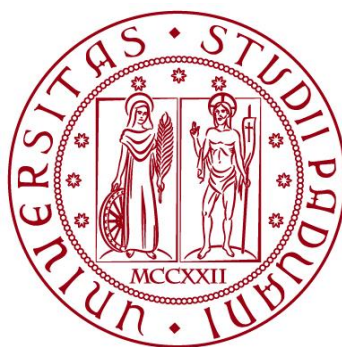


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria della Sicurezza Civile e
Industriale**



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**LA SICUREZZA ANTINCENDIO DELL'EDIFICIO
SPES
E IL METODO PRESTAZIONALE**



Relatore: ING. FABIO DATTILO
Correlatori: ING. MICHELE CALDEROLLA

Laureando: CATERINA TOLLOT

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

Indice

INTRODUZIONE	1
IL PROGETTO SPES PRESSO I LNL	3
1.1 IL PROGETTO SPES	3
1.2 LA FISICA DI SPES:.....	4
1.3 LA FACILITY	9
1.3.1 Il ciclotrone.....	12
1.3.2 Il target di produzione e il sistema di estrazione e ionizzazione	12
1.3.3. Il front-end	13
1.3.4 Separatori magnetici e post-accelerazione.....	14
1.4 LE APPLICAZIONI DEL PROGETTO.....	15
L'INGEGNERIA PER LA SICUREZZA ANTINCENDIO O FSE	17
2.1 LA NORMATIVA ANTINCENDIO IN ITALIA	17
2.2 IL NUOVO CODICE DI PREVENZIONE INCENDI.....	20
2.2.1 Obiettivi.....	20
2.2.2 Principi.....	21
2.2.3 Applicazione	21
2.2.4 Struttura e metodo	22
2.3 L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO	24
2.3.1 Analisi preliminare (I fase).....	25
2.3.2 Analisi quantitativa (II fase)	27
2.3.3 Le novità dell'approccio prestazionale	29
2.4 L'ITER AUTORIZZATIVO DI SPES.....	29
2.5 IL TOOL: LA SUITE NAMIRIAL PER I SOFTWARE FDS E EVAC	31
2.5.1.1 Modello di calcolo	33
2.5.2 Il software EVAC.....	34
2.5.2.1 La modellazione degli agenti	35
2.5.2.2 Il processo di selezione delle uscite e la classificazione degli agenti.....	38
2.5.3 Verifica e validazione dei casi.....	40
2.5.4 La suite Namirial	40
L'EDIFICIO SPES	45
3.1 L'EDIFICIO	45
3.1.1 Il piano interrato.....	46
3.1.2 Primo piano	46
3.2 LA STRUTTURA	46
3.2.1 SLV:	47
3.2.2 SLD:.....	49
3.2.3 SLO:.....	50
3.3 IMPIANTI A SERVIZIO DELL'EDIFICIO SPES	53
3.4 IL SISTEMA DI VENTILAZIONE E IL TRATTAMENTO ARIA.....	64
L'ANALISI PRELIMINARE	71

4.1 LA SCELTA METODOLOGICA	71
4.2 L'ANALISI PRELIMINARE.....	72
4.3 IDENTIFICAZIONE DEGLI OBIETTIVI DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO.....	73
4.4 DEFINIZIONE SOGLIE DI PRESTAZIONE.....	74
4.5 SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO	75
4.5.1 Scenario "Sala sperimentale" e "bunker"	78
4.5.2 Deposito materiale (possibile futura edificazione).....	79
4.5.3 Gas Recovery System (bombole sotto vuoto).....	80
4.5.4 Terza sala	80
4.5.5 Sala sperimentale A13.....	81
4.5.6 Beam Dump.....	81
4.5.7 Sala controllo.....	81
4.5.8 Sala Unità Trattamento Aria	81
4.5.9 Sala Alimentatori	82
4.5.10 Laboratori UCx.....	82
ANALISI QUANTITATIVA	83
5.1 METODOLOGIE DI STUDIO IMPIEGATE	83
5.2 SIMULAZIONE SALA A1 "CICLOTRONE"	85
5.3 SIMULAZIONE SALA A6 "BUNKER"	94
5.4 SIMULAZIONE "TERZA SALA"	99
5.5 SIMULAZIONE "SALA ALIMENTATORI"	104
5.6 SIMULAZIONE "CENTRALE TECNOLOGICA- UNITÀ TRATTAMENTO ARIA"	106
5.7 FORMAZIONE ATMOSFERA ATEX IN SALA A1	108
5.8 GRS-GAS RECOVERY SYSTEM.....	115
5.9 SCENARI QUALITATIVI.....	116
5.9.1 Beam Dump.....	116
5.9.2 Sala controllo.....	117
5.9.3 Laboratori UCx.....	120
5.9.4 Sala sperimentale A13.....	121
5.10 L'ESODO	121
5.11 RISPETTO DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE	125
CONCLUSIONI.....	129
BIBLIOGRAFIA.....	135

Introduzione

Presso i Laboratori Nazionali di Legnaro, gestiti dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), è attivo il progetto SPES (Selective Production of Exotic Species), mirato alla ricerca multidisciplinare, dalla fisica di base alla produzione di radionuclidi a uso medicale. Il progetto prevede 4 fasi (α , β , γ , δ) la prima delle quali consiste nell'installazione e messa in opera di un ciclotrone ad alta corrente in uscita (fino a 0,7 mA) e ad alta energia (fino a 70 MeV). L'inizio delle attività della facility è stato condizionato secondo la normativa vigente a nulla osta di fattibilità da parte del Ministero degli Interni, il quale prevede l'ottenimento del Certificato di Prevenzione Incendi rilasciato dal Comando dei Vigili del Fuoco di Padova.

Lo scopo del lavoro di tesi, svolto sotto forma di tirocinio presso la Divisione Tecnica del Laboratori Nazionali di Legnaro, è quello di verificare l'applicabilità e l'efficacia del Metodo prestazionale, descritto nel Nuovo Codice di Prevenzione Incendi (D.M. 3 agosto 2015), in ambiti estranei al campo di applicazione del decreto, e allo stesso tempo approfondire lo studio della sicurezza antincendio dell'edificio SPES, come da richiesta dei Vigili del Fuoco per l'ottenimento del CPI. Si è scelto a questo scopo di usare un software elaborato dal NIST per la simulazione di incendi, FDS, rilasciato open-source nel 2000 e da allora costantemente aggiornato e validato da professionisti del settore in tutto il mondo.

La prima fase del lavoro si è focalizzata sullo studio dell'impianto, sia per le opere già realizzate e in funzione, che per la parte ancora in fase di progetto. Le alte energie a cui lavora il ciclotrone attivano la materia circostante lo strumento, creando un ambiente a radioattività variabile, motivo per cui l'edificio è stato progettato per impedire la fuga di contaminante dalla struttura. Sono state considerate sia le soluzioni strutturali (grandi spessori nelle murature, isolamento dell'edificio dalla falda acquifera) che impiantistiche (impianti di ventilazione, trattamenti di filtraggio per l'aria e ricircolo delle acque di raffreddamento), valutando quali fra queste potessero avere ripercussioni sulla sicurezza antincendio.

Introduzione

Al momento il ciclotrone ha appena terminato la fase di *commissioning*, sono dunque iniziati i primi test ma non sono ancora in funzione gli esperimenti previsti.

Ci si è avvalsi, per l'analisi del progetto, della documentazione tecnica prodotta durante la costruzione dell'edificio e di ispezioni sul campo, col supporto del personale dei Laboratori e ci si è confrontati con lo studio responsabile della progettazione antincendio, esterno all'ente.

Successivamente, si è potuto procedere con le simulazioni di incendio relative all'edificio SPES.

È stata elaborata un'analisi di rischio, usando il metodo Hazop e LOPA, sulla base della previsione di impiego delle aree dell'edificio, che ha permesso di determinare la pericolosità o meno ai fini antincendio delle attività condotte nell'edificio. Sono state così individuate le criticità rilevanti per la progettazione FSE. Si è utilizzato il software FDS (Fire Dynamics Simulator), un simulatore di incendi a modello di campo che, tramite il metodo degli elementi finiti, simula l'evoluzione dello scenario di incendio modellato dall'utente. La predizione si basa sulla risoluzione delle equazioni di Navier – Stokes, per flussi a bassa velocità termicamente controllati.

Con le simulazioni si è voluto testare la reazione dell'edificio a queste configurazioni di incidente, per verificare l'adeguatezza delle soluzioni strutturali e impiantistiche adottate.

Sempre con l'ausilio del preprocessore, si è potuto sfruttare anche un secondo software, EVAC, anch'esso fornito dal NIST, per simulare l'esodo dall'edificio, particolarmente critico a causa delle pesanti limitazioni alla fuga date dalle schermature e della pericolosità degli ambienti soggetti a rischio radiologico.

Il lavoro di tesi è stato poi elaborato seguendo la linea guida fornita dal Nuovo Codice di Prevenzione Incendi, in particolare seguendo quello che è definito come Metodo Prestazionale (Capitolo M).

Capitolo 1

Il progetto SPES presso i LNL

In questo Capitolo verrà descritto il progetto SPES, attivo presso i Laboratori Nazionali di Legnaro – INFN, all'interno del quale si inserisce il presente lavoro di tesi.

1.1 Il progetto SPES

I Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN hanno come attività principale la proposta, il coordinamento e la realizzazione di lavori di ricerca teorici e sperimentali nel settore della Fisica Nucleare Fondamentale, così come in altri settori, legati allo studio delle interazioni della materia con le radiazioni o con i fasci di particelle. La Fisica Nucleare Fondamentale è la branca della fisica che studia il nucleo atomico nei suoi costituenti, protoni e neutroni, e le loro interazioni, ed è sin dalla fondazione la missione principale dei Laboratori di Legnaro. Lo strumento scelto per perseguire questa ricerca è l'acceleratore di ioni: questi imponenti macchinari vengono usati come sorta di "microscopi". Fasci di particelle vengono accelerati, tramite l'interazione della carica elettrica con campi elettromagnetici, e fatti scontrare. I proiettili vengono così frammentati nei loro componenti fondamentali, che vengono captati da appositi rilevatori.

I primi acceleratori impiegavano un unico stadio di accelerazione, quelli di nuova generazione impiegano più fasi circolari (detti per l'appunto ciclotroni).

Dal 1960 i LNL si sono sviluppati per circa 20 anni attorno ad acceleratori del tipo elettrostatico (CN, AN2000, Tandem) per poi evolversi verso tecnologie più avanzate

Il progetto SPES presso i LNL

con il linac superconduttivo ALPI (anni '90) e l'iniettore superconduttivo con tecnologia RFQ, PIAVE (2004).

Il prosieguo del parco acceleratori dei Laboratori si concretizza nel progetto SPES.

SPES è l'acronimo per "Selective Production of Exotic Species": scopo del progetto è di creare fasci di nuclei ricchi di neutroni (*neutron-rich*) ad alta intensità, per scopi di ricerca nel campo della struttura nucleare e per studi applicativi in ambito medico e di scienze dei materiali.

1.2 La fisica di SPES:

Il componente primario della materia, che ne influenza le proprietà, è l'atomo. Esso costituisce la più piccola particella di un elemento che non subisce trasformazioni chimiche.

L'atomo è costituito da vari elementi, che si differenziano per massa, carica elettrica e disposizione: neutroni e protoni costituiscono il nucleo, essi hanno massa simile (rispettivamente 1,00866 uma e 1,007276 uma) e carica neutra e positiva ($e = 1,6022 \times 10^{-19} C$); gli elettroni sono particelle di massa molto inferiore (0,000549 uma) di carica negativa ($-e$), che ruotano attorno al nucleo.

Il 99,9% della massa dell'atomo si concentra nel nucleo, che è dunque il principale responsabile delle caratteristiche fisiche dell'elemento.

Ogni nucleo viene individuato dal numero di particelle che lo compongono:

- Z : è il numero atomico, caratteristico dell'elemento, e individua il numero di protoni (e dunque di elettroni, poiché l'atomo è elettricamente neutro);
- N : indica il numero di neutroni, che può essere variabile per lo stesso elemento, determinando degli isotopi.
- $A = Z + N$: fornisce il numero di massa, con il quale si indicano usualmente gli isotopi poiché Z è necessariamente unico per ciascun elemento (es: ^{238}U oppure ^{235}U).

La carica del nucleo quindi è data solo dai protoni, fra i quali si esplica una forza repulsiva in virtù della carica dello stesso segno. L'integrità del nucleo è data da una

seconda forza, detta interazione forte, che agisce con un raggio di ordine di grandezza comparabile con le distanze atomiche ($10^{-15} m = 1 \text{ Fermi}$).

Si definiscono dunque stabili i nuclei nei quali queste due forze riescono a contrastarsi, e tale caratteristica è descrivibile con il rapporto fra il numero di protoni, che esercitano reciprocamente forza di repulsione coulombiana, e il numero dei neutroni, che mediano l'interazione forte. Questa classificazione è rappresentata graficamente nella Carta dei Nuclei.

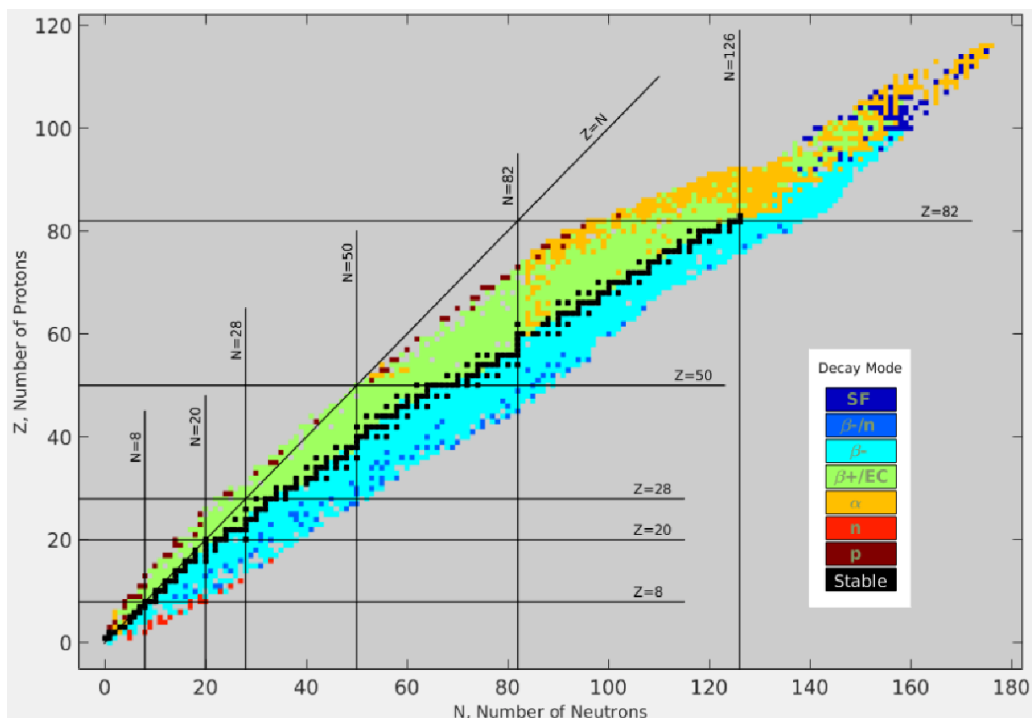


Fig. 1.1: Carta dei nuclei (dal sito ufficiale IAEA)

I nuclei stabili si collocano nella “valle di stabilità”, in nero nel grafico, che equivale alla retta $Z=N$ fino a $N=20$, successivamente si nota che servono più neutroni per compensare la repulsione coulombiana dei protoni. I nuclei *neutron-rich* o *proton-rich* sono invece distanti dalla valle di stabilità e dunque soggetti a decadimento radioattivo, fenomeno che permette loro di raggiungere uno stato quantico stabile.

Il decadimento può avvenire in diverse modalità, indicate graficamente nella carta:

- Decadimento α : modalità di decadimento tipica di nuclei con $82 < Z < 92$ e di elementi transuranici artificiali con $Z < 92$ (in giallo nella carta). Viene emesso

Il progetto SPES presso i LNL

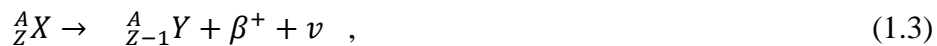
un gruppo di nucleoni legati fra loro (2 protoni e 2 neutroni) poiché l'energia di legame di questo gruppo aumenta l'energia totale disponibile per il processo.



- Decadimento β^- : per nuclei con eccesso di neutroni, un neutrone si trasforma in un protone con emissione di un elettrone e un antineutrino (in azzurro e blu chiaro).



- Decadimento β^+ : per nuclei con eccesso di protoni, un protone si trasforma in un neutrone, emettendo un positrone e un neutrino (in verde). È un decadimento meno frequente del β^- , poiché presenta come alternativa la cattura elettronica.



- Cattura elettronica ϵ : per nuclei con eccesso di protoni, un protone può assorbire uno degli elettroni degli orbitali più interni (quelli del guscio K o *K-shell*) e diventare un neutrone, emettendo un neutrino (in verde). Il “riscaldamento” degli elettroni nei gusci provoca emissione di energia sotto forma di raggi X.



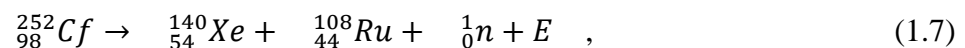
- n^0 decay: avviene in nuclei fortemente instabili per eccesso di neutroni, che possono arrivare a emettere un intero neutrone (in rosso). Di solito, il nucleo che decade in questo modo è generato da un decadimento β^- . Esempio importante di questo fenomeno sono i neutroni ritardati, usati per il controllo della reattività nei reattori nucleari.



- p decay: questo tipo di decadimento è estremamente raro, avviene di solito in nuclei ad un elevato stato di energia, usualmente generati da un decadimento β (in marrone).



- Fissione spontanea: avviene per nuclei estremamente pesanti (in blu nella carta dei nuclei). L'elemento si scinde autonomamente in due nuclei distinti, come avviene per esempio nella reazione:



- Emissione γ : per isotopi che si trovano in uno stato eccitato possono “transitare” ad uno stato energetico meno eccitato con l'emissione di uno o più fotoni γ ad alta frequenza. I decadimenti α e β , così come anche i più rari p e n^0 , non sono quasi mai puri, hanno una modalità di decadimento ad elevata probabilità verso uno stato eccitato del nucleo figlio, che decade poi ulteriormente con emissione γ .



- Conversione interna: alternativamente a una emissione γ , l'energia di eccitazione di un nucleo figlio può essere trasferita a un elettrone degli orbitali interni, che viene quindi espulso con energia cinetica pari alla differenza fra l'energia di eccitazione e l'energia di legame dell'elettrone. Non si tratta, come nell'emissione β , di un elettrone generato ex novo nel nucleo, ma di un elettrone pre-esistente, che una volta espulso lascia una lacuna nel guscio elettronico. La lacuna viene riempita da un elettrone più esterno, che “scarica” la sua energia in eccesso con emissione di fotoni X. È possibile anche l'emissione di un secondo

Il progetto SPES presso i LNL

elettrone grazie a un'elevata energia di eccitazione, questo elettrone viene detto elettrone di Auger.



I nuclei instabili sono anche detti “esotici”, fino ad oggi ne sono stati individuati e classificati circa 2000, ma i calcoli teorici predicono l'esistenza di circa 6000 nuclei, localizzati per la maggior parte nella cosiddetta “terra incognita”.

Al momento le nostre conoscenze si concentrano sui nuclei compresi nella valle di stabilità, o nuclei con deficienza di neutroni, ma la disponibilità di fasci di ioni instabili ha dato accesso a regioni inesplorate della carta dei nuclei, specialmente nel lato dei nuclei ricchi di neutroni. Partendo da un nucleo nella valle di stabilità e aggiungendo neutroni, si osserva che l'energia di legame dell'ultimo neutrone decresce fino a svanire e il nucleo decade per emissione neutronica. La posizione sulla carta dei nuclei dove questo avviene definisce la *neutron drip-line*.” La regione compresa tra la regione dei nuclei conosciuti e le *drip-line* è a volte chiamata terra incognita dei nuclei esotici, costituiti da un elevato numero di neutroni o protoni, ed è sede di un'intensa ricerca scientifica, dato che lo studio delle proprietà nucleari lontano dalla regione di stabilità permetterebbe una conoscenza più approfondita anche delle caratteristiche dei nuclei stabili.

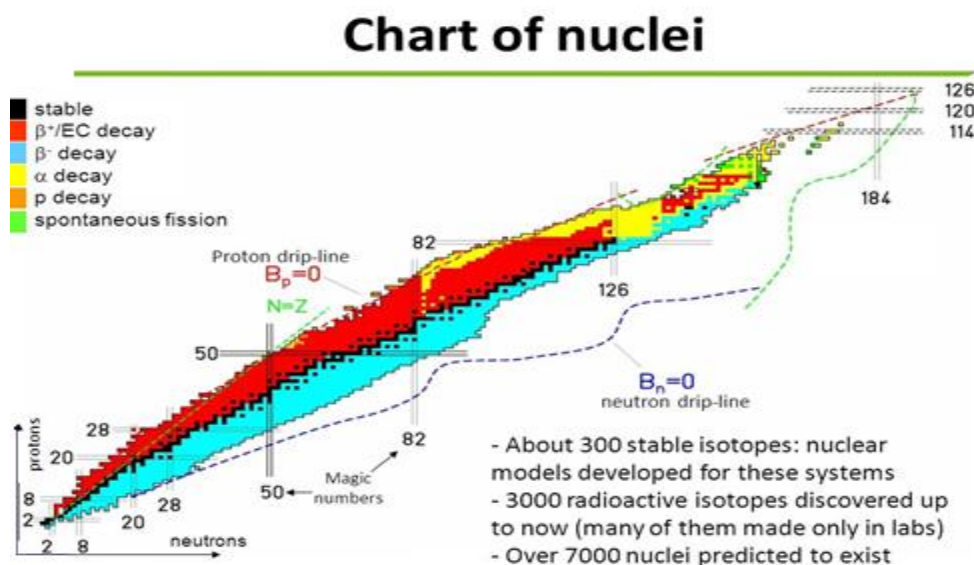


Fig. 1.2: localizzazione della *drip-line* sulla carta dei nuclei

La posizione della *drip-line* è ignota per la maggior parte dei nuclei poiché vi sono dati sperimentali solo per nuclei con massa attorno a 30. L'interesse nello studio dei nuclei con largo eccesso di neutroni non è focalizzato solo sulla localizzazione della *drip-line*, ma anche nell'investigazione della densità dei nucleoni in dipendenza della loro effettiva interazione, per rapporti N/Z esotici: ci si aspetta che cambi di densità e dimensione nucleare, con l'aumento del rapporto N/Z, portino a differenti simmetrie nucleari e a nuove modalità di eccitazione. Mentre in caso di nuclei leggeri è stata identificata una struttura, per nuclei più pesanti è stata prevista la formazione di una "pelle" di neutroni. L'evoluzione delle proprietà nucleari lungo la *drip-line* dipende da come cambia la struttura del guscio in funzione dell'eccesso di nuclei. Questa evoluzione ha conseguenze sullo stato fondamentale dei nuclei e sull'eccitazione della singola particella. In particolare, studi sui nuclei oltre il doppiamente magico ^{132}Sn sono la chiave per investigare la struttura della singola particella attorno a $N=82$ e trovare le effettive interazioni fra i nucleoni di valenza lontani dalla stabilità."

Alle alte energie di SPES è possibile rispondere a importanti domande relative allo studio della materia ricca di neutroni, come le forze nucleari, densità, viscosità, barriere, accoppiamento di neutroni e modalità collettive, sarà analizzata una più ampia e stimolante area di ricerca nella spettroscopia nucleare e nei meccanismi di reazione, studio che sarà utile nel campo dell'astrofisica.

1.3 La facility

Il progetto operante presso i LNL è articolato in 4 fasi:

- SPES- α : questa fase prevede l'acquisizione, l'installazione e la messa in opera di un ciclotrone ad alte prestazioni con un'alta corrente in uscita ($\sim 0,7$ mA) e ad alta energia (fino a 70 MeV), oltre all'infrastruttura necessaria per l'acceleratore e per le aree sperimentali. Il ciclotrone sarà provvisto di due porte di uscita per consentire la realizzazione della doppia missione del laboratorio: la ricerca di base e le applicazioni tecnologiche. Uno dei due fasci sarà dedicato alla facility di fisica nucleare, per la produzione di ioni ricchi di neutroni per collisione di

Il progetto SPES presso i LNL

protoni su un target di UCx, il secondo sarà dedicato a studi di fisica applicata. Questa fase si è conclusa il 31 marzo 2018;

- SPES- β : prevede la produzione e l'accelerazione di specie neutron-rich verso target opportuni. Nelle collisioni verranno prodotti nuclei nuovi, con un largo eccesso di neutroni, simili a quelli generati nelle fasi terminali della vita delle stelle e che non sono presenti sulla Terra, a causa della loro brevissima vita. La ricerca in questo ambito rappresenta una nuova frontiera della fisica per estendere la conoscenza di nuclei in condizioni estreme e per fornire informazioni di base nello studio dell'evoluzione stellare;
- SPES- γ : questa fase riguarda la produzione di radionuclidi di interesse medico mediante l'uso del ciclotrone SPES- α . L'obiettivo è la produzione di radio-farmaci innovativi (come quelli basati su Sr-82/Rb-82 e Ga-68/Ge-68) e di radionuclidi convenzionali con nuovi approcci basati sull'uso dell'acceleratore.
- SPES- δ : prevede lo sviluppo di un'intensa sorgente neutronica, dal ciclotrone e/o da un acceleratore lineare ad alta intensità basato sulla *radio-frequency quadrupole technology* (RFQ). Applicazioni della sorgente neutronica si estendono dall'astrofisica nucleare, alla caratterizzazione dei rifiuti nucleari e a trattamenti sperimentali di tumori.

L'apparato sperimentale di SPES è una facility di tipo ISOL (*Isotope Separation On-Line*), ed è in grado di produrre fasci di ioni radioattivi ricchi di neutroni (*Radioactive Ion Beam*, RIB), compresi nel range delle 80-160 uma, che verranno impiegati principalmente per produrre e studiare nuclei estremamente ricchi di neutroni e protoni, che non sono presenti in natura sulla Terra, ma sono caratteristici delle fasi conclusive della vita delle stelle. Si ritiene che lo studio di nuclei atomici con un largo eccesso di neutroni o protoni possa consentire la scoperta di nuove proprietà della struttura nucleare.

La tecnica ISOL consiste nella separazione degli isotopi in linea, i componenti di questo tipo di apparato sono descritti nello schema che segue (Fig.1.5):

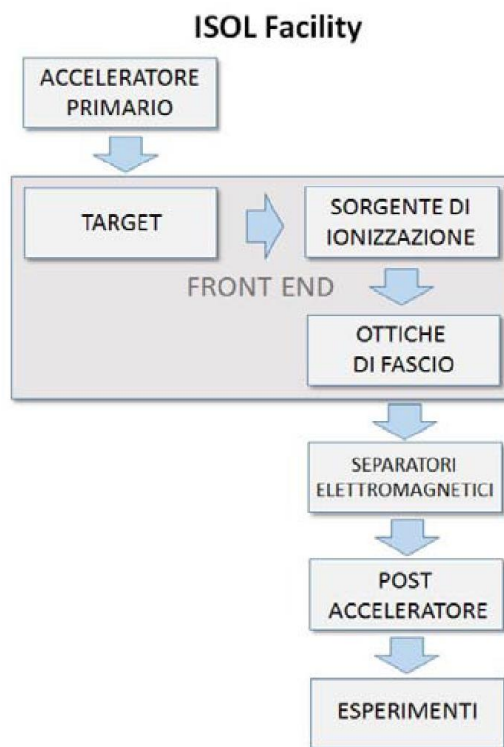


Fig. 1.3: Schema funzionamento di una facility di tipo ISOL

Dall'acceleratore primario, alimentato a atomi di idrogeno, esce un fascio di particelle all'energia voluta. Il fascio così prodotto e accelerato, a 40 MeV e 200 μA , va a collidere su un bersaglio (target) di materiale fissile, costituito da 7 dischi di carburo di Uranio (UC_x). Tale collisione genera varie reazioni nucleari nel target (fissione, spallazione, frammentazione, ...), dalle quali si producono gli isotopi radioattivi.

Una volta usciti dal target, i radioisotopi vengono ionizzati nel CB (*charge breeder*) e, grazie alla carica acquisita, accelerati per generare il fascio radioattivo RIB. Nel *front-end* o HRMS (*High-Resolution Mass Separator*) avviene il primo stadio di accelerazione, il fascio viene focalizzato e separato in massa al fine di ottenere un fascio chimicamente e isobaricamente puro. Si ha uno stadio di ri-accelerazione nell' RFQ (*Radio-Frequency Quadrupole*), infine si passa nel post-acceleratore (l'acceleratore LINAC superconduttore ALPI) per arrivare al livello di energia richiesto dall'esperimento.

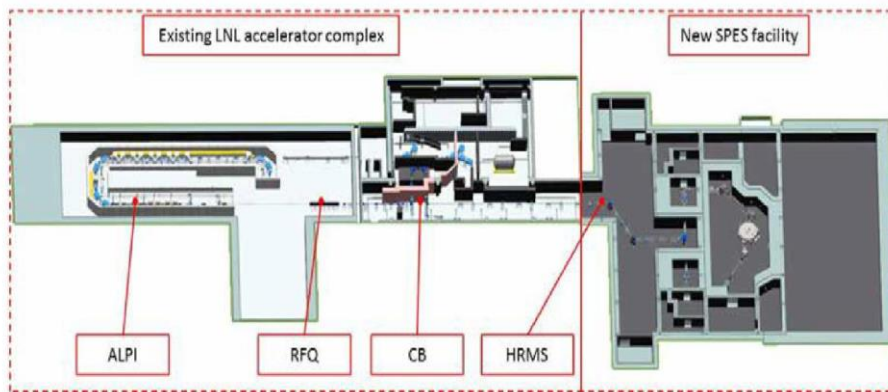


Fig. 1.4: Layout della struttura ai LNL

1.3.1 Il ciclotrone

La facility si avvale di un ciclotrone commerciale, prodotto da una ditta canadese, la BEST CYCLOTRON, il BEST 70p, in grado di fornire simultaneamente e indipendentemente due fasci di ioni esotici, aventi corrente massima di $750 \mu\text{A}$ e fino a 70 MeV di energia. La doppia uscita dell'apparato verrà sfruttata da un lato per la ricerca di base, dall'altro per la produzione di radiofarmaci, noti e innovativi. Il ciclotrone è stato installato e inaugurato nel dicembre 2016.



Fig.1.5: il ciclotrone Best 70p nel bunker di SPES presso i LNL

1.3.2 Il target di produzione e il sistema di estrazione e ionizzazione

All'interno di una camera cilindrica, denominata camera target, trovano posto il sistema di estrazione e ionizzazione del fascio. Considerate le alte temperature, il sistema viene raffreddato mediante un circuito chiuso ad acqua, inoltre l'interno della camera viene tenuto sotto vuoto per evitare l'ossidazione dei componenti presenti e per consentire il libero cammino delle particelle estratte. In questa sezione sono posizionati i 7 dischi di carburo di Uranio che generano il fascio radioattivo.

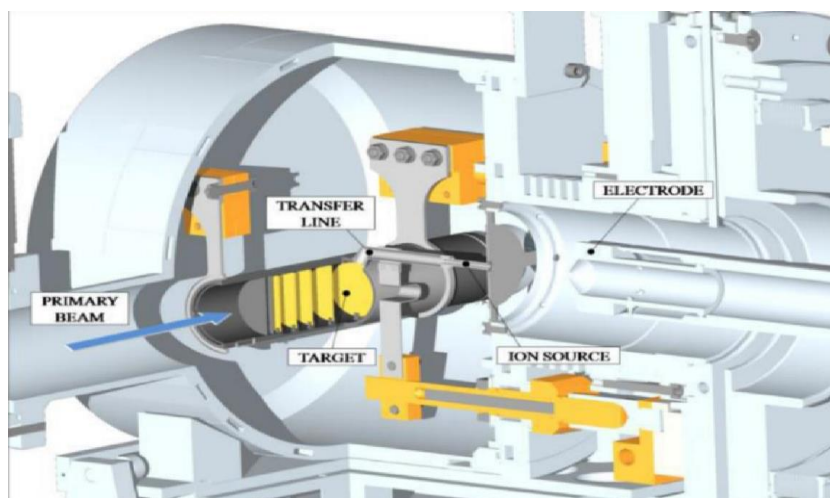


Fig. 1.6: Sistema di estrazione e ionizzazione

Il processo di estrazione avviene mediante la linea di trasferimento (*transfer line*), attraverso la quale gli isotopi in uscita dal target vengono indirizzati verso la sorgente di ionizzazione (*ion source*) dove sono ionizzati positivamente. Nell'attuale configurazione la linea di trasferimento è un tubo sottile in tantalio connesso meccanicamente alla sorgente di ionizzazione.

1.3.3. Il front-end

Il front-end è la parte dell'impianto dove vengono prodotti e trasportati i fasci radioattivi: si articola per il progetto SPES in due parti, il front-end protonico, che trasporta il fascio protonico proveniente dal ciclotrone, e il front-end radioattivo, che trasporta e accelera il fascio radioattivo.

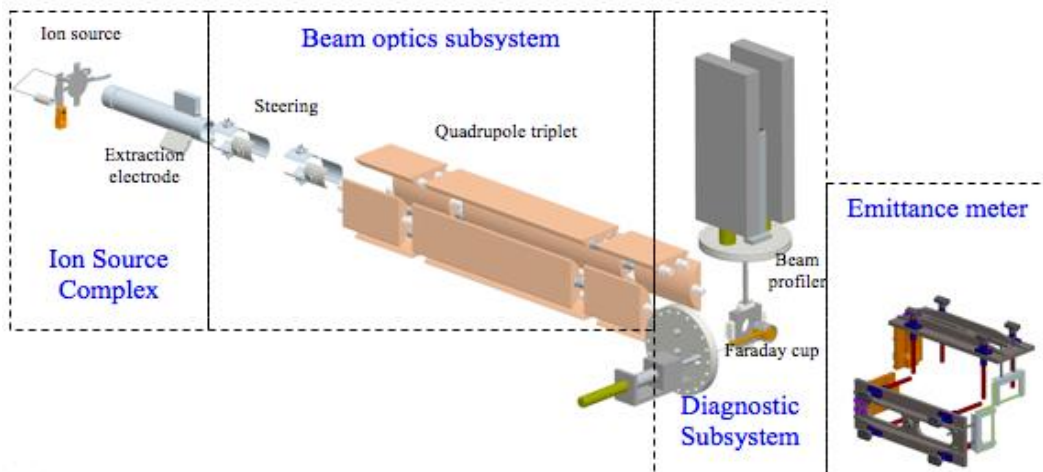


Fig. 1.7: Schematizzazione del front-end

Questa parte dell'apparato è tenuta ad un alto livello di vuoto, dell'ordine di 10^{-5} mbar, per facilitare il trasporto dei fasci e evitare l'ossidazione dei componenti. È stato realizzato in alluminio, poiché questo materiale ben sopporta l'incidenza di radiazione. Nell'immagine che segue sono illustrati gli isotopi che si prevede di estrarre a SPES, e con quali tecniche.

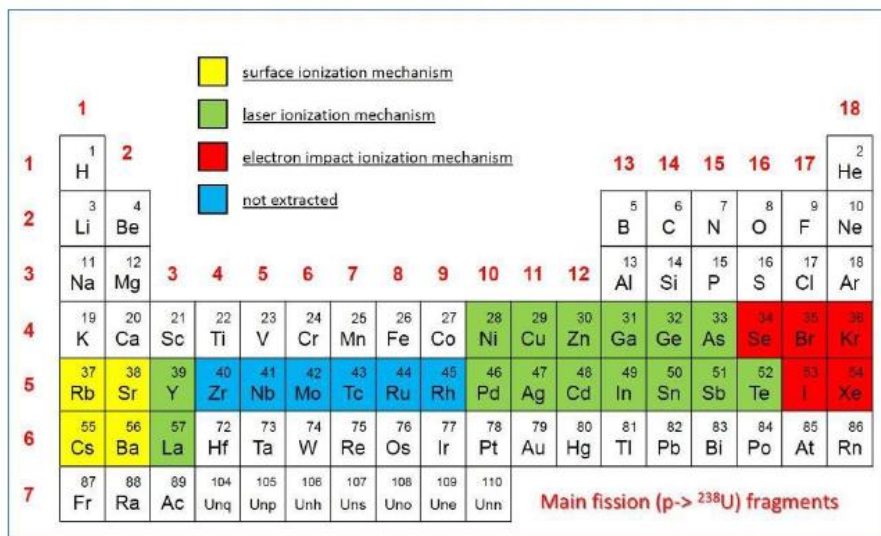


Fig. 1.8: Ioni prodotti a SPES, con le diverse tecniche

1.3.4 Separatori magnetici e post-accelerazione

Una volta prodotto, il fascio radioattivo risulta costituito da vari elementi e impurità. Attraverso un separatore di massa viene quindi selezionato l'elemento che si desidera studiare, in seguito il fascio viene ulteriormente purificato attraverso un separatore

isobaro che consente di separare gli isotopi di diversi elementi ma isobari fra loro. Da questo momento il fascio può essere utilizzato da esperimenti che richiedono bassissima energia, oppure può essere riaccelerato. La post accelerazione è ottimizzata da un *Charge Breeder*, che incrementa la carica degli ioni prima dell'ingresso nell'acceleratore PIAVE-ALPI.

1.4 Le applicazioni del progetto

Gli obiettivi del progetto SPES spaziano in molteplici campi, dalla fisica nucleare, astrofisica, fisica dello stato solido, alla ricerca medica e industriale.

- Approfondimento e miglioramento del modello standard: l'impiego di fasci radioattivi altamente energetici può aprire molte frontiere nella comprensione della struttura nucleare, determinando come interagiscono fra loro le sub-particelle costituenti i nucleoni, i quark, o ancora dando misure più precise delle dimensioni nucleari, indagando ad esempio il fenomeno dei nuclei "halo". È inoltre possibile, producendo nuclei superpesanti appartenenti all'isola di stabilità (114 protoni e 184 neutroni) indagare le caratteristiche di questi nuclei. L'indagine dei nuclei superpesanti e/o instabili incrementerebbe anche le nostre conoscenze della vita delle stelle.
- Applicazione nella fisica dello stato solido: con la tecnica del *Radio Tracer Diffusion*, ciò impiantando in un sistema solido dei nuclei radioattivi e studiandone il decadimento, è possibile vedere le modalità di diffusione all'interno di sistemi solidi. Tale applicazione può essere molto importante per creare nuovi e migliori semiconduttori, aumentando l'efficienza delle tecniche di drogaggio, grazie alla migliore conoscenza delle strutture atomiche.
- Applicazioni in medicina nucleare: parte importante dello scopo di SPES, tanto da essere stata finanziata come progetto a sé stante, è la ricerca nel campo dei radio-farmaci. Non solo SPES potrà diventare una infrastruttura produttrice di radio-farmaci di uso comune, agevolando l'approvvigionamento per il sistema sanitario nazionale italiano,

Il progetto SPES presso i LNL

l'apparato verrà impiegato anche per cercare nuovi isotopi idonei all'applicazione medica, allargando le frontiere della medicina nucleare.

Le molteplici sfaccettature del progetto SPES ne fanno una grande promessa per la ricerca italiana. La sperimentazione si inserisce in un quadro di più ampio respiro, il progetto EURISOL, a cui SPES ai LNL, ISOLDE al CERN e SPIRAL2 al GANIL fanno da “campo di prova”. Con queste tre strutture si stanno già esplorando regioni ad oggi sconosciute della carta dei nuclei, con l'obiettivo ulteriore di sviluppare tecnologie adeguate a facility in grado di lavorare a energie ancora più elevate, con fasci più puri e con tassi di estrazione più alti.

Capitolo 2

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

L'entrata in funzione del progetto SPES è stata condizionata da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), secondo l'iter autorizzativo vigente, all'ottenimento del Certificato di Prevenzione Incendi. Data la particolarità dell'opera in esame, si è scelto di applicare a questa pratica il metodo della FSE (Fire Safety Engineering), ovvero un'analisi di sicurezza che si avvale di simulazioni di incendio per quantificare il rischio cui l'attività è sottoposta e valutare la bontà delle scelte effettuate applicando la normativa con il processo tradizionale. Tale metodo verrà illustrato nelle pagine successive.

2.1 La normativa antincendio in Italia

Il tema della sicurezza è sempre più presente nell'intento del legislatore italiano, sotto svariati punti di vista, che possono essere riassunti nelle due denominazioni inglesi di "*safety*" o "*security*":

- La *safety* è l'insieme delle misure e dei dispositivi finalizzati a prevenire o ridurre gli infortuni in ambito lavorativo. Comprende i sistemi di protezione dalle cadute, dallo schiacciamento, la sicurezza antincendio, la gestione del rischio chimico.
- La *security* è invece tutto ciò che riguarda la sicurezza dei cittadini.

La sicurezza antincendio è uno degli aspetti più trasversali della *safety*, coinvolge ogni tipo di attività, di piccole o grandi dimensioni, e deve essere gestita in modo

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE consapevole. Essendo un rischio "convenzionale", spesso il rischio incendio viene sottostimato o mal gestito, *modus operandi* che può portare a conseguenze molto severe, anche in contesti inattesi, come dimostrano ad esempio i recenti avvenimenti della "Grenfell Tower" di Londra¹.

Negli ultimi anni la normazione italiana ha fatto molti passi avanti su questo tema, contestualmente al crescente sviluppo tecnologico che si è registrato sia nella progettazione e gestione di impianti produttivi che nella qualità dei materiali disponibili. Si è affrontato il problema con diversi approcci, cercando di rendere la cultura della sicurezza antincendio il più possibile applicabile nei diversi contesti, dai grandi stabilimenti alle scuole. La normativa antincendio in Italia esiste dagli anni '30, quando è stato introdotto il DM 31 luglio 1934, "Approvazione delle norme di sicurezza per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego o la vendita di oli minerali, e per il trasporto degli oli stessi".

Il primo approccio scelto è il metodo prescrittivo, che prevede per ogni attività una serie di adempimenti che devono essere soddisfatti affinché l'attività sia sicura: in questo caso la normativa è estremamente esaustiva nella descrizione delle misure da adottare, e i limiti imposti sono solitamente molto conservativi.

Se da un lato queste modalità rendono semplice individuare soluzioni idonee in contesti standardizzati, d'altro canto è molto difficile, in situazioni particolari, adeguare le richieste alle esigenze dell'attività, ad esempio in edifici storici, che non possono subire modifiche strutturali sostanziali. In questi frangenti è necessario ricorrere all'istituzione della deroga, ovvero a una valutazione delle misure alternative proposte, da parte del Corpo dei Vigili del Fuoco, che può essere approvata o meno.

La particolarità e/o complessità delle attività diffuse in Italia ha portato molto spesso all'uso della deroga come strumento di progettazione, rendendo lo svolgimento delle pratiche spesso lento e complesso, a volte anche insoddisfacente, a causa della mancanza di flessibilità della normativa.

Un primo passo verso la semplificazione, almeno procedurale, è stato compiuto nel 2011, con il DPR 151/2011, "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi": nel provvedimento vengono individuate 3 categorie di attività, in base al rischio incendio crescente che le caratterizza (A, B, C), differenziando per ciascuna l'iter autorizzativo, a seconda della

¹ 14 giugno 2017, Symposium Day: innovazione tecnologica e sicurezza antincendio degli edifici, F.Dattilo, 2017 <http://www.fireonline.it/wp-content/uploads/2017/12/3-F.-Dattilo-Nuove-tecnologie-costruttive-nuovi-rischi.pdf>

complessità dell'attività (Fig. 2.1): per tutte le categorie è necessaria la SCIA, inoltre può essere richiesta una valutazione del progetto del sistema di sicurezza antincendio ed essere effettuati controlli sul regolare svolgimento dell'attività. Viene inoltre attribuita alla SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Attività) valenza autorizzativa, ovvero viene riconosciuto il permesso di esercizio dell'attività in esame prima della valutazione del progetto da parte dei VVF, dove questo sia necessario. Alla SCIA vengono allegati dichiarazioni/attestazioni/asseverazioni e elaborati di tecnici abilitati, i quali diventano dunque responsabili della correttezza della progettazione. Con la risposta dei VVF, che dovrà comunque pervenire entro 60 giorni dal recepimento, la pratica andrà poi a chiudersi con il rilascio del CPI (Certificato di Prevenzione Incendi).

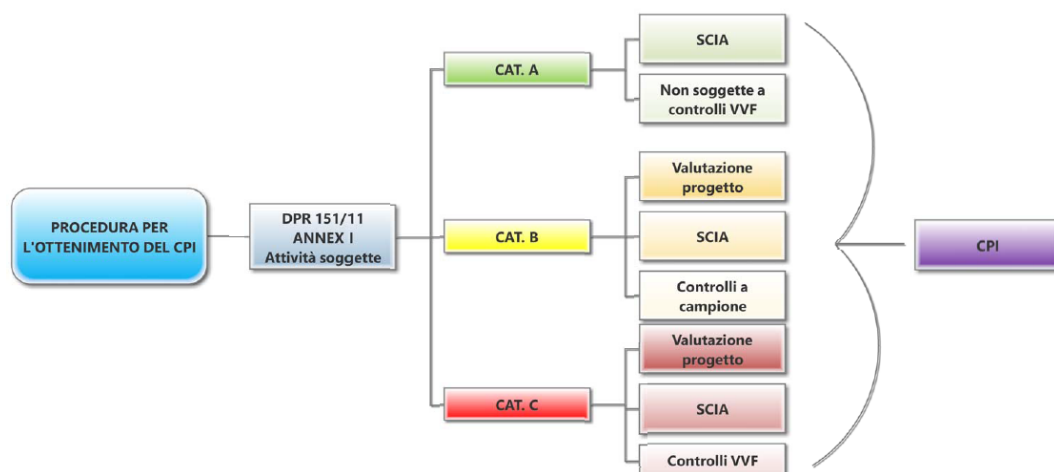


Fig. 2.1: Schema procedurale per ottenimento del CPI

Per quanto riguarda la mancanza di flessibilità progettuale, è il D.M. 9 maggio 2007 (“Direttive per l’attuazione dell’approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio”) a intervenire, introducendo la FSE in Italia, regolando l’uso di modelli di calcolo, prove sperimentali, valutazioni sul campo. È l’introduzione del metodo prestazionale, che prevede una analisi di rischio specifica per ogni attività e, sulla base di questa, la valutazione delle scelte progettuali più idonee, in conformità a soglie di prestazione di comprovata affidabilità. Si ovvia in questo modo alla scarsa elasticità delle norme prescrittive finora applicate.

Tuttavia, nonostante i grandi miglioramenti dati da questi provvedimenti, rimaneva ancora molta confusione nella normativa, che mancava di organicità e sistematicità.

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

Rimanevano inoltre importanti aree di vuoto legislativo nelle cosiddette “attività non normate”, per cui non esistono norme tecniche specifiche.

La continuazione di questo percorso evolutivo, tramite l'ammodernamento dei principi regolatori e l'adozione di un approccio metodologico più aderente al progresso tecnologico, ha portato al DM 3 agosto 2015, “Norme tecniche di prevenzione incendi”, anche noto come “Nuovo Codice di Prevenzione Incendi”. Con questo ultimo provvedimento si è finalmente riusciti a uniformare la normativa, in linguaggio e in metodo, raccogliendo in un unico tomo i punti chiave di una progettazione antincendio efficace. Con questo provvedimento viene anche abrogato il D.M. 9 maggio 2007, per il principio di sostituzione con normativa più recente in materia, il Codice per l'appunto.

2.2 Il Nuovo Codice di Prevenzione Incendi

Come già anticipato, il Codice è il più recente provvedimento in materia di antincendio applicato in Italia. Introdotto con il D.M. 3 agosto 2015, serve a soddisfare gli adempimenti del nuovo approccio: nelle vecchie normative si prevedeva un approccio prescrittivo, per certi aspetti limitante. Con il Codice e il nuovo metodo prestazionale, che introduce un approccio più elastico e adattabile alle nuove realtà odierne, si vogliono superare queste difficoltà.

2.2.1 Obiettivi

Il nuovo codice mira a uniformare le varie normative che si sono succedute negli anni, costruendo uno schema progettuale basato sull'analisi di rischio e sulla validazione scientifica delle soluzioni progettuali adottate. In precedenza ci si confrontava con diverse normative che solo se applicate nella loro interezza garantivano la sicurezza e la rispondenza alla legge. Il codice prevede invece la valutazione della rispondenza fra le esigenze della sicurezza antincendio e le prestazioni attese dalla costruzione.

Gli obiettivi generali sono:

- Minimizzare le cause di incendio;
- Garantire la stabilità delle strutture portanti al fine di assicurare il soccorso agli occupanti;
- Limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dei locali;
- Limitare la propagazione dell'incendio a locali o edifici contigui;
- Assicurare la possibilità di lasciare l'edificio agli occupanti;

- Garantire le operazioni in sicurezza alle squadre di soccorso.

Si vuole perseguire questi risultati sfruttando appieno le potenzialità offerte dai recenti progressi tecnologici.

2.2.2 Principi

Il Nuovo Codice vuole essere il più possibile generale, capace di coprire tutte le esigenze di progettazione antincendio. Per fare questo, si è costruito uno schema progettuale modulare, che guida il professionista nella costruzione di un progetto completo, nel modo più semplice possibile. Principio cardine del nuovo approccio è la flessibilità, esigenza fondamentale per rispondere ai diversi bisogni delle molteplici attività che necessitano di un piano di sicurezza antincendio. Per permettere questo, per ogni modulo individuato nella sequenza progettuale vengono proposte più soluzioni, prescrittive o prestazionali, e vengono definiti i metodi riconosciuti dell'ingegneria antincendio

Si è voluto creare uno standard unico, in linguaggio e in metodo, in contrapposizione alla miriade di normative precedenti, basato sull'evidenza scientifica, sulla prospettiva di inclusione di ogni tipologia di occupanti delle attività e sull'aggiornabilità del provvedimento a seguito di innovazioni tecniche e metodologiche pertinenti al campo della sicurezza antincendio.

2.2.3 Applicazione

Il nuovo Testo Unico non è comunque onnicomprensivo: per le attività per cui esiste una Regola Tecnica Verticale si rimanda ai D.M. specifici, che in alcuni casi sono stati riscritti con il metodo e il linguaggio del Codice (RTV aggiornate sono previste per: aree a rischio specifico, vani ascensori, aree a rischio esplosione, uffici, attività ricettive alberghiere, scuole, sono state inserite nel testo del Decreto alla sezione V dell'Allegato).

Esso è dunque applicabile a nuove attività o ad attività esistenti secondo quanto definito nell'Art. 2, D.M. 3/08/2015, *Campo di applicazione*.

Si applica dunque ad attività soggette non normate (secondo D.P.R. 151/2011), può essere di riferimento per attività non soggette, di nuova realizzazione o adeguamento dell'esistente.

2.2.4 *Struttura e metodo*

Il D.M. 3 agosto 2015 si articola in due macro-aree. La prima è una Parte dispositiva, costituita da 5 articoli:

- Art. 1, Approvazione delle norme tecniche;
- Art. 2, Campo di applicazione;
- Art. 3, Requisiti e condizioni per l'impiego dei prodotti antincendio;
- Art. 4, Svolgimento e modalità del monitoraggio sull'applicazione delle norme tecniche da parte dei VVF;
- Art. 5, Disposizioni transitorie finali.
-

La seconda è un Allegato, che costituisce il Codice vero e proprio, divisa in quattro sezioni:

- **Sezione G:** Generalità "RTO" (termini, definizioni; progettazione antincendio; determinazione dei profili di rischio);
- **Sezione S:** Strategie antincendio "RTO" (misure antincendio, da reazione al fuoco a sicurezza impianti tecnologici);
- **Sezione V:** Regole tecniche verticali "RTV" (aree a rischio specifico, atmosfere esplosive, vani ascensori, attività scolastiche);
- **Sezione M:** Metodi "FSE" (ingegneria sicurezza antincendio, scenari per progettazione prestazionale, salvaguardia della vita).

La parte applicativa è costituita dall'Allegato, nel quale si definiscono le misure (definite strategie antincendio) idonee a minimizzare il rischio di incendio, in termini di probabilità e conseguenze, entro limiti considerati accettabili, garantendo gli obiettivi primari di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente.

La costruzione del Codice si basa su due ipotesi fondamentali:

- In condizioni ordinarie di esercizio l'incendio ha un solo punto d'innescio;

- Il rischio zero di incendio non esiste.

Le misure antincendio descritte sono dunque costruite su questi punti fermi, e mirano a ricondurre il rischio incendio entro limiti accettabili.

Per ogni misura antincendio vengono individuati dei livelli prestazionali (I, II, III, ...). Esse si dividono in misure di prevenzione, protezione e organizzativa, come descritte nella sezione S, delle strategie antincendio:

- S.1 Reazione al fuoco;
- S.2 Resistenza al fuoco;
- S.3 Compartimentazione;
- S.4 Esodo;
- S.5 Gestione della sicurezza antincendio;
- S.6 Controllo dell'incendio;
- S.7 Rivelazione ed allarme;
- S.8 Controllo di fumi e calore,
- S.9 Operatività antincendio;
- S.10 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio.

La prima fase della procedura prevede una valutazione del rischio, dalla quale si determinano i livelli di prestazione delle misure da adottare. Sono stati introdotti degli indicatori di rischio semplificati, per "parametrizzare" il rischio d'incendio e uniformare l'attribuzione dei livelli di prestazione:

- R_{vita} , profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana; (attribuito per ciascun compartimento);
- R_{beni} , profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni artistici, strategici ed economici; (attribuito per l'intera attività);
- $R_{ambiente}$, profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente dagli effetti dell'incendio (attribuito per l'intera attività).

La determinazione dei profili di rischio delle attività è descritta nella sezione G del codice, dove si trova la metodologia per quantificare gli indicatori. Una volta

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE determinati i parametri, è possibile attribuire i livelli di prestazione per ogni attività, sulla base dei quali si scelgono le misure progettuali, (conformi o alternative) che devono sempre raggiungere il livello prestazionale richiesto.

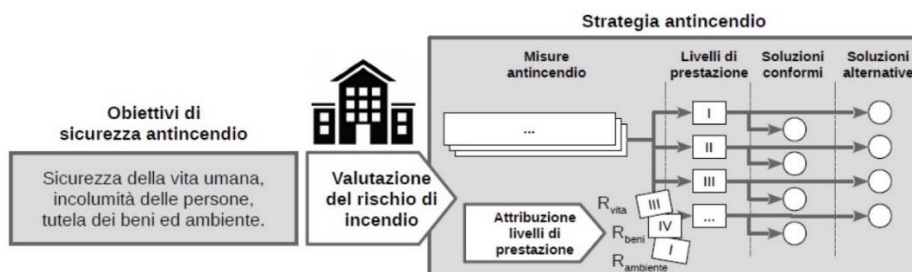


Fig. 2.2: schema concettuale della struttura del Nuovo codice di Prevenzione Incendi

La grande novità del Codice sta nell'introduzione del concetto di misure "conformi", "alternative" ed "in deroga", cioè di misure progettuali che possono essere immediatamente applicate, raggiungendo immediatamente i livelli prestazionali richiesti, oppure soluzioni diverse per le quali il progettista è tenuto a dimostrare l'efficacia delle soluzioni attuate impiegando i metodi della *Fire Safety Engineering*. Ampio spazio nello scritto è stato dato alla raccolta di metodi validati per l'applicazione della FSE, che devono essere supportati dall'introduzione di un Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio, passaggio questo che verrà affrontato nel dettaglio in seguito.

È altresì importante evidenziare come le soluzioni alternative proposte dal progettista non rientrino più nell'istituzione della deroga, a patto che se ne dimostri la validità, consentendo un notevole snellimento dei procedimenti autorizzativi. Da previsioni di costo effettuate su progetti realizzati applicando il Codice, è stato stimato un risparmio medio del 10% sui costi strutturali² della sicurezza antincendio.

2.3 L'ingegneria della sicurezza antincendio

Colonna portante del nuovo metodo prestazionale, l'ingegneria antincendio è stata introdotta dal DM 9/05/2007 ed integrata successivamente dal capitolo M del Codice di Prevenzione Incendi.

² <https://www.safetypartner.it/home/2015/11/8-novembre-2015-entrata-in-vigore-del-nuovo-codice-di-prevenzione-incendi/>

L'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio può essere organizzato nella seguente successione di fasi:

- analisi preliminare
- analisi quantitativa
- redazione del programma di gestione della sicurezza antincendio (SGSA).

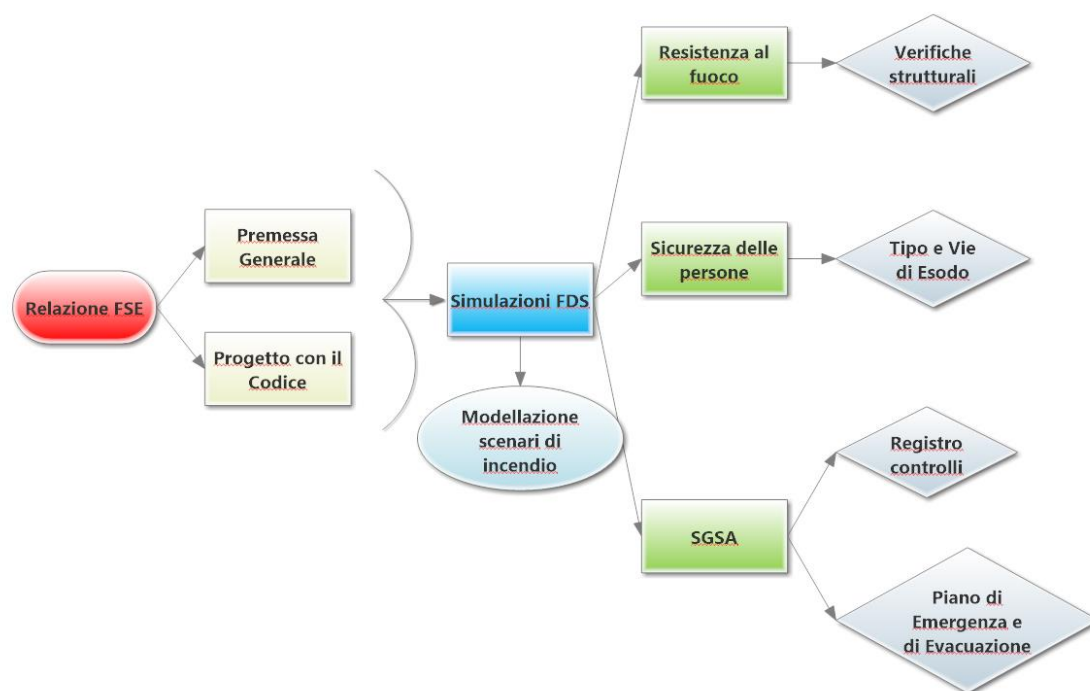


Fig. 2.3: Schema di flusso di una progettazione FSE

2.3.1 Analisi preliminare (I fase)

Durante l'analisi preliminare viene descritta dettagliatamente l'attività che si sta considerando, in modo da definire i dati caratteristici progettuali che dovranno essere considerati:

- vincoli imposti da normative o da esigenze peculiari dell'attività;
- pericoli d'incendio connessi alla destinazione d'uso prevista per gli edifici e i locali;
- fattori ambientali specifici collegabili alle conseguenze dello sviluppo dell'incendio;
- caratteri e comportamenti delle persone presenti in relazione alla tipologia di edificio considerata e alla sua destinazione d'uso.

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

Una volta classificata l'attività, si devono definire gli obiettivi di sicurezza che ci si vuole porre, i quali andranno quantificati con opportuni parametri, che verranno confrontati con i limiti prestazionali che garantiranno l'efficacia della progettazione. È possibile prendere i seguenti punti come obiettivi:

- le persone presenti devono essere in grado di lasciare la costruzione o di essere soccorse altrimenti;
- si devono considerare la sicurezza delle squadre di soccorso;
- si devono garantire la capacità portante dell'edificio per un periodo di tempo prefissato;
- si devono limitare la propagazione alle costruzioni vicine.

Una volta definiti gli obiettivi, si devono scegliere i parametri idonei a descriverli. In questo campo si fa genericamente riferimento alla normativa tecnica internazionale o a specifiche disposizioni legislative, come ad esempio:

- BS 7974, "*Application of Fire Safety Engineering to the Building Design*";
- ISO/TR 13387, "*Fire Safety Engineering*";
- DM Lavori Pubblici 9/05/2001, "Requisiti minimi di Sicurezza per aree interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante".

Parametro	Soglia di accettabilità
Temperatura ambiente	50 °C
Livello di visibilità	9 m
Concentrazione di ossigeno	15 %
Anidride carbonica	0,5 %
Monossido di carbonio	80 ppm

Tab. 2.1: Valori di soglia raccomandati per visibilità, concentrazione dei prodotti da combustione e temperatura (Ferrari et al., 2003)

Quindi, avendo così descritto il campo d'azione, la progettazione vera e propria ha inizio con la definizione degli scenari di incendio. Si tratta di schematizzazioni di eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione alle caratteristiche individuate dell'incendio, dell'edificio e delle persone presenti.

Sulla base delle previsioni ritenute più gravose per lo sviluppo e la propagazione delle fiamme, per la sollecitazione strutturale che ne segue e per la tutela delle persone

presenti e delle squadre di soccorso, posso costruire delle simulazioni di incendio, le quali devono basarsi su tre componenti:

- Caratteristiche del fuoco: sostanze combustibili coinvolte, loro disposizione, profilo temporale del rilascio termico e picco di potenza termica sviluppata (curva HRR). Definisco gli incendi a seconda della velocità di sviluppo (lenta, media, rapida, ultrarapida).
- Caratteristiche dell'edificio: geometria dei locali, proprietà termiche dei materiali coinvolti, condizioni di ventilazione.
- Caratteristiche delle persone presenti: affollamento, stato psico-fisico, familiarità con i luoghi, stato di veglia o sonno.

La scelta degli scenari di incendio è il risultato del giudizio esperto formulato congiuntamente da progettista e autorità in merito alla ragionevolezza e alla realistica delle ipotesi assunte: queste ipotesi servono a restringere il numero di casi di studio dall'infinità di scenari ipotizzabili.

Un aiuto nell'individuazione degli scenari viene dalle norme *NFPA 101 – Life Safety Code* e *NFPA – 5000 Building Construction and Safety Code*: vi si trovano descritti 8 scenari di incendio “canonici” che possono essere integrati dal progettista.

2.3.2 *Analisi quantitativa (II fase)*

Una volta individuati i possibili scenari, è necessario individuare le soluzioni impiantistiche adatte a coniugare gli obiettivi di sicurezza stabiliti e le caratteristiche dell'attività. Le simulazioni tramite modello di calcolo forniscono i parametri numerici utili al dimensionamento puntuale degli impianti.

La scelta del modello di calcolo, cruciale nella determinazione dei parametri di progettazione, si basa sulla complessità del progetto da analizzare e sul livello di conoscenze tecniche acquisite.

La traduzione in termini matematici del fenomeno della combustione è un processo complicato, che può essere risolto a diversi livelli di dettaglio: i codici di calcolo, una volta definito il modello teorico, devono essere ben delineati nelle condizioni al contorno. Una volta descritta la scena in cui il fenomeno è ambientato, il volume

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE considerato viene discretizzato in unità di calcolo, che verranno usate dal codice. In base a come viene realizzata questa fase si possono distinguere due tipi di modelli:

- Modelli a zona: dividono il volume di controllo in due macro-aree, la superiore contiene i prodotti della combustione, l'inferiore aria a condizioni ambientali. L'interfaccia fra i due volumi prevede una variazione a gradino delle grandezze di interesse. È un modello di simulazione semplice, che per quanto non sia estremamente preciso ha il grande pregio di non comportare elevati costi computazionali.
- Modelli di campo: sono dei modelli di calcolo fluidodinamici (CFD), che prevedono la suddivisione del dominio di calcolo in celle tridimensionali, in ognuna delle quali si considerano costanti le grandezze caratteristiche della reazione. Forniscono sia la variazione spaziale che temporale delle grandezze considerate, rivelandosi molto più accurati di un modello a zone, tuttavia richiedono maggior competenza tecnica e hardware performanti.

Poiché la progettazione prestazionale si basa su assunzioni ben precise del progettista, è necessario mantenere le condizioni iniziali su cui sono stati basati gli scenari di incendio. In virtù di questa necessità, si rende obbligatoria l'adozione di un Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio (SGSA): l'elaborazione di questo documento è un elemento di assoluta novità rispetto agli obblighi precedentemente stabiliti e diventa uno step fondamentale per le attività trattate con metodo ingegneristico.

Devono essere accuratamente descritte le ipotesi assunte in merito a:

- Organizzazione del personale;
- Identificazione e stime dei pericoli derivanti dalle attività svolte;
- Controllo operativo;
- Gestione delle modifiche;
- Pianificazione delle emergenze;
- Controllo delle prestazioni.

Nel caso in cui, in occasione di controlli dei Vigili del Fuoco, venissero riscontrate variazioni rispetto a quanto dichiarato nel SGSA, comporterebbe la sospensione del Certificato di Prevenzione Incendi (CPI).

2.3.3 Le novità dell'approccio prestazionale

Lo strumento prestazionale, sebbene abbia ormai raggiunto la maturità di un provvedimento legislativo strutturato e organico, incontra ancora molta diffidenza nella pratica professionale, non da ultimo per i maggiori costi richiesti in termini di competenze e software. Tuttavia si è dimostrato uno strumento estremamente efficiente, versatile, capace di provvedere soluzioni più calzanti degli approcci usuali. Il processo di valutazione prestazionale è una disciplina riconosciuta a livello internazionale, forte di numerosi esempi applicativi validati in tutto il mondo.

Si auspica una maggiore diffusione e comprensione del metodo, tendenza questa che porterebbe notevoli benefici sia ai Professionisti del settore che alle Autorità di Vigilanza.

2.4 L'iter autorizzativo di SPES

Il progetto SPES risulta essere un'attività soggetta al D. Lgs. 230/95 e s.m.i (Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti), e deve per questo soddisfare le prescrizioni date dal Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, dall'ISPRA, dal Ministero della Salute, dal Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e dal Ministero dell'Interno, secondo art. 28, comma 1-2:

“Art. 28 Impiego di categoria A.”

1. L'impiego di categoria A è soggetto a nulla osta preventivo da parte del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di concerto con i Ministeri dell'ambiente, dell'interno, del lavoro e della previdenza sociale, della sanità sentite l'ANPA e le regioni territorialmente competenti, **in relazione all'ubicazione delle installazioni, all'idoneità dei locali, delle strutture di radioprotezione, delle modalità di esercizio, delle attrezzature e della qualificazione del personale addetto, alle conseguenze di**

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

eventuali incidenti nonché delle modalità dell'eventuale allontanamento o smaltimento nell'ambiente dei rifiuti radioattivi. [...]

2. Nel nulla osta possono essere stabilite **particolari prescrizioni** per gli aspetti connessi alla costruzione, per le prove e per l'esercizio, nonché per l'eventuale disattivazione degli impianti.”.

Per tale descrizione, gli enti sopra citati hanno espresso delle prescrizioni, che devono essere attuate al fine di rendere operativo il progetto SPES.

In particolare, per quanto riguarda la Sicurezza Antincendio, il Ministero dell'Interno ha richiesto l'ottenimento del Certificato di Prevenzione Incendi (da qui denominato CPI), rilasciato dal Comando dei Vigili del Fuoco di Padova.

Tale condizione risponde altresì al D. P. R. 151/2011³, dal quale il Progetto SPES risulta classificato come “Attività soggetta ai Controlli e alle visite di Prevenzione Incendi di categoria C, per l'attività 61 e 62”, nell'Allegato I:

“ATTIVITA' 61, ALLEGATO I, DPR 151/2011:

Impianti nei quali siano detenuti combustibili nucleari o prodotti o residui radioattivi [art. 1, lettera b) della legge 31 dicembre 1962, n. 1860]:

ATTIVITA' 62, ALLEGATO I, DPR 151/2011:

Impianti relativi all'impiego pacifico dell'energia nucleare ed attività che comportano pericoli di radiazioni ionizzanti derivanti dal predetto impiego:

- impianti nucleari;
- reattori nucleari, eccettuati quelli che facciano parte di un mezzo di trasporto;
- impianti per la preparazione o fabbricazione delle materie nucleari;
- impianti per la separazione degli isotopi;
- impianti per il trattamento dei combustibili nucleari irradianti;
- attività di cui agli articoli 36 e 51 del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230 e s.m.i.”.

³ **DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 1 agosto 2011, n. 151**, “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi”, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122. (11G0193) (GU n.221 del 22-9-2011)

Pur trattandosi di attività soggette a controlli da parte dei Vigili del Fuoco, esse non risultano regolate da specifica normativa in materia di prevenzione incendi. Trattandosi di attività fortemente specifiche, vengono escluse anche dal campo di applicazione del Nuovo Codice, tuttavia si è ritenuta valida la scelta di seguire l'approccio progettuale descritto nel Capitolo M, al fine di provarne la validità metodologica anche in contesti inusuali e rendere la pratica del CPI conforme al nuovo linguaggio normativo, rendendo più efficace la comunicazione con le autorità locali.

Poiché l'aggiornabilità è uno dei principi cardine su cui si basa il Codice, in collaborazione con il Comando dei Vigili del Fuoco di Padova e con la Direzione Interregionale dei Vigili del Fuoco del Veneto e del Trentino Alto Adige, si è scelto di seguire questo percorso, con la speranza di ampliare il campo di applicazione del Codice in ambiti ulteriori a quelli già previsti.

2.5 Il tool: la suite Namirial per i software FDS e EVAC

Presso i Laboratori Nazionali di Legnaro è disponibile una licenza per la suite Namirial "CPI win FSE", si tratta di una interfaccia che permette di utilizzare il software FDS, creato dal NIST⁴ americano, il quale implementa un modello di campo per la simulazione di incendi. Nella suite è compreso anche il software EVAC, del VTT⁵ Finlandese, che permette di simulare l'esodo dagli edifici.

Data la complessità e particolarità dell'edificio che contiene l'esperimento SPES, si è scelto di ricorrere a questo strumento per valutazione dell'efficacia di quanto progettato utilizzando la normativa applicabile.

2.5.1 Generalità di FDS

FDS è un programma di fluidodinamica computazionale (CFD) dedicato all'analisi del moto dell'aria determinato da effetti termici, scritto in linguaggio Fortran. L'eseguibile risolve numericamente una forma delle equazioni di Navier-Stokes dedicata alla soluzione di flussi a bassa velocità generati da gradienti termici.

È stato usato sia come solutore per problemi pratici in progettazioni antincendio, sia come modello di studio per la dinamica dell'incendio e della combustione, che finora ha dovuto avvalersi di test di laboratorio, molto dispendiosi e intrinsecamente imprecisi.

⁴ NIST: National Institute of Standards and Technology

⁵ VTT: Technical Research Centre of Finland

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

Il programma legge dei parametri di input da un file del tipo *name.fds*, elabora una soluzione numerica delle equazioni del modello e restituisce i dati di output richiesti dall'utente in un secondo file di testo.

Le geometrie che FDS può considerare sono essenzialmente parallelepipedo, sia per quanto riguarda il dominio di calcolo, che la relativa griglia e le *obstruction* che vengono considerate. Le condizioni al contorno entro le quali si svolge la simulazione sono specificate dall'utente assegnando le caratteristiche desiderate alle *obstruction*, descrivendo le superfici che caratterizzano gli oggetti presenti nella scena.

Sono ammesse quattro diverse tipologie di superfici:

- *supply*: questo tipo di superficie permette l'iniezione di flussi di specie chimiche, che possono essere composti da più elementi, la cui composizione deve essere descritta in termini di frazione massica dei seguenti gas:

1. AIR
2. CARBON DIOXIDE
3. CARBON MONOXIDE
4. NITROGEN
5. OXYGEN
6. PRODUCTS
7. SOOT
8. WATER VAPOR

Il flusso può essere caratterizzato anche in termini di velocità o di flusso specifico, si possono inoltre settare condizioni termiche del flusso diverse dalle condizioni di background;

- *layered*: questo tipo di superficie prevede strati di materiali diversi, di cui vengono specificati materiale (o combinazione di materiali), spessore e caratteristiche fisiche e chimiche. Le proprietà fisiche necessarie sono densità, calore specifico e conduttività termica. Le proprietà chimiche consistono di tutti i parametri relativi alla reazione di pirolisi, come il calore di reazione, la temperatura di reazione, l'energia di attivazione, il coefficiente cinetico e così via. È disponibile in FDS una libreria di materiali che può essere espansa dall'utente.

- *burner*: costituisce il punto d'origine della simulazione, caratterizzata dal HRRPUA (*heat reaction rate per unit area*);
- *exhaust*: ha le stesse caratteristiche della superficie *supply*, con l'unica differenza che i flussi sono scaricati invece che iniettati.

FDS può elaborare una sola reazione in ogni simulazione, che l'utente può scegliere da una libreria o definire egli stesso, descrivendo le caratteristiche chimiche del combustibile e dei prodotti: il combustibile è descritto tramite il numero di atomi di carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto che lo compongono, mentre la composizione dei prodotti è calcolata da FDS, così come il calore di combustione della nuova reazione.

Il software viene impiegato insieme ad un programma di visualizzazione appositamente studiato, Smokeview. Questo software visualizza il fumo e le altre caratteristiche dell'incendio usando particelle di flusso traccianti o la rappresentazione vettoriale dei dati, ad esempio temperatura o flusso di gas. Smokeview è l'unico software capace di elaborare e visualizzare correttamente i dati generati da FDS.

Ad oggi sono state rilasciate liberamente sei versioni del software, la prima nel 2000. Circa il 50 % delle applicazioni studiate finora è stato indirizzato alla progettazione e verifica di dispositivi di evacuazione di fumo e calore o a studi di attivazione di sprinkler o rilevatori di incendio, il rimanente 50% delle applicazioni ha riguardato investigazioni su incendi reali in edifici civili e industriali.

2.5.1.1 Modello di calcolo

Per quanto riguarda il modello fluidodinamico, FDS risolve una forma delle equazioni di Navier-Stokes sviluppata per soluzione di moti a bassa velocità generati da gradienti termici, in particolare per i fenomeni di trasporto di fumo e calore tipici degli incendi. L'algoritmo di calcolo è basato su un metodo di tipo predictor-corrector⁶, con accuratezza del secondo ordine con riferimento al tempo e allo spazio. La modellazione della turbolenza segue il metodo LES⁷ (*Large Eddy Simulation*), secondo il modello di Smagorinsky.

⁶Si usa un metodo di soluzione esplicito (il predittore) e un metodo implicito (il correttore). In prima iterazione, il metodo esplicito è utilizzato per calcolare una prima approssimazione di y_{n+1} , la quale viene poi migliorata dal metodo implicito.

⁷ Descrizione in Appendice

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

La combustione viene assunta come una reazione e a singolo stadio in cui le specie chimiche coinvolte nella reazione vengono calcolate in base a un modello a frazione di miscela. La frazione di miscela è una quantità scalare che permette di determinare le frazioni di massa dei costituenti la fase fluida di ciascun punto del dominio di calcolo, in funzione dello spazio e del tempo. Per determinare la frazione di miscela possono essere impiegati due o tre parametri, dai quali si ricava la frazione di massa dei reagenti e dei prodotti della combustione in base a relazioni note come *relazioni di stato*. Ad esempio in una reazione a due parametri, considererò la frazione in massa del combustibile che non ha ancora partecipato alla combustione e la frazione in massa dei prodotti della combustione.

Per modellare reazioni a due stadi, come la sublimazione di un solido e successivo innesco, avrò invece bisogno di tre parametri: il combustibile che ha reagito, quello effettivamente innescato e i prodotti della combustione.

Viene anche valutato lo scambio termico per irraggiamento, incluso nel modello come soluzione dell'equazione di trasporto della radiazione, data l'ipotesi di gas come corpo grigio.

Le equazioni qui descritte vengono risolte per unità di calcolo, dette celle, che vanno a comporre la griglia di calcolo del volume che si sta considerando.

A partire dalla versione 5, è stata introdotta la possibilità di assegnare a porzioni del dominio di calcolo una pressione di fondo diversa da quella ambientale, caratteristica che si è rivelata fondamentale nella modellazione di SPES.

2.5.2 Il software EVAC

Nota la dinamica dell'incendio e le sue conseguenze strutturali, la preoccupazione principale di un buon progettista antincendio rimane garantire l'incolumità degli occupanti e, per quanto possibile, la possibilità di intervento delle squadre di soccorso. Si è cercato di integrare le simulazioni di incendio e di esodo in molti programmi, anche se spesso accontentandosi di simulare l'esodo in maniera approssimata. EVAC, invece, è un simulatore di esodo costruito sull'assunzione che la folla è modellabile come il flusso di un fluido virtuale, bidimensionale e incomprimibile, il cui calcolo viene effettuato dal risolutore di flusso di FDS. Esso fornisce una soluzione numerica accurata, perfettamente integrata nella simulazione di incendio. Gli effetti dell'incendio che influenzano il processo di evacuazione considerati da EVAC sono:

- Riduzione della visibilità: gli agenti vengono rallentati in funzione della concentrazione di fumo calcolata da FDS;
- Incapacità: le persone vengono rese incapaci in funzione del FED (Fractional Effective Dose) calcolato secondo la teoria di Purser⁸. È importante notare che l'utente può agire sulla previsione di FDS esplicitando le specie chimiche da considerare nella diffusione del fumo, la quantità di CO prodotta e la presenza di altri gas nocivi (NO, NO₂, CN, HCl, HBr, HF, SO₂, C₃H₄O, CHO);
- Rilevazione e tempi di reazione: il periodo di pre-movimento degli agenti è deciso dall'utente mediante l'impostazione dei tempi di rilevazione e di reazione. Posso anche usare la concentrazione locale del fumo come innesco del movimento. Non può essere utilizzata la logica di innesco degli impianti antincendio come avvio dell'esodo, tuttavia si può estrapolare il tempo di reazione dell'impianto dalla simulazione FDS, usandolo poi come parametro per l'EVAC.

È importante notare che il calore radiante e la temperatura dei gas di combustione non hanno effetto sugli agenti, che non variano i loro percorsi per evitare le fiamme o le zone troppo calde, è dunque importante confrontare i percorsi disegnati dalla simulazione EVAC con le mappe termiche generate da FDS. Inoltre, il calcolo del simulatore è un procedimento stocastico, che genera casualmente le posizioni e le proprietà iniziali di ciascun agente, pertanto diverse simulazioni effettuate sullo stesso file di input generano risultati diversi. È quindi consigliabile eseguire almeno una dozzina di *run* della stessa scena per ottenere risultati significativi.

2.5.2.1 La modellazione degli agenti

Per modellare realisticamente il fenomeno, EVAC considera le vere forze fisiche che si generano tra le folle in situazioni di panico: forze di contatto e d'attrito, fra le persone e fra persone e pareti, oltre che forze di tipo sociale e psicologico. Ogni agente è definito da una specifica equazione di moto, su cui queste forze vanno ad agire, più una componente aleatoria di fluttuazione, nella forma:

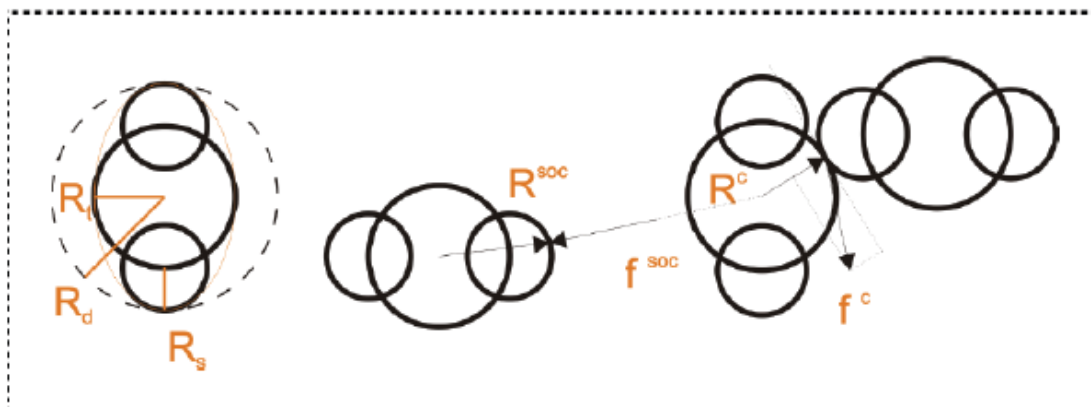
⁸ Purser, D. A., "Toxicity Assesment of Combustion Products", in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed., pp. 2/28-2/146, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995.

$$m_i = \frac{\partial^2 x_i(t)}{\partial t^2} = f_i(t) + \xi_i(t) \quad (2.1)$$

dove $\mathbf{x}_i(\mathbf{t})$ è la posizione dell'agente i al tempo t , $\mathbf{f}_i(\mathbf{t})$ è la forza esercitata sull'agente al suo contorno, \mathbf{m}_i è la massa e $\xi_i(\mathbf{t})$ rappresenta una componente casuale di fluttuazione. Graficamente, essi sono rappresentati da tre cerchi disposti in modo da formare un'ellisse, che rappresenta approssimativamente la figura del corpo umano, secondo il modello di Langston⁹. La geometria e le velocità di movimento sono differenziate in cinque classi, come riportate in tabella.

PERS_ID	R_d (m)	R_l/R_d	R_s/R_d	d_s/R_d	velocità (m/s)
Adult	$0,255 \pm 0,035$	0,5882	0,3725	0,6275	$1,25 \pm 0,30$
Male	$0,270 \pm 0,020$	0,5926	0,3704	0,6296	$1,35 \pm 0,20$
Female	$0,240 \pm 0,020$	0,5833	0,3750	0,6250	$1,15 \pm 0,20$
Child	$0,210 \pm 0,015$	0,5714	0,3333	0,6667	$0,90 \pm 0,30$
Elderly	$0,250 \pm 0,020$	0,6000	0,3600	0,6400	$0,80 \pm 0,30$

Tab. 2.2: Distribuzioni delle velocità di esodo libero e delle dimensioni del corpo nelle varie categorie di evacuanti presenti per default. La distanza fra i cerchi delle spalle è pari a $d_s = R_d - R_s$. Per la definizione delle altre grandezze è di riferimento alla geometria degli agenti.



⁹ Langston, P.A., Masling, R., and Asmar, B.N., "Crowd dynamics discrete element multi-circle model", Safety Science 44: 395–417 (2006).

Fig. 2.4: Rappresentazione matematica degli umani in FDS+EVAC, Questo aspetto rappresenta l'evoluzione del primitivo modello ad un solo cerchio. I tre cerchi, infatti, descrivono la forma del corpo umano in maniera molto più realistica permettendo inoltre di considerare gli ulteriori gradi del movimento dovuti alla rotazione.

La velocità degli agenti è espressa come:

$$v_i(t) = \frac{dx_i}{dt} \quad (2.2)$$

Il vettore $f_i(t)$ ha diverse componenti,

$$f_i = \frac{m_i}{\tau_i}(v_i^0 - v_i) + \sum_{j \neq i}(f_{ij}^{soc} + f_{ij}^c + f_{ij}^{att}) + \sum_w(f_{iw}^{soc} + f_{iw}^c) + \sum_k f_{ik}^{att} \quad (2.3)$$

In questa formulazione la prima sommatoria descrive le interazioni evacuante-evacuante, la sommatoria in w descrive le interazioni evacuante-fumi e l'ultimo termine può essere usato per le altre interazioni evacuante-ambiente come ad esempio le forze di repulsione tra l'agente e il fuoco. Il termine $\frac{m_i}{\tau_i}(v_i^0 - v_i)$ indica una specie di inerzia che ogni agente esercita su sé stesso per seguire il percorso preferito, cercando di mantenere la propria velocità.

Per quanto riguarda la forza di interazione agente-agente, essa ha tre componenti nell'equazione del moto:

- Forza sociale (f_{ij}^{soc}): secondo la formula anisotropica proposta da Helbing et al., dipende dai raggi dei cerchi che schematizzano gli agenti e dalla forza repulsiva che si esercita fra i due agenti;
- Forza di contatto fisico fra gli agenti (f_{ij}^c): è espressa in funzione delle velocità tangenziali e normali ai cerchi che compongono gli agenti, è una forza che si applica solo con i cerchi a contatto;
- Forza attrattiva (f_{ij}^{att}): esprime l'attrazione fra agenti che può esprimersi ad esempio fra adulti e bambini o in un comportamento di tipo gregario.

Anche per la rotazione ogni agente ha una propria equazione di moto nella forma

$$I_i^z \frac{d^2 \varphi_i(t)}{dt^2} = M_i^z(t) + \eta_i^z(t) \quad (2.4)$$

dove $\varphi_i(t)$ è l'angolo dell'agente i al tempo t , I_i^z è il momento di inerzia, $\eta_i^z(t)$ è una piccola coppia di fluttuazione casuale e $M_i^z(t)$ è la coppia totale esercitata sull'agente dall'ambiente, che si compone a sua volta di tre componenti, coppie date dalle forze di contatto, dalla forza sociale e dalle forze motorie.

2.5.2.2 Il processo di selezione delle uscite e la classificazione degli agenti

La selezione dell'uscita è modellata come un problema di ottimizzazione, per il quale ogni agente tenta di selezionare l'uscita che minimizza il proprio tempo di evacuazione. Le uscite sono classificate in 7 gruppi in base a degli ordini di preferenza, basati su visibilità, familiarità e presenza di condizioni di disturbo:

Scale di Preferenza	Visibile	Familiare	Presenza di condizioni di disturbo
1	si	si	no
2	no	si	no
3	si	no	no
4	si	si	si
5	no	si	si
6	si	no	si
No preferenza	no	no	no
No preferenza	no	no	si

Tab. 2.3: Ordine di preferenza dell'algorithmo di selezione delle uscite di FDS+EVAC

Le ultime due righe della tabella non hanno preferenza poiché non è possibile scegliere uscite di cui si ignora l'esistenza e che non sono visibili, e sono comunque scoraggiate le vie connesse a percorsi sconosciuti, che aumentano il rischio di minaccia.

È stato rilevato che le persone scelgono principalmente vie di fuga conosciute, ed è per questo motivo che le uscite di emergenza spesso non vengono completamente sfruttate, nelle situazioni reali. Si è osservato inoltre che la folla tende a concentrarsi verso le uscite verso le quali si stanno dirigendo la maggior parte delle persone, anche se sono disponibili e ben visibili percorsi più brevi e veloci. Tale comportamento è stato definito come "herding" (traduzione letterale = pastorizia).

In riferimento a questo tipo di problema, gli agenti sono stati classificati in quattro tipi, a seconda del comportamento più o meno gregario che tengono e alla modalità di selezione delle uscite:

- *Agente conservativo*: agente originale di FDS, considera un'uscita visibile come uscita "senza fumo" se c'è meno fumo del livello impostato dall'utente in fase di input, lungo la linea che conduce all'uscita. L'agente preferisce vie familiari a quelle non familiari ma è disponibile a usare le non familiari in caso di ostacoli, preferendo quelle che implicano minor tempo di percorrenza. Se si perde, l'agente conservatore assume un comportamento di tipo "herding" fino a che non individua un'uscita con un ragionamento proprio. Esempio di agente conservatore è l'utente di un centro commerciale, che conoscono le uscite principali (dalle quali sono entrati) ma non sono così disposti a usare quelle non familiari.
- *Agente attivo*: considerano le uscite visibili e le uscite familiari nello stesso gruppo di appartenenza, scegliendo dunque solo quelle a tempo di percorrenza minore. Gli agenti attivi sono di solito i componenti della folla che tendono a guidare i flussi, comportamento osservato in situazioni reali.
- *Agente herding*: usano solo uscite familiari, se assegnate esplicitamente dall'utente, se non ve ne sono di familiari, l'agente herding segue gli altri agenti. Se non è in grado di individuare un'uscita, questo agente rimane fermo fino a che non interviene un altro agente o non individua un'uscita. È il caso di persone in stato di panico o di confusione.
- *Agente follower*: a metà fra l'agente conservatore e un agente *herding*, i follower usano la procedura di selezione dei conservatori e allo stesso tempo considerando gli agenti vicini. Essi possono dunque cambiare percorso, se gli agenti vicini presentano una soluzione "migliore", dove "migliore" implica un percorso di uscita più breve.

Riassumendo, EVAC computa l'evacuazione sulla base delle caratteristiche stocastiche degli occupanti e della concentrazione di fumi elaborata da FDS, considerando la presenza di gas nocivi con il valore del FED.

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

Un grande passo avanti nella modellazione dell'esodo è dato dalla possibilità di implementare con facilità differenti comportamenti per diverse categorie di agenti, ad esempio, è possibile simulare il comportamento di un anziano o di una persona in stato confusionale impostando la direzione del moto più verso gli altri agenti che direttamente verso le uscite.

2.5.3 Verifica e validazione dei casi

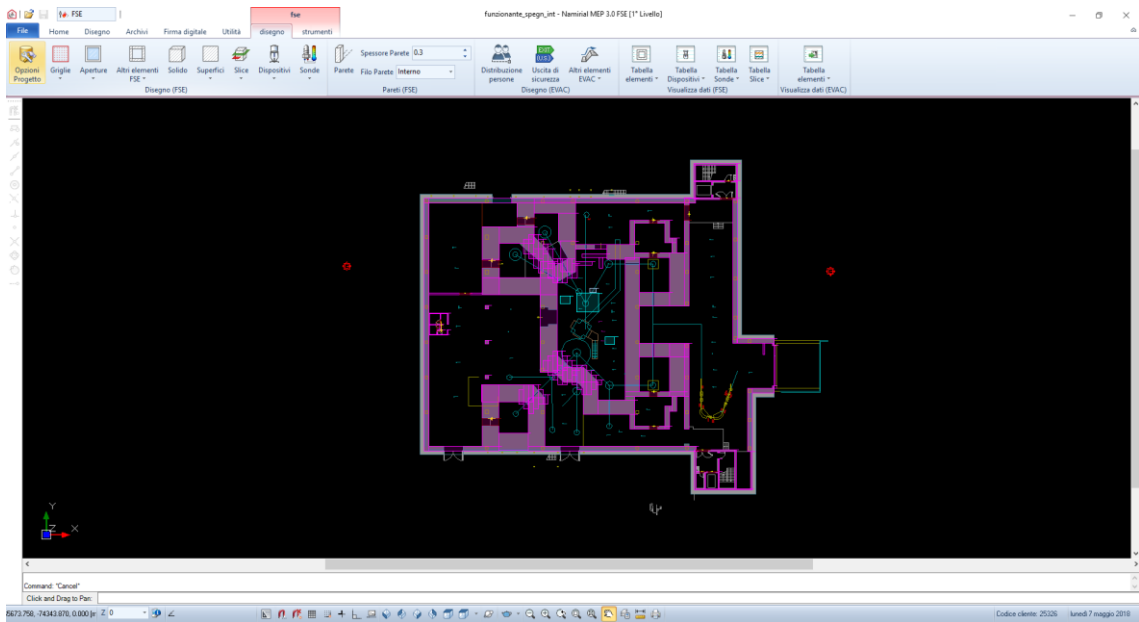
Nel caso di FDS, A partire dalla quinta versione si è prestata maggiore attenzione al mantenimento di una collezione permanente di verifica e validazione di casi di studio, in modo da fornire agli utenti una serie di dati da confrontare con i propri progetti per valutare la correttezza delle modellazioni svolte. Tale raccolta permette inoltre di mantenere risultati coerenti nelle varie versioni aggiornate del software.

Per quanto riguarda il software EVAC, invece, la validazione del modello è ancora in corso, per quanto riguarda edifici con pavimenti inclinati (come stadi o sale da concerto) o l'impiego di ascensori durante l'evacuazione. Ci sono ancora alcune difficoltà anche per quanto riguarda gli edifici alti, poiché non sono previsti flussi di fusione nel modello di scala predefinito, causando qualche imprecisione nelle simulazioni di esodo con confluenze da molti punti di accesso alle scale, tuttavia il progetto SPES non presenta alcuna di queste caratteristiche, e si ritengono dunque valide le simulazioni effettuate.

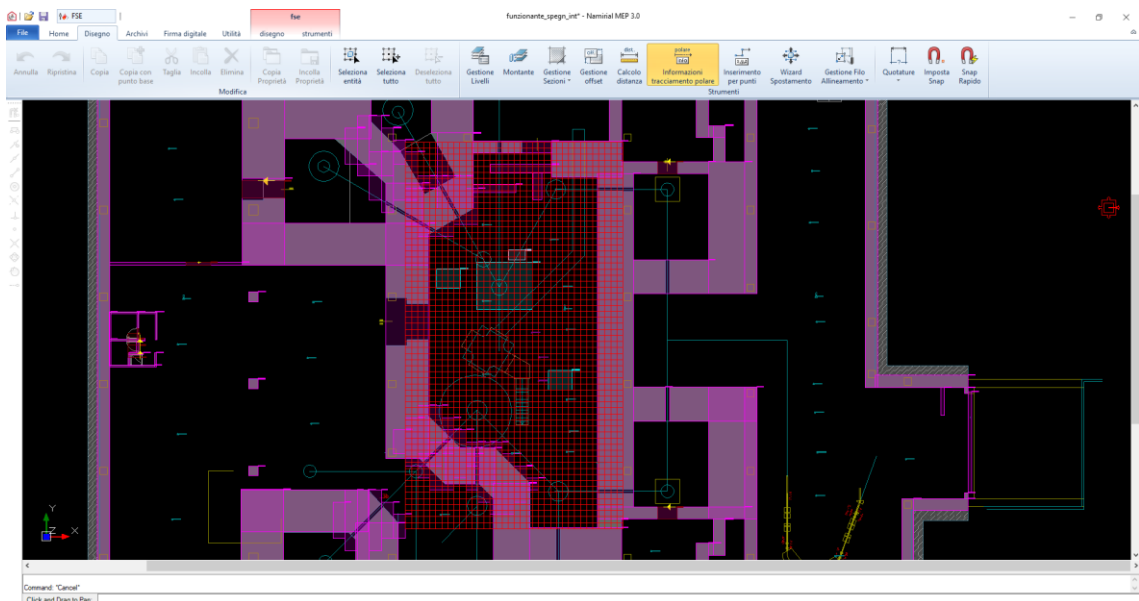
2.5.4 La suite Namirial

L'impiego di FDS nella risoluzione di problemi di progettazione antincendio, così come l'impiego di EVAC, è ormai pratica consolidata, è tuttavia innegabile che la renderizzazione delle strutture nel linguaggio dell'eseguibile non sia immediata, e che si presti facilmente a errori di scrittura per la grossa mole di dati richiesta. Allo stesso modo, se Smokeview è un validissimo software di visualizzazione, rimane laborioso estrapolare dall'output di FDS i dati necessari alla valutazione progettuale. Per ovviare a questo problema sono stati sviluppati dei validi pre- e post- processori, che aiutano l'utente a disegnare la struttura in esame grazie a un'interfaccia CAD, la quale si abbina a un post-processore capace di raggruppare i dati di output in grafici e tabelle di immediato utilizzo. Nel presente lavoro di tesi, si è scelto di avvalersi della suite commerciale CPI win FSE, fornita dalla Namirial.

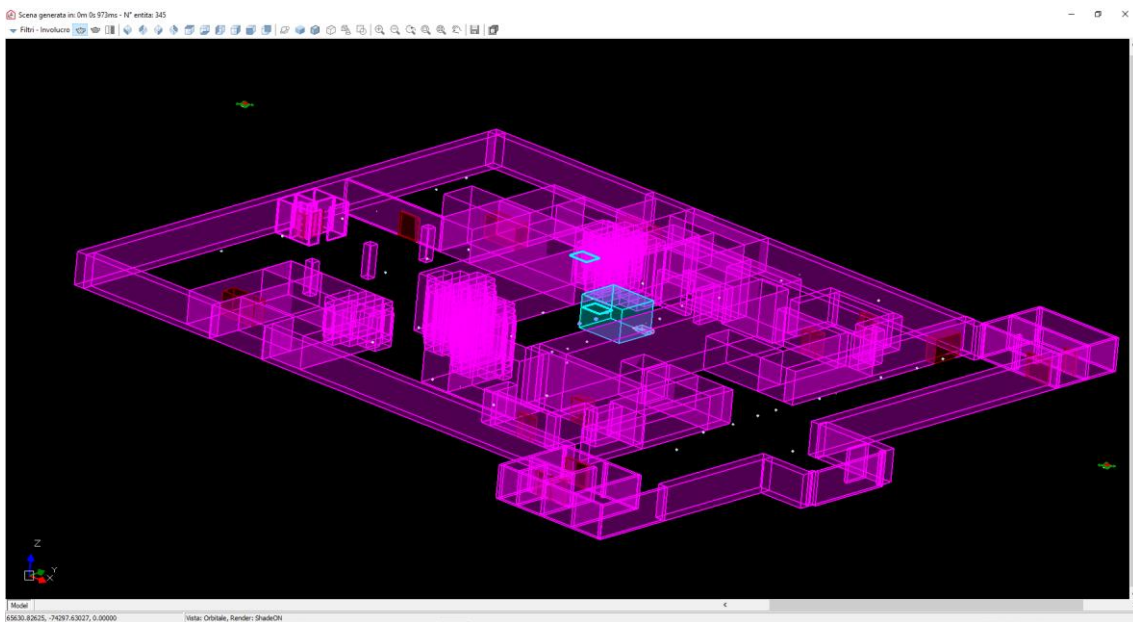
Di seguito si riportano alcune immagini che possono dare un'idea di come si presenti la suite:



(a)



(b)



(c)

Fig. 2.4: la visualizzazione in CPI win FSE della pianta del lavoro (a), della griglia di calcolo (b) e render 3D (c).

Generalmente ci si approccia al problema in quattro fasi:

- raccolta dati;
- modellazione del problema
- eseguire le simulazioni
- valutare i risultati

L'utente deve raccogliere tutti i dati di cui può aver bisogno (geometria del problema, condizioni al contorno, materiali coinvolti). La descrizione della geometria è la fase più semplice, la scena deve essere il più possibile schematizzata in parallelepipedi di dimensioni almeno paragonabili a quelle della griglia di calcolo, poiché il metodo LES perde i dettagli più piccoli della griglia. Si può ottenere il tutto da una misura diretta della scena che si vuole analizzare.

Può sussistere un problema riguardo alle dimensioni, quando si cerca di fare simulazioni che coinvolgono oggetti molto piccoli, poiché la griglia dovrà avere dimensioni adeguate, alzando di molto il costo computazionale della *run*. Si può aggirare l'ostacolo impiegando una griglia non uniforme, intensificando le celle solo nei punti di interesse.

Più complesso della geometria è il passaggio della descrizione dei materiali, che influiscono sia sullo scambio di calore che sulla reazione del combustibile: devono essere descritti accuratamente densità, coefficiente di conduzione, calore specifico e emissività. Questi parametri devono essere descritti accuratamente poiché ad alte temperature il calore da irraggiamento diventa rilevante, il calore specifico e la densità sono responsabili per l'inerzia termica dell'oggetto. Si potrebbe alterare la simulazione usando dati imprecisi. Le informazioni sono comunque facilmente reperibili una volta noto il materiale in esame.

Altro punto cruciale è la scelta della reazione di combustione, poiché FDS può gestire una sola reazione per simulazione. Devono essere dunque analizzati i materiali presenti, quelli che effettivamente prendono parte alla combustione, e deve essere verificata la compatibilità delle reazioni con quella scelta per la simulazione. La difficoltà di questo passaggio sta di solito nel determinare l'esatta composizione degli oggetti presenti nel campo di simulazione.

Si devono anche descrivere accuratamente le condizioni ambientali in cui la simulazione ha luogo, come la composizione dell'aria (in caso di possibili atmosfere esplosive per esempio), la sua temperatura e pressione. Il programma setta questi valori di default al valore standard.

Raccolti questi dati, l'innesco della simulazione è costituito da una superficie *burner*, che deve essere posizionata con cognizione di causa e descritta tramite l'HRRPUA. Tale descrizione deriva dagli scenari di incendio che sono stati individuati nell'analisi di rischio preliminare al progetto.

Si arriva ora alla fase principale, la *run* della simulazione, che è sicuramente la fase più lunga del progetto. La durata della *run* viene stabilita con un po' di esperienza e buon senso, tenendo conto che durate troppo lunghe possono influire pesantemente sul lavoro del calcolatore senza dare risultati apprezzabili. Le simulazioni possono arrivare a durare anche una settimana nei casi più dettagliati.

I risultati vengono visualizzati tramite due "dispositivi di misura":

- le termocoppie: intense in senso molto lato, costituiscono in FDS dei punti di misura di qualunque quantità fisica vi si voglia settare;

L'ingegneria per la sicurezza antincendio o FSE

- le *slices*: piani dove vengono graficati valori scalari (temperatura, pressione, ecc..) o campi vettoriali (velocità), si può scegliere il posizionamento e la quantità da visualizzare.

Alla chiusura della simulazione, i dati vengono raccolti in tabelle e grafici che possono essere facilmente estrapolati e usati nelle analisi successive. La suite Namirial provvede anche a raccogliere i dati in un file .doc predisposto per la scrittura della relazione tecnica del progetto.

Una volta definito il progetto per la simulazione FDS, risulta molto semplice predisporre sullo stesso file di input la simulazione dell'esodo degli occupanti dalla scena. Si tratta semplicemente di porre gli agenti nelle zone in cui si prevede la presenza di persone e di lanciare la seconda simulazione, andando così a individuare i possibili percorsi di esodo.

Vi sono occasionalmente problemi di compatibilità fra le griglie usate da FDS e quelle usate da EVAC, tuttavia nella suite in uso è possibile sia lanciare simultaneamente i due eseguibili sulla stessa griglia, sia differenziare i domini di calcolo, unendo comunque le visualizzazioni su Smokeview.

Capitolo 3

L'edificio SPES

In questo capitolo verrà contestualizzata la progettazione oggetto del lavoro di tesi, descrivendo l'edificio interessato e gli impianti a servizio che verranno integrati nella progettazione antincendio.

3.1 L'edificio

L'edificio SPES si trova presso i Laboratori Nazionali di Legnaro (INFN). La struttura è articolata su tre livelli, il piano interrato e due sopra terra, connessi da due vani scale/elevatori collocati sul lato sud e nord dell'edificio.

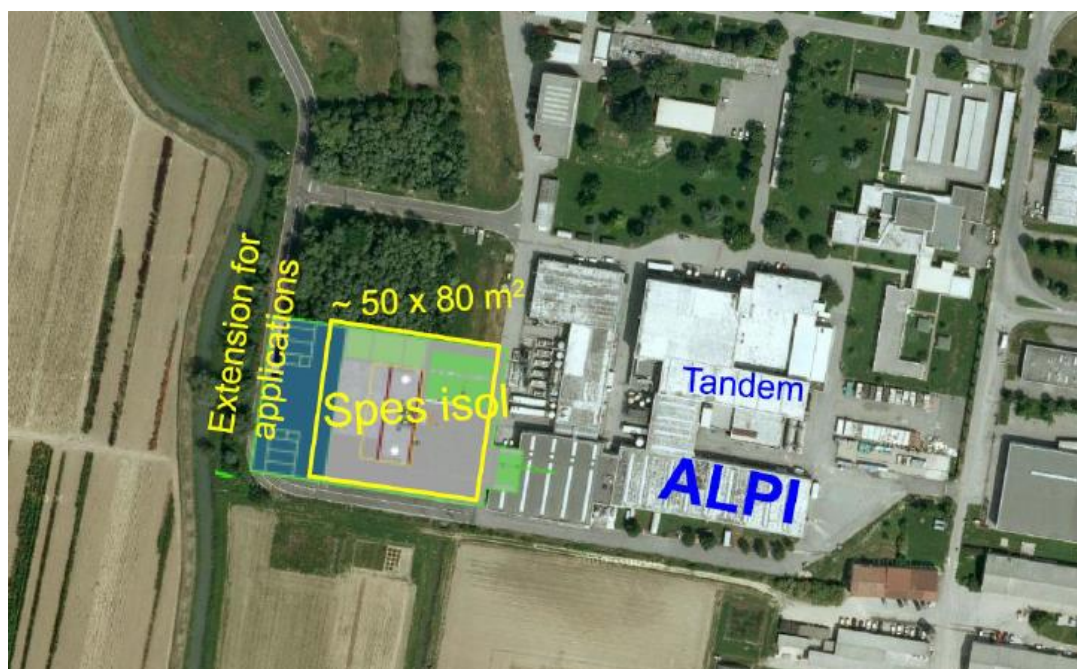


Fig. 3.1: Veduta dall'alto dell'edificio SPES

L'edificio SPES

3.1.1 Il piano interrato

Il piano interrato è il vero fulcro dell'edificio, in questa zona è collocato il ciclotrone il punto di partenza del fascio per i futuri esperimenti. Vi saranno allestiti 5 bunker in totale, 2 a servizio di SPES e 3 a servizio del progetto LARAMED. Per poter schermare la radioattività prodotta dagli apparati sperimentali le pareti hanno uno spessore variabile tra i 3 e i 4 m di calcestruzzo. I locali soggetti a radioattività vengono tenuti in depressione, in modo da prevenire la fuoriuscita di aria contaminata. Ogni locale ha un diverso valore di pressione determinato dal livello di radioattività raggiunto. Questa procedura è attuata per la sala del ciclotrone, per i bunker e per i pre-bunker a servizio del progetto SPES. Possono essere in funzione al massimo due bunker contemporaneamente, sarà invece possibile l'accesso ai bunker non in funzione per attività di manutenzione e installazione.

3.1.2 Primo piano

L'edificio non ha un piano a quota 0 m, a causa degli spessori necessari ai solai per garantire la schermatura della radioattività proveniente dal piano interrato. Si passa dunque direttamente al primo piano, in cui si trovano i locali tecnici, dei laboratori servizio degli esperimenti e la sala di controllo della struttura.

La sala A15 del piano interrato si eleva fino alla quota del solaio superiore del primo piano. In un piano rialzato, non ancora ultimato, si troveranno laboratori per la creazione e manipolazione dei target e locali di servizio.

3.2 La struttura

L'edificio ha forma rettangolare regolare con dimensioni di circa 65x52 m con due gruppi scala/elevatori che si allargano verso l'esterno sui lati nord e sud per una superficie totale coperta di circa 3600 mq.

La costruzione si colloca sul lato sud di un lotto di terreno di superficie circa 10.000 mq perimetrato da strade asfaltate in connessione con tutta la rete viaria interna all'area dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

L'altezza massima dell'edificio è di 11.30 m all'estradosso del piano di copertura mentre il piano interrato ha pavimento alle quote - 3.20/-3.97 m.

Occorre subito evidenziare che la particolarità delle attività di ricerca effettuate nell'edificio richiede schermature di grosso spessore per la radioprotezione degli ambienti ubicati al piano interrato, schermature che vengono realizzate con consistenti spessori di calcestruzzo sia per le pareti sia per i solettoni di fondo e di copertura degli ambienti.

In termini di schermatura, il solettone di fondo presenta spessore minimo di 1.23 m e massimo di 3.0 m dove la zona di maggior spessore è in stretta connessione con la presenza del locale centrale, sala A1, dove verrà alloggiato il ciclotrone, così come è richiesto uno spessore di 3 m anche per alcune zone circostanti la sala del ciclotrone (sale A4, A5, A6 e parte della sala A15). Analogamente, anche le pareti di questi ambienti hanno gli spessori maggiori che variano da un minimo di 3 m ad un massimo di 4 m mentre le coperture hanno spessori massimi di 3 m.

Le verifiche strutturali sono state calcolate con il metodo agli Stati Limite, così come descritto nelle NTC – Norme Tecniche da Costruzione 2008, per lo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV), Stato Limite di Danno (SLD) e per lo Stato Limite di Operatività (SLO).

3.2.1 SLV:

L'edificio è di tipo 3 ($VN > 100$ anni) ed ha classe d'uso IV ($C_u = 2.0$) il periodo di riferimento per le azioni sismiche è $VR = VN \times C_u = 100 \times 2.0 = 200$ anni.

Il periodo di ritorno cui fare riferimento per il calcolo delle azioni sismiche allo stato limite ultimo (SLV) è $TR = 9.75 \times VR = 9.75 \times 200 = 1950$ anni. Le coordinate geografiche del sito sono circa 45.352° N, e 11.948° E. Si ha pertanto, per un periodo di ritorno di 1950 anni.

Parametri sismici								Tr = 1950 (minore di 2475)
Vertici reticolo attorno al punto in esame:								
Vertice	Punto N°:	Long:	Lat:	di (km)	ag	Fo	Tc*	
1	12965	11.9259	45.3747	3.060	1.195	2.645	0.377	
2	12966	11.9970	45.3756	4.642	1.160	2.641	0.389	
3	13187	11.9272	45.3247	3.440	1.040	2.701	0.404	
4	13188	11.9982	45.3256	4.901	1.010	2.721	0.412	
Parametri sismici del punto in esame:								
a g= 1.108 m/s ²								
Fo= 2.675								
T c*= 0.394 s								

Tab. 3.1 Parametri sismici SLV

L'edificio SPES

La struttura è in classe di duttilità "B". In parte può essere definita del tipo a pareti non accoppiate ($q_0=3.0$), in parte di tipo prefabbricato con pilastri isostatici ($q_0=2.5$). Si assume il coefficiente di struttura più cautelativo $q_0=2.5$.

Si ha:

$$q_0 = 2.5 \quad (3.1)$$

$$q = q_0 K_R K_w = 2.5 \cdot 0.96 \cdot 0.80 = 1.92$$

$$K_R = 0.80$$

$$K_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} = \frac{1 + 1.89}{3} = 0.96$$

$$\alpha_0 = \frac{H}{L} = \frac{14.50 + 14.50 + 14.50 + 14.50}{8.00 + 8.40 + 8.00 + 6.20} = 1.89$$

Nel calcolo del rapporto H/L, come indicato al punto 7.4.3.2 del D.M. 14/01/2008, si assume come H la somma delle altezze delle pareti dei nuclei di controventamento e come L la somma delle lunghezze delle stesse pareti. Il coefficiente K_R viene assunto pari a 0.8 in quanto l'edificio non è regolare in altezza. Per cui si ha $\eta = 1/q = 1/1.92 = 0.52$

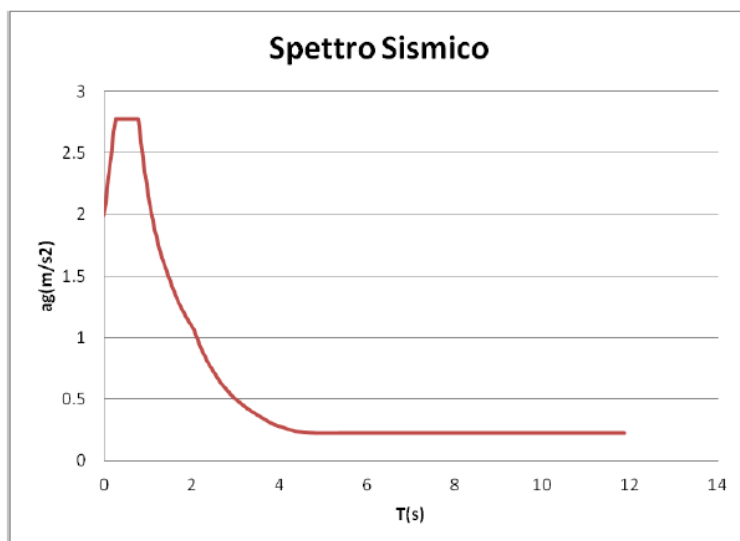
Il sottosuolo è di categoria D e si ha:

Ss	1.800
Cc	1.991
ST	1.000
S	1.800
Tb	0.262 s
Tc	0.785 s
Td	2.052 s

Tab. 3.2 Valori caratteristici per sottosuolo D

Lo spettro di risposta diventa quindi:

Spettro di risposta	
S d(0)	1.994 m/s ²
Sd(TB)	2.778 m/s ²
Sd(TC)	2.778 m/s ²
Sd(TD)	1.063 m/s ²



Tab. 3.3: Parametri dello spettro sismico SLV e andamento

3.2.2 SLD:

L'edificio è di tipo 3 (VN>100 anni) ed ha classe d'uso 4 (Cu=2.0) il periodo di riferimento per le azioni sismiche è VR= VN x Cu=100x2.0=200 anni. Il periodo di ritorno cui fare riferimento per il calcolo delle azioni sismiche allo stato limite di danno (SLD) è TR=1.32x200=264 anni. Si ha, per un periodo di ritorno di 264 anni:

Parametri sismici per Tr		264 (minore di 2475)					
Vertici reticolo attorno al punto in esame:							
Vertice	Punto N°:	Long:	Lat:	di (km)	ag	Fo	Tc*
1	12965	11.9259	45.3747	3.060	0.620	2.602	0.330
2	12966	11.9970	45.3756	4.642	0.602	2.602	0.334
3	13187	11.9272	45.3247	3.440	0.576	2.597	0.340
4	13188	11.9982	45.3256	4.901	0.565	2.579	0.343
Parametri sismici del punto in esame:							
a g= 0.593 m/s²							
Fo= 2.596							
T c*= 0.336 s							

Tab. 3.3 Valori caratteristici per sottosuolo D

Si ha $\eta = 2/3 = 0,667$ (vedi punto 7.3.7.1 NTC2008).

Il sottosuolo è di categoria D e si ha:

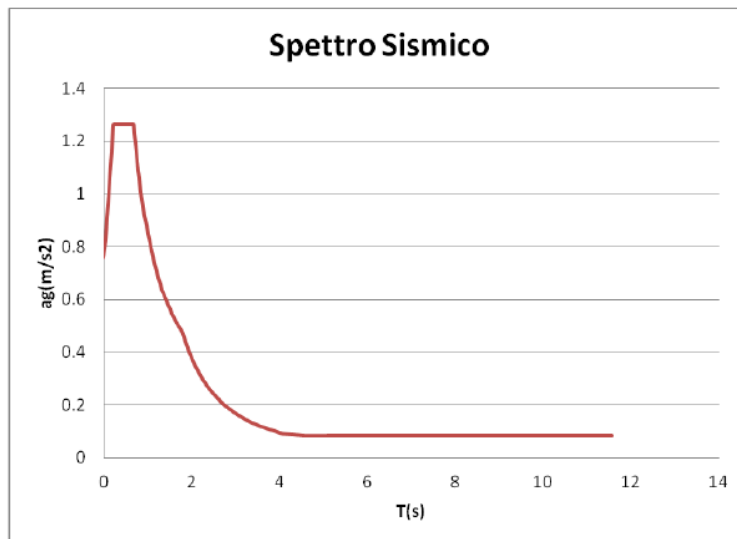
L'edificio SPES

Ss	1.800
Cc	2.157
ST	1.000
S	1.800
Tb	0.241 s
Tc	0.724 s
Td	1.842 s

Tab. 3.4 Valori caratteristici per sottosuolo D

Lo spettro di risposta diventa quindi:

Spettro di risposta	
S d(0)	0.760 m/s ²
Sd(TB)	1.264 m/s ²
Sd(TC)	1.264 m/s ²
Sd(TD)	0.478 m/s ²



Tab. 3.5: Parametri dello spettro sismico SLD e andamento

3.2.3 SLO:

L'edificio è di tipo 3 ($VN > 100$ anni) ed ha classe d'uso 4 ($C_u = 2.0$) il periodo di riferimento per le azioni sismiche è $V_R = V_N \times C_u = 100 \times 2.0 = 200$ anni. Il periodo di

ritorno cui fare riferimento per il calcolo delle azioni sismiche allo stato limite di operatività (SLO) è $TR=0.96 \times 200=92$ anni. Si ha, per un periodo di ritorno di 92 anni:

Parametri sismici per Tr		92 (minore di 2475)					
Vertici reticolo attorno al punto in esame:							
Vertice	Punto N°:	Long:	Lat:	d _i (km)	ag	Fo	T _c *
1	12965	11.9259	45.3747	3.060	0.437	2.478	0.294
2	12966	11.9970	45.3756	4.642	0.427	2.480	0.292
3	13187	11.9272	45.3247	3.440	0.414	2.507	0.283
4	13188	11.9982	45.3256	4.901	0.404	2.516	0.281

Parametri sismici del punto in esame:	
a	g= 0.422 m/s²
Fo	= 2.494
T c*	= 0.288 s

Tab. 3.6 Valori caratteristici per sottosuolo D

Si ha $\eta= 1.0$

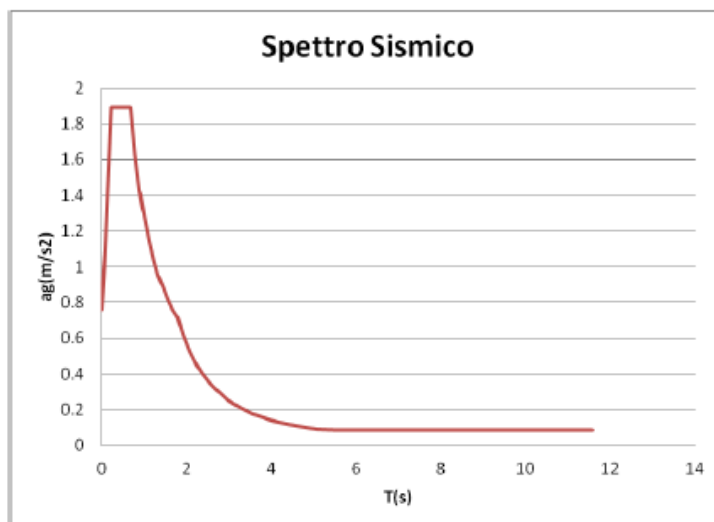
Il sottosuolo è di categoria D e si ha:

S _s	1.800
C _c	2.329
ST	1.000
S	1.800
T _b	0.224 s
T _c	0.671 s
T _d	1.772 s

Tab. 3.6 Valori caratteristici per sottosuolo D

Lo spettro di risposta diventa quindi:

Spettro di risposta	
S _d (0)	0.760 m/s ²
S _d (T _B)	1.896 m/s ²
S _d (T _C)	1.896 m/s ²
S _d (T _D)	0.717 m/s ²



Tab. 3.7: Parametri dello spettro sismico SLO e andamento

Oltre che requisiti strutturali, nei locali in cui vi è pericolo di contaminazione radioattiva le pareti e gli orizzontamenti sono stati dimensionati in modo da garantire la schermatura dalle radiazioni, con spessori compresi fra i 3 e i 4 metri.

Il sistema di casseri per contenere il getto di calcestruzzo è stato studiato in modo da resistere alla spinta del getto: come casseri sono stati utilizzati pannelli prefabbricati (rimasti in opera) in calcestruzzo $R_{ck} > 35$ N/mm² con classe di esposizione XC1, con rete su entrambi i lati $\phi 12/20 \times 20$ di tipo B 450 C. I pannelli si legano al getto in opera con staffe di collegamento $\phi 12/20$ B 450 C.



Fig. 3.2 Posizionamento dei pannelli prefabbricati per il getto dei muri di grosso spessore

I pannelli hanno svolto la funzione di forma per il getto di calcestruzzo ma lasciati in opera fanno anche da rivestimento alle pareti, e potranno poi essere sostituiti facilmente durante la vita della facility. Questa operazione permetterà di contenere i volumi di rifiuti radioattivi prodotti dallo smantellamento della struttura, poiché i pannelli saranno la parte più attivata della muratura.

3.3 Impianti a servizio dell'edificio SPES

Fra gli impianti a servizio della struttura, l'impianto che più ha rilevanza nella sicurezza dell'edificio è la ventilazione. La normativa di riferimento per la progettazione dei sistemi di ventilazione in casi come questo è la ISO 17873 "*Criteria for the design and operation of ventilation system for nuclear installations other than nuclear reactors*". La ventilazione forzata, adottata secondo normativa, garantisce diverse funzioni, come il confinamento di eventuali contaminazioni, la purificazione dell'aria dei locali, il monitoraggio del funzionamento dei macchinari e il confort dei locali in temperatura e umidità.

All'articolo 6 vengono definiti i principi base per la prevenzione della propagazione della radioattività nell'aria:

- Limitare l'uscita di materiale dalla facility e mantenere all'interno un livello di contaminazione il più basso possibile, durante l'ordinario funzionamento.
- In situazioni di emergenza, limitare a livelli accettabili le conseguenze radiologiche per l'ambiente e per il personale direttamente coinvolto nelle operazioni che portano alla diffusione della contaminazione radioattiva e per gli altri operatori nella stessa struttura.

Da questi principi deriva la necessità di predisporre diversi sistemi di contenimento tra gli ambienti e le sostanze radioattive. Ogni sistema di contenimento ha l'obiettivo di mantenere, in ogni situazione, la funzionalità di almeno un sistema di filtrazione tra le aree contaminate e gli ambienti circostanti.

L'art. 8 della normativa 17873 elenca alcune metodologie di dimensionamento dei sistemi di ventilazione. Le aree nelle quali sono presenti materiali radioattivi vengono classificate in base al grado di rischio radioattivo che contengono. La classificazione

L'edificio SPES

viene impostata in base alla radiazione diretta e in base al potenziale livello di contaminazione sulle superfici e/o dell'aria. Per ottimizzare il sistema di ventilazione, l'installazione va divisa in aree separate in base al rischio di diffusione della contaminazione. Una delle classificazioni più usate è quella che utilizza 4 classi di suddivisione.

Classe	Contaminazione normale e/o occasionale
C1	Area libera da contaminazioni radioattive superficiali o dell'aria, in condizioni normali. Può essere accettato un basso livello di contaminazione solo in situazioni eccezionali.
C2	Area sostanzialmente pulita durante normale funzionamento. Solo in circostanze eccezionali, per esempio in caso di incidenti, è accettabile un livello medio di contaminazione, quindi devono essere previsti appropriati sistemi di controllo.
C3	Area in cui possono essere presenti alcune superfici contaminate, ma normalmente libera da aria contaminata. In alcuni casi, per esempio in caso di incidenti, possono esserci superfici o aria con grado di contaminazione superiore a quella del livello C2, vanno, quindi, previsti anche qui appropriati sistemi per il controllo.
C4	Area in cui è presente continuamente aria contaminata a livelli elevati, quindi non deve essere permesso l'accesso da parte del personale, se non con appropriato equipaggiamento di protezione.

Tab. 3.8: Classificazione delle zone contaminate da radiazione per il dimensionamento della ventilazione

Quando si utilizzano classificazioni delle aree di contenimento, si devono adottare alcune precauzioni per garantire alcune garanzie di sicurezza:

- Le varie aree vanno mantenute a diversi livelli di pressione, in particolare le aree con il più elevato livello di contaminazione dell'aria deve essere mantenuto al più alto grado di depressione, rispetto alla pressione delle aree adiacenti. In queste aree adiacenti, la contaminazione potenziale deve essere talmente bassa da non rendere necessario un ulteriore livello di depressione rispetto all'ambiente esterno.

- In caso di rotture accidentali delle barriere strutturali che separano le aree a diversi livelli di contaminazione, il sistema di ventilazione deve essere in grado di mantenere un flusso di aria sufficiente in una direzione preferenziale attraverso le aperture accidentali, in modo da limitare il deflusso dell'aria da una zona contaminata ad una a livello più basso di contaminazione.
- La struttura di involucro attorno all'area C4 che ospita un processo radioattivo sarà la prima barriera di contenimento e avrà integrità e tenuta adeguate all'attività contenuta. Ulteriori barriere di contenimento saranno fornite dalle strutture che limitano le aree circostanti (aree C3, C2 o C1), sia le depressioni che i flussi dovranno essere a livelli coerenti con la qualità di contenimento definita dall'impianto. In casi particolari, come ad esempio in caso di incidente, i livelli di depressione e di flusso verso l'interno vanno aumentati, quindi c'è bisogno di una riserva appropriata da parte degli impianti.

La depressione tra le aree è necessaria per far sì che l'afflusso d'aria attraverso aperture permanenti o accidentali non sia inferiore ad una velocità media specificata in condizioni normali o straordinarie. Il sistema di mandata e aspirazione dell'impianto deve essere opportunamente bilanciato in modo da mantenere le depressioni desiderate. Nella seguente tabella vengono riportati i valori indicati nell'art. 8 della norma ISO 17873.

Descrizione dell'area	Depressione	Classe di contenimento
Locali non controllati o aree non contaminate	Pressione atmosferica o lievi depressioni	Non classificata
Aree supervisionate con bassi livelli di contaminazione	< 60 Pa	C1
La classe C1 può essere contaminata durante normali operazioni		
Aree controllate con contaminazione moderata	80÷100 Pa	C2
Aree controllate con alto livello di contaminazione	120÷140 Pa	C3

Descrizione dell'area	Depressione	Classe di contenimento
Aree controllate con livelli di contaminazione molto alti	220÷300 Pa	C4
Aree non accessibili eccetto per circostanze particolari		

Tab. 3.9: Requisito di depressione sulla base della classificazione ISO 17837

Oltre al mantenimento in depressione dei locali con contaminazione radioattiva in modo da non far fuoriuscire la contaminazione negli ambienti circostanti, è importante garantire ai locali dei ricambi d'aria. Sempre nell'art. 8 della ISO 17873 vengono date indicazioni sul numero dei ricambi orari da garantire nei locali in relazione alla classe di contenimento. Il numero dei ricambi d'aria viene determinato dai requisiti necessari alla ventilazione tradizionale di garantire aria fresca, inodore, priva di vapori etc. Inoltre, il numero di ricambi può essere determinato dalla necessità di mantenere il corretto valore di depressione e flusso di aria.

La classificazione dei locali nell'edificio, con il relativo livello di depressione, è illustrata in tabella.

Locale	Classe di contenimento	Pressione
A1	C1	-60
A2	Non classificata	0
A2a	Non classificata	0
A3	C1	-40
A4	C2	-80
A5	Non classificata	0
A6	C2	-80
A7	C1	-40
A8a	Non classificata	0
A8b	C1	0
A8c	Non classificata	0

Locale	Classe di contenimento	Pressione
A9	Non classificata	0
R1	C2	-60
R2	C2	-60
R3	C2	-60
A13	Non classificata	0
A15	C1	0

Tab. 3.10: classificazione dei locali dell'edificio SPES e requisito di depressione

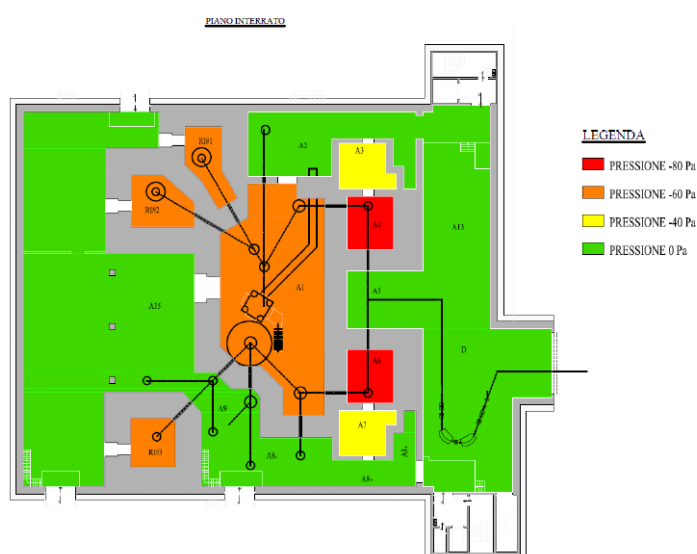


Fig. 3.3: Mappatura delle zone di depressione

Gli impianti devono essere dimensionati in modo tale da garantire la depressione necessaria e allo stesso tempo la pulizia dell'aria. I locali in cui vi sia radioattività verranno trattati con impianti separati rispetto ai locali convenzionali. I vari locali hanno poi esigenze diverse per quanto riguarda condizioni termoigrometriche, la presenza di aria compressa o di azoto tecnico. Il rinnovo d'aria (in volumi/ora) varia con l'attività svolta nel locale. Non è previsto un ricambio minimo d'aria, tuttavia nel caso in cui vi sia presenza di personale nel locale è necessario un rinnovo di qualche volume/ora. È stata prevista la possibilità di effettuare il "lavaggio" dei locali, arrivando a un ricambio d'aria di 10 vol/h.

Locale	Pressione [Pa]	Temperatura [°C]	Umidità Relativa	Rinnovo aria	Aria Compressa	Azoto tecnico
--------	----------------	------------------	------------------	--------------	----------------	---------------

Locale	Pressione [Pa]	Temperatura [°C]	Umidità Relativa	Rinnovo aria	Aria Compressa	Azoto tecnico
A1	-60 ÷ 0	24	60 %	1 ÷ 5 vol/h	Sì	Sì
A2	0	N.C.	N.C.	N.C.	Sì	Sì
A2a	0	N.C.	N.C.	N.C.	-	-
A3	-40 ÷ 0	20 ÷ 24	N.C.	0.7 ÷ 10 vol/h	Sì	Sì
A4	-80 ÷ 0	24	45 %	0.5 ÷ 10 vol/h	Sì	Sì
A5	0	N.C.	N.C.	N.C.	-	-
A6	-80 ÷ 0	24	45 %	0.5 ÷ 10 vol/h	Sì	Sì
A7	-40 ÷ 0	20 ÷ 24	N.C.	0.7 ÷ 10 vol/h	Sì	Sì
A8a	0	20 ÷ 24	N.C.	N.C.	-	-
A8b	0	20 ÷ 24	N.C.	N.C.	-	-
A8c	0	20 ÷ 24	N.C.	N.C.	-	-
A9	0	N.C.	N.C.	N.C.	-	-
R1	-60 ÷ 0	24	N.C.	0.5 ÷ 10 vol/h	Predisp.	Predisp.
R2	-60 ÷ 0	24	N.C.	0.5 ÷ 10 vol/h	Predisp.	Predisp.
R3	-60 ÷ 0	24	N.C.	0.5 ÷ 10 vol/h	Predisp.	Predisp.
A13	0	N.C.	N.C.	N.C.	-	-
A15	0	N.C.	N.C.	N.C.	Sì	Sì

Tab. 3.11: Caratteristiche termoigrometriche richieste ai locali di SPES

Per soddisfare le richieste sopra elencate, sono stati previsti da progetto i seguenti impianti:

- Centrali termica e frigorifera: La centrale termica a servizio degli impianti in oggetto è di tipo prefabbricato, con struttura in pannelli in lamiera di tipo sandwich (lamiera, isolamento termico, lamiera), in classe 0 di reazione al fuoco

e REI 60 di resistenza al fuoco. È costituita da 6 moduli da 120 kW cadauno. La centrale frigorifera è costituita essenzialmente da due gruppi refrigeratori d'acqua (uno dei quali di completa riserva) con condensazione ad aria, ventilatori assiali e compressori a vite semiermetici, fluido frigorifero R134 a, con una potenza di 600 kW frigoriferi cad

- Centrale idrica. L'alimentazione della rete idrica (acqua di consumo) dell'edificio avviene dall'esistente centrale tecnologica, è prevista una nuova derivazione dal collettore "di smistamento" esistente con tubazione in acciaio inox AISI 316 L per il tratto a vista e in polietilene AD per fluidi in pressione PN16 per il tratto interrato dalla centrale tecnologica fino all'ingresso alla nuova centrale idrica, e da qui sono utilizzate nuovamente tubazioni inox per realizzare l'intera distribuzione. La centrale idrica è allestita nel vano tecnico A17 al piano primo, subito sopra la cyclotron room, dove sono collocate anche le unità di trattamento aria e gli estrattori, i sistemi di pompaggio primari acqua refrigerata e secondari dei vari circuiti della sottocentrale termofrigorifera. La centrale idrica è costituita essenzialmente da:

- Due filtri micrometrici autopulenti;
- Un collettore di smistamento (alimentazione impianti, utilizzi sanitari, riserve, etc.);
- Un addolcitore generale del tipo a doppia colonna;
- Due complessi di dosaggio di additivi;
- Un sistema di demineralizzazione del tipo ad osmosi inversa a letti misti per l'alimentazione sia degli impianti di raffreddamento apparsi sia dei sistemi di umidificazione ad acqua atomizzata a servizio delle UTA (due per ogni macchina, di cui uno di riserva);
- Un serbatoio di accumulo acqua demineralizzata;
- Elettropompe di circolazione;
- Due demineralizzatori a cartuccia a letti misti (acqua demineralizzata a $0,5 \mu\text{S}/\text{cm}$) a servizio dei circuiti di raffreddamento apparsi.

Tutte le reti di distribuzione sono realizzate con tubazioni in acciaio inox AISI 316 L, e isolate termicamente (con finitura in lamierino di alluminio) per evitare la formazione di condensa.

- Sottocentrale termofrigorifera, a servizio dell'edificio si suddivide in 2 collettori primari: un collettore per il circuito freddo e uno per il circuito caldo. I due circuiti sono chiusi su se stessi e da ogni circuito partono gli spillamenti per portare l'acqua di raffreddamento o riscaldamento alle varie utenze.

- Raffreddamento. Dal collettore generale di raffreddamento l'acqua viene convogliata ai gruppi frigoriferi dove viene raffreddata a 8°C e mandata nel circuito secondario da dove partono gli stacchi che convogliano l'acqua fredda alle varie utenze, per le UTA sono predisposte tre elettropompe (delle quali una di riserva) ad inverter a portata variabile in serie che prendono l'acqua raffreddata e la convogliano in una sola tubazione alle UTA. La portata varia in base alla pressione nei tubi, che a sua volta varia per azione delle valvole nelle UTA che, in base alla temperatura che l'aria deve raggiungere all'interno della batteria di raffreddamento, si apre o si chiude in modo da far abbassare o alzare la pressione; l'inverter delle pompe legge queste variazioni di pressione e fa pompare più o meno acqua nel circuito. L'acqua del circuito, una volta uscita dalla batteria di raffreddamento della UTA torna nel collettore generale di raffreddamento dove viene nuovamente raffreddata e rimessa in circolo.

- Riscaldamento. Dal collettore generale di riscaldamento l'acqua viene convogliata alla caldaia dove viene riscaldata a 55°C e mandata nel circuito secondario da dove partono gli stacchi che convogliano l'acqua calda alle varie utenze, per le UTA sono predisposte tre elettropompe delle quali una di riserva) ad inverter a portata variabile in serie che prendono acqua calda e la convogliano in una sola tubazione alle UTA. La portata varia in base alla pressione nei tubi, che a sua volta varia per azione delle valvole nelle UTA che, in base alla temperatura che l'aria deve raggiungere all'interno delle batterie di pre e post-riscaldamento, si apre o si chiude in modo da far abbassare o alzare la pressione; l'inverter delle pompe legge queste variazioni di pressione e fa pompare più o meno acqua nel circuito. L'acqua del circuito, una volta uscita dalla batteria di raffreddamento della UTA torna nel collettore generale di riscaldamento dove viene nuovamente riscaldata e rimessa in circolo.

- Impianti di climatizzazione e raffreddamento apparati. Per la climatizzazione degli ambienti sono previsti circuiti separati per aree con presenza di radioattività ed aree con assenza di radioattività. La climatizzazione del locale ciclotrone sarà effettuata con l'impiego di condizionatori di precisione con doppia batteria (quattro tubi), installati direttamente in ambiente lungo la parete divisoria verso i locali Bunker. I condizionatori sono quattro, di cui uno di riserva; è comunque previsto il funzionamento contemporaneo di tutti e quattro i condizionatori in modo parzializzato, in caso di guasto ad uno di essi i rimanenti provvederanno (attraverso il sistema di regolazione) ad aumentare la potenza erogata in modo da mantenere la temperatura ambiente ai valori prefissati. Le temperature dell'acqua (demineralizzata a $0,5 \mu S/cm$) di alimentazione delle batterie calde sarà mantenuta a $50^{\circ}C$, e quella refrigerata a $15^{\circ}C$ per evitare la formazione di condensa. La climatizzazione dei locali bunker SPES è effettuata con l'impiego di condizionatori con doppia batteria (quattro tubi) di precisione, installati nell'adiacente locale movimentazione orizzontale (A7), e collegati ai bunker attraverso condotti in acciaio inox di mandata e di ripresa dell'aria. Nel canale di ripresa subito fuori dal locale bunker è installato un canister con filtro assoluto U15 e filtro molecolare a carboni attivi impregnato con idrossido di potassio. I condizionatori previsti sono due, di cui uno di riserva, è comunque previsto il funzionamento contemporaneo di tutti e due i condizionatori in modo parzializzato, in caso di guasto ad uno di essi il secondo provvederà (attraverso il sistema di regolazione) ad aumentare la potenza erogata in modo da mantenere la temperatura ambiente ai valori prefissati. La climatizzazione del corridoio (A8) è effettuata con un condizionatore ambiente (ventilconvettore) del tipo a parete a doppia batteria (quattro tubi). La climatizzazione del locale Power Supply Room (A11) è effettuata con l'impiego di condizionatori di precisione con doppia batteria (quattro tubi), installati direttamente in ambiente lungo la parete esterna. I condizionatori previsti sono cinque, di cui uno di riserva; è comunque previsto il funzionamento contemporaneo di tutti e cinque i condizionatori in modo parzializzato, in caso di guasto ad uno di essi i rimanenti provvederanno (attraverso il sistema di regolazione) ad aumentare la potenza erogata in modo da mantenere la temperatura ambiente ai valori prefissati. La climatizzazione della Control Room (A12) è effettuata con tre condizionatori

L'edificio SPES

ambiente (ventilconvettori) del tipo a parete a doppia batteria (quattro tubi). Per il raffrescamento del locale UPS (con un carico generato in ambiente stimato di 4kW) sono previsti due impianti (uno a completa riserva) autonomi di raffrescamento, costituiti da condizionatori autonomi split, con unità interne da parete o da soffitto ed unità esterne moto condensanti collocate sulla terrazza di copertura.

- Impianti aeraulici. Sono previsti i seguenti impianti aeraulici
 - Impianto di rinnovo forzato aria e di depressurizzazione a servizio della Cyclotron Room (A1);
 - Impianto di rinnovo forzato aria, ricircolazione e depressurizzazione a servizio del Bunker Isol (A4/A6);
 - Impianto di depressurizzazione a servizio dei Bunker Isol (R1/R2/R3);
 - Impianto di rinnovo forzato aria a servizio del locale tecnico (A17);
 - Impianto di rinnovo forzato aria a servizio della Control Room (A12);
 - Impianti di rinnovo forzato aria a servizio del secondo piano.

- Impianti di distribuzione gas tecnici. Sono previsti impianti di stoccaggio e distribuzione gas tecnici quali:
 - Aria compressa;
 - Azoto.

L'aria compressa per utilizzi di laboratorio viene prodotta da due compressori (del tipo rotativo a vite) posti nel locale tecnico A17 e portata fino al piano interrato. La rete di distribuzione funziona ad 8 bar ed è realizzata in acciaio inossidabile AISI 316. La rete di distribuzione di azoto per utilizzi di laboratorio ha origine dall'apposito box di contenimento delle bombole situato in apposita area esterna (in prossimità della centrale termica) in aderenza alla sala A15. Il box è realizzato in lamiera di acciaio zincato e verniciato, ha porte anteriori per l'accesso alle bombole (chiudibili con chiave) con griglie di ventilazione sulla parte superiore ed inferiore, e ha dimensioni tali da consentire l'alloggiamento di due rampe da quattro bombole ciascuna, i riduttori di pressione ed il quadro di scambio automatico. Dal box bombole si diparte la rete di distribuzione in rame fino agli utilizzatori nei locali al piano interrato.

- Impianto idrosanitario e di scarico. L'acqua calda sanitaria viene prodotta localmente (all'interno del gruppo di servizi) tramite scaldacqua elettrico a piccolo accumulo (15 litri). La rete di distribuzione acqua fredda (dalla centrale idrica fino al servizio igienico) è realizzata in acciaio inox, mentre la distribuzione all'interno del servizio (acqua fredda e calda) è effettuata attraverso un collettore e tubazioni in multistrato. È prevista anche l'installazione di docce di emergenza con serbatoio di alimentazione e serbatoio di raccolta dello scarico (situato sotto il piatto doccia stesso), installate al piano interrato. Le reti di scarico sono realizzate in polietilene ad alta densità, mentre le colonne di scarico e ventilazione sono realizzate con tubazione in polietilene silenziato.

- Impianti elettrici a servizio dei termotecnici. Gli impianti elettrici completi a servizio degli impianti termotecnici sono composti da quadro elettrico della centrale termica con relative linee a valle (potenza - comando - segnali - terra) fino alle varie utenze e quadro elettrico della sottocentrale termofrigorifera e trattamento aria con relative linee a valle (potenza - comando - segnali - terra) fino alle varie utenze;
 Gli impianti elettrici generali dell'edificio sono, invece, composti da linee di alimentazione di potenza (e terra) dei predetti quadri, linee di alimentazione dei condizionatori ambiente, linee di alimentazione dei condizionatori autonomi a servizio del locale UPS e linee di alimentazione dello scaldacqua dei servizi igienici.

- Regolazione automatica. A fianco dei quadri di potenza (o in apposita sezione dei quadri stessi) di cui al punto precedente sono installati dei quadretti contenenti le centraline a microprocessore a Controllo Digitale Diretto (D.D.C.) programmabili, che provvedono alla regolazione automatica dei vari circuiti, delle unità di trattamento aria, etc., all'avviamento-arresto a tempo programmato delle varie utenze (caldaie, refrigeratori, pompe, unità T.A., etc.) che peraltro potranno essere azionate in modo manuale, alle segnalazioni di stato delle varie utenze, alle segnalazioni di situazioni di allarme (es. intervento protezione termica di un motore), alle procedure su evento (esempio: arresto ventilatori

L'edificio SPES

della U.T.A. in caso di allarme-incendio proveniente dall'impianto di rivelazione fumi).

Le varie centraline D.D.C. sono collegate per poter "colloquiare" fra loro e per poter essere collegate al sistema centralizzato computerizzato di supervisione.

3.4 Il sistema di ventilazione e il trattamento aria

Il sistema di ventilazione ha un ruolo cardine nella sicurezza di SPES in generale e nella sicurezza antincendio in particolare.

La funzione dell'impianto è trattare l'aria in modo da garantire che la mandata in tutti i locali abbia i requisiti termo-igrometrici richiesti, e che l'aria aspirata dai locali e immessa in atmosfera dalla ciminiera rispetti gli standard di sicurezza e che sia dunque adeguatamente filtrata.

Il "trattamento" vero e proprio dell'aria avviene in appositi impianti definiti, appunto, Unità di Trattamento dell'Aria (UTA).

Un'unità di trattamento dell'aria è un dispositivo che serve per cambiare le caratteristiche dell'aria ambientale e le adatta a degli standard produttivi; contiene l'insieme dei componenti deputati al trattamento del fluido termovettore aria, al fine di operare le necessarie trasformazioni termodinamiche per un'opportuna immissione in ambiente. Generalmente i componenti di una UTA si possono riassumere con il seguente elenco:

- un ventilatore di ripresa ed uno di mandata;
- sezioni filtranti sull'aria di ripresa e sull'aria esterna;
- una camera di miscela;
- tre serrande di regolazione;
- una batteria a tubi alettati per il pre-riscaldamento dell'aria;
- una batteria a tubi alettati per il raffreddamento e la deumidificazione dell'aria;
- una sezione di umidificazione e separatore di gocce;
- una batteria a tubi alettati per il post-riscaldamento dell'aria.

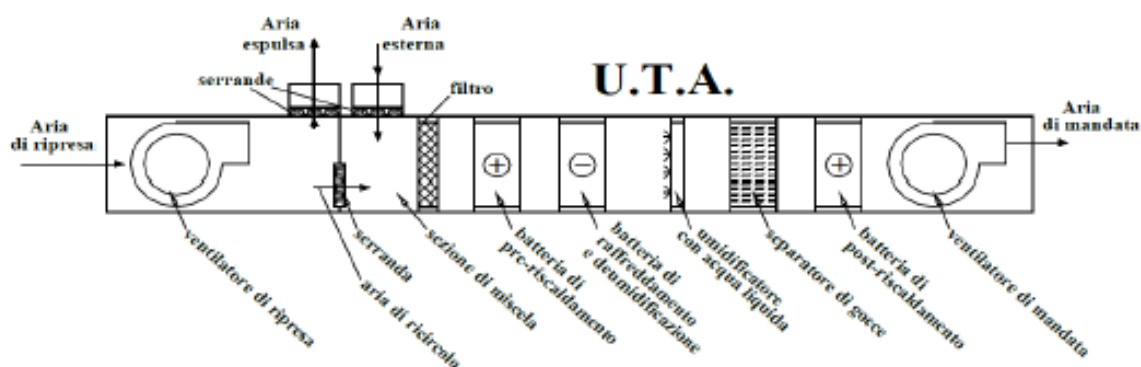


Fig. 3.4: Schema di funzionamento della UTA

Poiché l'aria estratta dai locali risulta attivata, non è previsto il ricircolo dell'aria, poiché si produrrebbe maggiore attivazione. Qualora fosse necessario, la ripresa dell'aria può essere realizzata o mediante estrattori (valvole di estrazione) localizzati in ambiente, deputati all'espulsione dell'aria esausta all'esterno, oppure mediante canalizzazione di espulsione e ventilatore centralizzato.

Le batterie di scambio termico sono scambiatori di calore, solitamente a tubi alettati, del tipo aria/acqua. La batteria di preriscaldamento è una batteria calda utilizzata soltanto nella climatizzazione invernale. Tale scambiatore opera un riscaldamento sensibile dell'aria di immissione, aumentando la temperatura di questa e mantenendo l'umidità specifica costante. In uscita, l'aria risulterà calda ma secca, quindi non ancora buona da immettere in ambiente. La batteria fredda viene utilizzata durante la climatizzazione estiva. Opera due trasformazioni: raffredda l'aria in ingresso e la deumidifica; in uscita dalla batteria l'aria non può essere ancora immessa. Il post-riscaldamento può essere attivato sia d'estate che d'inverno. Le usuali batterie di scambio termico sono costituite da scambiatori di calore a contatto indiretto, in cui avviene un trasferimento di energia termica tra l'aria umida (veicolata da un ventilatore) ed un mezzo, che può essere acqua in fase liquida, fluido refrigerante, o vapor d'acqua, con lo scopo di riscaldare, raffreddare e deumidificare l'aria.

La sezione umidificante è adoperata in regime invernale per umidificare l'aria in uscita dal pre-riscaldamento. L'obiettivo è aumentare l'umidità specifica della portata di aria trattata. Dopo la sezione di umidificazione, il separatore di gocce, solitamente realizzato in acciaio, separa dalla corrente di aria trattata le particelle di liquido rimaste in sospensione.

L'edificio SPES

Alla fine del percorso, l'aria avrà assunto le caratteristiche termoigrometriche richieste per essere immessa nel locale.

L'unità di trattamento aria (UTA 02) a servizio della cyclotron room è ubicata in apposita area nel vano tecnico (A17) al piano primo. L'aria viene aspirata dall'esterno del fabbricato da una griglia posizionata in copertura, filtrata in macchina con adeguati filtri, trattata termoigrometricamente e immessa in ambiente. Viene poi ripresa ed espulsa all'esterno dal camino di espulsione con una griglia collocata sulla copertura dell'edificio, tale camino di espulsione è stata posta ad adeguata distanza ed altezza dalle griglie di presa aria in modo da impedire alcuna possibilità di cortocircuitazione tra l'aria prelevata dall'esterno e l'aria espulsa dai vari impianti.

L'aria proveniente dal locale A1, è filtrata con filtri assoluti U15 e filtri molecolari a carbone attivo impregnato con idrossido di potassio, contenuti entro appositi canister, che consentano la sostituzione delle celle filtranti in sicurezza, senza venire a diretto contatto con il filtro.

La filtrazione dell'aria di mandata consente di immettere negli ambienti aria trattata e pulita. La UTA è del tipo con pannellatura sandwich con le superfici esterne in acciaio zincato verniciato e quelle interne in acciaio inox AISI 316L, perfettamente pulibili; l'isolamento termico in poliuretano espanso è posto all'interno delle due pareti in lamiera, e pertanto non a contatto con l'aria. Lo spessore dei pannelli è adatto a sopportare le differenti pressioni richieste (-60 Pa rispetto alla pressione atmosferica). La UTA è dotata di doppi ventilatori (uno di riserva) del tipo plug-fan sia di mandata che di ripresa. Le canalizzazioni di aspirazione esterna fino alle UTA sono in poliuretano espanso rigido rivestito con una lamina di alluminio goffrata, le canalizzazioni di mandata dell'aria sono in acciaio zincato non saldato fino ai tratti interni ai muri, che sono in acciaio inox AISI 304 con giunzioni saldate; i tratti seguenti in uscita dai locali e fino ai filtri, sono in acciaio zincato con giunzioni saldate. Le tubazioni dai filtri fino alla ciminiera sono in acciaio zincato non saldato, con giunzioni a tenuta a bicchiere.

È stata prevista la coibentazione (esterna ai canali), per evitare dispersioni termiche e/o formazione di condensa, delle canalizzazioni di mandata, ripresa e presa aria esterna poste all'interno del vano tecnico, eseguita con materassino di lana di vetro e finitura in lamierino di alluminio. Anche le tubazioni di alimentazione batterie calde e fredde,

come del resto tutte le valvole, gli accessori e le elettropompe sono isolate termicamente, in osservanza della Legge 10/91.

L'umidificazione dell'aria avviene mediante l'impiego di umidificatori ad acqua nebulizzata ad alta pressione (con riserva); per l'alimentazione di tutti i sistemi di umidificazione dell'aria viene usata acqua demineralizzata osmotizzata.

L'unità di trattamento aria (UTA 01) a servizio dei bunker ISOL è ubicata in apposita area nel vano tecnico (A17) al piano primo accanto alla UTA02. L'aria viene aspirata dall'esterno del fabbricato da una griglia posizionata in copertura, filtrata in macchina con adeguati filtri, trattata termoigrometricamente, immessa in ambiente nel locale A8, transitata attraverso il locale A7 e ripresa ed espulsa all'esterno dalla testata ventilante di ripresa/espulsione EXP 01.

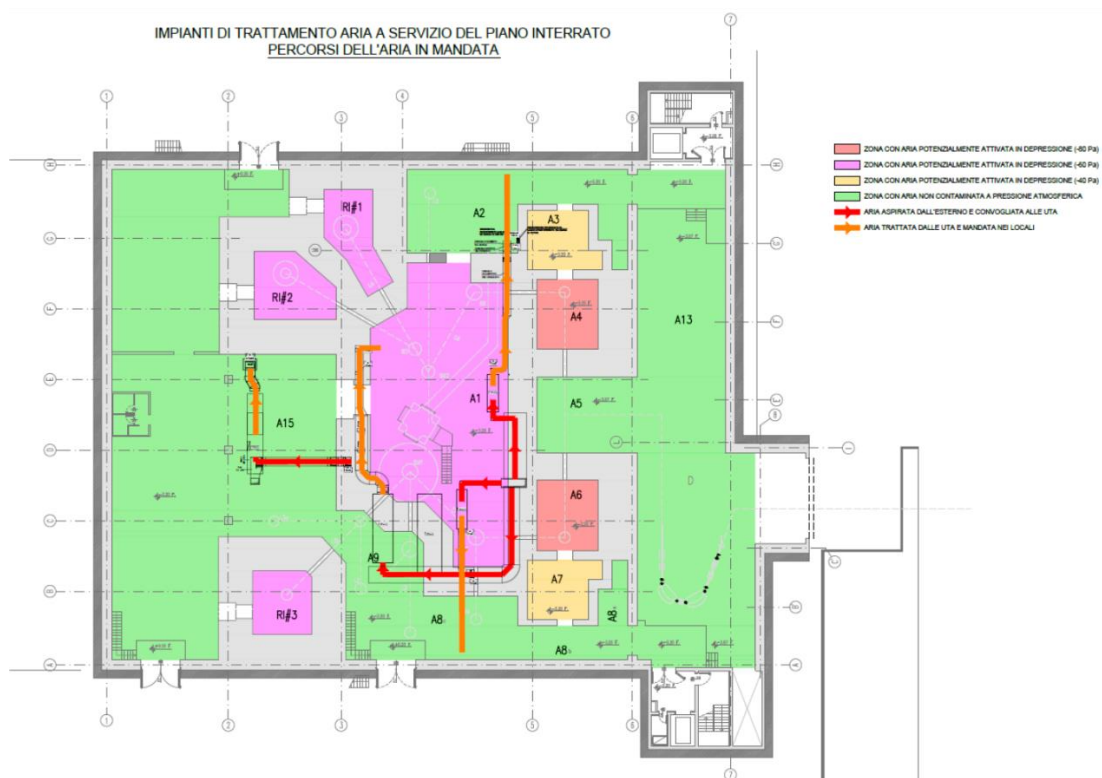


Fig. 3.5: Schema dei flussi della ventilazione in aspirazione

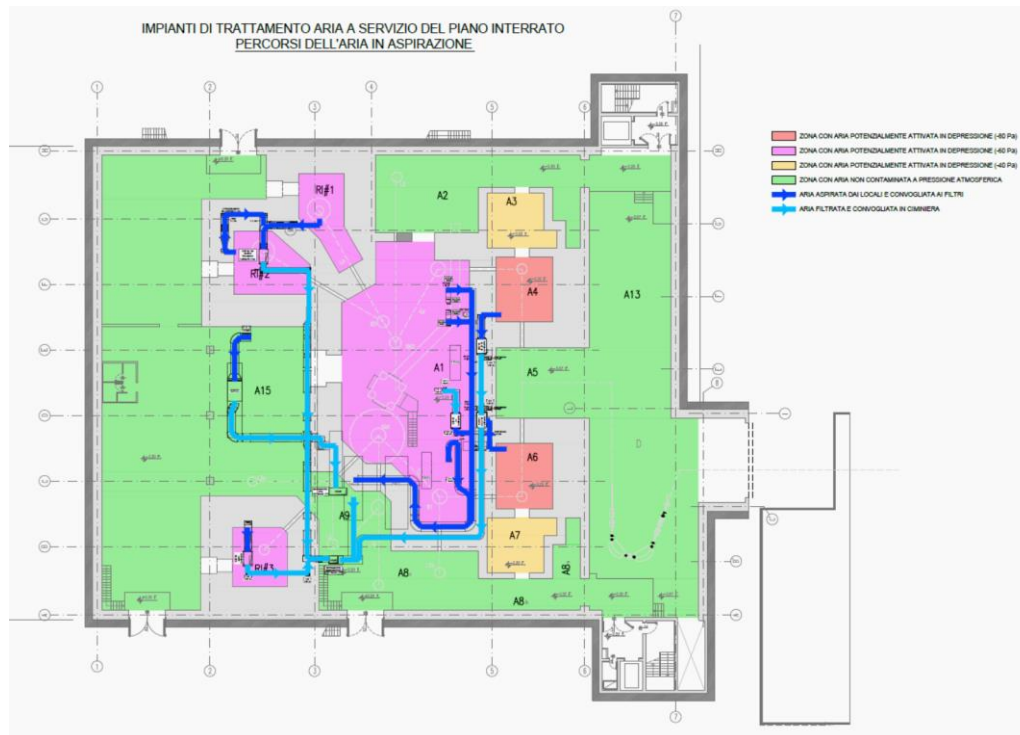


Fig. 3.6: Schema dei flussi della ventilazione in aspirazione

L'aria viene aspirata dall'esterno del fabbricato da una griglia posizionata in copertura, filtrata in macchina con adeguati filtri, trattata termoigrometricamente e immessa in ambiente. Viene poi ripresa ed espulsa all'esterno dal camino di espulsione con una griglia collocata sulla copertura dell'edificio, tale camino di espulsione è stata posta ad adeguata distanza dalle griglie di presa aria in modo da impedire alcuna possibilità di cortocircuitazione tra l'aria prelevata dall'esterno e l'aria espulsa dai vari impianti. La filtrazione assoluta dell'aria di mandata consente di immettere negli ambienti aria trattata e pulita. La UTA è del tipo con pannellatura sandwich con le superfici esterne in acciaio zincato verniciato e quelle interne in acciaio inox AISI 316L, perfettamente pulibili; l'isolamento termico in poliuretano espanso è stato posto all'interno delle due pareti in lamiera, e pertanto non a contatto con l'aria. Lo spessore dei pannelli è adatto a sopportare le differenti pressioni richieste (-80 Pa rispetto alla pressione atmosferica). La UTA è dotata di doppi ventilatori (uno di riserva) del tipo plug-fan. Le canalizzazioni di aspirazione esterna fino alle UTA sono in poliuretano espanso rigido rivestito con una lamina di alluminio goffrata, le canalizzazioni di mandata dell'aria sono in acciaio zincato non saldato fino ai tratti interni ai muri, che sono in acciaio inox AISI 304 con giunzioni saldate; i tratti seguenti in uscita dai locali e fino ai filtri, sono

in acciaio zincato con giunzioni saldate. Le tubazioni dai filtri fino alla ciminiera sono in acciaio zincato non saldato, con giunzioni a tenuta a bicchiere.

E' stata prevista la coibentazione (esterna ai canali), per evitare dispersioni termiche e/o formazione di condensa, delle canalizzazioni di mandata e presa aria esterna poste all'interno del vano tecnico, eseguita con materassino di lana di vetro e finitura in lamierino di alluminio.

Anche le tubazioni di alimentazione batterie calde e fredda, come del resto tutte le valvole, gli accessori e le elettropompe sono isolate termicamente, in osservanza della Legge 10/91.

L'umidificazione dell'aria avviene mediante l'impiego di umidificatori ad acqua nebulizzata ad alta pressione; per l'alimentazione di tutti i sistemi di umidificazione dell'aria viene usata acqua demineralizzata osmotizzata.

Una volta immessa nei locali l'aria trattata e pulita viene attivata dall'atmosfera radioattiva. Deve dunque essere filtrata prima di poter essere reimpressa in atmosfera.

I filtri vengono installati sia in mandata dell'aria con lo scopo di filtrare l'aria presa dall'esterno, che in ripresa, in quanto, come si è già detto, nelle sale sperimentali l'aria sarà potenzialmente attivata, di conseguenza i filtri hanno lo scopo di bloccare il particolato radioattivo presente nell'aria aspirata.

I filtri installati sono di 2 tipi:

- Filtrazione assoluta – classe di efficienza U15;
- Filtrazione - filtri molecolari a carbone attivo impregnato con idrossido di potassio.

I filtri assoluti sono composti da foglietti filtranti di microfibre assemblati in più strati, separati da setti in alluminio. I foglietti filtranti in microfibra hanno il compito di bloccare le particelle solide inquinanti (o particolato) presenti nella corrente fluida da trattare. I filtri HEPA (High Efficiency Particulate Air filter) e i filtri ULPA (Ultra Low Penetration Air) fanno parte della categoria dei cosiddetti "filtri assoluti". Il termine "filtro assoluto" è giustificato dal fatto che i filtri HEPA e ULPA hanno una elevata efficienza di filtrazione. In particolare i filtri ULPA presentano un'efficienza di filtrazione tra il 99,9995% (U15) e il 99,999995% (U17).

Vengono classificati in base all'efficienza di filtrazione delle particelle di 0.3 µm.

La filtrazione sui carboni attivi, invece, è una tecnologia di depurazione dell'aria per mezzo della quale una corrente gassosa viene privata degli elementi inquinanti

L'edificio SPES

facendola passare attraverso un filtro che contiene carbone attivo. L'operazione si basa sulla capacità del carbone attivo di adsorbire, grazie alla sua porosità, la maggior parte delle sostanze organiche e sulla conseguente possibilità di estrarle utilizzando un "veicolo" che generalmente è vapore o azoto.

L'adsorbimento è un fenomeno prevalentemente fisico, in cui le molecole delle sostanze adsorbite vengono trattenute sul carbone da forze deboli tipo Van der Waals. Al contempo vi è una parziale deposizione delle particelle colloidali sulla superficie del carbone. Mediante il trattamento a carboni attivi la corrente aeriforme, contenente inquinanti aerodispersi, viene aspirata da uno o più ventilatori, a valle dei quali può essere installato un filtro a protezione del carbone e una batteria di condizionamento (per ottimizzare umidità e temperatura). Il carbone è contenuto negli assorbitori, di cui almeno uno in fase di rigenerazione. L'aeriforme inquinato, attraversando il carbone, deposita gli organici e viene direttamente espulso depurato al camino.

Il carbone esausto deve essere estratto dai filtri per poi essere smaltito in idonea discarica.

I filtri assoluti di classe U15 hanno il telaio in lamiera d'acciaio, con sigillante poliuretano bicomponente e guarnizione di tenuta colata (senza giunzioni).

I filtri a carboni attivi sono invece in lamiera d'acciaio saldata a tenuta stagna, protetta da verniciatura epossidica a forno, pannello frontale asportabile, con guarnizione di tenuta perimetrale e chiusura mediante tiranti ribaltabili con serraggio a volantino.

Capitolo 4

L'analisi preliminare

La progettazione antincendio basata sul metodo prestazionale si costituisce di due fasi: l'analisi preliminare, in cui vengono definiti il progetto e gli obiettivi della sicurezza antincendio, e l'analisi quantitativa, in cui vengono effettivamente scelte e dimensionate le soluzioni progettuali. Questo capitolo tratterà la definizione dell'analisi preliminare.

4.1 La scelta metodologica

Come già anticipato, la facility SPES è stata condizionata dal Ministero dell'Interno all'ottenimento del Certificato di Prevenzione Incendi, pratica supervisionata dal Comando dei Vigili del fuoco di Padova. In collaborazione con la Direzione Interregionale dei Vigili del Fuoco del Veneto e Trentino Alto Adige, si è scelto di indagare la possibilità di seguire il Nuovo Codice per la Prevenzione Incendi come guida tecnica per la progettazione.

Trattandosi di attività non convenzionali, le facility nucleari non dispongono di una specifica normativa in materia di antincendio, perlomeno in ambito italiano, dove non si ricorre più al nucleare come fonte di energia dal 1987, in seguito al referendum abrogativo sul nucleare. L'unica indicazione normativa sull'antincendio in ambito radiologico si trova nel D. Lgs. 230/1995, dove viene richiesta, come parte del "Rapporto di sicurezza", l'indicazione delle "misure previste ai fini della prevenzione e protezione antincendio".

Le linee guida fornite dall'IAEA (International Atomic Energy Agency) in ambito di Fire Safety si concentrano soprattutto sugli impianti dedicati alla produzione di energia,

L'analisi preliminare

dove la presenza di materiale infiammabile è di molto superiore alla facility in oggetto, tuttavia si è ritenuto adeguato adottare i due principi di massima:

- **Defence in depth:** *“To ensure adequate fire safety in a nuclear power plant in operation, an appropriate level of defence in depth should be maintained throughout the lifetime of the plant, through the fulfilment of the three principal objectives identified in:*
 1. *Preventing fires from starting;*
 2. *Detecting and extinguishing quickly those fires which do start, thus limiting the damage; and*
 3. *Preventing the spread of those fires which have not been extinguished, thus minimizing their effects on essential plant functions.*

- **ALARP: as low as reasonably possible:** *It should be ensured by means of the above approach that:*
 - *the probability of a fire occurring is reduced to as low as reasonably practicable;*
 - *safety systems are adequately protected to ensure that the consequences of a single fire will not prevent those systems from performing their required function, account being taken of the effects of a single failure.”¹⁰*

Sulla base dei principi sopra elencati, e con il metodo proposto dal Codice, si è voluta dare coerenza e immediata leggibilità alla progettazione in oggetto.

4.2 L'analisi preliminare

Nei capitoli precedenti è stato descritto lo scopo del progetto SPES e come questo venga concretamente portato implementato. Ai fini della progettazione antincendio è ora necessario analizzare il contesto in cui l'attività si svolge, per definire i confini in cui il progetto andrà ad agire e le criticità che dovranno essere affrontate.

A questo scopo, come descritto nel Capitolo M del Nuovo Codice di Prevenzione Incendi, verranno individuati nella fase preliminare:

¹⁰ From “SAFETY GUIDE No. NS-G-2.1, “Fire Safety in the Operations of Nuclear Power plants”

- Obiettivi della sicurezza antincendio e/o limiti imposti
- Soglie di prestazione
- Scenari di incendio di progetto

Scopo di questa fase è raccogliere i dati necessari alla progettazione antincendio definitiva.

In primo luogo ci si è focalizzati sullo studio del funzionamento della facility, sia per le opere già realizzate e in funzione, sia la parte ancora in fase di progetto, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti. Il ciclotrone produce un fascio di particelle che, data la sua elevata potenza, potrebbe attivare la materia circostante, motivo per cui l'edificio è stato progettato con muri di grande spessore per impedire la fuga di radiazioni all'esterno dell'edificio. Sono state per questo considerate soluzioni strutturali come grandi spessori nelle murature, isolamento dell'edificio dalla falda acquifera, inoltre sono state adottate soluzioni impiantistiche (impianti di ventilazione, trattamenti di filtraggio per l'aria e ricircolo delle acque di raffreddamento), valutando quali fra queste potessero avere ripercussioni sulla sicurezza antincendio.

Al momento il ciclotrone ha appena terminato la fase di commissioning, sono dunque iniziati i primi test sulla macchina ma non sono ancora in funzione gli esperimenti previsti.

Ci si è avvalsi, per l'analisi del progetto, della documentazione tecnica prodotta durante la costruzione dell'edificio e di ispezioni sul campo, col supporto del personale dei Laboratori. Ci si è inoltre confrontati con lo studio responsabile della progettazione antincendio, esterno all'ente.

È stata elaborata un'analisi di rischio suddivisa in Compartimenti, sulla base della previsione di impiego delle aree dell'edificio, che ha permesso di determinare la pericolosità o meno ai fini antincendio delle attività condotte nell'edificio. Sono state così individuate le criticità rilevanti per la progettazione FSE.

4.3 Identificazione degli obiettivi della sicurezza antincendio

Nel caso in esame le priorità in caso di incidente sono l'immediata salvaguardia degli occupanti l'edificio e impedire la fuga di radiazioni verso l'esterno. A tal fine verranno dunque considerati come obiettivi:

L'analisi preliminare

- Garantire la possibilità di esodo agli occupanti
- Limitare l'esposizione a radiazioni nei percorsi di esodo
- Limitare la propagazione dell'incendio all'interno della struttura
- Garantire la stabilità delle strutture e la funzionalità dei sistemi di controllo della radioattività
- Prevenire il danno ambientale da fuga di radiazioni

Il perseguimento degli obiettivi verrà quantificato dalle soglie di prestazione, indicatori numerici basati su modelli ritenuti idonei a descrivere le dinamiche oggetto dell'obiettivo fissato.

4.4 Definizione soglie di prestazione

Le soglie di prestazione definiscono i valori numerici dei parametri cardine a cui l'attività deve sottostare ai fini della sicurezza antincendio. Sono stati dunque individuati i modelli applicabili alla struttura, utili al monitoraggio del perseguimento degli obiettivi di sicurezza posti in essere.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60° C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80° C	Da capacità operativa VVF
Esposizione radiazioni	Limite equivalente di dose per esposizione globale	Per gli operatori professionali in interventi di emergenza a) 100 mSv di dose efficace; b) 300 mSv di dose equivalente al cristallino; c) 1 Sv di dose equivalente alle mani, agli avambracci, ai piedi ed alle	D. Lgs. 230/1995 “Attuazione delle Direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom e 2006/117/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti.”

		caviglie; d) 1 Sv di dose equivalente alla pelle.
Spegnimento autonomo dell'incendio	Spegnimento in locali non accessibili	HRR a zero senza intervento o immissione di materiale all'interno del locale
Resistenza strutturale	Mantenimento della funzione portante e di contenimento della radioattività	Soglia stabilita in accordo ai principi di sicurezza radio-protezionistica

Tab. 4.1: Definizione soglie di prestazione

Nella fase dell'analisi quantitativa andrà verificato il rispetto dei valori di soglia in tutti gli scenari ipotizzati, o dovranno essere previste e dimensionate opportune soluzioni.

4.5 Scenari di incendio di progetto

Gli scenari di incendio di progetto sono stati determinati sulla base di un'analisi di rischio condotta su consulenza del personale dei Laboratori: l'organizzazione di SPES si basa su gruppi di lavoro, ciascuno con uno specifico campo di pertinenza (Supporto scientifico, Sicurezza, Infrastrutture, Sistemi di controllo, Ciclotrone, Fasci esotici, Trasporto di fascio e selezione, RFQ, Acceleratore RIB, Meccanica e ingegneria, Vuoto). Consultandosi con i vari gruppi è stata ricercata una possibile interferenza con la sicurezza antincendio, sotto forma di possibile scenario o come soluzione al problema, come si vedrà in seguito.

Data la complessità della struttura, è stata effettuata da un'analisi di rischio a tutto campo che analizza il funzionamento della macchina SPES in tutto il suo ciclo di lavoro. Tale analisi è stata considerata come riferimento per la discussione degli scenari di incendio: sono state considerate per la progettazione le situazioni che possono portare all'emergenza incendio, non tenendo conto dei malfunzionamenti a carico del sistema

L'analisi preliminare

che non coinvolgessero tale rischio, i quali non sono oggetto della presente trattazione. Fra queste, sono state studiate con maggiore attenzione le situazioni ritenute non gestibili con usuali procedure di sicurezza antincendio.

Per coerenza espositiva, nella quantificazione del rischio di incendio è stata adottata la matrice di rischio impiegata nell'analisi di rischio generale della struttura, con 5 livelli di severità e 5 livelli di probabilità. Sono state tuttavia semplificate le scansioni per i vari livelli, poiché le scale impiegate nell'analisi generale implicano un dettaglio eccessivo per lo studio in essere:

Livello	Probabilità	Severità
1	Improbabile	Trascurabile
2	Remota	Danni reversibili alle apparecchiature
3	Occasionale	Danni alle persone e danni reversibili alle apparecchiature
4	Probabile	Danni alle persone e danni irreversibili alle apparecchiature
5	Frequente	Catastrofico

Tab. 4.2: Quantificazione livelli di rischio

		Probabilità				
		1	2	3	4	5
Conseguenze	1	1	2	3	4	4
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

Fig. 4.1: Matrice di rischio

I livelli di rischio in rosso sono ritenuti inaccettabili, motivo per cui devono essere adottate opportune misure di riduzione del rischio, i livelli in giallo sono definiti come “da gestire” e le situazioni in verde sono ritenute in condizioni di operatività.

A ciascuno scenario è stato attribuito un indice di rischio, sulla base del quale si è proceduto a proporre delle possibili soluzioni, progettuali o gestionali, che andranno poi a comporre il Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio¹¹. Per ciascuna delle situazioni evidenziate è stata valutata la metodologia di studio più idonea. Alcune ipotesi non rientrano nel campo di applicazione del modello FDS, pur meritando una valutazione ai fini della sicurezza antincendio, queste casistiche sono state valutate con altri metodi.

Negli scenari è stato compreso l’esodo, il quale verrà studiato con l’ausilio del software EVAC.

Il piano interrato è il compartimento principale dell’edificio, qui si ambientano gli scenari più gravosi. La sala centrale alloggia il ciclotrone dal quale si diramano due linee di fascio indipendenti, che sfociano in 4 bunker sperimentali, più una ulteriore linea che porta il fascio verso la ri-accelerazione nell’acceleratore ALPI. Tutto il compartimento è caratterizzato da rischio radiologico variabile, e da pesanti schermature atte a contenere l’attivazione. Le schermature, e il relativo sistema di controllo degli accessi, possono costituire un ostacolo all’esodo.

Al primo e al secondo piano la criticità risiede nella presenza di persone e nella loro potenziale interazione con materiale infiammabile (ad esempio l’UCx, usato nei target per la produzione di RIB) oltre che nel rischio “convenzionale” di incendio elettrico in locali tecnici, come il vano alimentatori. Sono stati dunque considerati per l’analisi i seguenti scenari (in ordine di rilevanza):

PIANO INTERRATO		
Ciclotrone (A1) (iniezione idrogeno)	Verifica spegnimento di incendio senza ingresso di personale	IR8

¹¹ La valutazione di rischio in forma tabellare è consultabile in Allegato

	Indagine possibilità di ATEX a causa dell'iniezione di idrogeno del ciclotrone.	IR4
Bunker AGV (A7, A6)	Valutazione spegnimento senza ingresso di personale	IR8
	Monitoraggio temperature per garantire il funzionamento dei filtri del camino di espulsione per il controllo della dispersione della radioattività	
Deposito Materiale (A15)	Studio evoluzione dell'incendio di un possibile deposito di materiale	IR6
GRS (bombole sottovuoto)	Valutazione possibilità di innesco della miscela di gas	IR4
Terza Sala	Valutazione evoluzione dell'incendio e dimensionamento sistema SENFC	IR12
Sala Sperimentale (A13)	Valutazione evoluzione dell'incendio	IR6
Beam Dump	Elevato carico di incendio localizzato (da 2000 a 3170 kg di HDPE)	IR6
PRIMO PIANO		
Sala controllo	Valutazione evoluzione dell'incendio	IR12
Centrale tecnologica	Valutazione evoluzione dell'incendio	IR9
Sala alimentatori	Valutazione evoluzione dell'incendio	IR9
PIANO PRIMO RIALZATO		
Laboratori UCx	Valutazione evoluzione dell'incendio	IR9

Tab. 4.3: Scenari di incendio

4.5.1 Scenario "Sala sperimentale" e "bunker"

Come evidenziato in precedenza, alcune aree del piano interrato saranno inaccessibili durante il funzionamento della facility, a causa dell'elevato livello di radioattività generato. A livello di sicurezza antincendio si pone dunque il problema dello spegnimento di un eventuale focolaio. Nonostante la ridotta possibilità che si possa sviluppare un incendio all'interno del piano interrato dell'edificio, considerata la

scarsità di materiale combustibile presente, si è comunque voluta verificare, tramite la modellazione FDS, la possibilità di usare l'impianto di ventilazione, predisposto per il controllo dell'atmosfera al piano interrato, come impianto automatico di spegnimento, sia per la sala del ciclotrone che per i bunker. Nel caso del locale del ciclotrone è stata ipotizzata come manovra di sicurezza lo spegnimento totale della ventilazione, su input di un impianto di rilevamento fumi a soffitto. Nel caso dei bunker, l'ipotesi rimane quella di impiegare la ventilazione come impianto di spegnimento, si vuole però indagare la possibilità di sfruttare l'impianto anche come evacuatore di fumi, tenendo conto della tenuta al calore dei filtri necessari al contenimento della radioattività in uscita in atmosfera.

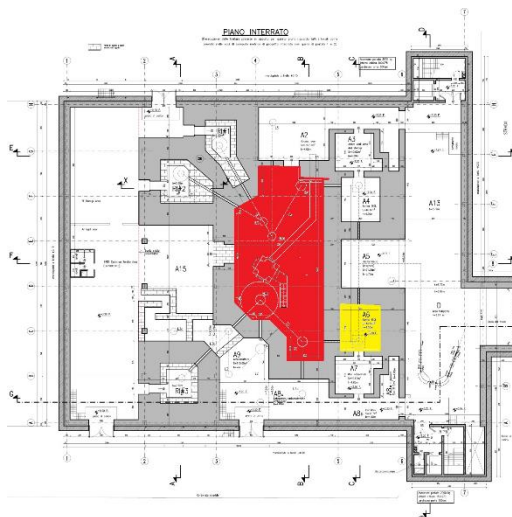


Fig. 4.2: locale A1 (rosso) e bunker A6 (giallo)

4.5.2 Deposito materiale (possibile futura edificazione)

È stata valutata l'opzione di adibire in futuro una zona del locale A15, in prossimità del locale A1, a deposito di materiale tecnico. A tale scopo si è ipotizzato un carico di incendio sostenibile, sulla base del quale definire i limiti costruttivi e gestionali di tale spazio.

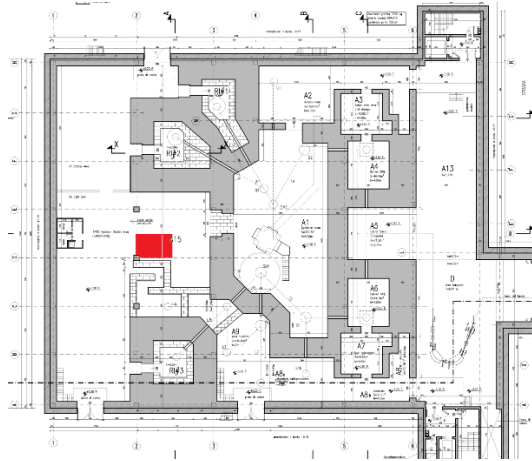


Fig. 4.3: Ipotetica locazione deposito materiale in A15

4.5.3 Gas Recovery System (bombole sotto vuoto)

Il processo di selezione degli isotopi radioattivi oggetto di studio produce degli isotopi “di scarto” ad alta radioattività, che verranno stoccati all’interno della struttura, in un sistema di recupero gas appositamente costruito (detto GRS – Gas Recovery System), per poi essere rilasciati attraverso il sistema di filtrazione del camino dopo un congruo periodo di decadimento, al fine di mantenere la quantità totale di radioattività espulsa in aria sotto la soglia di 1Bq/g. Il bersaglio di produzione ISOL SPES rilascerà una grande quantità di isotopi gassosi radioattivi (circa 1012 Bq per ogni turno). I gas radioattivi prodotti sono emettitori β e γ . Si considera che uno stoccaggio di due mesi permette di ridurre l’attività di quattro ordini di grandezza, periodo durante il quale i gas saranno mantenuti in bombole sotto vuoto. Si è voluta indagare la possibilità che l’influenza della condizione di vuoto (e dunque bassissima pressione) sul Limite di Infiammabilità della miscela stoccata potesse rendere il sistema una fonte di innesco di incendio.

4.5.4 Terza sala

Il locale denominato “Terza Sala” fa da collegamento fra la facility SPES e l’impianto preesistente ALPI. È un locale che sarà accessibile nel corso degli esperimenti. Le linee di fascio che attraversano il locale in varie conformazioni rendono ostico l’esodo, inoltre il carico di incendio in questa sala è più consistente rispetto ai locali A1 e A6, oggetto del precedente studio.

4.5.5 Sala sperimentale A13

Altra sala a cui sarà consentito l'accesso al personale. Il rischio da radioattività è qui molto più contenuto, grazie alla efficace schermatura data dai muri del locale A1. Si è qui voluta dare una indicazione della velocità di crescita di un possibile incendio (che potrebbe derivare principalmente da cause di natura elettrica) al fine di studiare opportune contromisure.

4.5.6 Beam Dump

Struttura di “chiusura” della linea di fascio, consta sostanzialmente di un bersaglio o *Beam Stopper* (BS) e di una struttura schermate per le radiazioni (*Radiation Shielding- RS*) realizzata in High Density Polyethylene e Piombo, sarà necessario sia per le prove di collaudo (Site Acceptance Test - SAT), sia per tutti i futuri test di upgrade/manutenzione del Ciclotrone BEST B70. La grande quantità concentrata di materiale infiammabile rende la collocazione del manufatto oggetto di interesse per la sicurezza antincendio.

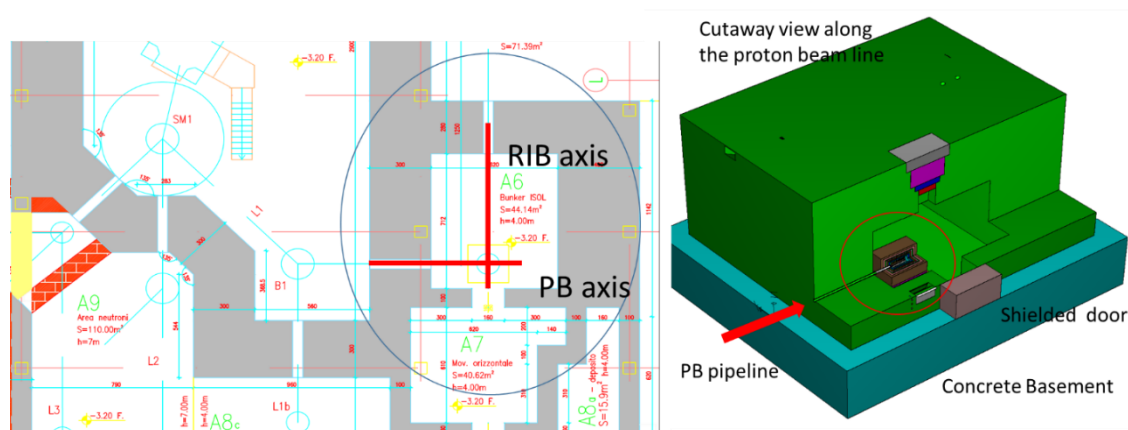


Fig. 4.4: Collocazione preferenziale e aspetto del Beam Dump

4.5.7 Sala controllo

Locale denominato A12, si trova al primo piano, è il principale locale in cui verrà a trovarsi il personale. Si vuole indagare il possibile sviluppo di un incendio nel locale e l'incidenza che l'eventualità avrebbe sulle vie di fuga dal primo piano.

4.5.8 Sala Unità Trattamento Aria

Locale tecnico in cui sono alloggiare le Unità di Trattamento Aria che controllano i parametri igrometrici dell'aria in ingresso nel piano interrato. Vi si trova un sistema di ricircolo dell'acqua di raffreddamento del sistema di ventilazione, la quale potrebbe

L'analisi preliminare

essere attivata dal processo. Si vuole indagare lo sviluppo di un eventuale incendio e valutarne le possibili conseguenze.

4.5.9 Sala Alimentatori

Locale tecnico in cui si trovano gli alimentatori degli elementi che compongono la linea di fascio installata al piano interrato, è un locale soggetto a elevato rischio incendio di natura elettrica.

4.5.10 Laboratori UCx

Al piano rialzato, al quale si accede dalla sala controllo A12, verranno realizzati dei laboratori a servizio della facility. Saranno suddivisi in 4 sezioni:

- Laboratorio Radioprotezione
- Laboratorio Target Ion Source (TIS)
- Laboratorio Laser
- Laboratorio Produzione Bersagli

Poiché non ancora edificati, verrà proposta un'analisi qualitativa del compartimento sotto il profilo della sicurezza antincendio, sulla base dei dati ad oggi disponibili.

Capitolo 5

Analisi quantitativa

In questo capitolo viene trattata la progettazione, propriamente detta, della Sicurezza Antincendio dell'edificio SPES. Vengono descritte le fasi dello studio, che si è basato sulla metodologia prestazionale, codificata nella recente normativa italiana.

5.1 Metodologie di studio impiegate

La varietà di scenari che sono stati individuati nella facility SPES hanno richiesto diversi metodi di indagine. Usualmente, la dinamica di un incendio viene descritta attraverso la curva HRR (Heat Release Rate). In questa curva, che rappresenta la potenza termica rilasciata in funzione del tempo, vengono sintetizzate tutte le principali fasi dell'evento dall'innescò fino allo spegnimento. Una curva HRR si configura di solito nella forma che segue:

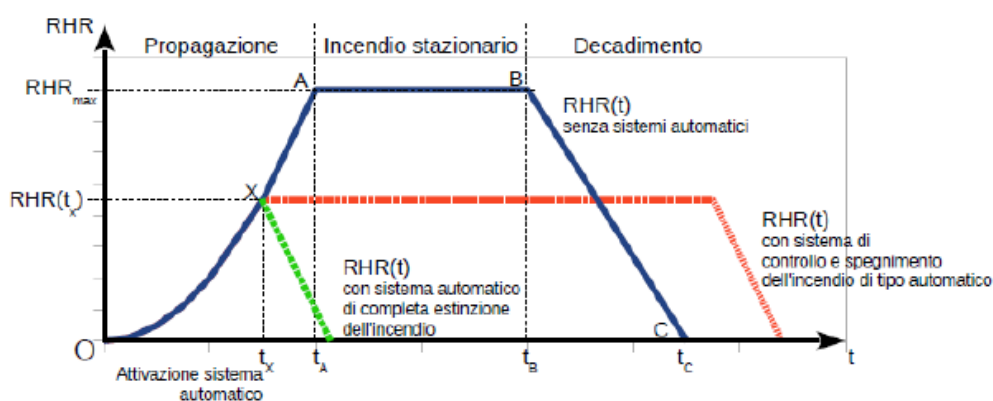


Fig. 5.1: Curva HRR

Possiamo riassumere le fasi che caratterizzano un incendio in 4 fasi: l'ignizione rappresenta la fase iniziale in cui un materiale combustibile inizia il processo della combustione che in questa fase è governato principalmente dal bilancio termico della reazione

La parte ascendente della curva rappresenta la fase di crescita, quella che intercorre fra l'innesco e il punto di flash-over (quando la temperatura ambientale tende all'uniformità e raggiunge valori compresi fra 500 °C e 600 °C, in dipendenza delle caratteristiche del compartimento e dei materiali combustibili in esso contenuti), a seguire l'incendio procede stazionariamente fino all'esaurimento del combustibile o del comburente, per poi arrivare all'estinzione, processo visibile nella fase discendente. È possibile visualizzare sulla curva l'effetto che le azioni di controllo e/o spegnimento implementate nel compartimento hanno sullo scenario.

Il solo modo per conoscere l'esatto evolversi di uno scenario di incendio è quello di effettuare delle prove dal vivo, ed è ciò che viene fatto nei laboratori di prova accreditati, i quali possono certificare varie caratteristiche di materiali o componenti in relazione al loro comportamento in caso di incendio. Ovviamente, le prove dal vivo sono distruttive e per questo molto costose. Sono stati perciò studiati e validati vari sistemi di approssimazione della curva HRR che possono sopperire alle prove.

Nelle analisi portate avanti con i simulatori come FDS, è il calcolo a indicare l'andamento della curva, basandosi sulla reazione di combustione applicata ai materiali inseriti dall'utente nello scenario. La modellazione software permette di indagare tutti gli aspetti che controllano l'evoluzione dello scenario, compresa la scarsa ventilazione, aspetto cruciale delle analisi condotte, e impossibile da calcolare altrimenti. Con la stessa suite usata per FDS è possibile implementare un secondo software (EVAC) con cui modellare l'esodo dagli edifici, valutando l'efficienza delle vie di fuga e permettendo la valutazione obiettiva dei percorsi. È una risorsa estremamente utile in situazioni in cui le prove di evacuazione non possono essere svolte, ad esempio in grandi edifici pubblici come teatri o stadi, o in luoghi in cui le vie di fuga siano inusuali, come nel caso in esame. Si tratta dunque di uno strumento potente, che richiede tuttavia elevati costi computazionali. Ha inoltre alcuni limiti di elaborazione, ad esempio per quanto riguarda la formazione di possibili atmosfere esplosive. Nello studio dell'edificio SPES si è ricorsi alla valutazione delle possibili atmosfere esplosive tramite la Check-

list F&EI (Fire and Explosion Index), elaborata dalla Dow Chemicals: si tratta di un sistema a punteggio che valuta la pericolosità dell'agente impiegato e le condizioni in cui l'attività viene svolta, assegnando un livello di pericolosità alla situazione.

Oltre alla valutazione di atmosfere esplosive si è ricorsi a valutazioni di tipo più qualitativo, in relazione agli scenari non ancora del tutto definiti.

5.2 Simulazione sala A1 “Ciclotrone”

Lo studio dello scenario della sala A1 vuole indagare la possibilità di spegnere un eventuale incendio all'interno del locale automaticamente, e se possibile senza introdurre materiale che possa venire contaminato dall'elevato livello di radioattività presente, il quale dovrebbe essere gestito come rifiuto radioattivo, con notevole impegno tecnico-organizzativo e economico. Poiché il locale è già allestito per la piena attività, è stato possibile valutare molto accuratamente il carico di incendio¹² presente nel locale. La valutazione del carico di incendio, seppure non paragonabile per efficacia descrittiva alla curva HRR, permette di descrivere accuratamente i materiali presenti nel locale, e di dare una prima stima della gravosità dello scenario.

Ciclotrone		
Sezione	Materiale	Quantità
Linee di iniezione	Ferro	300 kg
	Magneti permanenti	5 kg
	Acciaio	700 kg
	Alluminio	100 kg
	Rame	400 kg
Ciclotrone	Ferro	180 ton
	Rame	10 ton
	Acciaio	6 ton
	Alluminio	1 ton

¹² Il carico di incendio [MJ] è il Potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali.

Il carico di incendio specifico di progetto è la massima energia rilasciata per unità di superficie.

	Olio		200 lt
	Grafite		100 g
Cablaggi elettrici	FG7R (2x25):	PVC+HEPR	115 kg
	FG7R (1x120):	PVC+HEPR	1596 kg
	FG7H2R (2x10):	PVC+HEPR	30 kg
	FG7H2R (3x2.5):	PVC+HEPR	68 kg
	FG7R (1x16):	PVC+HEPR	20 kg
	RG8/U:	PVC+HEPR	15 kg
	RG58:	PVC	24 kg
	Altro:	PE+PVC	58 kg

Tab. 5.1: Carichi d'incendio divisi per sezione

Questi dati sono stati usati per renderizzare l'ambiente in FDS. Per poter confrontare i dati della simulazione è stato valutato analiticamente il carico di incendio di progetto inserito nel locale con il metodo descritto nel Codice, poiché il carico di incendio rappresenta l'area sottesa dalla curva HRR.

Considerando i materiali metallici come inerti, il carico da incendio equivalente viene calcolato utilizzando la formula:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A} \cdot [kg/m^2] \quad (5.1)$$

dove:

- q_i è il carico di incendio (in kg legna/m²)
- g_i massa del combustibile
- H_i è il potere calorifico superiore del generico tra gli n combustibili di peso g_i

- m_i fattore di partecipazione alla combustione (vale 0,8 per legno e materiali cellulosici, 1 per tutti gli altri)
- ψ_i fattore di limitazione della partecipazione della combustione dell'i-esimo materiale (vale 0 se il materiale è contenuto in contenitori resistenti al fuoco appositamente progettati, 0,5 per contenitori resistenti al fuoco ma non appositamente progettati, 1 in tutti gli altri casi)
- A è la superficie orizzontale lorda (in m²) del locale o del piano del fabbricato considerato

Cavo	Materiale	Lunghezza [km]	Peso al km [kg/km]	Peso g [kg]	g*H [kCal]
FG7R(2x25)	PVC+HEPR	0,765	300	114,75	900787,5
FG7R(1x120)	PVC+HEPR	2,66	1200	1596	12528600
FG7H2R(2x10)	PVC+HEPR	0,11	500	27,5	215875
FG7H2R(3x2.5)	PVC+HEPR	0,503	270	67,905	533054,25
FG7R(1x16)	PVC+HEPR	0,18	200	18	141300
RG8/U	PVC	0,184	144	13,248	143227,5
RG58	Polietilene+PVC	2,938	39	57,291	592961,85

H PVC [kCal/kg]	H HEPR [kCal/kg]	H Polietilene [kCal/ka]
5000	10700	10000

Tab. 5.2: Calcolo carico di incendio specifico

I cavi elettrici presenti nella stanza sono composti da rame + PVC + HEPR oppure + Polietilene. Dalla formula di cui sopra, per un locale di 350 m², il carico d'incendio specifico risulta pari a 9,78 kg-legna/m².

È stato anche calcolato il carico di incendio specifico di progetto, il quale tiene conto tramite parametri tabellati:

- del rischio di incendio in funzione della superficie del compartimento (Tab. 5.3)

Superficie lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}
A < 500	1,00	2.500 ≤ A < 5.000	1,60
500 ≤ A < 1.000	1,20	5.000 ≤ A < 10.000	1,80
1.000 ≤ A < 2.500	1,40	A ≥ 10.000	2,00

Tab. 5.3: Parametro in funzione della superficie del compartimento

- del rischio di incendio in funzione della pericolosità dell'attività (Tab. 5.4)

La progettazione antincendio a SPES

Classi di rischio	Descrizione	δ_{q2}
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

Tab. 5.4: Parametro in funzione della pericolosità dell'attività

- dei sistemi prevenzione e protezione applicati al locale (moltiplicati fra loro)

Misura antincendio minima		δ_{ni}	
Controllo dell'incendio (Capitolo S.6) con livello di prestazione III	rete idranti con protezione interna	δ_{n1}	0,90
	rete idranti con protezione interna ed esterna	δ_{n2}	0,80
Controllo dell'incendio (Capitolo S.6) con livello minimo di prestazione IV	sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna	δ_{n3}	0,54
	altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna	δ_{n4}	0,72
	sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna ed esterna	δ_{n5}	0,48
	altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna ed esterna	δ_{n6}	0,64
Gestione della sicurezza antincendio (Capitolo S.5), con livello minimo di prestazione II [1]		δ_{n7}	0,90
Controllo di fumi e calore (Capitolo S.8), con livello di prestazione III		δ_{n8}	0,90
Rivelazione ed allarme (Capitolo S.7), con livello minimo di prestazione III		δ_{n9}	0,85
Operatività antincendio (Capitolo S.9), con soluzione conforme per il livello di prestazione IV		δ_{n10}	0,81
[1] Gli addetti antincendio devono garantire la presenza continuativa durante le 24 ore.			

Tab. 5.5: Parametro relativo ai dispositivi di prevenzione e protezione applicati al compartimento

Il calcolo è eseguito secondo la formula

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad (5.2)$$

Dove

- $q_{f,d}$ carico d'incendio specifico di progetto
- δ_{q1} fattori di correzione

CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO	
$q_{(f,d)} = \delta_{q1} * \delta_{q2} * \Pi(\delta_n) * q_f$	
A (mq)	350
$q = g * H$ (kg/mq)	9,78
δ_{q1}	1
δ_{q2}	1,2
$\Pi(\delta_n) = 0,8 * 0,9 * 0,85 * 0,81$	0,49572
q_f	9,78
$q_{f,d}$ (kg legna eq/mq)	5,81777
1 kg legna eq. = 17,5 MJ	
$q_{f,d}$ (MJ/mq)	101,811

Tab. 5.6: Calcolo carico di incendio specifico di progetto

Ne risulta un carico di incendio specifico di progetto pari a circa, 100 MJ/m², valore contenuto se paragonato per esempio al carico di incendio medio atteso da un locale adibito ad uffici, il quale si attesta a 420 MJ/m².

Attività	Valore medio (MJ/m ²)	Frattile 80% (MJ/m ²)
Civili abitazioni	780	948
Ospedali (stanza)	230	280
Alberghi (stanza)	310	377
Biblioteche	1500	1824
Uffici	420	511
Scuole	285	347
Centri commerciali	600	730
Teatri (cinema)	300	365
Trasporti (spazio pubblico)	100	122

Tab. 5.7: Densità di carico di incendio per alcune tipologie di locali in funzione della velocità di crescita dell'incendio da UNI EN 1991-1-2

L'analisi del carico di incendio mostra come la probabilità di innesco di un incendio sia estremamente bassa nel compartimento, per la tipologia di materiali contenuti. Si è scelto di modellare uno scenario fittizio, comunque compatibile con le grandezze valutate analiticamente, al fine di studiare l'impiego della ventilazione come soluzione per lo spegnimento automatico di un eventuale focolaio. Per la simulazione vera è propria si è utilizzato il software FDS (Fire Dynamics Simulator), un simulatore di incendi a modello di campo che, tramite il metodo degli elementi finiti, simula l'evoluzione dello scenario di incendio modellato dall'utente. La predizione si basa

La progettazione antincendio a SPES

sulla risoluzione delle equazioni di Navier – Stokes, per flussi a bassa velocità termicamente controllati. Un preprocessore commerciale legge un file in formato .dwg e lo elabora in un formato compatibile con l'eseguibile FDS, che restituisce una simulazione della dinamica dell'incendio che è stato parametrizzato. Nonostante il valido supporto dato dal preprocessore, è stato necessario un corposo lavoro di correzione dei file di input, data la complessità della scrittura necessaria al simulatore.

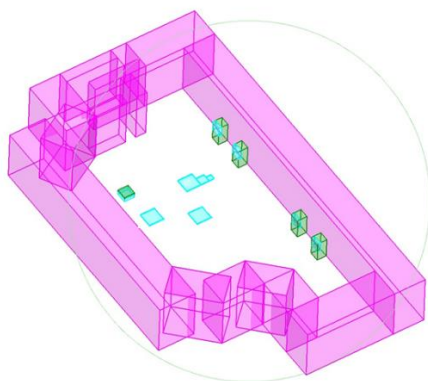


Fig. 5.2: Render Smokeview del locale, sono visibili i due punti di immissione e estrazione dell'impianto di ventilazione

Per necessità di modellazione, il carico di incendio è stato raggruppato in “oggetti FSE” definiti con i materiali presenti nel locale. Concentrando il carico di incendio si ipotizza uno scenario più conservativo, poiché non si considera il ritardo di innesco del combustibile lontano dal focolaio iniziale. Si è ipotizzato un innesco dovuto a un cortocircuito.

Codici	Livello	V1 X [m]	V1 Y [m]	V2 X [m]	V2 Y [m]	Quota min Z [m]	Altezza [m]	Tipo Superficie	Mat Sup Singola	Mat Sup Min X	Mat Sup Max X	Mat Sup Min Y	Mat Sup Max Y	Mat Sup Min Z	Mat Sup Max Z
CDZ01	1° Livello	41.30	33.51	42.20	34.41	0.00	2.00	Singola	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE
CDZ02	1° Livello	41.30	30.49	42.20	31.39	0.00	2.00	Singola	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE
CDZ03	1° Livello	41.30	21.51	42.20	22.41	0.00	2.00	Singola	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE
CDZ04	1° Livello	41.30	18.49	42.20	19.39	0.00	2.00	Singola	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE
EXP03	1° Livello	29.00	29.00	30.00	30.00	4.80	0.20	Singola	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE	INERTE
HEPR	1° Livello	34.21	30.00	35.61	31.40	0.00	0.30	Multipla	HEPR	HEPR	HEPR	HEPR	HEPR	HEPR	Veloce 300 Kw
PVC	1° Livello	35.61	30.00	36.41	30.80	0.00	0.30	Multipla	HEPR	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	Veloce 300 Kw
Polietilene	1° Livello	36.41	30.00	36.91	30.50	0.00	0.30	Multipla	HEPR	Polietilene	Polietilene	Polietilene	Polietilene	Polietilene	Veloce 300 Kw

Tab. 5.8: Esempio di tabella generata da FDS degli elementi presenti nell'area di simulazione

È stato ipotizzato l'impiego dell'impianto di ventilazione come impianto di spegnimento automatico dell'incendio per questo locale, per il principio di sottrazione del comburente. È stata considerata la condizione di funzionamento, durante il quale le porte schermanti sono chiuse, isolando di fatto il locale.

Lo spegnimento della ventilazione è condizionato all'attivazione dei rilevatori di fumo a filo posti a soffitto del locale. Nel software il link viene descritto con la funzionalità "funzione di controllo". Sulla base dei calcoli effettuati per il mantenimento della depressurizzazione del locale, si è modellata una immissione di aria pari a $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$, e una estrazione di $4,46 \text{ m}^3/\text{s}$.

È stata valutata l'adeguatezza della mesh effettuando più run della simulazione, con diverse dimensioni di cella, arrivando a ottenere prestazioni ottimali, in termini di risultati e di costi computazionali, con una griglia di lato $0,40 \text{ m}$.

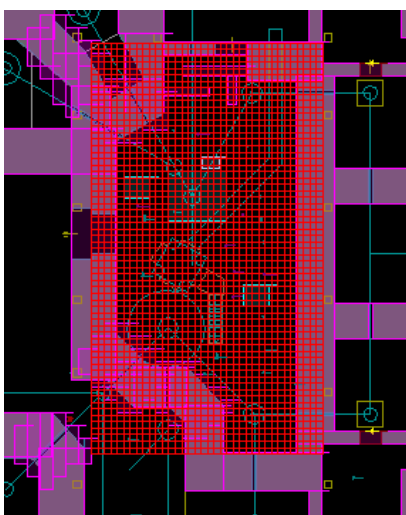


Fig. 5.3: Mesh di calcolo sul locale A1

Visti i carichi di incendio davvero contenuti, e la prevalente composizione metallica di tutte le apparecchiature presenti nel locale, l'innescò di un incendio è poco probabile. È stato considerato un focolaio iniziale standard del programma, un bruciatore di potenza termica 500 KW , sovradimensionato rispetto al reale carico di incendio, per poter valutare l'intervento dell'impianto di ventilazione..

Descrizione	Valore
Nome Materiale	BRUCIATORE 500 KW
Curva di sviluppo dell'incendio	Costante
Tasso di rilascio di calore per unità di area = HRR per m^2	$500.000 \text{ kW}/\text{m}^2$

Temperatura Variabile nel Tempo	Costante
Emissività	0.900

Tab. 5.9: Caratteristiche focolaio

Il programma in output può restituire una grande varietà di parametri, monitorando ogni aspetto della combustione. Nella simulazione in esame si è scelto di monitorare la curva HRR e la concentrazione di ossigeno nel locale, al fine di verificare lo spegnimento dell'incendio. Come si può vedere nel grafico, si ha lo spegnimento totale dell'incendio dopo circa 4300 s, circa 1 h 10 min.

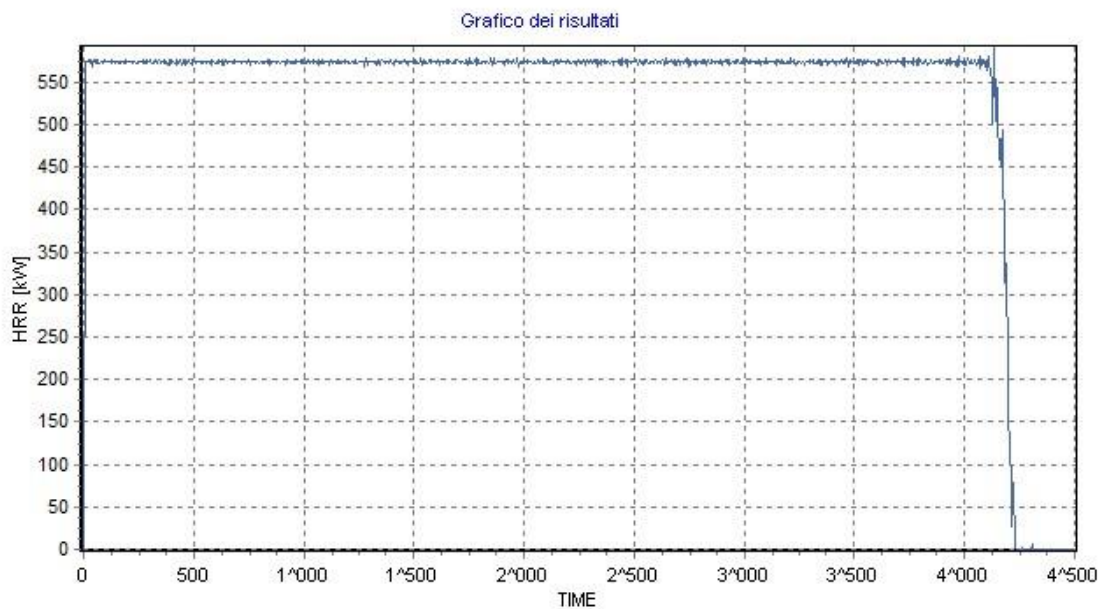


Fig. 5.4: HRR della sala ciclotrone

La potenza massima rilasciata risulta di 550 kW, per una densità di rilascio termico di 1,57 kW/m². L'area sottesa dalla curva, rappresentativa del carico di incendio dello scenario, si attesta su un valore di circa

$$550 \text{ KW} * 4000 \text{ s} = 2200 \text{ MJ} \rightarrow 6,28 \text{ MJ/m}^2 \quad (5.3)$$

Il valore contenuto è dovuto al mancato apporto di ossigeno, che limita fortemente la reazione di combustione sia in potenza che durata. Si noti come la valutazione del carico di incendio effettuata sia superiore di un ordine di grandezza.

È stata monitorata anche la concentrazione di ossigeno nella stanza, che passa dallo 0,21 standard allo 0,11 al momento dello spegnimento dell'incendio, confermando l'ipotesi di spegnimento per sottrazione del comburente.



Fig. 5.5: Concentrazione O2 nel locale ciclotrone

La temperatura nella stanza arriva a un massimo di 75°, permettendo eventualmente l'ingresso ai pompieri (da soglia di prestazione), qualora il livello di radioattività sia sostenibile.

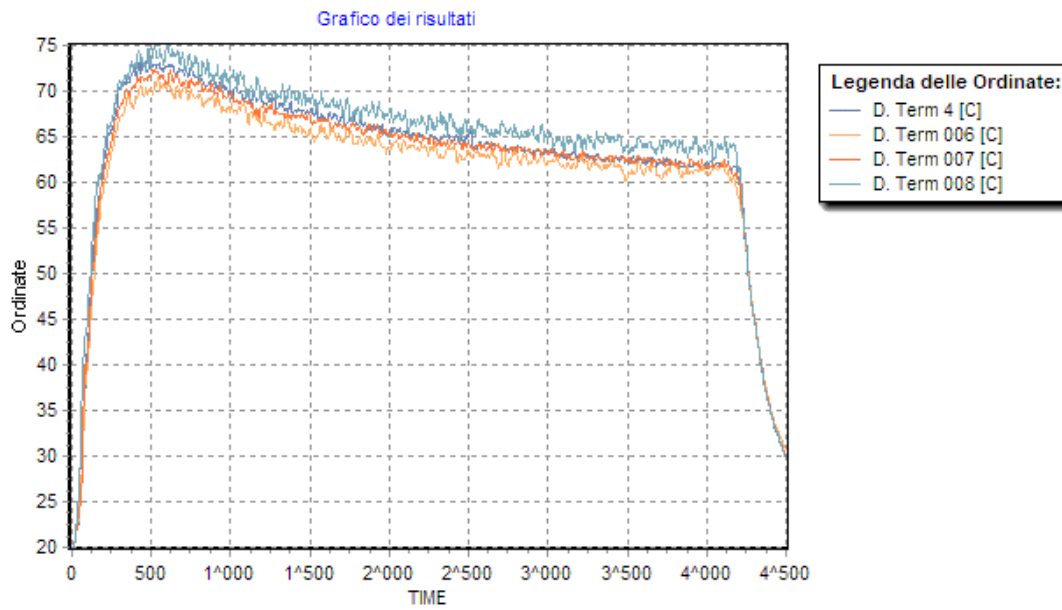


Fig. 5.6: Temperatura dei fumi nel locale ciclotrone

5.3 Simulazione sala A6 “Bunker”

La simulazione relativa ai bunker segue le stesse modalità descritte per il locale A1, Ciclotrone. Il carico di incendio specifico risulta calcolato come segue:

Bunker		
Sezione	Materiale	Quantità
Linee di fascio e camere da vuoto	Alluminio	900 kg
	PE	20 kg
	Acciaio	775 kg
	Bronzo	1,8 kg
Cablaggi celle	EPDM	0,1 kg
	PEEK	14 kg
	Kapton	2,5 kg
	Epossidica	24 kg
	Poliammide	16 kg

Materiali	Potere calorifico H [kCal/kg]	Peso g [kg]	g*H [kCal]
EPDM	9000	0,1	900
Epossidica	7378	24	177072
Kapton	6000	2,5	15000
PEEK	7000	14	98000
Poliammide	6000	16	96000

Tab 5.10: Carichi di incendio per funzione nel locale A6 (bunker)

Per un'area di 45 m² il carico di incendio equivalente risulta di 1,95 kg-legna/m². Il carico di incendio specifico di progetto risulta di circa 20 MJ/ m². Ancora una volta il carico di incendio risulta molto contenuto.

CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO	
$q_{(f,d)} = \delta_{q1} * \delta_{q2} * \Pi(\delta_n) * q_f$	
A (mq)	45
$q = g * H$ (kg/mq)	1,95
δ_{q1}	1
δ_{q2}	1,2
$\Pi(\delta_n) = 0,8 * 0,9 * 0,85 * 0,81$	0,49572
q_f	1,95
$q_{f,d}$ (kg legna eq/mq)	1,1599848
1 kg legna eq. = 17,5 MJ	
$q_{f,d}$ (MJ/mq)	20,299734

Tab. 5.11: Carico incendio bunker

In questo caso si è ipotizzato di spegnere l'immissione di aria, ma di considerare l'estrazione come sistema di evacuazione di fumo e calore. È stato simulato il caso peggiore, in cui all'interno del locale è presente l'unità mobile AGV, un robot costruito dai laboratori che rimuove i target irraggiati e li deposita all'esterno del bunker, senza interventi esterni. Il robot è alimentato da due batterie da camion da 24 V DC per la movimentazione. Non sono disponibili molti dati in letteratura sull'incendio di batterie, è stato preso a riferimento uno studio dell'ENEA sull'incendio di batterie del tipo Litio-ione, il quale rende comparabile il carico di incendio con quello della benzina.

La progettazione antincendio a SPES

È stato stimato per un pacco batterie da 24 V una emissione di energia pari a 1,7 GJ¹³, valore ottenuto con la metodologia proposta dall' NFPR¹⁴. Nella simulazione è stato inserito come carico di incendio il computo dei materiali costituenti il pacco batterie.

Sostanza chimica	Composizione % ⁴	Cella EiGC020 (0,450 kg)	Cella VL41M (1,1 kg)	Modulo Batteria (14 celle VL41M; 18,5 kg)
		Quantità (g)	Quantità (g)	Quantità (g)
Nichel	15,50	69,75	170,50	2387
Cobalto	2,70	12,15	29,70	415,8
Litio	2,70	12,15	29,70	415,8
Alluminio	12,70	57,15	139,70	1955,8
Grafite (Carbonio)	19,10	85,95	210,10	2941,4
Rame	15,50	69,75	170,50	2387
Materiali polimerici	--	4,50	11,00	154
Litio esafluorofosfato	4,00	18,00	44,00	616
Vinilene Carbonato	4,00	18,00	44,00	616
Carbonato di propilene	4,00	18,00	44,00	616
Carbonato di etilene	4,00	18,00	44,00	616
Carbonato di dimetile	4,00	18,00	44,00	616
	TOTALE	401,40	981,20	13736,8
Connettori, contenitori celle, contenitori batterie, elettronica di controllo, dispositivi scambio termico, ecc.		48,60	118,80	4763,20

Tab. 5.12: Materiali costituenti il pacco batterie analizzato

Nello studio è stato stimato per un pacco batterie da 24 V una emissione di energia pari a 1,7 GJ¹⁵, valore ottenuto con la metodologia proposta dall' NFPR¹⁶.

¹³ “Rapporto tecnico sul calcolo del carico di fuoco, sulla metodologia di prova adottata e presentazione dei risultati delle prove di incendio (partecipazione al fuoco) ed estinzione effettuate su Litio metallico e su celle Litio-ione”; C. Di Bari, E. Rossi e F. Conigli, R. Calvigioni, C. Manni, I. Morriello, F. Messale

¹⁴ C. Mikolajczak et al., “Lithium-ion batteries Hazard and Use Assesment”, Fire Protection Research Foundation, Luglio 2011.

¹⁵ “Rapporto tecnico sul calcolo del carico di fuoco, sulla metodologia di prova adottata e presentazione dei risultati delle prove di incendio (partecipazione al fuoco) ed estinzione effettuate su Litio metallico e su celle Litio-ione”; C. Di Bari, E. Rossi e F. Conigli, R. Calvigioni, C. Manni, I. Morriello, F. Messale

¹⁶ C. Mikolajczak et al., “Lithium-ion batteries Hazard and Use Assesment”, Fire Protection Research Foundation, Luglio 2011.

n. 1 cella VL41M				$E_{chim} = 9311,4 \text{ kJ} + 590,4 \text{ kJ} = 9.901,8 \approx 9.900 \text{ kJ}$
$E_{chim} \approx E_{cel}$	Sostanze combustibili	Quantità stimata	Calore di combustione (Q_c)	$E_{chim} = [(0,18 \text{ kg} \times 20,92 \text{ kJ/g}) + (0,13 \text{ kg} \times 42,66 \text{ kJ/g})] \times 1000 \text{ g/kg} = 9.311,4 \text{ kJ}$
	Elettrolita: Si assume tutto DEC (diethyl carbonato)	0,18 kg	20,92 kJ/g	
	Separatore: si assume tutto PP (polipropilene)	0,13 kg	42,66 kJ/g	
$E_{el} \approx Q \times V$	Q	V = 4 Volt		$E_{el} = 41\text{Ah} \times 4\text{V} \times 3,6 \text{ kJ/Wh} = 590,4 \text{ kJ}$
	41 Ah			
SA costituito da 168 celle VL41M				$E_{tot} = 9.900 \text{ kJ/cella} \times 168 \text{ celle} = 1.663.200 \approx 1,7 \text{ GJ}$

Tab. 5.13: Valutazione carico di incendio pacco batterie

La simulazione evidenzia un rilascio termico prolungato di 2000 kW, con un picco di 4000 kW a circa 10 s e un picco di 7000 kW a 150 s, e non registra lo spegnimento dell'incendio.



Fig. 5.7: HRR bunker con aspirazione accesa

La temperatura raggiunta nella simulazione dai fumi arriva a 550 °C.

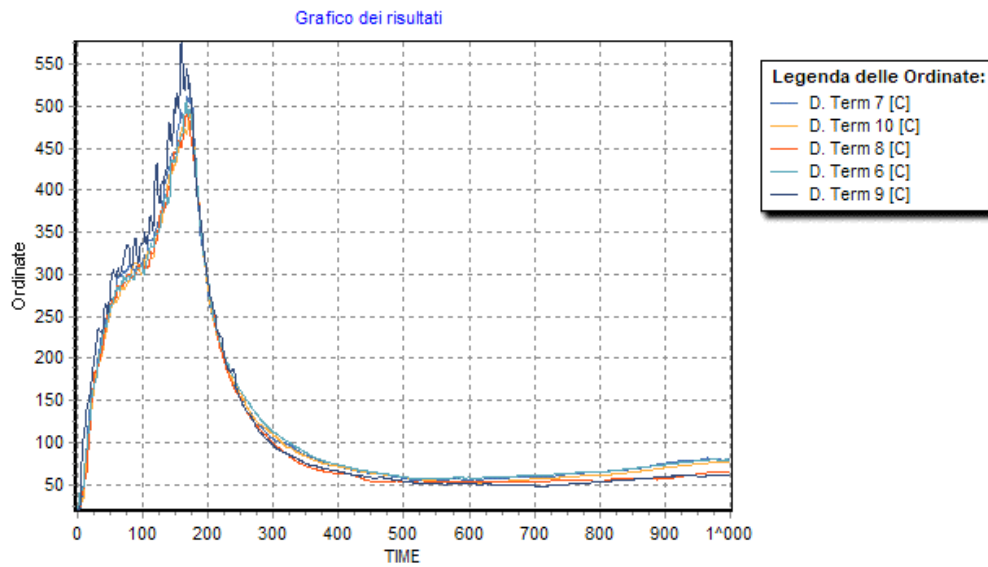


Fig. 5.8: Andamento temperatura

L'andamento a picco della curva HRR è stato registrato in più simulazioni, ottenute variando le dimensioni della mesh.

Ipotizzando lo spegnimento della ventilazione, la curva HRR risulta simile in andamento ma registra lo spegnimento.

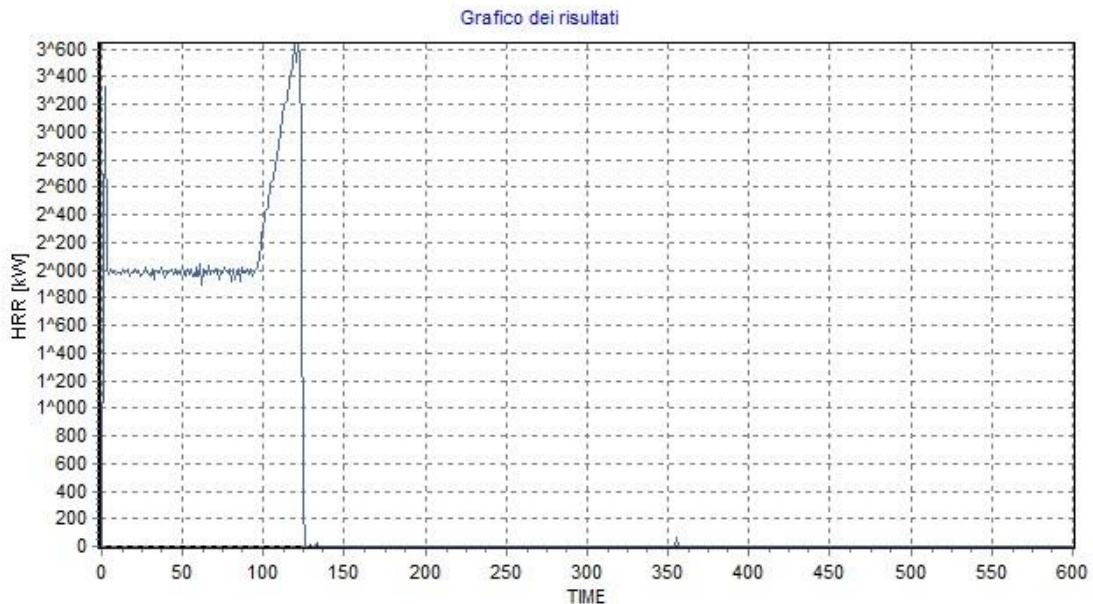


Fig. 5.9: HRR bunker con ventilazione spenta

Si può stimare un carico di incendio, dalla curva di spegnimento, di circa

$$2000\text{kW} \times 125\text{s} = 250 \text{ MJ} \rightarrow 5,5 \text{ MJ/m}^2 \quad (5.4)$$

I risultati di questa simulazione possono essere considerati come parametri di massima, tuttavia è importante sottolineare che l'eseguibile FDS non riesce a simulare coerentemente i fenomeni esplosivi. Il coinvolgimento di batterie nell'incendio rende dunque inaffidabile il calcolo.

Il dato della temperatura è importante per quanto concerne il mantenimento della funzionalità dei filtri, poiché deve essere sempre garantita la sicurezza dal punto di vista radioprotezionistico. La resistenza dei filtri al momento impiegati è assicurata fino a 200°, condizione inidonea all'ipotesi di evacuazione dei fumi tramite la ventilazione. È comunque adottabile la soluzione prevista per la sala A1, ovvero lo spegnimento immediato di tutto l'impianto.

Lo studio ENEA calcola una sovrappressione data dall'esplosione di $1637 \text{ Psi}^{17} = 11,287 \text{ kN/mq}$ per ogni pacco batteria. Gli spessori importanti delle murature schermanti sono in grado di supportare la sovrappressione data da una eventuale esplosione, tuttavia potrebbero riportare danni tali da richiedere la valutazione del mantenimento delle capacità schermanti, fattore che dovrà essere considerato con idonee misure di intervento. L'incendio dovrà essere controllato con lo spegnimento completo della ventilazione, e monitorato fino al completo esaurimento del combustibile o del comburente.

5.4 Simulazione “Terza sala”

La simulazione relativa alla terza sala è stata principalmente un campo di prova per verificare il corretto impiego del programma.

Si è dimensionato un Sistema di Evacuazione Naturale di Fumo e Calore secondo normativa per poi impostare la simulazione in FDS, in modo da avere riscontro sui dati della simulazione.

¹⁷ Calcolo eseguito con equazione semplificata sviluppata da Yen, Wang e Tabaddor.

La progettazione antincendio a SPES

Il dimensionamento viene calcolato come da D.M. 3 agosto 2015 - Nuovo Codice di Prevenzione Incendi. Di seguito si riporta il calcolo del carico di incendio relativo ai soli materiali combustibili.

Oggetto	Materiale	Lunghezza (km)	Peso al km (kg/km)	Peso (kg)	H (MJ)	q (MJ)	
FG7R (2X25)	PVC+HEPC	2,295	300	688,5	32,866	22628,241	
FG7R (1X120)	PVC+HEPC	7,98	1200	9576	32,866	314724,816	
FG7H2R (2X10)	PVC+HEPC	0,33	500	165	32,866	5422,89	
FG7H2R (3X2.5)	PVC+HEPC	1,509	270	407,43	32,866	13390,59438	
FG7R (1X16)	PVC+HEPC	0,54	200	108	32,866	3549,528	
RG8/U	PVC	0,552	144	79,488	12,56	998,36928	
RG58	Polietilene + PVC	8,814	39	343,746	43,333	14895,54542	
5 BANCALI	LEGNO			165	18,48	3049,2	
SCHERMI E ATTREZZATURA	PVC				20	32,866	657,32
							379316,5041

CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO	
$q_{f,d} = \delta_{q1} * \delta_{q2} * \eta(\delta_n) * q_f$	
Codice S.2.11	
A (mq)	1431,5
$q = (g * H) / A$ (kg/mq)	264,9783472
δ_{q1}	1,4
δ_{q2}	0,8
$\eta(\delta_n) = 0,8 * 0,9 * 0,9 * 0,85 * 0,81$	0,446148
q_f	132,4059068
$q_{f,d}$ (MJ/mq)	66,16134618

Tab. 5.14: Carico incendio Terza Sala

Il carico di incendio specifico di progetto è stato valutato di 67 MJ/mq. Sono stati considerati come materiali combustibili cavi elettrici di vario genere, schermi di computer e la presenza sporadica di legna, sotto forma di pallet. Il dimensionamento preliminare, è basato sul par. S.8.5.3 del Codice.

Tipo	Carico di incendio specifico q_f	Superficie utile minima delle aperture di smaltimento S_{sm}	Requisiti aggiuntivi
SE1	$q_f \leq 600$ MJ/m ²	A / 40	-
SE2	$600 < q_f \leq 1200$ MJ/m ²	$A \cdot q_f / 40000 + A / 100$	-
SE3	$q_f > 1200$ MJ/m ²	A / 25	10% di S_{sm} di tipo Sea o Seb o SEc

A -superficie lorda del piano del compartimento [m²];
 S_{sm} -superficie utile delle aperture di smaltimento [m²]

Tabella S.8-4: Tipi di dimensionamento per le aperture di smaltimento

Tab. 5.15: Dimensionamento SENFC (par. S.8.5.3 del Codice)

Dato il carico di incendio l'area da assegnare ai SENFC è pari a

$$A_{SEnFC} = \frac{A_{sala}}{40} = \frac{(25,3 \text{ m} \cdot 35 \text{ m}) + (10,5 \text{ m} \cdot 52 \text{ m})}{40} = 35,78 \text{ m}^2 \sim 36 \text{ m}^2 \quad (5.5)$$

Considerando pannelli quadrati di lato 2 m, si arriva a coprire l'intera area con 9 pannelli. Il dimensionamento qui impiegato è tarato su compartimenti di altezza media (3-5 m), risulta dunque ampiamente conservativo al fine di mantenere la zona libera da fumo usufruibile dalle squadre di soccorso. Da norma UNI EN 12101-2: "Sistemi per il controllo di fumo e calore - Parte 2: Evacuatori naturali di fumo e calore", sarebbero stati sufficienti 6 evacuatori di pari superficie, considerando comunque un compartimento più basso del reale di 1 m. Non si ritiene necessaria la predisposizione di barriere antifumo dato che l'area del compartimento è inferiore a 1600 mq.

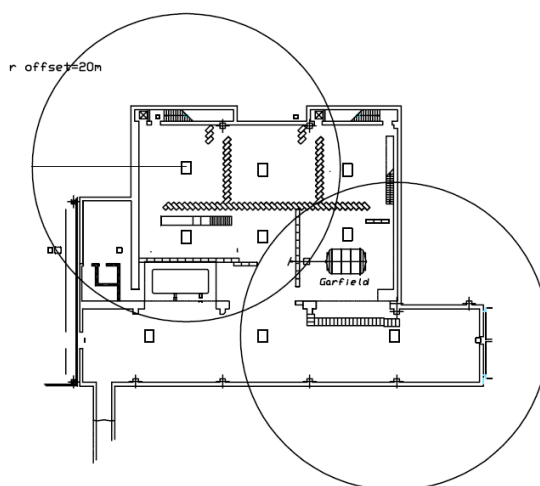


Fig. 5.10: Verifica distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento

È stata verificata l'efficienza del sistema SENFC con una simulazione FDS, adottando uno scenario di incendio sovradimensionato in modo da avere una visualizzazione dello strato di fumo più immediata, con minore costo computazionale per il programma. Sono stati disposti 16 punti di rilevazione fumi, in corrispondenza del rilevatore lineare già installato, ad altezza di 3,40 m e a 6,00 m, per garantire che le vie d'esodo al piano interrato e sul camminamento sopraelevato siano percorribili. La simulazione copre un intervallo di 200 secondi di incendio già avanzato, il quale coinvolge vari oggetti, compatibili con il materiale realmente presente nell'ambiente, dislocati in tre diversi settori (computer, cavi elettrici e pallet di legno). Dai dati raccolti è possibile notare come i rilevatori ad altezza percorribile vengono interessati in maniera del tutto

La progettazione antincendio a SPES

marginale dallo strato di fumi, anche a livello del camminamento. Già nel breve intervallo temporale considerato, compatibile con l'esodo attraverso i percorsi di esodo disponibili, si nota come lo strato di fumi si attesti a una quota omogenea nel compartimento, alla quale tende a stazionare nell'intervallo di simulazione. Il confronto fra la percentuale di oscuramento rilevata alle varie altezze nel corso della simulazione, descrive il quadro della situazione:

- I rilevatori 4 e 12, posti a 13 m di altezza, sopra il focolaio, rilevano la massima concentrazione di fumi;
- il rilevatore 1 è posto a 13 m di altezza, al lato opposto del compartimento rispetto al focolaio, indica la velocità di dispersione dello strato di fumo, che ricopre l'intera superficie a solaio in circa 80 s;
- I rilevatori 15 e 16 sono posti a 6 m di altezza, garantiscono la percorribilità del camminamento sopraelevato;
- I rilevatori 13 e 14 sono posti a 3,40 m di altezza, indicano la percorribilità del piano interrato.

Come si può notare dall'andamento della rilevazione, lo strato di fumo si distribuisce omogeneamente sulla superficie a solaio attorno agli 80 secondi e lambisce l'altezza di 6 m a partire da 120s, in percentuale tollerabile per l'esodo. L'oscuramento tende al plateau ad un valore del 2,5%, contro il 9% di media che si misura a 13 m di altezza. In figura è riportata la visualizzazione grafica di simulazione al tempo $s=120$, la linea azzurra indica il camminamento sopraelevato (tempo - % oscuramento).

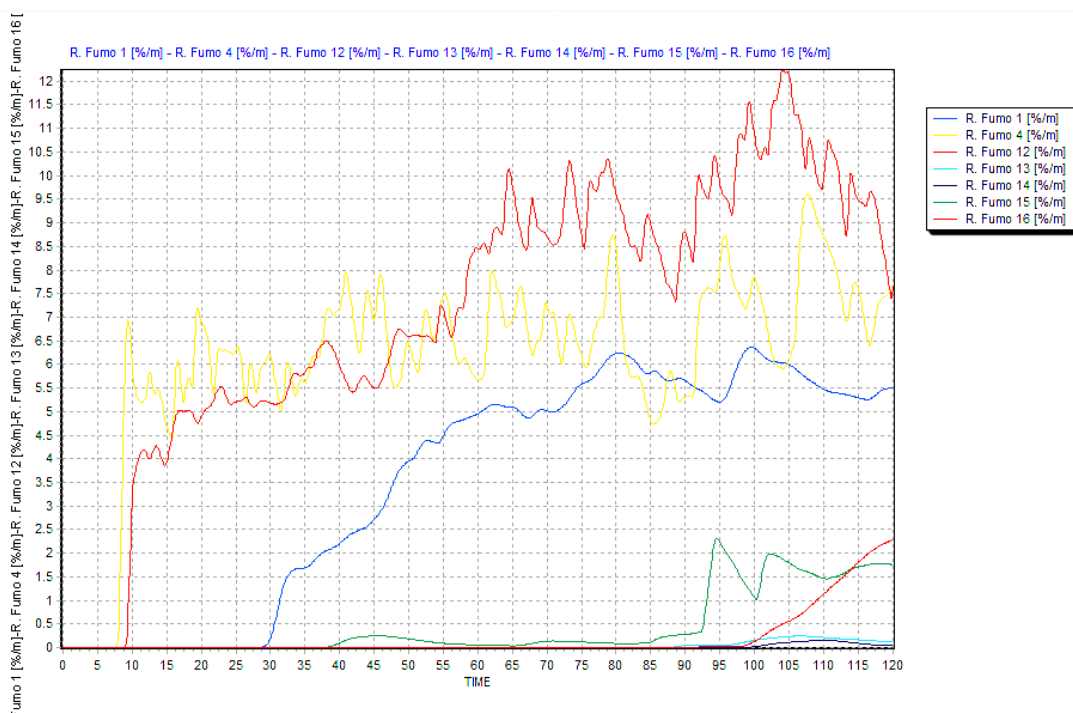


Fig. 5.11: Andamento segnale rilevatori di fumo (oscuramento %)

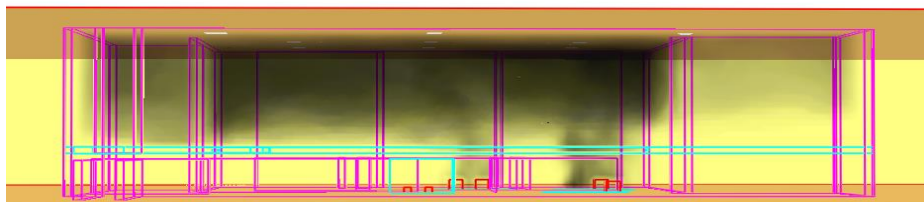


Fig. 5.12: Visualizzazione Smokeview del layer di fumo

La visibilità è stata rilevata sull'intera altezza del compartimento su superfici in corrispondenza dei focolai, in direzione x e y. La visibilità minima rilevata è di 25,5 m in corrispondenza dei focolai, la maggior parte del compartimento conserva l'usuale visibilità a 30 m, comprese le vie d'esodo. È dunque garantita la possibilità di evacuazione dal locale anche dalle vie di fuga più elevate.

Non sono previsti sistemi di spegnimento automatici, interverranno in questo caso le squadre antincendio, con procedure adeguate alle apparecchiature presenti nei locali nel momento dell'intervento.

5.5 Simulazione “Sala Alimentatori”

La valutazione dello scenario della sala alimentatori prevede l’innescò di un incendio dovuto a un corto circuito. È stato simulato lo scenario in FDS, inserendo nello scenario dei solidi rappresentativi degli armadietti contenenti gli alimentatori, modellati come solidi a spessore stratificato con esterno in acciaio per uno spessore di 1 cm e interno in PVC per uno spessore di 2 cm, per simulare i cavi elettrici.

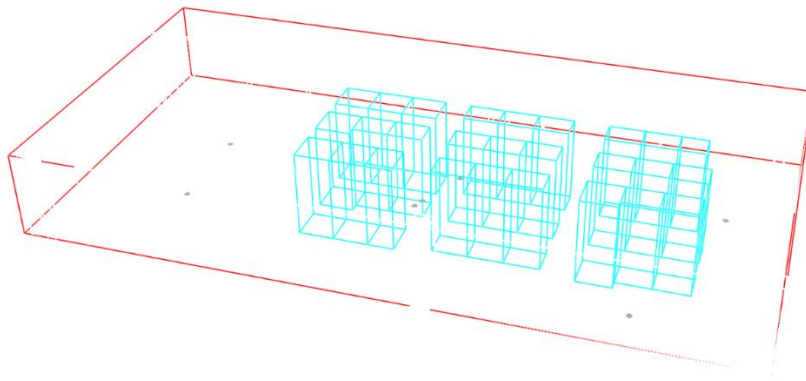


Fig. 5.13: Render Smokeview della Sala Alimentatori

In base al tipo di superficie (&SURF) che si applica, il solido (denominato &OBSTRUCTION nel programma) acquisirà proprietà differenti. Ad esempio si potrà avere:

```
&SURF      ID='Acciaio',  
RGB=102,255,0,  
MATL_ID(1,1)='STEEL',  
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.01/
```

Questa scrittura indica una superficie composta interamente d’acciaio (MASS_FRACTION = 1), di spessore 1 cm. Le proprietà termiche attribuite a questa

superficie saranno riferite a quelle definite nella lista materiali, alla voce “STEEL”. L’ostruzione è solo un oggetto in grado di “ospitare” una o più superficie per ogni sua faccia, ma di per sé non ha alcuna rilevanza fisica: ciò significa, ad esempio, che se nella definizione della sua geometrica vengono indicate determinate dimensioni, il peso dell’oggetto creato non sarà calcolato moltiplicando il volume dell’ostruzione per la densità del materiale costituente le superfici applicate sulle sue facce. Il peso sarà invece funzione dello spessore dichiarato al momento della formulazione delle superfici. Il medesimo discorso può essere fatto per il calcolo dell’isolamento termico: lo spessore utilizzato è sempre quello definito nella lista delle superfici e non la dimensione dell’ostruzione su cui la superficie è applicata.

Si ottiene una curva HRR con un picco di 11000 KW, per una densità di rilascio termico di circa 220 KW/mq, per una temperatura massima di 240 °C, uno scenario contenuto.

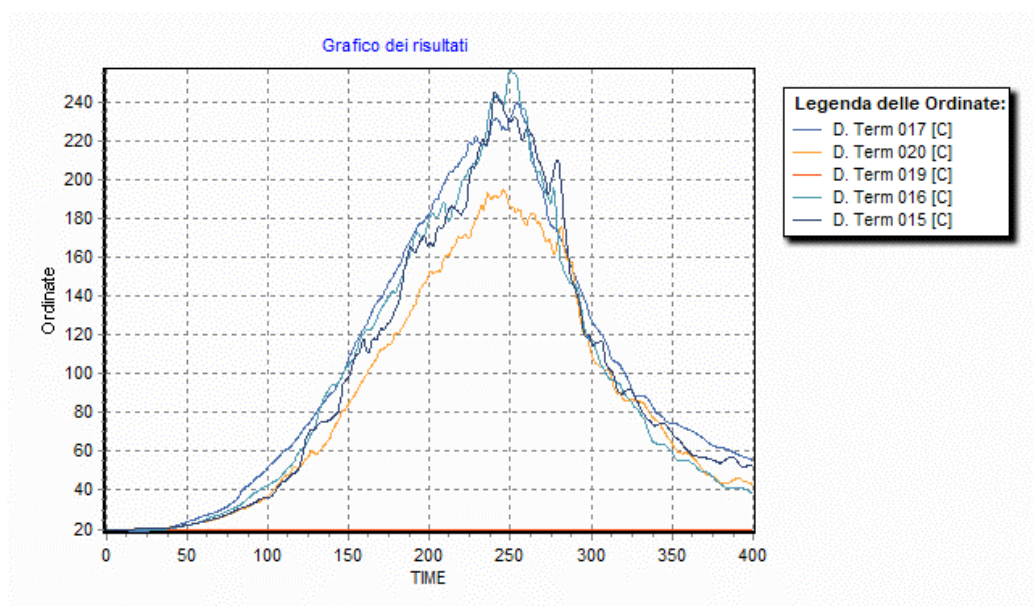


Fig. 5.14: Sviluppo delle temperature relativo alla Sala Alimentatori

Non essendo prevista la presenza di personale in questa sala, i possibili danni relativi a questo scenario riguardano esclusivamente il danneggiamento delle apparecchiature. La curva evidenzia lo spegnimento dell’incendio dopo circa 5 minuti, per esaurimento del combustibile. Non sono al momento predisposti impianti di spegnimento automatico in questa sala, qualora volessero essere predisposti a salvaguardia dell’apparecchiatura dovrebbero essere idonei all’uso in ambienti caratterizzati da rischio elettrico.

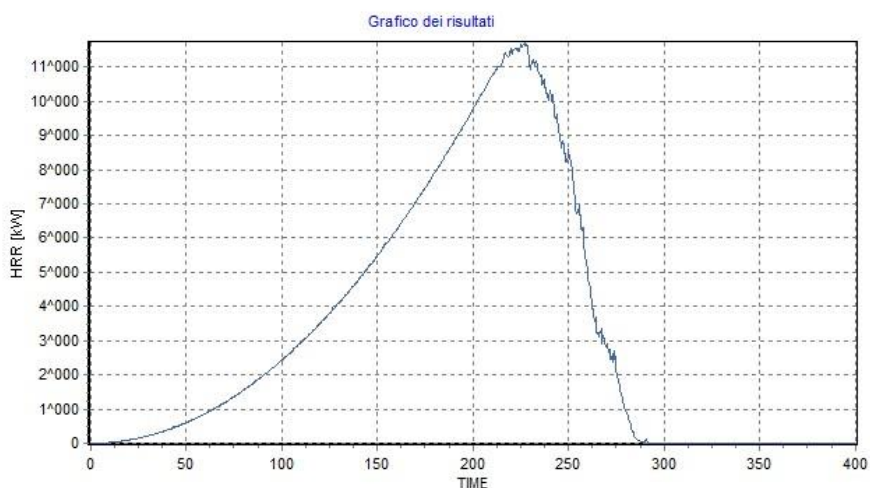


Fig. 5.15: Curva HRR relativa alla Sala Alimentatori

5.6 Simulazione “Centrale tecnologica- Unità Trattamento Aria”

Così come per la Sala Alimentatori, anche per la Centrale tecnologica, è stata ipotizzato un solido rappresentativo delle apparecchiature contenute nella sala. Considerati i materiali di cui una unità è composta, e data la difficile modellazione dell'apparecchiatura, la simulazione risulta molto semplificata, anche se rappresentativa.

È stato scelto un solido predefinito dal simulatore, ritenuto rappresentativo, caratterizzato da una velocità di sviluppo di incendio media, definita dalla curva $T^2 = 300s$

Nome Solido	UTA
Fonte	Archivio_FSE
Curva di sviluppo dell'incendio	$T^2: -300.000 s$
Tasso di rilascio di calore per unità di area = HRR per m^2	250.000 kW/ m^2

Tab. 5.16: Caratteristiche “obstruction” UTA

È stato inserito all'interno dello scenario anche il serbatoio dell'impianto di sollevamento del ciclone, installato in un compartimento murato, contenente circa 200 L di olio, modellato tramite un solido FSE con una curva di sviluppo di incendio

veloce ($T^2 = 150s, 300 \text{ kW/ m}^2$). A favore di sicurezza il serbatoio è stato lasciato esposto.

Nome Solido	SERBATOIO
Fonte	Archivio_FSE
Curva di sviluppo dell'incendio	$T^2: -150.000 \text{ s}$
Tasso di rilascio di calore per unità di area = HRR per m^2	300.000 kW/m^2

Tab. 5.17: Caratteristiche “obstruction” SERBATOIO

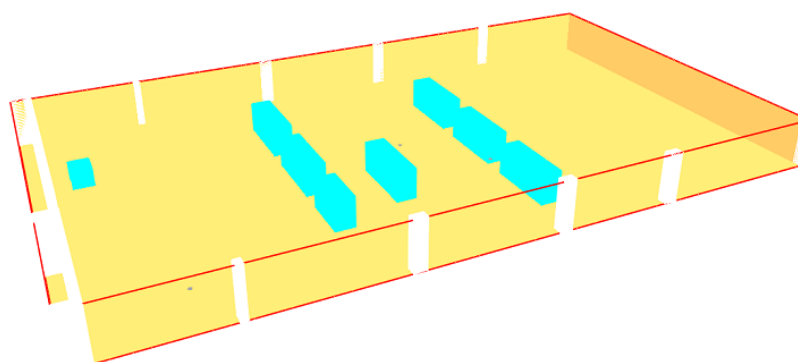


Fig. 5.16: Render Centrale tecnologica

È stato previsto un bruciatore posto in corrispondenza delle UTA, un possibile innesco è dato da un guasto di natura elettrica.

Ne risulta una curva HRR di compartimento con un picco di 7500 kw per una durata complessiva di circa 750 s , senza nessun intervento esterno.

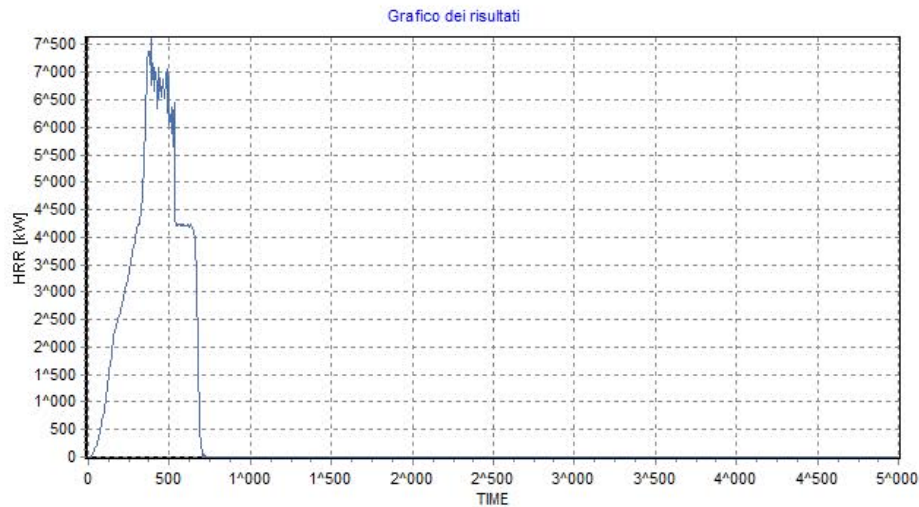


Fig. 5.17: HRR Centrale tecnologica

Il carico di incendio consumato risulta circa (approssimando l'area a un trapezio):

$$[(750+200 \text{ s}) * 7500 \text{ kW}] / 2 = 3,56 \text{ MJ}$$

In un compartimento così vasto, un tale carico di incendio è da considerarsi assolutamente irrisorio.

5.7 Formazione atmosfera ATEX in sala A1

Il fascio originato dal ciclotrone BEST, cuore della facility SPES, è costituito da atomi di idrogeno ionizzati, ovvero protoni. L'iniezione avviene nella parte inferiore del ciclotrone e l'idrogeno è veicolato fino al ciclotrone da una piccola tubazione, collegata ad una bombola sita all'esterno dell'edificio. L'idrogeno è un gas estremamente reattivo, per cui potrebbe svilupparsi una atmosfera esplosiva, oppure si potrebbe innescare un incendio in assenza di sufficiente confinamento. Il gas viaggia da una stazione esterna all'edificio fino all'iniettore tramite una tubazione lunga 120 m, diametro interno 0.09 m.

Sono stati considerati i seguenti fattori:

- La tenuta della linea di distribuzione è stata testata, come da verbali di collaudo,
- per un periodo ben superiore rispetto a quanto necessario per l'evidenziazione di eventuali perdite.
- I recipienti in pressione contenenti Idrogeno gassoso a 200 bar hanno capacità massima 5 litri (ovvero circa 1 mc di gas nelle peggiori condizioni);
- Il primo stadio di decompressione e il secondo stadio di decompressione sono ubicati all'interno del deposito bombole e riducono la pressione dai 200 bar ai 2 bar di linea
- Il deposito bombole è ubicato in area esterna e per come è costruito garantisce condizioni ottimali di ventilazione;
- Il volume di sviluppo di tutto l'impianto è circa 0,006 mc che ad una pressione di 1.2 bar corrispondono a circa 0,012 mc di Idrogeno.
- Sono installati molteplici sistemi di sicurezza che riducono ulteriormente le già basse probabilità di perdite (sorgenti di emissione). In particolare vengono impiegati un Flussometro a monitoraggio delle portate di esercizio ed un sistema di rilevazione H₂ installato all'interno dell'edificio SPES, entrambi collegati ad una valvola elettropneumatica che in caso di anomalia interrompe il flusso di gas.
- L'impianto sarà utilizzato in modo discontinuo e nei periodi di inattività le fonti di alimentazione saranno mantenute chiuse

La valutazione della formazione di atmosfera esplosiva è stata effettuata con la checklist elaborata dalla Dow Chemicals, la Fire & Explosion Index. Viene assegnato un punteggio di pericolosità alla sostanza impiegata, al quale vengono assegnati fattori di aggravio o miglioramento a seconda delle condizioni di esercizio dell'impianto. Il punteggio finale indica il livello di pericolosità dell'impianto.

F&EI Index Range	Degree of Hazards
1 – 60	Light
61 – 96	Moderate
97 – 127	Intermediate
128 – 158	Heavy
159 – up	Severe

Tab. 5.18: Scala di classificazione F&EI index

<i>HYDROGEN INIECTION</i>		
	Fire and Explosion Index	95,51
	Material Factor (see Material Data tab)	21,00
	NFPA Health rating (Nh)	0
	NFPA Flammability rating (Nf)	4
	NFPA Instability rating (Ni)	0
<i>General Process Hazards</i>		
	Base	1
1A	Exothermic Reaction (range of input 0.3 - 1.25)	0,30
1B	Endothermic Reaction (input range 0.2 - 0.4)	0,20
1C	Material Handling and Transfer (input range 0.25 - 0.8)	0,00
1D	Enclosed or Indoor Process or storage Units handling Flammable materials	0,20
1E	Ease of Access for Emergency Responders	0,20
1F	Drainage and Spill Control	0,00
	General Process Hazards Factor	1,90
<i>Special Process Hazards</i>		
	Base	1
2A	Toxicity of the material handled.	0,00
2B	Process or Storage operates at vacuum (<500mmHg) -	0,50

	penalty 0.5	
2C	Operation in or near the flammable range (input range 0.0 - 0.8)	0,80
2D	Dust Explosion (input range 0.0 - 2.0)	0,00
2E	Pressure Penalty	0,06
2F	Low Temperature Operation	0,00
2G1	Combustible and Flammable materials in Process	0,00
2G2	Liquids or gases in Storage	0,00
2G3	Solids in Storage or Process	0,00
2H	Corrosion and Erosion (input range 0.0 -0.75)	0,00
2I	Leakage, Joints, packing, flexible joints	0,00
2J	Use of Fired Equipment (fig 6)	0,03
2K	Hot Oil Heat Exchange Equipment (table 5)	0,00
2L	Rotating Equipment	0,00
Special Process Hazards Factor		2,39
<i>Fire and Explosion Index</i>		95,51
<i>Level 2 Risk Analysis is not triggered</i>		

Tab. 5.19: Sintesi valutazione F&EI

Dalla valutazione, condotta a favore di sicurezza considerando la densità standard dell'idrogeno di 0,0899 kg/mc (0°, 1 atm), superiore a quella effettiva alla temperatura di 15°, assegna un valore F&Ei=95,51, che attesta il livello di rischio a “moderato”, per un sistema di processo considerato privo di qualunque sistema di sicurezza. Un livello moderato è ritenuto accettabile nella normale pratica industriale, tale livello di rischio risulta inoltre mitigato da misure di sicurezza già predisposte. Vista l'importanza dell'impianto considerato verrà comunque approfondita l'indagine con una valutazione di rischio tramite *event tree*.

Si considera un unico evento potenzialmente pericoloso, ovvero la dispersione da condotta dell'idrogeno. L'eventualità di tale accadimento è da ricollegarsi unicamente ai tassi di guasto delle componenti della condotta, tubi e giunti, poiché non è presente

La progettazione antincendio a SPES

nessun dispositivo di spinta. L'impianto lavora a bassissima pressione (1 atm), il tragitto della condotta è quanto più rettilineo possibile, in modo da ridurre il numero di giunti. La bombola di approvvigionamento è dotata di valvola di sicurezza, che chiude l'erogazione nel momento in cui il consumo varia rispetto a quello previsto dal ciclotrone.

Gli eventi che potrebbero derivare dalla rottura catastrofica del tubo vengono ipotizzati nel seguente albero degli eventi qualitativo.

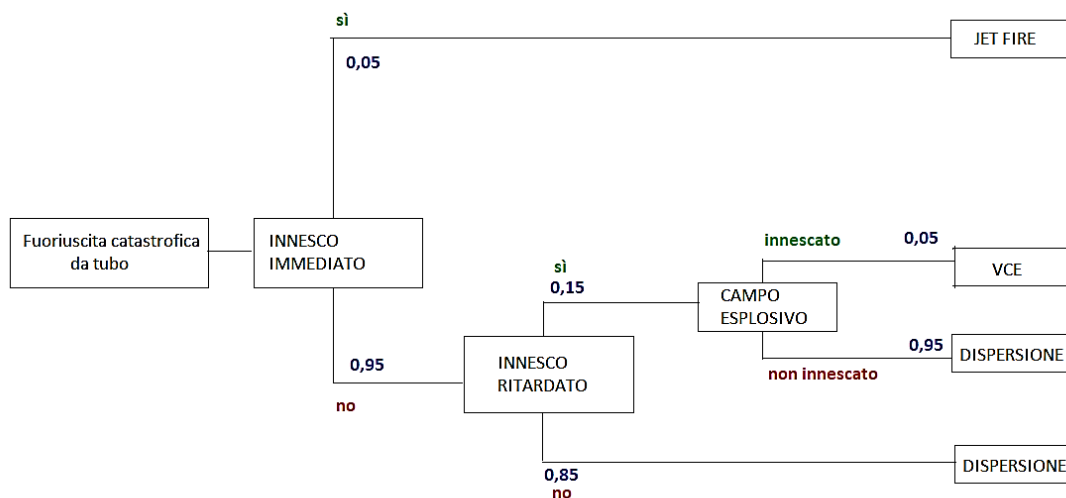


Fig. 5.18: Event tree

Con l'ausilio del software ALOHA, messo a disposizione dall' Environmental Protection Agency statunitense, si è cercato di modellare l'eventuale area di pericolo a seguito sia del jet fire che della vapor cloud explosion (la dispersione di idrogeno non è dannosa): entrambi gli avvenimenti risultano di entità totalmente trascurabile data la scarsa quantità di materiale impiegato. Sono stati approssimati in termini conservativi i parametri di densità del gas e di pressione atmosferica nel locale al fine di rendere calcolabile la simulazione dal programma (il software non elabora la depressione del locale né la bassa concentrazione del gas). La zona di pericolo così ottenuta per la più bassa soglia di danno (esposizione termica di 1kW/mq) è inferiore a 10 m, l'intero evento, di per sé altamente improbabile, andrebbe a consumarsi interamente all'interno della stanza del ciclotrone, con effetti irrilevanti sulle strutture abbondantemente sovradimensionate. Lo scenario è talmente contenuto che il software non riesce a mappare le zone di danno. L'innescò dovrebbe comunque essere immediatamente

apposto alla perdita del tubo, altrimenti il gas andrebbe a disperdersi nella stanza, dove anche considerando lo svuotamento della bombola non si raggiunge il LEL del 4% del volume.

La valutazione è stata confrontata anche con il metodo descritto dalla Direttiva CEI EN 60079-10-1:2010 “Zone a rischio Esplosione”, in relazione a grado di emissione e grado e disponibilità della ventilazione, articolati in 3 e 5 livelli combinati in forma matriciale.

La normativa EN 60079-10 individua le seguenti definizioni:

1. Grado di emissione della sorgente:

- grado continuo: (emissione continua o per lunghi periodi)
- primo grado: (emissione periodica o occasionale durante il funzionamento normale)
- secondo grado: (emissione non prevista durante il normale funzionamento o che avviene solo raramente o per brevi periodi).

Il grado di ventilazione è indicativo della quantità di aria di ventilazione che investe la SE in rapporto alla quantità di sostanze infiammabili emesse nell’ambiente; questo rapporto può essere tale da limitare in varia misura la presenza di atmosfera esplosiva e ridurre o meno il tempo di persistenza della stessa al cessare dell’emissione.

Sono stabiliti tre gradi di ventilazione:

- Grado di ventilazione alto (VH): quando la ventilazione è in grado di ridurre la concentrazione in prossimità della SE in modo praticamente istantaneo, limitando la concentrazione al di sotto del limite inferiore di esplosibilità (LEL).
- Grado di ventilazione medio (VM): quando la ventilazione è in grado controllare la concentrazione, determinando una zona limitata stabile, sebbene l’emissione sia in corso, e dove l’atmosfera esplosiva per la presenza di gas non persista eccessivamente dopo l’arresto dell’emissione.
- Grado di ventilazione basso (VL): Quando la ventilazione non è in grado di controllare la concentrazione mentre avviene l’emissione e/o non può prevenire la persistenza eccessiva di un’atmosfera esplosiva dopo l’arresto dell’emissione.

L’efficacia di un sistema di ventilazione dipende oltre che dal grado anche dalla disponibilità. La presenza di una ventilazione VH potrebbe, infatti, essere vanificata

La progettazione antincendio a SPES

dalla sua scarsa disponibilità (es. un ventilatore guasto). Anche in questo caso la norma CEI EN 60079-10-1 fornisce alcune definizioni:

- Ventilazione buona: quando la ventilazione è presente con continuità.
- Ventilazione adeguata: quando la ventilazione è presente durante il normale funzionamento ma dove sono ammesse interruzioni poco frequenti e comunque di breve durata.

GRADO DELL'EMISSIONE	GRADO DELLA VENTILAZIONE						
	ALTO			MEDIO			BASSO
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	BUONA	ADEGUATA	SCARSA	BUONA	ADEGUATA	SCARSA	BUONA ADEGUATA SCARSA
CONTINUO	Zona 0 NE	Zona 0 NE + Zona 2	Zona 0 NE + Zona 1	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
PRIMO	Zona 1 NE	Zona 1 NE + Zona 2	Zona 1 NE + Zona 2	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
SECONDO	Zona 2 NE	Zona 2 NE	Zona 2 NE + Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o anche Zona 0

Tab. 5.20: Classificazione della ventilazione per la valutazione ATEX¹⁸

L'analisi ha portato ai seguenti risultati:

Riepilogo Classificazioni							
Descrizione e ubicazione	Sostanza	Stato dell'emissione	Grado di emissione	Ventilazione		Zona Pericolosa	
				Grado	Disponibilità	Tipo	Estensione
Emissione di idrogeno da perdita connessioni bombola-rampa o da elementi presenti a monte del riduttore di 1° stadio - nel deposito bombole situato in area esterna - 200 bar	H2	gassoso	Secondo	Alto	Buona	Zona 2 NE	Sfera di raggio pari a 70 cm
Emissione di idrogeno in area esterna da valvola di sovrappressione del riduttore 1° stadio nel deposito bombole situato in area esterna - 13 bar	H2	gassoso	Secondo	Alto	Buona	Zona 2 NE	Cono in altezza a=50 cm. Angolo di apertura al vertice pari a circa 60°
Emissione di idrogeno in area esterna da valvola di sovrappressione del riduttore 2° stadio nel deposito bombole situato in area esterna - 5 bar	H2	gassoso	Secondo	Alto	Buona	Zona 2 NE	Cono in altezza a=30 cm. Angolo di apertura al vertice pari a circa 45°
Emissione di idrogeno in area esterna da perdite su valvole di intercettazione, strumentazione di misura e connessioni realizzate con tecnologia di tipo Swagelok (marche equivalenti) - 2 bar	H2	gassoso	Secondo	Alto	Buona	Zona 2 NE	Sfera di raggio pari a 10 cm
Emissione di idrogeno in area esterna da perdita su elementi di raccordo sulla tubazione realizzate con tecnologia di tipo Swagelok (marche equivalenti) - 2 bar	H2	gassoso	Secondo	Alto	Buona	Zona 2 NE	Sfera di raggio pari a 10 cm
Emissione di idrogeno in area interna da perdita su elementi di raccordo sulla tubazione realizzate con tecnologia di tipo Swagelok (marche equivalenti) - 2 bar	H2	gassoso	Secondo	Media	Adeguata	Zona 2	Sfera di raggio pari a 10 cm

Tab. 5.21: Sintesi valutazione ATEX secondo Direttiva CEI EN 60079-10-1:2010 "Zone a rischio Esplosione"

Nessuna delle sezioni considerate risulta dunque pericolosa. Quindi, tutto ciò premesso, avendo preso in considerazione la tipologia di impianto ed il suo utilizzo, le quantità di

¹⁸ Per una corretta lettura: il segno "+" significa "circondato da", "NE" indica una zona di estensione trascurabile.

gas combustibile in gioco, le temperature e le pressioni di esercizio, i volumi complessivi delle tubazioni dell'impianto, le emissioni strutturali dei componenti dell'impianto e le misure di mitigazione del rischio emissioni in atmosfera di idrogeno, concludiamo che non siamo in presenza di Atmosfere Esplosive tali da far ricadere l'impianto nell'applicabilità della Direttiva ATEX.

5.8 GRS-Gas Recovery System

Il processo di selezione degli isotopi da usare come fascio produce dei gas di scarto, i quali vengono raccolti in bombole sottovuoto, dove rimangono stoccati fino al raggiungimento di un livello di radioattività sufficientemente basso da consentire l'espulsione in atmosfera. Trattandosi per la maggior parte di idrogeno, si è voluta indagare la possibilità che la condizione di vuoto potesse influire sul limite inferiore di infiammabilità della miscela, a causa della bassissima pressione, al punto da costituire un concreto pericolo di incendio. Come visibile dal grafico sottostante, in condizioni di vuoto ($P < 0,001 \text{ atm}$) la concentrazione di idrogeno nelle bombole arriva a superare il limite inferiore di infiammabilità.

Evaluation

H2 mole/run	0.005
Temperature [°C]	20
Tank volume [liter]	200
H2 Lower Flammability limit [%]	4

$$\% \frac{V_{H2}}{V_{tot}} = \frac{nRT}{P_{tank}V_{tot}} * 100$$

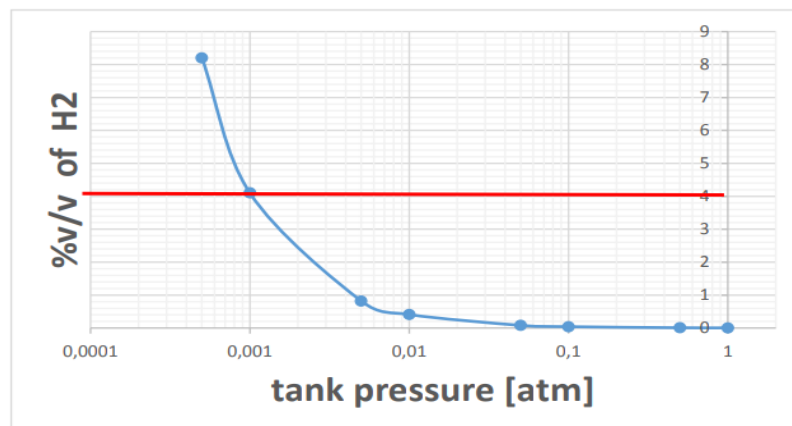


Fig. 5.19: Andamento LFL nelle bombole

La quantità di idrogeno coinvolta è comunque esigua (0,005 mol/run, stoccaggio previsto di massimo 4 run), inoltre la presenza contemporanea di innesco e comburente nel sistema è davvero poco realistica, considerando che l'ingresso di aria nelle bombole eliminerebbe la condizione di vuoto. Il pericolo costituito dal sistema è dunque trascurabile dal punto di vista dell'antincendio. Si pone comunque un interessante spunto di riflessione sulla condizione di vuoto, molto comune in laboratori di ricerca come Legnaro.

5.9 Scenari Qualitativi

5.9.1 Beam Dump

Come anticipato, il Beam Dump è una apparecchiatura impiegata per testare la potenza dei fasci prodotti dal ciclotrone, che verrà utilizzata sia nella fase di commissioning che durante la normale attività della facility. La criticità del manufatto sta nella sua struttura. I materiali che lo compongono sono piombo, acciaio e HDPE (High Density Polyetilene), un polimero estremamente infiammabile, presente in quantità ingenti (3170 kg), sotto forma di pannelli di spessore 2 cm, per uno spessore complessivo di 450 mm (nella versione Ottimizzata o Heavy). L'impiego del HDPE ha funzioni di schermatura, in combinazione con il piombo.

L'HDPE ha un carico di incendio specifico di 46 MJ/kg¹⁹, per un totale di 145820 MJ per l'intero manufatto.

Componente	Configurazione Ottimizzata (Heavy)
Beam Stopper (BS)	100 kg
RS in Pb+HDPE	930+3170 =4100kg
Sistema di supporto	200 kg
Peso complessivo	4300 kg
Ingombro complessivo	2100 x 1600 x 2200mm

Tab. 5.22: Descrizione struttura Beam Dump

¹⁹ 11. <https://seieditrice.com/manuale-di-costruzioni/files/2012/01/Potere-calorifico-al-kg.pdf>

Per i test di potenza del ciclotrone la collocazione più probabile di tale manufatto è un bunker, dove essendo sottoposto a irraggiamento a alta potenza, pur essendo un materiale difficilmente accendibile, in caso di malfunzionamento il Beam Dump potrebbe prendere fuoco, costituendo un significativo scenario. Tuttavia lo spegnimento della ventilazione può garantire lo l'estinzione dell'incendio anche in questo caso.

5.9.2 Sala controllo

La sala controllo è la zona in cui è più probabile la presenza di personale. Si tratta di una sala assimilabile a un ufficio (vi saranno presenti computer, scrivanie, mobilia da ufficio). È possibile quindi determinare la curva HRR con i valori forniti nell'Eurocodice UNI EN 1991-1-2, con il metodo descritto al par. M.2.6 del Codice.

La fase ascendente parabolica può essere calcolata come:

$$\text{HRR}(t) = 1000 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (5.6)$$

Dove:

HRR [kW] potenza termica rilasciata dall'incendio

t [s] tempo

t_α [s] tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW, da Eurocodice tale valore è di 300 s per un compartimento adibito ad ufficio

Nella fase stazionaria si suppone che la curva rimanga stabile al valore HRRmax, calcolabile, nel caso di incendio controllato dalla ventilazione, come

$$\text{HRRmax} = 0,10 \text{ m Hu Av } \sqrt{h_{eq}} \quad (5.7)$$

Con:

m fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del presente documento.

La progettazione antincendio a SPES

Hu potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.

Av area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento [m²]

L'altezza equivalente delle aperture verticali h_{eq} si calcola con la seguente relazione:

$$h_{eq} = \frac{\sum Av,i \cdot h_i}{\sum Av,i} \quad (5.8)$$

Con:

h_{eq} altezza equivalente delle aperture verticali [m]

Av, i area dell'apertura verticale i-esima [m²]

h_i altezza dell'apertura verticale i-esima [m]

Considerando 14 finestre di dimensioni 1x1 m ho un valore di $h_{eq} = 1/14$, per un HRR max di 6548 kW

Noto il valore di RHRmax, il tempo t_A di inizio della fase di incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_A = \sqrt{\frac{HRR_{max} t_{\alpha}^2}{1000}} \quad (5.9)$$

Nel caso in esame ottengo che la fase di propagazione si arresta a 767 s.

La fase di incendio stazionario termina al tempo t_B , tempo di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile $q_f \cdot A_f$ è stata rilasciata nel compartimento antincendio. Il valore dell'energia q_f è valutato conformemente alle indicazioni contenute nel capitolo S.2. per un comportamento Ufficio può attestarsi attorno ai 420 MJ/mq. Se l'energia termica inizialmente disponibile è sufficiente affinché l'incendio superi la fase di propagazione e raggiunga la potenza massima RHRmax, cioè:

$$70\%q_f A_f \geq \frac{1}{3} \frac{1000}{t_\alpha^2} t_A^3 \quad (5.10)$$

allora il tempo t_B di fine della fase di incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_B = t_A + \frac{70\%q_f A_f - \frac{11000}{3} \frac{t_A^3}{t_\alpha^2}}{HRR_{\max}} \quad (5.11)$$

dove:

t_B tempo di fine della fase di incendio stazionario [s]

q_f carico di incendio specifico [kJ/m²]

A_f superficie lorda del compartimento [m²]

Se l'energia termica inizialmente disponibile non è sufficiente affinché l'incendio superi la fase di propagazione, la curva RHR raggiunge il valore massimo per qualche secondo poi passa direttamente alla fase di decadimento.

L'energia termica disponibile risulta di 367750 MJ, risulta insufficiente a sostenere la propagazione (dovrebbe essere di circa 1675533 MJ). Possiamo dunque calcolare il tempo di spegnimento dell'incendio come t_C , trascorso il quale la potenza termica rilasciata dall'incendio si annulla, viene calcolato considerando che nella fase di decadimento è consumato il restante 30% dell'energia termica inizialmente disponibile:

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 30\% \cdot q_f A_f}{HRR_{\max}} \quad (5.12)$$

Dove:

t_C tempo con potenza termica rilasciata dall'incendio nulla [s].

Considerando $t_B \sim t_A$, risulta lo spegnimento a 772 s.

Durante la fase di decadimento l'andamento della potenza prodotta dall'incendio è lineare.

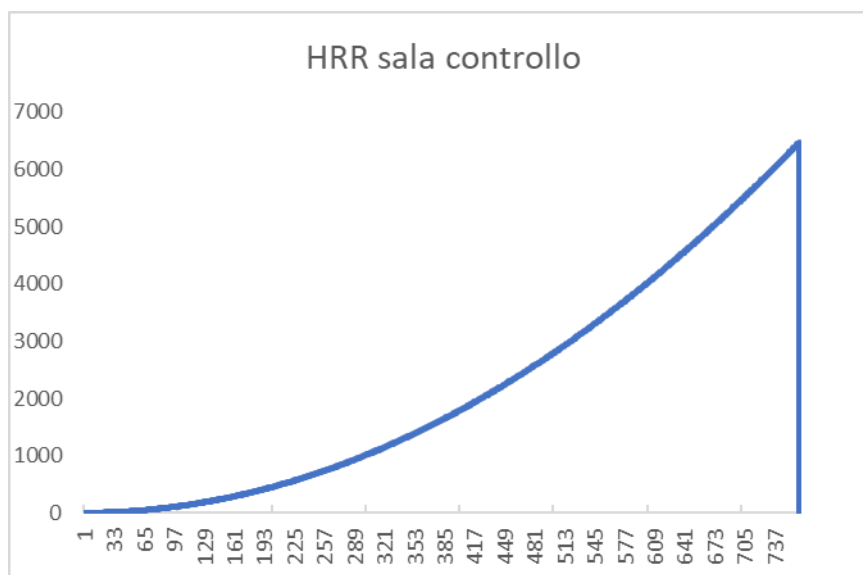


Fig. 5.20: Curva HRR stimata per la Sala controllo

La curva risulta di modesta entità, del tutto sostenibile dalle strutture. L'esodo degli occupanti è garantito dalle due uscite di sicurezza, una che da accesso immediato al vano scale nord, l'altra che conduce al compartimento dei laboratori e da lì al vano scale sud.

5.9.3 Laboratori UCx

La sezione dei laboratori è ancora in corso di definizione, sia per l'esatta destinazione d'uso dei locali sia per la dislocazione delle attività. Verrà sicuramente maneggiato all'interno dei laboratori l'ossido di Uranio (OU2), una sostanza radioattiva, che verrà convertito all'interno dei laboratori in Carburo di Uranio (UCx) necessario alla produzione dei target, una sostanza radioattiva e piroforica²⁰. Verranno allestite delle postazioni idonee alla manipolazione dei target. Tipicamente in un laboratorio di

²⁰ Una sostanza piroforica è una sostanza che si incendia spontaneamente all'aria anche a temperatura ambiente. La combustione è dovuta ad una reazione fortemente esotermica con l'ossigeno atmosferico, che arriva a sviluppare tanto calore da incendiare la sostanza o farla bruciare con bagliori simili alla brace. Spesso le sostanze piroforiche sono solidi in forma di polvere fine. In questo caso la superficie disponibile per la reazione con l'ossigeno è molto elevata e la reazione di ossidazione viene facilitata

chimica la presenza di solventi e attrezzature costituisce un concreto pericolo di incendio, che dovrà essere valutato in maggior dettaglio.

È da considerare la facilità di innesco dell'UCx, così come l'individuazione di idonei metodi di spegnimento, poiché è importante cercare di contenere la dispersione della sostanza in caso di incendio. Per questo motivo è preferibile un intervento di spegnimento il più localizzato possibile, al fine di non creare polveri o reflui contaminati in quantità importanti, di difficile smaltimento.

5.9.4 Sala sperimentale A13

La sala sperimentale A13 è uno dei pochi locali al piano interrato a cui sarà consentito l'accesso di personale durante il funzionamento della facility. Il carico di incendio è equiparabile a quello calcolato per le linee di fascio contenute nella sala del ciclotrone (si assume a favore di sicurezza la valutazione analitica 100 MJ/m²), tuttavia non è qui possibile prevedere lo spegnimento automatico dell'incendio. Dovranno dunque essere elaborate delle procedure di accesso ed estinzione di eventuali focolai, tenendo conto della presenza di cabine ad alta tensione e di apparecchiature elettriche. L'esodo dalla sala è possibile attraverso il vano scale nord, immediatamente raggiungibile, o per un percorso più complesso che attraversa il locale in direzione della Terza sala, come si vedrà nella simulazione specifica.

5.10 L'esodo

Una delle principali motivazioni che hanno portato all'approccio prestazionale, per il progetto SPES, riguarda le vie di esodo. Principalmente al piano interrato, la particolare configurazione dell'edificio non permette di soddisfare i requisiti prescrittivi per quanto riguarda le vie di fuga. Inoltre, a causa del pericolo di radioattività, potrebbe essere precluso il passaggio attraverso alcuni locali. È stato dunque impiegato il software EVAC, complementare a FDS, per dare una stima di tempi e percorsi di esodo possibili, al fine di valutare la possibile esposizione a radiazioni durante l'uscita attraverso percorsi che normalmente non sarebbero impiegati.

L'edificio è stato renderizzato con la massima accuratezza permessa dal programma.

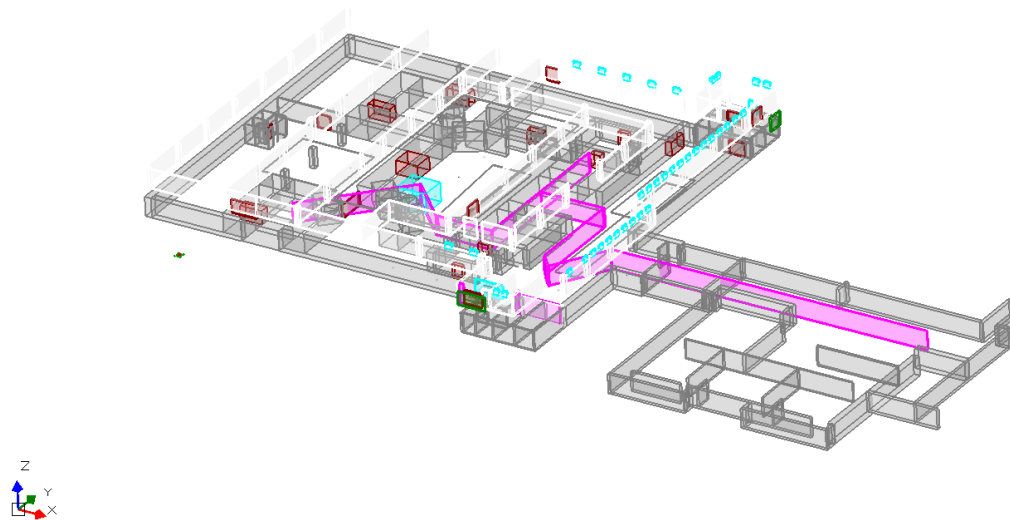


Fig. 5.21: Render Smokeview dell'intero edificio

All'interno dei locali sono stati inseriti degli agenti EVAC del tipo "Attivo"²¹, poiché l'accesso alla struttura sarà permesso solamente a personale autorizzato, il quale avrà dimestichezza sia con la conformazione dei locali che con le procedure adeguate alla presenza di atmosfere radioattive. Non sono previsti affollamenti superiori alle 10 unità per locale, valore del tutto conservativo per quanto riguarda il piano interrato.

È stata modellata la situazione più gravosa, per la quale sono disponibili solo le uscite di emergenza relative ai due vani scale, al fine di verificare i passaggi più ostici dei possibili percorsi di esodo, come ad esempio il "labirinto" posto all'ingresso della sala del ciclotrone, con funzione di schermatura. Si considera la condizione di esodo simultaneo.

Il programma restituisce in Smokeview una visualizzazione dei possibili percorsi di esodo scelti dagli agenti. Poiché la simulazione approssima il comportamento degli agenti, sono state effettuate circa 20 simulazioni, sullo stesso scenario, al fine di verificare che i percorsi di esodo scelti dagli agenti fossero rappresentativi.

²¹ Considera le uscite visibili e le uscite familiari nello stesso gruppo di appartenenza, scegliendo dunque solo quelle a tempo di percorrenza minore. Gli agenti attivi sono di solito i componenti della folla che tendono a guidare i flussi, comportamento osservato in situazioni reali.

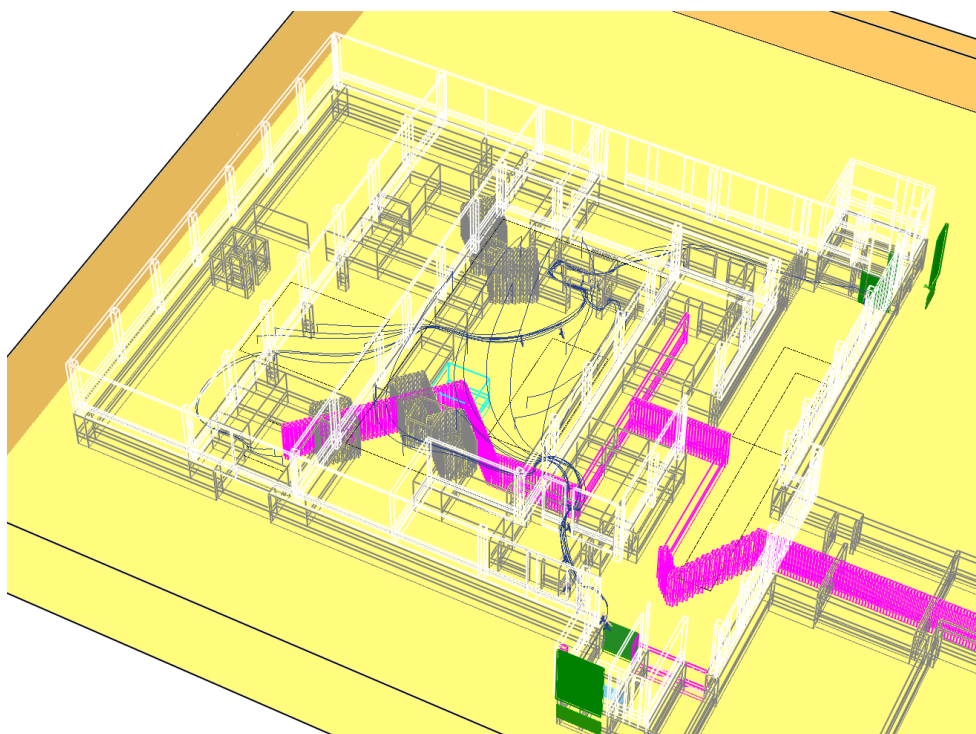


Fig. 5.22: Percorsi di esodo visualizzati in Smokeview

Viene inoltre visualizzato il conteggio degli agenti in uscita attraverso le uscite di emergenza.

Al primo piano sono stati inseriti 22 agenti, i quali hanno completato l'esodo in meno di 100 secondi.

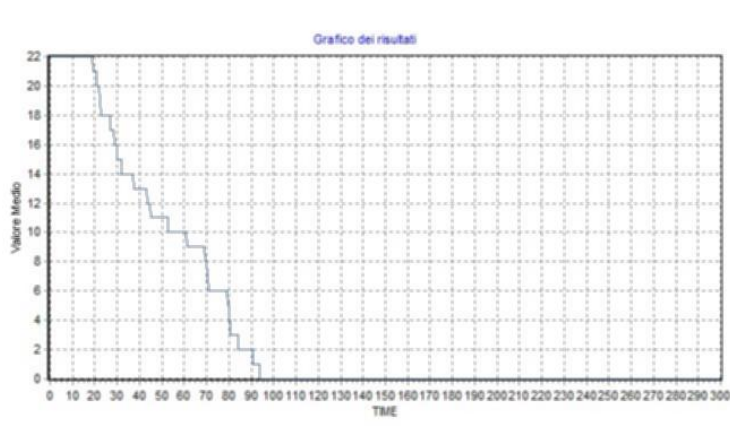


Fig. 5.23: Conteggio agenti in uscita primo piano

Al piano interrato sono stati inseriti 37 agenti, anch'essi usciti in meno di 100 secondi

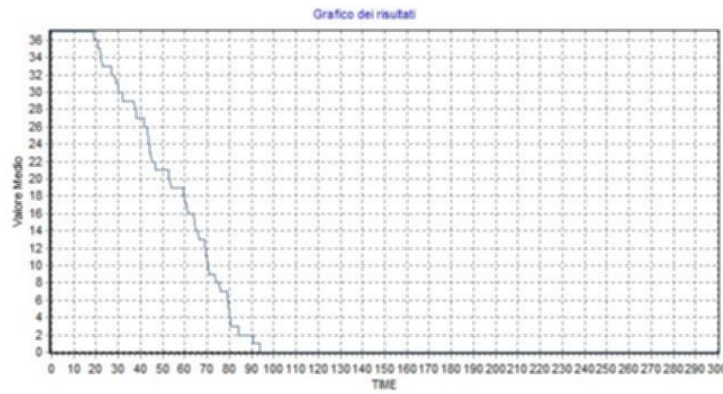


Fig. 5.24: Conteggio agenti uscita piano interrato

Il tempo di esodo calcolato è coerente con gli scenari ipotizzati. Gli scenari a sviluppo più veloce (come i bunker o la sala del ciclotrone) coinvolgono locali in cui non è prevista la presenza di personale, se non in via eccezionale, i quali sono inoltre oggetto di compartimentazione spinta a causa delle schermature. Nel modello non sono state conteggiate molte uscite di sicurezza, effettivamente disponibili, soprattutto al piano interrato.

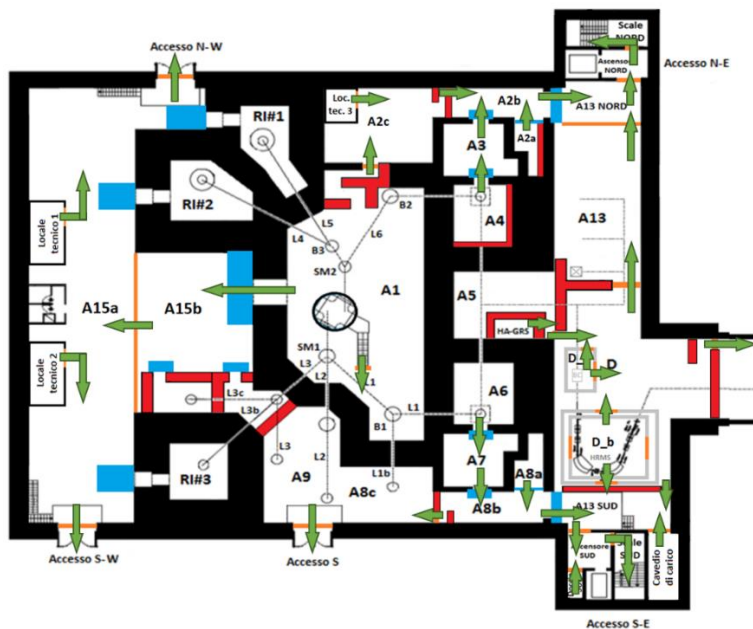


Fig. 5.25: Prospetto vie di esodo piano interrato

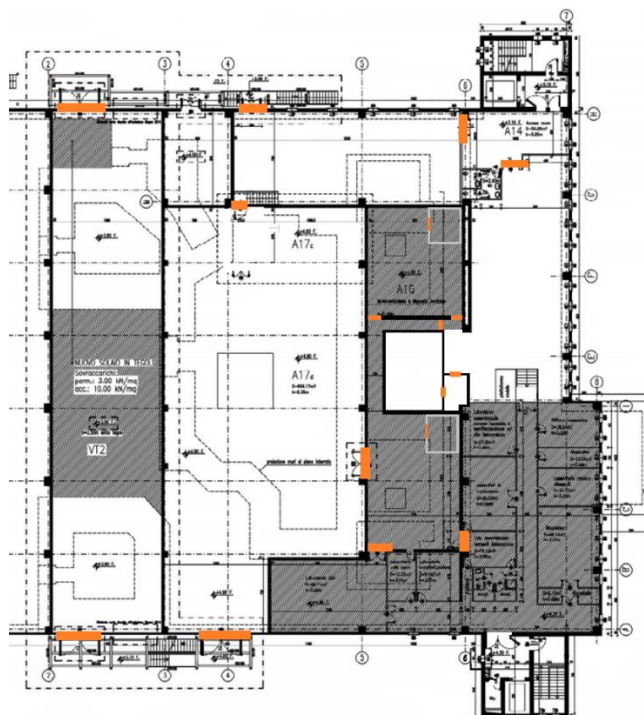


Fig. 5.26: Prospetto vie di fuga piano primo

Dovrà essere previsto il divieto di deposito di materiale in corrispondenza dei percorsi di esodo qui individuati, poiché la ridondanza delle vie di fuga è limitata.

5.11 Rispetto delle soglie di prestazione

Il fine ultimo delle varie modellazioni qui descritte è quello di verificare le soglie di prestazione definite nell'analisi preliminare (Tab. 4.1). Sono stati ritenuti significativi in particolare quattro modelli:

- esposizione al calore
- esposizione alle radiazioni
- spegnimento autonomo dell'incendio in locali non accessibili
- resistenza strutturale

Per ciò che riguarda l'esposizione al calore, confrontando le tempistiche e i percorsi dell'esodo simulato con gli scenari ipotizzati, la soglia di esposizione di 60°C per gli occupanti è pienamente rispettata nei 100 s necessari all'esodo. Poiché i laboratori dispongono di una squadra antincendio interna, è lecito supporre che laddove sia richiesto intervento di personale qualificato, i tempi di intervento siano contenuti,

La progettazione antincendio a SPES

soddisfacendo così il requisito degli 80°C di esposizione per i soccorritori. Inoltre la squadra interna permette di garantire la soglia di intervento anche per gli scenari più veloci.

L'esposizione alle radiazioni è monitorata grazie al sistema di controllo accessi che salvaguarda le zone controllate, definite secondo il D. Lgs. 230/95. Nel momento in cui la facility entra in funzione, e a seconda dei locali che verranno coinvolti, un sistema di ronda garantirà l'assenza di personale nelle zone critiche. Una volta acceso il ciclotrone non sarà più possibile accedere a tali zone, se non per un tempo limitato. Le schermature dei locali garantiscono che la dose ricevuta dagli agenti in uscita, in qualunque percorso d'esodo possibile essi scelgano, rimanga non solo inferiore alla soglia di prestazione, ma anche coerente con i livelli di esposizione previsti per lavoratori di categoria A, come dimostrano i monitoraggi effettuati dal Servizio di Radioprotezione dei Laboratori.

Lo spegnimento autonomo dei focolai nei locali non accessibili, cioè il locale A1 e i Bunker, è stato verificato in ipotesi peggiorative con le simulazioni FDS.

Per quanto riguarda la resistenza strutturale e impiantistica, l'edificio è stato dimensionato considerando nelle combinazioni di carico l'azione incendio, secondo quanto descritto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (2008) e in accordo con il D.M. 16/02/07 "Classificazione di Resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione", così come riportato nella Relazione di Calcolo delle Strutture relativa all'edificio. Pur considerando il più gravoso degli scenari di incendio valutati, per il quale si considera un carico di incendio di 100 MJ/m² nella sala del ciclotrone, da normativa non viene imposta nessuna prescrizione sulle strutture, il minimo valore considerato è di 300 MJ/m² per il quale si richiede una classe R0, ampiamente soddisfatta. Può considerarsi mantenuta anche la funzione di schermatura ai fini dell'esodo, per quanto riguarda il piano interrato, poiché da verifica tabellare per una parete uno spessore di 270 mm di calcestruzzo, per un copri-ferro di 60 mm garantisce una classe di Resistenza al fuoco REI-M 240, valori questi largamente superati in tutto l'edificio.

Classe	Esposto su un lato	Esposto su due lati
REI 30	s = 120; a = 10	s = 120; a = 10
REI 60	s = 130; a = 10	s = 140; a = 10
REI 90-M	s = 140; a = 25	s = 170; a = 25
REI 120-M	s = 160; a = 35	s = 220; a = 35
REI 180-M	s = 210; a = 50	s = 270; a = 55
REI 240-M	s = 270; a = 60	s = 350; a = 60

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di a ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella S.2-42. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

Tab.5.23: Classificazione resistenza al fuoco di pareti portanti in calcestruzzo da Tabella S.2-46 del Codice (la quale richiama il DM 16/02/2007)

Il danneggiamento del calcestruzzo delle murature per scenari di questa entità può dirsi limitato ai pannelli di cemento che rivestono la muratura principale, dunque l'intervento di ripristino della schermatura è agevolato.

La compartimentazione, ove non garantita da porte schermanti in cemento, è assicurata a da porte tagliafuoco REI 120 poste, adottate in ogni compartimento.

I due vani scale si configurano come locali filtro a prova di fumo, compartimentati da porte tagliafuoco REI 120 e dotati di SENFC in copertura.

Sono inoltre disponibili in ogni compartimento, con accesso consentito al personale, estintori portatili. Nei locali ad accesso controllato ove possibile verranno predisposti gli estintori, altrimenti l'accesso ai locali sarà condizionato in una procedura interna all'introduzione di estintori carrellati nel locale (sala A1 e bunker).

L'impianto idrico antincendio è previsto a copertura esterna dell'edificio, con il prolungamento della rete interrata (in polietilene PN16) e l'installazione di nuovi sei idranti soprassuolo; sono previsti inoltre stacchi predisposti per la futura realizzazione delle reti interne di protezione antincendio con manichette UNI 70.

L'impianto di rilevazione fumi controlla in modo sistematico tutti i locali del complesso mediante sensori di diverso tipo: in particolare, considerando i locali maggiormente critici, si utilizzeranno rilevatori ottici spettrografici a raggio laser per canale aerulico e rilevatori ottici spettrografici a raggio laser, del tipo a campionamento d'aria (mediante tubi preforati disposti nel perimetro dell'ambiente).

La progettazione antincendio a SPES

In particolare per il locale A1 (locale ciclotrone), sono stati installati sensori a campionamento dell'aria con tubo preforato.

La centrale dell'impianto di rilevazione fumi comunica con un sistema di supervisione in grado di segnalare l'allarme in un posto presidiato. La centrale è espandibile con un numero di loop sufficiente a coprire le esigenze dell'intero edificio (anche le aree ancora al grezzo).

La centrale è in comunicazione con il centro di sorveglianza generale, esistente presso l'Istituto Nazionale di Legnaro, e gestisce direttamente la messa in sicurezza dell'edificio (chiusura porte tagliafuoco e serrande, arresto di macchine di ventilazione, ecc.) e la diffusione dell'allarme sia locale (mediante segnalatori ottico-acustici) sia presso la postazione centralizzata.

È di fondamentale importanza sottolineare che le conclusioni qui esposte sono condizionate dall'adozione di un idoneo Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio, clausola fondamentale per la validità del Metodo Prestazionale.

Attraverso l'SGSA ci si assicurerà che le ipotesi formulate per la validità della pratica antincendio siano mantenute e rispettate, ad esempio monitorando i carichi di incendio presenti nei locali, la manutenzione di estintori e porte tagliafuoco, descrivendo le procedure di emergenza necessarie al corretto intervento in caso di necessità.

Lo studio dovrà inoltre essere integrato con una valutazione puntuale dei nuovi locali che verranno allestiti, in particolare i laboratori del piano rialzato. Sarà dunque di fondamentale importanza prevedere l'aggiornamento costante del SGSA, anche in relazione ai cambiamenti che potranno avvenire nell'allestimento sperimentale dell'edificio.

Conclusioni

Il presente lavoro di tesi è finalizzato ad approfondire lo studio della sicurezza antincendio dell'edificio SPES, sito presso i Laboratori Nazionali di Legnaro, un edificio adibito a laboratorio di ricerca, caratterizzato da pericolo radiologico.

Usando la linea guida del Nuovo Codice di Prevenzione Incendi (DM 03/07/2015), è stato realizzato uno studio sistematico e organico della sicurezza antincendio dell'edificio, che si ritiene dimostri la capacità dell'organizzazione di fronteggiare le situazioni incidentali descritte nel presente studio, ipotizzate in maniera del tutto cautelativa.

La particolare conformazione e destinazione d'uso dell'edificio l'ha reso un perfetto campo di studio per l'applicazione del Metodo Prestazionale per la valutazione della sicurezza antincendio, descritto nella Sezione M del Codice.

Il metodo prestazionale, basato sulla disciplina della Fire Safety Engineering, si articola principalmente in due fasi: l'analisi preliminare, che prevede l'individuazione delle criticità della struttura e la scelta dei parametri da monitorare nella definizione delle criticità, e l'analisi quantitativa, in cui gli scenari vengono sviluppati, con varie metodologie di analisi, al fine di verificare il soddisfacimento delle soglie di prestazione definite dal progettista.

Attraverso un'analisi di rischio, sono state individuate le situazioni potenzialmente problematiche relative all'edificio, e sulla base di questa sono stati scelti i modelli più idonei a descrivere i potenziali scenari di incendio.

L'analisi di rischio è stata condotta su consulenza del personale dei Laboratori: l'organizzazione di SPES si basa su gruppi di lavoro, ciascuno con uno specifico campo di pertinenza (Supporto scientifico, Sicurezza, Infrastrutture, Sistemi di controllo, Ciclotrone, Fasci esotici, Trasporto di fascio e selezione, RFQ, Acceleratore RIB, Meccanica e ingegneria, Vuoto). Per ciascun ambito è stata ricercata una possibile interferenza con la sicurezza antincendio, sotto forma di possibile scenario o come

soluzione al problema. L'attività è stata suddivisa in compartimenti, all'interno dei quali si articolano le possibili criticità:

Piano interrato:

compartimento principale dell'edificio, qui si ambientano gli scenari più gravosi. La sala centrale alloggia il ciclotrone. L'iniezione di idrogeno avviene nella parte inferiore del ciclotrone, il gas è veicolato da una piccola tubazione fino al ciclotrone, collegata ad una bombola sita all'esterno dell'edificio, dal quale si diramano due linee di fascio indipendenti, che sfociano in quattro bunker sperimentali, più una ulteriore linea che porta il fascio verso la ri-accelerazione nell'acceleratore ALPI. Tutto il compartimento è caratterizzato da rischio radiologico variabile, e da pesanti schermature atte a contenere l'attivazione. Le schermature, e il relativo sistema di controllo degli accessi, possono costituire un ostacolo all'esodo. In questo compartimento sono stati individuati i seguenti scenari:

- Sala sperimentale;
- Ciclotrone: iniezione idrogeno;
- Bunker deposito target UCx;
- Deposito materiale (possibile futura edificazione) ;
- Cabine alta tensione;
- Gas Recovery System (bombole sotto vuoto) ;
- Beam dump;
- Terza sala.

Piano primo:

A questo piano si trova la sala di controllo della facility, il locale tecnico dove sono alloggiati gli impianti a servizio del ciclotrone e una sala alimentatori, con i loro possibili scenari.

- Impianto sollevamento ciclotrone
- Sala Unità Trattamento Aria
- Sala controllo
- Laboratori UCx

Una prima analisi degli scenari ha valutato l'opportunità o meno di ricorrere alle simulazioni per lo studio dell'evoluzione dell'incendio.

Conclusioni

Alcune ipotesi non rientravano nel campo di applicazione di FDS, ad esempio perché l'eseguibile non riesce a descrivere l'instaurarsi di atmosfere esplosive, caso trattato nel compartimento denominato "Bunker". Queste casistiche sono state valutate con altri metodi (check-list F&EI e ricerca bibliografica).

Si è considerata l'iniezione di idrogeno del ciclotrone (al piano interrato) come possibile fonte di ATEX, verificando analiticamente che con i volumi considerati lo scenario non sussiste.

È stato analizzato il caso particolare del sistema di recupero dei gas raccolti dai sistemi da vuoto (GRS): la selezione degli isotopi radioattivi necessari agli esperimenti lungo la linea di fascio produce dei gas, anch'essi attivati, che vengono stoccati in un sistema di bombole sottovuoto. La particolare condizione di bassa pressione delle bombole fa sì che i gas in esse contenuti si trovino sopra il Limite Inferiore di Infiammabilità. Lo studio ha mostrato comunque l'impossibilità di innesco della miscela, poiché anche in presenza di sorgenti di ignizione, per permettere la miscelazione dei gas con il comburente, verrebbe a mancare la condizione di vuoto, invalidando il campo di infiammabilità.

Alcuni scenari ancora in corso di definizione sono stati analizzati qualitativamente, mentre i rimanenti scenari sono stati modellati con il software FDS, come la Sala Controllo al primo piano.

Poiché le strutture dell'edificio sono abbondantemente sovradimensionate, soprattutto al piano interrato, per sopportare gli ingenti pesi delle schermature, costituite da spessori di calcestruzzo finanche a 4 m, l'obiettivo principale delle simulazioni è stato verificare la possibilità di controllo e spegnimento di eventuali incendi, limitando gli interventi di personale in zone pesantemente attivate, oltre che garantire l'esodo degli occupanti con la minima esposizione possibile alle radiazioni.

Nel caso della sala del ciclotrone e dei bunker sperimentali, le simulazioni coinvolgono un carico di incendio modesto, composto in gran parte da cavi elettrici e scarso altro materiale, definendo uno scenario di incendio estremamente contenuto. È inoltre impossibile accedere ai locali in oggetto durante l'attività sperimentale a causa degli insostenibili livelli di radioattività, escludendo così il pericolo per gli occupanti.

Si è scelto di usare l'impianto di ventilazione, unico collegamento con l'esterno delle sale, come sistema automatico di spegnimento dell'incendio. Un sistema di rilevamento dei fumi (a campionamento d'aria nella condotta di estrazione, a sensori di fumo nelle

condotte di mandata) fa da interruttore al sistema di ventilazione, che si chiude allo scattare del sensore. La simulazione mostra come nel caso della sala del ciclotrone si raggiunga l'estinzione completa dell'incendio in circa 40 minuti, con temperature entro i limiti sopportati dai filtri.

Nel caso dei bunker l'estinzione è ancora più rapida, considerato il minor volume dei locali, tuttavia la possibile presenza di batterie nel bunker A6 ha reso necessari ulteriori approfondimenti dello scenario.

Nelle zone in cui è possibile l'accesso, pur con le dovute cautele dovute alla presenza di radioattività, non sono stati previsti sistemi di estinzione automatici, ma sono stati valutati gli sviluppi degli incendi al fine di elaborare un adeguato piano di intervento. Nella sala di connessione fra SPES e l'acceleratore ALPI (denominata Terza Sala), dove è stato considerato un carico di incendio consistente, si è dimensionato e verificato un sistema di evacuazione di fumo e calore a apertura automatica sul soffitto.

Sulla base delle simulazioni FDS e delle altre analisi si è dunque valutato il soddisfacimento delle soglie di prestazione descritte e le eventuali prescrizioni da adottare.

Le soluzioni per lo spegnimento prevedono la presenza di idranti soprasuolo ed estintori in tutto l'edificio.

La simulazione dell'esodo dall'intero edificio, realizzata con il software EVAC, ha permesso di determinare i percorsi di esodo utilizzabili, e valutare la dose di radioattività assorbita lungo tali percorsi, confrontando la simulazione con la mappatura della radioattività realizzata dal servizio di Radioprotezione dei Laboratori. L'esposizione è risultata compatibile con la soglia massima ritenuta accettabile.

Tutte queste considerazioni verranno poi impiegate nella definizione del Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio. L'elaborazione di tale sistema sarà sicuramente facilitata dal preesistente Sistema di Gestione Ambientale, secondo la norma ISO 14001, che potrà costituire un valido supporto organizzativo.

In conclusione, gli scenari considerati, rappresentativi delle attività che si svolgono nell'edificio, risultano caratterizzati complessivamente da carichi di incendio estremamente bassi, di improbabile innesco, in cui il coinvolgimento di persone è scarso.

Nelle zone comunque critiche, soprattutto a causa del rischio radiologico, si è evidenziato come gli impianti esistenti siano perfettamente in grado di estinguere

Conclusioni

eventuali incendi senza richiedere interventi esterni. I locali più convenzionali possono essere facilmente protetti con estintori portatili o soluzioni similari, con contenuti costi di gestione e manutenzione, sia in termini economici che organizzativi.

Anche la resistenza strutturale è abbondantemente garantita dalle esigenze radio-protezionistiche. È stato inoltre verificata l'efficacia e sicurezza dell'esodo dall'edificio in caso di incidente.

Complessivamente la struttura può dunque dirsi idonea sotto il punto di vista della sicurezza antincendio.

Inoltre, si auspica che questo studio evidenzi come la linea guida del Codice possa essere facilmente integrata con i parametri necessari, al fine di costituire un inquadramento normativo valido per le attività caratterizzate da rischio radiologico. Alcuni parametri rappresentativi sono l'esposizione del personale durante l'esodo (integrabile nella valutazione del parametro R_{vita} del Codice), l'impiego della ventilazione, già richiesta dalla gestione di un'attività nucleare, come mezzo di spegnimento, studio possibile solo con metodi numerici implementati da software come FDS, e il mantenimento della capacità schermante della struttura..

Al momento non vi sono specifiche direttive per contesti simili a SPES, che comunque sono presenti e produttivi sul territorio (ad esempio nel settore della medicina nucleare, o in altri centri di ricerca), caratterizzati da problematiche compatibili.

Le metodologie impiegate nel presente lavoro sono diffuse e di comprovata efficacia, immediatamente applicabili, con le dovute competenze, dai professionisti del settore, i quali potrebbero, con una direttiva dedicata, gestire più facilmente situazioni simili.

Con l'elaborazione del SGSA, l'analisi dell'edificio risulterebbe completa, e potrebbe costituire una buona base per l'elaborazione di una linea guida generale per lo studio della sicurezza antincendio in attività con rischio radiologico.

Bibliografia

- “Ingegneria della sicurezza anticendio – Guida all’utilizzo di FDS, la modellazione fluidodinamica degli scenari di incendio”, Ascenzi, Villi, Vulpiani, 2010
- “CPI win FSE 2016 FDS6 + EVAC”, Namirial
- “I rischi da agenti chimici, fisici e biologici”, Andrea Trevisan
- “Assessment of the software Fire Dynamics Simulator (FDS) for fire simulation in train convoys”, Mattia Foschia
- “Conceptual design del sistema di trattamento aria per la gestione della radioattività indotta da ciclotrone per la produzione di radionuclidi”, Ing. Nicoletta Ciatarà
- “Cenni di simulazione numerica di flussi turbolenti”, dispense per il corso di aerodinamica 2, Francesco Picano
- “Large eddy simulation: Past, present and future”, Yang Zhiyin
- “Utilizzo di software Labview per la realizzazione del sistema di controllo dei forni di produzione del progetto SPES”, Rubens Raffagnato
- “Progettazione termo-strutturale, ingegnerizzazione e test ad alta temperatura del target diretto SPES per fasci di protoni da 40 MeV e fino a 20 μ A di intensità”, Alessio Mario, Università degli Studi di Padova, INFN
- “Ingegneria della sicurezza antincendio, progettazione con il metodo tradizionale e il Codice di prevenzione incendi”, A. La Malfa, S. la Malfa, R. La Malfa, 2017

Siti consultati:

- <https://seieditrice.com/manuale-di-costruzioni/files/2012/01/Potere-calorifico-al-kg.pdf>
 - [\(ultimo accesso 25/07/2018\)](#)

- <http://www.ingegneri.info/news/impianti/la-stima-analitica-della-curva-rhr-e-una-schematizzazione-dellincendio-naturale-come-funziona/>
 - [\(ultimo accesso 14/07/2018\)](#)
- <https://www.safetypartner.it/home/2015/11/8-novembre-2015-entrata-in-vigore-del-nuovo-codice-di-prevenzione-incendi/>
 - [\(ultimo accesso 05/06/2018\)](#)