



4.5

5.0

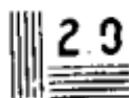
5.6

6.3

7.1

8.0

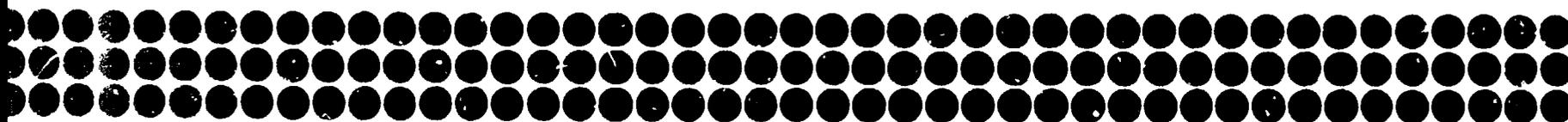
9.0



Comitato Nazionale Energia Nucleare

Studio di un laboratorio caldo  
per esperienze di trattamento  
di rifiuti liquidi radioattivi

E. MASOTTI



Studio di un laboratorio caldo  
per esperienze di trattamento  
di rifiuti liquidi radioattivi

CNEN - RT/PROT(71)35

E. Masotti (CNEN, Laboratorio di Ingegneria Sanitaria)

STUDIO DI UN LABORATORIO CALDO PER ESPERIENZE DI TRATTAMENTO  
DI RIFIUTI LIQUIDI RADIOATTIVI

*Riassunto* - E' stato eseguito uno studio per la ricerca della migliore soluzione del problema riguardante la realizzazione, nell'ambito di un edificio preesistente, di un laboratorio caldo per esperienze di trattamento di rifiuti liquidi radioattivi. Sono stati presi in considerazione gli aspetti tecnico-economici, di funzionalità, di sicurezza e di protezione sanitaria tenendo evidentemente conto delle condizioni di contorno.

E. MASOTTI

CNEN - RT/PROT(71)35

E. Masotti (CNEN, Laboratorio di Ingegneria Sanitaria)

STUDY OF A HOT LABORATORY FOR EXPERIMENTS OF TREATMENT OF  
LIQUID RADIOACTIVE WASTES

*Summary* - A study concerning the search for the best solution of the problem faced at when realizing, in an already existing building, a hot laboratory for experiments of treatment of liquid radioactive wastes was performed. Technical, economical, and operational aspects as well as safety and health protection of the facility were taken into consideration, bearing obviously in mind the particular boundary conditions.

I N D I C E

1. <u>INTRODUZIONE</u>	pag.	1
2. <u>PRESUPPOSTI E CONDIZIONI PREESISTENTI</u>	"	2
2.1. <u>Generalità</u>	"	2
2.2. <u>Esperienze di trattamento di rifiuti liquidi radioattivi</u>	"	2
2.3. <u>Livello minimo di radioattività delle soluzioni da trattare</u>	"	5
2.4. <u>Considerazioni riguardanti il regime giuridico dell'impiego pacifico dell'energia nucleare</u>	"	8
2.5. <u>Previsione dei livelli di radioattività dovuta ad <math>\alpha</math> - emettitori</u>	"	9
2.6. <u>Valutazione preliminare di un consistente rilascio dal Laboratorio</u>	"	12
2.7. <u>Definizione del tipo di celle</u>	"	19
2.8. <u>Riutilizzazione di attrezzature disponibili</u>	"	22
2.9. <u>Caratteristiche costruttive della <u>Hall</u> preesistente e dei laboratori limitrofi</u>	"	22
2.10. <u>Problemi di Protezione Sanitaria e Controlli</u>	"	24
2.11. <u>Condizioni economiche ed impostazione della gara per la fornitura</u>	"	34
3. <u>RISULTATI DELLO STUDIO</u>	"	35
3.1. <u>Criteri Generali</u>	"	35
3.1.1. <u>Requisiti di funzionalità delle celle calde</u>	"	36

*Testo pervenuto il 18 ottobre 1971*

3.1.2. <u>Classificazione delle zone di lavoro</u>	pag.	40
3.1.3. <u>Considerazioni riguardanti la schermatura delle celle</u>	"	41
3.2. <u>Descrizione del laboratorio caldo</u>	"	45
3.2.1. <u>Ubicazione</u>	"	45
3.2.2. <u>Descrizione dell'edificio</u>	"	45
3.2.2.1. Generalità	"	45
3.2.2.2. Dimensioni dell'edificio	"	46
3.2.2.3. Disposizione planimetrica e classificazione delle zone di lavoro del laboratorio	"	46
3.2.2.4. Accessi al Laboratorio	"	47
3.2.2.5. Caratteristiche costruttive generali	"	48
3.2.2.6. Caratteristiche costruttive dello spogliatoio caldo e del locale di decontaminazione	"	48
3.2.3. <u>Descrizione delle celle</u>	"	50
3.2.3.1. Caratteristiche costruttive	"	50
3.2.3.2. Caratteristiche dello schermaggio delle celle	"	56
3.2.3.3. Attrezzature e servizi delle celle	"	57
3.2.3.4. Sistema di ventilazione delle celle	"	67
3.2.4. <u>Apparecchi ed attrezzature da installare in cella</u>	"	68
3.2.5. <u>Descrizione della camera di isolamento</u>	"	68
3.2.5.1. Caratteristiche costruttive	"	68
3.2.5.2. Attrezzature e servizi della camera di isolamento	"	69

3.2.5.3. Sistema di ventilazione della camera di isolamento	pag.	72
3.2.6. <u>Impianto di ventilazione</u>	"	72
3.2.6.1. Generalità	"	72
3.2.6.2. Schema dell'impianto	"	73
3.2.6.3. Collaudo dell'impianto	"	80
3.2.6.4. Strumentazione ed allarmi	"	82
3.2.7. <u>Impianto luce e forza motrice</u>	"	82
3.2.8. <u>Impianto antincendio</u>	"	83
3.2.9. <u>Impianto di raccolta dei rifiuti radioattivi liquidi</u>	"	88
3.2.9.1. Descrizione dell'impianto	"	88
3.2.9.2. Strumentazione ed allarmi	"	89
3.2.10. <u>Impianto aria compressa</u>	"	90
3.2.11. <u>Impianto interdizione ingresso</u>	"	91
3.2.12. <u>Impianto controllo della radioattività</u>	"	92
3.2.12.1. Controllo ambientale	"	92
3.2.12.2. Controllo degli effluenti dal camino	"	93
3.2.12.3. Controllo del personale	"	93
3.2.13. <u>Sistemi di allarmi da installare nel Reparto</u>	"	93
3.2.13.1. Allarmi generali	"	93
3.2.13.2. Allarmi da installare in area operazioni	"	94
3.2.13.3. Allarmi da installare all'ingresso dell'edificio	"	94
3.2.13.4. Allarmi locali	"	94
3.2.13.5. Allarmi da riportare alla Guardia-nia del Centro	"	95

3.2.14. <u>Impianto telefonico, interfonico e amplificatore dei rumori</u>	pag.	95
3.3. <u>Irradiazione dei lavoratori</u>	"	96
3.3.1. <u>Introduzione</u>	"	96
3.3.2. <u>Esplosione in cella calda</u>	"	96
3.3.3. <u>Aumento di temperatura in una cella</u>	"	100
3.3.4. <u>Incendio di un solvente in una cella</u>	"	103
4. <u>CONCLUSIONI</u>	"	104
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	"	107
<u>ELENCO DELLE FIGURE</u>	"	111

## 1. INTRODUZIONE

Con il presente studio si vogliono e fornire le indicazioni necessarie per chi dovrà procedere alla realizzazione del progetto definitivo e, soprattutto, offrire a chi si trovasse in simili condizioni vincolanti, una accettabile soluzione.

E' ormai ben noto come la realizzazione pratica di laboratori caldi sia divenuta di facile attuazione ed all'uopo esistono decine di ditte in grado di consegnarli "chiave in mano" (1).

I motivi per i quali si è ritenuto utile elaborare la filosofia del laboratorio caldo e suggerirne gli elementi essenziali sono stati dettati dalle seguenti considerazioni:

- a) lo studio e la realizzazione del laboratorio caldo da parte di un'unica ditta esperta in campo nucleare avrebbe comportato una spesa esorbitante la somma che si prevede disponibile;
- b) esistono delle competenze all'interno del Comitato in grado di fornire degli utili suggerimenti sia di carattere generale che particolare, rivolti non solo alle soluzioni di natura tecnica, economica, protezionistica e di sicurezza, ma anche, il che riveste una particolare importanza, di natura legislativa;
- c) non esiste una normativa in campo internazionale e tanto meno in quello nazionale che suggerisca in fase di progetto le attrezzature e/o la loro

predisposizione per eventuali impieghi non compresi tra quelli di più immediata attuazione; infatti nessuna ditta è in grado di prevedere l'evoluzione di un programma nucleare nazionale (1).

## 2. PRESUPPOSTI E CONDIZIONI PREESISTENTI

### 2.1. Generalità

Normalmente lo studio preliminare di un laboratorio caldo si sviluppa su quelli che sono i programmi sperimentali che in esso dovranno attuarsi, seguendo determinati schemi operativi che contemplano l'impiego di un numero più o meno consistente di operatori. Tali programmi prevedono per il laboratorio caldo un impegno economico in fase realizzativa e di gestione più o meno rilevante.

La differenza sostanziale tra una problematica del tipo suddetto e quella che ci si è presentata si può così riassumere:

- a) inserimento del laboratorio caldo nell'ambito di un edificio preesistente;
- b) disponibilità di alcune attrezzature aventi determinate caratteristiche;
- c) limitatezza economica;
- d) personale da attingere nell'organico del Reparto.

### 2.2. Esperienze di trattamento di rifiuti liquidi radioattivi

Stanti le condizioni di cui sopra, il presupposto

più importante, sulla base del quale sono state prese le mosse per informare i criteri e sviluppare la struttura del laboratorio caldo, è costituito dalle caratteristiche delle soluzioni liquide radioattive e dalle operazioni di trattamento cui dovranno essere sottoposte.

E' appunto in questa prima fase dello studio che si sono presentate delle ardue difficoltà soprattutto per i motivi accennati al punto c) dell'introduzione.

Infatti la vita utile di un laboratorio caldo viene normalmente considerata di almeno 10 anni (1) ed un tale intervallo di tempo risulta abbastanza lungo se viene considerato dal punto di vista della previsione delle operazioni che in esso si potranno realizzare.

E' stata pertanto necessaria una indagine ampia e approfondita sulla natura e sui processi cui sono sottoposti nei Paesi più avanzati i rifiuti liquidi aventi un livello di attività tale da dover essere trattati in ambienti schermanti e di contenimento (2,3,4).

In questa indagine non sono stati comunque trascurati quelli che sono i programmi sperimentali già elaborati dal CNEN che richiederebbero l'utilizzazione del laboratorio caldo (5,6,7).

Tali programmi prevedono:

- a) esperienze di condizionamento;
- b) esperienze di separazione di nuclidi;
- c) determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei prodotti ottenuti.

Quanto contenuto al punto a) consisterà in prove di solidificazione mediante formazione di vetri, ceramiche e vetro-ceramiche, partendo da:

- soluzioni di prodotti di fissione provenienti dal Laboratorio di Chimica Industriale del C.S.N. Casaccia (condizionamento con funzione di "Servizio"); soluzioni di tipo Purex e alluminico per la verifica di flow-sheets per il condizionamento di rifiuti prodotti dall'EUREX (Progetto Ester);
- soluzioni di P.F. per la verifica di flow-sheets per il condizionamento di rifiuti prodotti dall'ITREC;
- soluzioni di P.F. per la verifica di flow-sheets generali per il condizionamento di rifiuti provenienti dal riprocessamento di combustibile nucleare sottoposto ad alto tasso di irraggiamento.

Il punto b) prevede invece per le soluzioni suddette la verifica di flow-sheets relativi alla separazione di alcuni dei più importanti P.F.

Quanto al punto c) si dovrà procedere alla determinazione di valori di:

- densità
- conducibilità termica

- capacità termica
- generazione del calore per effetto del decadimento radioattivo
- volatilità alle alte temperature
- solubilità

Le prove di cui ai punti a) e b) coinvolgono reazioni chimiche più o meno complesse, pertanto le operazioni investono una vasta gamma di processi chimici e chimico-fisici:

- preconcentrazione
- miscelazione della soluzione con additivi
- distillazione
- assorbimento di gas e vapori in scrubbers
- essiccamento di concentrati
- trasformazione in vetro mediante fusione
- estrazione mediante solventi.

### 2.3. Livello minimo di radioattività delle soluzioni da trattare

Il livello minimo di radioattività delle soluzioni da trattare è legato a due fattori:

- a) rappresentatività delle soluzioni lavorate con quelle prodotte dagli impianti industriali;
- b) il livello di attività deve essere tale da poter misurare fattori di decontaminazione dell'ordine di  $10^8 - 10^{10}$ .

Per ciò che riguarda il punto a) si può asseri-

re che i volumi di soluzione di alimentazione possono variare nell'intervallo da 2 a 10 litri in funzione della loro attività.

Quanto al punto b) considerando una sensibilità dello strumento di misura dell'ordine di 10 pCi con errore inferiore all'1% si potranno determinare attività dell'ordine di  $10^{-8}$  Ci/l.

Nelle migliori condizioni di processo il fattore di decontaminazione potrebbe raggiungere il valore  $10^{10}$  pertanto l'attività specifica minima della soluzione di alimentazione dovrà essere ca  $10^2(\beta + \gamma)$  Ci/l.

D'altra parte le soluzioni da trattare saranno quelle in uscita dal primo ciclo di estrazione degli impianti di riprocessamento del combustibile nucleare irradiato, pertanto oltre ai prodotti di fissione, saranno contenuti alcuni  $\alpha$ -emettitori, principalmente isotopi del plutonio in quantità che dipendono dal tipo di processo.

Nella tabella I sono indicate le concentrazioni in plutonio delle soluzioni di rifiuto di diversa provenienza (7,8,9,10).

I limiti superiori forniti nella tabella si riferiscono a condizioni di malfunzionamento degli impianti di riprocessamento che possono comunque verificarsi.

TABELLA I

Provenienza delle soluzioni di rifiuto	Concentrazione di plutonio (mg/l)
A) Riprocessamento del combustibile dei reattori di Latina, Garigliano, Trino Vercellese	2,5 + 10
B) Riprocessamento del combustibile di reattori tipo MTR (soluzioni tipo alluminio)	< 4
C) Riprocessamento di combustibile ad alto tasso di irraggiamento (28.000 + 30.000 Mwd/tU)	
a) arricchimento con U-235	2,5 + 10
b) arricchimento con U-235 e Plutonio	25 + 100

2.4. Considerazioni riguardanti il regime giuridico dell'impiego pacifico dell'energia nucleare

Individuato l'ordine di grandezza della radioattività  $\beta - \gamma$  in gioco e della quantità di Plutonio si è potuto procedere all'esame delle norme di legge che interessano sostanzialmente il tipo di progettazione da eseguire con gli oneri ad essa connessi. Cioè in pratica l'Art. 8 del D.P.R. 13 febbraio 1964 N° 185 (11) nel definire particolari impianti nucleari e nell'indicare i documenti da produrre ai fini dell'approvazione della loro costruzione da parte degli Organi Centrali dello Stato (Ministero Industria e Commercio, del Lavoro, ecc.) esclude gli impianti costituiti essenzialmente da laboratori per studi e ricerche che contengono meno di 1000 Curie di prodotti di fissione e meno di 200 gr di Plutonio.

Questi ultimi tipi di impianti ricadrebbero nelle disposizioni relative all'Art. 55 del D.P.R. suddetto che d'altra parte presentano delle lacune e pertanto risultano non operanti. In tal caso resta allora valido l'Art. 102 che prevede ai fini del nulla osta per la realizzazione del laboratorio caldo, un semplice documento informativo, corredato di alcuni disegni, che contenga comunque una descrizione dell'impianto ed una esauriente illustrazione dei dispositivi di protezione e sicurezza. Il rilascio del nulla osta suddetto interesserà gli Organi periferici dello Sta-

to cioè il Prefetto, su parere del Medico Provinciale, dell'Ispettorato del Lavoro e dell'Agricoltura.

Pertanto nello spirito stesso con cui è stata concepita la progettazione del Laboratorio caldo (par.1) si ritiene senz'altro accettabile la limitazione dell'attività da trattare a meno di 1000 Curie di prodotti di fissione con meno di 200 gr di Plutonio. Infatti ciò permetterà:

- 1) di evitare in fase di gara una progettazione quanto mai particolareggiata e completa;
- 2) di ridurre notevolmente l'iter per l'approvazione alla costruzione;
- 3) di evitare la costituzione di un Collegio dei delegati alla sicurezza dell'impianto.

2.5. Previsione dei livelli di radioattività dovuta ad  $\alpha$ -emettitori

Al fine di definire il tipo di celle è necessario procedere ad una valutazione dell'ordine di grandezza della radioattività dovuta ad  $\alpha$ -emettitori prendendo in considerazione non soltanto le soluzioni suddette, ma anche le operazioni preliminari alle quali esse dovranno essere sottoposte.

In particolare prevedendo di trattare soluzioni di P.F. a tempo di raffreddamento compreso tra 1 e 10 anni, la loro attività specifica avrà subito una diminuzione più o meno rilevante (6), mentre il tasso in  $\alpha$ -emettitori risulterà pressochè invariato, dato

l'elevato semiperiodo di decadimento dei principali isotopi del Plutonio in cui essi praticamente si possono identificare.

Pertanto nel rispetto dei 1000 Curie come attività complessiva da non superare, per le ragioni esposte nel paragrafo precedente, i volumi limite delle soluzioni di rifiuti radioattivi che dovrebbero essere sottoposti alla operazione preliminare di concentrazione saranno approssimativamente quelli indicati nella tabella II.

Tabella II

Provenienza delle soluzioni di rifiuto	Volumi limite (l)
A	25 + 110
B	120 ca
( a )	)
C) ( b )	(30 ca
	)

I volumi limite suddetti verranno in pratica ridotti fino a valori compresi tra 2 + 10 l come riferito al paragrafo 2.3.

Ne deriva pertanto che la quantità complessiva di isotopi del Plutonio può raggiungere i valori ri-

portati nella tabella III.

Tabella III

Provenienza delle soluzioni di rifiuto	Plutonio complessivo (gr)
A	0,06 + 1,10
B	< 0,48
C) ( a )	0,08 + 0,30
( b )	0,75 + 3

Il valore più elevato prevedibile costituisce soltanto l'1,5% della quantità limite di Plutonio prevista dalle norme di legge di cui al par. 2.4.

D'altra parte la radioattività degli  $\alpha$ -emittenti dipende anche dalla proporzione con cui i radioisotopi del plutonio entrano a far parte delle soluzioni di rifiuto, essendo la loro attività specifica molto diversa.

Nella tabella IV viene presentata l'attività  $\alpha$

complessiva (\*) unitamente ai contributi in peso (%) dei vari radioisotopi del plutonio.

Tabella IV

Provenienza delle soluz. di rifiuto	Pu-238 (% in peso)	Pu-239 (% in peso)	Pu-240 (% in peso)	Pu-241 (% in peso)	Pu-242 (% in peso)	Pu-complessivo (mCi)
A	-	80	20	-	-	6 + 104
B	2	98	-	-	-	190
C {a) b)	-	48,5	32,4	12,7	6,4	1168+4380
	-	30,2	35	19,7	15,2	16975+67900

2.6. Valutazione preliminare di un consistente rilascio dal laboratorio

Per procedere ad una rapida valutazione di un consistente rilascio di materiale radioattivo presente nelle celle a causa di un grave incendio è sufficiente considerare, della lunga serie dei P.F., soltanto quelli che per le proprietà chimiche e chimico-fisiche dei composti in cui si trovano all'atto dell'incendio stesso, possono rappresentare tutti gli

(\*) Vengono trascurati gli isotopi dell'Uranio perchè i loro contributi all'attività  $\alpha$  sono dell'ordine di  $10^{-6}$  rispetto a quelli del Plutonio. Nelle soluzioni tipo  $\beta$  il Np-237 costituisce circa l'80% in peso degli  $\alpha$ -emettitori, ma è stato trascurato perchè il suo contributo all'attività complessiva è inferiore all'1%. Per gli isotopi dell'Americio e del Curio vedi la nota del par. seguente.

altri nuclidi. Inoltre la radioattività che ad essi compete è presente in tutto il periodo di raffreddamento considerato e costituisce, in termini di CMA nell'aria inalata, la porzione più elevata tra quella dei nuclidi rappresentati.

Nella tabella V vengono indicati i valori più elevati di radioattività raggiungibili nelle celle dai nuclidi rappresentativi dei prodotti di fissione.

Tabella V

Nuclidi rappresentativi	Radioattività $\beta - \gamma$ (Ci)
Cs-137	230
Sr-90	230
Ce-144	380
Y-90	230
Ru-106	16

Si considera quindi un grave incendio che coinvolga tutto il materiale radioattivo presente nelle celle. Si ipotizza il rilascio attraverso i filtri assoluti ed il camino del Reparto, che presenta la bocca a circa 16 m. dal suolo.

Si ritiene sufficientemente cautelativo supporre che dei P.F. rappresentativi vadano in aria le

frazioni seguenti :

Cs-137	20%
Sr-90	1%
Ce-144	2%
Y -90	1%
Ru-106	100%

Mentre per i primi quattro si può senz'altro asserire che lungo il percorso dalle celle ai filtri assoluti subirebbero una diminuzione di temperatura fino ai valori di quella ambiente che non ne permetterebbe l'esistenza in aria se non sottoforma di sospensione solida o di aerosol, per l'ultimo si può ipotizzare la presenza sotto forma di tetrossido il quale risulta volatile per temperature superiori ai 20°C, quindi non trattenibile dai filtri assoluti.

D'altra parte si ritiene ancora sufficientemente cautelativo supporre che esista una carenza di efficienza dei filtri assoluti che possa raggiungere il 20% nei riguardi di sospensioni ed aerosoli.

Premesso ciò, la ICRP del 1959 stabilisce che la concentrazione di un nuclide in aria può variare, purchè l'intake (quantità di radioattività inalata) annuo non superi, per la popolazione, quello che si avrebbe per una esposizione continua ad 1/10 CMA.

Ne consegue che l'intake permesso è:

$$I_p = 0,1 \text{ CMA} \cdot T \cdot 365 \text{ (Ci)}$$

dove  $T = m^3$  di aria ispirati in un giorno;

CMA = concentrazione massima ammissibile nell'aria per esposizione continua di professionalmente esposti.

L'intake effettivo in caso di un incidente che coinvolga  $Q_0$  Ci di materiale radioattivo, con un fattore di rilascio  $f$  è:

$$I_E = Q_0 \cdot f \cdot \delta \cdot \frac{T_0}{24.3600} \text{ Ci}$$

dove

$f$  = frazione rilasciata in aria per frazione rilasciata dai filtri assoluti;

$\delta \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ sec/m}^3$  è il fattore di diluizione atmosferica risultante dall'involuppo dei massimi valori delle dosi nube in assenza di deposizione al suolo, relativi a tutte le condizioni meteorologiche.

Imponendo  $I_E \leq I_p$  si ottiene:

$$Q_0 \leq 6,3 \cdot 10^9 \frac{\text{CMA}}{f} \text{ (Ci)} \quad (1)$$

dove

$Q_0$  = quantità di radioattività capace di produrre, se coinvolta nell'incidente col fattore di rilascio  $f$ , l'assorbimento di 0,5 rem nel punto di massimo valore e nelle peggiori condizioni meteorologiche probabili.

Sostituendo nell'ultima formula i valori più bassi per le CMA in aria (11) e quelli dei vari fat-

tori di rilascio si ottengono le quantità  $Q_0$  permesse per ogni nuclide:

Tabella VI

Nuclide rappresentativo	CMA aria (Ci/m <sup>3</sup> )	Fattore di rilascio f	$Q_0$ (Ci)
Cs-137	insol. $5 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-2}$	790
Sr-90	sol. $4 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-3}$	1.260
Ce-144	insol. $2 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-3}$	3.200
Y-90	" $3 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-3}$	94.000
Ru-106	" $7 \cdot 10^{-9}$	1	44

Dal confronto delle tabelle V e VI si osserva che le quantità di radioattività prevedibili nelle celle sono largamente inferiori a quelle permesse ed al massimo possono raggiungere il 33% di quest'ultime come appunto nel caso del rutenio che si distingue nettamente dagli altri per l'elevata volatilità del tetrossido.

Per ciò che riguarda gli  $\alpha$ -emettitori la tabella VII riporta le radioattività massime dei vari isotopi del Plutonio che possono essere presenti nelle celle.

Tabella VII

Nuclide	Radioattività $\alpha$ (Ci)
Pu-238	0,16
Pu-239	0,06
Pu-240	0,24
Pu-241	67,60
Pu-242	1,78

Con un ragionamento analogo a quello precedente per i P.F., sostituendo nella formula (1) i valori più bassi per le C.M.A. in aria (11) ed  $f=2 \cdot 10^{-3}$  (risultante dal prodotto della frazione in aria, cautelativamente considerata lo 0,5%, per l'efficienza dei filtri pari all'80%) si ottengono le quantità  $Q_0$  permesse per ogni nuclide:

Tabella VIII

Nuclide	CMA aria (Ci/m <sup>3</sup> )	$Q_0$ (Ci)
Pu-238	sol. $7 \cdot 10^{-13}$	4,40
Pu-239	" $6 \cdot 10^{-13}$	3,78
Pu-240	" $6 \cdot 10^{-13}$	3,78
Pu-241	" $3 \cdot 10^{-11}$	188,80
Pu-242	" $6 \cdot 10^{-13}$	3,78

Confrontando questi valori di attività con quelli della tabella VII si deduce che le quantità degli  $\alpha$ -emettitori presenti nelle celle sono accettabili con ampio margine di sicurezza(\*)).

(\*) Gli isotopi dell'americio e del curio anche essi  $\alpha$ -emettitori potrebbero raggiungere nelle celle i valori limite indicati qui di seguito:

NUCLIDE	Semiperiodo (anni)	Provenienti da sol.di rifiuto di	
		RAN (Ci)	RAVML (Ci)
Am-241	432	4	37,5
Am-243	7.340	0,4	1,2
Cm-242	0,45	4,5	18
Cm-244	18	36	18

RAN: Reattori ad acqua naturale.  
RAVML: Reattori autofertilizzanti veloci a metallo liquido.

come ricavabili da (20). In questo caso, poichè il fattore di risospensione per entrambi gli isotopi si può considerare cautelativamente pari allo 0,5%, è necessario stabilire l'efficienza dei filtri al 98% (il che resta sempre una situazione sicuramente realistica in quanto la sequenza è quella di un prefiltro in cella - prefiltro e filtro assoluto al 99,997% a valle delle celle). Pertanto sostituendo nella formula (1)  $f = 10^{-4}$ , si ottengono le quantità  $Q_0$  permesse:

## 2.7. Definizione del tipo di celle

Nel senso più lato per "cella calda" si intende un ambiente schermante e di contenimento per la manipolazione di materiale radioattivo.

E' noto d'altra parte come la schermatura ed il contenimento possano essere realizzate in modo diverso a seconda dell'energia dell'emissione  $\gamma$  e del livello di radioattività  $\alpha$ .

Per ciò che riguarda l'energia dell'emissione  $\gamma$  trattandosi di soluzioni di P.F. questa potrebbe essere valutata in prima approssimazione pari a ca 0,7 MeV/dis. Inoltre per tali soluzioni risulta che dell'attività complessiva  $\beta + \gamma$  l'attività  $\gamma$  costituisce soltanto il 25% ca, pertanto, stante la limitazione dei 1000 Ci (par. 2.4.), l'emissione  $\gamma$

./.. (\*)

NUCLIDE	CMA aria (Ci/m <sup>3</sup> )	$Q_0$ (Ci)
Am-241	sol. $2 \cdot 10^{-12}$	126
Am-243	" $2 \cdot 10^{-12}$	126
Cm-242	" $4 \cdot 10^{-11}$	2.520
Cm-244	" $3 \cdot 10^{-12}$	189

Dal confronto delle due tabelle si può concludere che anche per questi ultimi transuranici il grado di contenimento previsto offre un buon margine di sicurezza.

che dovrebbe essere attenuata dalle pareti delle celle non supererebbe quella corrispondente ai 250  $\gamma$  Ci.

Tuttavia nello sviluppo delle ricerche suddette (par.2.2.) potrebbe essere necessario integrare le soluzioni dei P.F. che hanno subito un certo invecchiamento, con una forte quantità di uno dei nuclidi ormai in via di estinzione o di ospitare nelle celle sorgenti di irraggiamento con energie fino ad 1 MeV/dis.

D'altra parte il volume effettivo occupato dai radionuclidi può ridursi a valori oscillanti da 1 a 200 cm<sup>3</sup> a seconda della loro natura, del processo cui sono stati sottoposti o della funzione che debbono esplicare.

Per esempio una soluzione di P.F. sottoposta a vetrificazione subisce un fattore di riduzione di volume variabile da 50 a 150 ca.

Riguardo il sistema di contenimento da adottare si ritiene utile riportare, in funzione dei livelli di radioattività  $\alpha$ , il tipo suggerito dalle norme di protezione sanitaria, come di seguito:

a) sistema a tenuta dinamica (cioè basato essenzialmente sul numero di ricambi/h di aria e sulla depressione realizzata all'interno delle celle rispetto alle aree circostanti):

Pu (miscuglio isotopico) in polvere < 10  $\mu$ Ci  
 Pu ( " " ) in soluzione contenuta  
 in vasi aperti < 100  $\mu$ Ci

Pu (miscuglio isotopico) in soluzione contenuta in  
 vasi chiusi a tenuta < 500  $\mu$ Ci

b) sistema a tenuta dinamica e statica (cioè in aggiunta a quanto previsto nel caso precedente, consistente in una perfetta separazione fisica dell'ambiente delimitato dalle pareti delle celle, cioè quella che normalmente viene chiamata "tenuta  $\alpha$ "): Pu (miscuglio isotopico) se la sua attività eccede i limiti indicati nel punto a).

Dall'esame della tabella VII si può osservare come la radioattività  $\alpha$  superi ampiamente i limiti indicati nel punto a).

Si può pertanto concludere che sarà necessario procedere allo studio delle caratteristiche strutturali delle celle partendo dal presupposto di base che esse consentano di attenuare una sorgente puntiforme di 1000 Ci da 1 MeV/dis. e che siano "a tenuta  $\alpha$ " (\*). Le celle saranno inoltre dotate di una camera di isolamento sul retro, tale da confinare una possibile contaminazione accidentale (12).

(\*) La dizione "a tenuta alfa" indica che potrà essere consentita per la cella nel suo complesso, in condizioni operative, una perdita di pressione massima pari a 15 mm di colonna di acqua in due ore, con cella in pressione o in depressione, a partire da 100 mm.

### 2.8. Riutilizzazione di attrezzature disponibili

In una delle celle analitiche dell'impianto EUREX di Saluggia sono montate:

- 1 finestra al vetro di piombo
- 1 manipolatore Master-Slave del tipo CRL Mod. F rinforzato estensibile.

Entrambe le attrezzature hanno caratteristiche e dimensioni tali da poter essere impiegate su celle aventi pareti di calcestruzzo dello spessore di 1,2 m.

Tali attrezzature, acquistate sui fondi assegnati al Laboratorio di Ingegneria Sanitaria, dovranno essere restituite a quest'ultimo per essere installate nel laboratorio caldo a corredo di una hot-facility.

### 2.9. Caratteristiche costruttive della hall preesistente e dei laboratori limitrofi

Nell'ala ovest del nuovo Reparto Ricerca del Laboratorio di Ingegneria Sanitaria (Area C.III Ed. 42) del C.I.N. Casaccia (fig. 1,2,3) dovrà essere installato il laboratorio caldo per le esperienze summenzionate. Essa presenta una forma parallelepipedica anche se da un lato risulta compenetrata con quella della hall tecnologica ormai costruita.

Le sue dimensioni utili sono:

- lunghezza massima (fino ad una quota di 3,70 m dal piano di calpestio) m. 20,35
- lunghezza minima (dalla quota di m. 3,70) m. 18,07



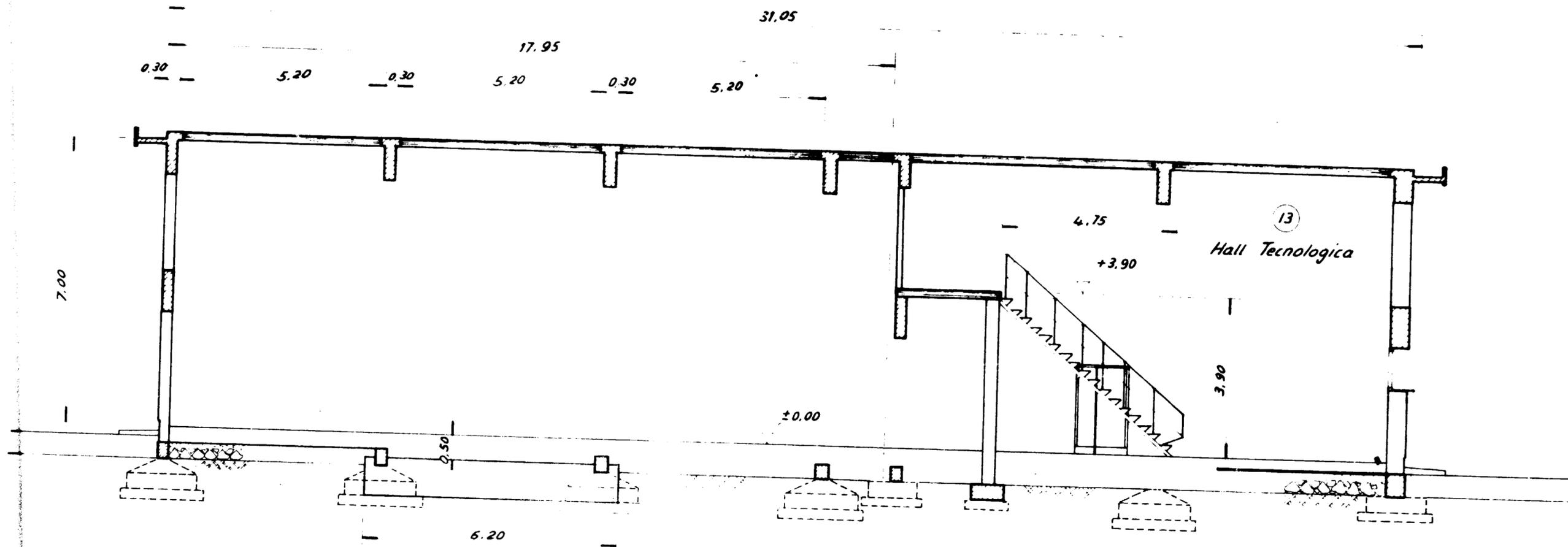


Fig. 2 - L.I.S. - Reparto Ricerca - Sezione longitudinale ala ovest. (A-A)

11.00



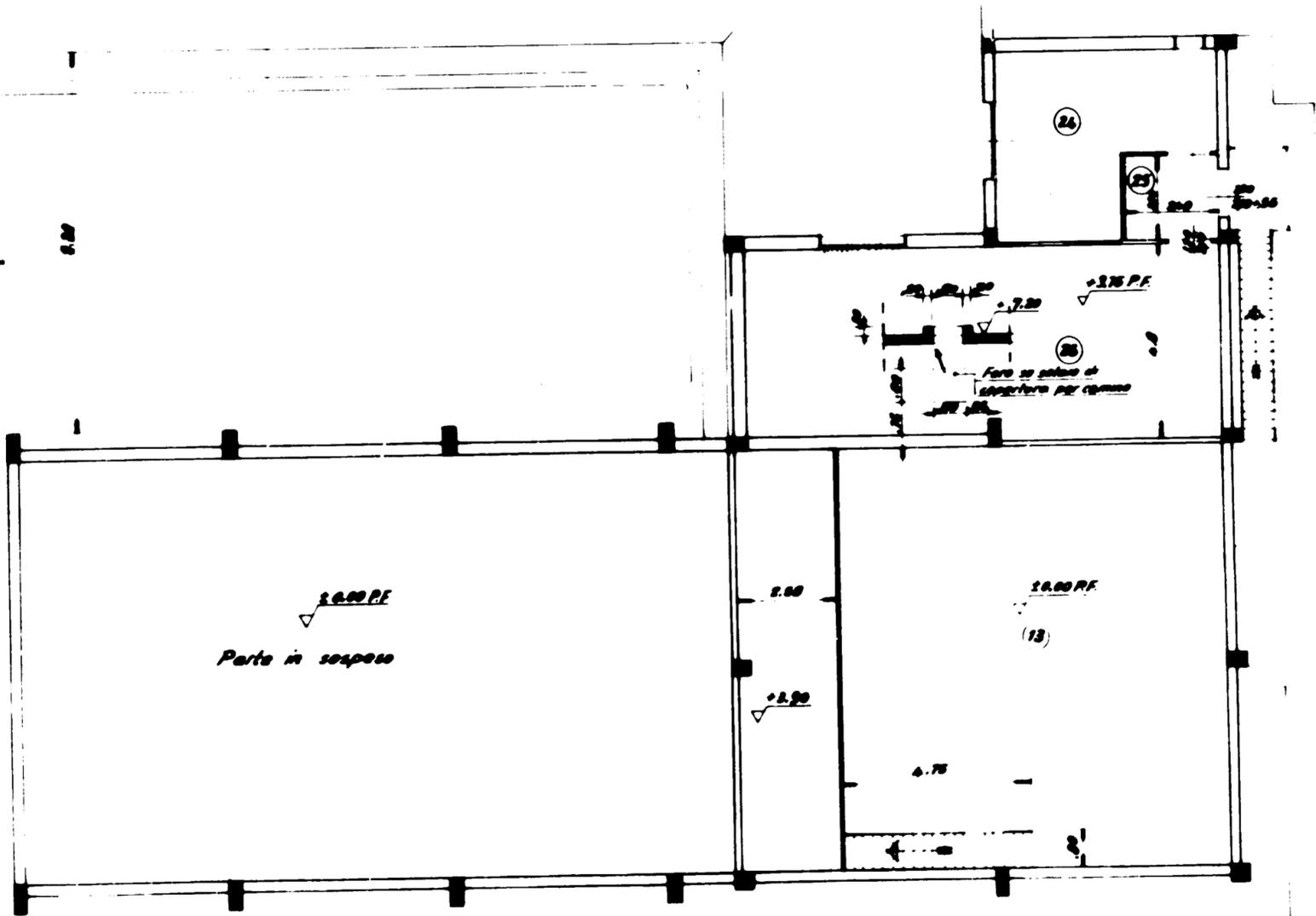
5.00

5.00

11.70

11.50

0.30 5.00 0.70 5.00 0.70 5.00 0.30 21.00



11.00

Fig. 3 - L.I.S. - Reparto Ricerca - Pianta piano primo

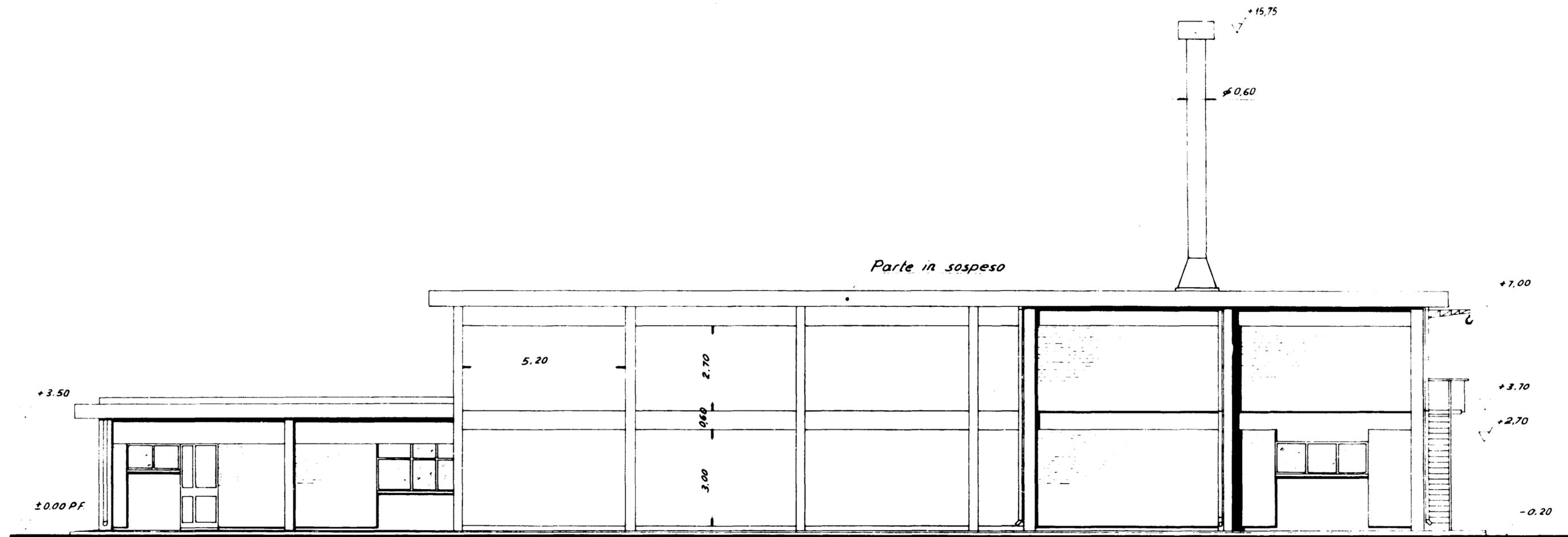


Fig. 4 - L.I.S. - Reparto ricerca - Prospetto ovest

- larghezza	m.	10,30
- altezza	m.	7,00
- superficie	mq.	209,50
- volume	mc.	1382

Come si può osservare il tetto e le pareti perimetrali della hall, tranne quelle parallele all'asse longitudinale risultano costruite.

La fig. 4 riporta il prospetto ovest del Centro Ricerca. Da essa è possibile conoscere le dimensioni delle luci tra i pilastri e le velette in cemento armato che costituiranno le possibilità di ancoraggio e di passaggio per l'installazione del laboratorio caldo. L'ala sarà poi messa in comunicazione con lo spogliatoio del laboratorio di radiochimica, già esistente, che ha il soffitto a 3,70 m. dal piano di calpestio. La hall tecnologica adiacente al lato sud presenta anche un piano di calpestio a quota 3,90 m al quale è possibile accedere per mezzo di una scala situata nella hall stessa.

#### 2.10. Problemi di protezione sanitaria e controlli

Una volta stabilite le quantità di radioattività in gioco e definito il tipo di celle atte alla loro manipolazione, si presenta tutta una problematica di natura protezionistica che scaturisce sostanzialmente dalle necessità di transito del personale e dei materiali ingombranti, di intervento in caso di incidenti e di decontaminazione.

Le norme principali che riguardano la progettazione del Laboratorio caldo possono essere raggruppate sotto le voci seguenti (13):

- a) livelli massimi ammissibili di intensità di esposizione esterna;
- b) livelli massimi ammissibili di concentrazione in aria;
- c) suddivisione delle zone di lavoro in base al livello di irradiazione esterna e alla concentrazione di contaminazione;
- d) ventilazione degli ambienti con rischio di contaminazione;
- e) sistemi di raccolta dei liquidi in relazione alla attività specifica;
- f) soluzione di continuità in caso di impiego comune con il laboratorio limitrofo di radiochimica, dello stesso spogliatoio;
- g) assenza di finestre e numero di porte, che adducono all'esterno, ridotto al minimo;
- h) sistemi di rivelazione di esposizione da radiazioni  $\gamma$  e di misura delle contaminazioni superficiali e dell'aria;
- i) spogliatoio per indumenti protettivi;
- l) decontaminabilità delle pareti;
- m) possibilità di intervento in caso di contaminazione accidentale di ambienti;
- n) possibilità di decontaminazione di apparecchiature;

o) possibilità di decontaminazione del personale impiegato;

p) sistemi di trasferimento atti a prevenire i rischi di esposizione alle radiazioni e di contaminazione.

Passiamo ora brevemente in rassegna i vari punti indicandone i valori limite e/o l'impostazione valida per giungere ad una accettabile soluzione dell'aspetto protezionistico del problema non disgiunto, come vedremo in seguito, da quello economico di realizzazione e di gestione del laboratorio caldo.

a) E' noto come nella definizione dello spessore delle pareti schermanti delle celle ci si basi sulla intensità di esposizione massima ammissibile in corrispondenza della superficie esterna e come tale intensità possa variare in relazione alle zone che tale superficie delimita o che sono prossime ad essa.

Ciò può determinare in ultima analisi l'adozione di uno spessore più o meno grande delle pareti e del soffitto delle celle o la scelta di materiali schermanti di diversa natura se intervengono problemi di ingombro.

Il valore limite di intensità di esposizione in corrispondenza degli ambienti in cui normalmente si troveranno gli operatori che dovranno condurre le esperienze previste, per un tempo massimo di 40 ore settimanali, non dovrà superare i 2,5 mR/h.

Tale valore dovrà essere ridotto di un fattore 10 a contatto delle superfici delimitanti il laboratorio caldo da ambienti esterni dove è permesso il transito di personale non professionalmente esposto. Qualora la superficie delimitante suddetta costituisca un piano di calpestio è ammessa una intensità di esposizione non superiore a 0,25 mR/h ad una altezza di 60 cm dal pavimento.

- b) Vedremo in seguito come l'aria contenuta nei vari ambienti che costituiranno il laboratorio caldo non potrà fuoriuscire da esso se non attraverso passaggi obbligati muniti di abbattitori di particelle radioattive. Questa, tuttavia, pur essendo una condizione necessaria non è sufficiente a garantire la protezione sanitaria dei lavoratori che dovranno operare all'interno del laboratorio stesso. Perchè ciò avvenga è necessario che i sistemi costruttivi e di trasferimento non permettano che le manipolazioni di materiale radioattivo determinino il superamento delle CMA in aria per i vari nuclidi in maniera tale da invalidare la disuguaglianza.

$$\sum_1^n \frac{C_i}{(CMA)_i} \leq 1/3$$

dove:

$C_i$  = concentrazione di ciascun nuclide componente la miscela;

$(CMA)_i$  = concentrazione massima ammissibile per irradiazione continua calcolata in ragione di 168 ore alla settimana di persone esposte per ragioni professionali in una zona controllata.

- c) Un ruolo molto importante nell'impedire il diffondersi della contaminazione radioattiva al di fuori delle zone controllate è sostenuto dai sistemi e dagli accorgimenti necessari a contenere la contaminazione superficiale sia essa riferita alle superfici degli ambienti costituenti il laboratorio caldo che agli indumenti ed alle parti del corpo esposte.

Tale contenimento può essere realizzato sulla base di una suddivisione dell'area controllata in zone a rischio di contaminazione via via decrescenti separate le une dalle altre da barriere non trasportabili se non dopo aver eseguito adeguati controlli e indossato gli indumenti prescritti. La suddivisione di cui sopra viene eseguita prendendo anche in considerazione l'intensità di esposizione media alle radiazioni che ad esse può competere. I valori di riferimento sono dati nella tabella IX.

Tabella IX

ZONA	Irradiazione esterna (mR/h)	CONCENTRAZIONE DI CONTAMINAZIONE ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )							
		PRINCIPALI EMETTITORI $\alpha$				PRINCIPALI EMETTITORI $\beta$			
		Superf.	Indum. Protet.	Pelle	Mani	Superf.	Indum. Protet.	Pelle	Mani
VERDE	< 0,25	non ri- levab.	--	--	--	--	--	--	--
GIALLA	0,25 - 0,75	$10^{-6}$	$10^{-7}$	--	--	$10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	--	--
ROSSA	0,75 - 2,5	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$

ti di dimensioni ridotte e quindi portatili.

D'altra parte per controllare ogni sospetta contaminazione di parti del corpo, mani, piedi, abiti sarà necessario installare in prossimità delle docce di emergenza in zona rossa uno strumento fisso.

- i) Nella zona rossa con contaminazione debbono essere usati indumenti protettivi (camici, calzoni, copricapo, sovrascarpe, ecc.) con contrassegni visibili.

Inoltre nel caso particolare di interventi in cella o di operazioni di decontaminazione sarà necessario impiegare appositi scafandri, maschere e respiratori ad aria compressa.

Ne consegue che si dovrà procedere alla realizzazione di uno spogliatoio in zona rossa munito di un contenitore dotato di un sacco di polietilene per indumenti contaminati.

- l) Tutte le zone soggette a rischio di contaminazione dovranno avere i pavimenti e le pareti fino ad una certa altezza rivestiti con laminati plastici o vernici decontaminabili.
- m) Qualora si verificasse in una zona del laboratorio caldo un incidente come un'esplosione od un incendio per cause chimiche od elettriche con conseguente spandimento di materiale radioattivo, dovrà essere possibile l'isolamento dell'ambiente, relativamente all'accesso del personale ed al passaggio di aria verso altri ambienti interessati dal

sorbimento su materiale inerte, come ad esempio vermiculite, prima dell'evacuazione dalla cella e l'allontanamento da essa tramite un contenitore schermante.

Per gli effluenti di categoria 4 e per quelli delle categorie 1 e 2 ( $10^{-2}$ - $10^{-9}$  Ci/l) provenienti dalla decontaminazione di attrezzature, dalle docce e dai lavandini caldi, il laboratorio dovrà essere provvisto di una rete di scarico per liquidi attivi, separata da quella per gli scarichi normali, e di un opportuno serbatoio per la relativa raccolta.

Da quest'ultimo i liquidi verranno inviati all'impianto di trattamento rifiuti attivi situato nel prospiciente edificio del Reparto Servizio del Laboratorio di Ingegneria Sanitaria.

f) Come risulta dalla pianta di fig. 1 e per quanto detto al paragrafo 2.9, confinante con la hall del Laboratorio caldo trovasi, già costruito, lo spogliatoio, costituente zona gialla, del laboratorio di radiochimica.

Dato lo spazio limitato a disposizione ed i vincoli economici connessi alla realizzazione, e, d'altra parte data la necessità, prevista dalle norme di protezione, dell'esistenza di uno spogliatoio in zona gialla, da utilizzarsi al termine di ogni periodo di permanenza nel laboratorio caldo, si

è ritenuto opportuno l'impiego comune di tale spogliatoio.

Poichè il laboratorio caldo, come vedremo in seguito, sarà composto anche di una zona gialla, si dovrà procedere ad una soluzione di continuità per evitare di trasferire la contaminazione al di fuori delle zone controllate.

g) Per i rischi sopra accennati e per la conseguente necessità di mantenere gli ambienti in depressione rispetto all'esterno, il laboratorio non sarà dotato di finestre esterne.

Il numero delle porte esterne dovrà essere minimo compatibilmente con i trasferimenti delle attrezzature ingombranti, dei contenitori per materiali attivi, del transito del personale in situazioni normali e di emergenza.

h) Per sorvegliare e controllare il livello delle radiazioni e delle contaminazioni nel laboratorio caldo sono previsti degli strumenti di fisica sanitaria fissi e portatili. Quelli permanentemente installati su parete e nel camino di uscita dell'aria di ricambio del laboratorio, dovranno misurare rispettivamente i livelli di irradiazione ed il grado di contaminazione dell'aria.

Per la ricerca delle contaminazioni superficiali e per la determinazione dei livelli di dose nelle aree di lavoro, dovranno essere impiegati strumen-

d) Le esperienze ai cui al paragrafo 2.2 saranno normalmente eseguite in impianti "banch scale" a tenuta stagna già collaudati "a freddo", pertanto non dovrebbero comportare la messa in libertà di contaminanti radioattivi. Tuttavia potrebbero verificarsi incidenti, dovuti ad errore di operazione, ad avaria, o in casi estremi ad incendio, che determinerebbero una contaminazione incontrollabile.

Sarà pertanto necessario dotare le zone in cui è stato suddiviso il laboratorio caldo di un opportuno sistema di aspirazione e filtrazione; il primo che realizzi delle depressioni crescenti dalle zone più "fredde" a quelle più "calde", il secondo che preveda dei filtri capaci di fermare particelle di diametro fino a 0,3 micron.

e) Al liquido di alimentazione dei processi previsti nel laboratorio caldo potrà corrispondere una attività specifica massima di 500 Ci/l.

D'altra parte gli effluenti liquidi costituenti le code dei processi suddetti avranno attività comprese tra  $10^{-3}$  e  $10^{-2}$  Ci/l fino ad un massimo, in casi di malfunzionamento del processo, di  $10^{-1}$  Ci/l. Il liquido di categoria 5 prima considerato, potrebbe fuoriuscire a causa di un incidente e cadere sul pavimento della cella. In tal caso il drenaggio resterà chiuso e si dovrà procedere ad un as-

circuito della ventilazione.

La disposizione degli ambienti e delle porte di accesso del laboratorio caldo nonché il grado della loro tenuta statica o dinamica dovrà poi permettere l'ingresso alla squadra di pronto intervento o a quella di decontaminazione a seconda della gravità dell'incidente, permettendo, se necessario, anche la installazione provvisoria di protezioni atte ad impedire il diffondersi della contaminazione.

n) Il succedersi di esperienze chimiche o chimico-fisiche porterà come conseguenza tutta una serie di apparecchiature "banch scale" che necessiterà di una adeguata pulizia prima di poter essere riutilizzata o riparata in seguito ad una avaria.

Sarà pertanto necessaria la disponibilità di un ambiente attrezzato per svolgere questo compito.

o) Durante le operazioni di decontaminazione, di trasferimento di materiale radioattivo o di intervento, come accennato al punto m), il personale impiegato potrebbe contrarre una contaminazione della pelle.

Ai fini di un immediato allontanamento dei nuclidi contaminanti per il pericolo di un assorbimento al sistema circolatorio, si dovrà prevedere nel laboratorio caldo, l'installazione di lavandini e di docce passanti.

In particolare l'intervento di operatori entro le celle potrà essere fatto sia impiegando un tunnel-suit, sia a mezzo di tute complete, munite di tubo ad aria compressa. Usando quest'ultimo tipo di indumento saranno generalmente sufficienti due docce per una completa decontaminazione, così da permettere l'uscita dell'operatore senza rischio alcuno (14).

- p) Le sostanze radioattive saranno sottoforma liquida o solida. Per il loro trasferimento dovranno essere impiegati contenitori per liquidi e per solidi con pareti di spessore tale da garantire un fattore di attenuazione dell'ordine di  $10^6$ .

D'altra parte tali contenitori dovranno essere provvisti di dispositivi a perfetta "tenuta  $\alpha$ " che dovrà essere realizzata anche durante il trasferimento del materiale radioattivo dal contenitore alla cella.

Le norme riguardanti il trasporto di sostanze radioattive prevedono per i contenitori schermanti una intensità massima di irradiazione esterna di 200 mR/h a contatto e di 10 mR/h ad 1 metro di distanza.

#### 2.11. Condizioni economiche ed impostazione della gara per la fornitura

I dati di progetto sono stati ricavati dal presupposto economico di non superare la cifra di 200 milio

ni tenuto conto naturalmente delle esigenze sperimentali del prossimo decennio.

Per quanto attiene alla costruzione del laboratorio caldo e facendo riferimento al punto a) dell'introduzione si ritiene opportuno indire due gare per appalto concorso distinte:

- una per la parte più spiccatamente nucleare (celle calde e camera di isolamento con relative parti di impianti incorporate);
- l'altra per la parte civile (con relativi impianti annessi).

A tal fine occorre predisporre delle seguenti specifiche tecniche e relativi disegni:

- 1) Specifica tecnica generale con la descrizione del laboratorio caldo;
- 2) specifica tecnica relativa alla parte più spiccatamente nucleare del laboratorio stesso;
- 3) specifica tecnica dei locali asserviti alle celle e relativi impianti.

### 3. RISULTATI DELLO STUDIO

#### 3.1. Criteri generali

Stanti le condizioni di ambiente, di attrezzature ed economiche su accennate, si è cercato di raggiungere una soluzione "optimum" capace di offrire una sufficiente flessibilità e tutte quelle garanzie che una realizzazione di questo tipo richiede.

Le caratteristiche di versatilità interessano in primo luogo le celle influenzando conseguentemente gli ambienti ad esse asserviti che dovranno presentare dei requisiti idonei in una organica ed efficiente suddivisione del laboratorio caldo.

### 3.1.1. Requisiti di funzionalità delle celle calde

Le celle dovranno assicurare una buona versatilità per ciò che riguarda:

- 1) L'installazione di un impianto "banch scale" avente uno sviluppo superiore a quello normale installabile in un'unica cella;
- 2) i trasferimenti sufficientemente rapidi di campioni liquidi e solidi e di apparecchiature da una cella all'altra;
- 3) i trasferimenti a "tenuta  $\alpha$ " di sostanze liquide, solide e di apparecchiature dalle celle all'esterno e viceversa.

La soluzione proposta per questo tipo di celle è: due celle in linea, una predisposta per alloggiare un impianto del tipo suddetto e l'altra per eseguire le analisi e le determinazioni previste sui campioni ottenuti.

La parete di separazione tra cella e cella non sarà rimovibile, per garantire un migliore contenimento generale e per economia. Qualora si presentasse la necessità di cui al punto 1) le tu-

bazioni di collegamento tra le apparecchiature disposte nelle due celle saranno sistemate attraverso una serie di tappi di servizio passanti la parete divisoria delle celle stesse. I trasferimenti intercella di cui al punto 2) dovranno permettere soltanto di conservare la protezione  $\beta, \gamma$  con possibilità, nel caso di trasferimento di apparecchiature ingombranti, di escludere la protezione  $\beta, \gamma$  stessa.

I sistemi di trasferimento di cui al punto 3) dovranno interessare entrambe le celle e comunque dovranno essere realizzati nel numero minore possibile. Si ritiene pertanto sufficiente predisporre:

- a) per ogni cella un circuito per immissione di liquidi di categoria 5;
- b) in corrispondenza della parete posteriore di una cella un foro di passaggio avente un diametro di 15 cm munito di attacco  $\alpha$  per trasferimenti di crogioli contenenti solidi ad alta attività;
- c) in corrispondenza della parete posteriore dell'altra cella un foro di passaggio avente un diametro di 30 cm munito di attacco  $\alpha$  per trasferimento di apparecchiature in avaria o comunque contaminate con una attività massima di 10  $\gamma$  Ci (1 MeV/dis.).

Le pareti interne delle celle saranno inoltre ricoperte con una lamiera di AISI 304 L con passaggi a tenuta  $\alpha$ .

L'impiego del rivestimento metallico è stato suggerito fondamentalmente dalle seguenti considerazioni:

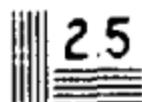
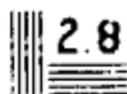
- notevole suscettibilità, se si impiegassero vernici decontaminabili, ad essere scalfite in seguito ad urto di parti metalliche durante il montaggio o lo smantellamento delle apparecchiature alloggiata nelle celle;
- corrosività delle soluzioni calde contenenti fino al 30-35% di acido nitrico che in seguito ad avaria o non perfetta registrazione delle tenute potrebbero cadere sul pavimento imbrattando anche le pareti;
- avendo stabilito per le ragioni suddette l'acciaio inossidabile per il rivestimento delle celle ed il piano di lavoro, esso può fungere anche da volano termico in caso di limitati incendi, data la sua elevata conducibilità termica e l'ampia superficie.

Sarà d'altra parte necessario che il "liner" presenti una soluzione di continuità per garantire la tenuta  $\alpha$ , pertanto in corrispondenza dei corridoi di accesso alle celle e dei passaggi adibiti al trasferimento dei solidi radioattivi dovranno essere realizzati dei portelli dello stesso materiale muniti di guarnizione antiacida.

Inoltre in corrispondenza dei tappi di servizio, degli inserti dei manipolatori e del telaio della fine-



4.5



5.0

5.6



6.3



7.1



8.0

9.0

10



stra, le tenute dovranno essere del tipo  $\alpha$ , come anche dovrà essere realizzato un piccolo sas in perspex con telaio in acciaio inossidabile sulla parete delle celle lato area operazioni, che potrà permettere l'introduzione di piccoli contenitori di sostanze non attive tramite un sistema tipo La Chalène.

Anche in corrispondenza della parete intercella saranno incerniati due portelli a tenuta costituiti da una lastra di vetro temperato resistente alle radiazioni, di adatto spessore, montata su telaio saldato in acciaio inossidabile che permetteranno di risolvere i seguenti problemi:

- eliminare il rischio di contaminazione di una cella qualora nell'altra si debba eseguire una operazione che lo comporterebbe;
- eseguire la decontaminazione di una cella mentre l'altra è in esercizio.

Le celle saranno inoltre corredate di due gruppi filtranti installati internamente, rispettivamente uno in corrispondenza della bocca di ingresso dell'aria di ventilazione e l'altro su quella di uscita; anche essi avranno la funzione di trattenere le polveri radioattive in seguito ad un incidente del tipo suddetto.

D'altra parte la soluzione della camera di isolamento, oltre alla funzione indicata al paragrafo 2.7, permetterebbe di disporre di un locale nel quale può

essere contenuta la maggior parte della contaminazione che frequentemente viene prodotta nelle aree di carico dei laboratori caldi e di facilitare l'ingresso nelle celle per intervento.

### 3.1.2. Classificazione delle zone di lavoro

Successivamente alla definizione delle caratteristiche strutturali delle celle è stato esaminato appunto il problema del transito del personale, dei materiali ingombranti e della contaminazione.

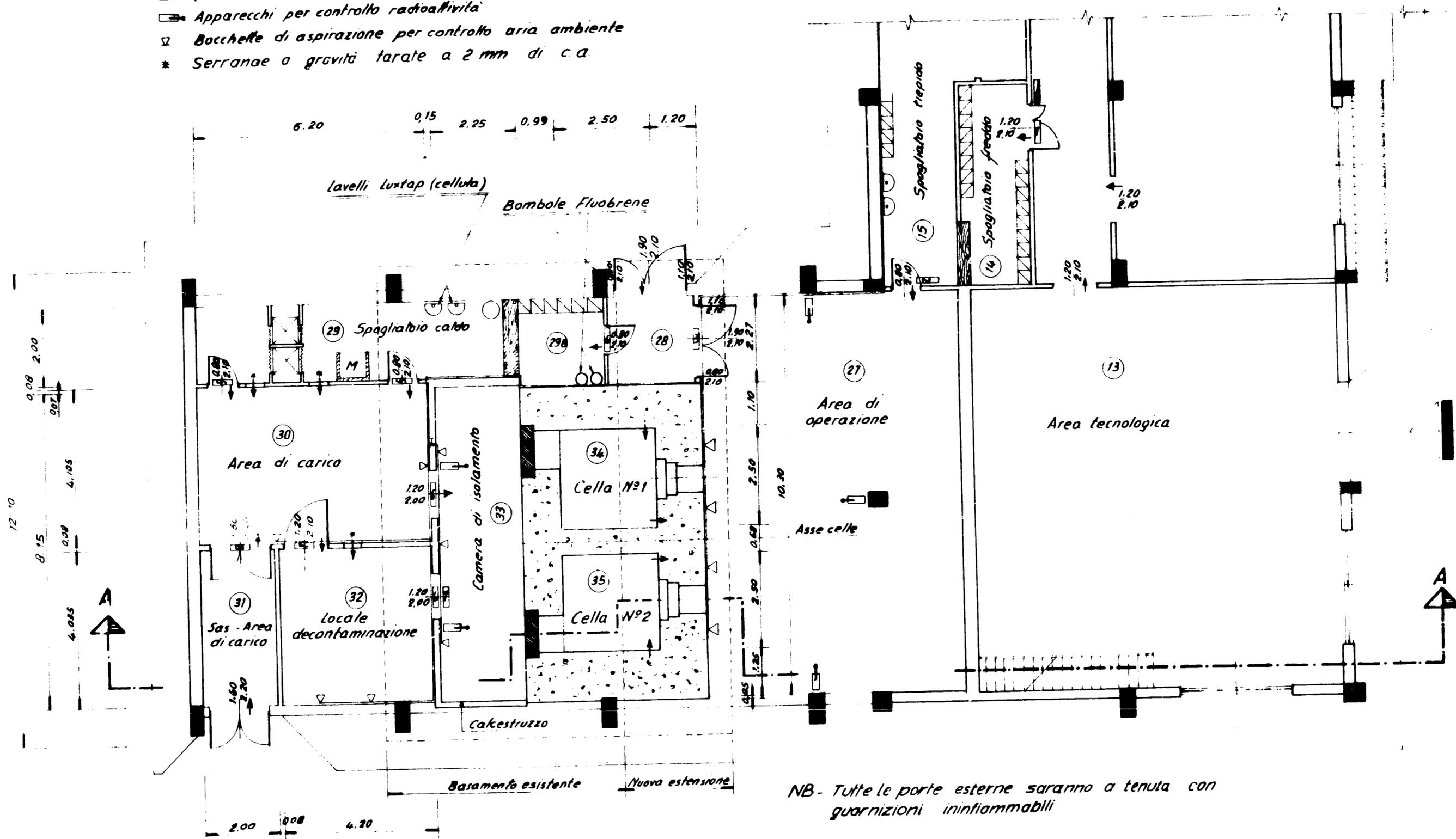
I criteri generali seguiti (12) sono tali da tener conto dei seguenti problemi:

- sicurezza dell'impianto e delle persone;
- rendere agevole sia il transito delle persone che dei materiali;
- funzionalità dell'area di decontaminazione e dell'area di carico.

Nelle fig. 5 A e B è presentata la soluzione che si ritiene più idonea in rispetto anche a quanto esposto al punto f) del par. 2.10.

Vedremo in seguito nella descrizione del laboratorio le caratteristiche dei vari ambienti per gli usi cui saranno adibiti. Per ora, al fine di stabilire le caratteristiche schermanti delle pareti delle celle e delle attrezzature ad esse connesse, è necessario procedere alla classificazione delle zone di lavoro del laboratorio.

- Quadretti "vietato l'accesso"
- Quadretto con pulsanti per accensione quadretti "vietato l'accesso"
- ▢ Apparecchi per controllo radioattività
- ▽ Bocchette di aspirazione per controllo aria ambiente
- \* Serrane a gravità tarate a 2 mm di c.a.



NB - Tutte le porte esterne saranno a tenuta con guarnizioni ininfiammabili

Fig. 5A - L.I.S. - Reparto Ricerca - Pianta laboratorio caldo

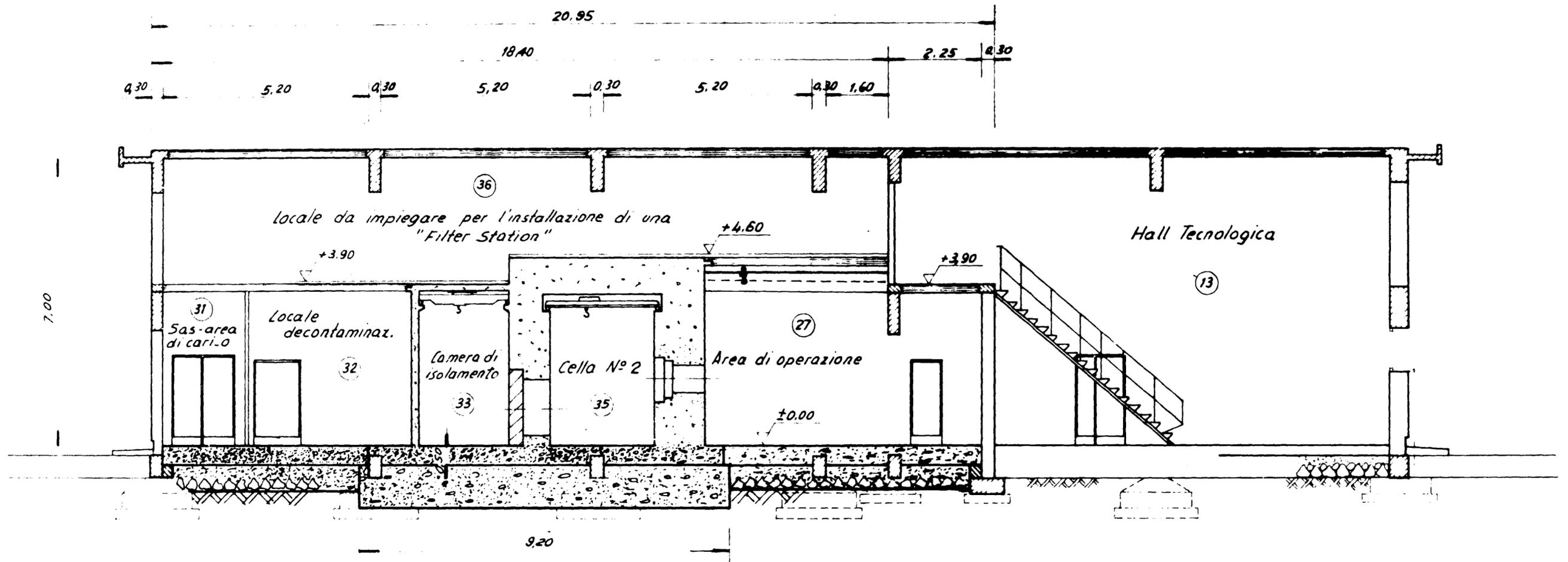


Fig. 5 B - L.I.S. - Reparto Ricerca - Sezione longitudinale laboratorio caldo - (A-A)

In base alle indicazioni del Servizio di Fisica Sanitaria (vedi anche la tab. IX) le aree controllate del Laboratorio saranno classificate come di seguito:

- a) Zone rosse con radiazioni e contaminazione a permanenza limitata: celle calde, camera di isolamento, vano interrato contenente il serbatoio per i rifiuti liquidi;
- b) zona rossa con radiazioni e contaminazione: stanza di decontaminazione, area di carico;
- c) zona rossa con contaminazioni: spogliatoio caldo;
- d) zone gialle con radiazioni e contaminazione: area operazioni, passo carraio - area operazioni, vestibolo - spogliatoio caldo, passo carraio - area carico.

### 3.1.3. Considerazioni riguardanti la schermatura delle celle

Gli elementi principali su cui ci si è basati per la scelta dei materiali da impiegare e per la definizione del loro spessore si possono così riassumere:

- 1) sorgente radioattiva pari a 1000 Ci ad 1 MeV/dis. che date le limitate dimensioni in cui può essere ridotta (par.2.7.) si può conservativamente considerare puntiforme;
- 2) classificazione della zona o delle zone separate dalle pareti schermanti o nelle immediate vicinanze di esse (par. 3.1.2.);
- 3) convenienza economica circa la riutilizzazione del-

le attrezzature preesistenti (par. 2.8);

- 4) distanze minime della sorgente puntiforme dalle pareti perimetrali interne e dal soffitto delle celle.

Per ciò che riguarda i muri perimetrali il loro spessore è stato calcolato nelle condizioni geometriche più sfavorevoli, cioè quando la sorgente è a contatto della superficie interna della parete ed allineata con lo strumento di misura lungo la perpendicolare alla parete stessa.

Invece lo spessore del solaio di copertura delle celle è stato ricavato supponendo che la sorgente sia situata ad 1 m al disotto del soffitto, cioè alla massima altezza (m. 2,70) a cui le sorgenti potranno essere agevolmente manovrate con i manipolatori (15). Infatti l'altezza del piano di lavoro nelle celle sarà di 1 m e pertanto l'ipotesi suddetta è sufficientemente conservativa.

Sulla base di questi presupposti e dalla classificazione precedentemente fornita si è stabilito che:

- a) le superfici esterne delle pareti delle celle in corrispondenza dell'area operazioni non dovranno presentare un'intensità di esposizione superiore a 2,5 mR/h;
- b) la superficie esterna della parete posteriore delle celle in corrispondenza della camera di isola-

mento non dovrà presentare una intensità di esposizione maggiore di 10 mR/h corrispondente a 0,9 mR/h a 2,25 m di distanza; ciò permetterà di avere  $\sim 3$  mR/h di intensità di esposizione media nella camera di isolamento;

- c) la parete della cella n° 2, addossata al muro perimetrale del laboratorio caldo, lato ovest, risulta confinante con una zona verde pertanto l'intensità di esposizione non dovrà superare quella indicata al punto a) del parag. 2.10;
- d) la parete della cella n. 1 confinante con il passo carraio area operazioni e con il vestibolo dello spogliatoio caldo non solo dovrà essere di spessore tale da non presentare a contatto più di 2,5 mR/h, ma essendo in prossimità del muro perimetrale esterno del laboratorio caldo, lato est, confinante con una zona verde, la sua intensità di esposizione dovrà essere tale che in corrispondenza del muro perimetrale risulti inferiore a 0,25 mR/h; tale intensità dovrà essere di 2 mR/h;
- e) il "top" delle celle confinerà con l'ambiente superiore adibito alla "filter station" (par. 3.2.2.1.) classificato zona verde pertanto l'intensità di esposizione non dovrà superare i 0,4 mR/h a contatto corrispondente a quanto indicato al punto a) del par. 2.10;
- f) infine la parete divisoria intercella, al fine di ridurre ulteriormente lo spessore, dovrà presenta-

re a contatto una intensità di esposizione massima di  $20 \text{ mR/h}$  (16) che corrisponderà ad una intensità di esposizione media di  $\sim 8 \text{ mR/h}$ .

Si può concludere pertanto che sia la camera di isolamento che le celle, nelle condizioni di "carico massimo", potranno consentire buoni tempi di permanenza.

Nel paragrafo 3.2.3.2. sono indicati i materiali e gli spessori calcolati.

In particolare per ciò che riguarda il punto 1) per ridurre l'intensità di esposizione a  $2,5 \text{ mR/h}$  sarebbero sufficienti  $110 \text{ cm}$ . L'aumento a  $120 \text{ cm}$  è stato necessario per l'impiego delle attrezzature a disposizione (par. 2.8), in quanto il vantaggio economico che ne potrà derivare si può ritenere il 10% della spesa complessiva. Ciò determinerà una attenuazione di intensità di dose fino ad  $1 \text{ mR/h}$ .

Infine riteniamo necessario osservare che qualora si fosse impiegato il piombo come materiale schermante l'aumento di costo sarebbe stato equivalente a circa il 50% della spesa complessiva e quindi avrebbe reso impossibile la realizzazione del laboratorio caldo.

Le porte di trasferimento di cui al punto 9) in realtà consistranno di barilotti di Pb ruotanti, in tal modo verrà rispettato il principio di indipendenza tra gli elementi di contenimento e di schermaggio (17).

## 3.2. Descrizione del laboratorio caldo

### 3.2.1. Ubicazione

La fig. 6 riporta la planimetria generale del C.S.N. della Casaccia ed il cerchietto indicatore comprende l'edificio C.III.42 del quale alcune caratteristiche costruttive sono state riportate al par.2.9.

### 3.2.2. Descrizione dell'edificio

#### 3.2.2.1. Generalità

L'edificio ha struttura in cemento armato e muratura ordinaria ed è ad un solo piano. In sopraelevazione vi sono due locali, ai quali si accede tramite scala esterna in ferro, in uno dei quali (26 fig. 3) saranno installati i ventilatori e le batterie di filtri dell'impianto di ventilazione celle calde accanto ad un gruppo simile, già installato, per la ventilazione del laboratorio di radiochimica. Per tali impianti sull'edificio è stato recentemente installato un camino in lamiera avente il diametro medio di  $0,60 \text{ m}$  e la bocca ad una quota di  $15,75 \text{ m}$ .

Nell'ala ovest sarà appunto costruito il laboratorio caldo che data la sua altezza limitata rispetto a quella della hall pressurizzata permetterà di ricavare un locale che potrebbe, ad esempio, essere adibito ad una "filter station" (fig.5 B), rivolta alla messa a punto di metodi per lo studio dell'uso di filtri in ambienti diversi nel campo nucleare (5) Le prove potranno essere condotte con fluidi inattivi

e con l'impiego di traccianti, nel qual caso però il circuito sarà a perfetta tenuta e la sostituzione dei filtri dovrà avvenire con il sistema "a sacco di polietene". Pertanto questo locale costituirà zona fredda e sarà accessibile soltanto dalla hall tecnologica della quale ci si potrà servire eventualmente durante le fasi di assemblaggio e manutenzione.

Sul lato sud dell'edificio, interrato in un vano di calcestruzzo, si trova il serbatoio di raccolta dei rifiuti liquidi attivi.

#### 3.2.2.2. Dimensioni dell'edificio

L'edificio C.III.42 ha una forma ad U con le ali rivolte verso nord. Le sue dimensioni massime sono indicate nella pianta di fig. 1; le dimensioni relative all'ala ovest sono state riportate nel par. 2.9.

#### 3.2.2.3. Disposizione planimetrica e classificazione delle zone di lavoro del Laboratorio

Nella fig. 5 A è indicata quella che sarà la disposizione planimetrica del laboratorio caldo.

Al par. 3.1.2. abbiamo riportato la classificazione delle aree controllate del laboratorio che qui di seguito passiamo a completare.

Saranno classificate come zone a "scarico contenuto" (fig. 11):

- area operazioni
- area di carico

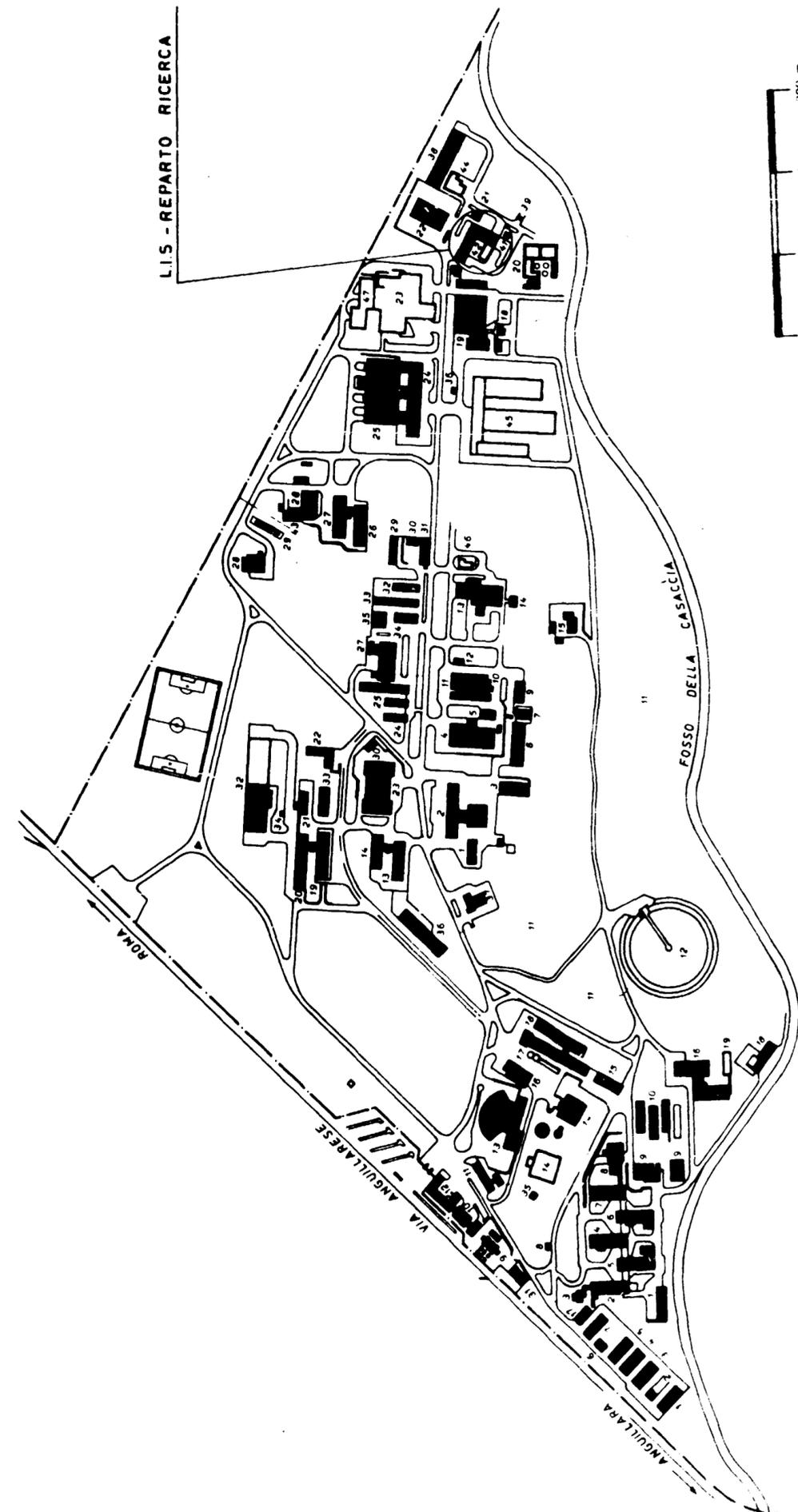


Fig. 6 - CS.N. CASACCIA - Planimetria generale.

- celle calde
- camera di isolamento
- locale di decontaminazione
- spogliatoio caldo (zona rossa)
- spogliatoio caldo (zona gialla) in comune con lo spogliatoio di radiochimica.

La zona "controllata" e la zona "verde" saranno nettamente distinte dallo spogliatoio tiepido (loc. 15) nel quale è disposta la barriera di delimitazione delle due zone ed il posto di monitoraggio del personale (fig. 15).

#### 3.2.2.4. Accessi al laboratorio

In accordo a quanto indicato al punto g) del par. 2.10 l'accesso del personale al laboratorio caldo e l'uscita, saranno consentiti solo attraverso la porta situata nella zona uffici (loc. 23).

I passi carrai, situati uno sul lato est e l'altro sul lato ovest del laboratorio caldo che immetteranno rispettivamente nell'area operazioni ed in quella di carico, saranno normalmente chiusi e potranno essere aperti solo per l'introduzione di materiali pesanti.

Le porte suddette fungeranno anche da emergenza, saranno apribili verso l'esterno e dotate di un sistema di chiusura a leva (fig. 14).

Il passaggio del personale tra la zona "verde" e quella "controllata" del Reparto, potrà avvenire

solo attraverso lo spogliatoio dove sarà predisposta la barriera di delimitazione delle due zone. Nel superare la barriera il personale indosserà gli indumenti protettivi previsti dal Servizio di Fisica Sanitaria. All'uscita delle aree controllate il personale potrà servirsi dei monitori di controllo predisposti all'ingresso dello spogliatoio (loc. 15) ad esse annesso.

#### 3.2.2.5. Caratteristiche costruttive generali

La zona verde dell'edificio C.III.42 comprendente gli uffici, i laboratori freddi, la hall tecnologica, i corridoi freddi, lo spogliatoio freddo ed i servizi annessi, non presenta particolari accorgimenti costruttivi. Il pavimento della zona laboratorio caldo dovrà invece essere previsto per un sovraccarico uniforme di 5 t/mq. Inoltre nelle aree controllate i pavimenti saranno in fogli di laminato plastico tipo spoknol con zoccolatura per 1,5 m dello stesso materiale; le pareti ed il soffitto saranno protette con vernice di tipo epossidico.

#### 3.2.2.6. Caratteristiche costruttive dello spogliatoio caldo e del locale di decontaminazione

Il locale 29 adibito a spogliatoio caldo per il personale sarà rivestito come sopradetto.

In esso saranno sistemate due docce e due lavandini caldi collegati con il serbatoio di raccolta per rifiuti liquidi attivi.

Le docce avranno le basi in acciaio inossidabile opportunamente sagomate, e pareti ricoperte di vernice

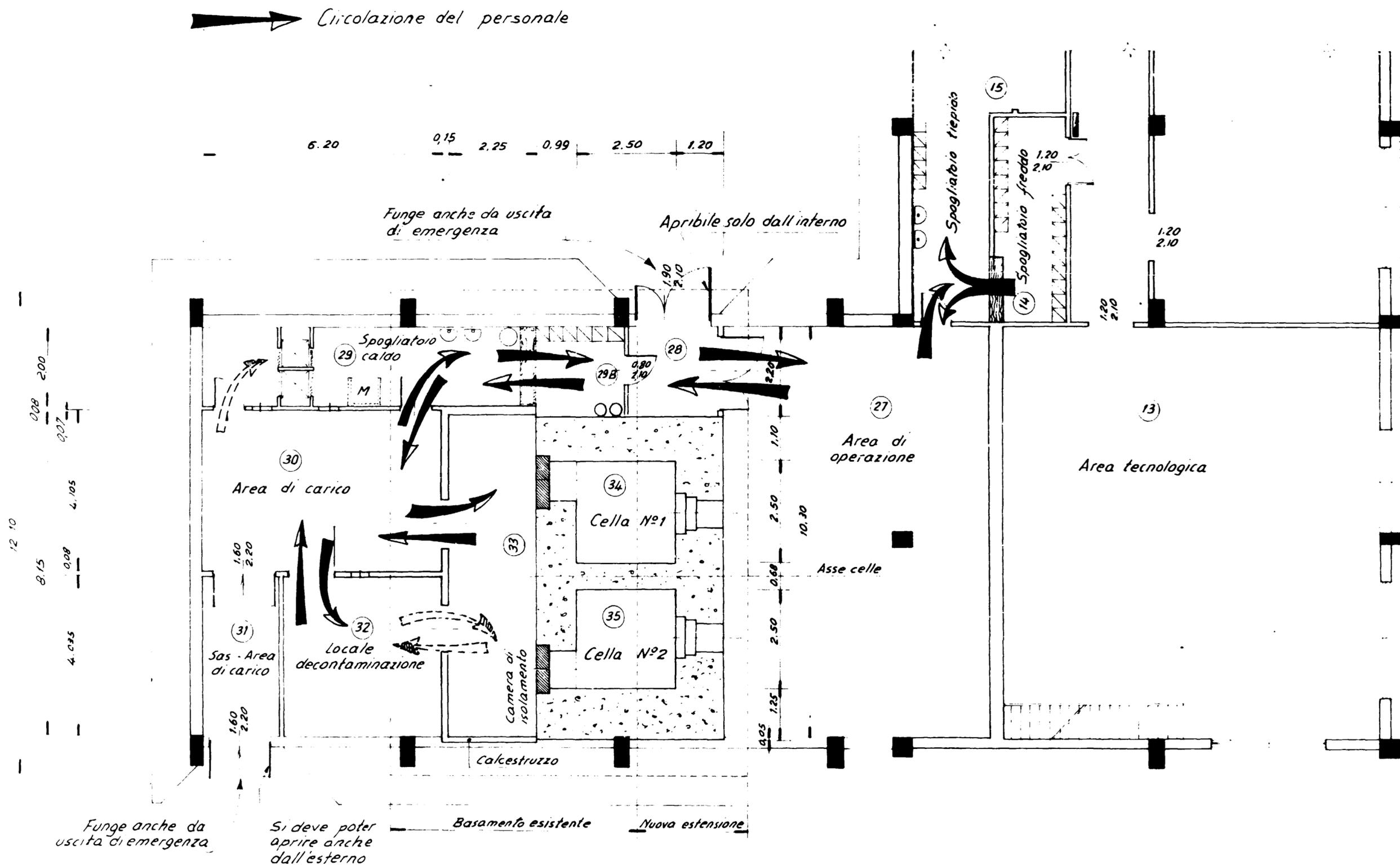


Fig. 14 - L.I.S. - Reparto Ricerca - Circolazione del personale



decontaminabile. Esse saranno del tipo passante, dotate di un sistema a cellula che comanderà l'alimentazione di un miscelatore per l'acqua fredda e calda e di un distributore di detergente a pedale.

I lavandini avranno anch'essi un miscelatore per l'acqua fredda e calda a cellula e saranno dotati di un distributore di detergente a pedale ed asciugamano elettrico.

In prossimità delle docce vi sarà il posto di monitoraggio in una cabina alta 2 m in mattoni di Pb (5 cm) che realizzerà un "basso fondo" per un buon controllo del personale.

Il locale 32, stanza di decontaminazione, servirà per la decontaminazione di piccole attrezzature proprie delle celle.

Nel locale sarà installata una glove box di decontaminazione (realizzata in lastre di perspex su telaio saldato in acciaio inossidabile con piano di lavoro dello spesso acciaio) opportunamente attrezzata, una vasca ad ultrasuoni ed una vasca di lavaggio con cappa in acciaio inossidabile. Glove box e cappa saranno collegate all'impianto di ventilazione delle celle; la glove box sarà dotata di filtro assoluto (Vokes) all'uscita. Gli scarichi della glove box e delle vasche saranno collegati alla rete di scarichi attivi del laboratorio.

### 3.2.3. Descrizione delle celle

#### 3.2.3.1. Caratteristiche costruttive

Nel laboratorio caldo saranno installate due celle (par. 3.1.1.) adiacenti e modulari (fig.7) delle seguenti dimensioni interne:

	lunghezza	larghezza	altezza
metri	2,5	2,5	3,7

volume 23 mc.

Il pavimento sarà sagomato con pendenza verso lo scarico per liquidi attivi, collegato al serbatoio di raccolta del Laboratorio.

Il getto di queste celle sarà eseguito in presenza di tubazioni per fluidi, di tubazioni contenenti le linee elettriche, di tubazioni per la strumentazione e di canali della ventilazione.

Queste tubazioni saranno staffate alle armature del calcestruzzo e saranno protette con cartone ondulato adesivo. Ogni qualvolta per l'esecuzione delle opere predette, fosse sensibilmente ridotto lo spessore del calcestruzzo di schermo, l'efficacia dello schermaggio dovrà essere ripristinata mediante l'uso di adeguati spessori di materiale più denso (ad es.: ferro o piombo).

Oltre alle tubazioni descritte sopra, saranno incorporate le attrezzature e le parti seguenti:

- 1) Transfer drawer.
- 2) Telai metallici per le finestre schermanti.

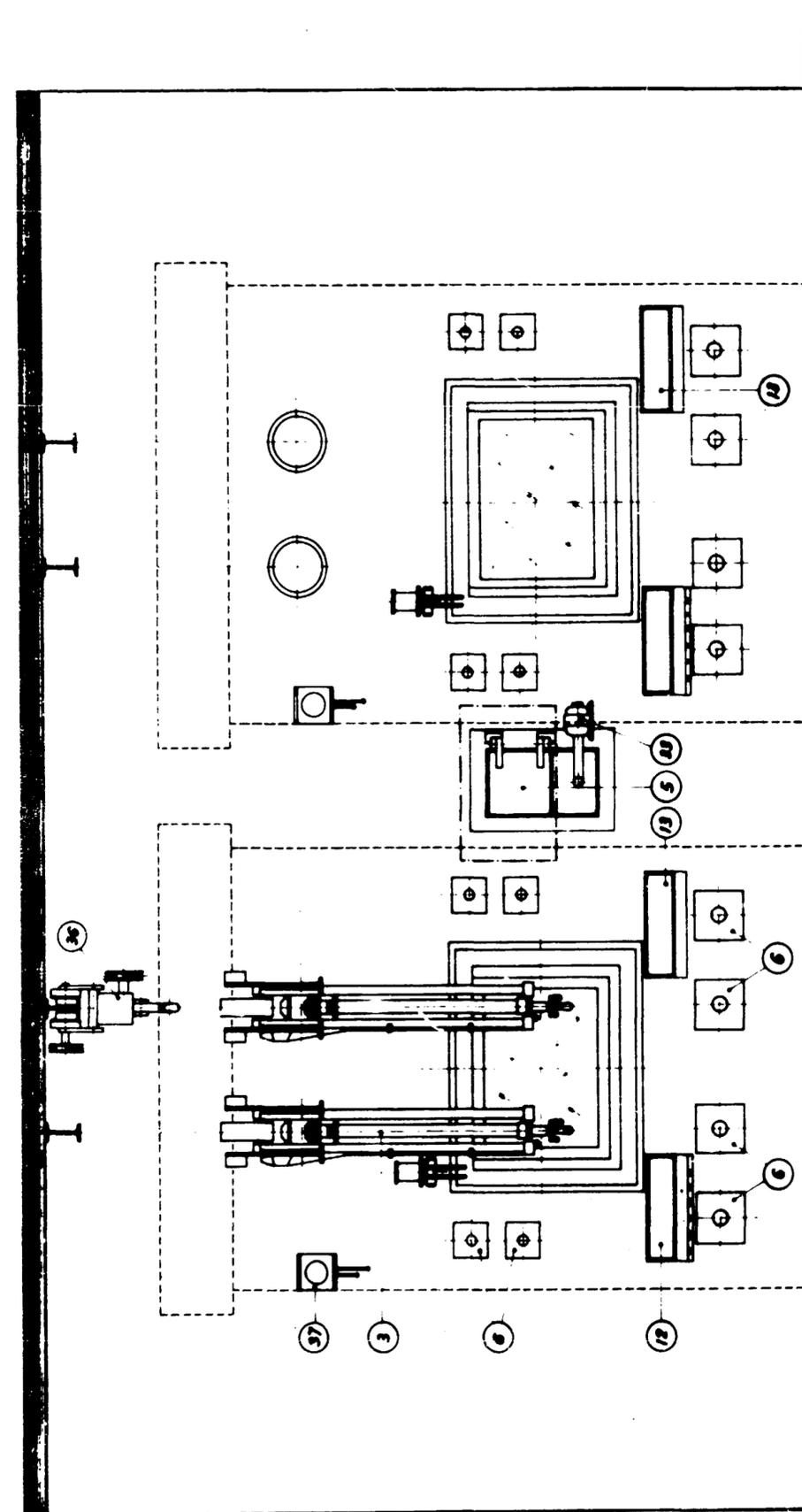
#### LEGENDA FIG. 7 A - B - C

- 1 - Canale di mandata aria ventilazione
- 2 - " " aspirazione aria ventilazione
- 3 - Manipolatore
- 4 - Finestra schermante
- 5 - Portello di trasferimento
- 6 - Foro di servizio con tappo
- 7 - Piano di lavoro
- 8 - Personnel door
- 9 - Portello a tenuta d
- 10 - Basetta per prese elettriche e fluidi
- 11 - Basetta per prese elettriche
- 12 - Consolle con interruttori e valvole delle prese elettriche e fluidi della basetta 10
- 13 - Consolle con interruttori delle prese elettriche della basetta 11
- 14 - Proiettore equipaggiato con n° 1 lampada al sodio e n° 1 lampada a vapori di mercurio (n° 2 per cella)
- 15 - Lampada ad incandescenza
- 16 - Carroponte tipo sogliola portata max. 1 t (in acciaio al C)
- 17 - Carroponte portata max. 1 t
- 18 - Ponte di trasferimento per liquidi altamente attivi
- 19 - Platine
- 20 - Recipiente tipo "Cendrillon"
- 21 - Vaschetta fissa
- 22 - Circuito di aspirazione con filtro
- 23 - Circuito di messa all'aria con filtro
- 24 - Imbutto, valvola a sfera, drenaggio DN 15 - AISI 304 L per liquidi a bassa attività
- 25 - Gruppo prefiltri di mandata aria cella
- 26 - " " " aspirazione aria cella
- 27 - Portello a tenuta d in AISI 304 L - vetro temperato per trasferimento intercella
- 28 - Spazio riservato alla glove-box di trasferimento
- 29 - Barilotto di trasferimento in Pb
- 30 - Contenitore di introduzione per solidi a media ed alta attività
- 31 - Asta con volantino
- 32 - Carrello elettrico semovente dotato di elevatore ./.

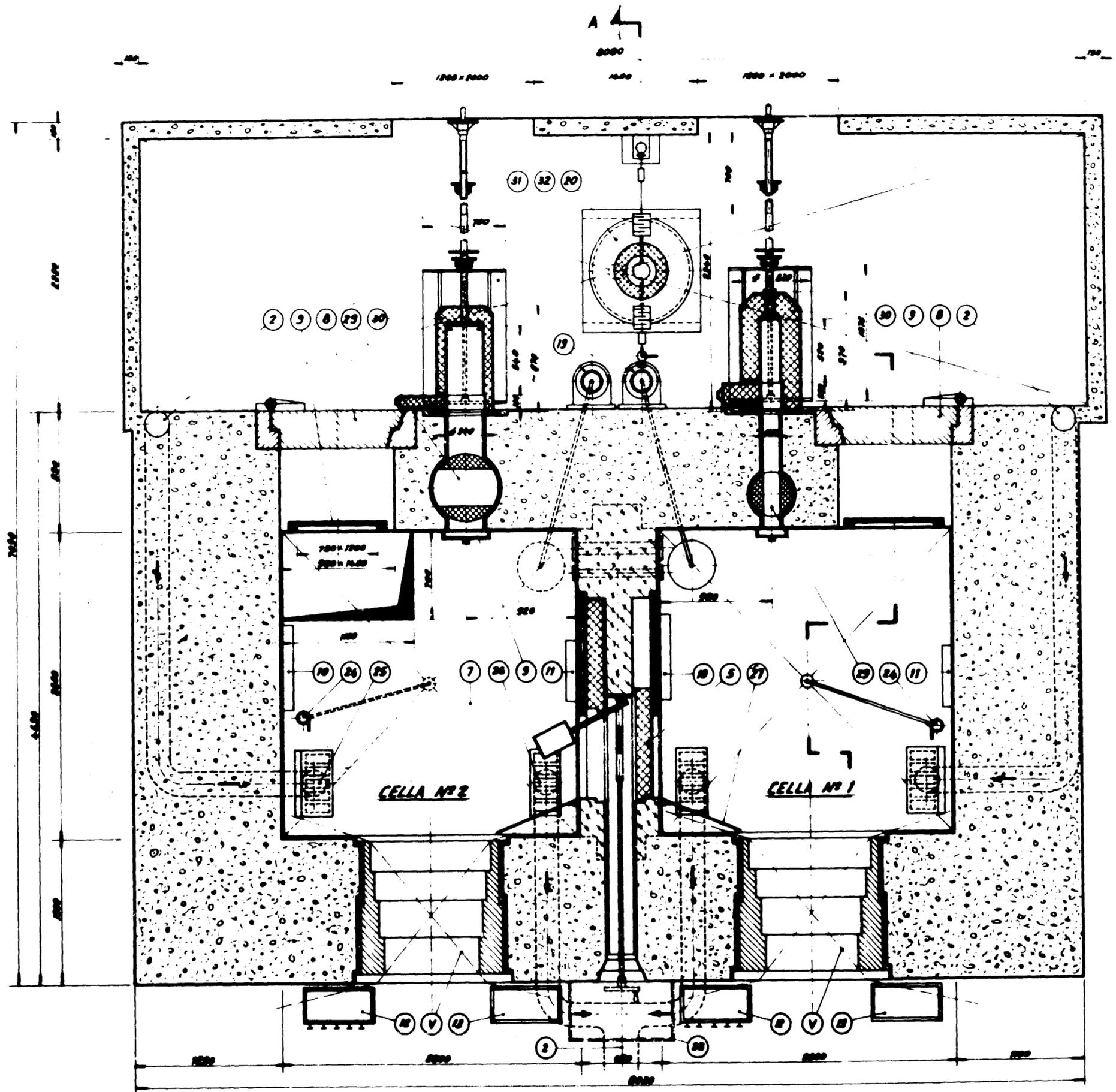
- pneumatico manuale
- 33 - Motorino per transfer drawer con motoriduttore
  - 34 - Porta a tenuta d'aria
  - 35 - Fori di servizio intercella con tappo schermante
  - 36 - Paranco con monoretaia
  - 37 - Indicatore di pressione differenziale

Note

- Calcestruzzo 300/730 armato
- Parete divisoria e "top" delle celle in cemento baritico
- Rivestimento interno delle celle n° 1 e 2 in AISI 304 L;

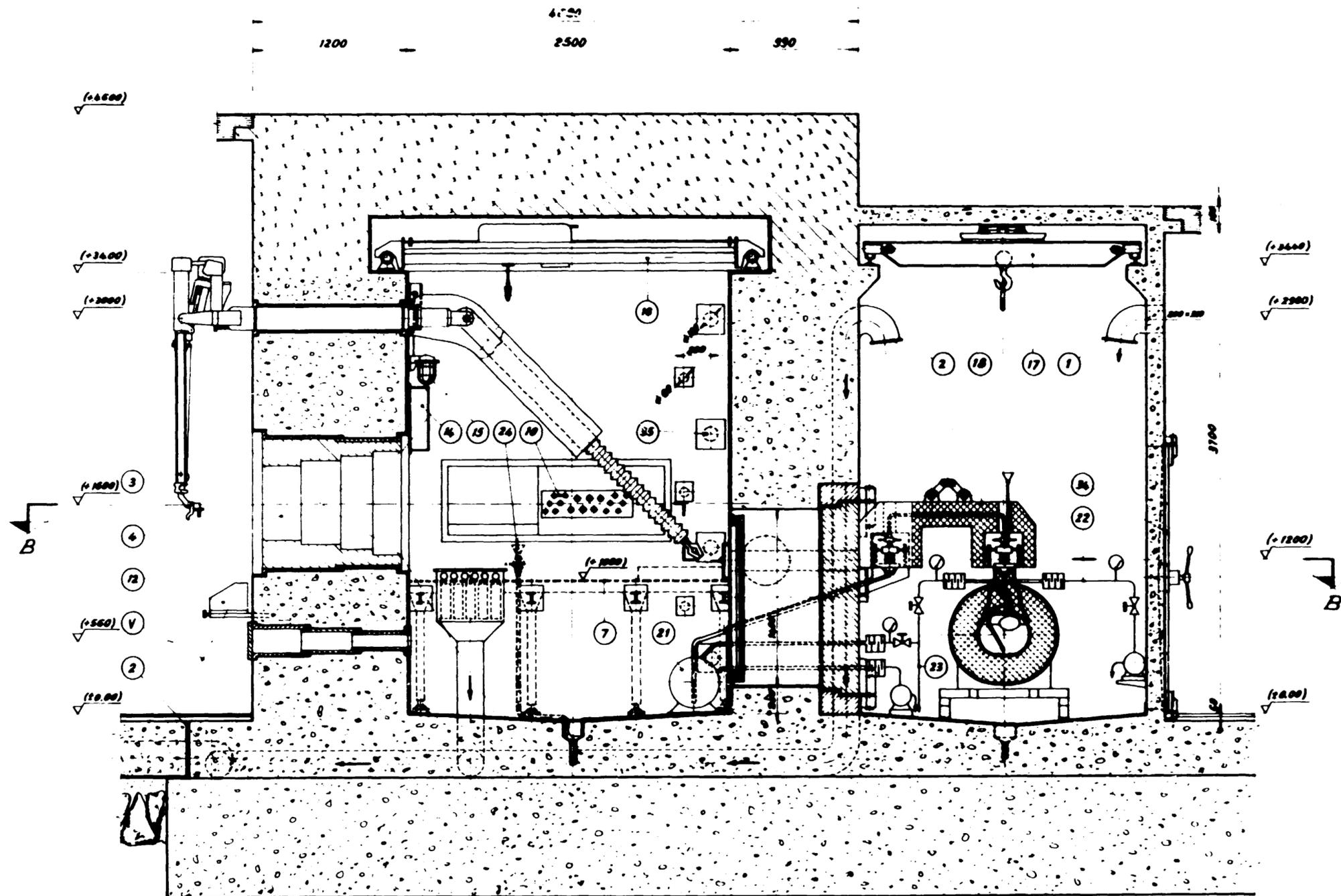


*Vista frontale*  
**Fig. 7A - Celle cablo**



Pianta - Sez. BB -

Fig. 7B - Celle calde e camera di isolamento



Sez. AA 1m

Fig. 7C - Cella calda e camera di isolamento

3) Personnel doors.

4) Manicotti per manipolatori, inserti metallici e tappi.

Il telaio del transfer drawer è previsto in AISI 304 L con zanche in acciaio al carbonio; dalla parte laterale e superiore di questo telaio sono previsti dei pannelli schermanti.

I telai metallici che dovranno sostenere le finestre schermanti saranno in acciaio al carbonio. In corrispondenza del rivestimento in acciaio inossidabile di ogni cella la tenuta dovrà essere assicurata da una guarnizione resistente al calore ed all'attacco chimico sulla quale sarà applicata, tramite morsetti tipo EURAM (JAHAM) che agiscono direttamente su piastrine di AISI 304 L (20x5 mm), una lastra di vetro temperato di 10 mm di spessore.

Le personnel doors avranno la funzione di schermaggio e di tenuta e saranno costituite da un telaio e da una parte apribile incernierata sul tellaio. La parte apribile dovrà essere munita di un sistema di bloccaggio manuale. Le porte saranno in acciaio al carbonio protette con vernice decontaminabile. La parte bassa del telaio che costituirà il piano di calpestio, in uniformità al rivestimento previsto nella camera di isolamento dovrà essere ricoperta con lamiera in AISI 304 L spessore 3 mm fino ad un'altezza di 10 cm. La guarnizione dovrà eses

sere in adiprene C.

Gli stipiti di queste porte saranno collocati e staffati prima della messa in opera dei casseri e dei getti.

In corrispondenza del cassone di rivestimento interno delle celle (par. 3.1.1.) sarà incerniato un portello a tenuta  $\alpha$  apribile verso l'esterno, munito di guarnizione in adiprene C.

In prossimità dell'anello di tenuta sarà saldata una fascia di lamiera sulla superficie esterna della quale saranno saldati in maniera continua 2 tondini che permetteranno l'applicazione di un sacco di politene per trasferimento di materiale contaminato.

I manicotti per i manipolatori e gli altri inserti saranno posizionati prima dell'inizio dei getti e collegati rigidamente ai ferri delle armature.

I manicotti per i manipolatori (par. 3.2.3.3.c) in corrispondenza del rivestimento in acciaio inossidabile della cella dovranno essere corredati di un dispositivo a tenuta  $\alpha$  tipo "La Calhène".

Gli inserti annegati nel calcestruzzo per tappi di servizio saranno realizzati: flangia interna in AISI 304 L, camicia e flangia esterna in AOO verniciati con vernice decontaminabile (par. 3.2.3.3.e). I tappi di servizio saranno costituiti da tre tronchetti di tubi e dovranno essere riempiti con

materiale granulare (magnetite o pallini di piombo) che realizzi lo schermaggio e che possa essere facilmente estraibile in modo da poter adattare di volta in volta uno o più tubi secondo la necessità di operazione. I passaggi nella parte interna dovranno essere a tenuta  $\alpha$  tipo SORIN. I tappi di cui sopra saranno realizzati in AOO verniciato con vernice decontaminabile.

Gli inserti annegati nel calcestruzzo per esitazione di materiali solidi radioattivi saranno realizzati in acciaio inox X3CN 1911 UNI 4047.

I portelli di chiusura disposti sulla parete interna delle celle e apribili con i manipolatori saranno in AISI 304 L muniti di guarnizioni a tenuta in adiprene C (°) (fig. 8).

La parte interna dei fori in prossimità del rivestimento in acciaio inox sarà dotata di un attacco a tenuta  $\alpha$  per contenitori di tipo Pedi in alluminio capaci di contenere apparecchiature fino a diametri di 12 e 25 cm rispettivamente con lunghezza fino a 50 cm.

Le pareti interne delle celle saranno completa-

---

(°) Il miglior materiale per guarnizioni di tenuta sembra appunto l'Adiprene C (prodotto dalla Minnesota Rubber Co) che ha una vita media 10 volte più lunga del Neoprene (14).

mente rivestite con lamiera in AISI 304 L dello spessore di 3 mm in corrispondenza delle pareti verticali e del soffitto e di 5 mm sul pavimento. Si dovrà pertanto procedere alla installazione di una struttura portante in A00 annegata nel calcestruzzo, costituita da una intelaiatura in profilati di acciaio al carbonio con saldati piatti in AISI 304 L sui quali dovrà essere saldata in continuo la lamiera in AISI 304 L di rivestimento. L'intelaiatura dovrà essere munita di zanche in numero sufficiente da permettere un ottimo ancoraggio al calcestruzzo.

Nelle celle n° 1 e n° 2 dovrà essere previsto un piano di lavoro a quota 1 m dal pavimento in lamiera di AISI 304 L su profilati portanti dello stesso materiale. Lo spessore della lamiera dovrà essere tale da sopportare un sovraccarico di  $100 \text{ kg/m}^2$  tenendo presente che i profilati di sostegno dovranno essere in numero minore possibile pur permettendo un'ottima planarità del piano. I ferri portanti ed il piano di lavoro dovranno essere smontabili; quest'ultimo dovrà essere costituito dal minor numero possibile di parti, di dimensioni tali comunque da poter essere esitate dalle celle.

Si dovranno prevedere inoltre una serie di piastre di AISI 304 L di dimensioni  $200 \times 200 \times 10 \text{ mm}$  da annegare nel calcestruzzo in corrispondenza della parete verticale (per tutta la sua altezza) di fronte alle finestre schermanti e delle pareti laterali, in-

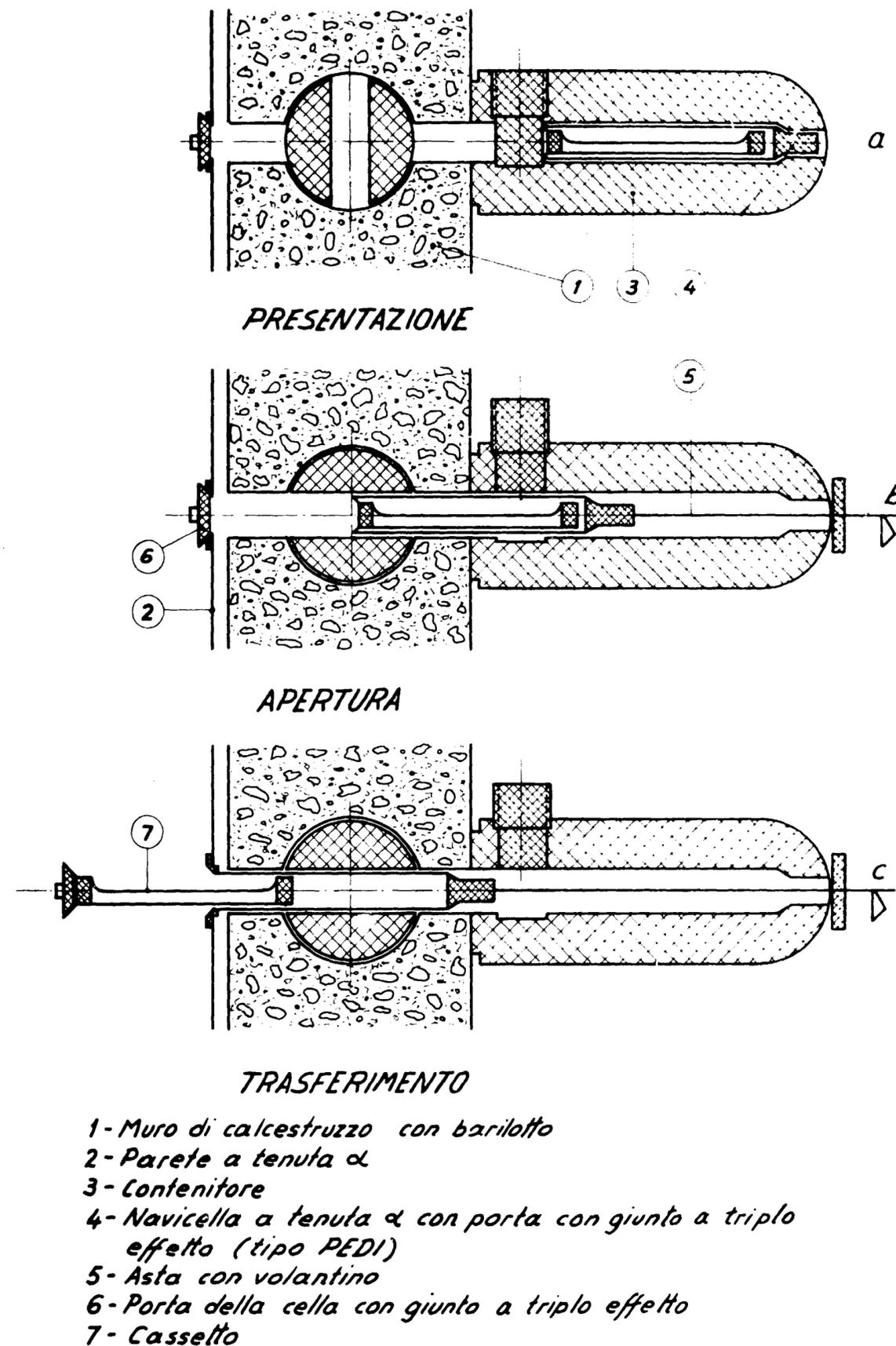


Fig. 8 - Trasferitore per solidi radioattivi

teressando però per queste ultime una fascia verticale larga 70 cm adiacente alla parete sopra indicata. Tali piastre dovranno permettere il sostegno di un rack da definire.

Dovranno inoltre essere previste delle analoghe piastre annegate per il sostegno dei piani di lavoro di cui sopra.

In corrispondenza degli assi dei manipolatori nella parte superiore dell'area operazioni saranno installate 4 monorotaie per la rimozione dei manipolatori. Sarà necessario un solo paranco spostabile da una monorotaia all'altra. La portata dovrà essere di 400 kg.

Il getto di calcestruzzo per quelle parti del gruppo celle - camera di isolamento non rivestite in lamiera metallica, dovrà essere realizzato con casseformi rivestite con due strati di compensato da mm 4 cadauno, sì da ottenere una superficie perfettamente liscia e a filo con le restanti pareti.

Tutte la parti interne delle celle e della camera di isolamento non rivestite in acciaio inossidabile, ad eccezione delle lastre di vetro temperato, dovranno essere protette con vernice decontaminabile, resistente alle radiazioni.

Tutte le pareti esterne in vista del gruppo celle - camera di isolamento dovranno essere rifinite con intonaco di sabbia e cemento con interposta rete metalli-

ca e protette anch'esse con vernice decontaminabile.

### 3.2.3.2. Caratteristiche dello schermaggio delle celle

Sulla base delle considerazioni del par. 3.1.3. si sono stabiliti i materiali schermanti da impiegare ed i valori degli spessori come di seguito:

- 1) parete celle lato area operazioni: calcestruzzo normale ( $d = 2,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 120;
- 2) parete cella n° 2 lato ovest : calcestruzzo normale ( $d = 2,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 125;
- 3) parete cella n° 1 lato est : calcestruzzo normale ( $d = 2,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 110;
- 4) parete posteriore celle : calcestruzzo normale ( $d = 2,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 99;
- 5) parete intercelle : calcestruzzo baritico ( $d = 3,5 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 68;
- 6) soffitto delle celle : calcestruzzo baritico ( $d = 3,5 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 78;
- 7) personnel doors : acciaio comune ( $d = 7,78 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 31;
- 8) porte di trasferimento della parete intercella: piombo ( $d = 11,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 12;
- 9) porte di trasferimento della parete posteriore: piombo ( $d = 11,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 17;
- 10) porta di trasferimento celle-area operazioni: piombo ( $d = 11,3 \text{ gr/cm}^3$ ), cm 18.

### 3.2.3.3. Attrezzature e servizi delle celle

#### a) Porte di accesso e trasferitori.

Ciascuna cella avrà un vano di accesso delle dimensioni di 950x1400 mm che si restringe in corrispondenza del rivestimento interno in acciaio inox a 750x1200 mm. Il vano sarà chiuso da una porta di schermatura in ferro incernierata.

Per il trasferimento di pezzi di niccole dimensioni saranno installati:

- n° 1 transferitore intercella e celle—area operazioni, transfer drawer, i cui vani avranno rispettivamente le luci di 68x44 cm e di 22x22 cm. Il trasferimento intercella sarà realizzato tramite un sistema di interblocco con pareti scorrevoli in piombo. L'apparecchiatura consisterà in un carrello scorrevole, per mezzo di ruote, su rotaie, entro una cavità ricavata nel muro divisorio delle due celle. Lo spostamento del carrello sarà effettuato per mezzo di una vite e della chiocciola montata sul carrello. Un motoriduttore, posto nella zona di comando, permetterà la rotazione della vite e quindi la traslazione del carrello. Per ragioni di sicurezza sarà necessario predisporre la possibilità di annlicazione di un volantino per una manovra manuale di emergenza. L'apparecchiatura sarà dotata di blocchi per impedire le manovre errate o intempestive. Il transfer drawer dovrà assolvere anche al trasferimento di apparecchiature che dovranno essere esi-

tate dal foro praticato nella parete posteriore della cella n° 2 sotto tenuta  $\alpha$  e  $\gamma$  (par. 3.1.1., punto C). Poichè l'ingombro di queste ultime potrà essere anche di lunghezza 50 cm e diametro 25 cm, sarà necessario prevedere un contenitore a forma di culla da montare all'occasione sulla palette del transfer drawer (con leva che agisce su di un perno per mantenere la culla parallela all'asse longitudinale delle celle) tramite manolatori. Pertanto si dovrà prevedere anche la possibilità di mantenere contemporaneamente aperte le porte intercelle. Tutte le lamiere formanti la cavità del "transfer drawer" dovranno essere di acciaio inossidabile X8Cr 1911 UNI 4047. Tutti i particolari meccanici all'interno della cavità ove non diversamente indicato, dovranno essere in acciaio inossidabile X8Cr 1910 UNI 4047 o X8Cr 1911 UNI 4047. Tutte le boccole dovranno essere in cupronichel autolubrificate. Tutte le lamiere, i profilati o i particolari meccanici posti nella zona di comando del "transfer drawer", dovranno essere in acciaio al carbonio verniciati con vernice decontaminabile. Le schermature dovranno essere eseguite colando del Pb nei contenitori in acciaio inox. Tutte le saldature interessanti le lamiere della cavità ed i contenitori del Pb dovranno essere a tenuta idraulica.

- n° 2 trasferitori (cella n° 1 e cella n° 2) cella-

area di carico, a sezione circolare con l'asse a quota 120 cm dal piano di calpestio attrezzati dalla parte della zona di carico con contenitori di trasferimento schermanti. Il vano dei trasferitori sarà chiuso, all'interno della parete posteriore della cella, tramite una sfera in piombo (fig. 8) avente un foro circolare simmetricamente al proprio diametro di 15 e 30 cm per diametri della sfera di 37 e 56 cm rispettivamente. La sfera, rivestita con lamiera di acciaio inox X8Cr 1911 UNI 4047, sarà fatta ruotare con comando situato nella camera di isolamento.

#### b) Finestre.

Le celle n° 1 e n° 2 saranno equipaggiate con una finestra ciascuna. Ogni finestra sarà formata da una carcassa in acciaio al carbonio opportunamente protetto, contenente lastre di vetro al piombo, circondata da calcestruzzo, il tutto con potere schermante non inferiore a quello del muro in cui dovrà essere sistemata (punto 1, par. 3.2.3.2.). Il vetro dovrà avere in media una densità di  $2,5 \text{ gr/cm}^3$  circa.

La finestra dovrà essere dotata di una lastra di vetro di chiusura (spessore minimo 25 mm) da entrambi i lati di essa e di una lastra di protezione dal lato caldo (spessore minimo 20 mm).

I vetri dal lato caldo dovranno essere stabilizzati al Cerio (contenuto in Cerio 0,5 - 1%). Il telaio

porta lastra di protezione dal lato caldo e tutta la bulloneria dovranno essere di acciaio inossidabile AISI 304 L. La lastra di protezione dal lato caldo non dovrà essere collegata alla finestra, ma al telaio inserito nel muro con guarnizione interposta per assicurare la tenuta. Le prime lastre di vetro dal lato caldo dovranno essere in grado di assorbire una dose di radiazioni  $\gamma$  (energia media 1 MeV) di  $10^9$  r diluita in un periodo di 20 anni prima di presentare sensibili variazioni del coefficiente di trasmissione totale. La finestra nella parte esterna presenterà uno scalino in corrispondenza di quello del telaio, da riempire con blocchetti di Pb per evitare la fuoriuscita di raggi  $\gamma$  attraverso l'intercapedine. Per tenere in loco la finestra dal lato freddo sarà sistemato un telaio coprigiunto. L'angolo visuale riferito al piano orizzontale dovrà essere almeno di  $150^\circ$ , mentre quello riferito al piano verticale di almeno  $110^\circ$ . Per vedere i punti nascosti sarà sufficiente l'impiego di uno specchio metallico (non degradabile per effetto delle radiazioni) da usare con i manipolatori. La finestra sarà rimovibile dal lato area operazioni. L'eventuale drenaggio dell'olio di riempimento della finestra sarà posto dal lato area operazioni.

c) Telemanipolatori.

Per ciascuna finestra saranno installati n° 2 manipolatori meccanici tipo master-slave. Per quanto

riferito al par. 3.1.1. normalmente nella cella n. 1 sarà installato un impianto banch scale con assenza del piano di lavoro, mentre quest'ultimo sarà presente nell'altra. D'altra parte data la disponibilità di un manipolatore CRL mod. F rinforzato estensibile, si ritiene opportuno corredare le celle come di seguito:

- cella n° 1: n° 2 manipolatori tipo AMF Atomics heavy duty extended reach.
- cella n° 2: n° 1 manipolatore rinforzato del tipo CRL modello 9; n° 1 manipolatore CRL modello F disponibile.

I criteri di tale scelta sono sostanzialmente basati sul fatto che essendo più frequente l'impiego dell'extended reach nella cella n° 1 sarà necessario l'impiego di manipolatori che consentano una più confortevole posizione di lavoro propria dell'heavy duty dell'AMF rispetto al corrispondente modello della CRL. Quest'ultimo potrà invece essere convenientemente montato nella cella n° 2 in aiuto di un modello 9 e a complemento di quest'ultimo nel caso in cui lo sviluppo dell'impianto installato interessi entrambe le celle.

d) Mezzi di sollevamento.

Saranno costituiti da due carroponte identici da installarsi ciascuno in una delle celle.

I carroponte saranno del tipo a soffiola a basso ingombro e con possibilità di estrazione remota del paranco.

La portata al gancio sarà di kg. 1000, la velocità di sollevamento di 0,5-5 m/1' e quelle di traslazione e di scorrimento di 2,5 m/1'.

Il gruppo di sollevamento appoggerà sul carrello secondario e potrà, in caso di necessità, essere facilmente estratto dalla cella.

Le vie di corsa saranno installate all'interno del rivestimento in acciaio inox, ma i carichi dovranno gravare su strutture ancorate nel calcestruzzo, esterne al rivestimento stesso.

Il quadro elettrico alloggerà tutte le protezioni e gli organi di comando e sarà dotato di presa deconnettibile per la connessione della scatola di comando.

e) Tappi di servizio.

In corrispondenza di ciascuna finestra vi saranno n° 8 fori circolari con relativi tappi schermanti. Attraverso i tappi (par. 3.2.3.1.) sarà possibile far passare tubazioni per reattivi ed in genere tutti quei servizi che di volta in volta saranno necessari. Le dimensioni relative ai fori sono riportate qui di seguito:

- inserti praticati in prossimità delle pareti verticali delle finestre

	inferiori	superiori
diametro interno (mm)	107-73	131-94
flangia quadrata (mm)	200	

- inserti praticati al disotto delle finestre

	interni	esterni
diametro interno (mm)	139-101	171-126
flangia quadrata (mm)	250	

f) Fluidi.

Sulla parete delle celle lato area operazioni saranno installate 4 consolle in A00 rivestite con vernice decontaminabile sulle quali saranno riportate le valvole e gli interruttori per l'alimentazione dei fluidi e per le utenze elettriche all'interno delle celle.

In corrispondenza di ogni consolle, all'interno delle celle, sarà installata una basetta in ATST 304 L.

In particolare alle basette di sinistra di ogni cella, oltre alle utenze elettriche che sotto indicheremo faranno capo le tubazioni DN 8 in ATST 304 L anegate nel calcestruzzo per i fluidi seguenti:

- liquido decontaminante
- acqua demineralizzata
- acqua di processo
- aria a 1/4 Ate
- aria a 5 Ate
- gas inerte
- gas combustibile (es.: propano).

Le basette suddette saranno provviste di innesti rapidi tipo Bansfer da 1/4".

## g) Illuminazione e f.m.

Sul lato destro di ogni cella sarà installata una basetta in AISI 304 L in corrispondenza della quale si troverà una delle 4 consolle di cui al punto f, munita dei relativi interruttori.

Per ciò che riguarda l'impianto di illuminazione relativo alle due celle si prevede, per ognuna di esse, l'installazione di:

- n° 1 fanale con lampada ad incandescenza da 200 watts;
- n° 2 proiettori equipaggiati ciascuno con una lampada a vapori di sodio da 100 watts ed 1 lampada a vapori di mercurio da 250 watts.

Gli interruttori delle lampade di cui sopra saranno sistemati nella consolle di sinistra di ogni cella.

D'altra parte l'impianto di f.m. e controlli per ogni cella sarà costituito dalle seguenti parti: sistemazione su ogni basetta di destra e di sinistra delle celle di 4 prese tipo Palazzoli 4310333 per 220 volts, 2 prese tipo Palazzoli 4310332 da 110 volts, 3 prese bipolari tipo Lemo RASC 1M2 con pinza e cono, 3 prese tipo Lemo RASC 1C75.

Sulle consolle saranno sistemati oltre agli interruttori anche le protezioni da 10 A, una per ogni tipo di presa suddetta.

Sulle consolle adiacenti al transfer drawer dovranno essere sistemati i pulsanti di comando, le

relative segnalazioni e le apparecchiature di avviamento e protezione del motorino di servizio del trasferito stesso. Ad evitare interferenze si dovranno prevedere interblocchi fra le due posizioni di comando.

Ogni cella dovrà inoltre essere provvoluta di 2 prese stagne tipo Palazzoli da 10 Ampères bipolari più terra per manipolatori.

I collegamenti tra consolle e basette avverranno pertanto tramite 6 cavi coassiali unipolari e 6 cavi coassiali bipolari per collegamento delle prese tipo Lemo.

Sia l'impianto di illuminazione che quello di f.m. dovrà essere realizzato come segue:

- i tubi di collegamento nei tratti anegati e la distribuzione nell'interno delle celle dovranno essere in AISI 304 L;
- tutte le parti delle apparecchiature che non sono in acciaio inox dovranno essere verniciate con vernice decontaminabile sia all'interno che all'esterno della cella.

Per le apparecchiature installate all'interno della cella che sono in acciaio inox o verniciate con vernice decontaminabile se ne prevederà l'installazione ad una distanza tale dalla parete in modo da permettere il lavaggio con liquido decontaminabile.

In alternativa, per quelle in acciaio inox, se ne prevederà la saldatura a prova di liquidi penetranti al rivestimento in acciaio inox delle singole celle.

Le tubazioni di collegamento tra le apparecchiature esterne e quelle interne alla cella dovranno essere realizzate con continuità (senza filettatura intermedia).

Il percorso delle tubazioni annegate nel calcestruzzo dovrà essere a baionetta per problemi di schermatura.

Eventuali tubi flessibili dovranno essere in acciaio inox con rivestimenti in teflon a perfetta tenuta.

Prima della messa in opera dei conduttori tutte le tubazioni saranno sottoposte ad una prova di tenuta ad elio.

I conduttori dalle consolle alle apparecchiature nell'interno delle celle devono essere in vetrosil, mentre i conduttori per la distribuzione esterna alle celle dovranno essere in PVC.

Tutte le guarnizioni delle apparecchiature all'interno o all'esterno delle celle dovranno essere del tipo Adiprene C.

Le apparecchiature dovranno essere in esecuzione a prova di immersione:

Tutte le apparecchiature all'interno e all'esterno delle celle dovranno essere messe a terra prevedendo cavi nell'interno delle tubazioni sopra dette.

L'impianto all'esterno delle celle dovrà essere realizzato in esecuzione stagna in tubo Mannesmann verniciato con vernice decontaminabile; con la stessa vernice dovranno essere trattate tutte le apparecchiature accessorie previa mastichatura.

### 3.2.3.4. Sistema di ventilazione delle celle

All'interno delle celle l'aria verrà aspirata dall'area di carico attraverso un gruppo filtrante a setti verticali situato all'altezza del piano di lavoro (fig. 7 B e C) ed espulso attraverso bocchette dotate anche esse di un gruppo filtrante simile al precedente e posto alla stessa altezza. La filosofia dell'impiego dei filtri all'interno delle celle è quella di evitare che venga trascinata una forte attività lungo le tubazioni di ventilazione al di fuori della zona schermata in caso di incendio. Pertanto essi dovranno essere dei filtri del tipo giallo Schneider-Poelmann ad efficienza 97% per polveri di  $0,3 \mu$ , dovranno resistere ad una temperatura massima di esercizio di  $180^{\circ}\text{C}$  e ad una temperatura di ignizione di  $500^{\circ}\text{C}$ .

Dalla fig. 7 B si può notare come i gruppi suddetti non ridurranno la superficie del piano di lavoro in quanto questa può estendersi al di sopra dei gruppi stessi.

La sostituzione dei filtri esauriti potrà essere eseguita per mezzo dei manipolatori e la loro esitazione dalla cella potrà avvenire tramite trasferimento con sacco di politene.

Per quanto detto al par. 3.1.1. attraverso la glove box di piccole dimensioni, costituente il sistema di trasferimento celle - area operazioni, l'aria verrà aspirata da quest'ultima area (attraverso una valvola di non ritorno ed un filtro assoluto del tipo

Vokes) ed entrerà nelle celle tramite due tubazioni di piccolo diametro che collegheranno la parte superiore del vano di trasferimento intercella con le bocche contenenti i filtri assoluti in aspirazione. Le condizioni di ventilazione saranno quelle esistenti nelle celle.

La glove box, le guarnizioni ed i bootings in dotazione alle celle permetteranno di raggiungere più agevolmente la depressione voluta (14).

#### 3.2.4. Apparecchi ed attrezzature da installare in cella

Nella cella n° 2 saranno impiegati: campionatori, burette automatiche, una bilancia analitica, un pHmetro, lampade I.R., un conduttimetro ed altri apparecchi del genere. Tutti questi sistemi saranno remotizzati con comando in area operazioni.

#### 3.2.5. Descrizione della camera di isolamento

##### 3.2.5.1. Caratteristiche costruttive

La camera di isolamento la cui funzione è stata indicata ai par. 2.7. e 3.1.1. costituirà un unico insieme con le due celle dal punto di vista della struttura (fig. 7 B e C).

Le sue pareti saranno di calcestruzzo normale dello spessore di 15 cm in modo da costituire una sufficiente garanzia di resistenza in caso di incendio.

Il pavimento sarà sagomato con leggera pendenza verso lo scarico per liquidi attivi.

Ad essa competeranno le seguenti dimensioni utili:

- lunghezza m. 8,08
- larghezza m. 2,25
- altezza m. 3,70
- volume m<sup>3</sup> 67,4

La camera di isolamento sarà dotata di due porte di accesso, una che immette nell'area di carico e l'altra in quella di decontaminazione, entrambe a tenuta d'aria. Il pavimento leggermente rialzato rispetto a quello delle aree circostanti (fig. 7 C) sarà rivestito in AISI 304 L fino a formare uno zoccolo di 10 cm (spessore 3 mm) e provvisto di un drenaggio per scarico liquidi attivi dello stesso materiale.

Le pareti ed il soffitto saranno rivestiti in laminato plastico decontaminabile tipo spoknol.

##### 3.2.5.2. Attrezzature e servizi della camera di isolamento

###### a) Porte di accesso e trasferitori.

Le porte di accesso saranno modulari, avranno una apertura di 1200x2000 mm, saranno in acciaio al carbonio rivestite con vernice decontaminabile epossidica, apribili sull'esterno ed incernierate. La chiusura sarà realizzata con l'impiego di guarnizioni di Adiprene C antinfiammabile. Il congegno di chiusura dovrà essere tale che indipendentemente dalla guarnizione impiegata dovrà garantire una uniforme pressione lungo tutta la zona interessata alla tenuta. In prossimità dell'asse

centrale dell'insieme celle - camera di isolamento, sistemate sulla parete posteriore delle celle stesse, si troveranno due platines per il trasferimento di liquidi di categoria 5 tramite contenitori del tipo Cepdrillon. In questa fase sarà impiegato un ponte schermante che collegherà il contenitore con la platine interessata (fig. 7 B e C).

Ad una quota leggermente al di sopra del piano di lavoro interno delle celle saranno praticati due fori di passaggio di cui ai punti b) e c) del par. 3.1.1. che si affacceranno sulla camera di isolamento ed avranno l'asse in corrispondenza delle due porte di accesso. Una tale disposizione potrà permettere l'introduzione o l'esitazione di materiale solido attivo (tramite contenitori schermanti) usufruendo dello spazio messo a disposizione <sup>si</sup>rispettivamente dalle aree di decontaminazione e di carico in quanto sarà necessario l'impiego di aste piuttosto lunghe che sarebbero impossibili o perlomeno poco agevoli da manovrare (necessitando di meccanismi ausiliari) data la scarsa profondità della camera di isolamento stessa. In corrispondenza di ciascun foro di trasferimento sarà disposta una piastra di acciaio al carbonio di 1,5 cm di spessore ancorata nel calcestruzzo a forma di corona circolare nella parte superiore con diametro di circa 60 cm e rettangolare fino al pavimento rivestita con vernice decontaminabile ed avente la superficie esterna di circa 3,5 cm rientrante rispetto a quella posteriore delle celle stesse anche essa inte-



45  
50  
56  
63  
71  
80  
90  
100  
112  
125



ressata per una larghezza di 5 cm dalla continuazione della piastra suddetta.

Saranno impiegati per il trasferimento dei solidi attivi contenitori schermanti del tipo PADIRAC, muniti di paniere telescopico (collegato con asta manuale) e montati su carrello elettrico semovente dotato di elevatore pneumatico, che non necessiteranno di carropon-  
te. Inoltre i trasferitori suddetti, verso la camera di isolamento saranno provvisti di un sistema automatico per la segnalazione luminosa di "barilotto aperto". Tale segnalazione sarà collocata all'ingresso dell'area di carico.

b) Sistema di sollevamento.

Per permettere l'impiego del ponte schermante per i liquidi attivi sarà necessario installare un carropon-  
te che abbia la possibilità di spostamento secondo la lunghezza e la profondità della camera di isolamento.

La portata massima sarà di 1 t. così da poter essere utilizzato, in conformità a quanto stabilito per le celle, anche per il sollevamento di attrezzature più pesanti.

c) Illuminazione e f.m.

Saranno installate 3 armature fluorescenti 1x40 watts in esecuzione stagna complete di reattore, tubo e tutti gli accessori. L'impianto dovrà essere realizzato in esecuzione stagna con tubo Mannesmann zincato ed interruttore tipo Palazzoli sistemato all'esterno in

prossimità della porta di accesso dal lato area di carico. Dovranno inoltre essere previste le prese di forza motrice per il carro ponte e le pompe di aspirazione del circuito liquidi attivi.

### 3.2.5.3. Sistema di ventilazione della camera di isolamento.

La camera di isolamento sarà ventilata con aria proveniente dalla zona di carico attraverso una valvola ed un filtro assoluto. La tubazione di ingresso dell'aria giungerà nell'alto della camera di isolamento in corrispondenza dell'asse mediano, e si **dipartirà** sempre dall'alto di essa per convogliare l'aria alle celle (fig. 7 B e C). Tale sistemazione permetterà di evitare il sollevamento di polvere radioattiva nel caso di contaminazione accidentale del pavimento.

### 3.2.6. Impianto di ventilazione

#### 3.2.6.1. Generalità

La ventilazione ed il condizionamento dell'edificio saranno realizzati con due impianti, di cui il primo servirà per la ventilazione del Laboratorio caldo ed il secondo, già esistente, serve per la ventilazione e condizionamento dei laboratori e area uffici.

I due impianti saranno del tutto separati con il vantaggio che, qualora uno dei due vada fuori servizio, l'altro rimarrà in funzione e le attività nelle aree del Reparto servite da detto impianto non verranno interrotte.

In sede di collaudo dovrà poi essere controllata l'interdipendenza dei due impianti, verificando che il flusso di aria **nelle** diverse zone del laboratorio caldo sia quello voluto, e cioè dalle **aree** con minore rischio di contaminazione a quelle dove il rischio è maggiore.

E' da notare inoltre che per l'impianto di ventilazione **delle**, saranno installati due ventilatori di espulsione, l'uno di riserva all'altro. In tal modo sarà sempre possibile garantire la ventilazione e depressione nelle celle.

I ventilatori di mandata saranno asserviti a quelli di espulsione, cioè non potranno funzionare se non **sono** in funzione quelli di espulsione e pertanto non potranno verificarsi sovrappressioni con pericolo di trasferimento incontrollato di contaminazione. I ventilatori di espulsione saranno infine collegati all'impianto di f.m. di emergenza del Centro, in modo che ne sia assicurato il funzionamento continuo.

#### 3.2.6.2. Schema dell'impianto

Lo **schema** dell'impianto, riportato nella fig. 9, sarà il seguente: il ventilatore A, facente parte del primo impianto, invierà aria alle seguenti zone:

- area di operazioni celle
- **cas** area operazioni
- spogliatoio caldo (zona rossa)
- **cas** area carico

Dal locale operazioni l'aria verrà prelevata e immessa nella condotta a valle delle celle. Lungo la tubazione di by-pass è prevista una valvola di non ritorno controllata da un regolatore di pressione differenziale. L'aria in uscita dal sas-operazioni viene immessa nel loc. 29, mentre dal sas di carico e dallo spogliatoio caldo (da quest'ultimo tramite serrande a gravità tarate a 2 mm di c.a. che ne permettono l'elevato numero di ricambi, Tab. X, senza perdite di carico considerevoli) raggiunge il loc. 30 ripartendosi parallelamente tra il gruppo camera di isolamento celle ed il locale di decontaminazione. L'aria in uscita dal loc. 32 costituisce circa 1/4 di quella in arrivo nella zona di carico e viene immessa nella condotta a valle delle celle. Una tale disposizione evita che la contaminazione prodotta nella glove box, nelle vasche o al limite nel locale stesso venga ad interessare i loc. 33-34 e 35. Lungo la tubazione di by-pass è prevista una valvola di non ritorno controllata da un pressostato differenziale.

Per quanto detto al par. 2.7. sarà necessario installare a monte della camera di isolamento un gruppo prefiltro/filtro assoluto tipo Flander munito di parafiamma ad efficienza rispettivamente 95% N.R.S. e 99,997%.

Precederà questo gruppo una valvola (VK1) servozionata. Dovranno inoltre essere installati altri filtri per la filtrazione assoluta sulla ripresa posizionati esternamente alle celle e del tipo di quelli sopradetti.

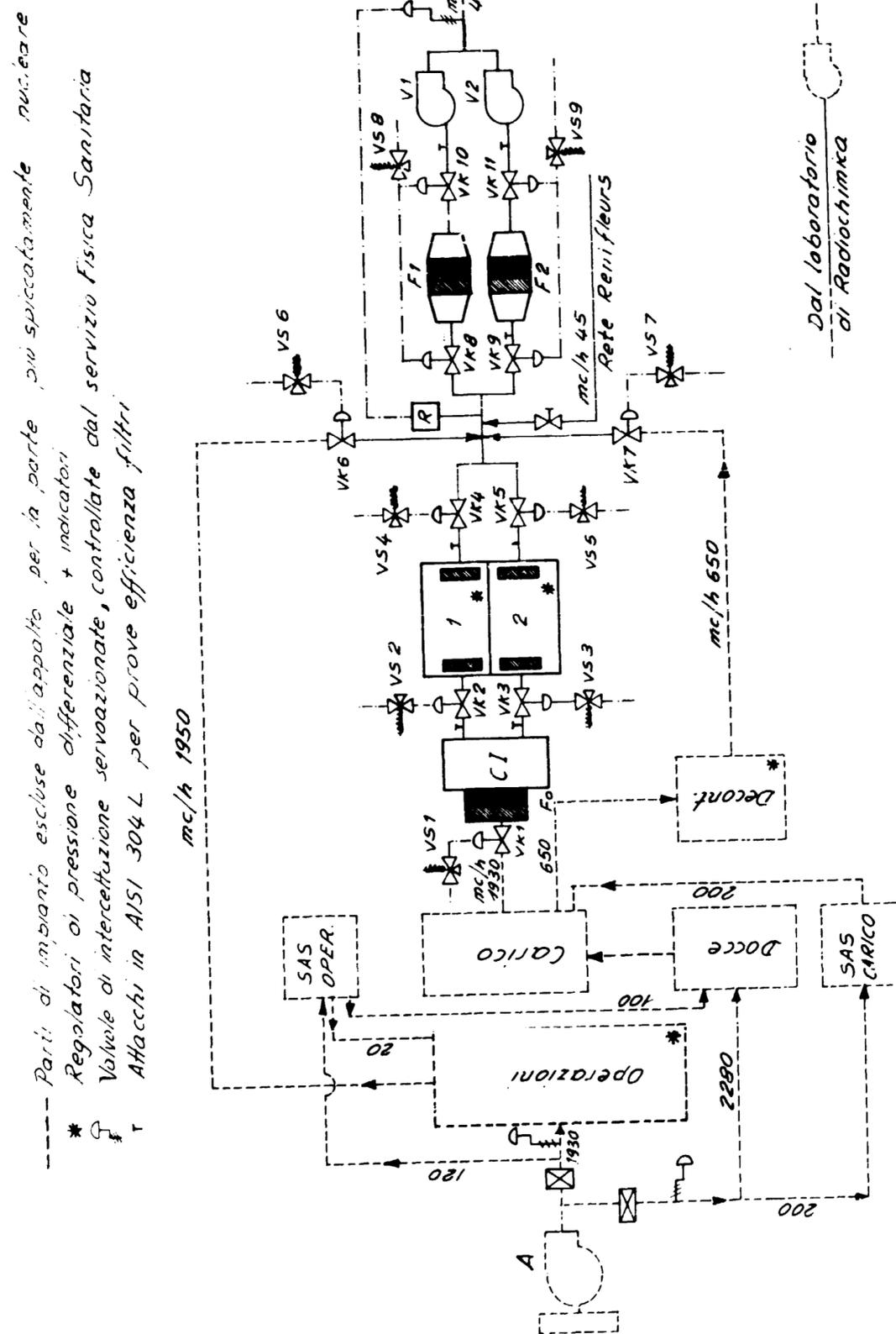


Fig. 9 - Schema funzionale impianto filtrazione assoluta per il laboratorio Caldo

Tabella X

LOCALE n°	DENOMINAZIONE	VOLUME (mc)	RICAMBI ARIA (mc/h)	PORTATA ARIA (mc/h)	PRESSIONE RELATIVA rispetto all'ambien- te esterno (mm v.a.)
27	Area Operaz.	300	6,5	1950	leggera depressione
28	Sas Operazioni	19	6,3	120	" "
30	Area Carico	93	27,7	2580	" "
31	Sas Carico	30	6,7	200	" "
29	Spogliatoio cal- do	87	26,2	2280	" "
32	Locale decont.	62	10,5	650	- 5
33	Camera isol.	67	28,9	1930	- 15
34	Cella n° 1	23	42	965	- 25 + -30
35	Cella n° 2	23	42	965	- 25 + -30

Temperatura interna invernale: 21°C

Temperatura interna estate : 26-30°C

Umidità relativa : 45% + 85%

Le valvole VK dovranno essere a perfetta tenuta d'aria per permettere l'intercettazione dei singoli ambienti, in caso di incidente o di incendio, mediante comando automatico o manuale da quadro.

Le valvole VK2 e VK3 saranno controllate da regolatori di pressione differenziale sistemati esternamente a ciascuna cella con sonda interna.

Le valvole VK2 e VK3 in caso di intervento automatico per incidente, dovranno chiudere istantaneamente, mentre le valvole VK4 e VK5 dovranno ritardare la chiusura controllata da relé ritardatori regolabili da 5 a 20 sec.

Le valvole VK8 e VK10 e le valvole VK9 e VK11 saranno asservite rispettivamente ai ventilatori V<sub>1</sub> e V<sub>2</sub>.

Le valvole VK6 e VK7 andranno in chiusura nel caso di arresto di entrambi i ventilatori V<sub>1</sub> e V<sub>2</sub>.

Le valvole solenoidi VS saranno del tipo per aria, PN 10 a 5 vie, sezione di passaggio 3 mm, dato che i servocomandi delle valvole VK saranno a doppio effetto.

Dovrà essere previsto un polmone di riserva per aria compressa, collaudato a 8 Ate, di capacità sufficiente a permettere due manovre successive di tutte le valvole installate, anche in caso di mancanza di aria dell'impianto esistente. Dovrà essere previsto un gruppo filtro riduttore con separatore di condensa e sistema di lubrificazione a micronebbia con dispositi-

vo Venturi regolabile per i cilindri dei servocomandi.

L'aria compressa, di tipo industriale, verrà fornita ad una pressione di 8 Ate.

L'impianto sarà costituito dai seguenti componenti principali:

- canali in vista e annegati nel castruzzo di sezione circolare realizzati in AISI 304 L con saldatura a tenuta di liquidi penetranti; spessori secondo Sch 5 norme ASA;
- valvole a farfalla a tenuta (VK) tipo Keiston servozionate con sede in Viton "A" - farfalla in acciaio inox;
- valvole solenoidi (VS) come sopra detto;
- ventilatori cetrifughi con portata di 4600 mc/h e prevalenza sufficiente a permettere la sostituzione dei filtri dopo che questi abbiano raggiunto una perdita di carico pari a 3 volte quella iniziale;
- gruppo di filtraggio per anticella Fo che sarà costituito da due prefiltri e da due filtri assoluti con contenitori a flangia in AISI 304 L per parete;
- gruppi di filtraggio per le celle che saranno costituiti ciascuno da un prefiltro del tipo resistente alla fiamma ed i loro contenitori dovranno essere realizzati con particolare cura in quanto i filtri dovranno essere estratti per la sostituzione con i manipolatori;
- gruppi di filtraggio a valle delle celle F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> co-

stituiti ciascuno da due prefiltri del tipo resistenti alla fiamma e da due filtri assoluti tipo Flanders o Vokes **A66** con contenitori tipo CANISTER realizzati in AISI 304 L;

- regolatori di pressione differenziale per celle di tipo semi-industriale;
- regolatori di pressione differenziale per locale operazioni e locale di decontaminazione;
- indicatori di pressione differenziale per celle ed anticella da posizionare su quadro;
- indicatori di pressione per locali 27 e 30 da posizionare su quadro;
- indicatori di perdita di carico su gruppo filtri, da posizionare su quadro;
- indicatori di depressione da posizionare direttamente a monte dei ventilatori;
- temporizzatori con ritardo regolabile da 5 a 20 sec.

Sulle tubazioni a monte e a valle dei gruppi di filtraggio dovranno essere previsti degli attacchi in AISI 304 L con valvole a perfetta tenuta per l'immissione ed il prelievo di aerosol da impiegare nelle prove di efficienza dei filtri. La distanza di questi attacchi dai filtri non dovrà essere inferiore a 10 diametri. Qualora però la tubazione presentasse a valle degli attacchi sopradetti valvole o gomiti, la distanza dal filtro potrà essere ridotta fino a circa 3 diametri.

Tutti i componenti dell'impianto dovranno essere collegati in modo da garantire un'assoluta tenuta per

particelle inferiori a  $0,3 \mu$ , cioè una perfetta tenuta  $\alpha$ .

Tutte le parti non in acciaio inox (es: ventilatori) dovranno essere **protette** con vernici decontaminabili.

Inoltre, in analogia a quanto indicato per l'impianto interdizione ingresso par. 3.2.11., dovranno essere previste delle valvole di intercettazione servozionate, controllate dal Servizio di Fisica Sanitaria, per isolare il Laboratorio anche dal lato condotte ventilazione in caso di incidente.

Infine l'impianto di filtrazione dovrà essere tale da permettere la sostituzione dei filtri in condizioni di tenuta  $\alpha$ .

In tutti i locali della zona calda dovranno inoltre essere installate delle bocchette di aspirazione munite di carta filtrante per il controllo della contaminazione ambientale.

Data la funzione particolare della camera di isolamento si ritiene opportuno intercettare il flusso di aria proveniente dalle bocchette in essa installate con una valvola che verrà aperta durante le operazioni che comportano rischio di contaminazione.

La tubazione a valle della pompa di aspirazione del sistema di renifleurs, sarà introdotta a forma di ugello nella condotta di aspirazione dell'aria di ricambio del Laboratorio caldo (fig. 9), in corrispondenza del suo asse ed a monte dei filtri assoluti.

### 3.2.5.3. Collaudo dell'impianto

I collaudi dell'impianto dovranno essere eseguiti nelle seguenti tre diverse condizioni di funzionamento dei due impianti A e B esistenti:

- I) Impianti A e B ambedue in funzione;
- II) Impianto A in funzione; impianto B non in funzione;
- III) Impianto B in funzione; per l'impianto ventilazione celle in funzione solo l'aspirazione e non la mandata ritenendo che, avendo a disposizione il gruppo di riserva, in nessun caso l'aspirazione delle celle non possa essere in funzione.

Il caso (I) sarà quello di normali condizioni di esercizio degli impianti; pertanto i valori di depressione nelle diverse aree saranno quelli di cui al precedente par.

Nei casi (II) e (III) non sarà necessario eseguire misure dei valori di depressione ma, sarà verificato solo che nelle zone a contatto tra le aree servite dall'uno e dall'altro impianto i flussi di aria siano diretti dalle zone con minor rischio di contaminazione a quelle con rischio maggiore, in modo da rispettare i criteri di sicurezza generale dell'impianto.

I risultati potranno essere così elencati:

#### Caso (II)

- per la presenza della doppia porta (sas area operazioni - spogliatoio caldo) non si dovrebbe riscontrare alcun sensibile flusso di aria dalla zona operazioni allo spogliatoio o viceversa;

- dall'area di operazione e dallo spogliatoio caldo si dovrebbe avere un flusso di aria diretto verso la zona di carico, così come richiesto;
- la depressione in cella non dovrebbe subire variazioni sensibili.

#### Caso (III)

- non si dovrebbero notare, come nel caso precedente, sensibili flussi di aria dalla zona operazioni allo spogliatoio caldo;
- per effetto dell' aspirazione in cella i flussi di aria dovrebbero rimanere diretti come nel caso precedente;
- la depressione in cella non dovrebbe subire sensibili variazioni.

Pertanto se si ~~verificherà~~ quanto sopra, si potrà concludere che le condizioni di ventilazione saranno tali da permettere di continuare senza particolari precauzioni l'attività nelle celle.

In ogni caso ~~sarà~~ da escludersi che possano verificarsi in condizioni normali sovrappressioni nelle diverse aree in quanto i ventilatori di mandata sono asserviti a quelli di aspirazione.

Il caso di sovrappressione per incidente è esaminato a parte (par. 3.3.).

### 3.2.6.4. Strumentazione ed allarmi

Sull'impianto delle celle saranno installati gli strumenti di controllo riportati nel par. 3.2.6.2.

Gli strumenti saranno riportati sul quadro di controllo in area operazioni ed i pressostati delle celle saranno collegati ad un allarme luminoso ed acustico di mancata depressione in cella predisposto su di un valore - 5 mm di c.a.

Sullo stesso quadro sarà riportato un segnale di allarme acustico e luminoso di mancato funzionamento dell'impianto di ventilazione B.

### 3.2.7. Impianto luce e f.m.

Dal quadro elettrico principale sistemato nel corridoio vicino all'ingresso del Reparto, sarà derivato il quadro elettrico (fig. 10), che sarà collocato in area operazioni ed alimenterà le celle e gli impianti ausiliari.

L'impianto di ventilazione e condizionamento dei laboratori freddi e della zona uffici viene alimentato direttamente dal quadro elettrico principale, mentre l'impianto di ventilazione della zona calda verrà alimentato dal quadro elettrico sistemato in area operazioni.

Pertanto, le utenze privilegiate alimentate dalla f.m. di emergenza saranno:

- impianto di ventilazione celle;
- impianti di segnalazione ed allarme;

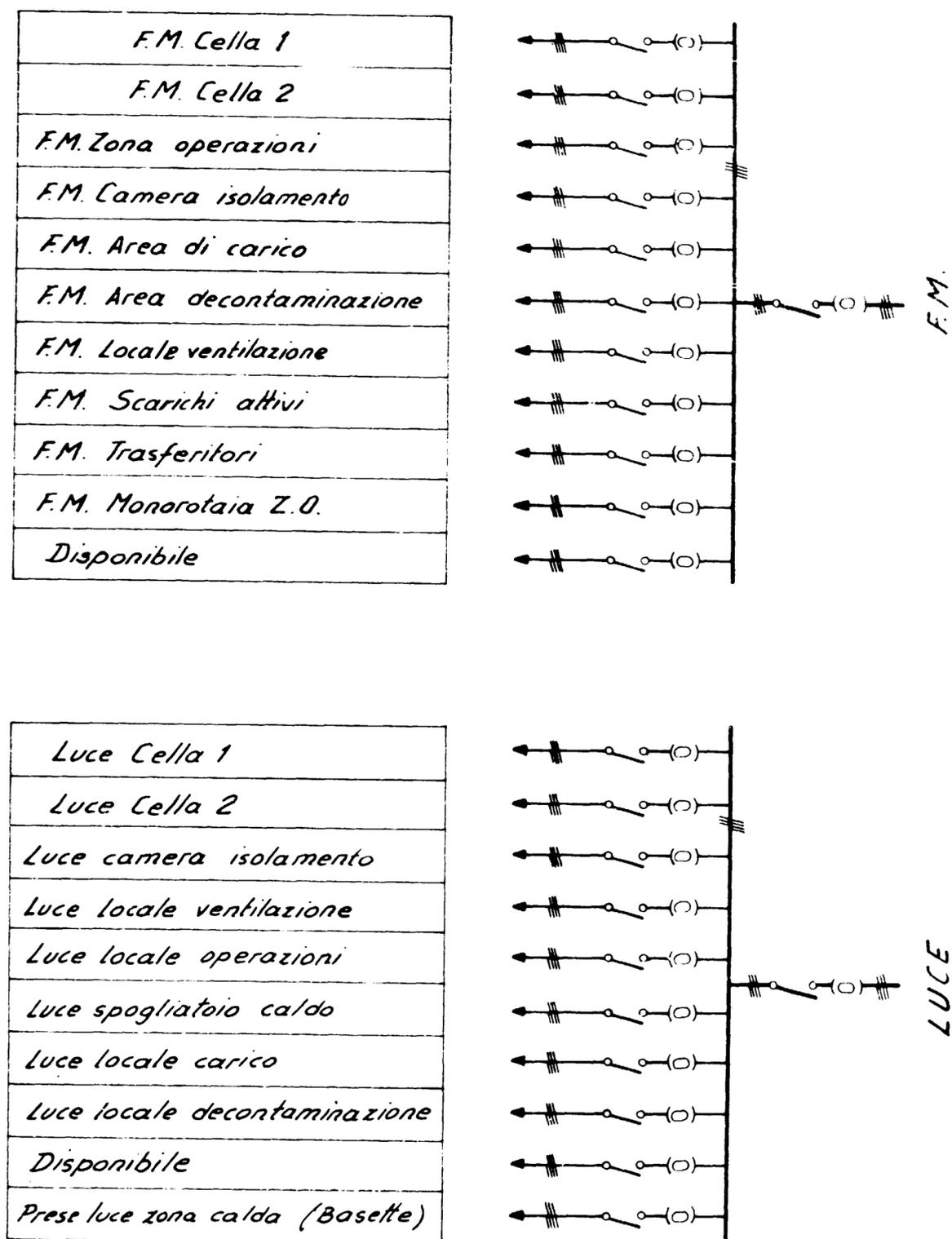


Fig. 10 - Quadro elettrico Laboratorio Caldo

- le basette con prese di f.m. e luce in area operazioni, area di carico, le utenze essenziali della centrale termica, locale ventilatori di espulsione celle, spogliatoio caldo e locale di decontaminazione;
- ~~un~~ terzo dell'illuminazione di tutti i locali della zona controllata, le celle calde (sia per le lampade a vapori di mercurio e sodio che ad incandescenza) sono alimentate con l'illuminazione in emergenza;
- i motoriduttori dei trasferitori;
- il carroponte installato nella camera di isolamento;
- i carriponte nelle celle n° 1 e n°2;
- le monorotaie installate in zona operazioni;
- i manipolatori M 9 e F delle celle;
- le basette con prese f.m. per le pompe di aspirazione del circuito liquidi di categoria 5 situate nella camera di isolamento;
- la pompa del serbatoio di raccolta liquidi attivi.

La f.m. di emergenza sarà fornita dall'impianto del Centro ed il tempo di intervento sarà di 40 sec.

Tutti gli impianti saranno realizzati in piena osservanza delle norme di sicurezza prescritte.

### 3.2.8. Impianto antincendio

Per la protezione antincendio, il Laboratorio caldo sarà suddiviso nelle seguenti zone:

- cella n° 1
- cella n° 2
- camera di isolamento

- area operazioni
- area di carico
- locale di decontaminazione
- centrale ventilazione celle (al piano superiore).

In quest'ultimo locale saranno installati rivelatori di incendio a camere ionizzate (rivelatori di fumo) sistemati al soffitto con allarme acustico, udibile in tutto il Reparto, e luminoso nel quadro in area operazioni, riportato al quadro allarmi all'ingresso dell'edificio e direttamente alla Guardiania del Centro.

Negli altri locali su elencati saranno installati anche rivelatori di incendio a ad elemento sensibile e sarà previsto lo spegnimento incendio ad intervento automatico ritardato con fluobrene, in modo da permettere al personale presente di valutare l'opportunità di detto intervento.

In ogni zona saranno installati pulsanti per l'annullamento dell'intervento automatico e pulsanti per l'immediato intervento by - passando il ritardo previsto.

In ogni zona vi saranno avvisatori di incendio manuali a rottura di vetro.

Per il pronto intervento saranno sistemati in ogni zona un congruo numero di estintori sempre a fluobrene.

Il fluobrene, 114 B 2, spegne non per soffocamento, ma per inibizione di propagazione della combustio-

ne (catalisi negativa) in quanto reagisce con i radicali liberi caratteristici della reazione di combustione e ne blocca il proseguimento. Per ottenere un'ottima distribuzione del fluobrene, dovranno essere installati, in numero adeguato, dei diffusori che formino un getto conico pieno con angolo di apertura di 120°, in goccioline finissime che satureranno completamente l'ambiente. Tali diffusori saranno sistemati in alto dato che il peso specifico dell'estinguente allo stato vapore è superiore a quello dell'aria ambiente.

I collettori di raccolta dell'estinguente saranno in AISI 304 L in tutti i tratti annegati nelle murature. All'inizio di ogni collettore sarà montata un valvola di ritegno.

Il collegamento tra valvole di ritegno e gruppi estintori sarà realizzato a mezzo di manichette flessibili.

Poichè il volume di ogni cella sarà di 23 m<sup>3</sup> sarà sufficiente, per una estinzione in saturazione di ambiente, un quantitativo di 7,7 kg di fluobrene (300 gr/m<sup>3</sup>).

Considerando un tempo di intervento di 10 sec. e tenendo presente che un quantitativo di kg 7,7 di fluobrene a 20 °C dà un volume di 715 l. ed a 40°C un volume di 771 litri, si ha un aumento di 315 mm di c.a.

Chiudendo pertanto l'immissione aria alla cella e lasciando in moto l'estrattore, che estrarrà 2,68 m<sup>3</sup> in 10 sec., la cella rimarrà in depressione.

Su tale base è possibile stabilire che sarà necessario corredare il Laboratorio caldo delle quantità di estinguente riportate nella tabella XI.

Tabella XI

locale n°	Denominazione	Volume	Volume di aria da saturare in 10 sec. (mc.)	Fluobrene (Kg.)
27	Area operazio- ni	300	305	92
28	Sas operazio- ni	19	19	6
29	Snogliatoio caldo	87	93	28
30	Area carico	93	101	30
31	Sas carico	30	31	9
32	Locale decon- taminazione	62	64	19
33	Camera isola- mento	67	72	22
34	Cella n° 1	23	26	8
35	Cella n° 2	23	26	8

Sarà pertanto necessario installare in ogni locale del Laboratorio caldo uno o più serbatoi in acciaio trattati con resine epossidiche ciascuno accoppiato ad una adeguata bombola di azoto sotto pressione che fungerà da propellente.

Circa la tossicità dell'estinguente i risultati

ottenuti permettono di classificarlo tra le sostanze relativamente innocue ("relatively harmless" secondo la classificazione di Hodge e Sterner 1943) ed è paragonabile alla CO<sub>2</sub>. Per ciò che riguarda la rigidità dielettrica del fluobrene si è potuto constatare che con una resistenza di massa a terra di 4.400 Ω, equivalente circa a quella del corpo umano, la tensione è dell'ordine di 0,3 V, valore di assoluta sicurezza.

Altri vantaggi dell'impiego del fluobrene sono (14):

- può essere scaricato nelle celle senza pericolo di intasamento per i filtri di espulsione;
- dopo la scarica non occorre lavoro di pulizia in cella, grazie alla sua inerzia chimica e alle buone proprietà dielettriche;
- è sufficiente una concentrazione del 6% in volume per estinguere in breve tempo incendi di classe "A" (solidi), "B" (liquidi), "C" (elettrici). Il suo impiego al contrario, non è consigliabile negli incendi di classe "D" alla quale appartengono per es. i fenomeni di autocombustione del sodio e del potassio che si verificano quando questi due elementi, allo stato metallico, entrano in contatto con l'acqua. D'altra parte questo ultimo tipo di sostanze non saranno trattate nelle nostre celle;
- il calore necessario all'evaporazione, assorbito dall'ambiente ove spruzzato, contribuisce a mantenere in depressione l'ambiente stesso;

- non richiede alcuna manovra dell'impianto di ventilazione.

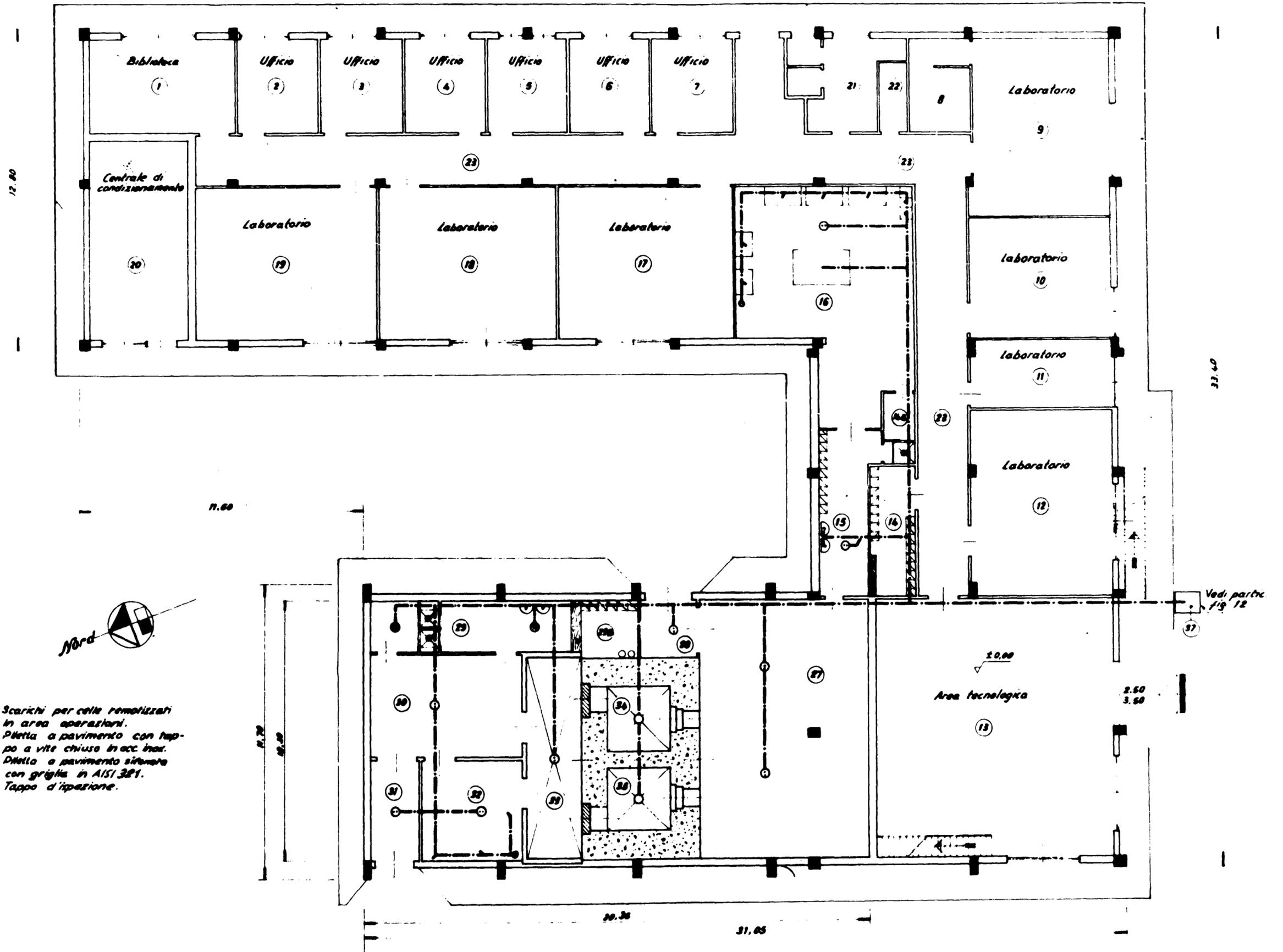
### 3.2.9. Impianto di raccolta dei rifiuti radioattivi liquidi.

#### 3.2.9.1. Descrizione dell'impianto.

L'impianto di raccolta dei rifiuti liquidi attivi del Laboratorio è costituito da un serbatoio di acciaio zincato della capacità di 500 l sistemato in un locale di calcestruzzo interrato all'esterno del Reparto (lato sud).

Al serbatoio verranno convogliati, tramite una rete di scarico in AISI 321, i liquidi attivi provenienti dalle seguenti aree del Laboratorio (fig. 11).

- a) Celle calde (una bocchetta di scarico a pavimento per ciascuna cella munita di filtro e intercettata da una valvola remotizzata con comando in area operazioni; uno scarico con bocchetta conica appena al disopra del piano di lavoro, munito di valvola a sfera azionabile con manipolatore);
- b) camera di isolamento (una bocchetta di scarico a pavimento)
- c) stanza di decontaminazione (una bocchetta di scarico a pavimento; tre scarichi per glove box e vasche);
- d) area di carico (una bocchetta di scarico a pavimento);
- e) spogliatoio caldo (due bocchette per doccie calde, due per lavandini, due di scarico a pavimento);
- f) area operazioni (due bocchette di scarico a pavimento)



- - Scarichi per celle ventilati in area operatori.
- - Piatta a pavimento con tappo a vite chiuso in acc. inar.
- ⊕ - Piatta a pavimento sifonata con griglia in AISI 304.
- ⊖ - Tappo d'ispezione.

Fig. 11 - L.I.S. - Reparto Ricerca - Rete scarichi attivi (---)

to);

- g) laboratorio di radiochimica (loc. 16) (due scarichi per glove **box**; quattro scarichi per cappe, uno scarico per banco centrale, uno scarico per doccia, tre scarichi per lavelli, due scarichi a pavimento).

Le bocchette di scarico a pavimento nei locali di cui ai punti b), c), d), f) e g) saranno normalmente chiuse con tappo a vite in acciaio inox ad evitare **che** diano luogo a spolverio in seguito a vaporizzazione del liquido contaminato sulle pareti della bocchetta stessa (16).

Per ragioni economiche, come il serbatoio, anche le tubazioni direttamente collegate ad esso sono in acciaio zincato. Non è da escludersi quindi che avvengano delle corrosioni con conseguente fuoriuscita di liquido contaminato. E' stato quindi necessario collocare il serbatoio ed i tratti di tubazione suddetti (fig. 12) in un vano in cemento impermeabilizzato munito di nozzle dal quale con una pompa a funzionamento automatico è possibile trasferire il liquido fuoriuscito all'impianto trattamento liquidi situato nelle vicinanze dell'edificio C.III.42. La stessa pompa dovrà provvedere allo svuotamento del serbatoio una volta raggiunto il livello massimo.

#### 3.2.9.2. Strumentazione ed allarmi.

Il serbatoio sarà provvisto di un livello a galleggiante a doppio contatto.

Il primo contatto, oltre a mettere in funzione la pompa per il travaso del liquido dal serbatoio al vascone di raccolta liquidi contaminati esistente presso il prospiciente edificio, provocherà un allarme ottico ed acustico internamente all'area operazioni e sul quadro allarmi installato presso l'ingresso dell'edificio.

Il secondo contatto provocherà, oltre alla segnalazione ottico acustica analogamente a quanto sopra esposto, il blocco della immissione acqua nelle zone calde.

Anche il vano che conterrà il serbatoio sarà provvisto di livello a galleggiante per la segnalazione ottico-acustica di presenza liquidi. Anche questa segnalazione avverrà, sia in area operazioni che sul quadro allarmi presso l'ingresso dell'edificio.

### 3.2.10. Impianto aria compressa.

Questo impianto dovrà fornire:

- aria compressa per le valvole pneumatiche;
- aria compressa per utenze varie.

Per le varie utenze sarà necessaria aria ad una pressione massima di 4+5 Ate (filtrata e raffreddata).

Le utenze di aria compressa con misuratore e riduttore saranno disposte come segue:

- due per ogni cella con misuratore e riduttore in area operazioni;
- due nell'area operazioni;
- una nell'area di carico;

- 1- Valvola tipo Saunders in ghisa ebanitata con membrana tipo B (orange spot)
  - 2- Serbatoio in acciaio zincato a bagno - capacità lt 500
  - 3- Barilotto di sfogo aria trattenitore di aerosol
  - 4- Interruttore a galleggiante di minimo - massimo e supermas. sino livello tipo magnetrol.
  - 5- Elettropompa di sollevamento tipo ad asse orizz. per liquidi torbidi.  
Q = 2000 lt/h  
H = 12-15 m. c. H<sub>2</sub>O
- Valvole d'intercezione e valvole di ritegno in bronzo  $\phi 1\frac{1}{2}$ "
  - Tubazioni in acciaio zincato con flange - zingatura dopo la saldatura

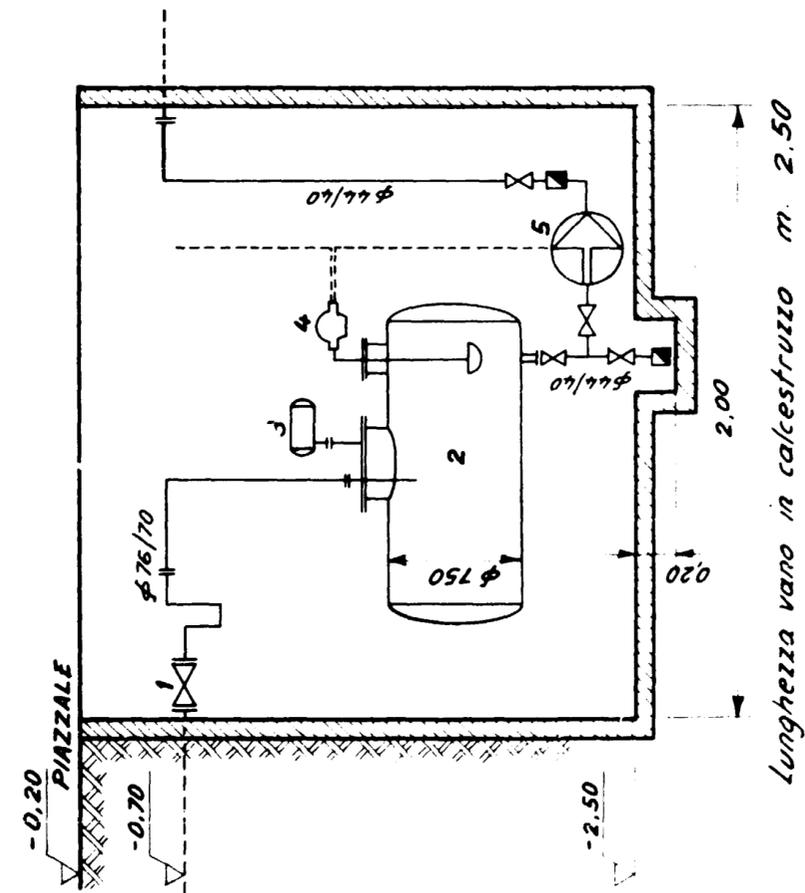


Fig. 12 - Serbatoio di raccolta scarichi attivi

- una nello spogliatoio caldo;
- due nella camera di isolamento;
- una nella stanza di decontaminazione.

I misuratori ed i riduttori di pressione saranno indispensabili per la regolazione della pressione delle utenze pressurizzate che possono essere usate in tutti i locali del Laboratorio. L'impianto dovrà essere progettato in modo tale che siano disponibili almeno 250 l/min. di aria trattata a 2,5 Ate per almeno 3 delle utenze sopra elencate, in aggiunta all'aria compressa necessaria per gli altri impianti; quest'ultima può essere stimata a circa 300 l/min. a 4+5 Ate.

### 3.2.11. Impianto interdizione ingresso

Sopra ogni porta dei vari locali controllati sarà installato un quadretto con la scritta "vietato l'accesso" in modo da evitare l'accidentale ingresso di persone in zone contaminate in seguito ad incidente (fig. 5 A).

- Il cartello 1 bloccherà l'accesso a tutta la zona controllata.
- Il cartello 2 bloccherà l'accesso a tutta la zona cella.
- Il cartello 3 bloccherà l'accesso a tutta la zona celle con la sola esclusione dell'area operazioni.
- Il cartello 4 bloccherà l'accesso a tutta la zona cella ad eccezione dell'area operazioni e del nasso carraio - area operazioni.

- I cartelli 5 bloccheranno l'accesso all'area di carico, all'area di decontaminazione e alla camera di isolamento.
- I cartelli 6 bloccheranno l'accesso alla camera di isolamento.
- I cartelli 7 bloccheranno l'accesso alla stanza di decontaminazione.
- Il cartello 8 bloccherà l'accesso all'area di carico dal lato dell'air lock (locale 31).
- Il cartello 9 bloccherà l'accesso al Laboratorio di radiochimica.

L'accensione di detti cartelli sarà effettuata dall'addetto del servizio di fisica sanitaria agendo su interruttori a chiave installati su di una apposito quadretto immediatamente fuori la zona controllata (locale 23).

### 3.2.12. Impianto di controllo della radioattività

#### 3.2.12.1. Controllo ambientale.

Il controllo ambientale della radioattività sarà fatto con apparecchi di misura della radioattività disposti nei seguenti locali (fig. 5 A):

- |                        |      |   |
|------------------------|------|---|
| - area operazioni      | n° 3 |   |
| - camera di isolamento | n° 2 |   |
| - cella n° 1           | n° 1 | } con sonda portatile<br>tramite manipolatori (°) |
| - cella n° 2           | n° 1 |   |

(°) Le due sonde nelle celle avranno la funzione preminente di controllo delle apparecchiature e dei procedimenti connessi all'esercizio del Laboratorio caldo oltre a quella di esercitare un controllo ambientale dell'intensità di esposizione.

Le indicazioni di tali strumenti verranno inviate al quadro disposto in area operazioni e registrate in continuo.

I segnali di allarme saranno acustici e luminosi sia nella zona interessata (con esclusione dei monitori in cella) che nel quadro in sala operazioni. L'allarme sarà predisposto a valori opportuni, a seconda della zona, dal Servizio di Fisica Sanitaria.

#### 3.2.12.2. Controllo degli effluenti dal camino.

Nel circuito di espulsione dell'aria, a valle dei filtri assoluti, sarà effettuato un monitoraggio  $\beta - \gamma$  degli effluenti particolati.

#### 3.2.12.3. Controllo del personale.

Il controllo del personale sarà fatto con monitori idonei delle mani e piedi e apparecchi portatili per il controllo della contaminazione.

Il controllo del buon funzionamento di tali apparecchi sarà fatto a cura del personale del servizio di fisica sanitaria responsabile del laboratorio caldo.

### 3.2.13. Sistemi di allarmi da installare nel Reparto (fig. 13)

#### 3.2.13.1. Allarmi generali.

Il Reparto sarà dotato di:

- Allarme generale per emergenza locale, acustico a sirena, con comando manuale all'ingresso dell'edificio.
- Preallarme e allarme a norma del Piano di Emergenza del Centro.

### 3.2.13.2. Allarmi da installare in area operazioni.

Su quadro di controllo in area operazioni saranno installati i seguenti allarmi acustico-luminosi:

- allarme di monitoraggio ambientale;
- allarme incendio;
- allarme di massimo livello e super-massimo livello serbatoio di raccolta liquidi attivi;
- allarme per l'impianto ventilazione celle (intasamento filtri).

### 3.2.13.3. Allarmi da installare all'ingresso dell'edificio.

Sull'apposito quadro allarmi installato all'ingresso del Reparto saranno riportati tutti gli allarmi (acustici e luminosi) di cui al par. 3.2.13.2.

### 3.2.13.4. Allarmi locali.

Nel Laboratorio caldo saranno installati i seguenti allarmi acustico-luminosi locali:

- allarmi monitoraggio ambientale (uno per ciascun apparecchio di misura installato);
- allarmi di segnalazione incendio (uno acustico per ciascuna delle nove zone in cui è stato suddiviso il Reparto (°)).

(°) Infatti oltre alle 7 zone indicate al pr. 3.2.8 sono da aggiungere:

- area uffici e laboratori freddi;
- centrale di ventilazione e condizionamento laboratori freddi ed uffici.

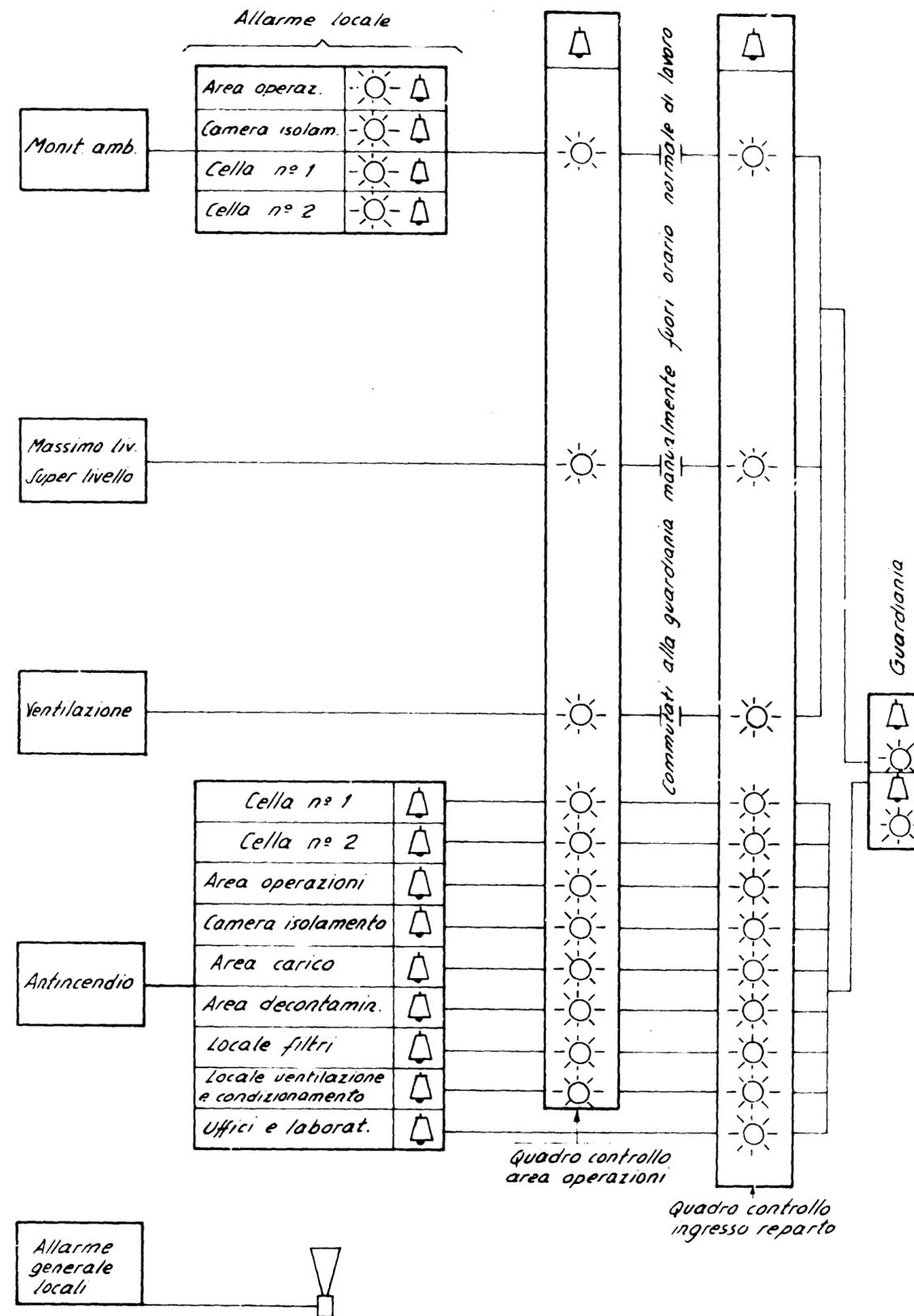


Fig. 13 - Schema generale sistema di allarme del Reparto ricerca.

3.2.13.5. Allarmi da riportare alla Guardiana del Centro.

Tutti gli allarmi di cui al par. 3.2.13.2. saranno riportati in un unico segnale di allarme alla Guardiana del Centro (Sezione di Vigilanza) tramite un commutatore manuale che viene azionato fuori del normale orario di lavoro.

L'allarme incendio è riportato direttamente anche alla Guardiana del Centro.

3.2.14. Impianto telefonico, interfonico e amplificatore dei rumori.

1) Il laboratorio caldo sarà fornito di un sistema per unità interfoniche portatili come di seguito:

- una in ogni cella;
- due nella camera di isolamento;
- una nell'area di carico;
- una nella stanza di decontaminazione;
- una vicino ad ogni finestra;
- una nel locale **filtri**.

L'uso del sistema interfonico sarà necessario allo scopo di avere l'intercomunicazione fra l'interno delle celle e l'area operazione, fra l'area operazione e l'area di carico o la camera di isolamento durante il lavoro di allestimento delle celle o durante le operazioni speciali che richiedono comunicazioni rapide fra tutte le aree.

2) Il **laboratorio** caldo sarà anche provvisto di un si

stema di telefoni nell'area operazioni e nell'area di carico.

3) Le celle dovranno essere dotate di un amplificatore di rumori con ricezione nell'area di operazioni.

### 3.3. Irradiazione dei lavoratori

#### 3.3.1. Introduzione

Nel caso degli incidenti da incendio in cella sarà a priori possibile, per danneggiamento delle tenute suddette, che del materiale radioattivo venga immerso negli ambienti di lavoro circostanti le celle con conseguente rischio di irradiazione dei lavoratori.

Considereremo qui di seguito i seguenti incidenti:

- incendio di alcuni solventi nella cella n° 1;
- " " " " " " " " n° 2;

Poichè si potrebbe avere fuoriuscita di materiale radioattivo dalle aree di lavoro, verranno esaminati i due casi seguenti:

- a) esplosione all'interno di una cella;
- b) riscaldamento dell'aria della cella.

#### 3.3.2. Esplosione in cella calda

Normalmente la presenza di solventi in cella calda dovrebbe consistere di qualche unità per cento presente nelle soluzioni acquose da trattare.

D'altra parte, come sopra accennato, verranno effettuate delle operazioni di estrazione con l'impiego di qualche decimo di litro dei solventi sotto elencati:

- mono, di o tributilfosfato
- hexone
- kerosene
- dodecano
- solvesso.

Vediamo per ciascuno di essi di definire la quantità massima che può essere presente in cella senza che esista il rischio di una esplosione.

Per il calcolo ci si è basati sulla percentuale minima in volume di solvente in aria, per la quale, raggiunto il punto di infiammabilità, si avrebbe esplosione. La tabella XII riporta alcuni valori caratteristici dei solventi suddetti (18) (19). Non sono stati riportati quelli relativi al mono ed al dibutilfosfato perchè è stato impossibile riscontrarli in letteratura. D'altra parte si può senz'altro considerare il tributilfosfato come composto indicativo. Si sono voluti riportare anche i dati relativi all'alcole perchè possono servire, oltre che da confronto, anche per definirne la quantità massima ai fini di un suo probabile impiego.

La cubatura interna di ogni cella sarà di circa  $23,5 \text{ m}^3$  a cui corrisponderanno almeno  $23 \text{ m}^3$  di spazio occupato dall'aria di ventilazione per la quale si prevedono 42 ricambi/h.

La densità dell'aria a  $19^\circ\text{C}$  è di  $1,21 \text{ g/l}$ . I calcoli sono stati eseguiti senza tener conto del ricambio dell'aria nella cella, cioè al limite come se la vapori

Tabella XII

SOLVENTE	PM (medio)	$d_{20}^4$ ( $\pi/\pi$ )	Punto di infiamm. (°C)	% in peso in aria per esplos. min.                      max.	Calore di combustione (Kcal/mole)
tributilfosfato	266,3	0,976	146	4,6                      27,7	~ 1800
hexone	100,2	0,802	23	4,7                      26,4	895
Kerosene K-10	(165)	0,800	65-85	3                        24	~ 1600
n-dodecano	170	0,750	71	3,84                    29,5	1912
solvesso	(120)	0,870	42	4,2                      25,2	~ 1300
alcole etilico	46	0,789	13	5,23                    30	328

zazione della quantità di solvente avvenisse in maniera istantanea. Nella tabella seguente sono riportati i dati ottenuti.

Tabella XIII

SOLVENTE	Quantità di solv. allo stato gas- soso (kg)	Quantità di aria (kg)	Volume Limite di solvente (a 20°C) (l)
tributilfosfato	1,241	27,70	1,270
hexone	1,350	27,43	1,685
kerosene k-10	0,857	27,65	1,070
n-dodecano	1,103	27,65	1,470
solvesso	1,205	27,50	1,380
alcole etilico	1,490	26,90	1,890

Poichè le quantità massime trattate si aggirano intorno a qualche decimo di litro, risultano nettamente inferiori a quelle minime occorrenti per produrre una miscela esplosiva.

Inoltre la ventilazione delle celle provvede ad impedire concentrazioni locali pericolose ed a diluire ulteriormente la concentrazione dei vapori di solvente. In questo modo si esclude che vi possa essere esplosione a causa del solvente. Lo stesso ragiona-

mento vale per l'altra cella.

### 3.3.3. Aumento di temperatura in una cella

Nella ipotesi cautelativa di trascurare la depressione della cella rispetto all'area di carico, come pure ogni resistenza al passaggio di aria nella direzione cella-area di carico, ogni aumento di temperatura all'interno della cella comporta una espansione isobara dell'aria in essa contenuta (15).

#### a) bilancio delle masse

Se si indica con  $dN$  il numero di moli asportate dal sistema di ventilazione nell'intervallo di tempo  $t-t+dt$ , utilizzando in prima approssimazione l'equazione di stato dei gas si ottiene:

$$1) \quad dN = \frac{H \cdot V_0 \cdot P_0}{RT} dt$$

ove:

$H$  = numero di ricambi nell'unità di tempo (ricambi/sec)

$V_0$  = volume della cella ( $m^3$ )

$P_0$  = pressione della cella = 1 atmosfera

$R$  = costante dei gas =  $0,0821 \cdot 10^{-3} \frac{m^3 \cdot atm}{mole \cdot ^\circ K}$

$T$  =  $T(t)$  temperatura media dell'aria contenuta nella cella ( $^\circ K$ ).

Il numero di moli presenti nella cella nell'istante  $t$  è:

$$2) \quad n = n(t) = \frac{P_0 V_0}{RT}$$

dalla 2) si ottiene immediatamente:

$$3) \quad dn = - \frac{P_0 V_0}{RT^2} dT = - n \frac{dT}{T}$$

Se si indica con  $X(t)dt$  il numero di moli entranti nella cella dall'area di carico durante l'intervallo di tempo considerato, il bilancio del numero di moli è espresso dalla relazione  $dn = Xdt - dN$ .

Sostituendo a  $dn$  il valore riportato nella relazione 3) si ottiene:

$$- n \frac{dT}{T} = Xdt - dN$$

$$4) \quad dT = T \frac{dN - Xdt}{n}$$

#### b) bilancio della energia

All'istante  $t$  sono presenti in cella  $n$  moli alla temperatura  $T$ ; il loro contenuto termico complessivo riferito alla temperatura  $T_0$  è:

$$Q_1 = nC(t)(T - T_0)$$

ove  $C(t)$  = calore specifico medio dell'aria fra  $T_0$  e  $T$ .

All'istante  $t + dt$  sono presenti in cella  $n + dn$  moli di aria alla temperatura  $T + dT$ ; il contenuto termico complessivo è:

$$Q_2 = (n + dn) C(t) [T + dT - T_0]$$

nell'intervallo di tempo  $t - t + dt$  il sistema di ventilazione ha espulso dalla cella  $dN$  moli alla temperatura media  $T + \beta dT$  con  $0 < \beta < 1$ ; il contenuto termico complessivo è:

$$Q_3 = C(t) dN [T + \delta T - T_0]$$

L'energia termica assorbita dall'aria nell'intervallo di tempo considerato è pertanto:

$$5) Wdt = Q_2 + Q_3 - Q_1 = C(t) ndT + C(t) dn (T - T_0) + C(t) dN [T - T_0]$$

ove si sono trascurati gli infinitesimi del secondo ordine e  $W$  è la potenza termica assorbita dall'aria. Sostituendo successivamente nella relazione ora scritta i valori riportati nelle 3), 4) e 1) si ottiene, dopo alcune semplificazioni:

$$6) Xdt = \frac{P_0 HV_0 C(t) dt - P W dt}{P T_0 C(t)}$$

la quale mostra che il volume entrante nella cella dall'area di carico diviene  $\leq 0$  soltanto se è

$$W = \frac{HP_0 V_0 C(t)}{R}$$

La potenza termica necessaria per la fuoruscita di aria verso la zona di carico è pertanto proporzionale al volume di aria  $HV_0$  asportato dal sistema di ventilazione nella unità di tempo.

Dalla tab. X si ricava che il prodotto  $HV_0$  vale 16,1 m<sup>3</sup>/min. per ogni cella; essendo  $P_0 = 1$  atm,  $C(t) \approx 7,15 \cdot 10^{-3}$  Kcal/mole °K,  $R = 0,0821 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{ atm}}{\text{mole } ^\circ\text{K}}$  si ottiene:

$$W = 1400 \text{ Kcal/min.}$$

### 3.3.4. Incendio di un solvente in una cella

L'incidente considerato consiste nella rottura di una bottiglia contenente il solvente, nel conseguente spandimento di questo sul tavolo di lavoro e sul navimento della cella ed infine nel suo incendio.

E' molto difficile ipotizzare la dinamica con la quale tale combustione può avvenire.

Può succedere che il solvente bruci dopo che si è raccolto in una zona particolare, ed allora la combustione è relativamente lenta e l'operatore può disporre del tempo necessario per spegnere l'incendio.

Può invece accadere che il solvente si sparga su una notevole superficie ed in questo caso l'intervento dell'operatore, anche se rapido può risultare solo parziale.

Cautelativamente si suppone che il solvente abbia modo di bruciare tutto e che questo avvenga nello spazio di un minuto.

La combustione del solvente produce un certo numero di Kcal.

Si può ritenere che soltanto una parte di esse (il 50% circa) vada a riscaldare l'aria, mentre la parte restante va a scaldare le strutture ed il navimento della cella, sulle quali il solvente si è rovesciato. In base a quanto ricavato nel par. precedente si sono potute definire, per ogni solvente, le quantità al di sopra delle quali, se avvenisse la loro combustione, si produrrebbe rilascio verso le aree di lavoro.

Tabella XIV

SOLVENTE	moLi	peso (gr)	volume a 20°C(1)
tributilfosfato	1,55 ~	413 ~	0,424 ~
hexone	3,12	312	0,390
kerosene k-10	1,75 ~	289 ~	0,361 ~
n-dodecano	1,47	240	0,332
solvesso	2,15 ~	258 ~	0,297 ~
alcole etilico	8,55	394	0,498

Pertanto i volumi di solventi da trattare, escludendo il rischio del rilascio verso le aree di lavoro per incendio ed esplosione dovranno essere compresi nell'intervallo 300-500 ml secondo la natura del solvente. Le quantità di solventi da trattare in cella, come più sopra accennato, rientrano nei limiti indicati dalla tabella XIV.

#### 4. CONCLUSIONI

La valutazione delle conseguenze di probabili incidenti ha dimostrato che la struttura e gli accorgimenti previsti per il laboratorio caldo dovrebbero escludere danni rilevabili ai lavoratori ed alla popolazione.

Va tuttavia sottolineata la necessità di un controllo della attività presente in ogni cella. Tale con-

trollo dovrà essere realizzato da una stretta sorveglianza amministrativa in accordo a cui qualsiasi trasferimento di materiale dovrà essere annotato su moduli e controllato da un supervisore (14).

Infine per ciò che riguarda l'irradiazione attraverso un trasferitore cella-camera di isolamento aperto, si ritiene che le garanzie previste saranno sufficienti ad evitare irradiazioni del personale. Infatti si avranno tre garanzie indipendenti ad impedire la possibilità di irradiazioni pericolose del personale una volta che il barilotto sia stato dimenticato aperto:

- quella offerta dall'operatore che dovrà chiudere il barilotto al termine dell'operazione;
- quella offerta dall'apparecchio di misura delle radiazioni installato di fronte al trasferitore che segnala livelli anormali di irradiazione;
- quella offerta dalla segnalazione luminosa automatica all'ingresso dell'area di carico (15).

Si è d'altra parte ritenuto opportuno, per la parte più spiccatamente nucleare, approfondire lo studio della struttura del laboratorio caldo, indicando anche il tipo di attrezzature (°) ed i materiali da impie-

(°) Va ben inteso comunque che i tipi di attrezzature sono citati a titolo di esempio e non dovranno essere necessariamente impiegati nella realizzazione del laboratorio caldo. Ciò che invece dovrà essere rispettata è l'equivalenza delle parti da adottare con quelle indicate

gare che, pur soddisfacendo ai requisiti di funzionalità e sicurezza, rientrassero nelle disponibilità economiche strettamente condizionanti la realizzazione.

In riferimento al personale da impiegare, programmando opportunamente i trattamenti di solidificazione, sarà possibile mantenere un elevato fattore di utilizzo finestre in quanto man mano che si realizzeranno i prodotti vetrificati potranno essere campionati e sottoposti nell'altra cella alle analisi previste.

Così come concepito il laboratorio caldo e per le funzioni cui dovrà assolvere si prevede che necessiterà del personale seguente:

- 1 laureato	10-20%	disponibilità
- 1 diplomato	20-40%	"
- 1 tecnico	fino al 100%	"
- 1 operaio specializzato	"	"
- 1 operaio	50%	"

Per la realizzazione delle esperienze di vetrificazione a "freddo" il Reparto dispone già del personale su indicato in maniera pressochè completa, pertanto, sfruttando l'esperienza acquisita nel laboratorio già esistente di radiochimica e attraverso l'addestramento sul mock-up installato nella hall tecnologica sarà in grado di assolvere alle operazioni di trasferimento, processo, analisi e decontaminazione nell'ambito del nuovo laboratorio che in tali condizioni potrà anche assolvere a quella funzione di "servizio" cui si è accennato nel par. 2.2.

### BIBLIOGRAFIA

- 1) Relazione di missione del Dr. C. Cesarano a Saclay (Symposium on Radiation Safety problems in the design and operation of "hot" facilities). Ottobre 1969.
- 2) Report of the second working meeting on fixation of radioactivity in stable, solid media at Idaho Falls, Idaho - September 1960 TID 7613.
- 3) Treatment and storage of high-level radioactive wastes. Proceedings of a symposium, Vienna 8-13 October 1962.
- 4) Proceedings of the symposium on the solidification and long term storage of highly radioactive wastes. February 1966. Richland - Washington TID - 4500.
- 5) Linee programmatiche per il III Piano Quinquennale 1970-1974 SRAD/33/69.
- 6) W. Bocola, D. Boenzi e P. Cagnetti: "Considerazioni preliminari sul condizionamento dei rifiuti liquidi di elevata attività prodotti nel riprocessamento dei combustibili nucleari irradiati" C.N.E.N. - RT/PROT(70)8.
- 7) W. Bocola e A. Donato: "Condizionamento dei rifiuti liquidi radioattivi prodotti dal riprocessamento del combustibile irraggiato". (Il programma ESTER). C.N.E.N. - RT/PROT(70)17.
- 8) G. Beone, G. Caropreso, F. Ferri, A. Scarselli e D. Sicilia: Descrizione degli elementi di combustibile dei reattori italiani di potenza e valutazione della carica solida del dissolutore EUREX nel caso di elementi tranciati. RTI/CHI (68)50.
- 9) Abita ed altri: Esecuzione prove EUREX su materiale irraggiato. C.N.E.N. - RTI/CHI (67)7. Doc. 108.

- 10) P. Loizzo: Assessment of Plutonium values for utilisation of Plutonium in pressurised and boiling light water reactors. IAEA-Conference on economic nuclear fuels. Gottwaldov Cecoslo vacchia, maggio 1968.
- 11) C.N.E.N.: Il regime giuridico dell'impiego pacifico dell'energia nucleare con particolare riguardo alla sicurezza nucleare e alla protezione sanitaria. Vol. I: normativa nazionale. Settembre 1970.
- 12) C. Cesarano, B. Cudia, M. Lauro, C. Lepsky e G. Pignetti: Specifiche preliminari per un Laboratorio caldo per manipolazioni di combustibile contenente plutonio. CNEN - Doc. OPEC(67)19.
- 13) C.N.E.N.: Manuale di Fisica Sanitaria del C.S.N. Casaccia. Ed. 1966.
- 14) Relazione di missione dell'ing. Cudia (OPEC-C.S.N. Casaccia) in USA. Proceeding of the 16 th Conference on Remote Systems Technology - marzo 1969.
- 15) C.N.E.N.: Rapporto di sicurezza del Laboratorio operazioni calde - C.S.N. Casaccia - RTI/OPEC (69)9. Novembre 1968.
- 16) C. Cesarano, G. Fregolent, M. Lauro e C. Mancini-RTM project. Preliminary Specifications for the hot operations Laboratory. OPEC - febbraio 1963.
- 17) J. Vertut, R. Serau e J.P. Guilbaud: Systeme normalisé de moyens techniques de protection et amelioration de la securité dans les laboratoires chauds - C.E.N. Saclay IAEA SM 125/50 ottobre 1969.

- 18) N.V. Steere - Handbook of Laboratory Safety - Tables of Chemical hazard information. Sez.12 1967.
- 19) Merck index - 1969.
- 20) Riassunto del Seminario del dott. F. Gera dal titolo: "criteri di gestione dei rifiuti radioattivi in USA" - C.N.E.N. - PROT.SAN/03/70-22 dicembre 1970.

ELENCO DELLE FIGURE

Fig. 1	- LIS - Reparto Ricerca - Pianta piano terra.	pag. 22 - 23
Fig. 2	- " " " " " - Sezione longitudinale ala ovest.	" 22 - 23
Fig. 3	- " " " " " - Pianta piano 1°.	" 22 - 23
Fig. 4	- " " " " " - Prospetto ovest.	" 22 - 23
Fig. 5A	- " " " " " - Pianta Laboratorio caldo.	" 40 - 41
Fig. 5B	- " " " " " - Sezione longitudinale Laboratorio caldo.	" 40 - 41
Fig. 6	- C.S.N. Casaccia - Planimetria generale.	" 46 - 47
Fig. 7A	- Celle calde - Vista frontale.	" 50 - 51
Fig. 7B	- Celle calde e camera di isolamento	- Pianta. " 50 - 51
Fig. 7C	- Celle calde e camera di isolamento	- Sezione trasversale. " 50 - 51
Fig. 8	- Trasferitore per soli di radionattivi	" 54 - 55
Fig. 9	- Schema funzionale impianto di filtrazione assoluta per il Laboratorio caldo.	" 74 - 75
Fig.10	- Quadro elettrico Laboratorio caldo.	" 82 - 83
Fig.11	- L.I.S. Reparto Ricerca - Rete scarichi attivi.	" 88 - 89
Fig.12	- Serbatoio di raccolta scarichi attivi.	" 90 - 91
Fig.13	- Schema generale sistema di allarme del Reparto Ricerca.	" 94 - 95
Fig.14	- L.I.S. - Reparto Ricerca - Circolazione del personale.	" 48 - 49
Fig.15	- Idem c.s. - Area controllata.	" 48 - 49



**26. 4. 72**