

Università degli studi "Federico II" Napoli
Facoltà di Farmacia



Corso di:
Chimica e Tossicologia dei Nutraceutici

Alimenti irradiati

Prof. Gian Carlo Tenore

Effetti attesi dall'uso delle radiazioni ionizzanti

- Distruzione di insetti e parassiti;
- Inibizione della germogliazione;
- Ritardo nella maturazione di frutta e vegetali;
- Riduzione del numero di microrganismi inquinanti, con conseguente diminuzione delle tossinfezioni alimentari e aumento della shelf life.

Irraggiamento degli alimenti: alcune pietre miliari

1895	Von Roentgen scopre i raggi x
1896	Becquerel scopre la radioattività
<u>1904</u>	Prescott pubblica studi sugli effetti battericidi delle radiazioni ionizzanti
<u>1905</u>	Pubblicazione di un brevetto U.S. per l'uso delle radiazioni ionizzanti per l'inattivazione di batteri negli alimenti
1905 - 1920	Numerose ricerche sugli effetti biologici, chimici e fisici delle radiazioni ionizzanti
1921	Studio degli effetti dei raggi x sulla <i>Trichinella Spiralis</i> in carne di maiale cruda.
<u>1923</u>	Primi studi sugli animali per valutare la salubrità degli alimenti irradiati
<u>1930</u>	Brevetto francese per l'uso delle radiazioni ionizzanti nella conservazione degli alimenti.
1943	Dimostrazione della possibilità d'uso dei raggi x nella conservazione di carne bovina tritata (MIT)
<u>1940 - 1950</u>	Studi su animali delle caratteristiche nutrizionali degli alimenti irraggiati.
1950	Inizio del programma di studi sull'uso delle radiazioni ionizzanti in Inghilterra e numerose altre regioni.

Irraggiamento degli alimenti: regolamentazione

<u>1958</u>	Negli USA l'irraggiamento è considerato un additivo e non un processo: La FDA dovrà approvarne l'uso negli alimenti come per un qualunque additivo.
1959	URSS approva l'irraggiamento di patate e grano.
1960	Il Canada approva l'irraggiamento delle patate
1963 - 1964	La FDA approva l'irraggiamento di bacon, grano e patate
1964 - 1967	La FDA approva l'uso di imballaggi flessibili, in materiale plastico, come contenitori di alimenti durante il processo di irraggiamento.
<u>1973</u>	L'Italia approva l'irraggiamento di patate e cipolle a scopo antigermogliativo, sulla base dell'art. 7 della legge 30 aprile 1962 n.283.
1976	Esperti delle Commissioni per la sicurezza e salubrità degli alimenti irraggiati, FAO/IAEA/WHO approvano congiuntamente l'irraggiamento di molti alimenti e raccomandano di classificare l'operazione di irraggiamento come un processo fisico.
1980	Esperti delle Commissioni per la sicurezza e salubrità degli alimenti irraggiati, FAO/IAEA/WHO approvano congiuntamente l'irraggiamento di tutti gli alimenti trattati con una dose media di 10 kGy.
1983	La FDA e il Dipartimento della salute Canadese approvano l'irraggiamento delle spezie.

Irraggiamento degli alimenti: regolamentazione

1985	La FDA approva il trattamento di carne di maiale con radiazioni ionizzanti per il controllo della trichinosi (dose minima 0,3 kGy e massima 1,0 kGy).
1986	La FDA approva il trattamento della frutta con radiazioni ionizzanti a dosi superiori di 1 kGy
1990 - 1992	La FDA approva il trattamento con radiazioni ionizzanti delle carni di pollo per eliminare la flora patogena. Le dosi richieste sono comprese nell'intervallo 1,5 – 3,0 kGy.
1994	La FDA approva il trattamento con radiazioni ionizzanti di carni rosse : con dosi massime pari a 4,5 kGy se refrigerate e 7,5 kGy se congelate.
<u>1996</u>	L' Italia approva il trattamento con radiazioni ionizzanti di erbe e spezie .
<u>1999</u>	Emanata la direttiva quadro 1999/2/CE che <u>disciplina</u> gli aspetti generali e tecnici del processo di irraggiamento e le norme di etichettatura. Emanata la direttiva di applicazione 1999/3/CE che stabilisce l' <u>elenco</u> comunitario degli <u>alimenti trattati</u> con radiazioni ionizzanti.
<u>2002</u>	In Italia è approvato il Decreto legislativo 30 Gennaio 2002, n.94 di attuazione delle direttive 1999/2/CE e 1999/3/CE.

Paesi ed alimenti per cui è ammesso l'uso dell'irraggiamento

Paese	Alimenti
Argentina	Patate fragole, cipolle, aglio
Belgio	Patate fragole cipolle, aglio, scalogno, paprica, pepe, gomma arabica, 78 spezie.
Bulgaria	Patate cipolle, aglio, alimenti concentrati essiccati, grano, frutta essiccata , frutta fresca.
Canada	Patate, cipolle, grano, pollo, filetti di merluzzo ed eglefino, spezie, alcuni vegetali essiccati
Cecoslovacchia	Patate, cipolle, Funghi
Cile	Patate, papaia, grano, pollo, cipolle, riso, prodotti della pesca, spezie
Filippine	Patate, cipolle, aglio
Finlandia	Spezie, pasti ospedalieri, erbe aromatiche
Francia	Patate, cipolle, aglio, scalogno, spezie, frutta essiccata, vegetali, pollo, cosce di rana
Germania	Pasti ospedalieri
Inghilterra	Pasti ospedalieri

Paesi ed alimenti per cui è ammesso l'uso dell'irraggiamento

Paese	Alimenti
Israele	Patate, cipolle, pollo, 36 spezie, frutta fresca e vegetali.
<u>Italia</u>	Patate, cipolle, aglio, spezie
Iugoslavia	Cereali, patate, cipolle, aglio, pollo, maiale, frutta fresca e vegetali
Olanda	Asparagi, semi di cacao, fragole, funghi, pasti ospedalieri, patate, gamberetti, cipolle, pollo, filetti di pesce, gambe di rana, riso, pane di segale, spezie.
Russia	Patate, grano, frutta e vegetali freschi ed essiccati, alimenti concentrati ed essiccati, polli, cipolle, prodotti a base di carne
Spagna	Patate, cipolle
Stati Uniti	Grano, patate, spezie, maiale, pollo, frutta fresca e vegetali
Sud Africa	Patate, cipolle, aglio, pollo, papaia, mango, banane essiccate, fragole, avocado, fagioli.
Tailandia	Patate, cipolle, aglio, riso, pollo, pesce, datteri, grano

Il radioisotopo più impiegato come sorgente di radiazioni gamma nelle applicazioni industriali è il ^{60}Co che decade a ^{60}Ni emettendo due fotoni da 1,17 e 1,33 MeV ($t_{1/2} = 5,2$ anni).

Impianti per l'irraggiamento dei prodotti alimentari.

Il CAC (Codex Alimentarius Commission) ammette il trattamento degli alimenti con radiazioni ionizzanti prodotte da sorgenti di ^{60}Co e da elettroni accelerati con energie comprese tra 4,5 e 10 MeV.

Tali trattamenti sono effettuati in circa ottanta impianti pilota distribuiti in circa quaranta paesi nel mondo.

La maggior parte di tali impianti sono polivalenti e sono utilizzati anche per la sterilizzazione di prodotti medicali in quanto la quantità di alimenti trattati non è di norma sufficiente per un uso a tempo pieno degli impianti.

Impianti a raggi γ

- Il ^{60}Co e il ^{137}Cs sono i due radionuclidi sorgenti di raggi γ ammessi nel trattamento degli alimenti;
- il secondo pur avendo un tempo di dimezzamento assai più lungo del ^{60}Co è poco usato a causa della bassa energia della radiazione gamma emessa (0,662 MeV) e degli alti costi per la sua separazione dagli altri composti di fissione del combustibile nucleare.
- Oggi gli impianti di irraggiamento sono quasi tutti impianti a ^{60}Co .

Tolleranza nella distribuzione della dose

E' molto difficile avere nei prodotti trattati la dose assorbita uniformemente distribuita per cui è accettabile una certa disomogeneità nella distribuzione di dose purché questa variazione sia contenuta entro i limiti posti dalle specifiche del processo che sono stabiliti per legge e che dipendono:

- dalla dose minima necessaria a raggiungere l'effetto desiderato
- dalla dose massima che il prodotto può sopportare mantenendo inalterata la sua funzionalità.

Misura della Dose

In tutti i processi di irraggiamento un'accurata dosimetria, cioè la misura della dose, assicura che il trattamento sia stato correttamente applicato e che tutti i punti di ogni collo di prodotto abbiano ricevuto almeno la dose minima richiesta per l'efficacia del trattamento.

La dose assorbita di radiazioni si esprime in Gray (Gy);

Il rateo di dose si esprime in Gy/t (t = tempo espresso in h, min, s).

Con le radiazioni di interesse pratico nella tecnologia dell'irraggiamento degli alimenti: le radiazioni γ da ^{60}Co , fasci di elettroni accelerati con energia 5-9 MeV; radiazioni X, le differenze osservabili a parità di dose assorbita sono da attribuirsi a differenze nei ratei di dose che possono essere anche 10^3 superiore quando si impiegano acceleratori di elettroni

Vantaggi dell'irraggiamento rispetto ai metodi di conservazione convenzionali

- Stabilizzazione microbiologica dell'alimento con trattamenti a bassa temperatura; possono quindi essere sanitizzati alimenti allo stato congelato particolarmente derrate sensibili al calore (es. frutta, verdura, carni crude, carni confezionate).
- L'ottimo potere penetrante rende possibile trattare in un'unica disposizione, entro certi limiti, alimenti di diverso spessore (carcasse di pollo, sacchi di spezie, alimenti preconfezionati) con eliminazione della "cross contamination".
- Rispetto ai metodi chimici presenta come vantaggi l'assenza di residui tossici volontariamente aggiunti.
- Il trattamento con radiazioni ionizzanti coinvolge bassi livelli di energia particolarmente se confrontati con quelli richiesti per il trattamento termico o il congelamento. Per particolari alimenti e per basse dosi imposte, può dimostrarsi il metodo di stabilizzazione più economico e più attuabile.
- Allo stato attuale la tecnologia dell'irraggiamento può trovare applicazione dove i metodi alternativi sono limitati, contestati o, addirittura assenti.

Irraggiamento degli alimenti

L'uso delle radiazioni ionizzanti non risolve i problemi sanitari legati alla produzione, trasformazione e distribuzione degli alimenti, né tanto meno rende edibile una materia prima inadatta al consumo, semplicemente è una **opportunità in più** per raggiungere gli obiettivi di sicurezza nel rispetto della qualità.

Gli alimenti irraggiati sono sicuri?

Negli anni 80

un comitato misto di esperti di tre diverse organizzazioni mondiali: FAO/IAEA/WHO (Food and Agriculture Organization / International Atomic Energy Agency / World Health Organization)

ha prodotto degli studi che hanno portato a una prima vera apertura all'uso di tale tecnologia, affermando che l'irraggiamento di qualunque alimento con dosi medie o inferiori a 10 KGy non presenta rischi tossicologici né problemi nutrizionali o microbiologici.

Finalità del trattamento con radiazioni ionizzanti e dosi impiegate

Funzioni	Dosi (kGy)
Inibizione della germogliazione	0,05-0,15
Disinfestazione e disinfezione (eliminazione di insetti e parassiti)	0,15-0,5
Ritardo di processi fisiologici (ad esempio maturazione)	0,5-1,0
Prolungamento tempo conservazione	1,0-3,0
Eliminazione di batteri saprofiti e patogeni	1,0-7,0
Miglioramento delle proprietà tecnologiche	2,0-7,0
Sterilizzazione industriale (in combinazione con leggero riscaldamento)	30-50

Elenco degli alimenti sottoposti ad irraggiamento e dosi testate.

Effetto del trattamento	DOSE (kGy)	Tipo di alimento
Bassa dose (fino a 1 kGy)		
Inibizione della germogliazione	0.05 – 0.15	Patate, cipolle, aglio, radice di zenzero, ecc.
Disinfestazione di insetti e parassiti	0.15 – 0.5	Cereali e legumi, frutta fresca e secca, carni e pesci essiccati, carne di suino fresca
Ritardare i processi fisiologici (maturazione)	0.5 – 1.0	Frutta ed ortaggi freschi
Media dose (1 – 10 kGy)		
Prolungamento del tempo di conservazione ritardando lo sviluppo di muffe	1.0 – 3.0	Pesce fresco, fragole ed altra frutta, vegetali e pane a fette
Sanificazione da inquinamento microbico	1.0 – 7.0	Pesce fresco e congelato, frutti di mare, pollame e carni fresche e congelate, uova intere e in polvere, funghi, ecc.
Miglioramento delle proprietà tecnologiche degli alimenti	2.0 – 7.0	Uva (aumento della resa in succo), ortaggi disidratati (riduzione del tempo di cottura), ecc.
Alta dose (10 – 50 kGy)		
Sterilizzazione commerciale	30 – 50	Carni, pollame, pesci, piatti pronti, cibi precotti, cibi per ospedali
Decontaminazione da microrganismi (eliminazione dell'uso di additivi chimici).	10 – 50	Spezie, condimenti, vegetali essiccati, 17 17ci, preparazioni di enzimi, gomme naturali

Meccanismo chimico alla base dell'azione battericida

L'acqua costituisce il 70% circa degli organismi e delle cellule per cui negli alimenti come carne, pesce, frutta, ecc. e nei prodotti derivati, sottoposti all'azione delle radiazioni, la maggior parte dell'energia è assorbita dall'acqua.

Il meccanismo chimico alla base dell'azione battericida proviene perciò in gran parte dall'azione delle specie radiolitiche dell'acqua.

Radiolisi dell'acqua

A causa della polarità della molecola, il meccanismo principale nella radiolisi dell'acqua è quello ionico e le specie primarie sono il radicale catione $\text{H}_2\text{O}^{\cdot+}$ e l'elettrone e^- che viene "catturato" da una gabbia di molecole di acqua che l'elettrone stesso orienta con il polo positivo verso di sé.

Si forma così l'elettrone acquoso e^-_{aq} che è un vero e proprio intermedio di reazione.

Radiolisi dell'acqua: Influenza dell'ossigeno

La presenza dell'ossigeno modifica significativamente il quadro delle specie radiolitiche attraverso le reazioni:



Reazioni dei radicali $\text{OH}\cdot$ con il DNA

- Le reazioni dei radicali $\text{OH}\cdot$ con il DNA formano un quadro molto complesso. Sotto il profilo dell'efficacia del danno biologico una delle reazioni più importanti è l'addizione al doppio legame in C8 nelle basi puriniche, in particolare la guanina, con formazione finale del derivato 8-idrossiguanosinico usato come *marker* della degradazione ossidativa della cellula.

Reazioni dei radicali $\text{OH}\cdot$ con il DNA

- Altra reazione importante è l'addizione in C6 al doppio legame della timidina e l'estrazione di idrogeno dai C-H delle unità di deossiribosio che può causare a seconda del sito di attacco il distacco della base o la rottura del filamento.
- L'attacco più frequente nelle proteine può avvenire sulla catena, con formazione di radicali al carbonio, o sui sostituenti laterali più reattivi, come -SH (cisteina), -OH (tirosina), C-H benzilici (fenil alanina), C-H secondari e terziari. Importanti sono anche le reazioni di addizione agli anelli aromatici e al triptofano.

Effetto dell'irraggiamento sui microrganismi

- I radicali liberi esplicano la loro attività tossica solo quando sono prodotti con una velocità o in una quantità tale da non poter essere inattivati dai sistemi di difesa della cellula. In questo caso sono in grado di reagire con tutti i costituenti della cellula e della matrice cellulare, determinando un condizione chiamata "stress ossidativo".
-
- Il meccanismo con cui le radiazioni distruggono i microrganismi è legato al danno causato al DNA.
- Le lesioni indotte dalle radiazioni sul DNA possono avvenire a livello di filamento, per danneggiamento di una base purinica o pirimidinica, per introduzione di un frammento tra due filamenti, per formazione di un legame incrociato lungo un filamento.

Effetto dell'irraggiamento sui microrganismi

- I diversi tipi di radiazioni danno luogo ad effetti chimici e fisici del tutto simili. Ciò si deve al fatto che per tutti i tipi di radiazioni il processo radiolitico parte dalla ionizzazione degli atomi e delle molecole e si sviluppa attraverso la radiolisi dell'acqua.
- Tuttavia non tutti i substrati biologici contengono lo stesso quantitativo di acqua. Batteri come *B. subtilis* e *B. megaterium* si presentano sotto due forme, la forma vegetativa e quella di spora. Quest'ultima è caratterizzata dalla presenza di una bassa concentrazione di acqua.
- Questo fatto rende tale forma più resistente alle radiazioni ionizzanti a causa del minore numero di radicali che si formano a parità di dose

Radioresistenza dei microrganismi

Fattori:

- dimensioni dell'organismo (più piccolo è l'organismo più resistenza offre all'effetto delle radiazioni);
- il tipo di microrganismo (caratteristiche delle pareti cellulari e natura: gram-negativo / gram positivo);
- numero ed età relativa delle cellule nell'alimento;
- assenza o presenza di ossigeno.

Radioresistenza dei microrganismi

La sensibilità relativa dei diversi microrganismi alle radiazioni ionizzanti, è basata sui rispettivi valori D10 (definita come la dose di radiazioni richiesta per ridurre la popolazione del 90%). Più basso è il valore D10 più alta è la sensibilità del microrganismo all'irraggiamento.

Anche la composizione chimica e fisica dell'alimento può influenzare la risposta del microrganismo alle radiazioni

Valori di D10 per specifici microrganismi patogeni in diversi substrati

Microrganismo	Temperatura (°C)	Prodotto	D10 (kGy)	Riferimento
Staphylococcus aureus	5	Petto di tacchino	0,45	Thayer e al (1995)
Campilobacter jejuni	30	Tacchino triturato	0,16	Lambert e Maxcy (1984)
	5		0,19	
	-30		0,29	
Salmonella Heidelberg	0	Pollo	0,24	Liccardello e al (1970)
	0	Pollo sottovuoto	0,39	
Salmonella Enteritidis	5	Uova in polvere	0,6	Matic e al (1990)
	3	Carne bovina triturrata	0,55 – 0,78	Tarkowski e al (1984)
Salmonella spp	5	Petto di tacchino	0,71	Thayer e al (1995)
Listeria Monocytogenes	5	Bovino	0,45	Thayer e al (1995)
Escherichia Coli O157:H7	5	Impasti di bovino	0,27 – 0,38	Lopez-Gonzales (1999) 27

Legge di morte radiolitica

La legge di morte radiolitica dei microrganismi è esponenziale, è quindi impossibile parlare di eliminazione totale dei microrganismi (inattivazione totale), ma si dovrà parlare più correttamente di **probabilità di sopravvivenza**.

In generale le Farmacopee Ufficiali considerano sicuro un livello di sterilità in cui la probabilità di sopravvivenza dei microrganismi di alterazione (non patogeni) sia **inferiore a 10^{-6}**

Per ridurre le popolazioni presenti fino a questi valori sono necessarie dosi che variano da **10 a 60 kGy** a seconda del microrganismo e dell'ambiente.

Nello stabilire i limiti di dose da impiegare, è tuttavia necessario prendere in considerazione oltre alla **dose necessaria per massimizzare l'effetto letale sui batteri** anche la necessità di minimizzare gli effetti avversi sull'alimento.

SICUREZZA D'USO: ASPETTI NUTRIZIONALI E ORGANOLETTICI

Caratteri organolettici:

- si possono manifestare variazioni di colore, odore, sapore e consistenza dovute essenzialmente alle trasformazioni indotte dalle radiazioni sui costituenti dell'alimento. L'entità delle variazioni è legata soprattutto all'applicazione corretta del processo di irraggiamento.

Qualità nutrizionale:

- l'irraggiamento può influenzare sia i macronutrienti sia i micronutrienti

Caratteri organolettici

L'influenza esercitata dall'irraggiamento sulle caratteristiche sensoriali, è legata **all'entità della dose** e al **tipo di alimento**.

Alimenti come il latte, formaggi, uova e alcuni frutti e vegetali non sono soggetti ideali per la tecnica in oggetto in quanto l'irraggiamento può provocare l'insorgere di odori indesiderabili e cambiamenti significativi nella texture.

In particolare i derivati del latte sono generalmente molto più sensibili alla produzione di aromi estranei rispetto ad altri alimenti, in tali sostanze sono stati identificati due prodotti radiolitici: **acetaldeide** e **dimetilsolfuro**.

- Nell'irraggiamento delle uova oltre a mutamenti nell'aroma, si registrano altri due effetti: un indebolimento della membrana che separa il tuorlo dall'albume, e una perdita di viscosità di quest'ultimo.
- Nell'irraggiamento di carni e derivati, precursori dei cambiamenti registrati a livello aromatico sono i prodotti di ossidazione dei grassi e le sostanze solforate sviluppate dalla rottura delle proteine.
- In seguito all'irraggiamento anche gli aminoacidi liberi possono subire deaminazioni con liberazione di ammoniaca e decarbossilazioni con formazione di ammine, tutte queste reazioni sono caratterizzate da odori intensi e sgradevoli.

- Studi sono stati effettuati su **carne bovina triturata** in diverse condizioni di irraggiamento a livello di dose (0 ÷ 4,5 KGy), temperatura (ambiente ÷ - 25°C) e confezionamento. Le conclusioni cui sono giunti è che il processo di irraggiamento non determina mutamenti significativi nelle caratteristiche sensoriali (aroma, colore e texture) se la **dose era tenuta al di sotto di 3 kGy**.
- Alle stesse conclusioni si è giunti processando **carne suina** qualora la dose fosse mantenuta al di sotto di **2,5 kGy**.
- Si deve osservare, comunque, che altri studi hanno evidenziato l'estrema sensibilità delle carni di **pollo e tacchino** irraggiate a cambiamenti nell'aroma e nel colore.

- In genere carni con basse percentuali di grassi (pesce, gambero) e le spezie sono in grado di sopportare dosi di irraggiamento sufficienti, normalmente, ad eliminare i batteri patogeni prima che intervengano modificazioni sensoriali percepibili dai consumatori.

- **Alimenti grassi non sono stabilizzabili microbiologicamente mediante irraggiamento.**
- Prima dell'ottenimento dell'obiettivo, infatti, si sviluppa a causa dei fenomeni ossidativi a carico dei grassi un aroma estraneo descritto come "wet dog" o metallico.
- Per gli **acidi grassi insaturi** prevalgono le reazioni di polimerizzazione e di **irrancidimento ossidativo**, con formazione di **aldeidi** e **chetoni**, responsabili di odori e sapori sgradevoli.

Su **frutta e vegetali** sembrano promettenti i risultati ottenuti a basse dosi (quelle impiegabili per trattamenti a livelli di quarantena - per insetti infestanti- o per aumentare la shelf life).

Nella frutta e nei vegetali i cambiamenti strutturali più importanti avvengono a causa della rottura dei legami glucosidici dei carboidrati

Le pectine invece vengono idrolizzate a prodotti solubili in acqua determinando il rammollimento del prodotto.

ASPETTI NUTRIZIONALI : Proteine

- Numerosi studi hanno dimostrato che, anche a dosi sterilizzanti, **non ci sono effetti significativi sul valore biologico**
- Le alterazioni delle *proteine* consistono soprattutto in ossidazioni dei gruppi aminici e sulfidrilici degli aminoacidi che le costituiscono e avvengono anche con basse dosi di trattamento, con quantità superiori si possono verificare rotture delle catene laterali, denaturazione e precipitazione

ASPETTI NUTRIZIONALI: Lipidi

- Le alterazioni causate dall'irraggiamento a carico dei lipidi consistono nella rottura della catena idrocarburica degli acidi grassi con formazione di catene più corte o, in seguito a ricombinazione dei frammenti, a catene più lunghe e ramificate
- Gli acidi grassi saturi vanno incontro alla decarbossilazione con formazione di idrocarburi. Per gli acidi grassi insaturi prevalgono le reazioni di polimerizzazione e di irrancidimento ossidativo, con formazione di aldeidi e chetoni
- Danni ossidativi avvengono quindi anche a carico degli acidi grassi polinsaturi (PUFA) che sono da considerarsi essenziali per l'organismo umano dato il loro ruolo nelle membrane cellulari e perché precursori delle prostaglandine e altri eicosanoidi.
- Scorrendo la lista degli alimenti che possono essere irradiati a norma di legge, si può affermare che un danno nutrizionale può avvenire a carico di acidi grassi insaturi soprattutto per il pesce, dal momento che questa categoria di alimenti ne è particolarmente ricca.

ASPETTI NUTRIZIONALI: Vitamine

- La sensibilità alle radiazioni delle *vitamine* varia grandemente a seconda dell'alimento, della dose di radiazione, delle condizioni ambientali presenti durante l'irradiazione e la conservazione.
 - Idrosolubili: B > C > B6 > folati, B12, niacina
 - Liposolubili: E > caroteni > A > D > K
- Se l'alimento viene irradiato a bassa temperatura si riesce a preservare una percentuale maggiore del suo contenuto di vitamine. Lo stesso vale se l'irradiazione ha luogo in un ambiente privo di ossigeno
- Se l'irradiazione e il confezionamento avvengono sotto flusso di azoto si raggiungono gli stessi risultati.
- Il significato nutrizionale delle perdite vitaminiche dipenderà moltissimo dall'entità della frazione della dieta costituita da alimenti irradiati.
- Fintanto che tali cibi costituiranno solo una piccola percentuale del consumo alimentare quotidiano, le preoccupazioni in tal senso³⁸non sono giustificate.

Processi Combinati

E' opinione degli esperti che i maggiori benefici dell'irraggiamento siano da ricercare nel suo uso in combinazione con altre tecniche stabilizzanti.

- Trattamento termico e irraggiamento
- Atmosfera modificata e irraggiamento
- Irraggiamento alle basse temperature
- Irraggiamento e trattamento chimico

Effetto dell'irraggiamento sui materiali di confezionamento

I cambiamenti noti che si verificano nei materiali di confezionamento:

- il **metallo** non subisce modifiche,
- il **vetro** mostra una decolorazione indotta dagli elettroni,
- **Cartone**, cellulosa/cellophane possono mostrare fragilità se esposti ad elevati dosaggi (100 - 250 KGy),
- I **polimeri** sono influenzati da depolimerizzazioni a livello di legami crociati e da altri fenomeni degradativi, dipendentemente dal tipo di polimero,
- Il polivinilcloruro (**PVC**) e il politetrafluoroetilene (**Teflon**) possono emettere sostanze tossiche. Tali effetti si possono manifestare a dosi superiori a 10 KGy.

SICUREZZA D'USO: ASPETTI TOSSICOLOGICI

Nell'alimento irraggiato si formano nuove specie chimiche, che si presentano sotto forma di radicali a vita media più o meno breve o di prodotti finali stabili.

La loro concentrazione finale sarà proporzionale alla dose di radiazioni a cui l'alimento è stato esposto e alla concentrazione dei composti precursori da cui derivano.

Studi di tossicità su animali

Studi, estremamente numerosi, sono stati condotti allo scopo di valutare possibili effetti teratogeni, mutageni e cancerogeni

Sulla base dei risultati raccolti è stato confermato il giudizio che questa tecnologia di conservazione è sicura e che esiste un adeguato margine di sicurezza per alimenti irradiati al di sotto di 10 kGy e per spezie secche e deidratate sterilizzate (WHO, 1994).

Studi clinici sull'uomo

Tali studi sono stati condotti più per provare la palatibilità degli alimenti irradiati che la loro tossicità sia a breve che a lungo termine.

Alimenti come le patate e le cipolle sono stati irradiati con dosi al di sotto di 1 kGy, mentre le carni sono state irradiate con alte dosi, al di sopra dei 10 kGy, allo scopo di sterilizzarle.

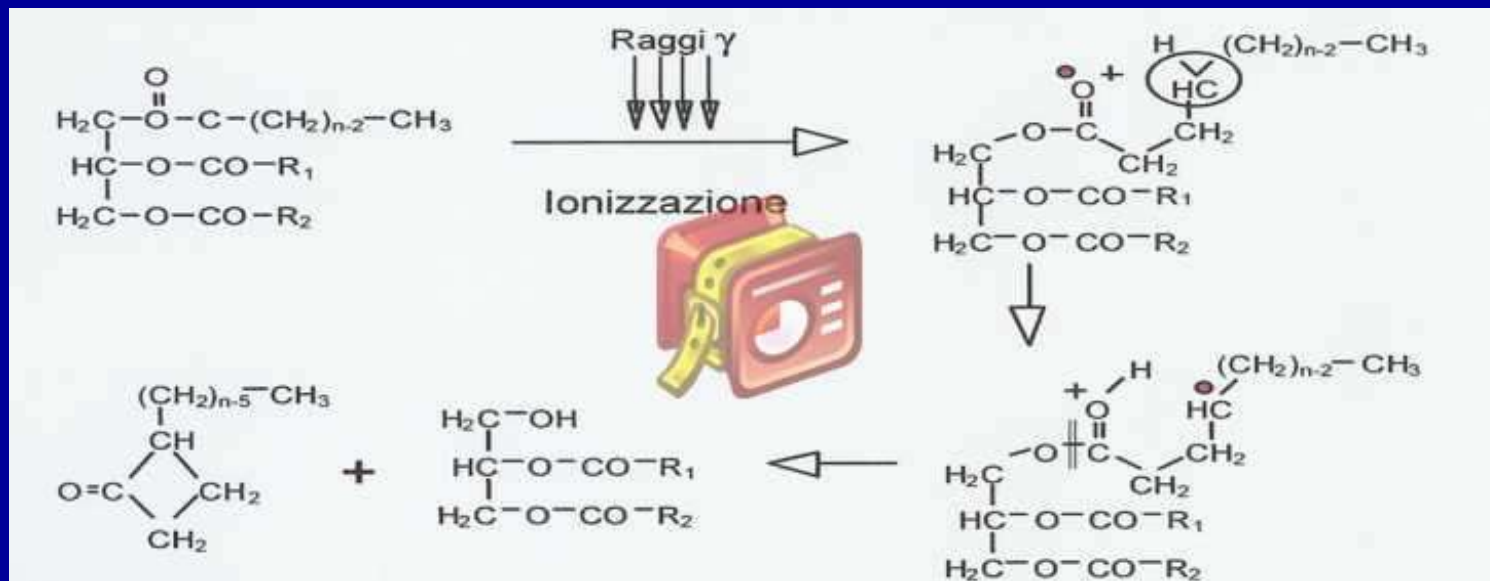
In ogni caso non è stato riscontrato, nei brevi periodi presi in considerazione, alcun effetto sia immediatamente dopo la fine dell'esperimento che dopo un anno.

Alimenti sterilizzati vengono di routine serviti a malati di sindromi immunitarie. Fino ad ora non è stato riportato alcun caso di effetto avverso.

2-alchil-ciclobutanoni [2-ACB]

Dopo **trattamento** con radiazioni ionizzanti di una soluzione pura di trigliceridi, è stato isolato e identificato un composto ciclico, un **2-alchil-ciclo-butanone (2-ACB)**, con lo stesso numero di atomi di carbonio del corrispondente acido grasso esterificato.

Questo composto si forma in funzione della dose ed è specifico del trattamento non essendo presente nella stessa sostanza trattata con altre tecniche.



Tossicità dei 2-alchil-ciclobutanoni

- *Cellule di mammifero in vitro:*

I 2-ACB derivati dall'**acido stearico** e dall'**acido oleico** producono danni al DNA solo alle più alte concentrazioni impiegate, in cui l'effetto citotossico è predominante, al contrario i 2-ACB derivanti dall'**acido palmitico** e **miristico** producono danni in un range di concentrazioni in cui l'effetto citotossico è minimo.

ASPETTI NORMATIVI IN ITALIA E IN EUROPA

- Il trattamento degli alimenti e dei loro ingredienti con radiazioni ionizzanti è regolamentato dalle direttive **1999/2/CE** e **1999/3/CE**
- La direttiva quadro **1999/2/CE** stabilisce:
 - ✓ Campo di applicazione
 - ✓ Finalità
 - ✓ Sorgenti di radiazioni
 - ✓ Dosi
 - ✓ Requisiti igienici dei prodotti alimentari da sottoporre al trattamento stesso
- **ITALIA: Decreto Legislativo 30 Gennaio 2002, n. 94** di attuazione delle direttive **1999/2/CE** e **1999/3/CE**.

L'irraggiamento può essere ammesso solo se:

- esiste una giustificata e ragionevole necessità tecnologica;
- costituisce un beneficio per il consumatore;
- non presenta rischi per la salute;
- non viene utilizzato per sostituire misure igieniche e sanitarie o buone prassi di fabbricazione cioè solo se gli alimenti sono sani e in buone condizioni al momento dell'applicazione del trattamento stesso

Tutela del consumatore: etichettatura



La direttiva quadro stabilisce che i prodotti trattati con radiazioni ionizzanti debbano essere correttamente etichettati e cioè riportare la dicitura "irradiato" in etichetta, se venduti confezionati, o su un cartello in prossimità del recipiente che li contiene, se venduti sfusi.

Lo stesso obbligo vige se un prodotto irradiato è utilizzato come ingrediente cioè la stessa dicitura deve accompagnare la sua denominazione nell'elenco degli ingredienti a prescindere dalla percentuale con cui esso è presente.

Le norme relative all' etichettatura prevedono inoltre che i prodotti alimentari se irradiati debbano riportare l'indicazione della denominazione e dell'indirizzo dell'impianto che ha effettuato il trattamento o il suo numero di riferimento.

La produzione attuale di alimenti irraggiati in Italia e in Europa

La Commissione UE nel 2002 (Official JEC 2002/C 145/04) ha aggiornato e pubblicato l'elenco degli impianti autorizzati al trattamento degli alimenti con radiazioni ionizzanti.

Gli impianti commerciali conformi alla normativa vigente sono complessivamente 15, distribuiti diversamente tra il Belgio, la Germania, la Danimarca, la Spagna, la Francia, i Paesi Bassi e il Regno Unito.

Nonostante l'Italia sia uno dei cinque Paesi dell'UE in cui esiste una legislazione antecedente alle direttive comunitarie, non esistono sul nostro territorio impianti industriali autorizzati al trattamento radiante di derrate alimentari.

Alimenti autorizzati per l'irraggiamento e livello massimo della dose media di radiazione assorbibile in kGy, per diversi paesi comunitari

Prodotti	BE	FR	IT	NL	PL	UK
Erbe aromatiche surgelate,	10	10				
Patate	0,15		0,15		0,1	0,2
Ignami						0,2
Cipolle	0,15	0,075	0,15		0,15	0,2
Agli	0,15	0,075	0,15		0,15	0,2
Scalogni	0,15	0,075				0,2
Ortaggi, compresi legumi	1					1
Legumi				1		
Frutta (compresi funghi, pomodori, rabarbaro)	2					2

Alimenti autorizzati per l'irraggiamento e livello massimo della dose media di radiazione assorbibile in kGy, per diversi paesi comunitari

Prodotti	BE	FR	IT	NL	PL	UK
Fragole	2					
Prodotti ortofrutticoli secchi	1	1		1		
Cereali	1					1
Fiocchi e germi di cereali per prodotti a base di latte	10	10				
Fiocchi derivati da cereali				1		
Farina di riso	4	4				
Gomma arabica	3	3		3		
Carne di pollo				7		
pollame	5	5				

Alimenti autorizzati per l'irraggiamento e livello massimo della dose media di radiazione assorbibile in kGy, per diversi paesi comunitari

Prodotti	BE	FR	IT	NL	PL	UK
Pollame (oche anatre, galline, faraone, piccioni, quaglie, tacchini)	7					7
Carne di pollo separata meccanicamente	5	5				
Fratteglie di pollame	5	5				
Cosce di rana congelate	5	5				
Pesci e frutti di mare (compresi anguille, crostacei)	3					3
Gamberi decorticati o decapitati surgelati	5	5				
Gamberi				3		
Albume d'uovo	3	3				
Caseina, caseinati	6	6				

La produzione attuale di alimenti irraggiati nel mondo.

Su scala mondiale il trattamento degli alimenti con radiazioni è attualmente effettuato in circa **80 impianti** commerciali distribuiti in poco più di **40 Paesi** e circa **60 tipologie diverse di alimenti** sono ammessi al trattamento.

Solo negli Stati Uniti, dove l'irradiazione è largamente diffusa (l'irraggiamento è utilizzato anche sulla carne rossa nel tentativo di ridurre le tossinfezioni da *Escherichia coli O157: H7*) sono presenti 20 impianti.

Nella Tabella sono riportati i prodotti autorizzati dalla Food and Drug Administration (FDA) con le relative dosi e lo scopo per il quale vengono irradiati.

Prodotti autorizzati in USA dalla Food and Drug Administration (FDA) con le relative dosi e lo scopo per il quale sono irradiati

Prodotto	<u>Dose (KGy)</u>	Scopo del trattamento	Data
Frumento, farina di frumento	0,2-0,5	Disinfestazione dagli insetti	1963
Patate	0,05-0,15	Antigermogliazione	1964
Carne di maiale	0,3-1	Controllo <i>Trichinella spiralis</i>	1985
Enzimi disidratati	massimo 10	Controllo microbiologico	1986
Frutta	massimo 1	Disinfestazione e ritardo della maturazione	1986
Vegetali freschi	massimo 1	Disinfestazione	1986
Erbe e spezie e condimenti vegetali	massimo 30	Controllo microbiologico	1986
Carne di pollo fresca o congelata	massimo 3	Controllo microbiologico	1990
Carne congelata confezionata*	minimo 44	Sterilizzazione	1995
Carne cruda refrigerata	massimo 4,5	Controllo microbiologico	1997
Carne cruda congelata	massimo 7	Controllo microbiologico	1997

* utilizzata solo nei programmi di volo spaziali

Sviluppi della normativa: High-dose irradiation

Recentemente le controversie sull'applicazione dell'irraggiamento si sono inasprite in seguito a quanto riportato dal gruppo di studio della FAO/IAEA/WHO che, prendendo in esame quanto pubblicato sull'argomento negli ultimi anni, ha concluso che **il trattamento con dosi superiori a 10 KGy non pregiudica l'adeguatezza nutrizionale e la sicurezza tossicologica e microbiologica degli alimenti.**

Il Comitato scientifico per gli Alimenti della Comunità Europea, ha tuttavia affermato (24 Aprile 2003) che **non esiste una sufficiente evidenza sperimentale tale da supportare una tale proposta**

È opportuno sottolineare:

- nessuno dei metodi esistenti e comunemente impiegati per la conservazione degli alimenti è in grado di preservare l'alimento trattato totalmente integro se confrontato con quello non trattato.
- persino la refrigerazione, uno dei metodi conservativi più diffusi, può provocare la perdita selettiva di alimenti nutritivi specialmente quelli a basso peso molecolare come sali e vitamine;
- come altri metodi di conservazione il trattamento con radiazioni ionizzanti non può migliorare la qualità intrinseca di un alimento ma migliorarne solo l'igiene e la conservazione.

CONCLUSIONI

- Come qualsiasi altro metodo conservazione, l'irraggiamento presenta vantaggi e svantaggi che ne devono governare l'impiego.
- **Vantaggi:** riduzione del deterioramento e quindi conseguente perdita di cibo; maggiore sicurezza sanitaria degli alimenti e basso consumo di energia.
- **Svantaggi:** perdita selettiva di vitamine e altri principi nutritivi, mancata inattivazione degli enzimi degradativi cellulari, dei virus e delle tossine, presenti nel cibo al momento del trattamento, alle dosi di norma somministrate.