



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NUCLEARE
UNIVERSITÀ DI KANTGOWRONG**

**MANUALE OPERATIVO, D'ISPEZIONE E SERVIZIO
REATTORE ENERGETICO NUCLEARE NR-1001**

SETTEMBRE 1972

XCM 201

INDICE

MANUALE DI FUNZIONAMENTO
DEL REATTORE NR-1001

pagina

CAPITOLO I

AVVERTENZE E POLITICHE AZIENDALI..... 3

CAPITOLO II

MAPPA CENTRALE..... 4

CAPITOLO III

FUNZIONAMENTO COMPONENTI

1. Valvola..... 5
2. Pompa..... 6
3. Misuratore di portata..... 7
4. Misuratore di pressione..... 8
5. Scambiatore di calore..... 9
6. Misuratore di livello..... 10
7. Cisterna..... 11
8. Turbina..... 12
9. Generatore/alternatore..... 13

CAPITOLO IV

AREE

1. Reattore..... 14
2. Barre di controllo..... 15
2. Generazione di corrente..... 16
3. Recupero calore..... 17
4. Condensazione..... 18
5. Circuito di pompaggio
acqua di circolazione..... 19

CAPITOLO V

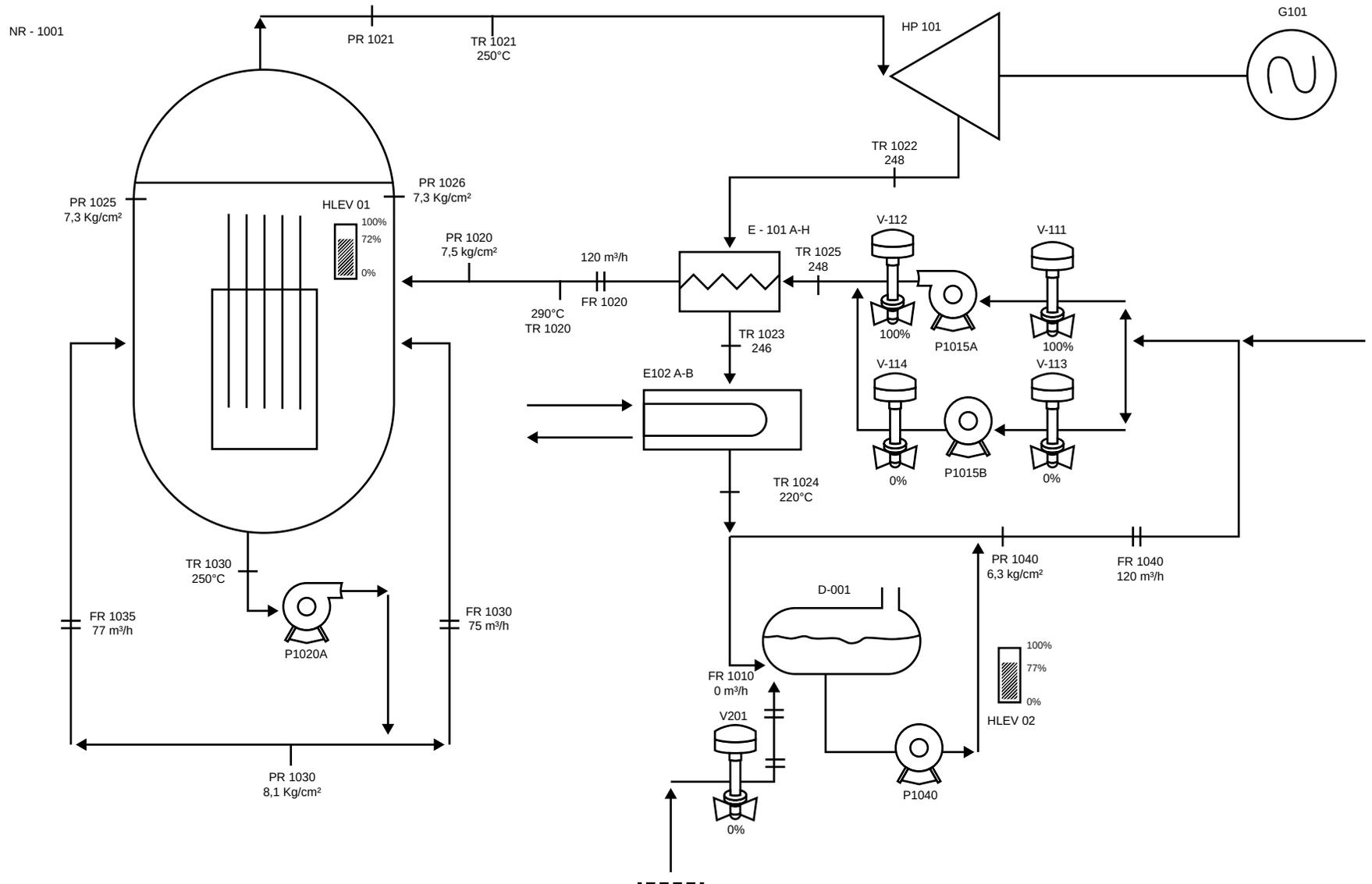
LISTE COMPONENTI

- Rivelatori di Temperatura..... 20
- Rilevatori di pressione..... 21
- Rilevatori di portata..... 22
- Misuratori di livello / Pompe..... 23
- Valvole..... 24

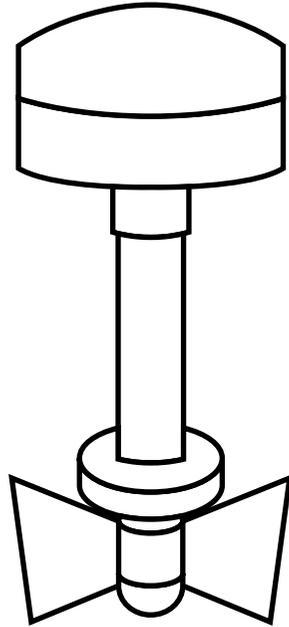
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NUCLEARE
UNIVERSITÀ DI KANTGOWRONG

REVISIONE: SETTEMBRE 1972

MAPPA CENTRALE



VALVOLA



Sigla Componente: **V**

La valvola è un dispositivo meccanico essenziale che consente di regolare, avviare, interrompere o deviare il flusso di un fluido all'interno di un impianto. In una centrale nucleare, le valvole svolgono un ruolo cruciale per garantire la sicurezza, l'efficienza e il controllo dei vari circuiti. Possono essere installate nei circuiti primari (che trasportano il fluido refrigerante dal reattore ai generatori di vapore), nei circuiti secondari (che portano il vapore alle turbine), nei sistemi di raffreddamento d'emergenza e negli impianti ausiliari.

Le valvole possono essere azionate manualmente oppure in modo automatico, tramite attuatori elettrici, pneumatici o idraulici, controllati da sensori o da operatori nella sala controllo. Alcune valvole sono progettate per reagire in modo autonomo a condizioni critiche, ad esempio sovrappressioni o variazioni improvvise di temperatura, attivandosi per proteggere l'integrità dell'impianto.

Ne esistono di diversi tipi: valvole a saracinesca, adatte per aperture e chiusure complete; valvole a globo, usate per regolare con precisione il flusso; valvole a sfera e a farfalla, diffuse per la loro rapidità di manovra. Ogni tipologia ha caratteristiche specifiche in base al fluido, alla pressione di esercizio e alla funzione da svolgere.

Le valvole devono essere sottoposte a manutenzione regolare e ispezioni accurate per garantire che si aprano e chiudano correttamente. Un guasto a una valvola può compromettere l'equilibrio del sistema e, in certi casi, mettere a rischio la sicurezza dell'impianto. Per questo motivo, il loro stato è costantemente monitorato e registrato nei sistemi di controllo.

POMPA

Sigla Componente: **P**

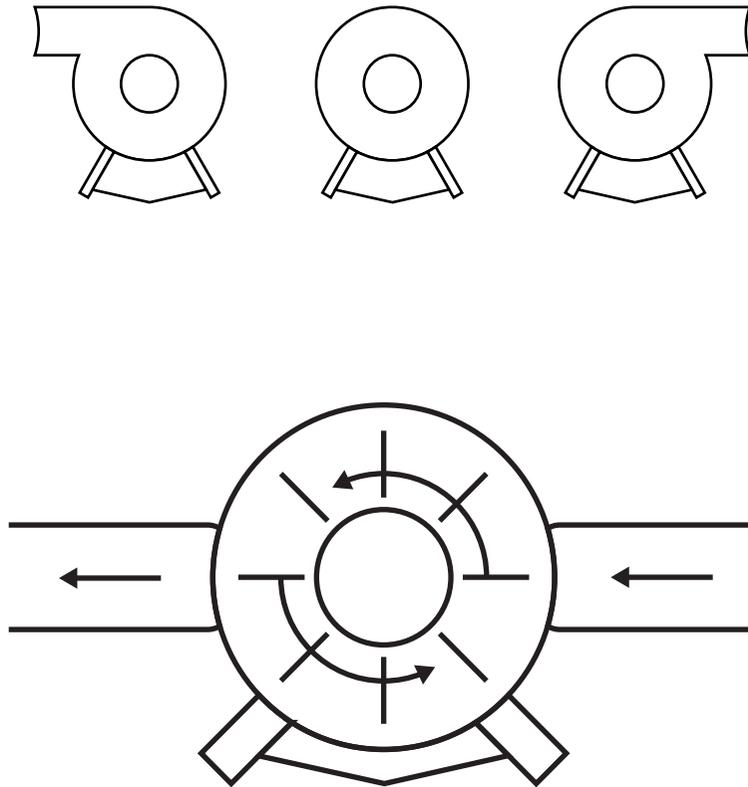
La pompa è un dispositivo meccanico progettato per spostare un fluido da un punto all'altro del sistema, aumentando la sua pressione per farlo circolare all'interno dei circuiti. In una centrale nucleare, le pompe hanno un ruolo centrale: garantiscono il flusso costante dell'acqua o di altri fluidi nei sistemi di raffreddamento, nei circuiti primari e secondari, e negli impianti ausiliari.

Nel circuito primario, per esempio, le pompe del refrigerante sono responsabili del trasporto continuo dell'acqua sotto alta pressione dal reattore ai generatori di vapore. Questo flusso consente di assorbire il calore prodotto dal nucleo e trasferirlo al circuito secondario, senza che vi sia contatto diretto tra l'acqua radioattiva e il vapore che muove la turbina.

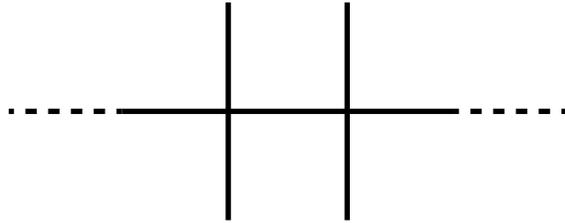
Le pompe devono funzionare in modo continuo e affidabile, anche in condizioni estreme di temperatura e pressione. Sono solitamente alimentate da motori elettrici potenti e progettate con ridondanze: ogni pompa critica ha una o più unità di riserva pronte a subentrare in caso di guasto. Nei sistemi di sicurezza esistono anche pompe d'emergenza, attivate automaticamente in caso di incidente o interruzione di corrente, che possono essere alimentate da generatori indipendenti.

Esistono diverse tipologie di pompe, tra cui le centrifughe, che sfruttano la forza centrifuga per spingere il fluido verso l'esterno e farlo fluire attraverso le tubazioni, e le pompe volumetriche, più precise, usate quando è necessario spostare quantità esatte di liquido.

Il monitoraggio delle pompe è costante. Sensori dedicati misurano parametri come pressione, temperatura, vibrazioni e portata, per individuare in anticipo segnali di usura o malfunzionamenti. La manutenzione preventiva è fondamentale: una pompa fuori servizio può compromettere l'intero sistema di raffreddamento e rappresentare un rischio per la sicurezza dell'impianto.



MISURATORE DI PORTATA



Sigla Componente: **FR**

Il misuratore di portata è uno strumento utilizzato per determinare la quantità di fluido che attraversa una sezione di una tubazione in un determinato intervallo di tempo. In una centrale nucleare, la portata rappresenta un parametro fondamentale per il controllo e la sicurezza del sistema, in quanto permette di verificare se i fluidi - come l'acqua del circuito primario, il vapore del secondario o i liquidi di raffreddamento - stanno circolando con la velocità e il volume previsti.

Un corretto flusso garantisce che il calore generato dal nocciolo del reattore venga trasferito e dissipato in modo efficiente. Una portata troppo bassa può indicare un proble-

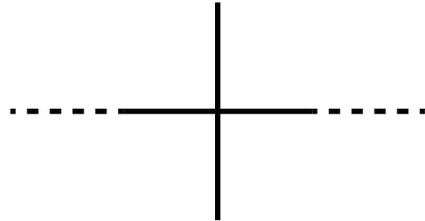
ma, come un'ostruzione, un malfunzionamento delle pompe o una perdita. Al contrario, una portata eccessiva può generare pressioni anomale e stress meccanico sulle strutture. Il monitoraggio continuo della portata è quindi essenziale per mantenere l'impianto in condizioni di esercizio sicure e stabili.

Esistono diversi tipi di misuratori di portata utilizzati nelle centrali nucleari, ciascuno con caratteristiche adatte a specifiche condizioni operative. I più diffusi includono i misuratori a differenza di pressione (come gli orifizi, i tubi di Venturi o i flussimetri a diaframma), che calcolano la portata in base alla differenza di pressione creata dal passaggio del fluido attraverso una strozzatura. Altri modelli impiegano tecnologie ultrasuoni o elettromagnetiche, che offrono letture precise e prive di parti mobili, ideali in ambienti ad alta temperatura o con fluidi radioattivi.

Il misuratore di portata è collegato ai sistemi di controllo dell'impianto e invia dati in tempo reale alla sala di comando. Le variazioni di portata vengono registrate, analizzate e, se necessario, fanno scattare allarmi o interventi automatici per correggere l'anomalia. In alcuni casi, sono previsti sistemi ridondanti, cioè più misuratori installati sullo stesso tratto di tubazione, per garantire il confronto tra le letture e aumentare l'affidabilità complessiva.

La manutenzione e la taratura periodica dei misuratori di portata è indispensabile per assicurare la precisione delle misure nel tempo. Una lettura errata può compromettere l'equilibrio termico dell'intero sistema e, nei casi peggiori, portare a condizioni operative pericolose. Per questo motivo, il personale tecnico verifica costantemente le prestazioni di questi strumenti e interviene prontamente in caso di deriva o guasto.

MISURATORE DI PRESSIONE



Sigla Componente: **PR**

Il misuratore di pressione è uno strumento essenziale per il monitoraggio dei fluidi all'interno dei diversi sistemi di una centrale nucleare. La pressione è un parametro critico, poiché influisce direttamente sulla sicurezza, sull'efficienza e sull'integrità meccanica dell'impianto. Controllare la pressione nei circuiti primario e secondario, nei serbatoi, nei generatori di vapore e nei sistemi ausiliari permette di rilevare tempestivamente anomalie, prevenire danni strutturali e garantire condizioni operative entro i limiti di progetto.

I misuratori di pressione rilevano la forza esercitata dal fluido sulle superfici interne del sistema. Questi disposi-

tivi sono installati in punti strategici e trasmettono letture continue ai sistemi di controllo, dove le informazioni vengono confrontate con i valori attesi. In presenza di scostamenti significativi, il sistema può attivare allarmi, modificare l'apertura delle valvole o avviare procedure di emergenza.

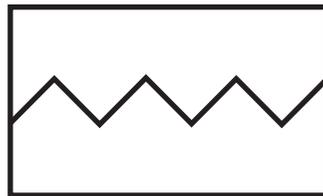
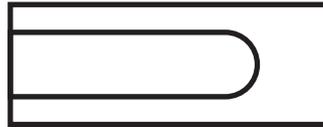
Tra le tecnologie più impiegate ci sono i trasduttori di pressione, che trasformano la pressione in un segnale elettrico proporzionale. Altri strumenti utilizzano elementi meccanici deformabili, come il tubo di Bourdon, i diaframmi o le capsule elastiche, per misurare la pressione in modo diretto. Nei sistemi moderni, i sensori digitali garantiscono elevata precisione e sono progettati per resistere a condizioni estreme di temperatura, radiazioni e vibrazioni.

Il misuratore di pressione è fondamentale, ad esempio, nel circuito primario, dove l'acqua viene mantenuta a pressione molto elevata per evitare la sua ebollizione, anche a temperature superiori ai 300 °C. Una perdita di pressione in questo circuito può indicare una fuga di refrigerante, una rottura o un guasto alle pompe. Nel circuito secondario, invece, la pressione del vapore deve essere controllata per assicurare un'efficienza ottimale nella turbina e per evitare sovrappressioni nei generatori.

La taratura regolare dei misuratori di pressione è obbligatoria. Anche piccole imprecisioni possono compromettere la capacità del sistema di reagire correttamente a situazioni critiche. Per questo motivo, i sensori vengono testati e sostituiti periodicamente, secondo protocolli rigorosi. Inoltre, nei punti più sensibili dell'impianto sono spesso installati sistemi ridondanti, che consentono la verifica incrociata delle letture.

In un ambiente complesso come quello di una centrale nucleare, il misuratore di pressione non è solo uno strumento di misura, ma rappresenta una barriera di controllo attiva, fondamentale per il funzionamento sicuro e stabile dell'intero impianto.

SCAMBIATORE DI CALORE



Sigla Componente: **E**

Lo scambiatore di calore è un componente fondamentale nei sistemi termoidraulici di una centrale nucleare. La sua funzione principale è quella di trasferire energia termica da un fluido caldo a un fluido più freddo senza che i due vengano in contatto diretto. Nella maggior parte dei reattori ad acqua pressurizzata (PWR), lo scambiatore di calore principale è rappresentato dal generatore di vapore, che trasferisce calore dal circuito primario (acqua radioattiva) al circuito secondario (acqua non radioattiva), generando vapore che andrà ad alimentare la turbina.

Il principio di funzionamento si basa sulla conduzione termica attraverso superfici metalliche: i tubi dello scambiatore

separano i due fluidi e permettono il passaggio di calore in modo controllato ed efficiente. L'acqua ad alta temperatura proveniente dal reattore scorre all'interno dei tubi, mentre l'acqua del circuito secondario passa all'esterno, assorbendo calore e trasformandosi in vapore. Questo processo consente di contenere la radioattività all'interno del circuito primario, mantenendo il circuito secondario pulito e sicuro.

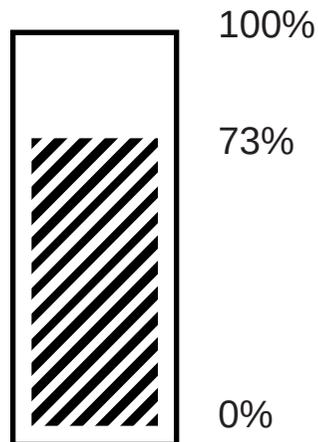
La struttura di uno scambiatore di calore è progettata per resistere a pressioni e temperature molto elevate, oltre che all'azione corrosiva dell'acqua trattata chimicamente. I materiali utilizzati devono avere un'elevata conducibilità termica e ottime proprietà meccaniche. Inoltre, i tubi sono spesso realizzati in lega di nichel o acciaio inossidabile per garantire durata e affidabilità nel tempo.

Un corretto funzionamento dello scambiatore di calore è essenziale per l'efficienza complessiva della centrale. Se la capacità di trasferimento del calore diminuisce - a causa di incrostazioni, danneggiamenti ai tubi o perdite - la produzione di vapore risulta ridotta, e il sistema di raffreddamento del reattore può risultare compromesso. Per questo motivo, lo scambiatore è dotato di strumentazione di monitoraggio e viene sottoposto a controlli periodici tramite ispezioni visive, test di tenuta e analisi delle prestazioni termiche.

Un eventuale danneggiamento delle pareti interne potrebbe causare un contatto diretto tra i due fluidi, con rischio di contaminazione radioattiva nel circuito secondario. In questi casi, vengono attivate procedure di isolamento e svuotamento, seguite da interventi tecnici specializzati. La presenza di sistemi ridondanti e valvole di intercettazione consente di limitare rapidamente eventuali conseguenze operative o ambientali.

Lo scambiatore di calore rappresenta quindi un punto nevralgico del ciclo termico della centrale. La sua efficienza e integrità strutturale sono elementi determinanti sia per il rendimento energetico dell'impianto sia per la sua sicurezza complessiva.

MISURATORE DI LIVELLO



Sigla Componente: **HLEV**

Il misuratore di livello è un dispositivo essenziale per il controllo del volume di fluido contenuto all'interno di serbatoi, cisterne e generatori di vapore all'interno di una centrale nucleare. In particolare, il livello dell'acqua nei sistemi di raffreddamento e nel generatore di vapore deve essere costantemente mantenuto entro precisi limiti operativi per garantire la sicurezza e l'efficienza dell'impianto. Una variazione anomala può indicare una perdita, un malfunzionamento delle pompe, un blocco nelle linee o un errore nei sistemi di controllo.

Nel generatore di vapore, ad esempio, il livello dell'acqua deve essere sufficientemente alto da permettere l'assorbimen-

to del calore proveniente dal circuito primario, ma non così alto da compromettere la formazione del vapore o il funzionamento della turbina. Un livello troppo basso potrebbe causare il surriscaldamento e danneggiare le tubazioni, mentre un livello troppo elevato rischia di far arrivare acqua liquida nella turbina, compromettendo la sua integrità.

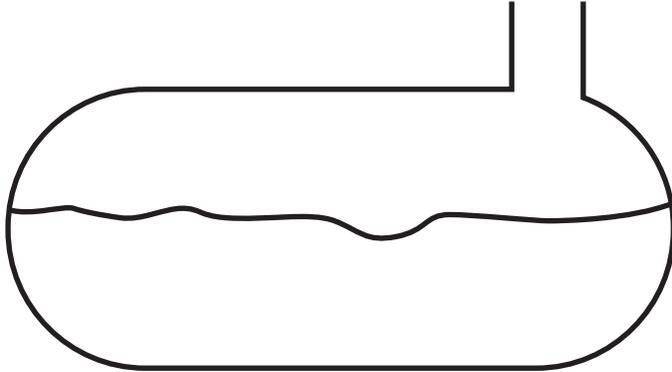
I misuratori di livello possono funzionare con diverse tecnologie. Tra i sistemi più diffusi ci sono i trasduttori a pressione differenziale, che misurano la variazione della pressione idrostatica del fluido. Altri dispositivi si basano su principi ottici, capacitivi, a ultrasuoni o radar, che permettono la misurazione senza contatto diretto, ideali in ambienti ad alta temperatura o radioattività. In alcuni casi, vengono utilizzati anche indicatori visivi a galleggiante, ma solo nei circuiti secondari o nei serbatoi di servizio.

I sensori sono connessi ai sistemi di supervisione e controllo e trasmettono letture in tempo reale. In caso di variazioni anomale, il sistema può attivare allarmi, modificare la velocità delle pompe o regolare l'apertura delle valvole per ripristinare il livello corretto. I valori di soglia sono stabiliti in fase di progettazione e testati durante le esercitazioni e le manutenzioni programmate.

Un aspetto fondamentale è la ridondanza: in punti critici, come i generatori di vapore o i serbatoi di accumulo dell'acqua borata, sono installati più sensori indipendenti tra loro, per garantire il funzionamento continuo anche in caso di guasto di uno dei dispositivi. La coerenza tra i segnali ricevuti è verificata costantemente, e in caso di discrepanze viene avviata una diagnosi automatica.

Il misuratore di livello non è solo uno strumento di lettura: è parte integrante della logica di controllo dell'impianto. Fornisce dati essenziali che influiscono direttamente sulle decisioni automatiche e manuali dei sistemi di regolazione. Il suo corretto funzionamento è garantito da manutenzioni regolari, tarature di precisione e test funzionali previsti dai protocolli di sicurezza nucleare.

ACCUMULATORE



Sigla Componente: **D**

L'accumulatore è un contenitore di grande capacità utilizzato per lo stoccaggio sicuro e controllato di liquidi all'interno della centrale nucleare. Nello specifico, le cisterne possono contenere acqua di raffreddamento, soluzioni di acqua borata, fluidi di servizio o, in alcuni casi, condensati provenienti dal circuito secondario. La loro funzione primaria è garantire la disponibilità costante di fluidi necessari al funzionamento e alla sicurezza dell'impianto, anche in condizioni straordinarie o di emergenza.

Esistono diversi tipi di accumulatori all'interno di una centrale: alcune sono atmosferiche e non soggette a pressione, mentre altre operano in condizioni pressurizzate per

mantenere le caratteristiche fisico-chimiche del fluido. La cisterna del serbatoio di accumulo dell'acqua borata, ad esempio, è un elemento cruciale del sistema di arresto d'emergenza del reattore. In caso di anomalia o necessità di spegnimento rapido, l'acqua borata viene iniettata nel circuito primario per assorbire i neutroni e interrompere la reazione nucleare a catena.

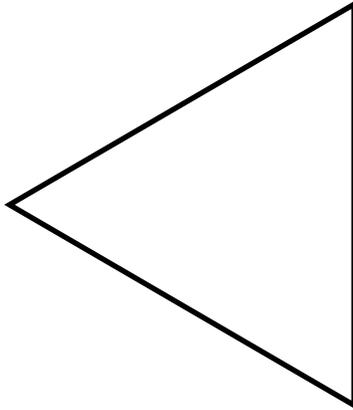
La struttura dell'accumulatore è realizzata con materiali ad alta resistenza alla corrosione, come l'acciaio inossidabile o leghe speciali, per garantire la tenuta e la durabilità nel tempo. Le pareti sono spesso isolate termicamente o schermate, a seconda della tipologia di fluido contenuto e del contesto in cui operano. Il fondo della cisterna è inclinato o dotato di condotti di scarico per favorire il deflusso totale dei liquidi durante le fasi di svuotamento o manutenzione.

Ogni accumulatore è dotata di sensori di livello, temperatura e pressione, collegati al sistema di supervisione. In questo modo è possibile controllare in tempo reale le condizioni del fluido e attivare automaticamente le pompe o le valvole associate. La presenza di valvole di sicurezza e sfiati permette di gestire eventuali sovrappressioni o anomalie termiche. Inoltre, alcune cisterne sono collegate a circuiti di ricircolo per il trattamento continuo dell'acqua, mediante demineralizzazione, filtrazione o aggiunta di additivi chimici.

Dal punto di vista della sicurezza, gli accumulatori sono considerate componenti a rischio controllato. Per questo motivo sono soggette a ispezioni periodiche, test di integrità strutturale e controlli non distruttivi, come ultrasuoni o radiografie. Eventuali perdite o malfunzionamenti devono essere segnalati immediatamente, e l'intervento deve seguire protocolli specifici stabiliti dal piano di emergenza dell'impianto.

Infine, gli accumulatori giocano un ruolo importante anche nelle fasi di avvio e spegnimento del reattore, quando è necessario gestire grandi quantità di fluido in modo graduale e sicuro. Il loro corretto utilizzo contribuisce al mantenimento dell'equilibrio termico, alla conservazione della reattività sotto controllo e alla protezione dell'ambiente circostante da potenziali contaminazioni.

TURBINA



Sigla Componente: **HP**

La turbina è uno degli elementi fondamentali del sistema di conversione dell'energia termica in energia meccanica all'interno di una centrale nucleare. La sua funzione principale è quella di trasformare l'energia del vapore ad alta pressione e alta temperatura, generato nel generatore di vapore, in energia rotazionale, che verrà poi utilizzata per azionare il generatore elettrico. La turbina è posta sul circuito secondario della centrale, ossia non entra mai in contatto diretto con i fluidi radioattivi del circuito primario, garantendo così maggiore sicurezza operativa e facilità di manutenzione.

In genere, le turbine utilizzate in ambito nucleare sono di

tipo a vapore e sono composte da diverse sezioni: ad alta pressione, a media pressione e a bassa pressione. Il vapore entra inizialmente nella sezione ad alta pressione, dove la sua energia viene in parte trasformata in energia meccanica. Successivamente, il vapore attraversa le altre sezioni, perdendo progressivamente pressione e temperatura, fino ad arrivare al condensatore. Questo schema multistadio consente di sfruttare al massimo l'energia contenuta nel vapore e di aumentare il rendimento complessivo della macchina.

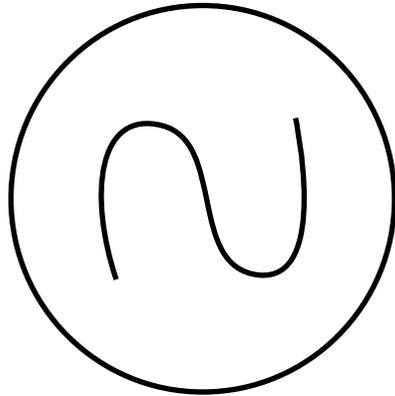
Le turbine sono costituite da un rotore che ruota ad alta velocità all'interno di un alloggiamento fisso (lo statore), e da palette disposte in sequenza che guidano e accelerano il flusso del vapore. Ogni stadio della turbina è progettato per sfruttare in modo ottimale la differenza di pressione tra ingresso e uscita. Il controllo della turbina avviene attraverso valvole regolatrici di flusso che modulano la quantità di vapore immesso, permettendo l'adattamento del carico alle condizioni operative della centrale.

Le turbine nucleari sono soggette a tolleranze estremamente rigorose, sia per quanto riguarda l'equilibratura meccanica che per la resistenza dei materiali alle sollecitazioni termiche e meccaniche. I componenti interni lavorano a temperature elevate e devono resistere a cicli termici ripetuti, a vibrazioni costanti e a forze centrifughe notevoli. Per questo motivo, vengono realizzate con leghe metalliche speciali e sottoposte a frequenti ispezioni e manutenzioni programmate.

Il funzionamento regolare della turbina è monitorato tramite sensori di vibrazione, temperatura, pressione e velocità, collegati ai sistemi di controllo della centrale. Qualsiasi variazione anomala nei parametri operativi può indicare un problema meccanico o un'alterazione nel flusso di vapore, richiedendo un intervento immediato o una fermata controllata della macchina.

Infine, la turbina è solidamente accoppiata all'alternatore, con cui forma l'asse motore del sistema di produzione elettrica. L'intero gruppo turbina-generatore è alloggiato in una sala dedicata, dotata di sistemi di isolamento acustico, sistemi antincendio e dispositivi di sicurezza per la protezione del personale e dell'impianto.

GENERATORE/ ALTERNATORE



Sigla Componente: **G**

Il generatore, noto anche come alternatore, è il componente responsabile della trasformazione dell'energia meccanica in energia elettrica all'interno della centrale nucleare. È accoppiato meccanicamente all'asse della turbina e sfrutta il principio dell'induzione elettromagnetica: quando un conduttore si muove all'interno di un campo magnetico, viene generata una corrente elettrica. In una centrale nucleare, questo processo è realizzato su larga scala e con efficienze molto elevate.

L'alternatore è costituito principalmente da due parti: il rotore e lo statore. Il rotore è l'elemento mobile che ruota insieme alla turbina, ed è dotato di elettromagneti o di

avvolgimenti attraversati da corrente continua. Quando il rotore gira, genera un campo magnetico in movimento. Lo statore, parte fissa del generatore, è composto da avvolgimenti di rame disposti in modo da captare questo campo magnetico rotante, inducendo una corrente alternata trifase ad alta tensione.

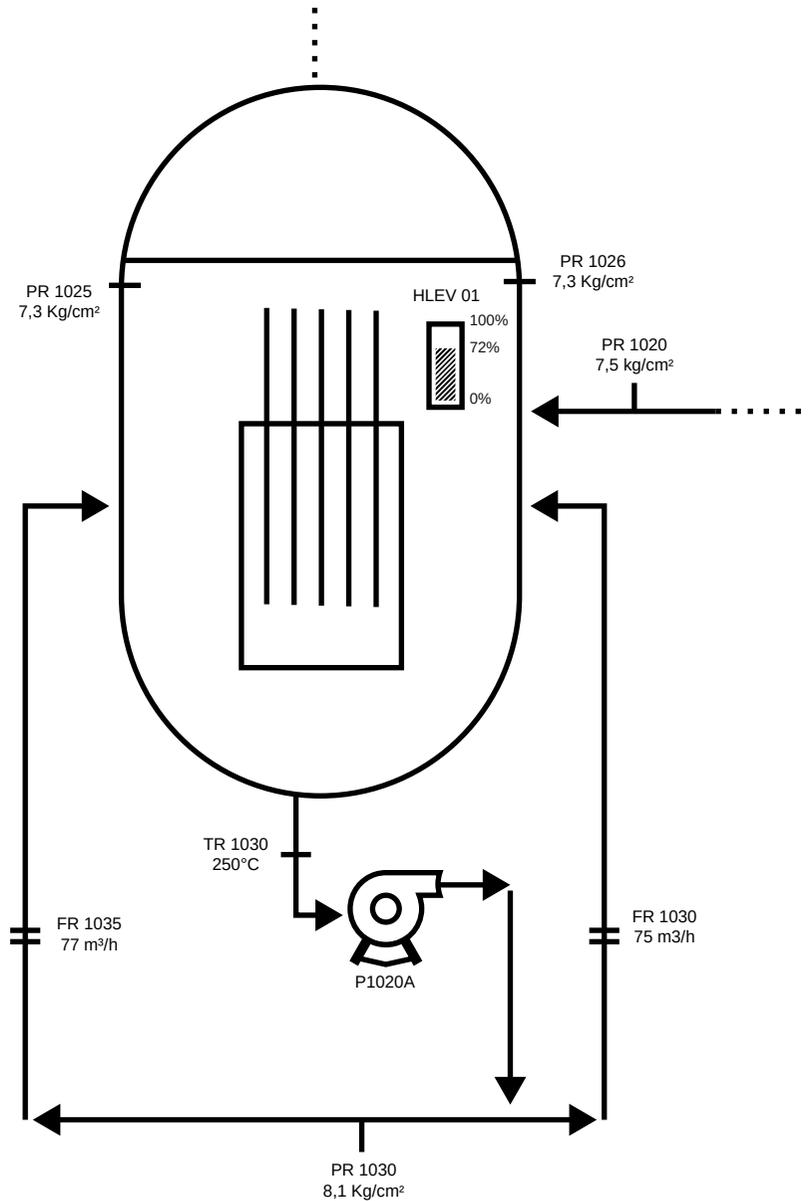
Il generatore è progettato per lavorare a regimi di potenza estremamente elevati, con una tensione in uscita che può superare i 20.000 volt e una potenza che può arrivare a migliaia di megawatt. Per questo motivo è fondamentale garantire la stabilità meccanica e termica del sistema. Il generatore è dotato di sistemi di raffreddamento, spesso a idrogeno o ad aria forzata, per dissipare il calore generato durante il funzionamento continuo. In alcuni casi, si utilizza anche un raffreddamento a liquido per lo statore.

La tensione generata viene inviata a un trasformatore di potenza, che la eleva ulteriormente per la trasmissione sulla rete elettrica nazionale. Prima di questo passaggio, il generatore è costantemente monitorato attraverso sensori che rilevano parametri critici come temperatura degli avvolgimenti, vibrazioni dell'albero, pressione del gas di raffreddamento e isolamento elettrico.

In termini di sicurezza e affidabilità, il generatore è protetto da sistemi automatici di interruzione che entrano in funzione in caso di sovraccarico, corto circuito o guasto meccanico. In situazioni critiche, può essere disaccoppiato dalla turbina mediante un giunto di sicurezza o fermato d'emergenza con un sistema di frenatura dedicato.

L'insieme turbina-generatore è soggetto a manutenzione programmata, che include controlli non distruttivi sugli avvolgimenti, test di isolamento e verifica dell'equilibratura dinamica. Data la sua importanza strategica per il funzionamento della centrale, l'alternatore è uno dei componenti più monitorati e protetti dell'intero impianto.

REATTORE



Sigla Componente: α (alpha)

Valvole:

Misuratori:

FR1030, FR1035, FR1040, PR1030, PR1025, PR1026,
HLEV01, PR1020, TR1020, TR1030, FR1030

Pompe:

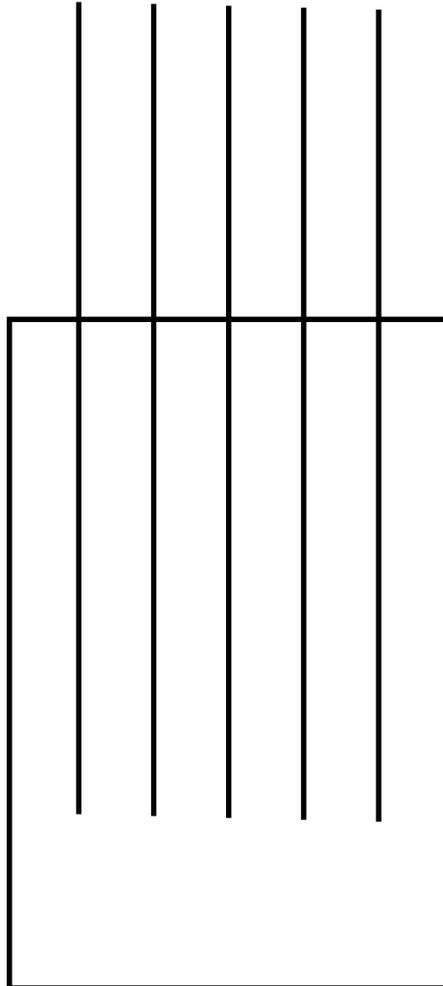
P1020A

Reattore:

NR1001

Il reattore rappresenta il cuore della centrale nucleare. In questa area avviene la produzione di energia termica attraverso la fissione controllata del combustibile nucleare. Il reattore riceve vapore proveniente dall'impianto di recupero, che viene utilizzato per alimentare il proprio circuito interno. Qui, il calore generato dal processo nucleare innalza ulteriormente la temperatura del fluido, che viene trasformato in vapore ad alta energia. Questo vapore surriscaldato viene incanalato e inviato verso la turbina, dove verrà convertito in energia meccanica. Il circuito interno del reattore è progettato per garantire il massimo isolamento, il controllo della reattività e la sicurezza del processo.

BARRE DI CONTROLLO

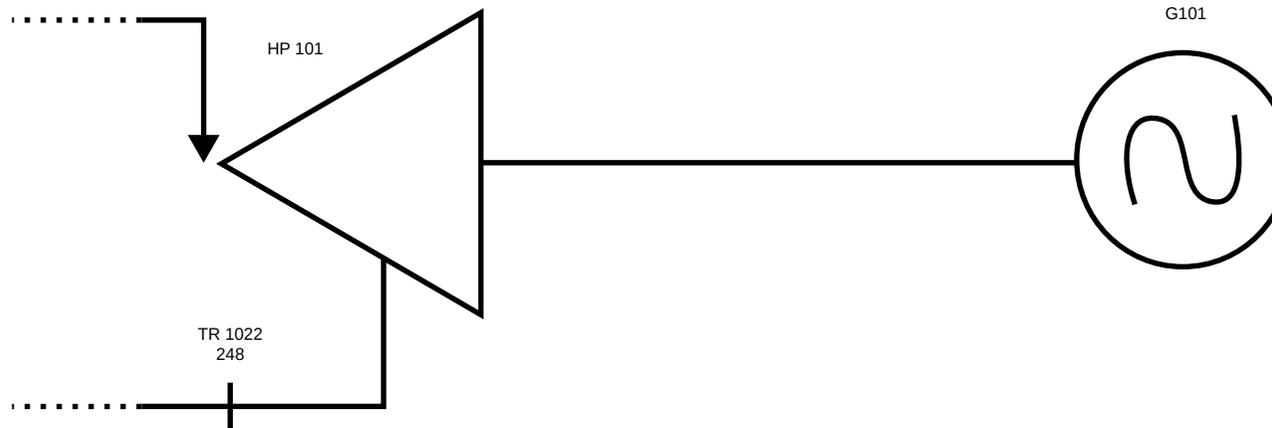


Sigla Componente: ω (omega)

Valvole:
V1001

Le barre di controllo sono dispositivi fondamentali per la gestione della reazione nucleare all'interno del reattore. Sono costituite da materiali in grado di assorbire i neutroni liberi, come boro, argento, cadmio o leghe speciali. Inserendole nel nocciolo, le barre riducono il numero di neutroni disponibili per la fissione, rallentando o arrestando la reazione a catena. Alzandole, si lascia passare un maggior numero di neutroni, aumentando la reattività. Il loro movimento verticale è controllato con estrema precisione da sistemi automatici o manuali, ed è cruciale in ogni fase: avvio, funzionamento, variazioni di carico e spegnimento d'emergenza. In condizioni anomale, un inserimento completo e rapido delle barre permette l'arresto immediato del reattore (SCRAM), garantendo la sicurezza dell'impianto.

GENERAZIONE DI CORRENTE



Sigla Componente: β (beta)

Valvole:

Misuratori:

R1021, TR1022

Turbina:

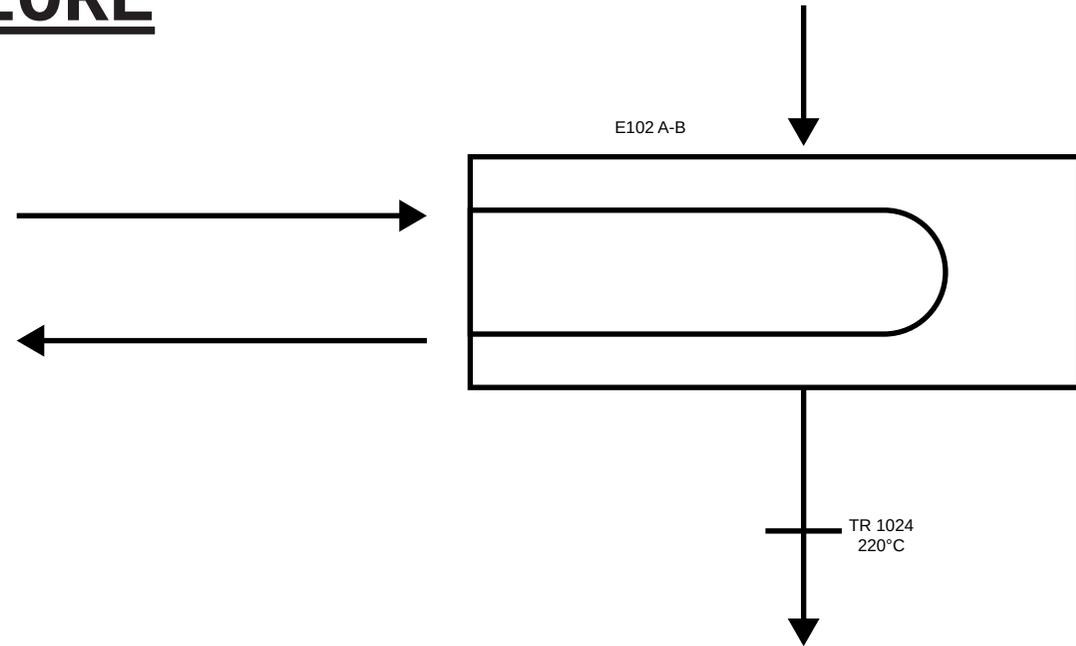
HP101

Generatore:

G101

L'area di generazione di corrente è il punto in cui l'energia termica viene convertita in energia elettrica. Il vapore ad alta temperatura, circa 250 °C, proveniente dal reattore entra nella turbina e ne fa ruotare le pale, trasformando l'energia del vapore in energia meccanica. La turbina è solidamente accoppiata a un alternatore, che genera corrente elettrica grazie al principio dell'induzione elettromagnetica. Dopo aver attraversato la turbina, il vapore, ancora molto caldo (circa 248 °C), viene convogliato verso il circuito di pompaggio dell'acqua di circolazione, dove inizierà un nuovo ciclo di trasferimento e recupero energetico. L'efficienza del sistema dipende dal corretto bilanciamento tra pressione, temperatura e portata del vapore.

RECUPERO CALORE



Sigla Componente: γ (gamma)

Valvole:

Misuratori:

TR1025 , TR1023,FR1020, TR1020

Pompe:

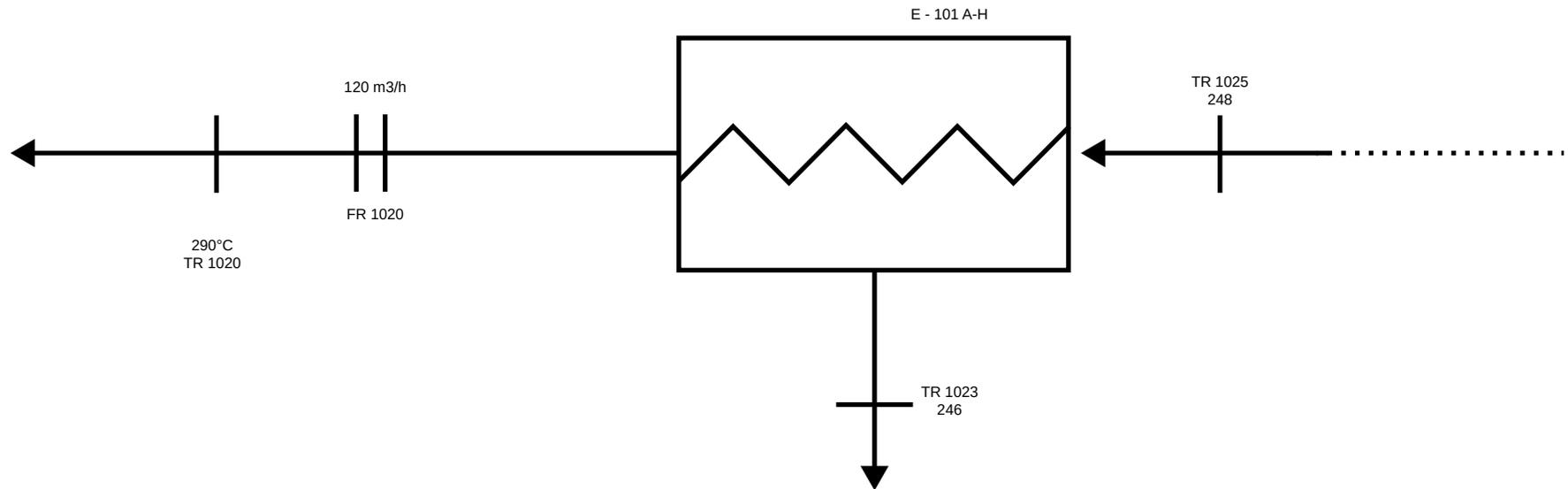
Impianti:

E101

l'uso dell'energia termica residua del vapore in uscita dalla turbina. Riceve il vapore a circa 248 °C e lo separa in base alla temperatura. La parte più calda, che mantiene un valore prossimo ai 248 °C, viene reimpressa direttamente nel reattore per alimentarne il circuito interno, contribuendo così al mantenimento della temperatura del nocciolo e riducendo il fabbisogno energetico iniziale. Il vapore che scende sotto i 246 °C, invece, viene deviato verso l'impianto di condensazione, dove inizia il processo di raffreddamento e conversione in acqua. Questo sistema consente un recupero efficiente dell'energia termica residua e un controllo dinamico delle condizioni operative del reattore.

L'impianto di recupero calore ha il compito di ottimizzare

CONDENSAZIONE



Sigla Componente: ϵ (epsilon)

Valvole:

V111, V112

Misuratori:

TR1025, TR1023, FR1020, TR1020

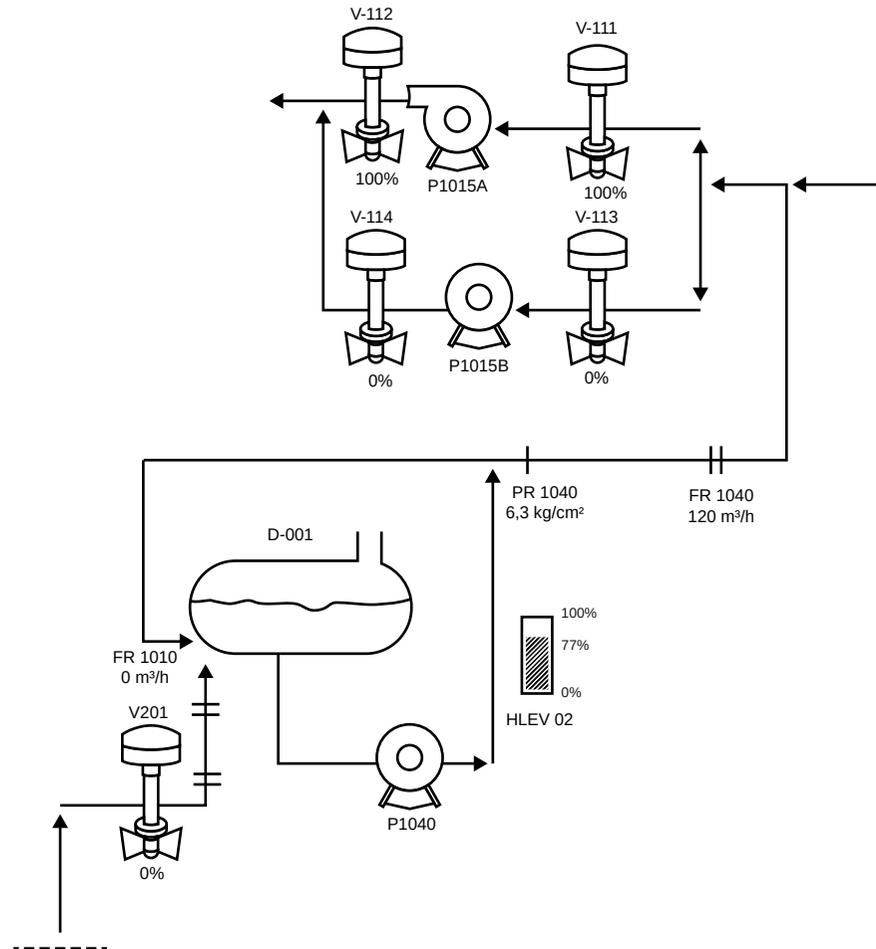
Pompe:

Impianti:

E101

L'impianto di condensazione ha la funzione di raffreddare il vapore residuo proveniente dall'impianto di recupero calore, riducendone la temperatura fino alla completa transizione allo stato liquido. Il vapore a temperatura inferiore ai 246 °C viene convogliato in scambiatori termici o condensatori a superficie, dove cede calore a un fluido più freddo, spesso acqua tecnica o proveniente da torri evaporative. Il vapore condensa e torna allo stato liquido, pronto per essere reinserito nel circuito tramite il sistema di pompaggio. Il processo di condensazione è essenziale per il mantenimento del ciclo chiuso, il risparmio energetico e la riduzione delle perdite termiche. Il controllo della temperatura e della pressione in questa fase è fondamentale per la stabilità dell'intero impianto.

CIRCUITO DI POMPAGGIO ACQUA DI CIRCOLAZIONE



Sigla Componente: ζ (zeta)

Valvole:

V111, V112, v114, v115, XV107, V201

Misuratori:

FR1030, FR1040, PR1030, HLEV02

Pompe:

P1040, P1015A, P1015B

Cisterne:

D001

Il circuito di pompaggio dell'acqua di circolazione ha il compito di garantire il movimento continuo del fluido termovettore all'interno dell'impianto. In una centrale nucleare, questo circuito è fondamentale per il trasferimento del calore generato nel reattore verso il sistema di recupero, assicurando che il liquido attraversi in modo costante il nocciolo, i generatori di vapore e gli altri scambiatori. Le pompe impiegate devono mantenere una portata elevata sotto pressione, con affidabilità continua anche in condizioni di temperatura e carico variabili. Il sistema è ridondato, monitorato da sensori e integrato con dispositivi di sicurezza per garantire la stabilità termoidraulica dell'impianto.

RILEVATORI DI TEMPERATURA

- **TR1020**
Misura la temperatura del vapore proveniente dal circuito di pompaggio verso il circuito del reattore.
 - Temperatura di esercizio: 230°
 - >235° Il reattore sta producendo troppo calore: investigare.
 - <220° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: investigare.

- **TR1030**
Misura la temperatura di immissione del vapore all'interno del nocciolo.
 - Temperatura di esercizio: 250°
 - >255° Il reattore sta producendo troppo calore: Intervenire sulle barre di controllo.
 - <245° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: Intervenire sulle barre di controllo.

- **TR1021**
Misura la temperatura del vapore in uscita dal reattore diretta verso la turbina.
 - Temperatura di esercizio: 250°
 - >255° Il reattore sta producendo troppo calore: Intervenire sulle barre di controllo..
 - <245° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: Intervenire sulle barre di controllo.

- **TR1022**
Misura la temperatura del vapore in uscita dalla turbina.
 - Temperatura di esercizio: 248°
 - >250° Il reattore sta producendo troppo calore: Investigare.
 - <245° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: Investigare.

- **TR1023**
Misura la temperatura del vapore in uscita dal sistema di recupero calore.
 - Temperatura di esercizio: 246°
 - >248° Il reattore sta producendo troppo calore o il sistema di recupero calore indirizza male il vapore: Investigare.
 - <240° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: Investigare.

- **TR1024**
Misura la temperatura dell'acqua in uscita dal sistema di condensazione.
 - Temperatura di esercizio: 220°
 - >248° Il reattore sta producendo troppo calore o il sistema di recupero calore indirizza male il vapore: Investigare.
 - <240° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: Investigare.

- **TR1025**
Misura la temperatura del vapore in uscita dal circuito di pompaggio e in ingresso nel sistema di recupero calore.
 - Temperatura di esercizio: 210°
 - >248° Il reattore sta producendo troppo calore o il sistema di recupero calore indirizza male il vapore: Investigare.
 - <240° Temperatura di esercizio dell'impianto troppo bassa: Investigare.

RILEVATORI DI PRESSIONE

- **PR1030**
Misura la pressione nel circuito interno al reattore.
In caso di letture anomale verificare anche PR1025 e PR1026.
Se non presentano anomalie probabile guasto al sensore.
Verificare sul campo.
 - Pressione di esercizio: 8,1 kg/cm²
 - >9,5 kg/cm²
 - <7,5 kg/cm²

- **PR1025**
Misura la pressione sulle pareti del nocciolo del reattore.
 - Pressione di esercizio: 7,3 kg/cm²
 - >9,0 kg/cm² Verificare anche PR1026. Se presenta la medesima misurazione il reattore sta scaldando troppo o non riesce a sfogare il vapore generato. Verificare corretta apertura valvola V1021 (da aggiungere accanto a TR1021)
 - <6.5 kg/cm² Il reattore è troppo freddo. Intervenire sulle barre di controllo.

- **PR1026**
Misura la pressione sulle pareti del nocciolo del reattore.
 - Pressione di esercizio: 7,3 kg/cm²
 - >9,0 kg/cm² Verificare anche PR1025. Se presenta la medesima misurazione il reattore sta scaldando troppo o non riesce a sfogare il vapore generato. Verificare corretta apertura valvola V1021

- <6.5 kg/cm² Il reattore è troppo freddo. Intervenire sulle barre di controllo.

- **PR1040**
Misura la pressione in uscita dall'accumulatore.
 - Pressione di esercizio: 6,3 kg/cm²
 - >8,0 kg/cm² Verificare anche FR1040.
 - Se anomala depotenziare P1040
 - Se normale verificare sul campo.
 - Se misuratore sul campo anomalo depotenziare P1040
 - <5,5 kg/cm² il livello dell'acqua nell'accumulatore potrebbe essere basso. Verificare sul campo HLEV02
 - Se sotto 60% aprire V201

RILEVATORI DI PORTATA

- **FR1030**
Misura la portata di acqua nel nel circuito interno al reattore. In caso di letture anomale verificare anche PR1035. Se non presenta anomalie probabile guasto al sensore.
 - Portata di esercizio: 75 mc/h
 - >80 mc/h Verificare anche PR1035.
 - Se anomalia simile depotenziare P1030
 - Se normale verificare sul campo.
 - Se misuratore sul campo anomalo depotenziare P1030
 - <5,5 kg/cm² la minore portata di acqua rischia di causare un surriscaldamento. Aumentare la potenza di P1020A
- **FR1035**
Misura la portata di acqua nel nel circuito interno al reattore. In caso di letture anomale verificare anche PR1035. Se non presenta anomalie probabile guasto al sensore.
 - Portata di esercizio: 75 mc/h
 - >80 mc/h Verificare anche PR1030.
 - Se anomalia simile depotenziare P1030
 - Se normale verificare sul campo.
 - Se misuratore sul campo anomalo depotenziare P1030
 - <5,5 mc/h la minore portata rischia di causare un surriscaldamento nel nocciolo. Aumentare la potenza di P1020A
- **FR1020**

Misura la portata di acqua in uscita dal sistema di recupero calore.

- Portata di esercizio: 120 mc/h
- >135 mc/h Verificare anche TR1030.
 - Se anomalia simile depotenziare P1015A
 - Se normale verificare sul campo.
 - Se misuratore sul campo anomalo depotenziare P1015A
- <110 kg/cm² Possibile guasto a P1015A. Verificare ed eventualmente attivare circuito ausiliare P1015B, V114 e V115

- **FR1010**
Misura la portata di nuova acqua verso il sistema di accumulo. Inserire acqua nel circuito è una procedura di emergenza da eseguire in caso di perdite in uno dei sistemi che costituiscono l'impianto. Durante la normale operatività la portata deve essere 0,0 mc/h
 - Portata di esercizio: 0,0 mc/h
 - >0 mc/h verificare sul campo che V201 sia chiusa.
 - Se aperta chiudere immediatamente!
 - Se chiusa ignorare l'anomalia
- **FR1040**
Misura la portata di acqua nel nel circuito di pompaggio acqua di circolazione.
 - Portata di esercizio: 120 mc/h
 - >130 mc/h: verificare anche PR1040.
 - Se anomalia simile depotenziare P1040
 - Se normale verificare sul campo.
 - Se misuratore sul campo anomalo depotenziare P1040
 - <100 mc/h: il livello dell'acqua nell'accumulatore potrebbe essere basso. Verificare sul campo HLEV02
 - Se sotto 60% aprire V201

MISURATORI DI LIVELLO

- HLEV01
Misura il livello dell'acqua all'interno del nocciolo
 - livello di esercizio: 73%
 - >75% liquido in eccesso. Possibile innalzamento pressione nel contenitore del nocciolo. Investigare.
 - <65% Liquido in difetto. Possibile perdita lungo l'impianto. Investigare.
- HLEV02
Misura il livello dell'acqua all'interno del accumulatore
 - livello di esercizio: 71%
 - >77% liquido in eccesso. Aumentare la potenza di P1040.
 - <60% Liquido in difetto. Diminuire la potenza di P1040.

POMPE

- P1020A
Pompa principale del circuito interno al reattore. Tiene costante la portata di acqua nel nocciolo.
Stato di esercizio: 70%
- P1020B
Pompa ausiliare di 1020A. Tiene costante la portata nel circuito del reattore.
Stato di esercizio: 0%
- P1015A
Pompa principale del circuito di pompaggio acqua di circolazione.
Valvola di ingresso: V-111
Valvola di uscita: V-112
Stato di esercizio: 70%
- P1015B
Pompa ausiliare del circuito di pompaggio acqua di circolazione.
Valvola di ingresso: V-113
Valvola di uscita: V-114
Stato di esercizio: 70%
- P1040
Pompa di circolazione in uscita dall'accumulatore.
Stato di esercizio: 70%

VALVOLE

- V-111
Valvola di ingresso nel circuito principale di pompaggio acqua di circolazione. Da aprire in coppia con V-112 in caso di disattivazione di P1015A.
Stato di esercizio: 100%
- V-112
Valvola di uscita dal circuito principale di pompaggio acqua di circolazione. Da aprire in coppia con V-111 in caso di disattivazione di P1015A.
Stato di esercizio: 100%
- V-113
Valvola di ingresso nel circuito ausiliario di pompaggio acqua di circolazione. Da aprire in coppia con V-114 in caso di attivazione di P1015B
Stato di esercizio: 0%
- V-114
Valvola di uscita dal circuito principale di pompaggio acqua di circolazione. Da aprire in coppia con V-113 in caso di attivazione di P1015B
Stato di esercizio: 0%
- V-201
Valvola di ingresso di nuova acqua. Da aprire in caso di calo del livello nell'accumulatore dovuto a perdite lungo un qualsiasi punto dell'impianto.
Stato di esercizio: 0%

NUCLEAR MELTDOWN

Finanziato dall'Unione Europea
Next Generation Eu

2025

