

corso di
ASTROBIOLOGIA
lezione 9

Modulo prof. Paola Di Donato
paola.didonato@uniparthenope.it

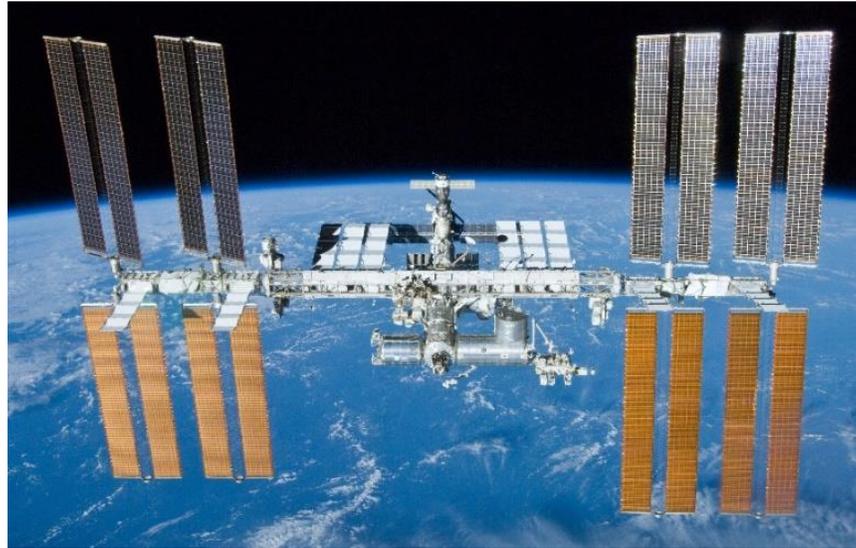
VIAGGI SPAZIALI E RICERCA DI VITA EXTRATERRESTRE

Argomenti

- Viaggi e permanenza nello spazio
- Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

Viaggi nello spazio

- 1957: primo viaggio, lo Sputnik 1 viene lanciato dalla Russia
- Fine XX secolo: entra in funzione la ISS, Stazione Spaziale Internazionale che orbita attorno alla Terra



Per seguire in tempo reale la posizione della ISS: <https://www.astroviewer.net/iss/en/>

Viaggi nello spazio

- Ad oggi: migliaia di lanci e spedizioni da diverse agenzie spaziali e compagnie private da tutto il mondo

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

La propulsione

- Per lasciare il pianeta Terra un lancio deve avvenire a velocità maggiore di quella di fuga che, sul nostro pianeta, è pari a 11km/s.
- Per uno shuttle che pesa all'incirca 104 t (tonnellate) sono necessari serbatoi da 2041 t e 120000 G Joule ovvero 35GWh, la quantità di energia pari al consumo elettrico annuo di un paese di 35000 abitanti.

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- L'energia cinetica aumenta con il quadrato della velocità

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Per tale motivo un aumento di un fattore 10 della velocità comporta un aumento di un fattore 100 della energia necessaria per il movimento

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- Per far viaggiare una ipotetica astronave (peso $\sim 100\text{kt}$) ad una velocità pari ad un decimo della velocità della luce, sarebbero necessari 13 miliardi di GWh ovvero una quantità di energia pari a 76000 volte il consumo energetico annuale del nostro pianeta
- Il problema legato alla velocità con cui si può viaggiare nello spazio si traduce inevitabilmente in un aumento sia dei costi che dei tempi di viaggio

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- Per facilitare il viaggio delle sonde spaziali nella pratica si sfruttano sia la forza gravitazionale che la radiazione solare
- **Fionde gravitazionali**: ed esempio le sonde Voyager sono state lanciate verso Giove e sfruttando la rotazione attorno ad esso hanno acquisito ulteriore energia cinetica per raggiungere Saturno.

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- Per facilitare il viaggio delle sonde spaziali nella pratica si sfruttano sia la forza gravitazionale che la radiazione solare
- **Fionde gravitazionali:** vengono usate normalmente dalle sonde spaziali lanciate in questi anni, utilizzando la stessa Terra, Venere e Marte per raggiungere la fascia degli asteroidi o i pianeti giganti. La velocità raggiunta in questo modo può raggiungere i 42 km/s, la velocità di fuga dal Sole alla distanza della Terra.

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- Per facilitare il viaggio delle sonde spaziali nella pratica si sfruttano sia la forza gravitazionale che la radiazione solare
- **Vele solari:** La vela può essere composta da materiali leggeri come la poliimide, da cristalli liquidi che possono variare la loro riflettività modificando la spinta per orientarsi nello spazio, e da sottilissime celle solari che forniscono energia.

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- Per facilitare il viaggio delle sonde spaziali nella pratica si sfruttano sia la forza gravitazionale che la radiazione solare
- **Vele solari:** il principio è simile a quello sfruttato dalle navi a vela spinte dal vento, ma qui è la luce solare ad esercitare una lievissima ma continua pressione in grado di spingere una sonda interplanetaria. Come con le vele tradizionali, orientando l'inclinazione si può navigare verso il vento o in direzione opposta, avvicinandosi o allontanandosi dal Sole.

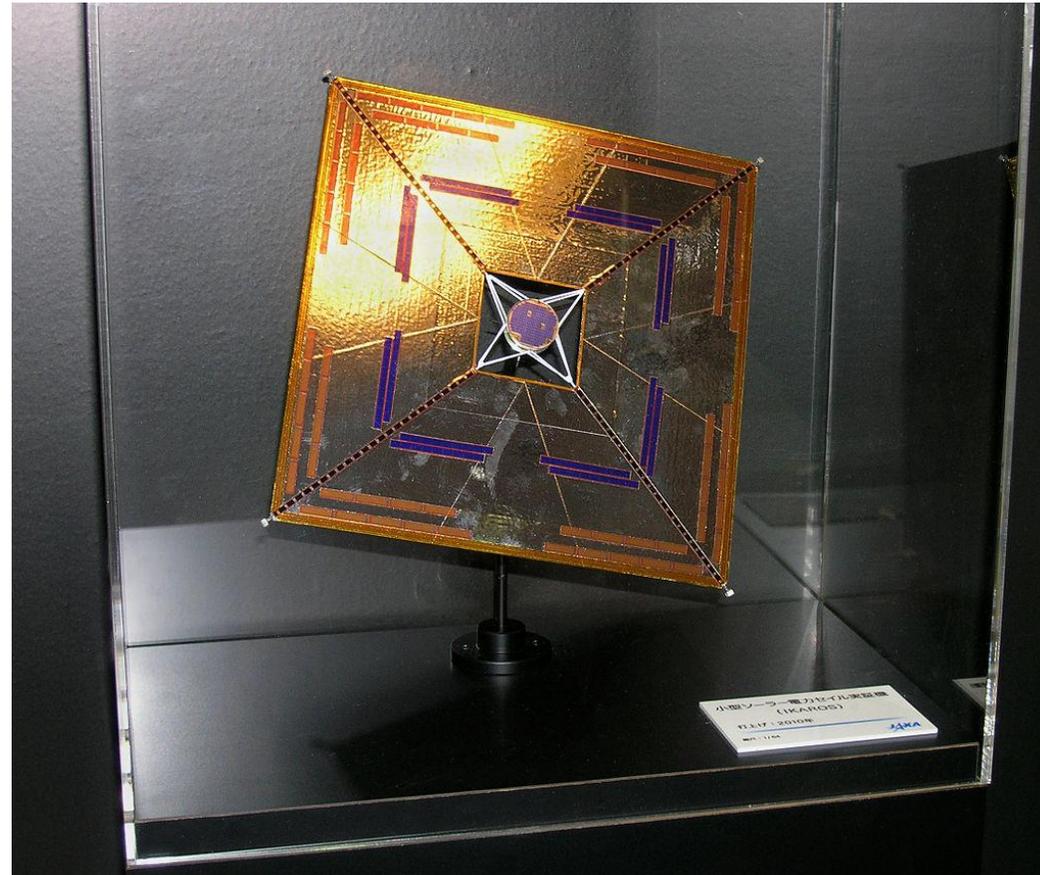
Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Il viaggio

- Per facilitare il viaggio delle sonde spaziali nella pratica si sfruttano sia la forza gravitazionale che la radiazione solare
- **Vele solari:** La vela usata dalla sonda giapponese IKAROS era quadrata con lato di 14 m; la NASA ha inviato in orbita terrestre alcune nano-vele ovvero vele solari di area pari a 10m^2 .

Viaggi nello spazio: le energie in gioco

Vele solari: modellino della sonda giapponese IKAROS



La permanenza dell'uomo nello spazio

Sistemi di supporto vitale

Fondamentali per assicurare il soddisfacimento delle necessità fondamentali per la vita dell'uomo nello spazio.

Nella ISS i parametri ambientali devono essere costanti e pari a:

- Pressione atmosferica pari 800-1000 hPa (1 atm)
- Temperatura tra 18°C e 28°C
- Umidità relativa tra 25% e 70%
- Pressione parziale dell'ossigeno (190-230 hPa) e della CO₂ (7-10hPa)
- Quantità di polveri < 50 µg/m³

La permanenza dell'uomo nello spazio

Sistemi di supporto vitale

Necessari per gestire la presenza nella ISS degli astronauti; in media una persona nel corso di in una giornata

produce

- 1 kg di anidride carbonica
- 1,8 kg di acqua come umidità e 1,5 kg come urine
- polveri in quantità pari ad 1 miliardo di particelle
- microorganismi 3000CFU/min

consuma

- 0,9 kg di ossigeno
- 2,8 kg di acqua da bere 6,8 kg per l'igiene personale
- calore 137 W

La permanenza dell'uomo nello spazio

Sistemi di supporto vitale

Necessari per produrre energia (es. da celle solari) e cibo per assicurare la sopravvivenza nella ISS degli astronauti

Scorte dalla Terra

Produzione in situ

Produzione sperimentale di piante mediante colture idroponiche, tuttavia non ancora sufficienti a rendere gli astronauti indipendenti dagli approvvigionamenti dalla Terra mediante periodici lanci.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: radiazioni elettromagnetiche e particelle cosmiche

- Particelle cosmiche: protoni, elettroni e ioni provenienti dal vento solare, espulse dai brillamenti o flares (fenomeni molto energetici che si sviluppano in regioni turbolente dell'atmosfera solare), accompagnati da radiazioni su tutto lo spettro elettromagnetico, dai raggi X alle onde radio.
- Particelle intrappolate: particelle cariche che si trovano nelle fasce di Van Allen, ampie cinture ionizzate attorno all'equatore terrestre che si trovano con più strati tra ~1000 e ~60000 km di quota e che di fatto schermano la Terra da altre particelle che viaggiano nello spazio.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: radiazioni elettromagnetiche e particelle cosmiche

- Raggi cosmici galattici: particelle cariche accelerate ad elevata energia, sono prodotte da eventi al di fuori dell'atmosfera terrestre. Essi sono composti all'89% di protoni, per il 10% di particelle di varia natura e per l'1% di nuclei pesanti (HZE). Questi ultimi rappresentano la componente più energetica e per tale motivo maggiormente letale per gli esseri viventi.
- Questo tipo di radiazioni, al pari di raggi UV, raggi X e raggi γ sono particelle ionizzanti ovvero in grado di danneggiare in modo significativo le biomolecole costituenti delle cellule.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: radiazioni ionizzanti

L'azione della radiazione e delle particelle sulla materia può essere quantificato e viene difatti misurato in gray (Gy)

1 Gy = 1 joule/kg (energia assorbita per chilogrammo di peso)

Nella maggior parte dei casi le quantità di energia in gioco sono piccole per cui spesso si usano sottomultipli di tale unità di misura quali i milliGray (mGy).

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: radiazioni ionizzanti

L'effetto biologico viene invece misurato in Sievert (Sv) ovvero la dose biologica equivalente:

$$1 \text{ Sv} = \text{RBE} \times \text{Gy} \quad (1 \text{ mSv} = \text{RBE} \times \text{mGy})$$

Questa unità di misura tiene conto sia della quantità di energia assorbita che del danno che ogni singola tipologia di radiazione provoca nei viventi, quest'ultimo espresso dalla efficacia biologica relativa RBE.

- RBE = 1 per i raggi X, raggi γ e raggi β (elettroni e positroni)
- RBE = 10 per i raggi α (nuclei di He) e i neutroni
- RBE = 20 per le HZE ovvero ioni pesanti nei raggi cosmici

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: radiazioni ionizzanti

Normalmente un essere vivente sulla Terra viene investito da radiazioni di intensità variabile, a seconda della fonte:

- Schermografia $\sim 0,2$ mSv
- Elementi radioattivi naturalmente presenti nel nostro corpo quali ^{40}K , ^{14}C e ^3H forniscono $0,25$ mSv/anno
- Rocce terrestri $2,4$ mSv/anno
- Sorgenti termali con acqua radioattiva fino a 260 mSv/anno

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: radiazioni ionizzanti

Al di fuori del campo magnetico della Terra l'esposizione alle radiazioni è maggiore:

- Missioni Apollo e ISS: 1 mSv al giorno
- Ipotetica missione su Marte della durata di 3 anni: 1000 mSv (200 volte la dose biologica massima ammessa in una centrale nucleare)

Come riferimento per capire la dannosità si consideri che 10 Sv in una settimana uccidono un essere umano, 50 Sv ne provocano la morte immediata

NOTA: Le attuali schermature non sono in grado di schermare completamente gli astronauti dai raggi cosmici

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: assenza di gravità

L'assenza di gravità oppure una sua forte riduzione (microgravità, riscontrabile ad esempio sulla ISS) esercita diversi effetti sull'essere umano che si è evoluto in presenza di una forza di attrazione gravitazionale.

Sulla Terra l'accelerazione di gravità è pari a $1g$ ovvero $9,8 \text{ m/s}^2$, sulla Luna è pari a $0,17g$ ($1,7 \text{ m/s}^2$), su Marte è pari a $0,38g$ ($3,7 \text{ m/s}^2$) mentre sulla ISS essa è il risultato del bilanciamento tra forza di attrazione gravitazionale e forza centrifuga dell'orbita ovvero è pari $10^{-6}g$ ($9,8 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$)

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: assenza di gravità

In assenza di gravità o in microgravità, gli organi deputati alla percezione e al mantenimento dell'equilibrio (canali semicircolari ed otoliti) diventano inefficienti ed inviano segnali falsati al cervello, fino a causare malessere.

La permanenza a lungo termine in condizioni di ridotta gravità ha effetti sul sistema cardiaco, sui muscoli e sullo scheletro che risentono fortemente della perdita del senso di equilibrio.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: assenza di gravità

In tali condizioni, si verifica il fenomeno del blood shift ovvero un effetto simile a quello provocato dall'immersione in acqua per cui, non essendoci né un alto né un basso, il sangue fluisce verso il cervello .

Tale fenomeno provoca un passaggio di fluidi nei tessuti che a sua volta comporta diminuzione della sete ed aumento della eliminazione di acqua per mezzo delle urine.

La diminuzione dei fluidi provoca anche diminuzione del volume di sangue e della dimensione del cuore che poi dovrà riadattarsi ai flussi normali una volta tornati sulla Terra.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: assenza di gravità

In assenza di gravità o in microgravità, si hanno effetti anche sui muscoli e sulla ossa.

I muscoli vanno incontro ad atrofia per la ridotta mobilità.

Le ossa vanno incontro alla perdita di calcio, un fenomeno simile a quella della osteoporosi, con conseguente aumento della fragilità ossea.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: assenza di gravità

In assenza di gravità o in microgravità, si hanno effetti anche sui muscoli e sulla ossa.

I muscoli vanno incontro ad atrofia per la ridotta mobilità.

Le ossa vanno incontro alla perdita di calcio, un fenomeno simile a quella della osteoporosi, con conseguente aumento della fragilità ossea.

La permanenza dell'uomo nello spazio

Fattori di rischio per l'essere umano: assenza di gravità

La mancanza di gravità potrebbe essere risolta con la presenza di una forza sostitutiva di questa: per esempio con l'accelerazione centrifuga ottenuta facendo ruotare il veicolo spaziale e permettendo agli astronauti di camminare sulle pareti opposte all'asse di rotazione.

La fantascienza ha anticipato questa soluzione con grandi stazioni spaziali e astronavi costituite ad anello ruotante simili a quella di "2001 Odissea nello spazio", con la fascia esterna che viene percepita come il basso e l'asse che indica l'alto.

Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

Fattori di rischio per l'essere umano (radiazioni ionizzanti, assenza di gravità, vuoto) sono invece ben tollerate dagli estremofili.

Sia specie unicellulari che organismi più complessi, isolati sulla terra da ambienti estremi, sono in grado di resistere in condizioni spaziali come mostrato da esperimenti biologici realizzati nell'ambito di diverse missioni spaziali.

Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

Fattori di rischio per l'essere umano (radiazioni ionizzanti, assenza di gravità, vuoto) sono invece ben tollerate dagli estremofili.

Sia specie unicellulari che organismi più complessi, isolati sulla terra da ambienti estremi, sono in grado di resistere in condizioni spaziali come mostrato da esperimenti biologici realizzati nell'ambito di diverse missioni spaziali.

Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

L'esperimento EXPOSE.

Nell'ambito della missione dell'ESA EXPOSE sono stati condotti esperimenti biologici dal 2008 al 2015 sulla ISS.

Tali esperimenti hanno dimostrato che, oltre ai batteri sporigeni come il *Bacillus subtilis* possono sopravvivere nello spazio semi, licheni (delle specie *Stichococcus*, *Trichoderma* e *Acarospora*), e batteri termofili non sporigeni come il *Deinococcus geothermalis*



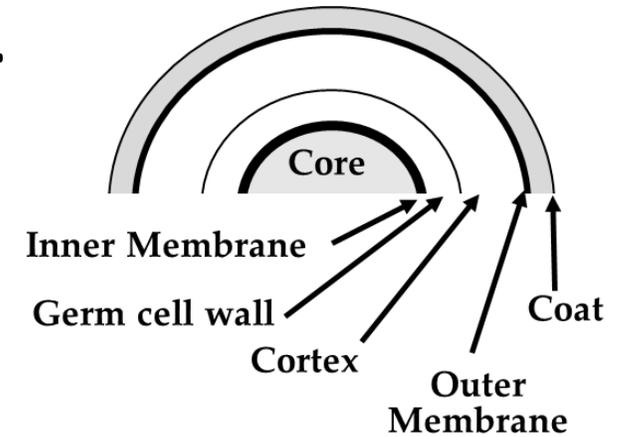
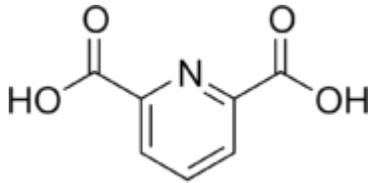
Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

Spore batteriche sulla ISS: l'esperimento EXPOSE.

Struttura di spore del genere *Bacillus*

All'interno della spora il basso tenore d'acqua contribuisce alla resistenza alle radiazioni cosmiche, l'involucro esterno invece protegge da sollecitazioni meccaniche e termiche.

Il DNA si trova all'interno del core in sospensione in una matrice di acido dipicolinico



Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

Deinococcus radiodurans

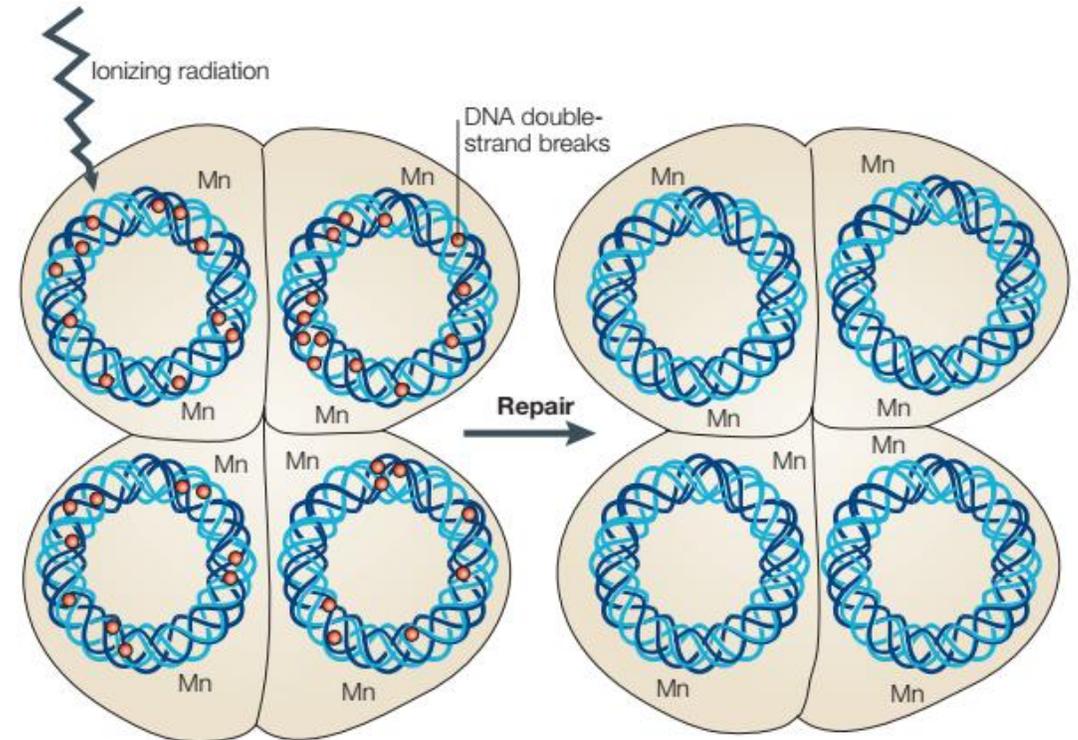
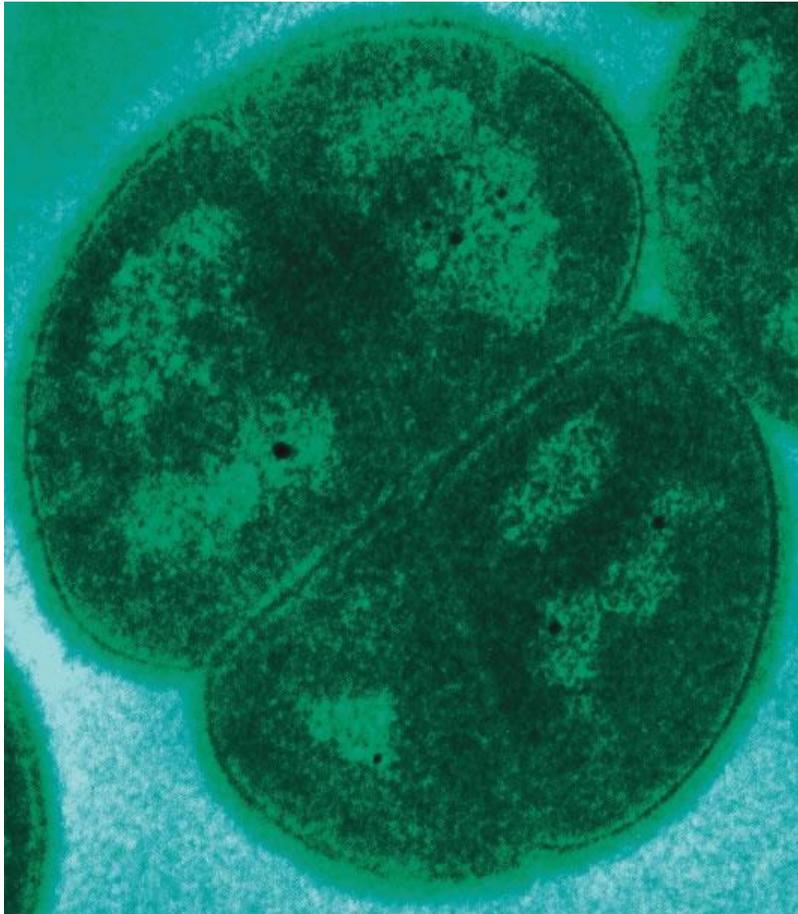
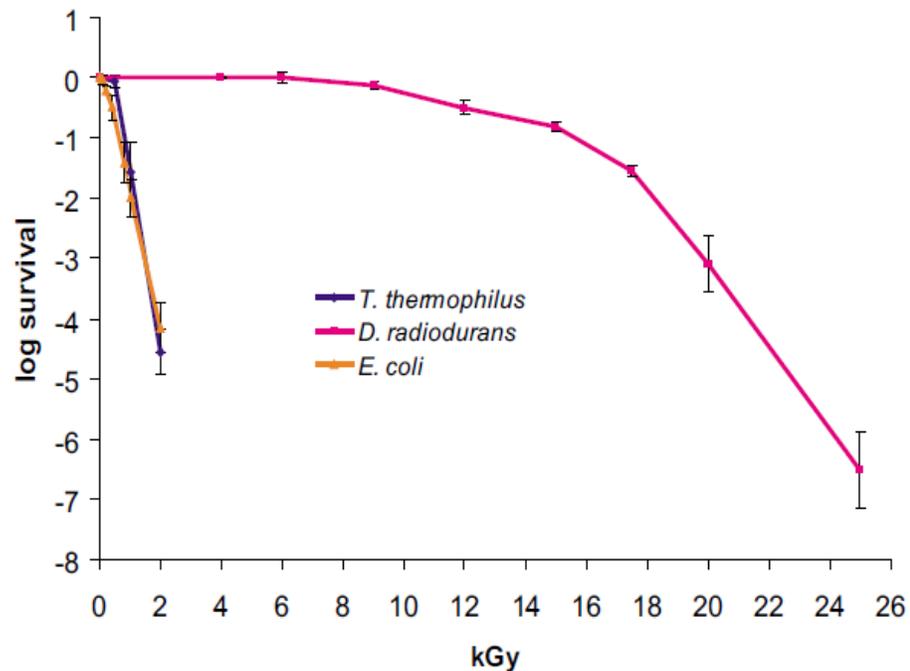


Figure 1 | **Potential contributions to the recovery from radiation damage in *Deinococcus radiodurans*.** The schematic depicts a *D. radiodurans* tetracoccus. The nucleoid in each compartment is highly condensed and maintains its overall architecture after irradiation. High levels of Mn(II) might contribute to the recovery from DNA damage. A wide range of enzymes probably also contribute to genome reconstitution.

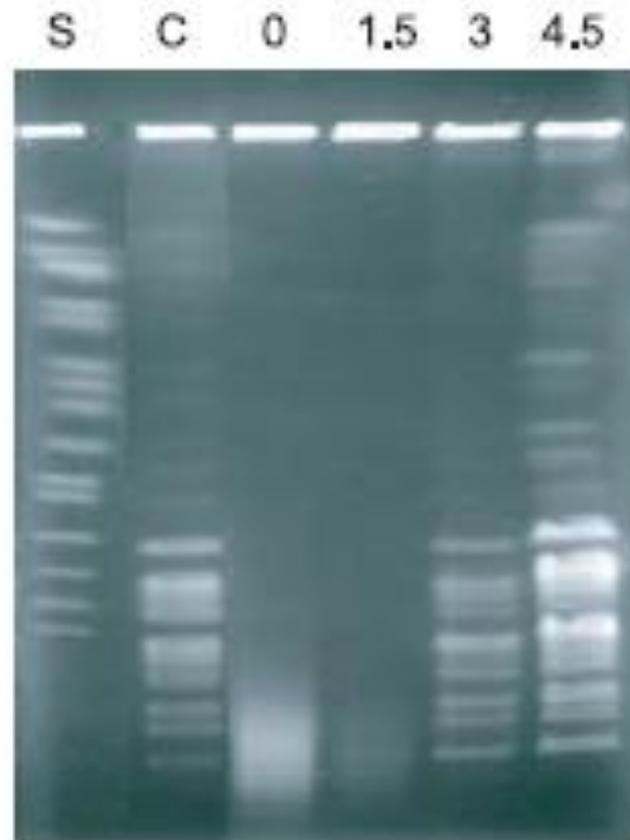
Sopravvivenza nello spazio: esperimenti biologici

Deinococcus radiodurans: resistenza ai raggi γ

Resistenza cellulare dopo irraggiamento



Riparo e sintesi di DNA dopo esposizione a 7KGy raggi γ



C cellule NON irradiate

S: standard di peso molecolare

0, 1.5, 3, 4.5: DNA prodotto 0, 1.5, 3 e 4.5 ore dopo l'irraggiamento