

RDS_SPES (Radiation Damage Study for SPES)

Proposta di nuova attività in CSN5 per il 2016

“Attività R&D per SPES: verifica sperimentale della radioresistenza dei componenti critici dei bersagli/sorgenti ISOL per la produzione di fasci di ioni radioattivi”

Contesto e Istituzioni coinvolte

- **Estensione dell'attività di test di radioresistenza di materiali** critici per il Target & Ion Source di SPES svolta nel 2014/15 come WP della sigla **SPES_PV** progetti speciali (Vedi **consuntivi 2014**)
- **Istituzioni partecipanti:**
 - Sezione INFN Pavia (con associati di UniBs e UniPv)
 - Laboratorio LENA UniPv
 - Laboratorio di Scienza e Tecnologia dei Materiali INSTM/UniBs
- **Interesse di Laboratori nazionali e internazionali**
 - Progetto SPES a LNL
 - Progetto ESS a Lund, Svezia
 - Progetto RIB a iTHEMBA, Sud Africa
 - Progetto ALTO, Orsay, Francia



Prof. Aldo Zenoni
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale
Università degli Studi di Brescia
Sezione INFN di Pavia

OGGETTO: Analisi sperimentale di radio resistenza di materiali per bersagli/sorgenti di ioni radioattivi ISOL; attività della sigla SPES_PV e proposte di estensione del progetto

Caro Aldo,

ho preso visione dei primi risultati che avete ottenuto nelle attività di valutazione sperimentale di radio resistenza di materiali elastomerici sottoposti a flussi neutronici e fotonici, che si sono svolte nell'ambito della sigla SPES_PV dell'INFN di Pavia, in collaborazione con il Laboratorio LENA dell'Università di Pavia e del Laboratorio di Scienza e Tecnologia dei Materiali (LMST) dell'Università degli Studi di Brescia.

Questi primi risultati confermano, anzitutto, la corretta definizione e la validazione di una procedura completa di calcolo e misura di danneggiamento costituita da: (i) calcolo delle dosi nel Front End di SPES e nei canali di irraggiamento del reattore TRIGA; (ii) irraggiamento dei campioni presso il reattore TRIGA del LENA; (iii) misura delle grandezze meccaniche e microscopiche rilevanti dei materiali presso il Laboratorio LMST di Brescia.

I risultati dimostrano inoltre che le dosi assorbite da materiali/componenti critici nel sistema bersaglio/sorgente di ioni (TIS) e nel Front-End di SPES sono effettivamente tali da poter indurre danneggiamento grave dei materiali più radiosensibili e quindi da poter mettere a rischio la funzionalità dell'apparato, se non preventivamente e opportunamente considerate.

Tenuto conto della specificità dei campi neutronici e fotonici generati nel TIS di SPES e della scarsità di dati aggiornati relativi al danneggiamento nei materiali generato da campi neutronici, ti incoraggio a proseguire questa attività che è certamente di grande interesse non solo per il progetto SPES, ma anche per tutte le facilities simili in fase di costruzione e, a maggior ragione, di futuro progetto.

A questo proposito vorrei inoltre sottolineare che, uno studio approfondito della radio resistenza dei componenti più critici (in particolare quelli elastomerici, gli O-ring), e la possibile individuazione di materiali particolarmente resistenti agli specifici campi di radiazione, potrebbe consentire un allungamento della vita utile del complesso bersaglio/sorgente di ioni, che attualmente è limitata a soli 15 giorni, con grandi risparmi economici e incremento di efficienza e affidabilità nell'utilizzazione della macchina. Si potrebbe pensare, addirittura, di poter riutilizzare più volte, alternativamente, diversi complessi bersaglio/sorgente di ioni adatti a specifiche finalità di ricerca.

Nonostante il grande interesse e utilità di queste attività di ricerca e sviluppo per il progetto SPES e per tutti gli attuali e futuri progetti ISOL, non è possibile prevedere un loro finanziamento sui fondi SPES, che sono attualmente dedicati esclusivamente alla costruzione della macchina. Ti incoraggio tuttavia a chiedere, per il proseguimento e completamento di queste attività, un finanziamento all'INFN tramite la CSNS, quale attività di ricerca e sviluppo tecnologico. Ti assicuro che, quale responsabile del progetto SPES, darò il mio massimo sostegno presso l'Istituto per la prosecuzione di queste importantissime attività di ricerca e sviluppo.

Con l'occasione ti porgo i miei migliori saluti

Gianfranco Prete.




35020 Legnaro (PD) - viale dell'Università, 2 - C.F. 84001850589 - <http://www.infn.it/>



To: Prof. Aldo Zenoni
University of Brescia and INFN Pavia
Via Branze, 38
25123 Brescia

Lund 23rd January 2015

Letter of Support for a Scientific Collaboration

Dear Prof. Aldo Zenoni,

The European Spallation Source (ESS) project is building what will be a leading multi-disciplinary user facility for research using neutrons. Based on the most powerful spallation source in the world, this new facility will be around 30 times brighter than today's leading facilities, enabling new opportunities for researchers in numerous fields of science.

With reference to your letter of July 24th, 2014, in which you proposed a collaboration on an experimental radiation damage study on critical materials and components, and following our meeting held at ESS in Lund on December 10th, 2014, ESS is glad to confirm our interest in establishing a scientific collaboration on this topic with INFN and Universities of Pavia and Brescia.

Possible activities identified for a scientific collaboration concern:

- Monte Carlo simulation of relevant radiation fields and cumulated doses expected on critical components in operational conditions;
- characterization of the obtainable radiation fields in the irradiation positions available at the L.E.N.A. research reactor;
- irradiation campaigns at L.E.N.A. on sample critical materials and products;
- test of physical and operational properties of irradiated samples at different levels of irradiated dose with neutron and photon fields;
- study of the relations between physical properties changes and material structural modifications due to radiation damage.

At present, items of specific interest for us are, in particular, but not limited to, polymeric materials and components and electronic devices.

This Letter of Support is not intended as a legally binding agreement but merely as a non-enforceable statement of the mutual intentions and understandings of the ESS and University of Brescia and INFN Pavia. The Parties will continue to discuss the basis for an agreement for future collaboration, defining for instance the scientific, administrative and economical aspects of the collaboration. If the Parties execute a definite agreement following this Letter of Support, that agreement will supersede this Letter of Support. In the meanwhile, ESS will be glad to continue our contacts on the technical side to define in detail the areas of common interest and specific projects that could be pursued within the future collaboration.

Respectfully yours,

Roland Garoby
Technical Director
European Spallation Source ESS AB



European Spallation Source ESS AB
Visiting address: ESS, Tomtevägen, 24
P.O. Box 176
SE-221 00 Lund
SWEDEN
www.ess.eu

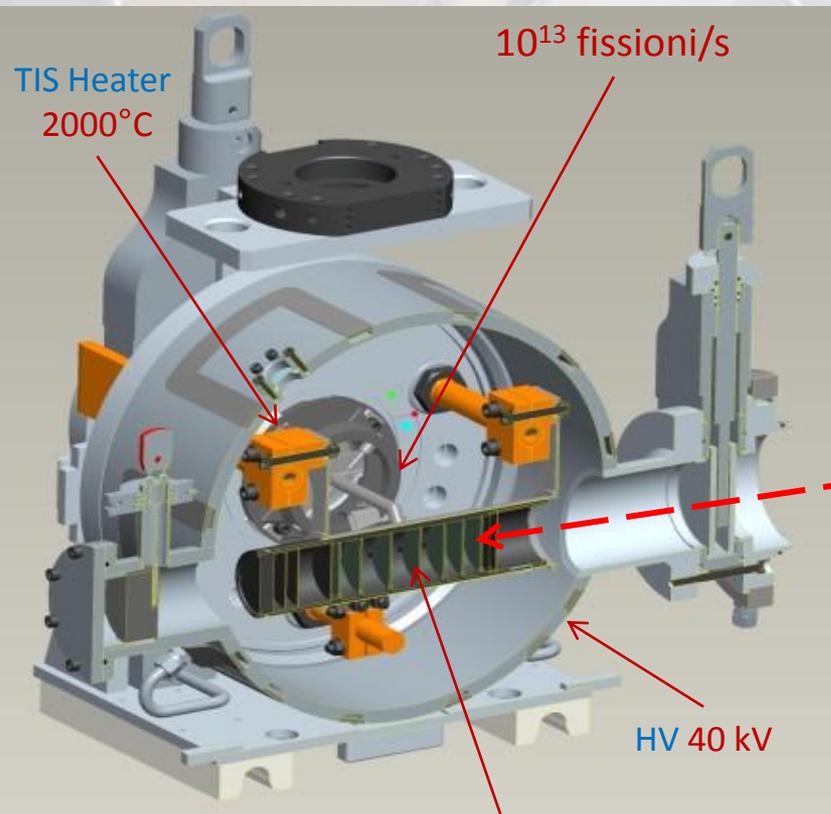


Il nuovo edificio di SPES al 4-6-2015

Il ciclotrone da 70 MeV è stato installato il 14-5-2015



Test di radioresistenza di componenti critici del Target & Ion Source (TIS) di SPES



40 MeV protoni
200 μA, 8 kW



Ambiente altamente radioattivo
intensi campi di neutroni e fotoni

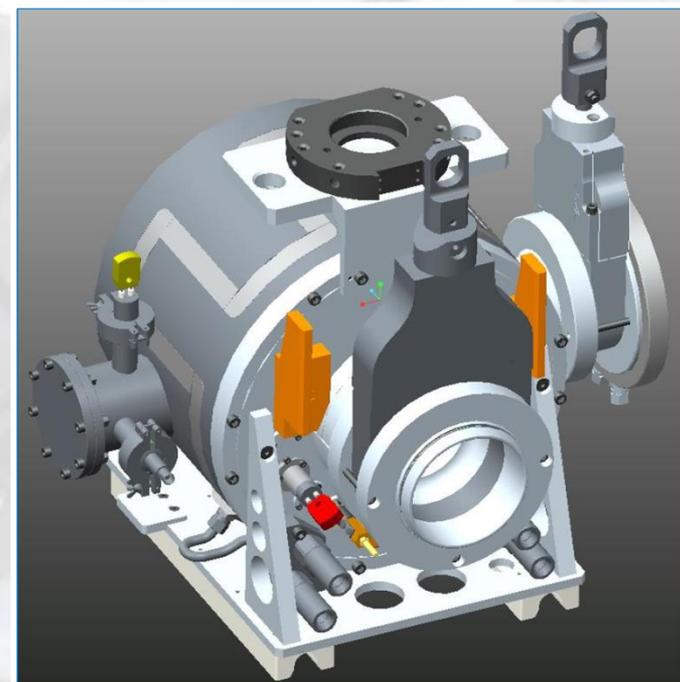
Sostituzione del TIS prevista
ogni 15 giorni

Il primo studio è stato dedicato agli
O-ring da vuoto sul TIS

L'importanza di un O-ring



Figure 1: The explosion of Space Shuttle Challenger on January 28, 1986. The primary cause of the disaster was attributed to the failure of an O-ring.



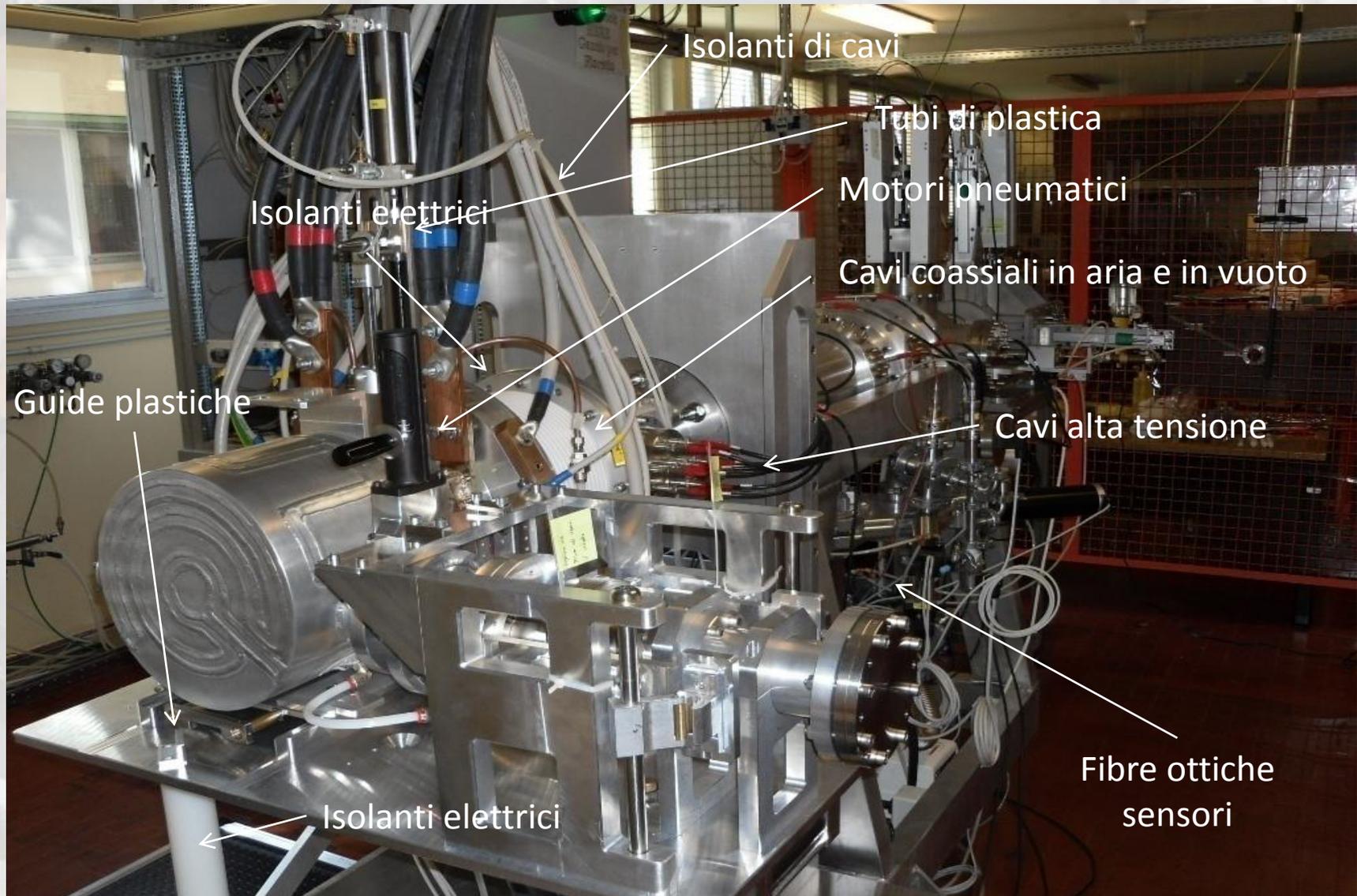
Unità camera bersaglio/sorgente
costo 40 – 50 k€

O-ring costo
unitario pochi euro



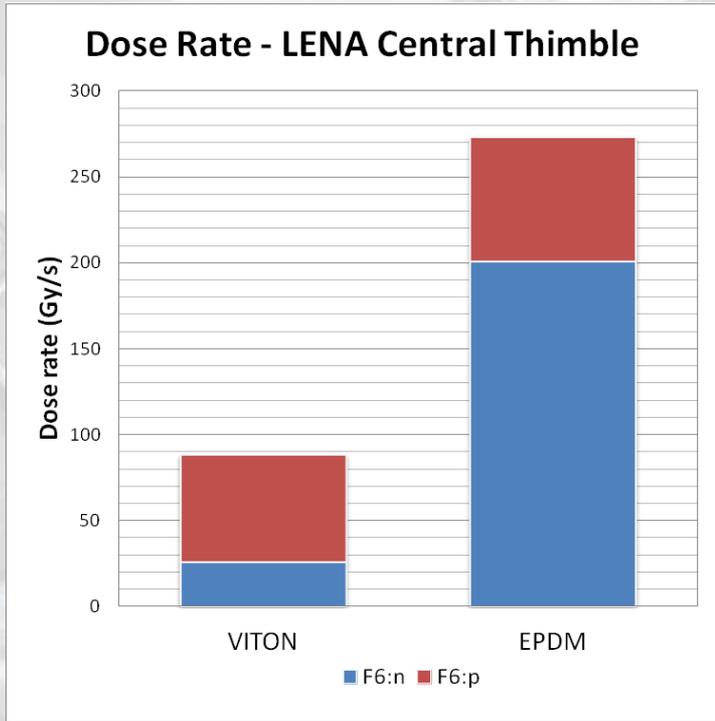
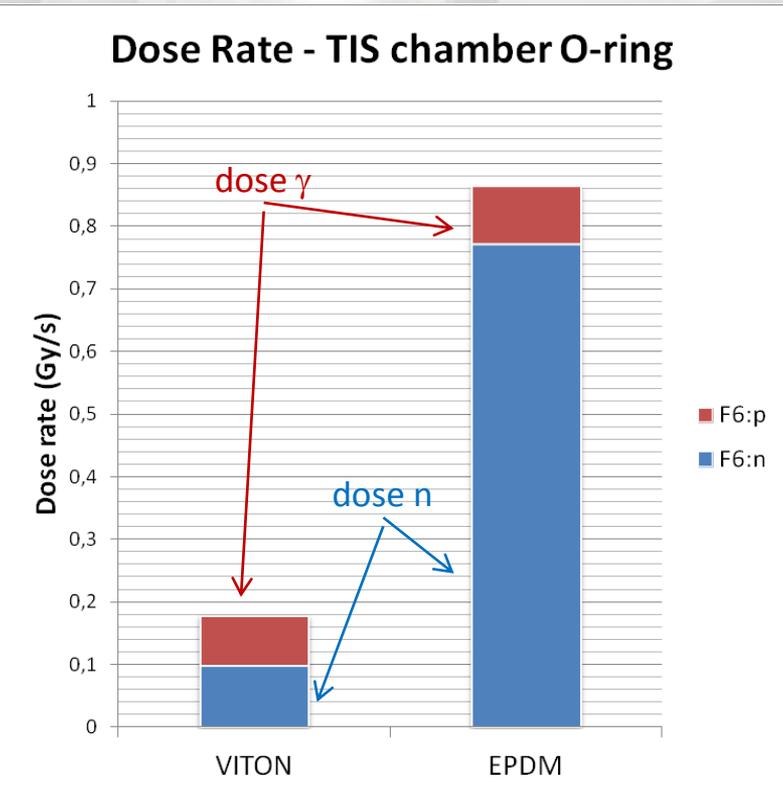
Durata limitata a 15 giorni,
impossibilità di riuso dell'unità
dovute ai componenti radiosensibili

Componenti statici del Front End sottoposti a flussi di neutroni e fotoni per diversi anni



Motivazioni per uno studio di radioresistenza di materiali critici per bersagli ISOL

- Il problema è **attualmente** di **interesse** per i diversi progetti per la realizzazione di bersagli-sorgenti ISOL (SPES, REX-ISOLDE, SPIRAL2, EURISOL....)
- Per quanto riguarda i **materiali polimerici**, nuovi **materiali** (mescole polimero di base additivi), nuovi **produttori**, nuovi **prodotti specifici** compaiono **continuamente** sul mercato
- Dati sulla **radioresistenza** di **materiali** e **prodotti** a volte sono **reperibili**, a volte sono del tutto **assenti**, spesso sono **datati** e riguardano **prodotti specifici**
- In generale, i **dati esistenti** in letteratura sulla **radioresistenza** dei materiali sono stati ottenuti solo con irraggiamento da **sorgenti gamma**; i dati ottenuti con irraggiamento da **neutroni** sono molto **scarsi**
- Test di radioresistenza **affidabili** dovrebbero riprodurre **quanto meglio** possibile le condizioni **effettive** di irraggiamento
- Dovrebbero essere valutati **materiali** e **prodotti** specifici, **effettivamente utilizzati** nell'apparato, non è **sufficiente** utilizzare valutazioni sul materiale **generico**
- Sarebbero da verificare le **specifiche prestazioni**, meccaniche, ottiche, elettriche richieste ai componenti in **condizioni operative**
- E' necessario verificare anche **componenti complessi** come **motori** elettrici o pneumatici o **componenti** elettronici



Il VITON è più trasparente ai neutroni

La dose n dipende dal contenuto di idrogeno

La dose n è maggiore per neutroni veloci

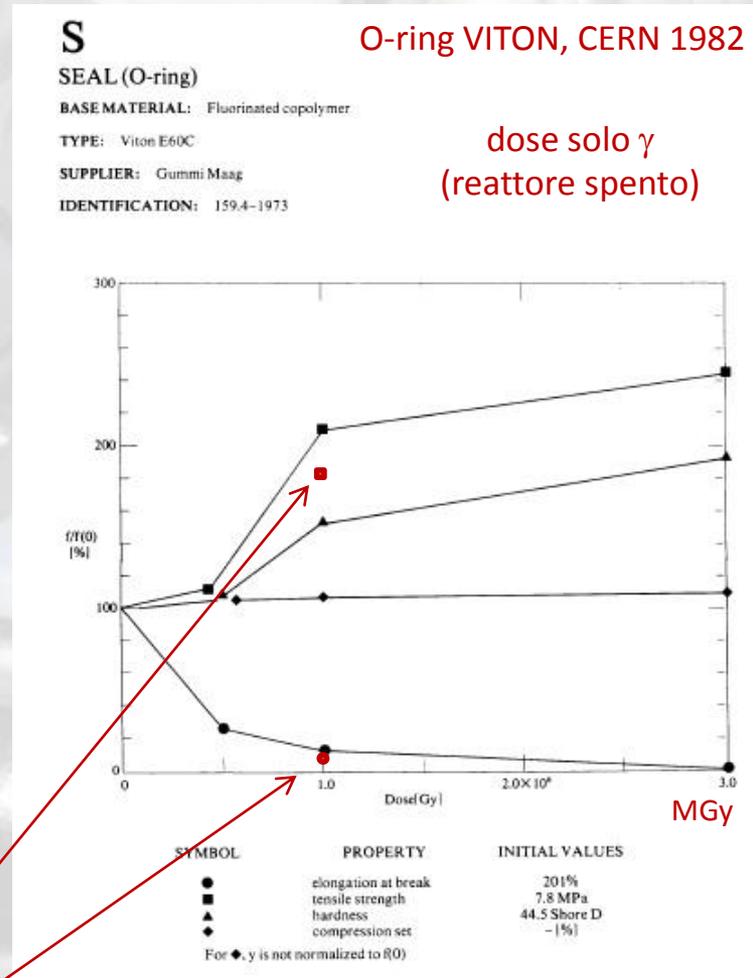
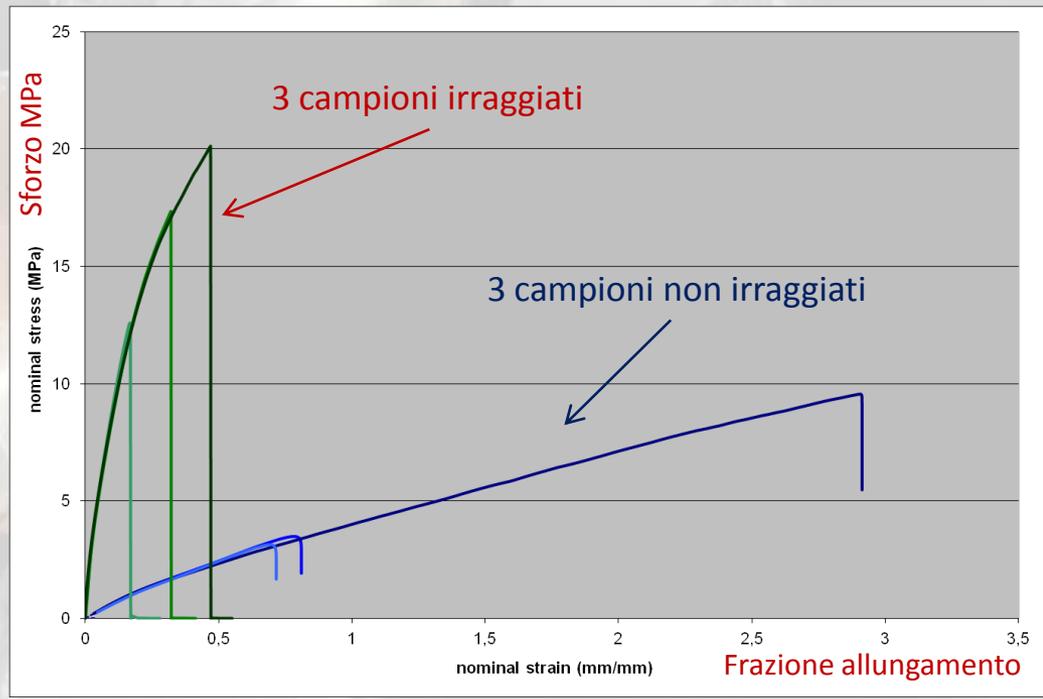
Dosi n + γ sul TIS integrate su 15 gg

VITON	0.24 MGy
EPDM	1.11 MGy

Tempo di irraggiamento nel Canale Centrale per impartire 1 MGy di dose n + γ

VITON	3 h 8 min
EPDM	1 h 1 min

Test proprietà meccaniche su O-ring VITON generico, irraggiati a 1 MGy di dose

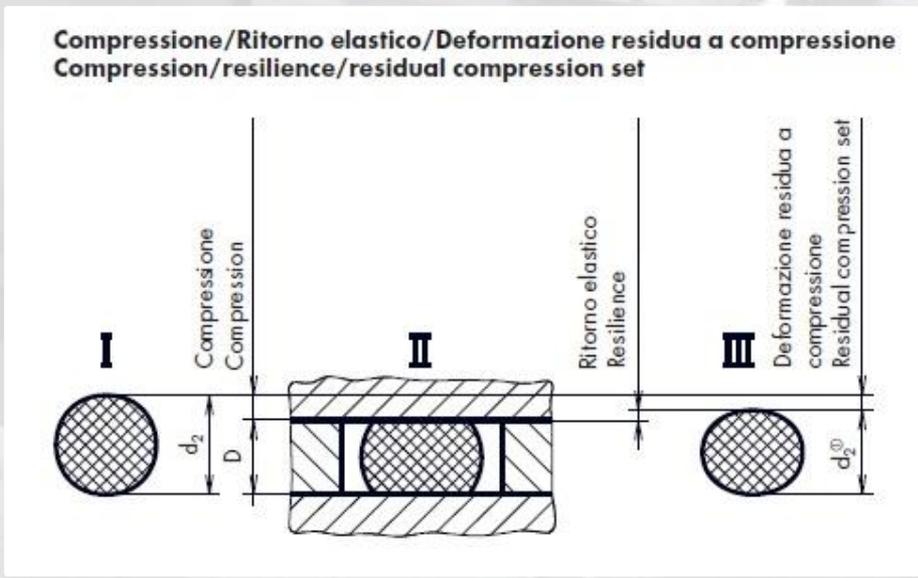


grandezza	Non irraggiato	Irraggiato 1 MGy
Modulo elastico	6.2±0.4 MPa	170±40 MPa
Sforzo a rottura	9.5 MPa	17±4 MPa
Allungamento a rottura	290 %	32±15 %

Test compression set su O-ring VITON Edwards irraggiati a 1 MGy di dose (ASTM D395 B) / 1

Compressione del **25%** dello spessore del campione per **24 ore a 100°C**

Misura della percentuale di **non ritorno** alle dimensioni originali (**100% compression set: materiale totalmente plastico**)

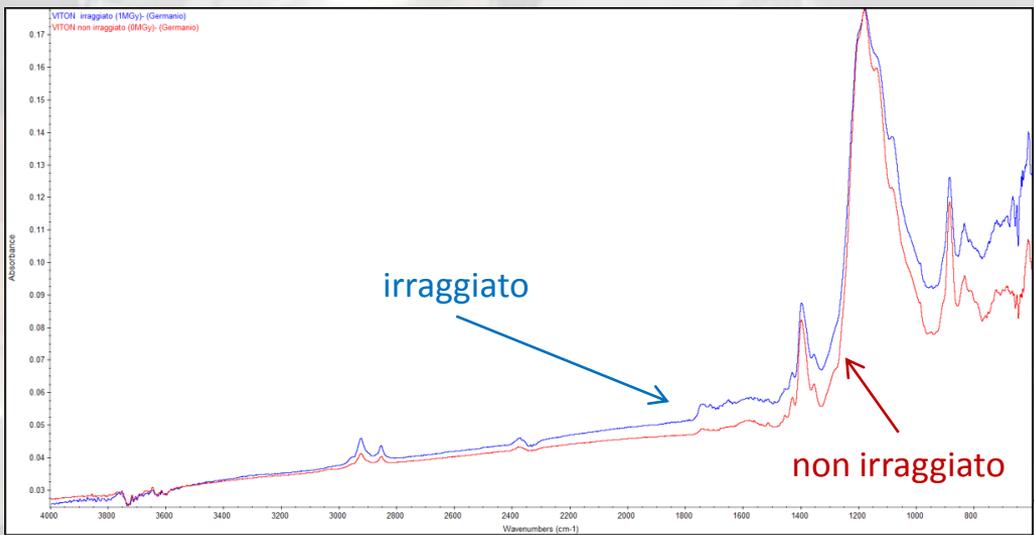


Test compression set su O-ring VITON Edwards irraggiati a 1 MGy di dose (ASTM D395 B) / 2

Materiale non irraggiato	4 campioni : CS medio 6%
Materiale irraggiato	Non misurabile Comportamento fragile , "brittle"



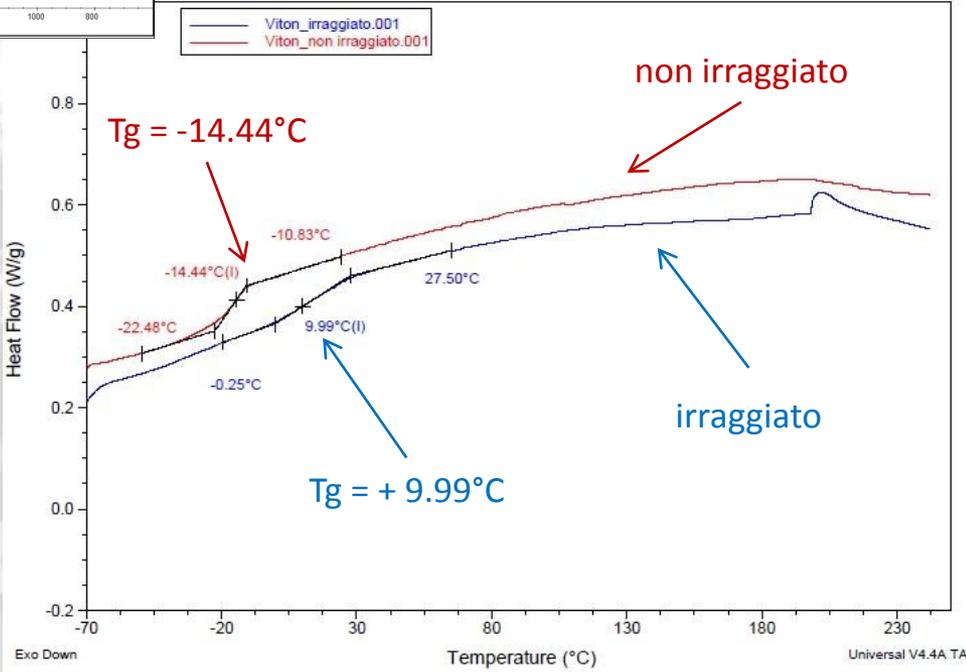
Test proprietà microscopiche su O-ring VITON generico, irradiati a 1 MGy di dose / 1



Analisi infrarosso
composizione molecolare
piccole differenze

DSC calorimetro
differenziale

Cambia la temperatura di
transizione vetrosa
effetto di reticolazione



Test proprietà microscopiche su O-ring VITON generico, irraggiati a 1 MGy di dose / 2*

Test assorbimento
solvente (metanolo)
diversi giorni

non irraggiato	35 %
irraggiato	3%

reticolazione

Densità
Tipica VITON 1,9 g/cm³

non irraggiato	100 %
irraggiato	103 %

L'attività nella sigla SPES_PV nel 2014/15 ha consentito di definire e validare le procedure di calcolo, irraggiamento e test di grandezze meccaniche e microscopiche su polimeri e elastomeri

* Amedeo Testa, Tesi Laurea Magistrale, UniBs luglio 2015

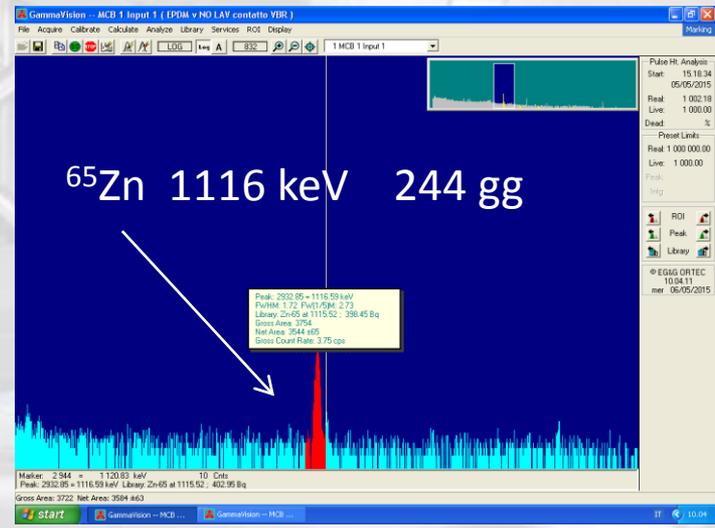
Test di attivazione di campioni di materiale costituente gli O-ring al LENA

VITON generico e Edwards →

NESSUNA ATTIVAZIONE

EPDM 70 (Dictomatick)
(vulcanizzato con Zolfo)

Lo Zinco è utilizzato come
accelerante della vulcanizzazione



EPDM 70 Perox (Dictomatick)
(vulcanizzato con perossidi) →

DA VERIFICARE

Un ampio programma di test di componenti critici necessita che l'irraggiamento venga effettuato abbattendo lo spettro termico del LENA

RDS_SPES: Proposta CSN5 per il 2016

- 1) Individuazione dei **componenti** e **materiali** del **Front End** di SPES da verificare per **radioresistenza** (isolanti di cavi di potenza, isolanti di cavi HV, cavi coassiali e di segnale, fibre ottiche e sensori, motori pneumatici, tubi di plastica)
- 2) Ricerca **bibliografica** e di **mercato** sui diversi **materiali/prodotti** e produttori
- 3) Calcoli di **dose assorbita** dai diversi componenti critici **in esercizio** ($n + \gamma$) utilizzando MCNPX, FLUKA
- 4) Calcoli di **dose assorbita** nei possibili canali di irraggiamento del **TRIGA** al LENA
- 5) Progetto e realizzazione di **schermatura** per la componente **termica** del TRIGA per limitare **l'attivazione** dei materiali
- 6) Studi di **configurazione** per irraggiamento con **oli γ** al LENA (TRIGA o ^{60}Co)
- 7) **Acquisizione** campioni di **materiali/componenti** da irraggiare
- 8) **Definizione** dei test **meccanici**, **ottici**, **elettrici**, **microscopici** ai quali sottoporre i campioni, con individuazione delle **condizioni limite** di operatività dei diversi materiali/componenti
- 9) **Irraggiamento** dei campioni al LENA
- 10) Realizzazione **test meccanici**, **ottici**, **elettrici**, **microscopici** al LMST di UniBs

Sedi vicine dove si può effettuare un programma di irraggiamenti (n+ γ) per test di radioresistenza

TRIGA MARK II
250 kW UniPavia



TRIGA MARK II
250 kW
InterUniVienna



TRIGA MARK II 250 kW
J. Stefan Institute Lubiana



TAPIRO 5 kW
ENEA Casaccia



TRIGA RC-1, 1 MW
ENEA Casaccia



TRIGA MARK II
100 kW UniMainz



La disponibilità del **LENA** a **Pavia** è un'opportunità **unica** per effettuare studi **sperimentali** di **radioresistenza** dei materiali

Personale e finanziamento richiesto per il 2016 / 1

INFN Pavia

Aldo Zenoni PO UniBs	60%	
Antonietta Donzella TD UniBs	50%	
Fabio Bignotti PA UniBs LMST/INSTM	30%	
Matteo Ferrari borsista INSTM/Unibs	100%	
Saverio Altieri PA UniPv	20%	
Silva Bortolussi RTD INFN Pavia	20%	Tot = 2,8 FTE

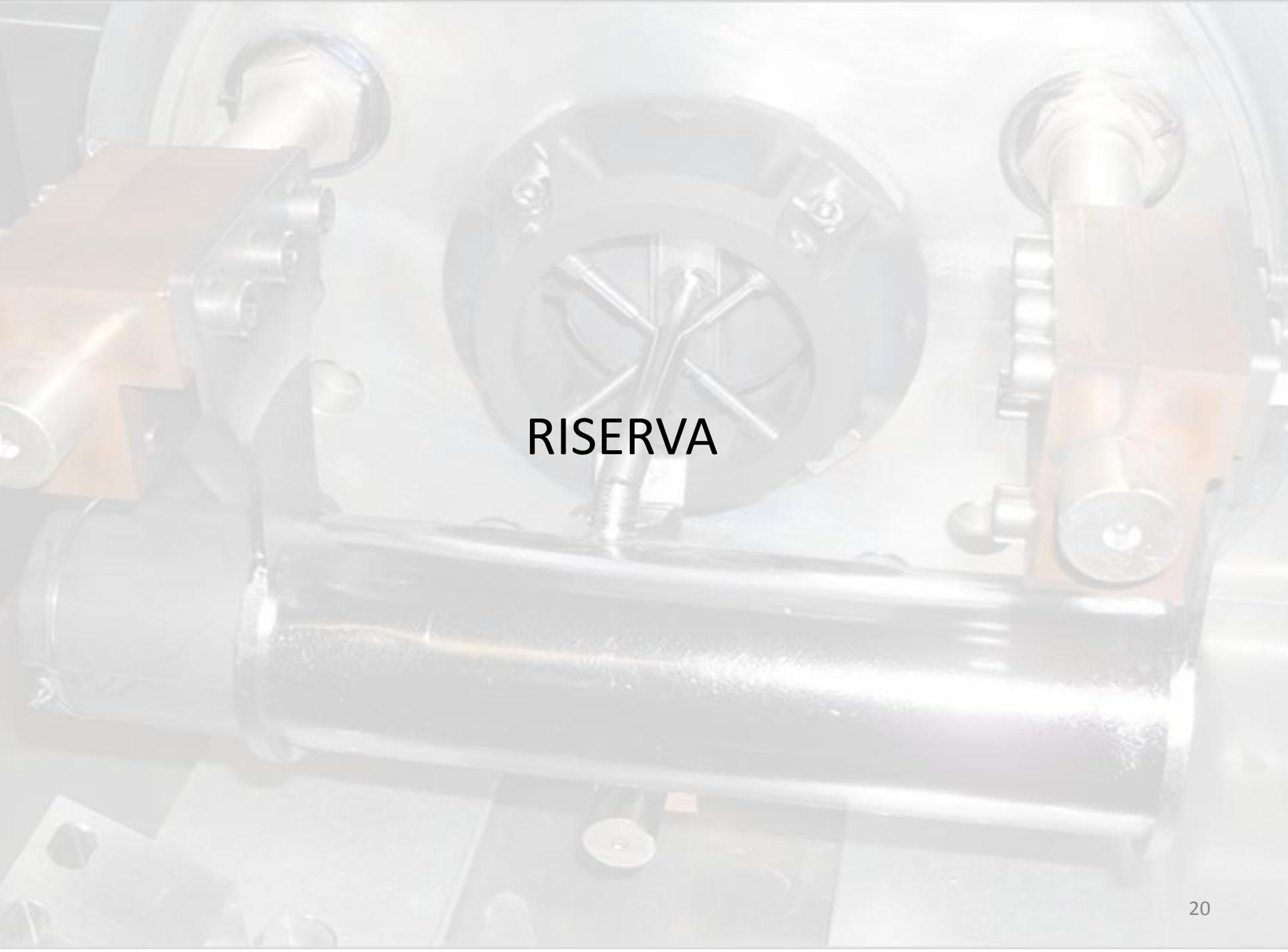
L.E.N.A. UniPv

Daniele Alloni	30%	
Michele Prata	30%	
Andrea Salvini	20%	
Giovanni Magrotti	20%	Tot = 1,0 FTE

Personale e finanziamento richiesto per il 2016 / 2

spesa	dettaglio	importo
Missioni	Missioni interne e tre viaggi estero (ESS, Alto Orsay, CERN)	8,0 k€
Consumo	<ul style="list-style-type: none"> - Acquisto campioni da irraggiare * - materiali certificati per dosimetria - cadmio per schermature - materiale di consumo per i laboratori (LENA e LMST): reagenti, portacampioni, ecc. 	4,0 k€ 1,0 k€ 3,0 k€ 1,0 k€
Servizi	- Irraggiamenti al LENA (30% sconto su costo da tariffario): circa 80-90 ore di irraggiamento multicampione	5,0 k€
	TOTALE	22,0 k€

* La ditta James Walker (guarnizioni) UK ha espresso interesse per il progetto



RISERVA

Component	materials
Chamber structure	Aluminum AL6082T6
Chamber joints	TEFLON, EPDM
Viewport glass and joints	Silicon oxide based glass, VITON, EPDM
Insulators	Ceramic Alumina Al_2O_3
Proton beam joints	EPOXY, VITON, EPDM
Chamber handling guides	TEFLON, TPE-SBR
Charged base insulators	PEEK
Pneumatic motors	(lack of information) virtual O-ring in EPDM
Electrical motors	(lack of information) joints in EPDM, insulators EPON-862, Lubrificant BiEster $C_6O_1H_{12}$
AC power wire jackets	Thermoplastic TPE-SBR
RIB wires	Thermoplastic TPE-SBR
Wire collector	Thermoplastic TPE-SBR
Optical fiber core	PMMA, Glass Epoxy 1 A2 and 1 B2
Optical fiber cladding	FEP (Fluorinate Ethylene Propylene)

name	composition	
EPDM	Etylene-Propylene Diene Monomer	rubber
PEEK	Polyether ether ketone	organic thermoplastic polymer
PMMA	polymethylacrilate	Plexiglass, lucite
SBR	Styrene-butadiene	rubber
TPE	Thermoplastic elastomer	rubber
VITON	Fluoropolymer elastomer	rubber
TEFLON	Politetrafluoretene	
KAPTON	poly-oxydiphenylene-pyromellitimide	

Chemical Terms, Abbreviations, and Trade Names

Chemical Term	ASTM Designated Abbreviation	Polymer Trade Names
Acrylonitrile Butadiene	NBR	Chemigum [®] , Nipol [®] , Krynac [®] , Paracril [®] , Perbunan N [®] , Buna N [®]
Highly Saturated Nitrile	HNBR	Therban [®] , Zetpol [®]
Carboxylated Nitrile	XNBR	Nipol [®] , Krynac [®] , Chemigum [®]
Fluorocarbon	FKM	Viton [®] , Fluorel [®] , Technoflon [®]
Ethylene Propylene	EP, EPDM, EPT, EPR	Nordel [®] , Royalene [®] Vistalon [®] , Buna EP [®] , Keltan [®]
Styrene Butadiene	SBR	Ameripol Synpol [®] , SBR [®] , Plioflex [®] , Stereon [®]
Polychloroprene	CR	Neoprene, Baypren [®] , Butaclor [®]
Isobutylene Isoprene	IIR	Butyl [®]
Silicone	VMQ, PMQ, PVMQ	Silastic [®] , SILPLUS [®] , Elastosil, Wacker [®]
Fluorosilicone	FVMQ	FSE [®] , Silastic [®] , Sylon [®]
Polyacrylate	ACM	Cyanacryl [®] , HyTemp [®] , Thiacril [®]
Ethylene Acrylic	AEM	Vamac [®]
Chlorosulfonated Polyethylene	CSM	Hypalon [®]
Epichlorohydrin	ECO/CO	Gechron [®] , Hydrin [®]
Polyisoprene		
• Natural	NR	SMR [®] , Pale Crepe [®] , Smoked Sheet [®]
• Synthetic	IR	Ameripol SN [®] , Natsyn [®]
Polyurethane (Polyester or Polyether)	AU or EU	Adiprene [®] , Millathane [®] , Vibrathane [®] , Vulkolan [®] , PUR
Perfluoroelastomer	FFKM	Kalrez [®] , Isolast [®] , Chemraz [®] , Simriz [®] , Paraflur [®] , Perlast

The following are registered trademarks of their respective companies:

Cyanacryl - American Cyanamid Co.; Ameripol CB, Ameripol SN, Ameripol Synpol - Ameripol Synpol Co.; Butaclor - distigil; Silastic - Dow Corning Corp.; Hypalon, Nordel, Vamac, Viton - DuPont Performance Elastomers; Vistalon - Exxon Chemical Co.; Stereon - Firestone Tire & Rubber Co.; FSE, SILPLUS - General Electric Co.; Budene, Chemigum, Natsyn, Philoflex - Goodyear Rubber Products Corp.; Herclor - Hercules Inc.; Aflas, dyneon, sylon - Dyneon Co.; Hydrin, Hy Temp, Gechron, Nipol, Zetpol - Zeon Chemicals Inc.; Krynac, Taktene, Tornac, Perbunan N, Buna EP, Baypren, Therban - Bayer Corp.; Millathane - TSE Industries, Inc.; Adiprene, Royalene, Paracril, Thiacril, Vibrathane; Uniroyal, Inc.

International Standards for Elastomers

DIN Standard	ISO Standard	ASTM Standard	Description
DIN 53519 T2	ISO 48 M	ASTM D 1415	Hardness, IRHD
DIN 53479	ISO 2781	ASTM D 1817	Specific Weight
DIN 53505	ISO 868	ASTM D 2240	Hardness, Shore A
DIN 53517	ISO 815	ASTM D 395 B	Compression Set
DIN 53504	ISO 37	ASTM D 412	Tensile Strength
DIN 53504	ISO 37	ASTM D 412	Elongation at Break
DIN 53518	ISO 2285		Tension Set
DIN 53521	ISO 1817	ASTM D 471	Immersion Test
DIN 53508	ISO 188	ASTM D 573	Aging in Air
	ISO 2921	ASTM D 1329	Low Temperature Behaviour, TR10-Test
DIN 53509	ISO 1431	ASTM D 1149	Ozone Resistance
DIN 53515	ISO 34-1	ASTM D 624	Tear Resistance