

Il reattore Ispra - 2

S. BARABASCHI, U. FARINELLI, R. ZONA *

Descrizione del reattore Ispra-2, del tipo a piscina, moderato ad acqua naturale, riflesso a grafite e destinato a funzionare a bassa potenza (10-100 kW) con raffreddamento per convezione naturale. Tale reattore che è divenuto critico per la prima volta il 15 dicembre 1961 è attualmente installato nella « vasca gamma » che fa parte degli impianti ausiliari dell'Ispra-1. In seguito il reattore verrà smontato e sistemato nella sua versione definitiva nel Centro di Studi della Casaccia.

Swimming-pool-type-reactor Ispra-2, light water moderated, graphite reflected, cooled by natural convection is described. The reactor will operate at low power 10-100 kW. This reactor became critical the first time on december 15th, 1961, and is installed at present in gamma-tank of Ispra-1 auxiliary facilities. Afterwards the reactor will be dismantled in order to be installed in Nuclear Center of Casaccia.

L'Ispra-2 è un reattore del tipo a piscina moderato ad acqua naturale, riflesso a grafite e destinato a funzionare a bassa potenza (10÷100 kW) con raffreddamento per convezione naturale.

È stato costruito allo scopo di dotare i laboratori del C.N.E.N. di uno strumento atto a compiere determinate misure ed esperienze nel campo della fisica dei reattori interessanti alcuni progetti avanzati.

Esso verrà utilizzato essenzialmente per:

misure per oscillazione e per attivazione di spettri neutronici ed integrali di risonanza; misure di reattività di elementi di combustibile.

Nella progettazione sono stati tenuti presenti i seguenti fattori:

semplicità di operazione;
basso costo di costruzione;
esecuzione in Italia dei vari componenti.

Si è quindi scelta la soluzione a piscina per le sue caratteristiche di sicurezza, flessibilità di impiego, praticità di operazione, e si è pensato di utilizzare gli elementi di combustibile del primo nocciolo dell'Ispra-1 solo parzialmente bruciati (*burn-up* valutato $\approx 2,66\%$).

Il disegno dei vari componenti è stato condotto cercando di unire alla semplicità delle soluzioni anche l'interesse di un'esperienza di costruzione da parte di ditte nazionali.

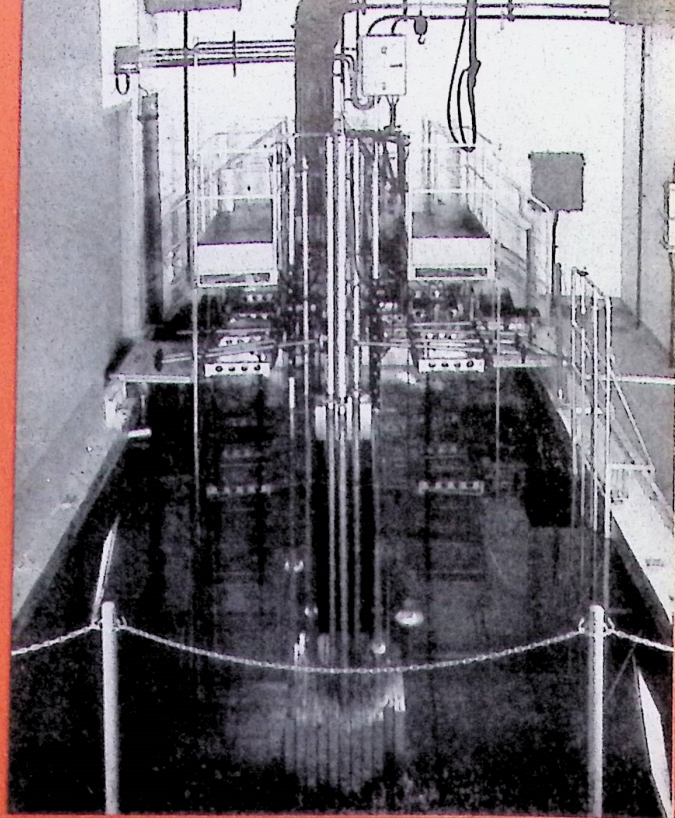
Il reattore è stato installato nella « vasca gamma » che fa parte degli impianti ausiliari dell'Ispra-1.

Questa sistemazione deve essere considerata provvisoria in quanto la vasca gamma, anche se possiede alcune delle caratteristiche che consentono di installarvi un reattore di questo tipo, è pur sempre stata progettata per altri scopi e presenta pertanto alcuni inconvenienti.

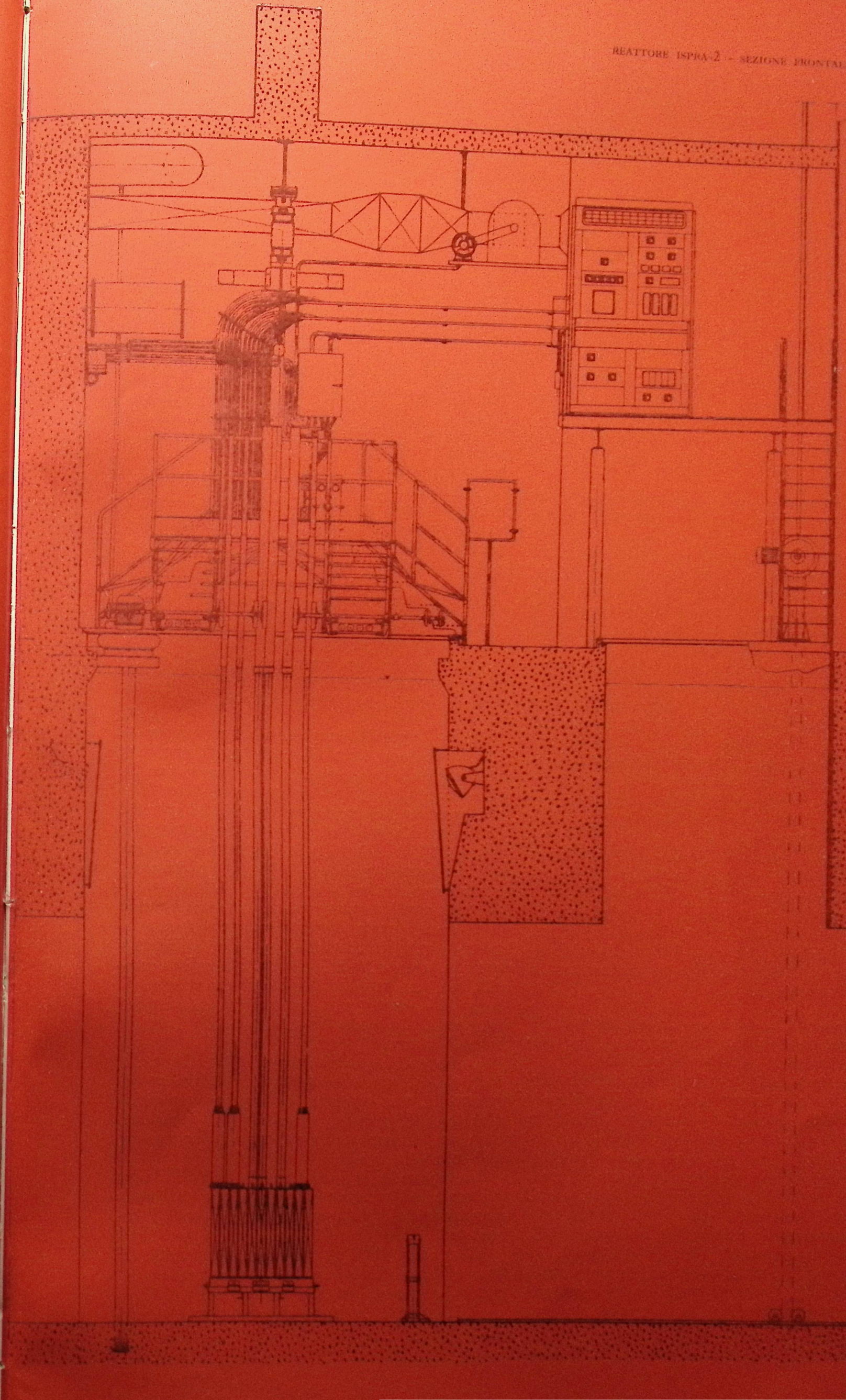
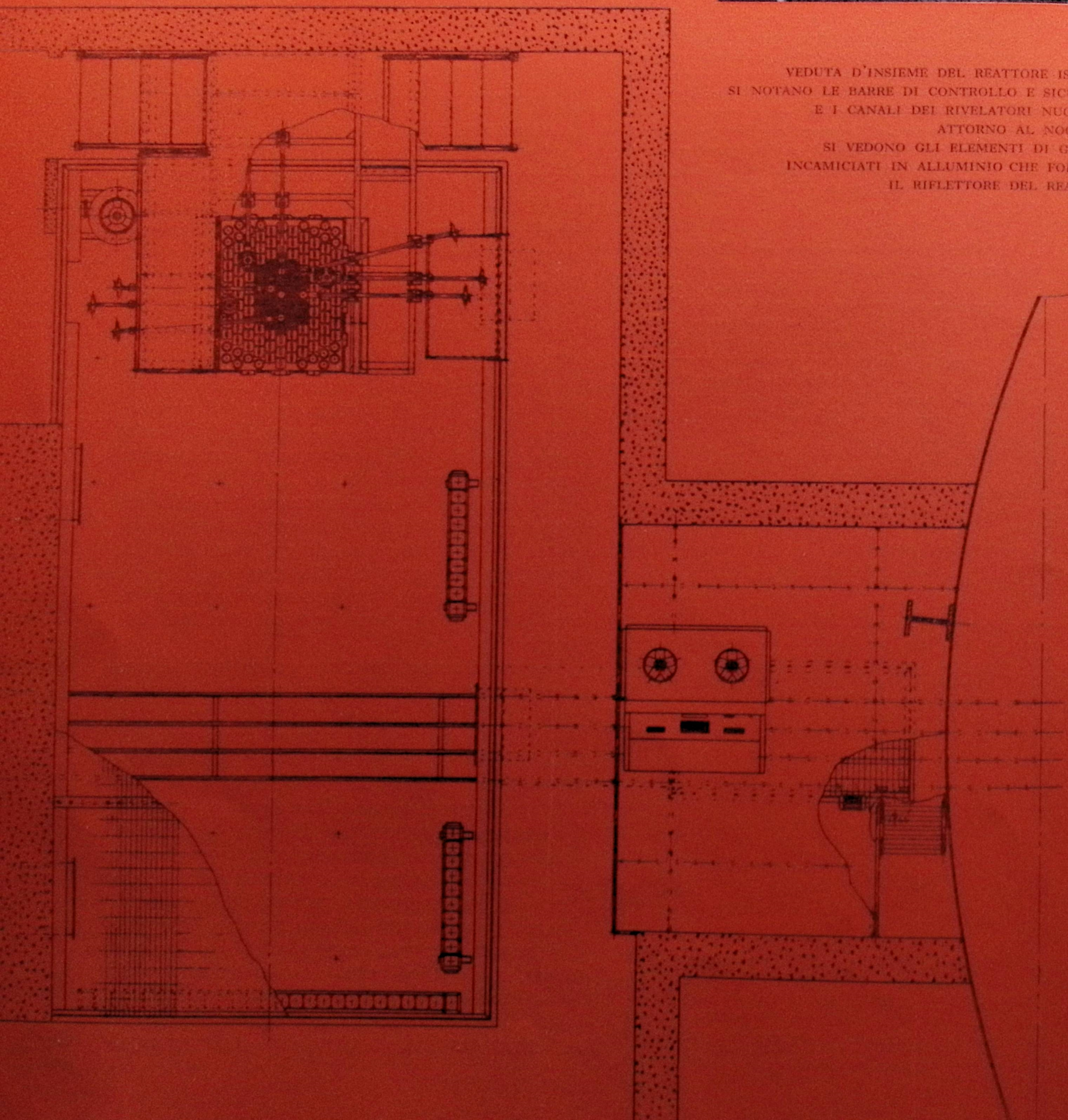
È stato quindi previsto che dopo un periodo di funzionamento di 15÷20 mesi, il reattore verrà smontato e sistemato nella sua versione definitiva nel Centro di Studi Nucleari della Casaccia. Nel frattempo, mentre ad Ispra verrà completata una parte del programma sperimentale (misure con oscillatore pilare), alla Casaccia verranno allestiti il locale e la vasca destinata ad accogliere il reattore e gli impianti relativi.

Il lavoro di progetto dell'Ispra-2 è iniziato nell'estate del 1960 e la costruzione e il montaggio

(*) S. Barabaschi, Direttore del Laboratorio di Ingegneria e Servomeccanismi Reattori del C. N. E. N. ; U. Farinelli, Laboratorio Fisica e Calcolo Reattori del C.N.E.N. ; R. Zona, Capo Gruppo Meccanica dei Reattori, Laboratorio Ingegneria e Servomeccanismi Reattori del C.N.E.N.



VEDUTA D'INSIEME DEL REATTORE ISPRA-2.
SI NOTANO LE BARRE DI CONTROLLO E SICUREZZA
E I CANALI DEI RIVELATORI NUCLEARI.
ATTORNO AL NOCCIOLO
SI VEDONO GLI ELEMENTI DI GRAFITE
INCAMICIATI IN ALLUMINIO CHE FORMANO
IL RIFLETTORE DEL REATTORE



sono stati ultimati alla fine del 1961. Infine il 15 dicembre 1961 si è concluso felicemente il primo esperimento critico durante il quale non si è riscontrato nessun inconveniente e nessun intervento spurio del sistema di controllo.

DESCRIZIONE GENERALE

Il reattore è sostanzialmente costituito dal nocciolo sistemato sul fondo della vasca e formato da elementi di combustibile tipo M.T.R. circondati da una corona di elementi riflettenti in grafite.

Tutti gli elementi sono montati verticalmente su di una piastra di base poggiata su una struttura di sostegno.

Alcuni elementi di combustibile speciali contengono l'alloggiamento per le barre di controllo grossolano e di sicurezza, mentre in appositi elementi riflettenti sono previsti gli alloggiamenti per la barra di regolazione, le camere a ionizzazione ed i contatori.

Sugli elementi speciali poggiano dei tubi guida che sono prolungati fino a sporgere sulla superficie dell'acqua.

Sulla estremità superiore dei tubi guida sono installati i meccanismi di spostamento delle barre ed i sistemi di posizionamento delle camere.

Ogni complesso tubo guida-meccanismo è mantenuto in posizione verticale da un'asta posizionatrice fissata con slitte ad una delle due rigide mensole in profilati di acciaio che sporgono a sbalzo sulla vasca.

Un ponte di operazione a forma di U, anche esso a sbalzo sulla vasca, sovrasta l'area del nocciolo e permette l'esecuzione, mediante le apposite attrezzature, di tutte le operazioni di carica, variazioni di configurazione, ecc. che possono essere effettuate sul nocciolo.

Altri impianti ed apparecchiature accessorie completano il reattore.

Il sistema di controllo è montato in una consolle spostabile di modeste dimensioni sistemata su di un soppalco a lato della vasca.

Nella consolle sono riuniti: la strumentazione nucleare ed ausiliaria, le segnalazioni ed allarmi, i comandi delle barre e gli indicatori di posizione, il sistema di monitoraggio e gli alimentatori di tutto il complesso.

Struttura del nocciolo — Le strutture di sostegno del nocciolo sono composte da una piastra di base e dal relativo supporto.

La funzione della piastra di base è di permettere un flessibile montaggio del nocciolo in modo da realizzare tutte le configurazioni consentite dalla geometria stessa degli elementi.

La piastra è ottenuta da una lastra laminata di alluminio successivamente lavorata all'utensile nella quale sono praticati i fori destinati ad alloggiare i boccagli.

Gli elementi di combustibile presentano alla estremità superiore ed inferiore due anelli internamente filettati sui quali venivano avvitati il boccaglio e la prolunga, nella loro precedente utilizzazione nel reattore Ispra-1. Adottando un

reticolo quadrato, la presenza degli anelli avrebbe portato a distanziare eccessivamente gli elementi per un nocciolo moderato ad acqua ordinaria. Si è quindi dovuto ricorrere ad un reticolo a maglia triangolare.

Tutti gli elementi di combustibile sono muniti all'estremità inferiore di un boccaglio che ne permette il montaggio verticale sulla piastra e all'estremità superiore di un anello con gancio.

Dato che tutti gli elementi sono già stati utilizzati nell'Ispra-1 e sono quindi attivi, il montaggio del boccaglio e dell'anello è stato effettuato sott'acqua nella vasca gamma mediante un'apposita attrezzatura.

L'accoppiamento tra i boccagli ed i corrispondenti fori della piastra è scelto in modo da assicurare un'agevole introduzione anche nel caso di formazione di pellicole di ossido, inoltre l'appoggio avviene su di una superficie conica in modo da eliminare il gioco dell'accoppiamento e far sì che gli elementi rimangano rigidamente posizionati.

Il riflettore in grafite è costituito da 95 elementi, tra standard e speciali, realizzati con un tubo in alluminio a sezione rettangolare, alto quanto un elemento di combustibile, che costituisce la camicia dei parallelepipedi di grafite.

Alle due estremità di questo tubo sono saldati il boccaglio inferiore e l'elemento di chiusura superiore.

Si è scelta la soluzione di suddividere il riflettore in elementi per poter seguire le configurazioni del nocciolo realizzando uno spessore di riflettore il più possibile uniforme.

Barre di controllo e meccanismi di spostamento —

Il reattore è provvisto di tre barre di sicurezza e di regolazione grossolana e di una barra di regolazione fine. Tutte le barre sono identiche e si spostano alla medesima velocità (5 mm/s). La barra di regolazione è priva del sistema di sgancio ed è alloggiata nel riflettore mentre quelle di sicurezza sono alloggiate negli elementi di combustibile speciali.

Ogni barra è costituita da una robusta camicia di alluminio lunga circa 80 cm a sezione rettangolare a spigoli arrotondati rivestita all'interno con una lastra di cadmio spessa 1,5 mm e riempita con una miscela di polveri di carburo di boro di varie granulometrie con densità 1,6 g/cm³. La parte assorbente della barra è lunga 650 mm.

Una barra di questo tipo completa di tutte le parti solidali con essa durante la caduta susseguente ad uno sgancio, ha un peso specifico globale di 6 g/cm³. È stato rilevato sperimentalmente che questa barra cade in acqua per 600 mm - in 0,45 s.

Un tirante di acciaio inox attraversa la barra e termina all'estremità superiore con un codolo filettato per il collegamento con l'asta di comando.

Una barra di sicurezza situata a metà del raggio del nocciolo fornisce una reattività negativa, per completa inserzione, pari a 1,53 % $\Delta k/k$, mentre la barra di regolazione situata

nella prima corona di elementi riflettenti fornisce lo 0,5 % $\Delta k/k$.

Complessivamente le quattro barre danno il 5,6 % $\Delta k/k$.

Le barre di controllo sono vincolate ad aste di comando che scorrono nei tubi guida e che portano superiormente l'ancora di collegamento con il magnete che realizza il sistema di sgancio.

Lo spostamento del magnete e quindi della barra è effettuato da un meccanismo del tipo vite-dado azionato da un motore bifase, tutto contenuto in un tubo di ingombro estremamente ridotto montato, con attacco intercambiabile, sul tubo guida al di sopra della superficie dell'acqua.

L'indicazione della posizione è ottenuta per ogni barra mediante un sincro trasmettitore azionato dal meccanismo di spostamento e da un sincro ricevitore sistemato nella consolle.

Questo è accoppiato ad un semplice strumento che fornisce un'indicazione fine ed una grossolana della posizione della barra.

SISTEMA DI CONTROLLO

Il reattore è controllato dalla posizione delle quattro barre ed il controllo è effettuato manualmente dall'operatore mediante i pulsanti di comando delle barre sulla scorta delle indicazioni ricevute dalla strumentazione.

La strumentazione è strettamente semplificata e si articola essenzialmente su un canale di potenza, due canali lineari di sicurezza e lettura e un canale di sicurezza.

Le caratteristiche principali di questo sistema di controllo sono la completa transistorizzazione di tutte le apparecchiature elettroniche e la mancanza dei canali di periodo.

La realizzazione di sistemi a transistor presenta vantaggi di durata, robustezza, piccole dimensioni e semplicità. Di contro si ha una maggiore sensibilità alle variazioni di temperatura fino a 50° C con ottimi risultati.

Per quanto riguarda l'abolizione dei canali di periodo, questa decisione è stata presa in seguito ad uno studio comparativo sull'efficienza di un segnale derivato da un canale di periodo oppure da un canale lineare con sgancio al fondo scala ed estrazione impedita dalle barre per indicazione inferiore al 10 % del fondo scala.

Tale studio è stato eseguito dal dott. Barabaschi e dall'ing. Mathis servendosi del simulatore installato presso il Laboratorio Ingegneria e Servomeccanismi Reattori.

È stata simulata l'inserzione di rampe di reattività di diverse pendenze; da reattore critico e sottocritico, registrando la massima escursione di potenza verificatasi prima dello sgancio comandato dall'uno e dall'altro tipo di segnale.

Dalle curve fornite dalla macchina si è rilevato come l'azione del canale lineare sia più pronta di quella dovuta al canale di periodo e l'escursione di potenza risulti quindi minore.

Ciò è dovuto al fatto che nel canale di periodo, per limitare il numero di sganci spuri, occorre realizzare a valle dell'elemento logaritmico una

funzione di trasferimento, contenente, oltre allo zero nell'origine, un polo o meglio una coppia di poli.

La presenza di tale coppia di poli, che è bene siano coincidenti per rendere massima la prontezza di risposta a pari attenuazione del rumore, rispetto a quanto si avrebbe per poli non coincidenti, limita il rumore in uscita e quindi la possibilità di sganci spuri, ma rende altresì lenta la risposta.

In questo sistema di controllo si è realizzata per alcuni segnali di sgancio una logica 2 su 3 per cui i segnali provenienti da 3 canali indipendenti provocano lo sgancio solo se si ha la coincidenza di due segnali, mentre il segnale singolo dà un semplice allarme.

Questo consente una riduzione di sganci spuri ed una maggiore sicurezza del sistema.

I componenti del sistema di controllo si possono suddividere in:

- Strumentazione nucleare (canali nucleari)
- Strumentazione non nucleare
- Allarmi e segnalazioni
- Sistema di sicurezza
- Controllo

Strumentazione nucleare (canali nucleari)

Rivelazione di neutroni

- canale di partenza
- canale di sicurezza
- 1° canale lineare
- 2° canale lineare (cambio scala)
- (prove e taratura)

Rivelazione di radiazioni

- canale monitoraggio vasca
- canale monitoraggio ponte operazione
- canale monitoraggio ambiente vasca
- canale monitoraggio deionizzatori

Strumentazione non nucleare

- temperatura acqua vasca
- conducibilità acqua vasca
- livello portata demineralizzatore
- pressione relativa locale vasca

Sistemi di sicurezza

- circuito di sgancio ed eccitazione magneti

Controllo

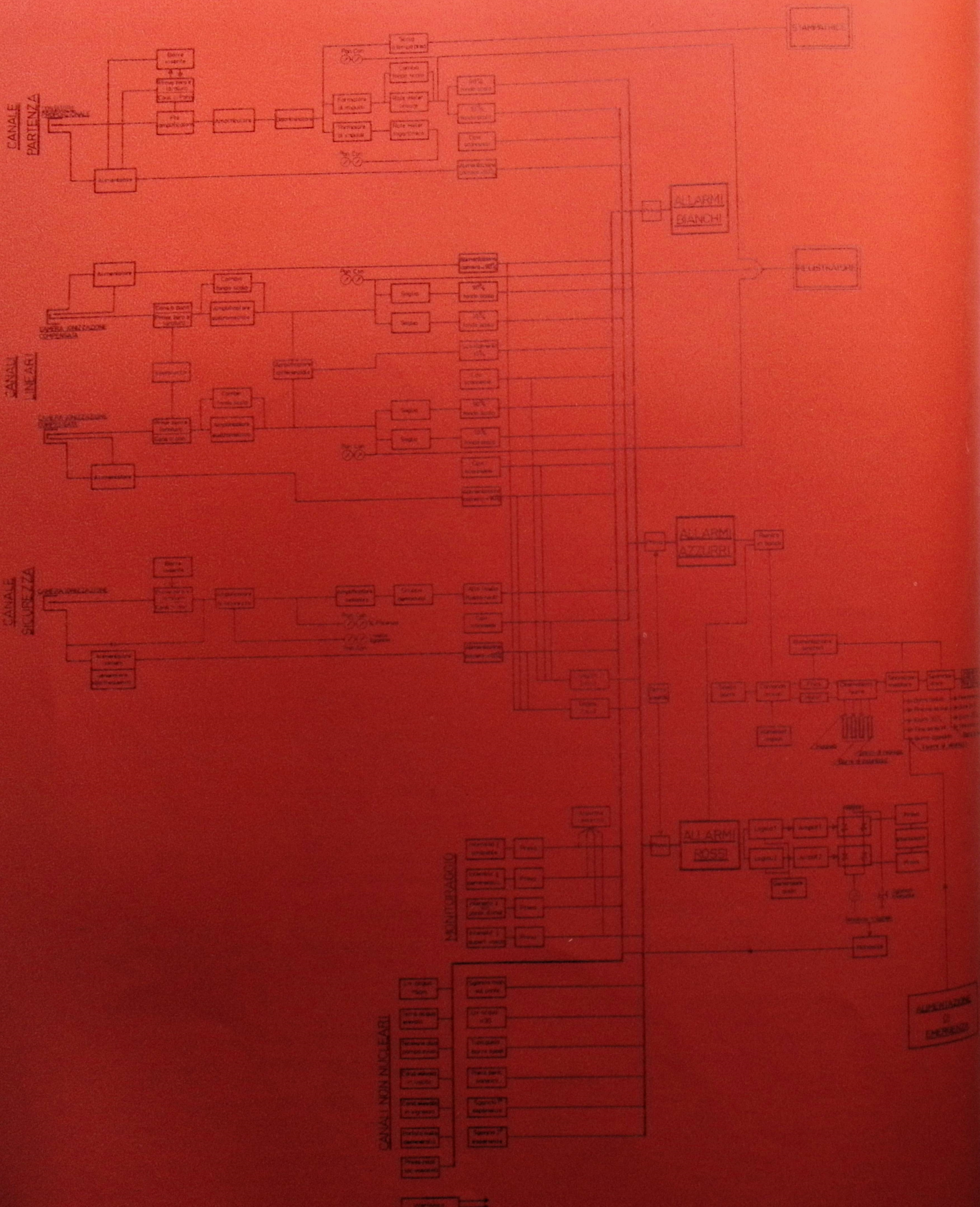
- comando barre
- indicatore posizione barre

Allarmi e segnalazioni

- sistema di allarme e segnalazioni
- prova allarmi e segnalazioni

Il sistema di controllo è raccolto in un'unica consolle chiusa, di modeste dimensioni, costituita da due rack standard affiancati. La consolle porta anteriormente a sbalzo per l'intera lun-

REATTORE ISPRA-2 - SCHEMA A BLOCCHI DEL SISTEMA DI CONTROLLO



ghezza un ripiano inclinato (ripiano comandi) completato da uno scrittoio mentre in alto è situato il pannello allarmi e segnalazioni.

I pannelli corrispondenti alle varie apparecchiature sono sistemati nel seguente modo:

Rack sinistro dall'alto

chassis allarmi bianchi (dietro il pannello allarmi)

pannello canale sicurezza

pannello scala a tempo predeterminato

pannello strumenti e registratore

sotto il ripiano

pannello alimentatore emergenza

pannello alimentatore consolle

pannello alimentatore ausiliario

Rack destro dall'alto

chassis allarmi rossi-blu (dietro il pannello allarmi)

pannello canali lineari

pannello canale di partenza

pannello strumenti

pannello indicatore posizione barre

sotto il ripiano

circuiti di sgancio ed eccitazione magneti

pannello di monitoraggio

pannello comando motori barre.

Sul ripiano trovano posto gli interruttori a chiave della consolle, il pulsante di sgancio, i pannellini comando barre, prova allarmi e segnalazioni, cambio scale, prove zero e taratura.

Tutte le pareti della consolle sono facilmente smontabili per l'ispezione.

CENNI SUL PROGRAMMA SPERIMENTALE

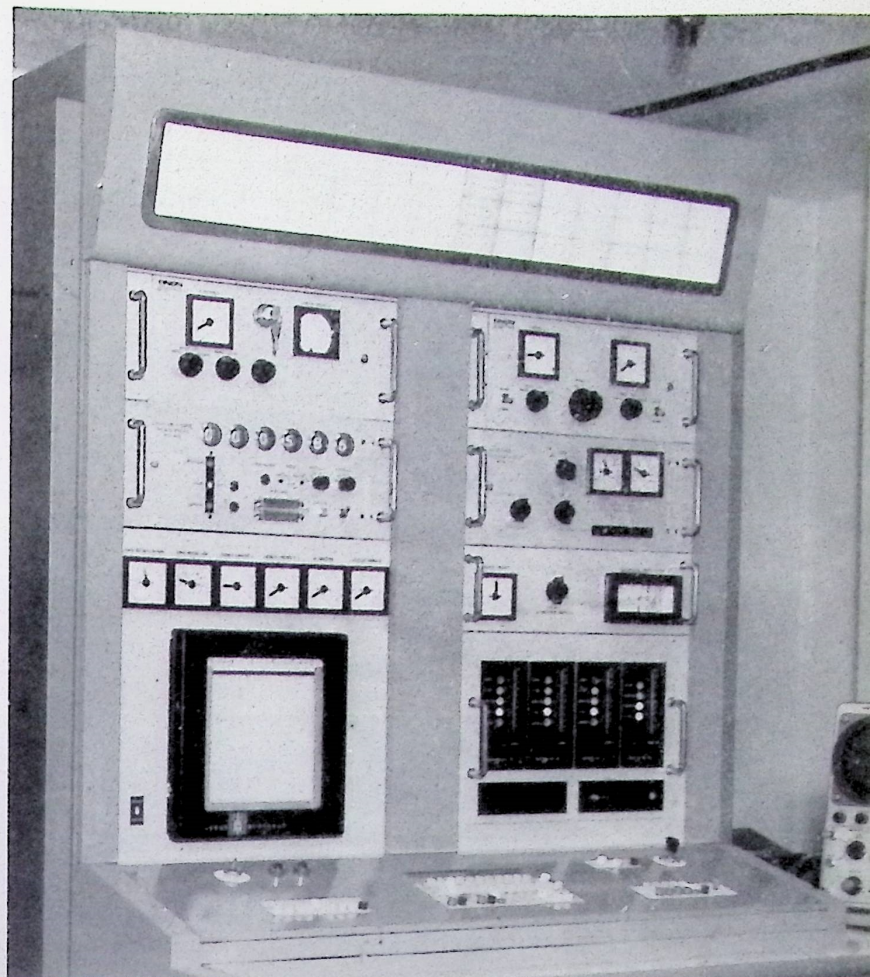
La principale utilizzazione del Reattore Ispra-2 sarà, come si è detto, la misura di integrali di risonanza e di spettri neutronici in zona epitermica con metodi di oscillazione.

L'oscillatore di reattività è installato nella posizione centrale della piastra al posto di un elemento di combustibile.

Lo spostamento del campione (un contenitore cilindrico di circa 25 cm^3 per le prime esperienze) è ottenuto mediante una circolazione programmata di acqua in un tubo verticale che sposta il contenitore dal centro del nocciolo ad una posizione $\sim 50 \text{ cm}$ al di sopra. Con opportune variazioni del percorso dell'acqua è pure possibile estrarre e sostituire il campione.

Un circuito di prova è stato realizzato con la sezione di prova in plexiglas per verificare con misure fotoelettriche la legge del moto del campione. Il tempo di spostamento tra le due posizioni di oscillazione è circa $0,25 \text{ s}$.

Il flusso neutronico durante l'oscillazione viene misurato da una camera di ionizzazione compensata per i gamma: la componente continua viene poi eliminata iniettando una corrente nota e valutandone l'eventuale residuo mediante un integratore.



CONSOLLE DI CONTROLLO DEL REATTORE ISPRA-2. SI POSSONO OSSERVARE A DESTRA DALL'ALTO: GLI INDICATORI DI ALLARME, I CANALI LINEARI, IL MISURATORE DI FREQUENZA MEDIA, GLI INDICATORI DI POSIZIONE DELLE BARRE. A SINISTRA: GLI INDICATORI DI ALLARME, IL CANALE DI SICUREZZA, IL CONTATORE A TEMPO PREDETERMINATO, I VARI INDICATORI NUCLEARI ED IL REGISTRATORE DELLA POTENZA DEL REATTORE

La componente oscillante viene moltiplicata per $\sin \omega t$ e $\cos \omega t$ (forniti da un generatore facente parte del comando dell'oscillatore) mediante due servomoltiplicatori di precisione.

I risultati delle moltiplicazioni vengono integrati su un numero intero di cicli.

Si misureranno anzitutto integrali di risonanza a diluizione infinita mediante confronto con soluzioni titolate di boro, di oro e di altre sostanze con integrali di risonanza perfettamente noti.

Le misure verranno eseguite in vari spettri neutronici ottenuti inserendo fasce di materiale moltiplicante nella cavità intorno all'oscillatore. I risultati verranno analizzati dapprima mediante un semplice modello alla Westcott per il flusso, poi mediante modelli a più parametri.

Molte determinazioni di questo tipo sono tuttora da eseguire: altre sono state eseguite in modo molto impreciso o con risultati in disaccordo con quelli delle misure differenziali.

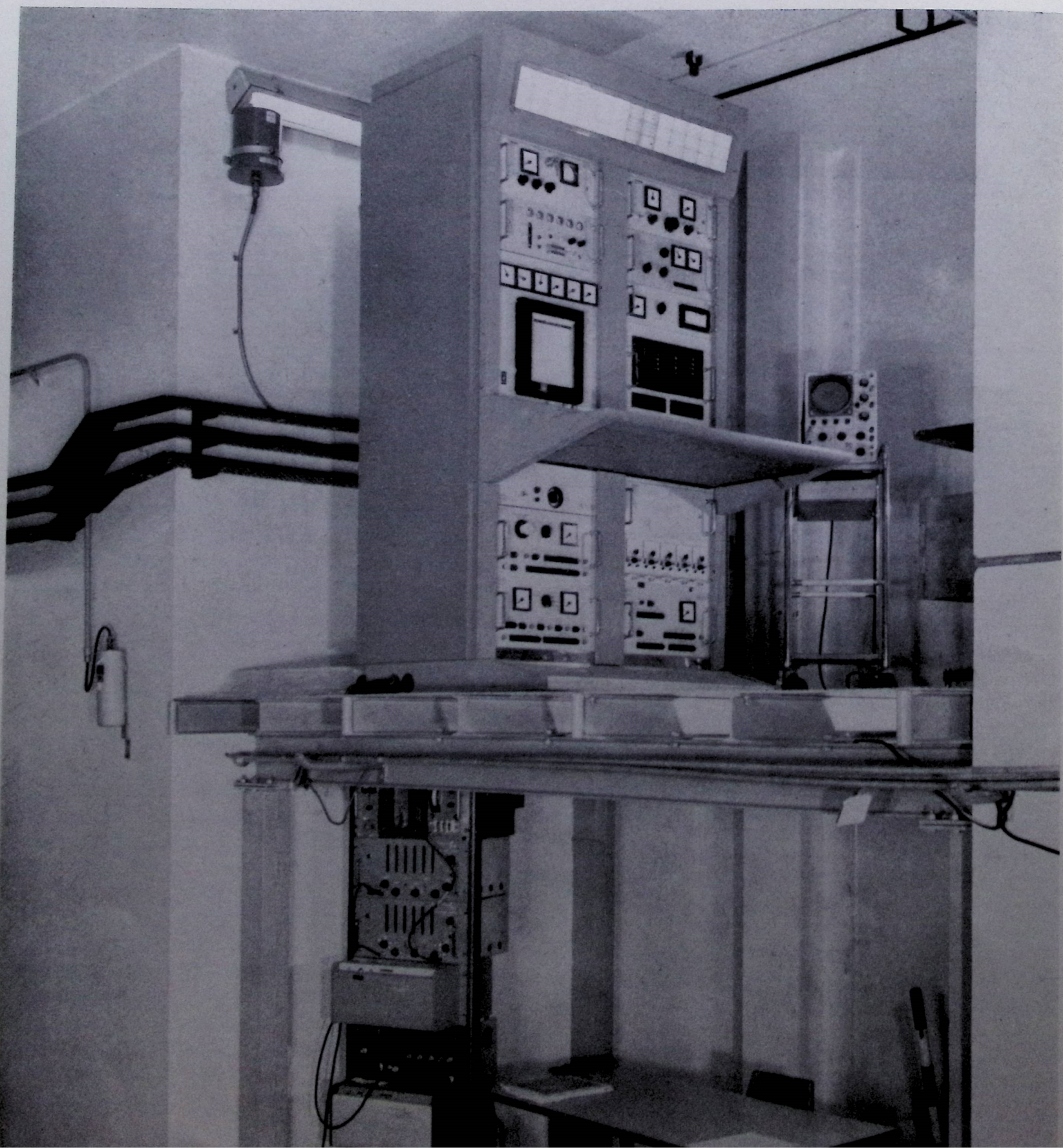
Si pensa di eseguire anche misure su nuclei radioattivi, in particolare su taluni prodotti di fissione importanti per lo studio dei cicli di combustibile.

Altre misure riguarderanno gli integrali di risonanza effettivi di soluzioni non molto di-

luite, in funzione della concentrazione. Questi sono difficilmente valutabili a partire da quelli a diluizione infinita quando si voglia tener conto, oltre dello *scattering* dell'idrogeno anche dello *scattering* dell'ossigeno, per cui non vale né l'ipotesi di risonanza stretta né quella di massa infinita.

Altre misure potranno riguardare miscele omogenee di assorbitori di risonanza con moderatori diversi dall'acqua (nel qual caso occorrerà misurare separatamente l'effetto del moderatore); e di campioni solidi, anche in relazione ad un programma di studio di integrali di risonanze in reticoli ad acqua, attualmente in corso presso il nostro laboratorio.

LA CONSOLLE DI CONTROLLO
DEL REATTORE ISPRA-1.
NOTARE LA COMPATTEZZA DELLA REALIZZAZIONE
OTTENUTA CON APPARECCHIATURE
COMPLETAMENTE TRANSISTORIZZATE
PROGETTATE E COSTRUITE
DAL C.N.E.N.
NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA S.C.I.N.



Tipo	a piscina
<i>Combustibile</i>	
materiale	U^{235}
lega del combustibile	42 % U arricchito al 20 % in U^{235} , 3 % Si , 55 % Al
lega dell'incamiciatura	Al 99 %, $Fe + Si$ 1% (max), Cu 0,2%, Mn 0,05%, Zn 0,1% (min), altri 0,15%
tipo di elementi	M.T.R. con 16 lamelle
n. elementi	27
massa critica prevista	3.940 g U^{235} per configurazione senza elemento centrale, <i>burn-up</i> 2,66 %, temperatura 40°C
<i>Moderatore</i>	
materiale	H_2O
volume	circa 96.000 cm ³
<i>Riflettore laterale</i>	
materiale	grafite
forma	toroidale
altezza	60 cm
spessore	30 cm
<i>Refrigerante</i>	
	H_2O
<i>Controllo</i>	
massima reattività incorporata	0,02 $\Delta k/k$
coefficiente di temperatura	- 0,0002 $\Delta k/k^\circ C$
temperatura alla quale il coefficiente diventa positivo	nessuna
<i>Barre di sicurezza</i>	
numero	3
dimensioni	54 mm $\times$ 25 mm $\times$ 650 mm
materiale	Cd , B_4C
reattività negativa totale per inserzione completa e per tutte le tre barre sistematiche a metà del raggio del nocciolo	0,056 $\Delta k/k$
velocità di inserzione	5 mm/s
<i>Barre di regolazione</i>	
numero	1
dimensioni	54 mm $\times$ 25 mm $\times$ 65 mm
materiale	Cd , B_4C
reattività negativa totale per inserzione completa	0,005 $\Delta k/k$
velocità	5 mm/s
<i>Potenza</i>	
	10 kW (max 100 kW)
<i>Dati nucleari (10 kW)</i>	
flusso neutronico medio termico	$5 \cdot 10^{10}$ n/cm ² s
flusso neutronico max termico	$2 \cdot 10^{10}$ n/cm ² s
flusso neutronico max veloce	$3,5 \cdot 10^{11}$ n/cm ² s