



Italian National Agency for New Technologies,
Energy and Sustainable Economic Development

Studio di sistemi schermanti per la mitigazione degli effetti biologici avversi indotti dalle radiazioni ionizzanti sull'uomo nel contesto delle attività spaziali

A. Testa¹, G. Bazzano², F. Bonfigli³, S. Botti³, N. Burgio⁴, A. Cemmi⁵, F. De Riccardis⁶, I. Di Sarcina⁵, R.M. Montereali³, P. Nenzi², V. Palma¹, C. Patrono¹, M. Piccinini³, A. Rinaldi⁷, A. Rizzo⁸, C. Ronsivalle², J. Scifo⁵, G. Tiranti⁵, A. Verna⁵, M.A. Vincenti³

¹ENEA SSPT-TECS-SAM, Casaccia(Roma)

²ENEA FSN-TECFIS-APAM, Frascati (Roma)

³ENEA FSN-TECFIS-MNF, Frascati (Roma)

⁴ENEA FSN-FISS-RNR, Casaccia (Roma)

⁵ENEA FSN-FISS-SNI, Casaccia (Roma)

⁶ENEA SSPT-PROMAS (Brindisi)

⁷ENEA SSPT-PROMAS-MATPRO, Casaccia (Roma)

⁸ENEA SSPT-PROMAS-MATAS (Brindisi)



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000





Moon Village, Biennale Architettura, Venezia 2021

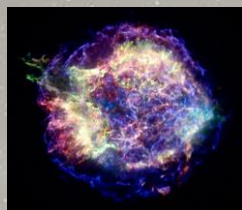
(ESA, Skidmore, Owings & Merrill, MIT di Boston)



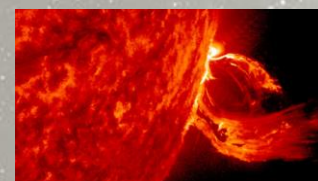
A. Testa - ASI Simposio di "Biomedicina Spaziale per le Future Missioni di Esplorazione Umana dello Spazio: a Call to Action"
Roma 15-17 Marzo 2023

Radiazioni primarie e secondarie

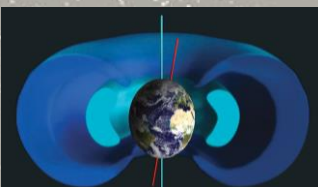
Radiation sources



Galactic Cosmic Rays



Solar Particle Events



Radiation belts

Primary particles

87% protons
12% Helium
1% Heavy nuclei
100 MeV – 100 GeV

92% protons
6% Helium
2% Heavy nuclei
keV – 100 MeV

Electrons & Protons
1 MeV – 100 MeV

Shielding



Secondary radiations

Neutrons

Protons

Electrons

X-rays

Gamma rays

Recoil heavy nuclei

Effetti biologici avversi indotti dall'esposizione alle radiazioni nel contesto delle attività spaziali

1) Evidenza scientifica: dopo le missioni spaziali aumento di aberrazioni cromosomiche nei linfociti di sangue periferico : incremento di cromosomi dicentrici (biomarcatore di esposizione a radiazioni ionizzanti) di circa 3 volte

2) Evidenza scientifica: l'aumento di aberrazioni cromosomiche nei linfociti è predittivo di aumento di rischio cancerogeno a lungo termine

EPIDEMIOLOGY AND PREVENTION | MARCH 01 2000

Chromosomal Aberrations in Lymphocytes Predict Human Cancer Independently of Exposure to Carcinogens¹ ✓

Stefano Bonassi; Lars Hagmar; Ulf Strömberg; Alicia Huici Montagud; Håkan Tinnerberg; Alessandra Forni; Pirjo Heikkilä; Saskia Wanders; Peter Wilhardt; Inger-Lise Hansteen; Lisbeth E. Knudsen; Hannu Norppa; for the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health

> Cancer Res. 2000 Mar 15;60(6):1619-25.

Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer independently of exposure to carcinogens. European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health

S Bonassi¹, L Hagmar, U Strömberg, A H Montagud, H Tinnerberg, A Forni, P Heikkilä, S Wanders, P Wilhardt, I L Hansteen, L E Knudsen, H Norppa

> Cancer Res. 1994 Jun 1;54(11):2919-22.

Cancer risk in humans predicted by increased levels of chromosomal aberrations in lymphocytes: Nordic study group on the health risk of chromosome damage

L Hagmar¹, A Brøgger, I L Hansteen, S Heim, B Högstedt, L Knudsen, B Lambert, K Linnainmaa, F Mitelman, I Nordenson, et al.

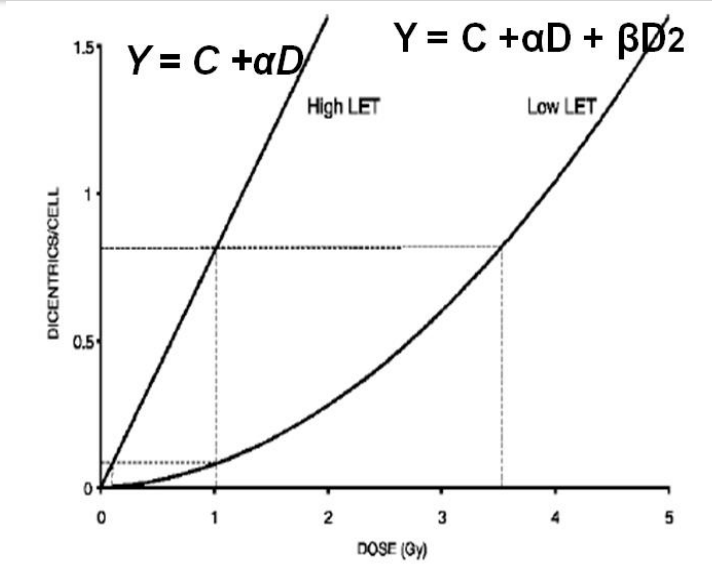
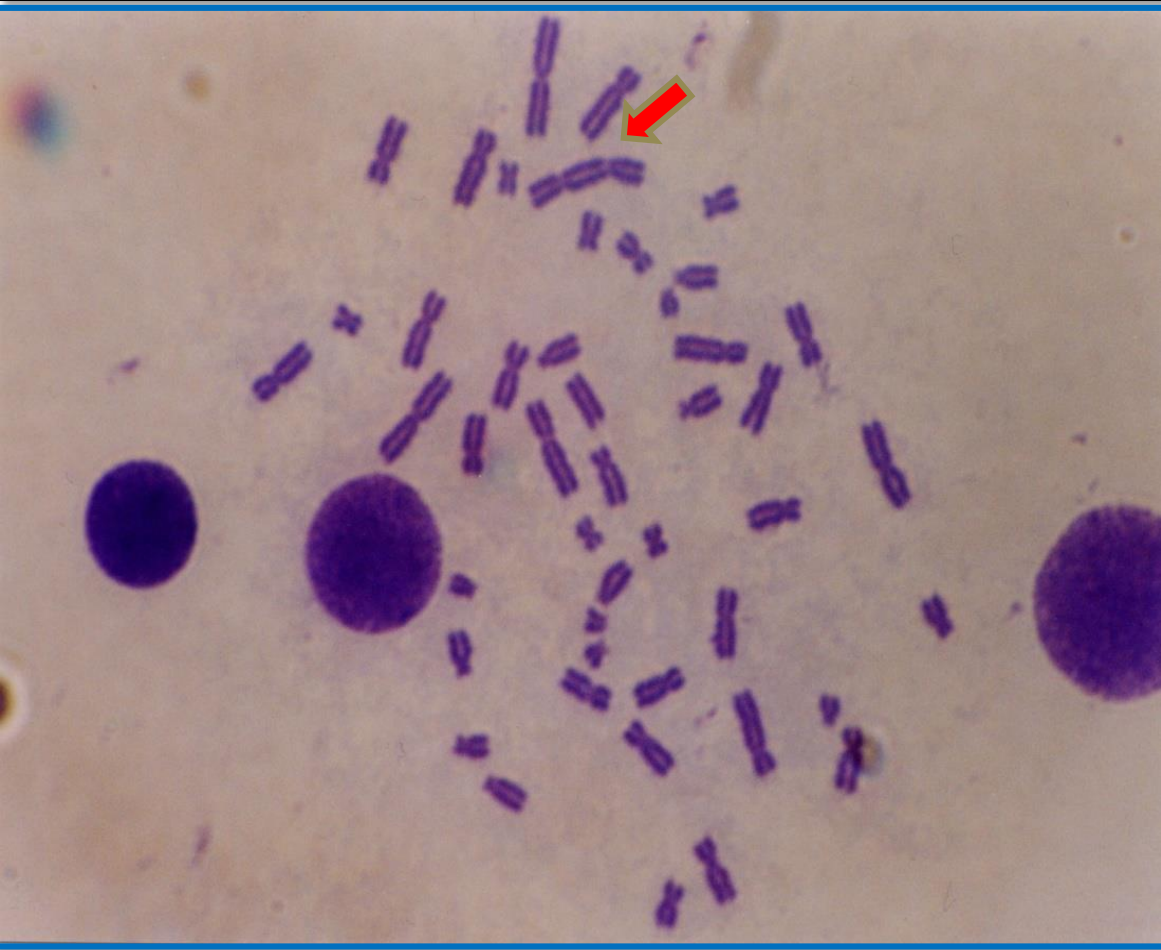
Multicenter Study > Cancer Res. 1998 Sep 15;58(18):4117-21.

Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer: a report from the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health (ESCH)

L Hagmar¹, S Bonassi, U Strömberg, A Brøgger, L E Knudsen, H Norppa, C Reuterwall

Sistema biologico : linfociti di sangue periferico

Paradigma fondamentale della Dosimetria Biologica equivalenza "in vivo" = "in vitro"



I linfociti umani sono "dosimetri circolanti"

limite rilevabile dose assorbita
100 mSv

Sistemi schermanti

Materiali multistrati schermanti innovativi

La schermatura multistrato è costituita da materiali con diversi valori di Z per proteggere dall'esposizione alle radiazioni, soddisfacendo anche a criteri ambientali difficili come la resistenza al calore e l'integrità strutturale

I materiali multistrati/compositi risultanti possono avere molteplici vantaggi (resistenza, rigidità, stabilità dimensionale, stabilità termica, lavorabilità, formabilità, ecc.) adatti all'uso finale

Materiali INSRU

SiO_2

Al_2O_3

CaO



NASA - <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08440>

Dosimetria tradizionale

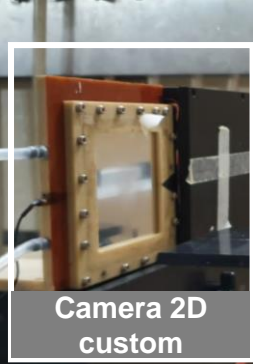
- Dispositivi per misura della dose in tempo reale:
 - Detector a diamante (μ Diamond)
 - Camere a ionizzazione per dosimetria di riferimento (Semiflex, Markus)
 - Camere a ionizzazione a trasmissione 2D e integrali (custom e commerciali)
- Dispositivi per misura della distribuzione spaziale di dose
 - Pellicole radiocromiche (EBT3, HD-V2)
- Rivelatori passivi a lettura ottica per misura della distribuzione spaziale di dose e picco di Bragg:
 - Cristalli, film e pellet di fluoruro di litio (LiF)
- Dosimetri a termoluminescenza (TLD)
- ESR alanina



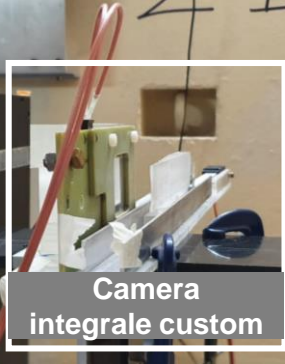
Camera Semiflex



Camera 2D commerciale FlashQ



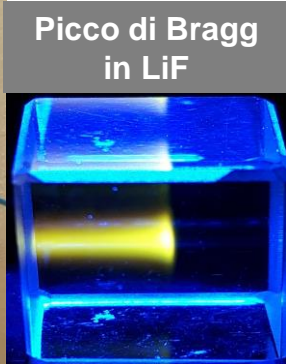
Camera 2D custom



Camera integrale custom



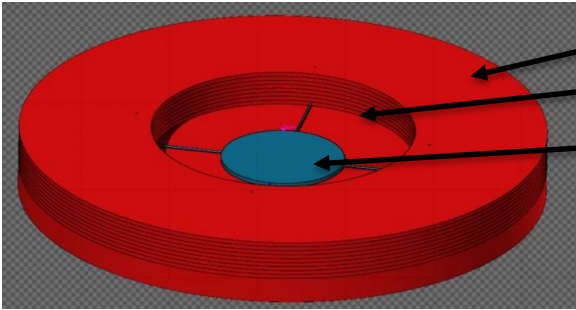
μ Diamond



Picco di Bragg in LiF



Simulazioni con FLUKA degli scenari di riferimento: esempio di habitat lunare



- Campione di terreno (raggio 300 m, profondità 80 mt)
- Depressione (profondità 45 mt, raggio 150 m)
- Habitat (raggio 70 m, altezza 4.8 m) ricopertura con 5 m di regolite lunare (Schermo)
- Galactic Cosmic Ray (GCR) and Solar Energetic Particle (SEP) dal cielo sopra il campione

Importante

- La simulazione è fondamentale per capire che tipo di radiazioni passa oltre la schermatura
- La validazione della simulazione avverrà tramite misure sperimentali dosimetriche condotte presso gli impianti di irraggiamento

Impianti di irraggiamento

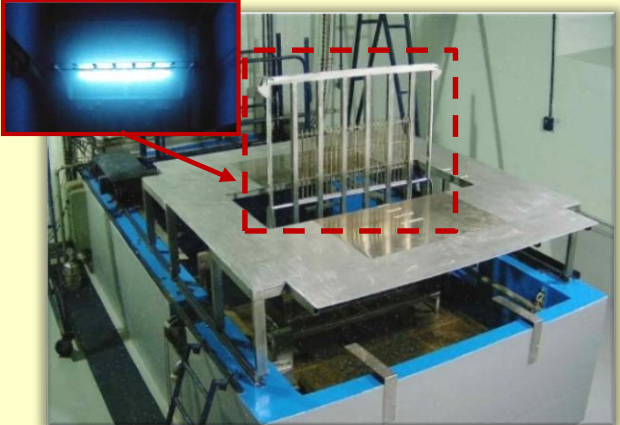
Network nazionale facilities di irraggiamento per test in ambito Spazio

ASI Supported Irradiation Facilities Program




Alcune delle facility ENEA

Calliope gamma irradiation facility



- 2 γ emessi in coincidenza con energia 1.25 MeV
- Attività: 1.9×10^{15} Bq
- Max dose rate (Marzo 2023): 7.2 kGy/h

TOP IMPLART Intensity Modulated Proton Linear Accelerator for Radiotherapy



- Protoni di bassa energia (2.6 MeV - 7 MeV)
- Protoni di alta energia (35 MeV - 71 MeV)

REX Removable Electron to X-ray

Removable Electron to X-ray target

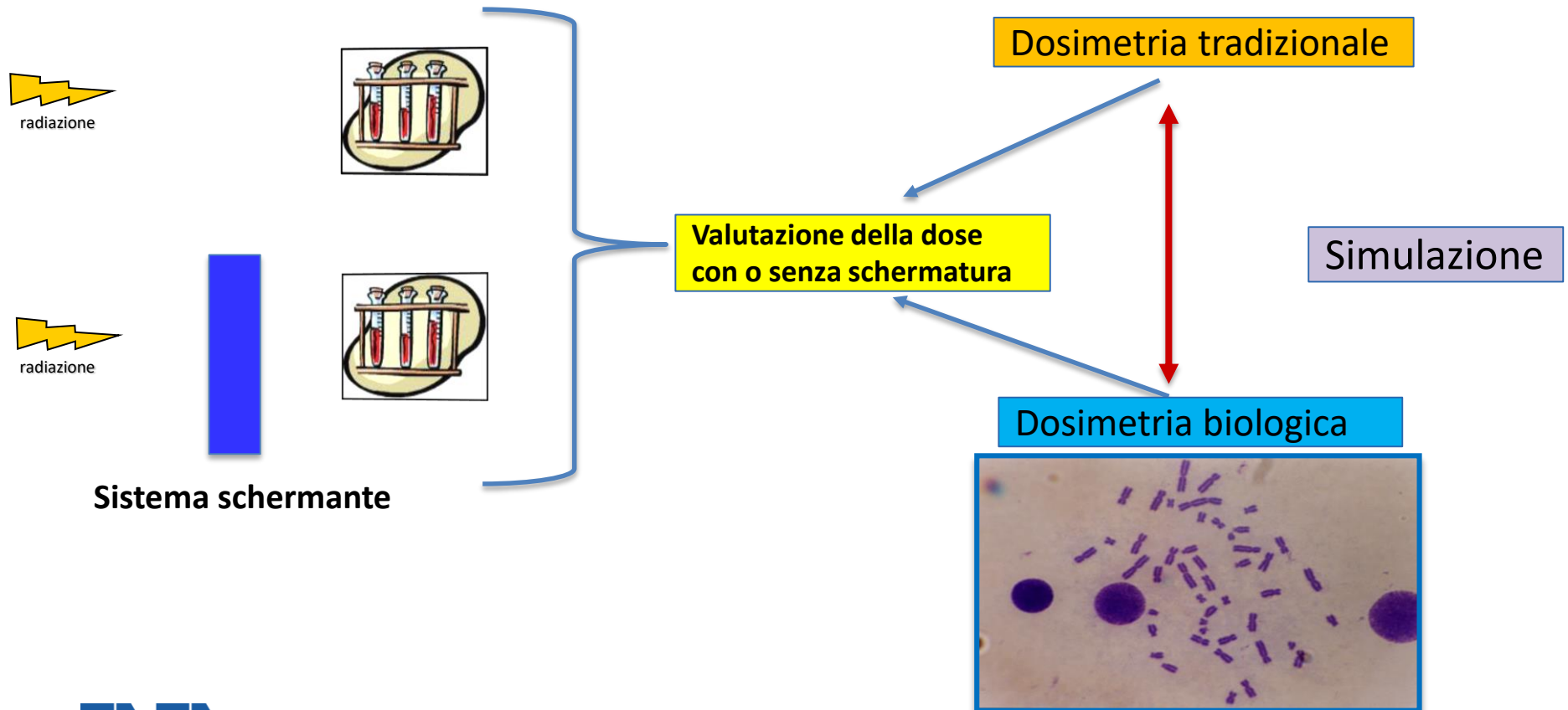


- Elettroni e raggi X
- Acceleratore lineare di elettroni a 5 MeV
- Testa di conversione beta-gamma rimovibile



Schema sperimentale

Sviluppo sistemi schermanti innovativi





grazie per l'attenzione !

antonella.testa@enea.it