

AIMETA

Associazione Italiana di
Meccanica Teorica ed Applicata

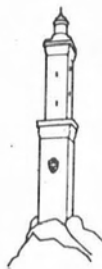
VI Congresso Nazionale

Genova 7-8-9 ottobre 1982

Sezione III

MECCANICA DELLE MACCHINE

Vol. 2



AIMETA

VI Congresso Nazionale
Genova, 7-8-9 ottobre 1982

SISTEMA DI CHIUSURA A TENUTA PER UN CANALE DI POTENZA
DI UN REATTORE NUCLEARE AD ACQUA PESANTE

Francesco ALICINO
G. Battista BOZZO
Claudio DINI

N I R A S.p.A. - Genova

Sommario - Uno dei componenti più tipici e complessi del Canale di Potenza del Reattore Nucleare CIRENE è il sistema di chiusura a tenuta del canale stesso. Detto sistema deve soddisfare contemporaneamente a due requisiti entrambi rilevanti ai fini della funzionalità e della sicurezza dell'impianto: garantire dal punto di vista strutturale e di tenuta il contenimento del fluido primario di raffreddamento del nocciolo ed assicurare una perfetta funzionalità meccanica nelle fasi di accoppiamento e disaccoppiamento al canale.

Scopo della memoria è quello di analizzare i problemi di tipo progettuale e costruttivo derivanti dalle esigenze di soddisfare ai requisiti di cui sopra.

Abstract - One of the most typical and complex component in the CIRENE Reactor's Power Channel is the closure plug system. This system shall meet two important requirements for plant functioning and safety: it must guarantee, from structural and leak point of view, the pressure boundary of primary coolant and must work very well during its mechanical connection with the Channel. This paper deals with both design and manufacturing problems related to the need of complying the above requirements.

1. INTRODUZIONE

Il sistema oggetto della presente memoria è il tappo di chiusura del Canale di Potenza del reattore nucleare CIRENE.

Il CIRENE è un reattore prototipo moderato ad acqua pesante, alimentato con combustibile costituito da uranio naturale e refrigerato con acqua leggera in fase mista acqua-vapore.

Questo tipo di reattore viene definito anche a "tubi" data la sua caratteristica di avere il combustibile nucleare sotto forma di barrette riunite in fasci e alloggiato in elementi tubolari, detti Canali di Potenza, percorsi dal basso verso l'alto, in senso verticale, dal fluido refrigerante primario (Fig.1).

La scelta del tipo di combustibile e la caratteristica geometrica e funzionale di questo reattore rendono necessario il ricambio periodico del combustibile mediante una apposita macchina che estrae i fasci dall'estremità inferiore dei Canali. Durante questa operazione il Canale viene aperto rimuovendone il tappo di chiusura il quale si trascina dietro la colonna di combustibile costituita da otto fasci opportunamente tenuti assieme da uno spiedo e da una molla di compressione.

Il ricambio di combustibile avviene in condizioni di pressione e temperatura all'interno di ogni Canale.

Il tappo di chiusura è rappresentato schematicamente in fig.2.

In esso si distinguono i seguenti elementi caratteristici:

- guarnizione di tenuta;
- elementi preposti alle funzioni di azionamento dei meccanismi di apertura e chiusura del tappo durante le operazioni di ricambio combustibile;
- elementi che sopportano il carico di pressione e il peso della colonna di combustibile.

La tenuta viene assicurata dalla guarnizione costituita da un labbro cilindrico flessibile che viene spinto assialmente contro una sede conica stellata, ricavata all'interno dell'estremità inferiore del Canale.

Durante la vita il tappo è assoggettato a circa 250 cicli, ciascuno dei quali è caratterizzato da un certo numero di operazioni diverse, ed è azionato da un utensile principale ed un utensile di manovra con soli spostamenti assiali.

Quando il reattore è in funzione ed i Canali sono chiusi, i settori di appoggio sono estratti ed in presa nell'apposita sede ricavata nel Canale stesso.

Per avviare il ricambio combustibile, avvenuto l'aggancio della Macchina di Carico e Scarico al Canale di Potenza, viene inserito l'utensile principale atto a sollevare leggermente il tappo, quindi viene inserito

l'utensile di manovra che determina la ritrazione dei settori di aggancio ed il tappo viene estratto, portando con sè fino al magazzino della Macchina di Carico e Scarico la colonna di combustibile da sostituire. Compiendo a ritroso i movimenti precedenti, il tappo viene rimesso in sede (°).

2. CONDIZIONI OPERATIVE E PROBLEMI CONNESSI

Le condizioni ambientali e di lavoro del tappo di chiusura, prese a riferimento per il progetto e la realizzazione del componente, sono schematizzabili nei seguenti punti:

1. L'ambiente è costituito da acqua-vapore alla temperatura massima di 270°C e 63 Mpa di pressione relativa.
2. Si è in presenza di un flusso di radiazioni γ e neutroni.
3. Durante il ricambio di combustibile si generano forti gradienti termici all'interno del tappo.
4. Durante le operazioni di ricambio, il tappo è azionato e movimentato dal Sistema Ricambio Combustibile che opera in modo remotizzato.

Tenuto conto di quanto finora detto è possibile identificare le funzioni che il tappo di chiusura deve assolvere. Esse sono:

- Supportare la colonna di combustibile e gli altri organi ad essa collegati.
- Chiudere la barriera di pressione.
- Consentire il ricambio di combustibile mediante il suo disinserimento dal Canale.

A fronte di quanto sopra sono evidenziati e definiti per il tappo i seguenti principali requisiti:

- essere realizzato con materiali "inossidabili";
- essere intercambiabile con tutti gli altri tappi;

(°) Dato che tutte le operazioni possono avvenire solo in modo sequenziale ne deriva una intrinseca sicurezza del sistema contro lo sganciamento improprio.

- permettere la sostituzione della guarnizione di tenuta;
- avere dispositivi di inserimento e disinserimento semplici, azionabili dalla Macchina di Carico e Scarico mediante appositi utensili;
- essere affidabile e dotato di sicurezza contro lo sgancio involontario o improprio;
- rispettare i requisiti imposti dalla normativa ASME sez.III, sotto-sez.NB, per le parti in pressione sia per quanto concerne la scelta dei materiali che per la verifica strutturale.

L'ottemperanza di quest'ultimo requisito, oltre al soddisfacimento di quanto richiesto dalla normativa vigente in Italia in materia, è diventato e diventerà sempre di più una prassi normale per la realizzazione degli impianti nucleari "termici" in Italia.

L'aver imposto i suddetti requisiti ha comportato per il progettista la risoluzione di problematiche che, data la prototipicità del componente, possono essere riguardate come particolari. Tipico ad esempio era il dover realizzare i meccanismi di azionamento del tappo con parti in moto relativo che garantissero il funzionamento in vapore, in acqua e anche a secco, alla temperatura di progetto. In questo caso la scelta dei materiali doveva non solo rispondere a particolari requisiti tecnologici ma essere congruente, nella zona di interfaccia, con i requisiti imposti dalla normativa ASME per le parti soggette al carico di pressione.

La guarnizione di tenuta doveva essere in grado non solo di resistere alla temperatura ed al flusso di radiazioni ma presentare caratteristiche di elevata resistenza all'usura e al deterioramento, in modo da garantirne una permanenza in reattore la più lunga possibile e sopportare un numero elevato di inserzioni-disinserzioni.

Anche l'interfacciabilità ed operabilità con la Macchina di Carico e Scarico presentavano problematiche non comuni dovendo essere garantite tenendo conto di tutte le tolleranze di posizionamento dei Canali nell'Assieme Reattore, delle tolleranze tappo-canale e delle tolleranze di posizionamento della Macchina stessa.

3. CRITERI DI PROGETTO

3.0 Generalità

L'impiego di materiali, di metodologie e procedimenti costruttivi appropriati ed il conseguimento, oggettivamente accertato, del grado qualitativo prescritto sono stati gli obiettivi essenziali controllati e conseguiti nella realizzazione di tutte le parti costituenti i tappi di chiusura dei canali.

Le attività di sorveglianza e controllo nelle fasi costruttive si sono

completate con una serie di particolari e specifici accertamenti sperimentali su componenti di pre-produzione e con una documentazione e certificazione che garantissero la sicura identificazione e rintracciabilità dei singoli pezzi sia in fase costruttiva che a montaggio avvenuto.

Tale filosofia ha richiesto un coinvolgimento continuo dei progettisti e fornitori per arrivare, attraverso una analisi approfondita di tutti gli aspetti tecnologici del problema, ad una pianificazione delle attività di progettazione, controllo e realizzazione.

Le fasi attraverso le quali è stato raggiunto l'obiettivo proposto possono essere così sintetizzate:

- 1) Studio di fattibilità; scelta materiali.
- 2) Realizzazione di prototipi.
- 3) Prove sperimentali su prototipi.
- 4) Individuazione delle condizioni di carico e verifica strutturale (secondo ASME).
- 5) Prove di ottimizzazione della guarnizione.
- 6) Realizzazione e prove su componenti di pre-produzione.

La scelta dei materiali (acciai austenitici e leghe inossidabili) ha comportato la definizione di trattamenti superficiali, quali la cromatura, di trattamenti termici per l'ottenimento di particolari caratteristiche meccaniche e la prescrizione di adeguati valori di finitura superficiale. In tale attività ha avuto particolare rilievo l'impiego della normativa ASME.

Essa infatti fa riferimento a materiali perfettamente individuati e classificati dei quali essa stessa fornisce le caratteristiche meccaniche e fisiche da utilizzarsi nei calcoli di verifica strutturale consentendo l'uso di adeguati coefficienti di sicurezza, particolarmente ridotti, da applicare alle tensioni ammissibili.

La fase realizzativa ha comportato l'elaborazione di specifiche tecniche molto dettagliate sia per l'approvvigionamento materiali che per l'individuazione dei procedimenti tecnologici ed ha richiesto ai fornitori la stesura, almeno per le parti più rilevanti, di dettagliati Piani di Fabbricazione e Controllo che evidenziassero le esigenze particolari emerse nel corso dell'attività sperimentale o comunque preliminare.

3.1 Individuazione delle condizioni di carico e verifica strutturale

Sia l'individuazione delle condizioni di carico che la verifica strutturale sono state effettuate con il procedimento indicato nella sottosezione

(NB) relativa ai componenti nucleari di classe 1 della sezione III della normativa ASME. Tali metodologie sono applicabili essenzialmente a componenti che sono soggetti a carico di pressione e il cui materiale sia individuato e classificato dalla normativa stessa. Stante quest'ultima constatazione anche per i componenti preposti all'azionamento del tappo è stato seguito detto procedimento, in considerazione del fatto che la sperimentazione ha suggerito l'utilizzo anche per essi di materiali, tra i vari possibili, individuati dalla normativa in questione.

I tipi di carico cui il tappo è soggetto sono i seguenti:

- Peso proprio
- Pressione
- Carichi Termici
- Sisma

Le forze alle quali le varie parti del tappo sono sottoposte nelle diverse condizioni operative sono schematizzate nella Figura 3. Esse, in accordo alla normativa ASME, vengono classificate in una categoria di progetto e in quattro livelli di servizio (da A a D). Nella categoria progettuale rientrano quei carichi esterni (meccanici e di pressione) ai quali il componente è direttamente sottoposto nelle normali condizioni operative e sulla base dei quali esso viene dimensionato. L'attribuzione, invece, di una condizione di carico ad un livello di servizio è compiuta in base alla probabilità che ha di verificarsi l'evento che provoca quella condizione, con probabilità decrescenti passando dal livello A al livello D. I coefficienti di sicurezza da applicarsi alla tensione ammissibile nella verifica degli stati tensionali dei vari livelli considerati variano da un livello all'altro, diminuendo al passare dal livello A al livello D.

Le verifiche da eseguirsi sono le seguenti:

- Condizione di progetto: è necessario accertare che il materiale non subisca il collasso statico nelle condizioni operative normali, verificando le sole tensioni primarie.
- Condizione di servizio di livello A e B: è necessario accertare che la struttura si adatti, dopo solo alcuni cicli di carico, in campo elastico (shake down), perchè sia applicabile la procedura di verifica a fatica in campo elastico. La verifica a fatica è in questo caso necessaria a causa della elevata ripetibilità degli eventi che rientrano in questi due livelli, mentre la verifica statica non è richiesta in quanto i carichi esterni massimi vengono considerati nella condizione di progetto. Si esegue dunque: 1) la verifica del "range" delle tensioni primarie e secondarie avendo come limite tre volte la tensione ammissibile alla temperatura di riferimento (3Sm); 2) la verifica a fatica, valutando il fattore d'uso totale e considerando le tensioni primarie, secondarie e

di picco.

- Condizioni di servizio di livello C e D: si considerano ai fini di verifica solo le tensioni primarie perchè, data la bassa ripetibilità degli eventi che appartengono a questi livelli, è necessario solamente assicurarsi che non si abbia il collasso statico del componente.

Alle verifiche descritte si aggiunge anche la verifica dei cosiddetti limiti di tensione speciali, con particolare riferimento alle tensioni di contatto, importanti e per il tipo di geometria e per le modalità di funzionamento (presenza di spallamenti soggetti in prossimità del bordo, a carichi di pressione).

3.3 Prove sperimentali

Data la peculiarità del componente, la sperimentazione effettuata su prototipi (°) è da considerarsi parte integrante della metodologia di progetto utilizzata.

Le prove svolte, su cui non si ritiene opportuno dilungarsi, hanno fornito elementi indicativi per il progetto ma più spesso hanno dimostrato la validità delle scelte fatte. Esse sono state articolate in modo da coprire sistematicamente i seguenti aspetti:

- prove di funzionalità meccanismi;
- prove di attrito parti scorrevoli;
- prove di usura e deterioramento delle superfici stellate e misura del rilascio di cobalto;
- prove di corrosione;
- prove di tenuta.

4. PROCEDIMENTI TECNOLOGICI PARTICOLARI

Interessanti problematiche hanno riguardato i riporti duri sulla sede di tenuta e sul labbro della guarnizione per i quali le particolari condizioni di esercizio imponevano, oltre al rispetto dei requisiti meccanici propri in genere delle leghe impiegate, anche caratteristiche di durezza superficiale volutamente differenziate unitamente a particolari e specifici aspetti qualitativi.

(°) Si prescinde dalle prove ad hoc rivolte all'individuazione dei materiali più idonei per realizzare la tenuta.

Tali particolari esigenze hanno comportato soluzioni di carattere tecnologico e metallurgico nella scelta dei materiali e dei procedimenti di riporto differenti per le due parti in contatto.

E' stato adottato infatti un riporto di stellite grado 12 sulla sede, eseguito con metodo assiacetilenico, ed un riporto di stellite grado 6 sul labbro di tenuta della guarnizione eseguito con metodo TIG automatico. La soluzione di tale problematica è stata ottenuta attraverso tutta una serie di prove di laboratorio atte ad analizzare ed a riprodurre l'accoppiamento dal punto di vista geometrico, dinamico e strutturale nelle condizioni ambientali di esercizio.

Circa le modalità di applicazione e controllo è interessante notare che sulla sede, sgrossata di lavorazione meccanica con alcuni millimetri di sovrametallo sulla superficie, si è proceduto alla creazione di una specie di alloggio munito di spallette per il contenimento del bagno di fusione. Tale superficie è stata controllata ai liquidi penetranti ed accuratamente pulita.

Il pezzo è stato riscaldato in forno e mantenuto a tale temperatura durante l'esecuzione del riporto per evitare fessurazioni provocate dallo stato di tensione originato durante il raffreddamento del materiale in relazione ai coefficienti di dilatazione ed alle differenze di temperatura.

Dopo il riporto il pezzo è stato mantenuto in forno ad una temperatura superiore a quella del deposito e quindi raffreddato lentamente sino a temperatura ambiente.

Dopo tale fase è stata eseguita la finitura a disegno effettuando un controllo L.P. prima dell'ultima passata di lavorazione in modo da poter eseguire eventuali riparazioni.

Il controllo L.P. è stato ripetuto sulla sede completamente finita.

Non erano accettabili indicazioni localizzate nella fascia di 11 millimetri ripartita sopra e sotto la linea ideale di tenuta con il tappo; al di fuori di tale zona erano accettate piccole indicazioni tondeggianti.

La stessa sequenza operativa, pur con l'impiego di procedimenti di riporto TIG, è stata seguita per la realizzazione della guarnizione effettuando il deposito direttamente sul tondo pieno.

In considerazione delle particolari condizioni di lavoro del labbro di tenuta della guarnizione, oltre ai controlli LP per i quali non sono accettate indicazioni di alcun tipo, è stato prescritto un controllo ultrasonoro tale da evidenziare difetti nella fusione, mancanze di adesione con il materiale base, anche di limitata entità, al fine di garantire l'assenza di cricature o altri difetti che possano portare al distacco di materiale.

Un altro tipo di problematica è stato quello relativo ai rivestimenti di cromo duro sulle superfici degli organi in movimento che ha richiesto per la propria soluzione un impegno sperimentale atto a correlare, per i diversi materiali (e procedimenti realizzativi), i parametri di danneggiamento (usura, distacco, cricatura, etc.) con i parametri di sollecita-

zione (carico, velocità di strisciamento, fatica meccanica o termica, etc.) nelle varie condizioni operative.

I risultati ottenuti nel corso di tali esami hanno consentito, affrontando i problemi da un punto di vista sia ingegneristico che metallurgico, di ottimizzare la geometria, la trasmissione delle forze, la scelta dei materiali e dei procedimenti.

- 1 CALANDEZ
- 2 PULVERISADOR
- 3 PULVERISADOR
- 4 PULVERISADOR
- 5 PULVERISADOR
- 6 PULVERISADOR
- 7 PULVERISADOR
- 8 CAJON
- 9 CAJON
- 10 CAJON
- 11 CAJON
- 12 CAJON
- 13 CAJON
- 14 CAJON
- 15 CAJON
- 16 CAJON
- 17 CAJON
- 18 CAJON
- 19 CAJON
- 20 CAJON

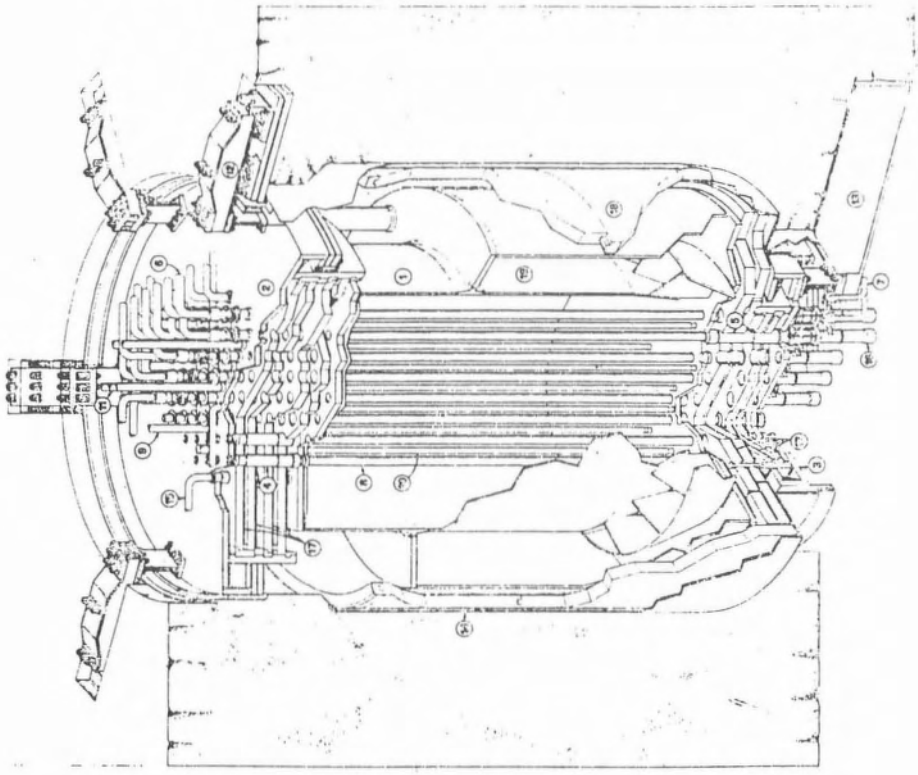


FIG 1

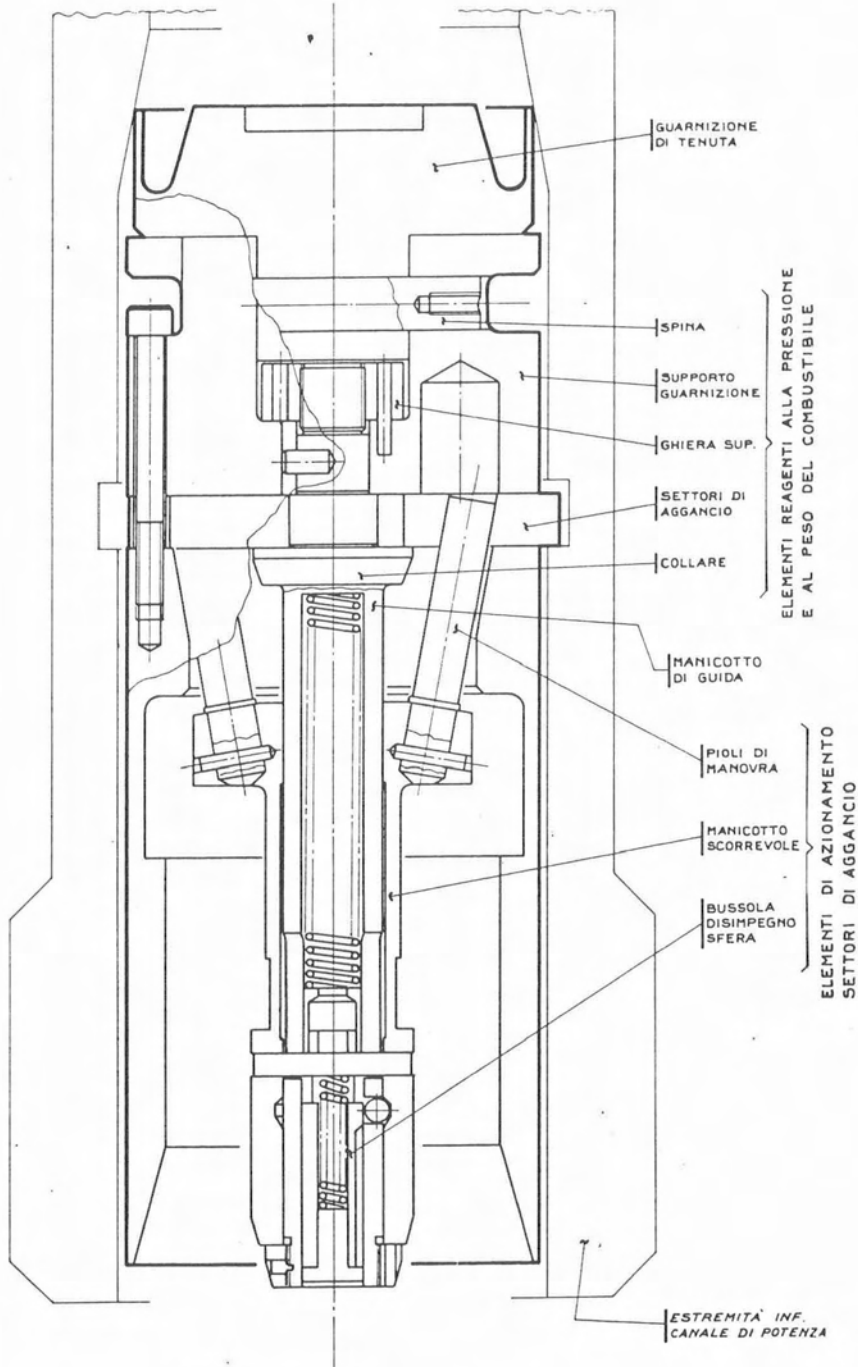


FIG. 2

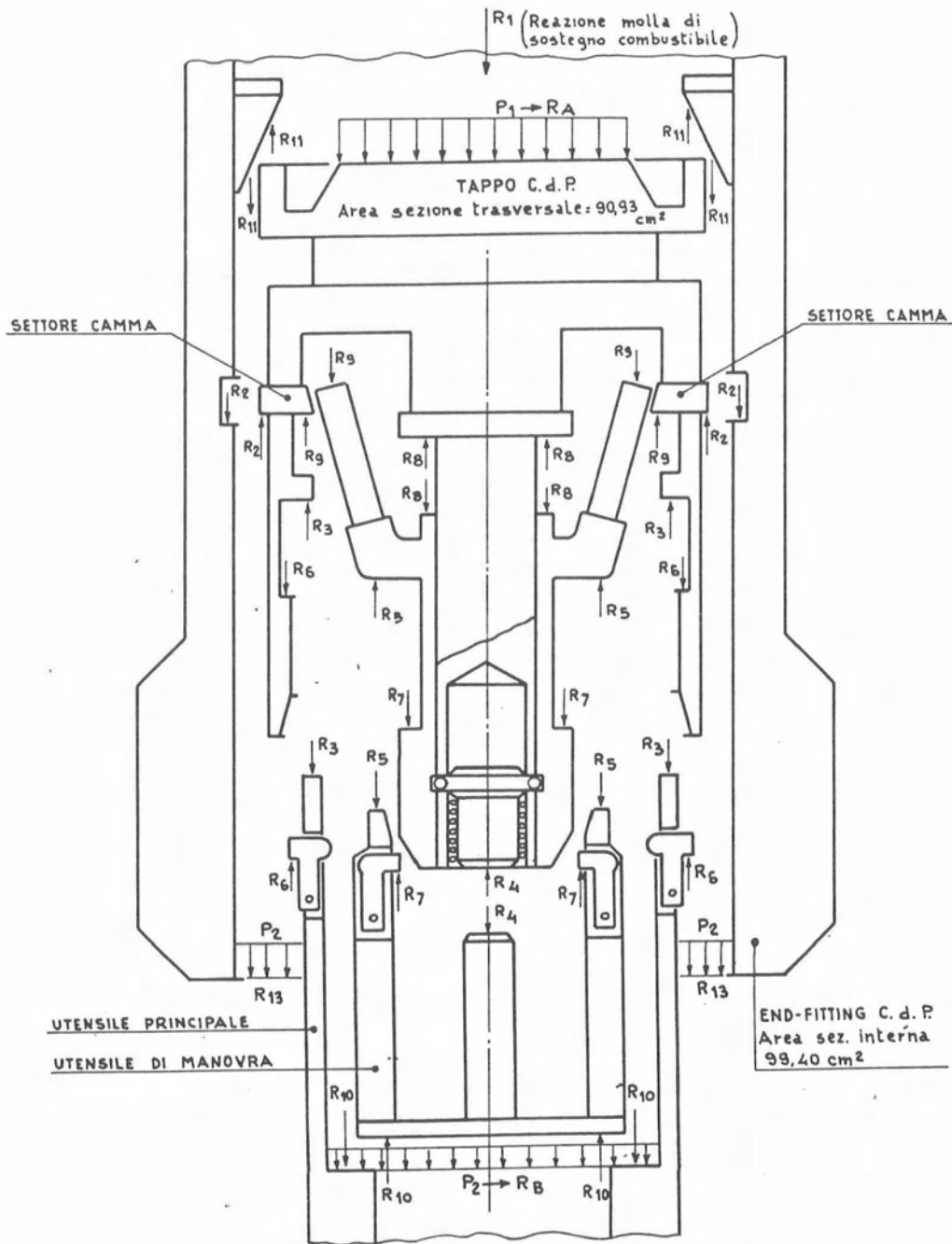


FIG. 3

