

# L'OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI SICUREZZA IN UNA INSTALLAZIONE DI RICERCA SPERIMENTALE IN AMBIENTE SOTTERRANEO (L'APPARATO SPERIMENTALE BOREXINO).

(D. Barone<sup>^</sup>, S. Gazzana<sup>\*</sup>, A. Goretti<sup>\*</sup>  
A. Ianni<sup>o</sup>, M. Laubenstein<sup>\*</sup>, C. Salvo<sup>#</sup>,  
R. Tartaglia<sup>\*</sup>)

-----  
<sup>^</sup> Studio DB, <sup>o</sup> Princeton University,  
<sup>#</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Sezione di Genova  
<sup>\*</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali del Gran Sasso  
-----

[Do.Barone@tiscalinet.it](mailto:Do.Barone@tiscalinet.it), [Stefano.Gazzana@Ings.infn.it](mailto:Stefano.Gazzana@Ings.infn.it), [Augusto.Goretti@Ings.infn.it](mailto:Augusto.Goretti@Ings.infn.it),  
[Andrea.Ianni@Ings.infn.it](mailto:Andrea.Ianni@Ings.infn.it), [Matthias.Laubenstein@Ings.infn.it](mailto:Matthias.Laubenstein@Ings.infn.it), [Corrado.Salvo@Ings.infn.it](mailto:Corrado.Salvo@Ings.infn.it),  
[Robert.Tartaglia@Ings.infn.it](mailto:Robert.Tartaglia@Ings.infn.it)  
-----

## SOMMARIO

L'apparato sperimentale Borexino, in fase di avanzata installazione presso la Sala C dei laboratori sotterranei dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (di seguito LNGS), si propone la rilevazione e la misura dei neutrini solari a bassa energia. Si tratta di un rivelatore costituito da una sfera di acciaio inox di diametro pari a 13.7m, (di seguito denominata *Stainless Steel Sphere* = SSS), all'interno di un serbatoio di circa 3500 m<sup>3</sup> di volume (di seguito definito *Water Tank* = WT), anch'esso in acciaio inox.

A regime è previsto il riempimento della SSS con un idrocarburo di tipo aromatico (pseudocumene = PC), mentre l'intercapedine tra la SSS e la WT sarà riempita in acqua ultrapura.

L'utilizzo di PC, classificato come Xn (nocivo) e N (pericoloso per l'ambiente) e la particolare collocazione in un ambiente sotterraneo, all'interno del sistema idrogeologico del massiccio del Gran Sasso, ha richiesto una approfondita analisi dei rischi connessi alla installazione e gestione dell'attività e la ottimizzazione dei sistemi di sicurezza presenti sia in fase di progettazione che in quella di esecuzione.

## 1. DESCRIZIONE DEI LABORATORI

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso sono localizzati ad Assergi, in provincia di L'Aquila (Abruzzo) a circa 140 Km ad Est di Roma (poco più di un'ora di automobile, percorrendo l'Autostrada A24).

I laboratori sotterranei sono localizzati circa 1400 m. sotto il massiccio roccioso centrale del Gran Sasso, precisamente sotto la vetta del Monte Aquila. Gli uffici ed il centro direzionale sono situati a circa 1 Km. dall'uscita autostradale di Assergi, ed occupano attualmente un'area di circa 12.000 m<sup>2</sup>

Come si può vedere dal disegno 3D (Figura 1) le tre sale sperimentali, le cui dimensioni sono di circa 100x20x20 m., sono direttamente collegate al normale traffico autostradale; una corsia autorizzata ai soli utenti dei laboratori è stata realizzata nel traforo autostradale che collega Teramo con L'Aquila.

Questa indubbia interferenza con il tunnel autostradale di 10 Km può avere influenza sia sugli accessi ai laboratori sotterranei, sia sulla manutenzione, i.e. "upgrading" e sulla revisione dei principali impianti generali (ventilazione, alimentatore di emergenza, trasmissione dati e fibre ottiche). Inoltre, la stretta interconnessione limita senz'altro la possibilità di assicurare a tutti gli utenti e visitatori la via di fuga in caso di evento. A causa di questa configurazione, ogni piano di

emergenza per i laboratori sotterranei deve prendere in considerazione ogni probabile scenario: un incidente nei laboratori sotterranei e/o un incidente in uno dei tunnel autostradali.

Un eventuale incidente in uno dei due tunnel aperti al traffico può compromettere sia la stabilità e l'affidabilità degli impianti dei laboratori sia la possibilità per il corpo dei Vigili del Fuoco, gli operatori del tunnel stradale e le squadre di emergenza di poter raggiungere i laboratori sotterranei.

Ogni incidente nei Laboratori sotterranei deve essere studiato ed affrontato tenendo in considerazione che le più vicine stazioni dei Vigili del Fuoco si trovano a L'Aquila e Teramo, a circa trenta minuti dai laboratori (un periodo di tempo davvero troppo lungo per intervenire tempestivamente; durante le simulazioni effettuate il tempo necessario ai Vigili del Fuoco di L'Aquila per raggiungere i laboratori sotterranei è stato di 24 minuti).



Figura 1 – Schema 3D dei Laboratori sotterranei

## 2. DESCRIZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE.

La ricerca sperimentale BOREXINO si propone lo studio della rivelazione e della misura dei neutrini solari di bassa energia (250 keV – 1 MeV). Poiché la ricerca è rivolta in un intervallo di energia dove la radioattività naturale è predominante, i 1400m di roccia sovrastante le sale sperimentali risultano necessari per schermare l'apparato sperimentale dalle radiazioni cosmiche esterne. Oltre a tale schermatura di roccia, del tutto necessaria per tutti gli esperimenti di Fisica "passiva", proprio nell'ottica di assicurare una schermatura progressiva dall'esterno verso l'interno del rivelatore, l'apparato sperimentale è stato disegnato e progettato come una serie di "gusci" successivi e concentrici, di purezza sempre più elevata man mano che ci si avvicina al "centro" del rivelatore rappresentato nella figura 2.

In particolare, il rivelatore consiste essenzialmente nella sfera di acciaio inox SSS contenente circa 1200t di Pseudocumene, opportunamente miscelato ad alcuni additivi fluorescenti, e da un sistema di rivelazione costituito da circa 2200 foto-moltiplicatori (PMT), in grado di captare gli eventuali, deboli, segnali luminosi (fotoni), causati dall'interazione con un evento da neutrino.

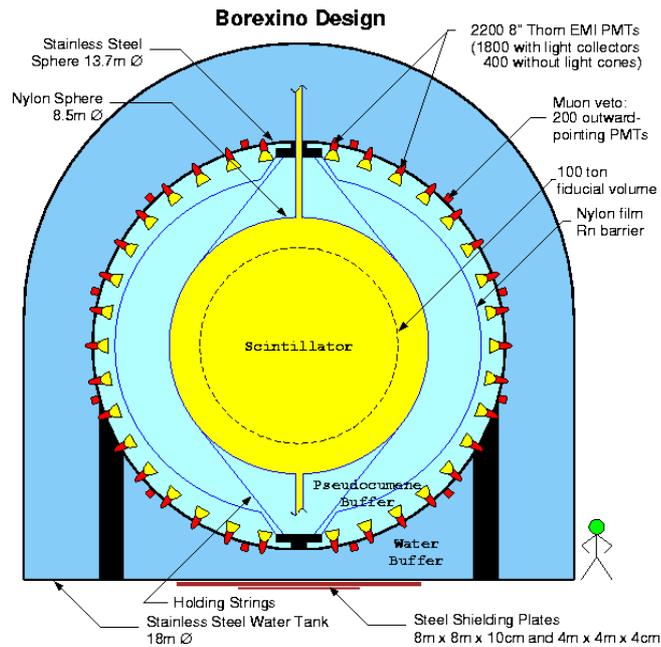


Figura 2 – Schema del rivelatore BOREXINO

Lo schema a blocchi dell'esperimento Borexino (Figura.3), relativo al flusso del PC, evidenzia le varie unità dell'apparato che consentono la movimentazione, il trattamento e la distribuzione del PC.

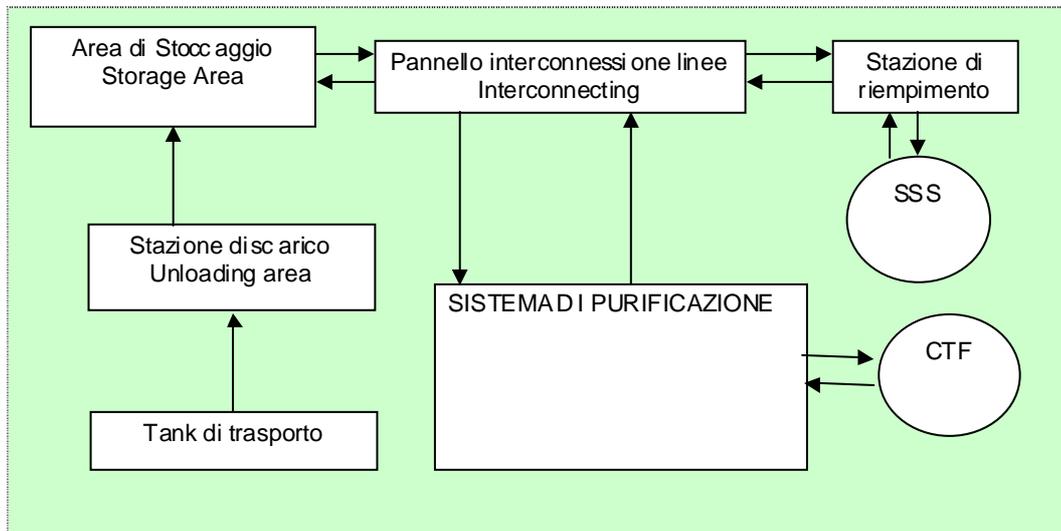


Figura 3 – Scherma funzionale di principio dell'Esperimento BOREXINO

In particolare, si utilizzano i seguenti componenti: *Isotank*, serbatoi di stoccaggio, unità di purificazione, sistema di interconnessione alla SSS, apparato prototipale denominato *Couting Test Facility* (CTF), atto al controllo della radio-purezza.

Altre unità dell'esperimento provvedono al flussaggio ed alla purificazione dell'azoto di polmonazione, alla purificazione dell'acqua, alla miscelazione ed additivazione di sostanze che attivano (PPO) o riducono (DMP) la fluorescenza del PC.

I componenti principali dell'apparato sperimentale, almeno dal punto di vista della gestione delle sicurezze, sono i seguenti: *Water Tank* (WT), *Stainless Steel Sphere* (SSS), Sistema di rivelazione (composto da 2200 PMT), *Storage Vessels* (SV), Impianti di purificazione e filtraggio.

La SSS risulta immersa ed appoggiata all'interno della Water Tank, costituita da un serbatoio metà cilindrico e metà emisferico, di volume totale pari a circa 3500 m<sup>3</sup> che sarà riempito di acqua ultrapura.

Gli *Storage Vessels* sono rappresentati da n. 4 serbatoi cilindrici verticali, ciascuno di volume utile pari a circa 113 m<sup>3</sup> e svolgono una duplice funzione:

- a - stoccaggio temporaneo;
- b - la purificazione in processi *batch* dello pseudocumene, prima del riempimento del *nylon vessel* all'interno della sfera. In figura 4 è riportato uno schema 3D dell'intero apparato sperimentale.

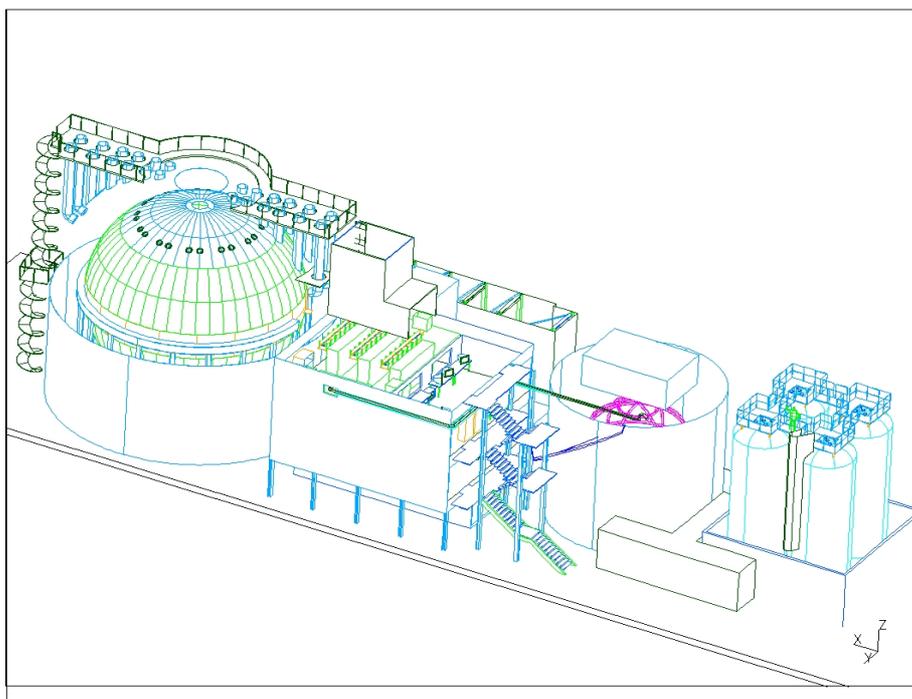


Figura 4 – Schema 3D dell'intero apparato sperimentale

La purificazione del PC avviene tramite quattro possibili processi:

- 1 - distillazione sottovuoto;
- 2 - estrazione impurezze con acqua;
- 3 - stripping in azoto;
- 4 - filtraggio tramite silica-gel.

I primi tre processi avvengono nella unità denominata "*Purification Skids*", mentre l'ultimo avviene nel cosiddetto "Modulo-0". Tali processi di purificazione dello scintillatore possono essere attuati sia in maniera indipendente l'uno dall'altro, sia in una qualsivoglia combinazione.

### 3. PROBLEMATICHE DI SICUREZZA E AMBIENTALI

La locazione dei LNGS in zona classificata sismica ha richiesto studi ed analisi atti a ridurre al minimo il rischio di collasso delle strutture e delle apparecchiature in caso di sisma.

I vari componenti l'apparato sperimentale sono stati progettati e realizzati per resistere a sollecitazioni di tipo sismico ben superiori a quelle previste dalla normativa vigente. I laboratori, infatti, sono in una zona sismica di 2° grado, con  $s = 9$  il che implica progettare e calcolare le strutture con una accelerazione orizzontale pari a 0.07g.

Al fine di garantire una sicurezza maggiore, tutte le strutture ed i componenti l'apparato sperimentale BOREXINO sono state progettate e realizzate assumendo, quale dato di progetto, un'accelerazione orizzontale pari a circa 0.3g, in completo accordo all'EUROCODICE 8) vedi fig 5.

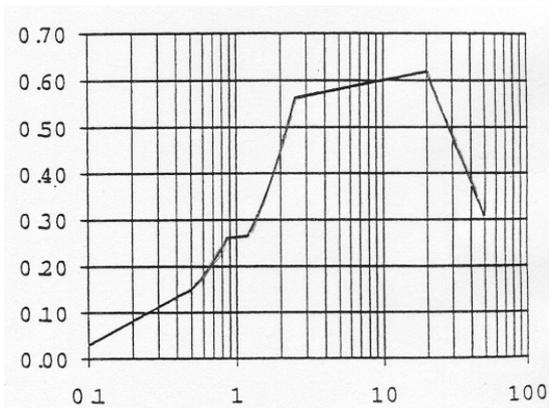


Figura 5 – Spettro di progetto - [prof. Faccioli]

La particolare installazione dell'apparato, la considerevole quantità di idrocarburo aromatico, PC classificato come Nocivo (Xn) e pericoloso per l'ambiente (N) con le seguenti frasi di rischio:

- R10 – infiammabile;
- R20 - nocivo per inalazione;
- R36/37/38 - irritante per gli occhi le vie respiratorie e la pelle;
- R51/53 - tossico per gli organismi acquatici, può provocare a lungo termine effetti negativi sugli organismi acquatici.

Tale classificazione ha posto il problema di ridurre al minimo la possibilità di rilascio nell'ambiente ed in particolare nel sistema idrogeologico circostante.

#### 4. ANALISI DI RISCHIO E STUDI DI SICUREZZA

Tutte le principali unità dell'esperimento sono state sottoposte ad un'analisi HAZOP, che hanno evidenziato una serie di raccomandazioni riguardanti sia i sistemi di allarme e blocco automatico, del tipo ad alta affidabilità "hard wired", sia le procedure operative. Sono stati inoltre evidenziati i parametri operativi critici per le quali sono state predisposte le necessarie istruzioni operative.

Nell'ambito di una collaborazione esistente con varie Università, ed in particolare con l'Università di L'Aquila – Facoltà di Ingegneria, inoltre, sono state condotte e portate a termine varie tesi inerenti analisi di rischio qualitative e quantitative, sia sulle unità di processo dell'apparato sperimentale sia sulle procedure gestionali. In particolare, sono stati esaminati, con analisi approfondite, le condizioni operative dell'Area di Stoccaggio, dell'Impianto di abbattimento vapori di pseudocumene, del Sistema di Purificazione e del Sistema di filtraggio denominato modulo-0.

Infine, è da poco iniziato uno studio di revisione e di analisi da parte di un gruppo di lavoro completamente dedicato all'analisi di rischio dei laboratori sotterranei: tale gruppo di lavoro, formato da esperti di varia estrazione, ha l'obiettivo principale di condurre un'analisi di rischio basata su modelli di tipo anglosassone, ovvero di analisi ALARP industriali, andando quindi ad integrare le valutazioni di rischio ed i rapporti di sicurezza già redatti in conformità alla normativa vigente (D. Lgs. 626/94 e s.m.i. e D. Lgs. 334/99).

#### 5. OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI DI SICUREZZA

Allo scopo di ridurre il rischio di incendio sono state effettuate prove di combustione del PC, sia con superficie libera sia con la ricopertura di materiale isolante ignifugo leggero (FOAMGLASS) in forma di mattonelle ricoperte in ceramica. Il vantaggio di tale approccio è quello di ridurre l'altezza delle fiamme in caso di incendio (vedi Figg. 6 e 7), garantendo in tal modo un intervento molto efficace dei sistemi antincendio a schiuma predisposti.



*Figura 6 - Prova di bruciamento senza mattonelle di FOAMGLAS*



*Figura 7 - Prova di bruciamento con mattonelle di FOAMGLASS*

Al fine di ottimizzare la gestione delle emergenze, in riferimento ad un eventuale incendio, sono state apportate modifiche impiantistiche di tutto rilievo, ed in particolare è stato migliorato il sistema di captazione e smaltimento dei fumi.

Il posizionamento delle possibili captazioni di fumi derivanti da incendio in corrispondenza dei punti di maggior rischio dell'intero apparato sperimentale, e cioè il punto di scarico delle isotank e la zona di stoccaggio, permetterà, in caso di evento, una immediata individuazione del punto di incendio ed una pronta attivazione dei sistemi di sicurezza presenti (valvole di intercettazione, sistema a schiuma ecc).

Con l'obiettivo di eliminare il rischio di sversamento e perdita del PC nel sistema delle acque di raccolta dovuto ad eventuali perdite dalle tubazioni, sono state adottate soluzioni impiantistiche e procedurali di notevole efficacia: tutte le apparecchiature principali, che, a regime, conterranno PC, quali SSS, storage vessels, modulo di purificazione, modulo- 0, stazioni di pompaggio, sono dotate di doppio contenimento, ovvero di bacini di raccolta locali.

Lo studio e l'analisi di rischio delle condizioni operative e gestionali dell'apparato sperimentale e l'obiettivo principale di ridurre o eliminare il rischio legato alla sua operatività, hanno portato, inoltre, alla realizzazione di veri e propri impianti di confinamento ed abbattimento vapori di PC. In normali condizioni operative, infatti, tutto l'azoto che funge da "*blanketing*" (polmonazione e/o cuscinetto) viene convogliato in un impianto di abbattimento a carboni attivi. In caso di evento incidentale, condizione nella quale si potrebbero creare pressioni e/o temperature più elevate, il flusso di azoto saturo in PC verrebbe convogliato in un impianto di abbattimento di "*blow-down*", progettato e realizzato in maniera del tutto indipendente e tale da poter collettare tutti gli "sfiati" di emergenza dei vari componenti l'apparato sperimentale.

Inoltre, nella sala C sono state installate delle paratoie mobili azionabili sia localmente che a distanza in corrispondenza dei 3 ingressi della stessa sala sperimentale.

Tali paratoie mobili, dell'altezza di circa 40 cm realizzano, assieme alla cordolatura perimetrale contigua di tutta la sala, una sorta di bacino di contenimento, di capacità utile pari a circa 400 m<sup>3</sup>, atto a contenere e confinare le eventuali piccole perdite di PC, acqua antincendio e schiumogeno eventualmente utilizzato (vedi Figura 8).

*Figura 8 – Particolare paratoie*

Per aumentare l'affidabilità del sistema di pompaggio dell'acqua antincendio è stato infine installato un generatore diesel di emergenza in grado di alimentare le pompe dell'acqua antincendio collegate alla rete preferenziale dei LNGS.

## **6. CONCLUSIONI**

Con le analisi di rischio e gli studi di sicurezza effettuati e con la realizzazione dei miglioramenti impiantistici e gestionali dell'esperimento Borexino suggeriti e messi a punto, si ritiene che i rischi presenti nell'apparato sperimentale siano stati ridotti al minimo.

### **Bibliografia:**

- 1) A.Giampaoli, R. Tartaglia - *Guida alla Sicurezza per gli Esperimenti @ LNGS*
- 2) S. Gazzana – *Fire Protection in Nuclear Application: The Borexino Experiment and the Suppression of Metal Fires*
- 3) D. Barone – *Le verifiche sismiche nelle attività a rischio di incidente rilevante*