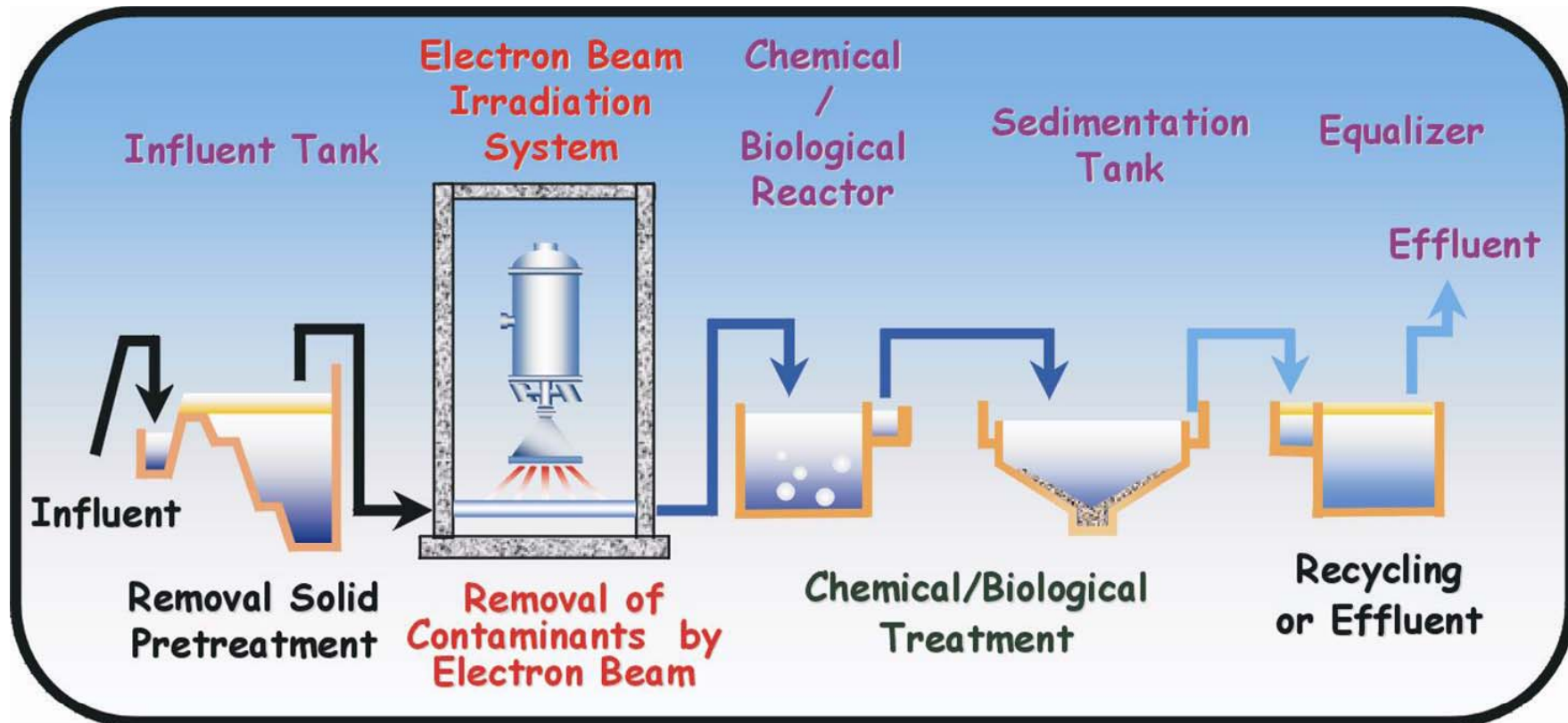
# Controllo dell'inquinamento ambientale

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  $\gamma$  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 m<sup>3</sup>/giorno di acque inquinate da coloranti

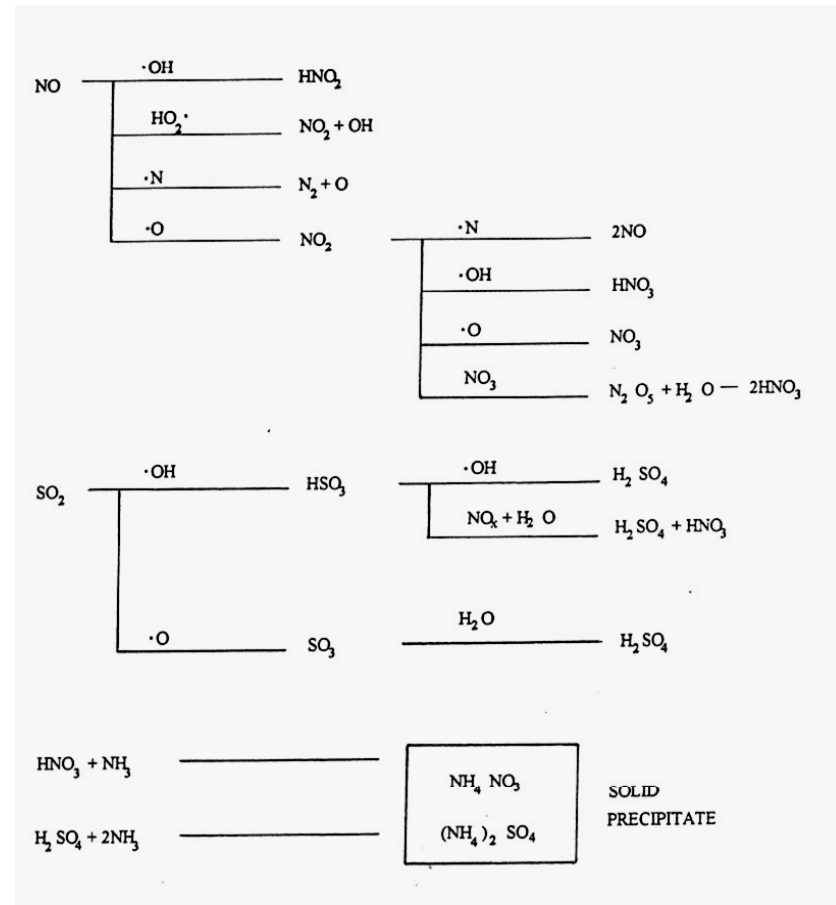


# Abbattimento di inquinanti gassosi

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.

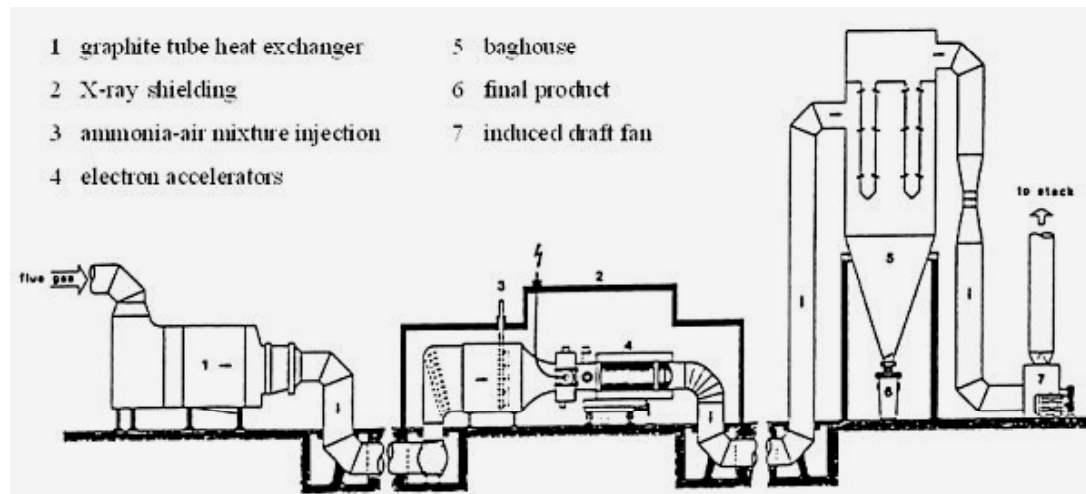




# Abbattimento di inquinanti gassosi

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 m<sup>3</sup>/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

