



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

A. MERELLI

UNA RASSEGNA DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA PER LA SICUREZZA NUCLEARE SVOLTE IN ITALIA

IT8800234



**COMITATO NAZIONALE PER LA RICERCA E PER LO SVILUPPO
DELL'ENERGIA NUCLEARE E DELLE ENERGIE ALTERNATIVE**

UNA RASSEGNA DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA PER LA SICUREZZA NUCLEARE SVOLTE IN ITALIA

A. MERELLI

**ENEA - Dipartimento Protezione Ambientale e Salute dell'Uomo,
Centro Ricerche Energia Casaccia**

RT/PAS/88/25

Testo pervenuto nel luglio 1988
Progetto Enea: Ricerche di sicurezza e interazioni ambiente-impianto (EC)

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'Enea
rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'ente.

RIASSUNTO

Nel 1986 è stata effettuata una rassegna delle attività di ricerca per la sicurezza degli impianti nucleari sviluppate in Italia; la rassegna è stata svolta nel quadro delle iniziative della Commissione delle Comunità Europee, dell'Agenzia Internazionale Energia e dell'Agenzia Energia Nucleare dell'OCSE.

Il rapporto contiene informazioni su questi programmi ed indicazioni sia sull'organizzazione delle ricerche di sicurezza in Italia, sia sull'evoluzione dei programmi in materia.

SUMMARY

A review of research programs carried out in Italy in the field of nuclear reactor safety was done in 1986, in the frame of the activities of the Commission of the European Communities, the International Energy Agency and the Nuclear Energy Agency of the Organization for Economic Cooperation and Development.

The report contains information on these programs, as well as information on the organization of safety research in Italy and the evolution of safety research programs.

È stato pubblicato di recente il "Nuclear Safety Research Index - Italy", censimento delle attività di ricerca per la sicurezza degli impianti nucleari sviluppate in Italia nel 1986. Si tratta della nona edizione di una rassegna effettuata — con cadenza inizialmente annuale, ora biennale — nel quadro delle iniziative dell'Agenzia internazionale energia, dell'Agenzia energia nucleare dell'Ocse e della Commissione delle Comunità europee. Diversi dei paesi appartenenti a tali organismi partecipano alla raccolta sistematica e periodica di informazioni sulle ricerche svolte nel campo della sicurezza nucleare; la diffusione degli elementi così ottenuti tende ad un coordinamento dei programmi, allo scambio di dati tra le organizzazioni interessate, all'eliminazione di duplicazioni.

Le attività descritte nel "Nuclear Safety Research Index" studiano fenomeni, materiali, componenti, sistemi, processi con il fine specifico di ridurre al minimo la probabilità di incidenti in impianti nucleari o, comunque, di contenere il più possibile le conseguenze di eventuali incidenti.

Possono essere classificate come ricerche "di sicurezza" quelle che, per gli aspetti ingegneristici, si prefiggono l'ottenimento di cognizioni, la formulazione di criteri, l'individuazione di accorgimenti costruttivi, la realizzazione di sistemi miranti al contenimento delle sostanze radioattive all'interno degli impianti nucleari, a fronte di eventi anomali di origine sia interna sia esterna agli impianti stessi.

Nell'"Index" sono quindi descritte ricerche che trattano la fenomenologia degli "stati limite" nel funzionamento degli impianti (es.: il flusso termico critico), l'esame del comportamento di componenti in condizioni anomale (es.: in campo termoidraulico), lo studio di transitori che possono generare il superamento degli stati limite e l'esame della risposta del sistema impiantistico, lo studio di eventi esterni che possono determinare situazioni di pericolo (es.: sismi) e l'individuazione di criteri o sistemi atti a garantire il comportamento sicuro di impianti o componenti anche a fronte di sollecitazioni ambientali particolarmente gravose, la messa a punto di metodi diagnostici per il monitoraggio di situazioni anomale, la fenomenologia dei processi che si possono verificare dopo il superamento degli stati limite in

condizioni di minore o maggiore importanza (es.: circolazione naturale, comportamento dell'idrogeno nei sistemi di contenimento), l'individuazione e lo studio di apparati per garantire un adeguato comportamento degli impianti qualora siano state superate le condizioni limite (es.: sperimentazioni relative ai sistemi di refrigerazione d'emergenza), lo studio di interventi non usuali su impianti con problemi di contenimento di radioattività (es.: operazioni di taglio), lo sviluppo di metodologie per l'individuazione e la trattazione delle cause che possono determinare situazioni anomale.

In sintesi, tali ricerche mirano da una parte a studiare le condizioni limite nel funzionamento degli impianti nucleari e a prevenire il superamento di queste condizioni; dall'altra, a mitigare le conseguenze qualora le condizioni limite siano state comunque superate. Si tratta di attività aggiuntive rispetto a quelle che rientrano nei lavori di realizzazione impiantistica e che hanno connotazioni di sicurezza, anche con caratteristiche di studio o di indagine. Com'è noto, infatti, le normali attività di progettazione, costruzione, collaudo, controllo di impianti e di altre opere includono in genere la componente "sicurezza", in primo luogo per la presenza intrinseca di un principio di "verifica dell'esistenza di margini adeguati rispetto a situazioni di pericolosità" e, di conseguenza, in relazione all'individuazione o all'applicazione di criteri o coefficienti di sicurezza, all'inglobamento di risultati di ricerche o prove precedenti (es.: sollecitazioni limite, apparati di sicurezza), all'effettuazione di indagini ad hoc (es.: prove su simulatore), alla messa a punto o all'applicazione di metodologie o normative. Naturalmente, il limite tra le ricerche "di sicurezza" e quelle "progettuali" non è sempre facilmente individuabile, cosicché diverse ricerche (tipicamente quelle sulle "condizioni limite") possono essere ascritte correttamente all'una o all'altra categoria.

Nel campo degli impieghi pacifici dell'energia nucleare, gli aspetti di sicurezza hanno avuto fin dall'inizio un grande rilievo: gli impegni dedicati alle ricerche in materia hanno consentito la realizzazione di un insieme imponente di cognizioni, di criteri, di apparati, di normative, che non trova riscontro in altri

settori industriali. Le attività descritte nell'“Index” rappresentano un ulteriore sforzo di ricerca e tendono ad un affinamento di quanto già acquisito nel campo della sicurezza, anche al fine di una riduzione di eccessivi margini di conservativismo, per esempio mediante lo studio di parametri ambientali locali, senza nulla sacrificare alle necessarie garanzie. Dette ricerche sono inserite in un ampio contesto internazionale di scelte programmatiche, di scambi di informazioni, di collaborazioni; è opportuno osservare a tale riguardo che l'importanza delle problematiche di sicurezza nucleare, le caratteristiche del panorama mondiale nucleare, le implicazioni finanziarie delle sperimentazioni hanno determinato già da molto tempo una “internazionalizzazione” del settore dal punto di vista programmatico e, in tempi più recenti, hanno favorito lo sviluppo di importanti programmi di ricerca sulla sicurezza aperti alla collaborazione di varie nazioni.

Per quanto concerne quest'ultimo punto, l'Italia partecipa a diversi progetti internazionali di ricerca sia mediante l'apporto di competenze scientifiche, sia finanziariamente. Tali attività, che nell'“Index” sono esposte in genere nelle sezioni afferenti ai paesi ospitanti i grandi mezzi sperimentali impiegati (cfr. programmi Luce, Loft, Marviken ecc.) e che quindi, in linea di massima, non sono descritte nella sezione italiana, rappresentano un ulteriore contributo di ricerca dell'Italia alla tematica della sicurezza nucleare.

UNA PANORAMICA DELLE ATTIVITÀ

L'“Index” 1986 comprende oltre cento progetti di ricerca svolti in Italia; si tratta di progetti di differenti dimensioni sia in termini di impegno finanziario, sia in termini di coinvolgimento di risorse di personale.

Tali attività possono essere classificate in vari modi: ricerche sulla “prevenzione” di incidenti e ricerche sulla “mitigazione delle conseguenze di eventuali incidenti”; ricerche sull'impianto in quanto tale e ricerche sulle interazioni tra impianto ed ambiente ecc. Il sistema adottato nell'“Index” raggruppa le attività in due categorie:

— ricerche relative ai reattori termici (sono incluse nella sezione corrispondente le attività interessanti i diversi tipi di impianti nucleari e, in particolare, quelle relative alle interazioni ambiente-impianto);

— ricerche relative ai reattori veloci.

All'interno di ogni categoria viene seguito lo schema di classificazione adottato nell'edizione interna-

zionale del “Nuclear Safety Research Index” (*), articolato in maniera molto dettagliata e basato essenzialmente su raggruppamenti per classi di fenomeni, o processi, o interventi.

Ricerche relative ai reattori termici

Impianto

Un primo importante gruppo di ricerche riguarda il “blowdown” ed il *raffreddamento d'emergenza*: sperimentazioni e sviluppo di modelli matematici sul flusso termico critico, ricerche sulla termoidraulica dei fluidi bifase in transitorio, studio di sequenze incidentali in reattori nucleari — o loro componenti — in seguito a Loca. Per tali attività vengono anche utilizzati impianti sperimentali appositamente realizzati presso vari laboratori italiani (es.: Ieti, Piper-One, Spes). È opportuno notare che in campo sia nazionale sia internazionale questa categoria di progetti vede concentrata gran parte degli sforzi di ricerca sulla sicurezza dell'“impianto”.

Un altro gruppo di attività riguarda i *transitori di potenza*: problemi di stabilità del nocciolo a livello locale o globale, comportamento di componenti d'impianto (generatori, separatori di vapore) a seguito di transitori, monitoraggi; le ricerche coprono aspetti sia di termoidraulica sia di neutronica.

Una terza serie di progetti (che riguardano per vari aspetti anche le “interazioni ambiente-impianto”) tratta i problemi di *contenimento*: transitori di pressione e temperatura in sistemi di contenimento a seguito di Loca, misura di ratei di perdita, trattamento dell'idrogeno che si può sviluppare in contenitori a seguito di incidente di perdita di refrigerante.

Altre importanti attività sono svolte nel settore della *meccanica*: ricerche teorico-sperimentali sulla meccanica della frattura, sul comportamento a fatica di tubazioni, sullo shock termico in contenitori a pressione; sono incluse ricerche sui controlli non distruttivi.

Nel campo dell'*affidabilità* vengono sviluppate ricerche concernenti da un lato l'analisi di dati sul funzionamento di impianti, dall'altro la messa a punto di modelli matematici.

Si segnala, infine, l'avvio di attività nel settore dei *reattori a sicurezza intrinseca*.

(*) I tre volumi del “Nuclear Safety Research Index” contenenti la descrizione dei programmi di ricerca svolti da tutti i paesi dell'Ocse in materia di sicurezza nucleare nel 1986 sono stati pubblicati recentemente dall'Ocse stessa.

Interazioni ambiente-impianto

Un primo rilevante gruppo di attività concerne la *sicurezza degli impianti a fronte di eventi ambientali*: ottenimento di dati sismici di ingresso p. es. mediante reti strumentali appositamente realizzate e mediante studi di sismica storica, ricerche di dinamica strutturale, ricerche interdisciplinari di sismologia ingegneristica. Rientrano in tale categoria le ricerche relative ad eventi di origine antropica (es.: protezione da incendi, studi di meccanica impulsiva).

Un secondo gruppo di attività si riferisce al *trattamento degli effluenti gassosi*: filtrazione ed abbattimento di iodio, gas nobili, particolati. Per lo sviluppo delle ricerche sono state anche realizzate apposite attrezzature sperimentali (es.: circuito Ipf - 8000). Altre ricerche riguardano lo *smantellamento* degli impianti nucleari (sviluppo di metodi di taglio con varie tecniche, ricerche nel campo delle vernici protettive) e determinati aspetti della problematica dei *residui radioattivi* (caratterizzazione di manufatti inglobanti residui dal punto di vista delle interazioni con l'ambiente).

Infine si citano le attività nel settore dei *contenitori di trasporto* per elementi di combustibile e, in genere, per sostanze radioattive, quali la realizzazione di prototipi e la relativa sperimentazione in condizioni di incidente.

Per lo svolgimento delle ricerche sopra evidenziate, con riferimento sia all'"impianto" che alle "interazioni ambiente-impianto", sono stati sviluppati notevoli mezzi di indagine; oltre agli importanti circuiti sperimentali già menzionati si citano - a titolo di esempio - un insieme di attrezzature per la prova di componenti (pompe, valvole ecc.) in varie condizioni operative, un simulatore di impianti nucleari, una rete accelerometrica interessante il territorio nazionale.

Ricerche relative ai reattori veloci

Impianto

Un primo gruppo di ricerche studia aspetti di *sicurezza in campo termo-idraulico e neutronico*: analisi del comportamento di elementi di combustibile a seguito di transitori, studio di meccanismi locali di guasto, analisi di sistemi di monitoraggio.

Una seconda serie di attività riguarda problemi di *meccanica* sia da un punto di vista essenzialmente "di base" (modelli di danneggiamento per fatica oligociclica ecc.), sia da un punto di vista più propriamente "applicativo" (meccanismi di propagazione di danneggiamenti nel nocciolo, studi sui sistemi di contenimento).

Un terzo gruppo di ricerche (di interesse anche per le "interazioni ambiente-impianto") concerne le *perdite di sodio*; es.: interazioni con acqua, comportamento degli aerosol.

Infine, vengono sviluppate attività sull'*affidabilità* dei componenti di reattori veloci (realizzazione di una banca dati).

Interazioni ambiente-impianto

Un primo notevole gruppo di ricerche riguarda la *sicurezza dell'impianto a fronte di eventi sismici*: sviluppo di modelli per l'analisi sismica del nocciolo e verifica sperimentale, studi sul comportamento del Pec (edificio, componenti) in campo sismico, sperimentazioni sul comportamento dei sistemi di sicurezza in caso di terremoto.

Un secondo significativo gruppo di ricerche concerne gli *incendi di sodio*, studiati con approcci teorici e sperimentali (dinamica delle perdite di sodio, sviluppo di sistemi di prevenzione e protezione ecc.). È opportuno osservare che, come già evidenziato per i reattori termici, anche per i reattori veloci sono state realizzate importanti attrezzature sperimentali di ricerca (circuiti termoidraulici, apparecchiature per prove in campo sismico, impianti per ricerche sugli incendi del sodio).

L'ORGANIZZAZIONE DELLE RICERCHE DI SICUREZZA IN ITALIA

Le ricerche di sicurezza sono sviluppate in Italia dall'Enea, dall'Enel, da numerose università, da diversi istituti di ricerca, da industrie; complessivamente circa venticinque organismi, a differenti livelli di impegno, effettuano ricerche nel settore. Le fonti di finanziamento sono rappresentate da circa quindici organizzazioni: Enea (per il 90%), Enel, Cnr, Ministero della pubblica istruzione, università, industrie ed altre organizzazioni.

I risultati delle ricerche di sicurezza trovano applicazione (e quindi corrispondono ad una committenza) sia presso gruppi di controllo e di "licensing", sia presso gruppi di progettazione, realizzazione, esercizio di impianti nucleari.

Le ricerche in molti casi sono svolte dai vari organismi in proprio (es.: ricerche effettuate presso i laboratori dell'Enea, dell'Enel, di varie università, di industrie); in altri casi sono sviluppate nel quadro di contratti di ricerca fra varie organizzazioni: tra Enea ed Università di Pisa, tra Enea ed Ismes, tra Enel e Cise ecc.

Esistono vari accordi di collaborazione, tra i quali si citano - a titolo di esempio - gli accordi dell'Enea

con varie università (in particolare con l'Università di Pisa), con il Cise, con l'Ismes, con il Ministero dei lavori pubblici, con l'Istituto nazionale di geofisica. Devono essere citati anche gli accordi di collaborazione e i contratti di ricerca con organismi internazionali ed organizzazioni estere (es.: Enea-Enel-US Geological Survey, Enea-Cea, Commissione delle comunità europee - Enea). Un particolare rilievo, infine, merita la costituzione della Siet, società per azioni cui partecipano Enea, Cise, Ansaldo, Belleli, Fbrn, Franco Tosi e che sviluppa importanti ricerche di sicurezza in campo termoidraulico.

Le spese sostenute nel 1986 dalle varie organizzazioni italiane nel settore delle ricerche per la sicurezza degli impianti nucleari, incluse le spese di personale, possono essere valutate in circa 42 miliardi di lire; l'incidenza in termini finanziari per le tre voci: reattori termici, reattori veloci, interazioni ambiente-impianto è, indicativamente, del 40%, del 25% e del 35% rispettivamente.

CENNI SULL'EVOLUZIONE DELLE RICERCHE DI SICUREZZA

Un esame comparato tra il panorama delle ricerche di sicurezza sviluppate nel 1986 dai vari paesi dell'Ocse e quanto svolto negli anni precedenti consente di formulare alcune osservazioni sull'evoluzione delle ricerche stesse.

In una prima fase di sviluppo dell'energia nucleare (anni 50-60), gli aspetti di "sicurezza" sono strettamente connessi con quelli "progettuali" e sono spesso orientati all'acquisizione di elementi conoscitivi di tipo fenomenologico per la realizzazione di determinate filiere di reattori.

Con l'affermarsi di ben precise classi di reattori nucleari, e con la relativa penetrazione anche in paesi più interessati alla gestione dei propri impianti che non allo sviluppo di capacità autonome di progettazione e costruzione (anni 70), si va sempre più consolidando una categoria di ricerche di sicurezza autonome rispetto agli aspetti progettuali-realizzativi, centrata essenzialmente su problematiche di "prevenzione" e focalizzata in particolare sullo sviluppo di sistemi di salvaguardia impiantistica in varie situazioni incidentali (es.: sistemi di refrigerazione d'emergenza).

Gli anni 80 vedono da una parte un'ulteriore intensificazione delle ricerche di sicurezza in relazione alla necessità di un affinamento delle cognizioni già acquisite, a fronte di richieste sia di organismi di controllo, sia dell'opinione pubblica; dall'altra, vedono un orientamento delle ricerche verso tematiche non solo di "prevenzione", ma anche di "mitigazione del-

le conseguenze di gravi incidenti".

In particolare, con l'evento di Three Mile Island si ha un'accentuazione delle ricerche su problemi quali la termoidraulica per efflussi da piccole rotture, il trattamento dell'idrogeno all'interno di un contenitore, la generazione e la dinamica degli aerosol, le interazioni uomo-macchina.

L'evento di Chernobyl, pur riferendosi ad un tipo di realizzazione impiantistica totalmente differente da quelle adottate nei paesi dell'Ocse, determina un ulteriore riorientamento delle ricerche di sicurezza sulla tematica degli incidenti gravi: contenimento, filtrazione, processi di "mitigazione".

L'evoluzione delle ricerche di sicurezza in Italia rispecchia, nelle linee essenziali, quanto sopra esposto. Sia nei programmi svolti in proprio dall'Enea e da altri organismi, sia in quelli oggetto di committenza ad organizzazioni esterne si assiste al passaggio da una situazione caratterizzata dal prevalere di ricerche centrate sulla "prevenzione" (termoidraulica del primario, Eccs, sismica ecc.) ad una situazione in cui è sempre più incisiva la presenza di ricerche sulla "mitigazione" (es.: termini di sorgente, filtrazione in condizioni spinte).

Devono poi essere evidenziate alcune connotazioni tipiche del panorama delle ricerche di sicurezza in Italia:

— nel campo delle ricerche relative all'"impianto" (reattori termici, reattori veloci), ad un insieme di attività orientate ad aspetti "di filiera" si aggiungono ricerche finalizzate a determinati programmi realizzativi (es.: Cirene, Pec); i due insiemi solo in parte sono in sequenza temporale; le ricerche relative ai reattori termici, naturalmente, presentano in genere una maggiore separazione tra la finalizzazione "sicurezza" e la finalizzazione "fattibilità e realizzazione" rispetto ai reattori veloci;

— per quanto concerne le attività afferenti alle "interazioni ambiente-impianto", da un lato vengono particolarmente sviluppate le ricerche in campo sismico, sia per la spiccata sismicità del territorio nazionale, sia in considerazione del fatto che le cognizioni ed i criteri disponibili, relativi in genere a terremoti californiani, non sono direttamente trasferibili alle caratteristiche sismotettoniche del territorio italiano; dall'altro lato, hanno particolare rilievo le ricerche sul contenimento degli effluenti gassosi radioattivi, dato il ruolo primario di questo argomento nelle problematiche relative alla barriera impianto nucleare-ambiente in termini di tempi e di aree possibilmente interessate;

— si verifica un continuo incremento degli sforzi di ricerca destinati alla sicurezza in campo nucleare sia in relazione al progressivo svincolo dal regime di li-

cenza, ed all'interiorizzazione del know-how progettuale-realizzativo, sia in relazione alle sempre maggiori esigenze conoscitive in materia, anche a fronte di istanze dell'opinione pubblica; l'incremento degli sforzi di ricerca corrisponde da un lato alla formazione di nuove unità (presso l'Enea e presso altre organizzazioni) dedicate alle ricerche di sicurezza nucleare, dall'altro all'ottenimento di significativi risultati, di rilevanza anche internazionale (si citano, a titolo di esempio, l'elaborazione di codici termoidraulici e meccanici e, in campo sismico, la messa a punto di metodologie innovative nel trattamento dei dati accelerometrici).

È opportuno rilevare che tali potenzialità di ricerca si sono sviluppate anche a fronte della necessità di fornire in tempi brevi risposte qualificate a specifiche richieste dell'organo di controllo.

Non è superfluo, infine, osservare che le capacità attualmente disponibili in Italia nel campo delle ricerche di sicurezza possono trovare - e trovano - appli-

cazioni che trascendono ampiamente l'ambito nucleare: basti pensare alle applicazioni della termoidraulica dei fluidi bifase negli impianti convenzionali, ai possibili impieghi delle metodologie di meccanica sperimentale nelle verifiche strutturali, alle applicazioni dell'ingegneria sismica nel campo della prevenzione dei danni da sismi, ai possibili impieghi delle tecniche messe a punto nel settore dei residui radioattivi (inglobamento, trasporto ecc.) anche in quello dei rifiuti tossici e nocivi, alle estensioni delle metodiche sviluppate nell'ambito degli "incidenti severi" in impianti nucleari a quello degli impianti industriali ad alto grado di rischio.

Il complesso delle acquisizioni, delle metodologie, delle potenzialità disponibili nel campo delle ricerche di sicurezza per gli impianti nucleari può essere facilmente trasferito ad altri contesti applicativi; è così possibile contribuire allo sviluppo di una capacità di gestione di processi normativi o produttivi rispondenti a criteri di sicurezza sempre più avanzati.

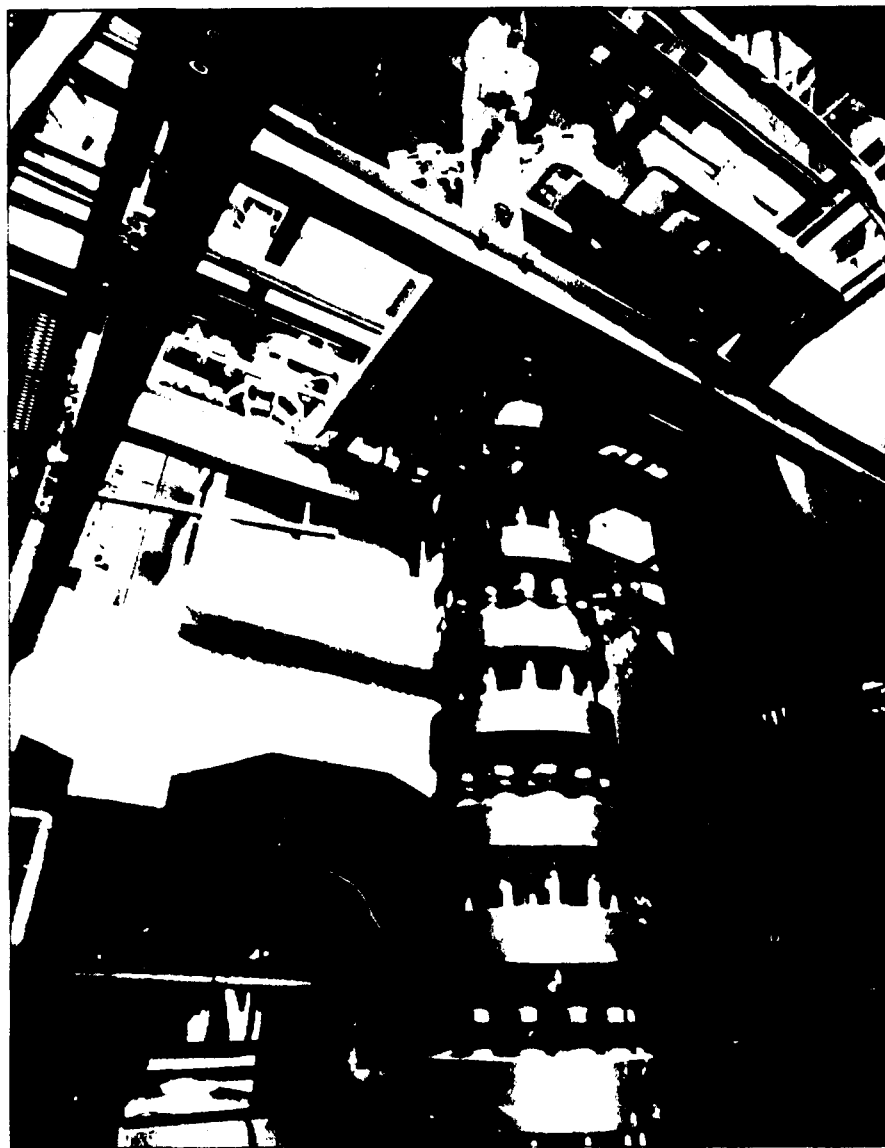
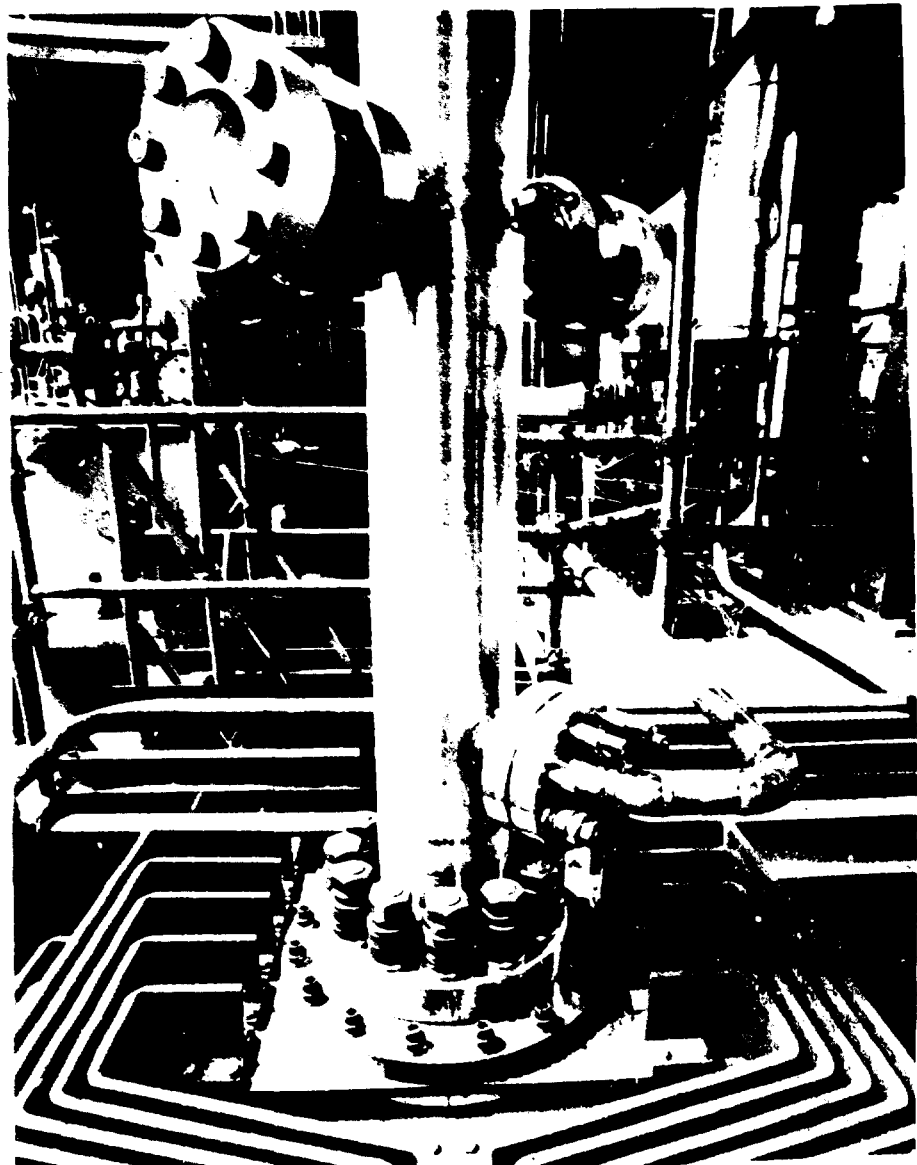


Fig.1 - Particolari dell'impianto sperimentale SPES per studi sul circuito primario di una centrale PWR (SIET)

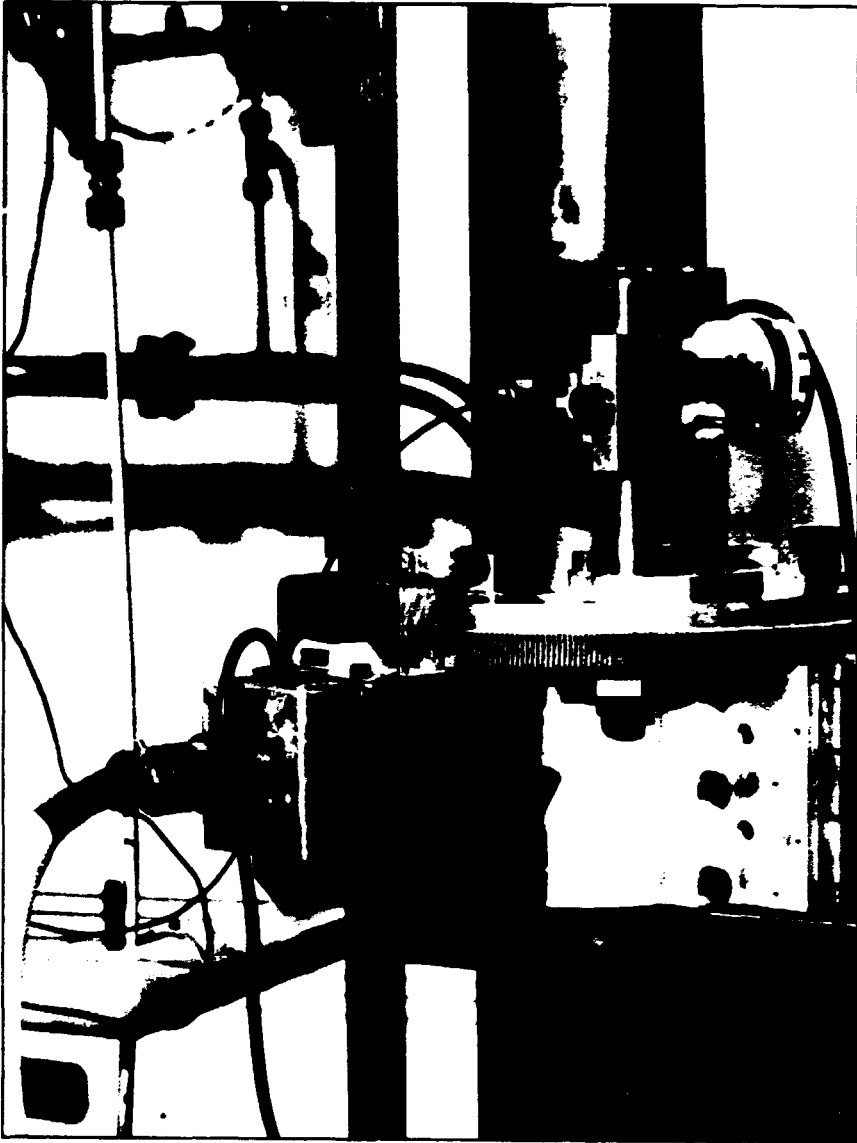


Fig.2 - Ricerche sull'usura relative al reattore CIRENE (SIET)

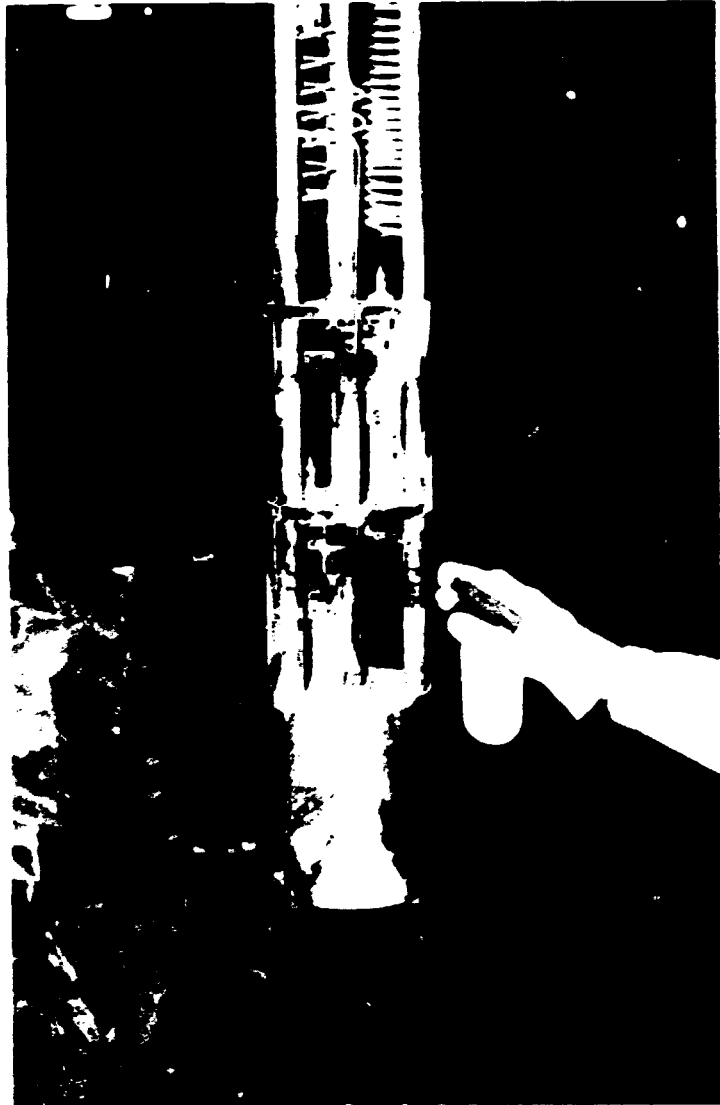


Fig.3 - Esperienze sulla reazione sodio - acqua

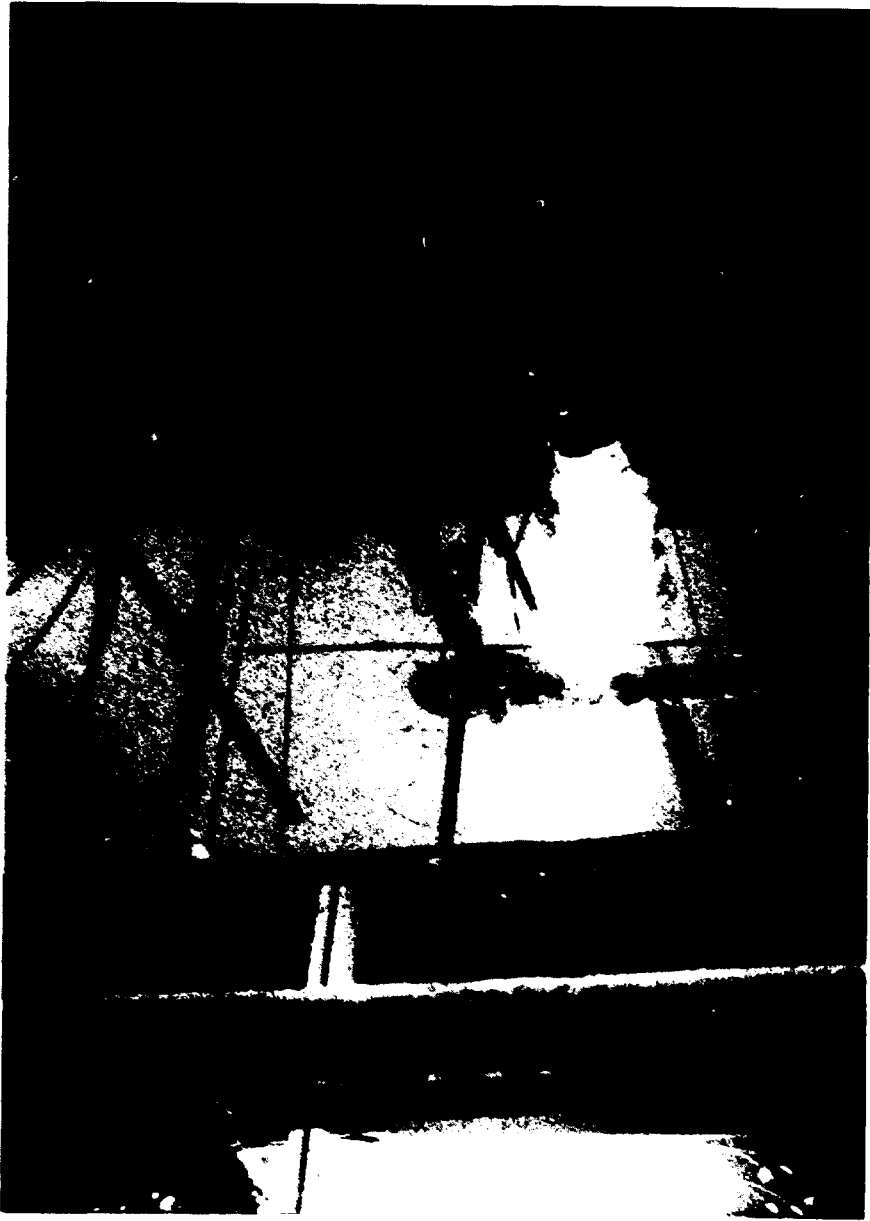


Fig.4 - Esperienze sugli incendi di sodio (programma italo-francese ESMERALDA)

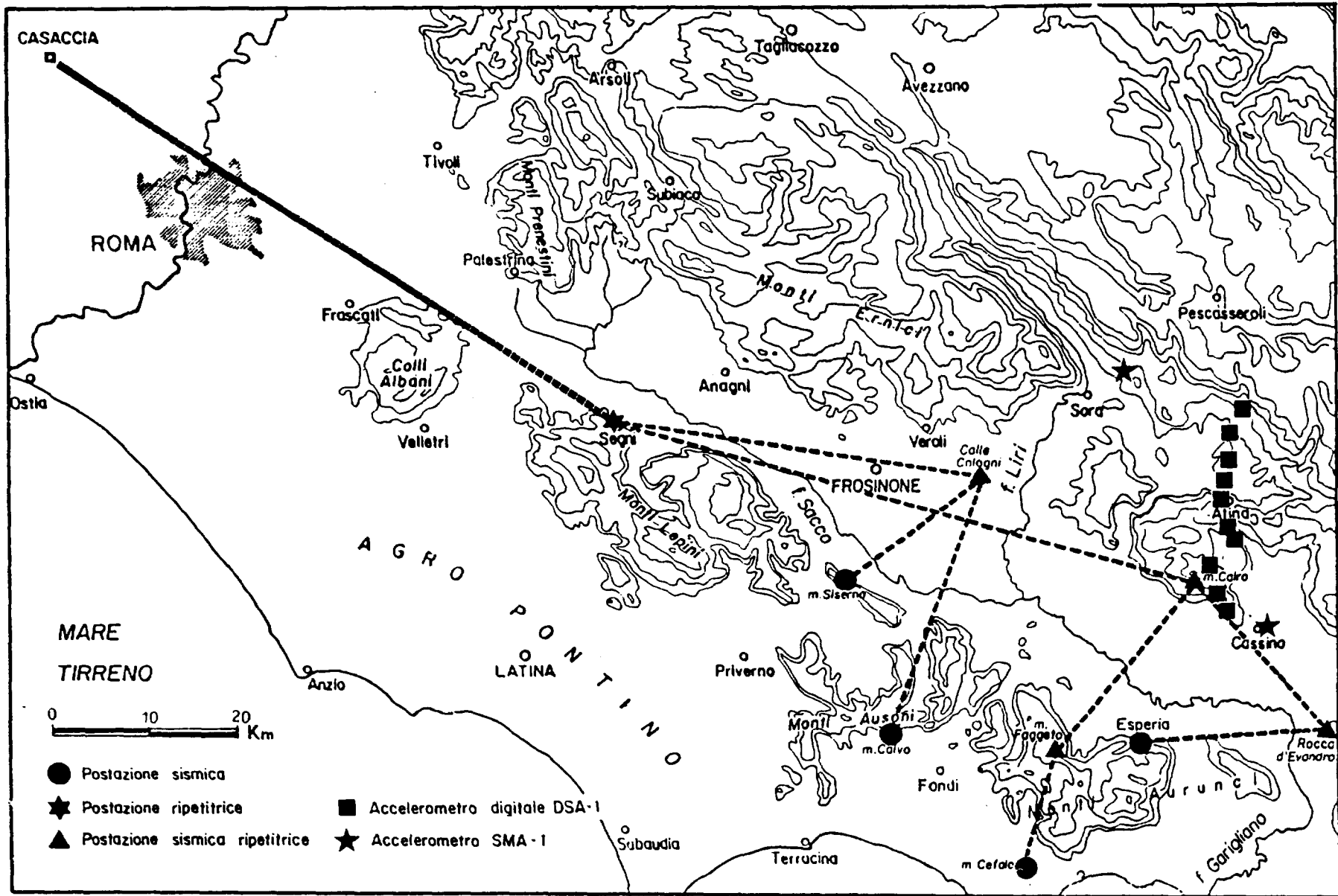


Fig.5 - Le reti sismometrica e accelerometrica nel Lazio meridionale

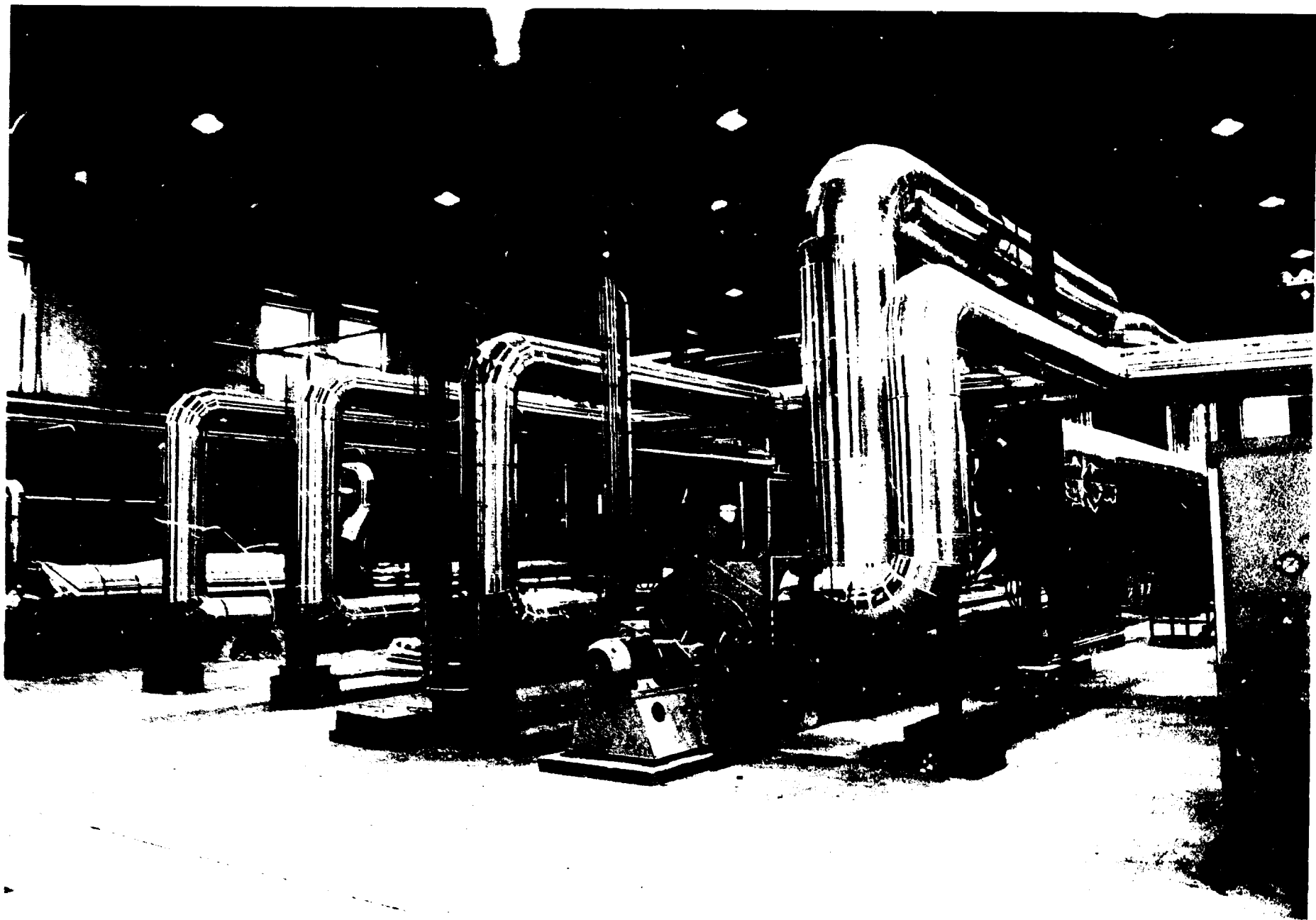


Fig.6 - L'impianto sperimentale per prove sui sistemi filtranti IPF-8000

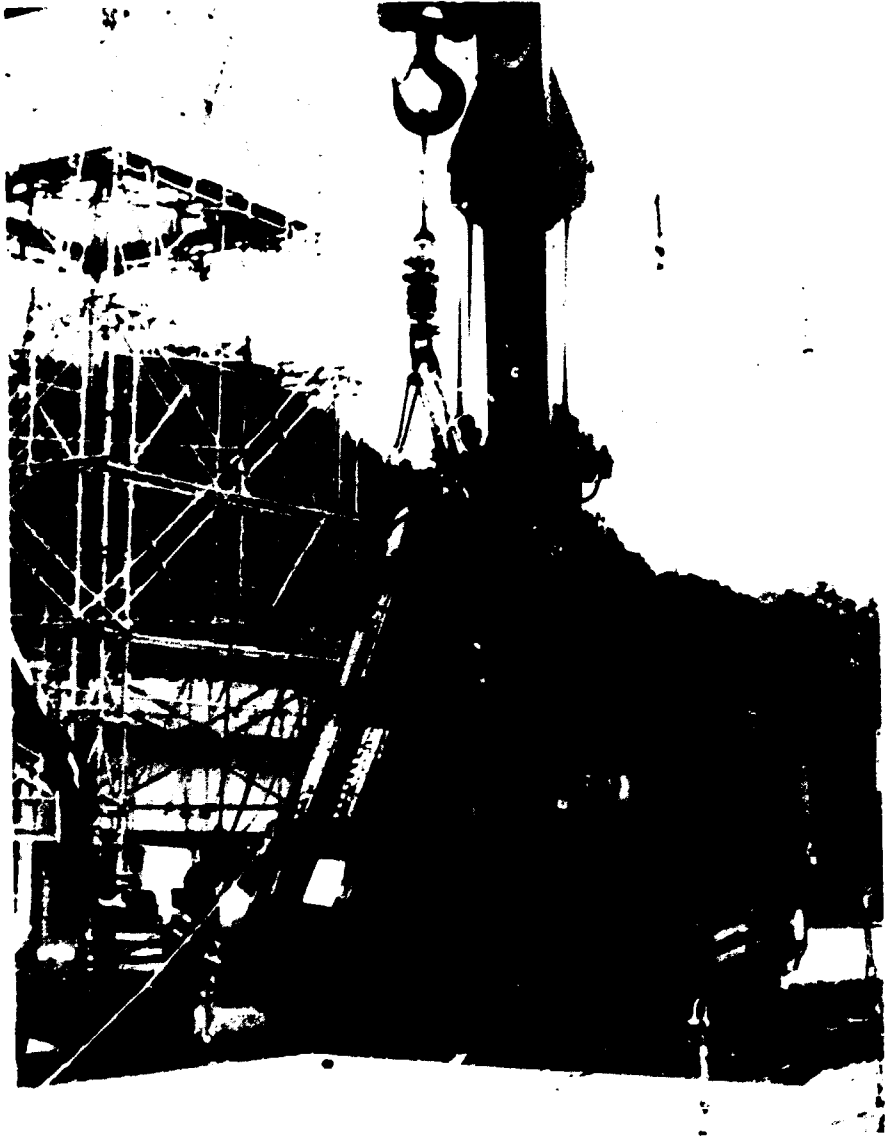


Fig.7 - Prove di caduta sui contenitori di trasporto
(programma ENEA - Università di Pisa)

**Edito dall'ENEA, Direzione Centrale Relazioni.
Viale Regina Margherita, 125 - Roma
Finito di stampare in dicembre 1988**

Fotoriproduzione e stampa
a cura della «Arti Grafiche S. Marcello»
Viale Regina Margherita, 176 - Roma

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata