Dall’obbligo alla competenza:

Aggiornamento in Radioprotezione per Medici ed Odontoiatri

ai sensi del D.Lgs.101/2020

24 Ottobre 2025

GLI EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Dott. Domenico Musto

SORGENTI NATURALI

- LA RADIAZIONE COSMICA

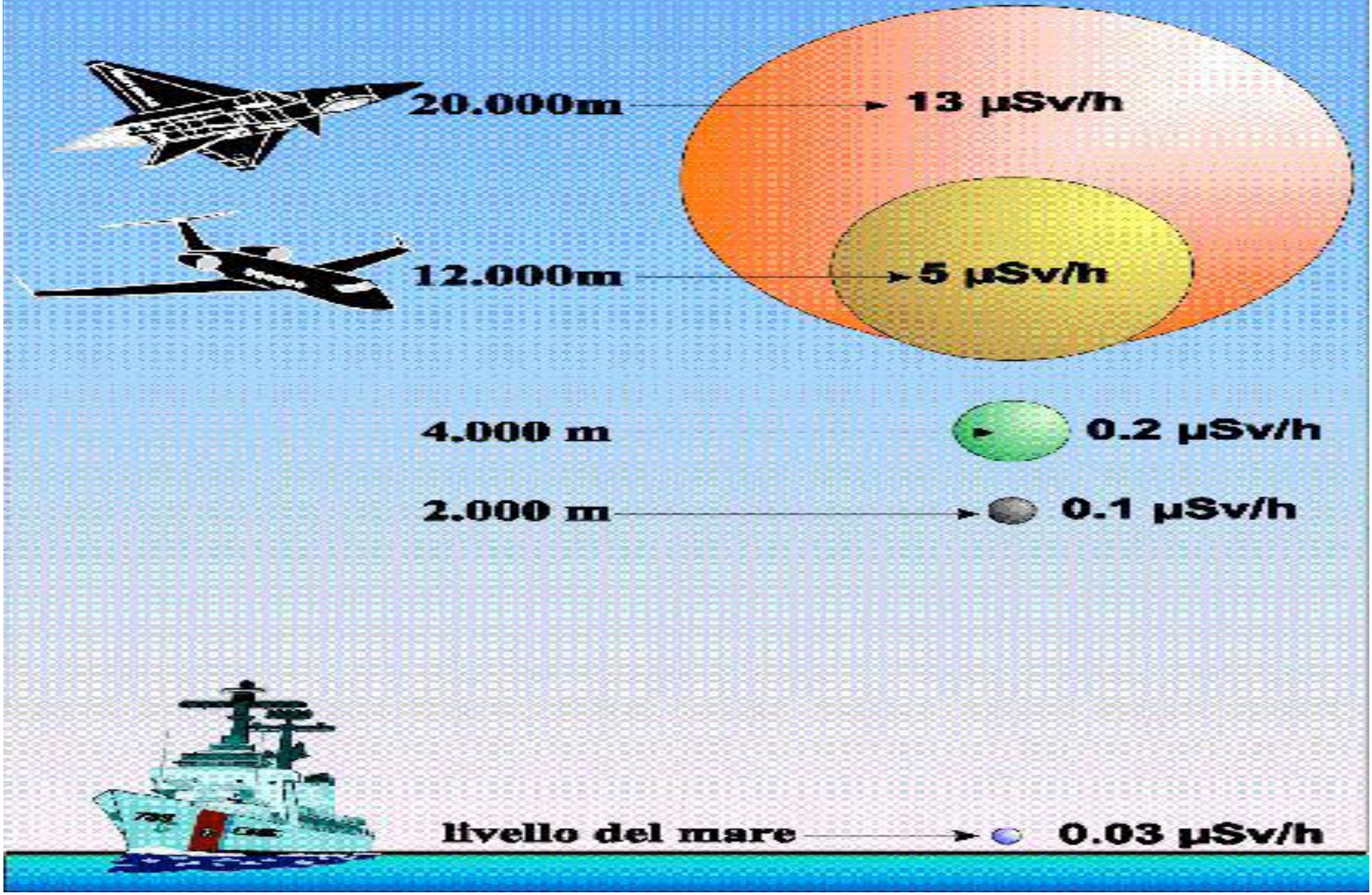
- LA RADIOATTIVITA' NATURALE DELLE ACQUE DI SUPERFICIE, DELL'ARIA, DELLA TERRA

VENGONO DEFINITE: RADIAZIONE DI FONDO

-valore medio mondiale è di circa 2,4 milliSievert/anno

-In Italia, la media è circa 3,3 mSv/anno

RAGGI COSMICI



Radiazione annuale a bordo della Stazione Spaziale Internazionale:

365 mSv (1 mSv al giorno)

Radiazione annuale media di fondo in alcune zone dell'India: > 30 mSv in Iran addirittura 260 mSv.

TAC tradizionale: da 1 a 15 mSv

Tomografia computerizzata dentale ConeBean 3D: 0,2 mSv

Radiografia panoramica (2D): 0,01 mSv

Le principali unità operative in cui si utilizzano radiazioni ionizzanti per la loro attività lavorativa in sanità:

-Radiologia tradizionale,

-la Radioterapia,

-la Medicina Nucleare,

-l'Interventistica radiologica,

-cardiologica,

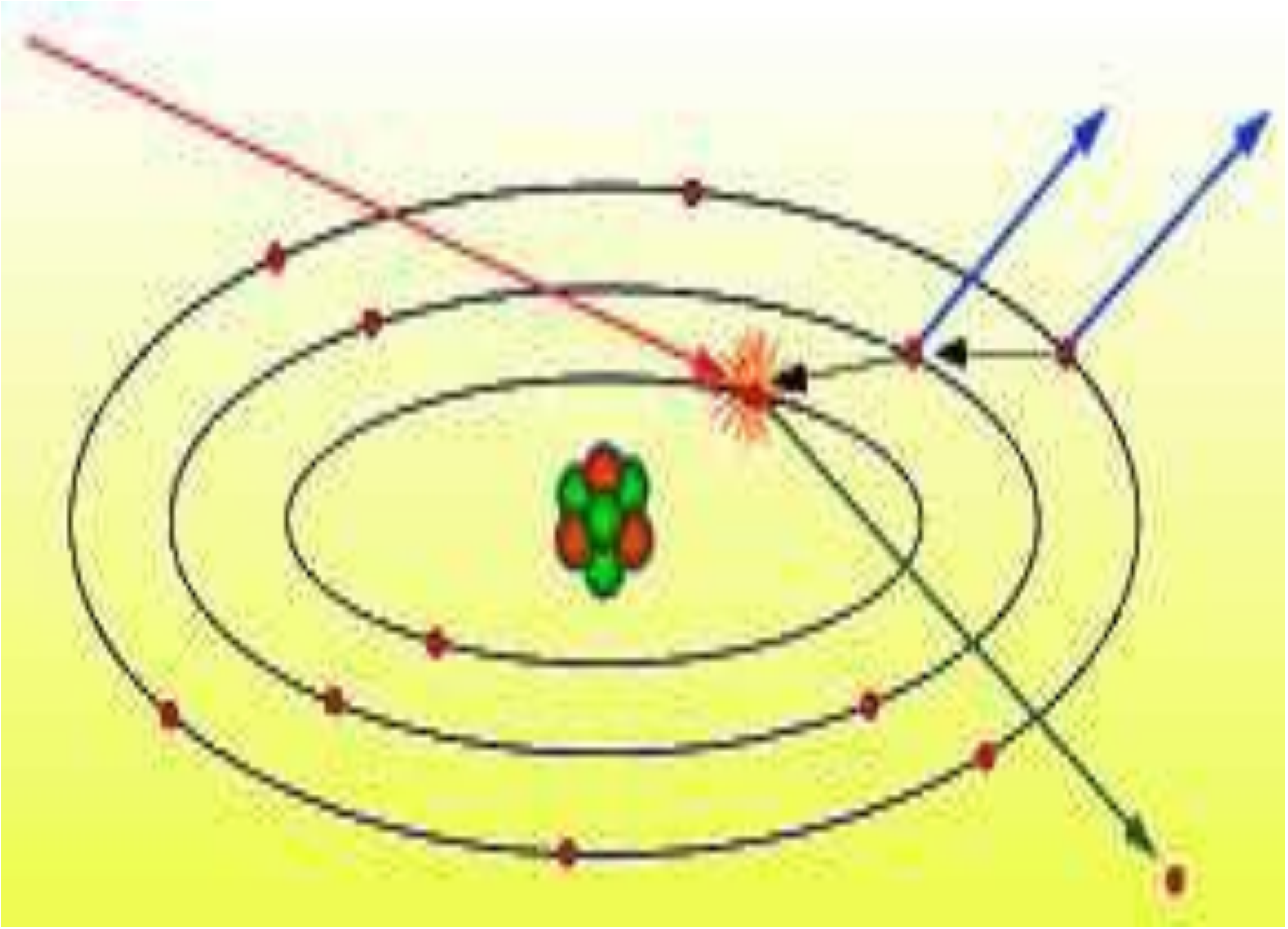
-discipline chirurgiche che utilizzano immagini radiologiche per i loro interventi.

In che modo si tutela la salute dei **lavoratori** esposti a rischio da radiazioni ionizzanti?

-Sorveglianza fisica

-Sorveglianza sanitaria

“Ionizzare” un atomo significa strappare uno o più elettroni dalla loro orbita intorno al nucleo: l’atomo non è più *“neutro”* ma diventa carico positivamente e si chiama *“ione”*.

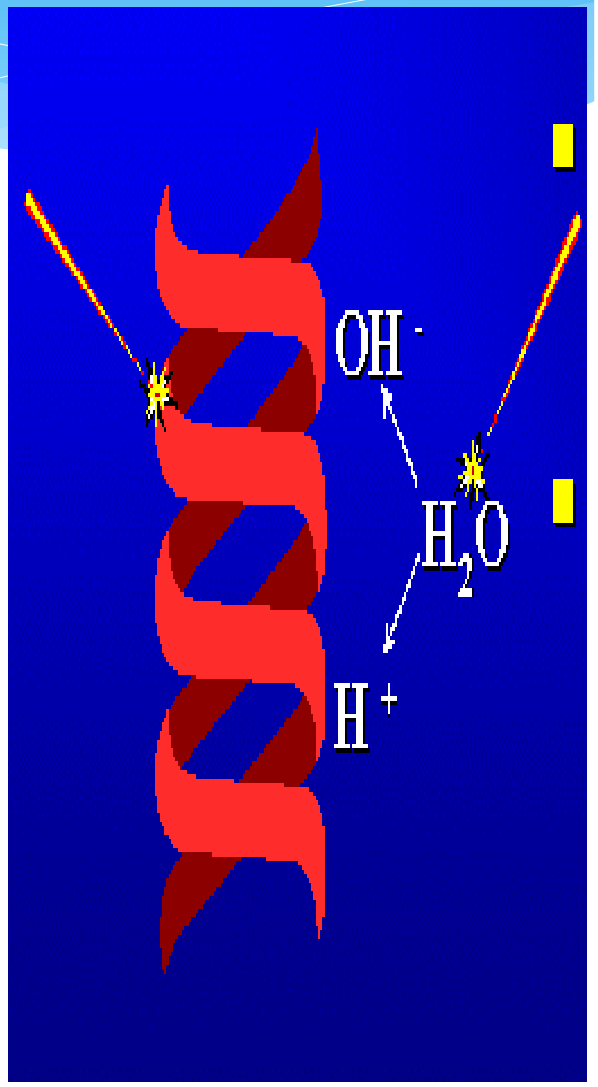


Interazione delle radiazioni ionizzanti con i tessuti biologici

Meccanismi d'azione del danno cellulare:

DIRETTO: Molto più raro è il danno da interazione diretta delle radiazioni con il DNA (*danno fisico).*

INDIRETTO: Il danno cellulare più probabile è quello riconducibile all'effetto dei radicali liberi prodotti dalla radiolisi dell'acqua, che costituisce circa l'85% della cellula (*danno chimico).*



Gli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

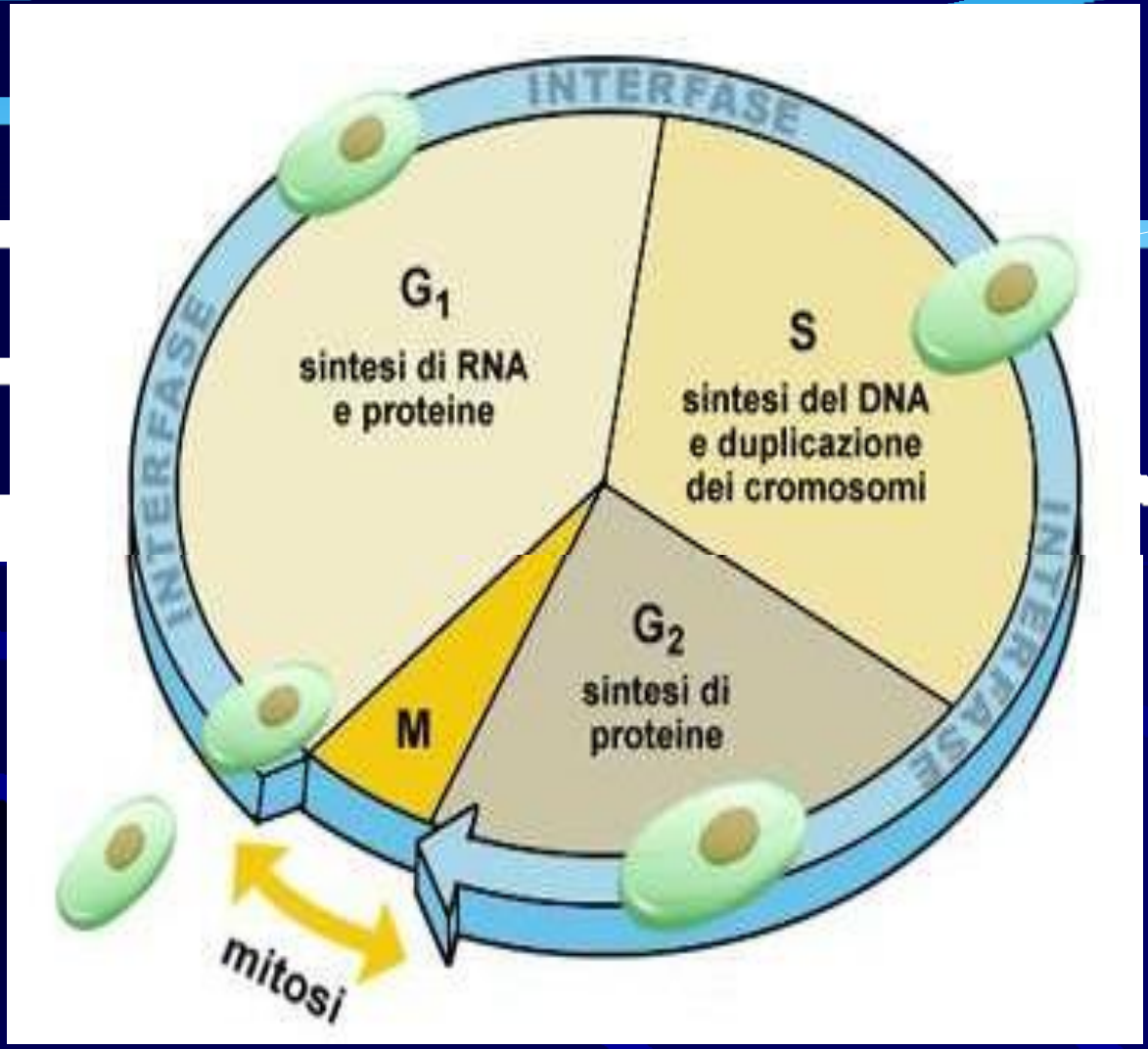
Gli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti derivano essenzialmente dai processi legati alla radiochimica dell'acqua *e dalle conseguenti reazioni* chimiche che interessano il nucleo cellulare con particolare riferimento al DNA cromosomico.

$$H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$$

$$H_2O^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH^{\cdot}$$

radicale libero molto ossidante

IL CICLO CELLULARE



Le fasi G2 ed M sono le più sensibili all'effetto delle radiazioni

EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI SULL'UOMO

Alterazioni cellulari

- Morte
- Alterazioni cromosomiche
- Ritardo mitotico
- Depressione velocità di sintesi del DNA

Sensibilità delle cellule dell'organismo umano alle RAD. IONIZ

Legge di Bergonie e Tribondeau:

"la radiosensibilità di un tessuto è direttamente proporzionale all'attività mitotica ed inversamente proporzionale al grado di differenziazione delle sue cellule":

1. le cellule giovani o immature sono maggiormente radiosensibili; le cellule mature sono meno radiosensibili
2. Le cellule in rapida divisione sono maggiormente radiosensibili
3. Le cellule in rapida crescita sono maggiormente radiosensibili

Massima sensibilità	Linfociti
	Gonadi
	Spermatogoni
	Ovogoni
	Tessuti emopoietici/eritroblasti
Media sensibilità	Intestino/cellule delle cripte intestinali
	Osso/osteoblasti
	Cute/cellule epiteliali
	Cristallino/cornea
	Tiroide
Minima sensibilità	Cellule muscolari
	Cellule nervose
	Midollo spinale
	Encefalo

EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI SULL'UOMO

Tipo di effetti

- Effetti immediati (somatici deterministici)
- Effetti tardivi (somatici stocastici)
- Effetti ereditari (genetici stocastici)
- Effetti su embrione o feto

EFFETTI DETERMINISTICI

Definizione di I.C.R.P. (International Commission on Radiological Protection)

Danni in cui frequenza e gravità variano con il variare delle dosi e per i quali è individuabile una dose soglia.

EFFETTI DETERMINISTICI

- Relazione diretta con la dose
- Dose-Soglia per ogni effetto
- Maggiore gravità se maggiori dosi
- Insorgenza in ogni individuo
- Tempo latenza breve (giorni o settimane)

EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI SULL'UOMO

Danni somatici deterministici

LOCALIZZATI

- Cute
- Occhio (cristallino)
- Testicoli ed ovaie
- Altri organi

Danni somatici deterministici

SINDROME DA IRRADIAZIONE TOTAL BODY

Alterazioni ematologiche, sintomatologia generale, apparato gastrointestinale, respiratorio, reni, encefalo.

EFFETTI STOCASTICI o Statistici

Definizione di I.C.R.P.

Danni in cui solo la probabilità di accadimento e non la gravità è in funzione della dose ed è cautelativamente esclusa l'esistenza di una dose soglia.

EFFETTI STOCASTICI

- No Dose-Soglia
- Carattere probabilistico
- Distribuzione casuale nella popolazione
- Maggiore frequenza se maggiori dosi
- Tempo latenza anni o decenni
- No graduali (tutto o niente)
- Non differenziabili da patologie spontanee.

CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI

Art.133 D.Lgs 101/20

CATEGORIA A

Lavoratori suscettibili di una esposizione, in un anno solare, superiore a:

-6 mSv di dose efficace;

CATEGORIA B

Lavoratori suscettibili di una esposizione, in un anno solare, superiore a:

-1 mSv di dose efficace;

LAVORATORI ESPOSTI

LIMITI di DOSI in un anno solare:

- *20 mSv* ***<u>Dose efficace (corpo intero)</u>***

- *20 mSv* cristallino
- *500 mSv* pelle
- *500 mSv* mani, avambracci, piedi, caviglie

<u>Dose equivalente</u>

DOSI ALLA POPOLAZIONE

Limite di dose *efficace* :

1mSv in un anno solare

Limiti di dose *equivalente* per particolari organi o tessuti in un anno solare:

15 mSv cristallino

50 mSv pelle

DOSI: Confronto dei limiti annuali per i lavoratori e per il pubblico

LAVORATORI		PUBBLICO
	Limite di dose efficace	
	20mSv	1mSv
Limite di dose equivalenti		
Cristallino	20 mSv	15 mSv
Pelle	500 mSv	50 mSv
Estremità	500 mSv	non definita

EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI SULLE DONNE IN GRAVIDANZA E SUL PRODOTTO DEL CONCEPIMENTO.

Irradiazione in utero

Età gestazione	Stadio	Effetti radiologici
0 – 9 giorni	Preimpianto	"Tutto o niente"
10 – 40 giorni	Organogenesi	– Malformazioni congenite – Ritardo di crescita
41 – 280 giorni	Fetale	– Ritardo di crescita – Microcefalia – Ritardo mentale

D.Lgs. 26 marzo 2001, n.151

Art. 8.

- **Le donne, durante la gravidanza, non possono svolgere attività in zone classificate o, comunque, essere adibite ad attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda un millisievert.**

- **E fatto obbligo alle lavoratrici di comunicare al datore di lavoro il proprio stato di gravidanza, non appena accertato.**

- **È altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione**

D.Lgs. 151/2001

ALLEGATO A

ELENCO DEI LAVORI FATICOSI,
PERICOLOSI E INSALUBRI

Lettera D):

vietati i lavori che comportano esposizione a radiazioni ionizzanti:

- durante la gestazione e
- fino a 7 mesi dopo il parto

D.Lgs 101/2020

Art. 134

Sorveglianza sanitaria

c.3. Il datore di lavoro non può assegnare le persone di cui al comma 1 (lavoratori, apprendisti e studenti) ad alcuna attività che le esponga al rischio di radiazioni ionizzanti in assenza di giudizio di idoneità favorevole.

D.Lgs 101/2020

Art. 211

Sanzioni relative al Titolo XI

Comma 1

La violazione dei divieti di cui agli articoli 107, comma 2; 117, comma 2; 121, comma 1; 134, comma 3; 137, commi 1 e 2, è punita con:

- l'arresto da uno a due anni **e** con l'ammenda da euro 20.000 a euro 90.000.

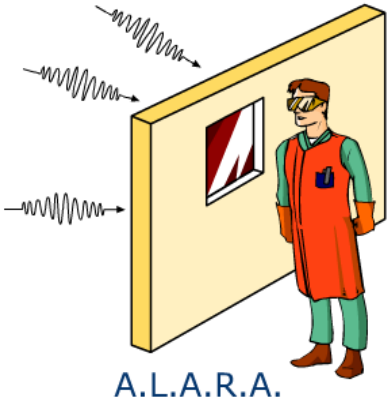
BUON
PRANZO

• PRINCIPI DI RADIOPROTEZIONE

- **GIUSTIFICAZIONE**: LE ATTIVITÀ CHE COMPORTANO ESPOSIZIONE ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI DEVONO ESSERE PREVENTIVAMENTE GIUSTIFICATE E RICONSIDERATE ALLA LUCE DEL RAPPORTO RISCHIO/BENEFICIO
- **OTTIMIZZAZIONE**: LE ESPOSIZIONI ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI DEVONO ESSERE MANTENUTE AL LIVELLO PIÙ BASSO RAGIONEVOLMENTE OTTENIBILE, TENUTO CONTO DEI FATTORI ECONOMICI E SOCIALI
- **LIMITAZIONE DELLE DOSI** : LA SOMMA DELLE DOSI RICEVUTE E IMPEGNATE NON DEVE SUPERARE I LIMITI DI DOSE PRESCRITTI

OTTIMIZZAZIONE

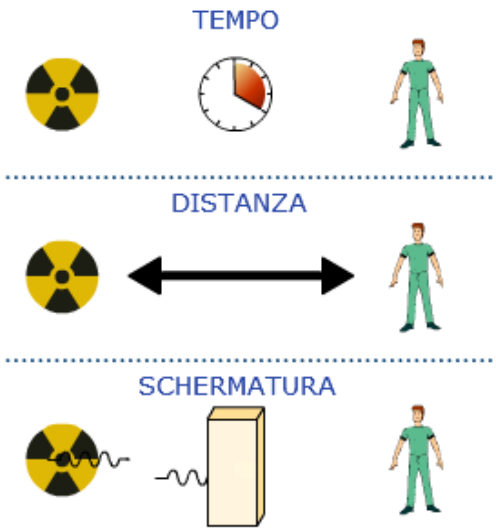
- Ottimizzare una prestazione radiologica significa utilizzare tutti quegli accorgimenti tecnici possibili per ridurre l'esposizione al minimo ragionevolmente ottenibile, a parità, ovviamente, di qualità diagnostica, secondo il principio A.L.A.R.A.(*as low as reasonably achievable*) acquisito dalla normativa italiana in materia di radioprotezione.



Metodi per ridurre la dose

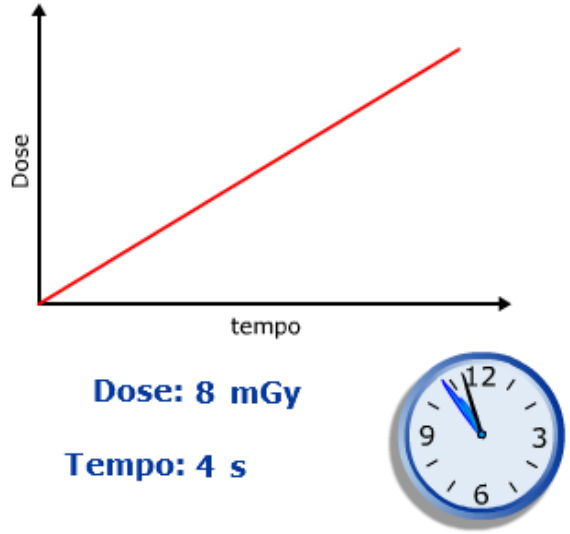
- I metodi più significativi per ridurre la dose nelle prestazioni radiologiche sono:

- -Abbreviare i **tempi**
- -Aumentare la **distanza**
- -Utilizzare **schermature**



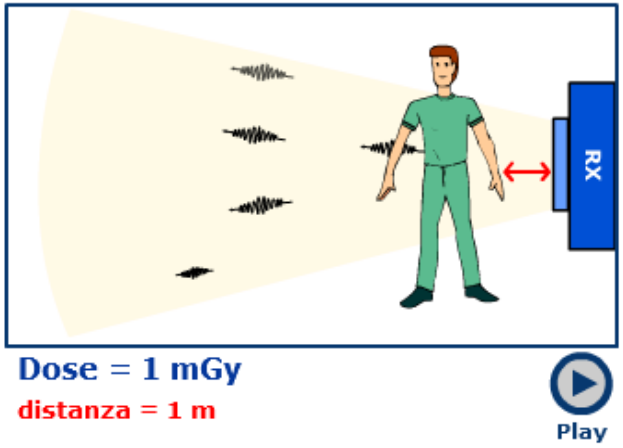
OTTIMIZZAZIONE

- **Abbreviare i tempi**
- La dose assorbita è direttamente
- proporzionale al tempo di esposizione.
- $D \propto t$



OTTIMIZZAZIONE

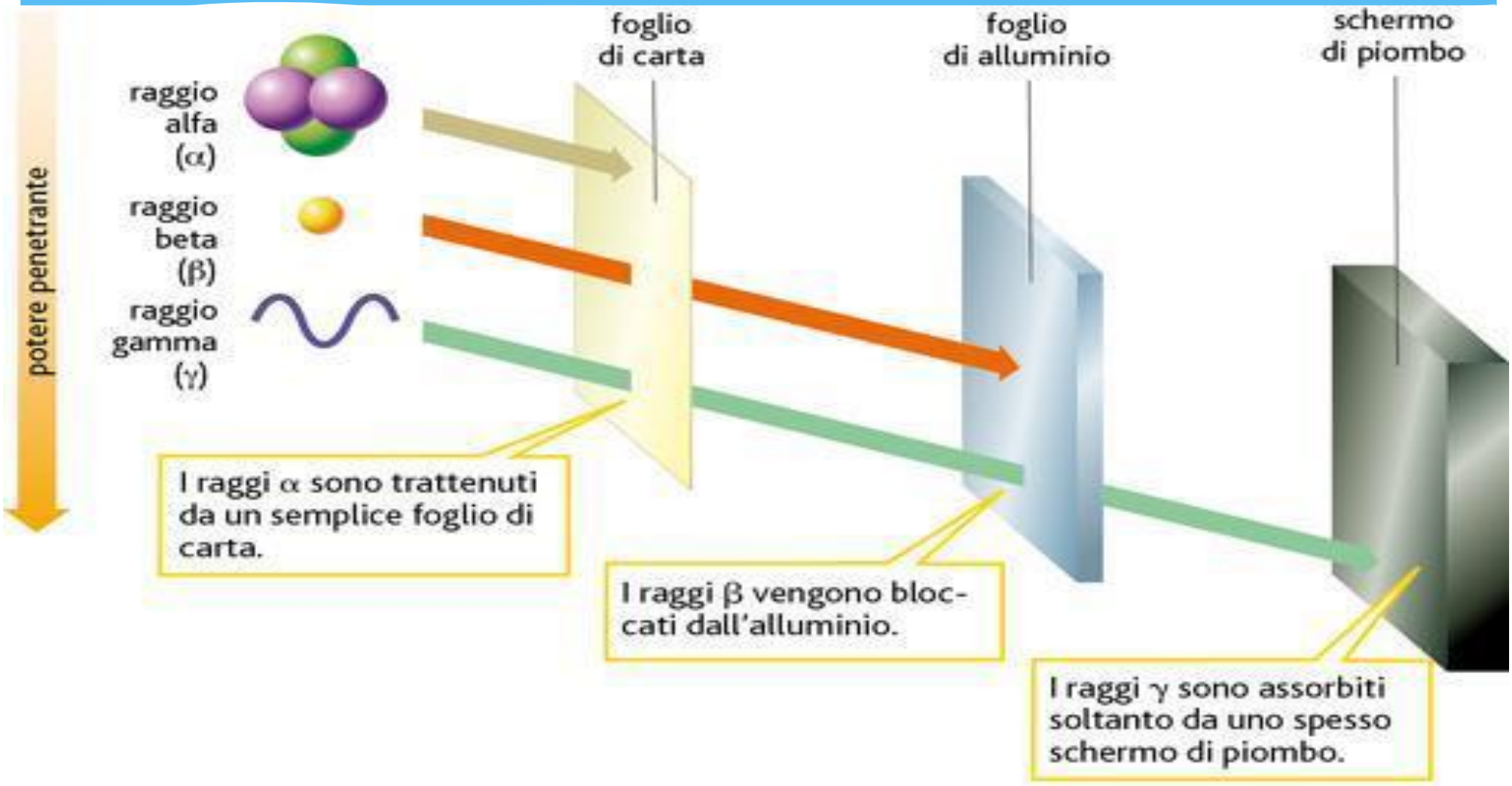
- **Aumentare le distanze**
- La dose assorbita è inversamente proporzionale al quadrato della distanza.
- $D \propto 1/d^2$
- La distanza è un fattore importante nella riduzione dell'esposizione perché raddoppiando la distanza si riduce la dose ad $\frac{1}{4}$.



Ottimizzazione

- **Utilizzare schermature**
- La dose assorbita diminuisce se interponiamo degli schermi di materiale assorbente tra l'operatore e la sorgente o se schermiamo parti del corpo.
- I raggi X, che riguardano maggiormente l'ambito radiologico, sono fortemente attenuati da materiali "pesanti" come il piombo. Se si vogliono usare materiali diversi più "leggeri" occorrerà aumentare lo spessore della barriera per ottenere la medesima attenuazione del piombo.
- Esempio
- *Per un tubo radiogeno ad una tensione di 100 kV , uno spessore di 1 mm di Pb equivale come attenuazione del fascio di raggi X ad 11 mm di ferro , 85 mm di calcestruzzo e 110 mm di mattoni.*

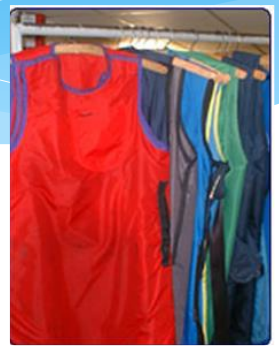
POTERE DI PENETRAZIONE



OTTIMIZZAZIONE

- DPI

- Guanti piombati

Camici piombati 

- Paratie anti X mobili

- Para tiroide

- Occhiali

Cosa indica il Gray

Energia per massa: Un Gray (Gy) indica che 1 Joule (J) di energia è stata depositata su 1 chilogrammo (kg) di sostanza.

Il Gray misura la dose fisica di radiazione assorbita, ma non tiene conto degli effetti biologici specifici delle diverse radiazioni o della sensibilità dei tessuti.

Differenza con il Sievert (Sv)

Dose equivalente: Per misurare il danno biologico effettivo, si usa il Sievert (Sv), che prende in considerazione la capacità di diverse radiazioni (come i raggi X, i raggi gamma o le particelle alfa e beta) di causare danni.

Dose efficace: La dose efficace, anch'essa misurata in Sievert, considera la sensibilità dei diversi tessuti del corpo ai danni da radiazione.

BUON
PRANZO