



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	101998900677279
Data Deposito	12/05/1998
Data Pubblicazione	12/11/1999

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	21	C		

Titolo

DISPOSITIVO DI PRODUZIONE DI NEUTRONI, IN PARTICOLARE PER UN REATTORE NUCLEARE OPERANTE IN CONDIZIONI SOTTOCRITICHE, E REATTORE NUCLEARE PROVVISORIO DI TALE DISPOSITIVO.

DESCRIZIONE

di Brevetto per Invenzione Industriale,

di **FINMECCANICA S.P.A. AZIENDA ANSALDO**, di nazionalità italiana,

con sede a 16128 GENOVA - PIAZZA CARIGNANO, 2

Inventore: **CINOTTI Luciano**

T 0 98 A 0 0 0 3 9 9

*** **

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo per la produzione di neutroni, in particolare per un reattore nucleare operante in condizioni sottocritiche, e ad un reattore nucleare provvisto di tale dispositivo.

Come noto, nei reattori nucleari "sottocritici" la massa di combustibile presente nel nocciolo di reazione è inferiore alla massa, detta appunto "critica", necessaria ad autosostenere la reazione di fissione nucleare, la quale è mantenuta producendo con un opportuno dispositivo ausiliario la quantità di neutroni richiesta dal sistema: in questo modo, è sufficiente interrompere l'alimentazione di neutroni dall'esterno per arrestare la reazione nucleare e quindi "spegnere" il reattore, con evidenti vantaggi in termini di sicurezza.

In particolare, è noto produrre i neutroni richiesti dal sistema di reazione per interazione di un fascio di particelle ad alta energia (tipicamente protoni) con nuclei pesanti contenuti nel sistema stesso, per esempio nel nocciolo del reattore: i neutroni prodotti sono quindi moltiplicati in condizioni sottocritiche dal processo di fissione nel nocciolo. Per esempio, la domanda internazionale di brevetto PCT/EP94/02467 illustra un reattore in cui un fascio di particelle ad alta energia, prodotte da un acceleratore, viene inviato all'interno del nocciolo attraverso un condotto di alimentazione mantenuto sostanzialmente sotto vuoto e chiuso alla sua estremità inferiore da una parete di fondo emisferica, nota come "finestra":

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358/BMI)

l'estremità inferiore del condotto, alloggiata all'interno del nocciolo, è immersa in un liquido costituito da un materiale a nuclei pesanti (metalli liquidi o sali metallici fusi) che, in particolare, è il liquido di raffreddamento del reattore stesso. Le particelle ad alta energia, dopo aver percorso il condotto di alimentazione, ne attraversano la parete di fondo, a cui cedono parte della propria energia, ed interagiscono quindi con il fluido di nuclei pesanti, avviando la produzione di neutroni. Questo sistema sottopone la parete di fondo del condotto di alimentazione a condizioni di esercizio particolarmente severe: essa, infatti, oltre al danneggiamento dovuto all'attraversamento delle particelle ad alta energia, è soggetta a gradienti termici elevati dovuti al forte riscaldamento interno da parte delle particelle stesse ed al raffreddamento esterno effettuato dal fluido di nuclei pesanti, associati ad una temperatura di esercizio comunque elevata; inoltre, la pressione esterna esercitata dal fluido di nuclei pesanti sulla parete di fondo non è bilanciata da pressione interna, essendo il condotto mantenuto sotto vuoto. Infine, nel condotto di alimentazione si formano, dall'interazione tra le particelle ad alta energia e il fluido a nuclei pesanti (il cosiddetto processo di "spallazione"), prodotti radioattivi che possono diffondersi all'esterno del reattore.

Secondo una possibile variante di questa tecnologia, il fascio di particelle ad alta energia, dopo avere attraversato la parete di fondo del condotto di alimentazione, interagisce con una porzione confinata di fluido di nuclei pesanti, separato dal fluido di raffreddamento del reattore, nel quale dunque non vengono diffusi i prodotti radioattivi del processo di "spallazione". Sorge però l'ulteriore problema di asportare la potenza accumulata nella porzione di fluido confinato a seguito dell'interazione del fascio di particelle ad alta energia.

Una soluzione nota prevede di far risalire il fluido di nuclei pesanti, tramite opportuni mezzi di circolazione, dalla zona di interazione con il fascio di particelle ad alta energia alla parte alta del reattore, dove può essere raffreddato con opportuni scambiatori: è chiaro però che, trattandosi di un fluido di nuclei pesanti, l'elevato sviluppo in altezza del circuito di raffreddamento, soprattutto se i mezzi di circolazione sono posti all'esterno del reattore, comporterebbe una pressione elevata agente proprio sulla parete di fondo del condotto di alimentazione, già soggetta a carichi termici e neutronici: sarebbe pertanto necessario aumentarne lo spessore, ma determinando in tal modo un maggior rilascio di energia nella parete stessa e un conseguente indesiderato aumento di temperatura della stessa.

Scopo del trovato è quello di superare i problemi sopra descritti dei reattori noti operanti in condizioni sottocritiche, fornendo un reattore provvisto di un dispositivo per la produzione di neutroni che consenta di evitare o ridurre gli inconvenienti di cui soffrono invece tali reattori.

In accordo con tale scopo, la presente invenzione è dunque relativa a un dispositivo per la produzione di neutroni tramite interazione di un fascio di particelle ad alta energia con un fluido operativo costituito da un materiale a nuclei pesanti, in particolare per un reattore nucleare operante in condizioni sottocritiche, comprendente un condotto di alimentazione, attraverso il quale inviare detto fascio di particelle verso detto fluido operativo, e mezzi di contenimento di detto fluido operativo, disposti ad una prima estremità di detto condotto di alimentazione; caratterizzato dal fatto che detto condotto di alimentazione comprende almeno un proprio tronco mantenuto sostanzialmente sotto vuoto e presenta, a detta propria prima estremità, un'interfaccia di

PLEBANI Rinaldo
iscrizione Albo nr. 358/BM

separazione tra detto suo tronco sotto vuoto e detto fluido operativo; e dal fatto che detti mezzi di contenimento di detto fluido operativo definiscono un circuito fluidodinamico chiuso; il dispositivo comprendendo inoltre mezzi di circolazione di detto fluido operativo entro detto circuito fluidodinamico chiuso, per mantenere detto fluido operativo in movimento in corrispondenza di detta interfaccia, e mezzi di scambio termico per sottrarre calore da detto fluido operativo in movimento entro detto circuito fluidodinamico chiuso.

In particolare, detti mezzi di circolazione di detto fluido operativo comprendono un circuito di immissione di un gas di trascinamento entro detto circuito fluidodinamico di detto fluido operativo; il dispositivo comprendendo inoltre mezzi di separazione di detto gas di trascinamento da un primo pelo libero di detto fluido operativo e mezzi di convogliamento di detto gas di trascinamento per evitare che quest'ultimo circoli entro detto tronco sotto vuoto di detto condotto di alimentazione.

Secondo una prima forma di attuazione dell'invenzione, detta interfaccia è definita da una parete di fondo di detto condotto di alimentazione; detto condotto di convogliamento terminando inferiormente con una propria apertura, preferibilmente sagomata a collo di bottiglia rovesciato; detto fluido operativo essendo inserito in detto condotto di contenimento fino ad un livello prefissato, definito da detto primo pelo libero.

Secondo una possibile variante, invece, detta interfaccia è definita da un secondo pelo libero di detto fluido operativo, detta prima estremità di detto condotto di alimentazione essendo un'estremità aperta, delimitata da un bordo circolare; detto secondo pelo libero essendo posto ad un livello superiore rispetto a detto primo pelo libero, in corrispondenza del quale detto gas di trascinamento

PIEBANI Rinaldo
Iscrizione Albo nr. 358/BMI

si separa da detto fluido operativo, detti mezzi di séparatione di detto gas di trascinamento da detto fluido operativo e detti mezzi di contenimento di detto fluido operativo essendo atti a mantenere una differenza di pressione prefissata al di sopra di detto primo e di detto secondo pelo libero, tale da mantenere detto secondo pelo libero ad un livello superiore a detto primo pelo libero.

L'invenzione si estende ai reattori nucleari, in particolare operanti in condizioni sottocritiche, provvisti del dispositivo per la produzione di neutroni sommariamente descritto.

Il dispositivo secondo l'invenzione consente dunque di realizzare reattori nucleari in cui i prodotti di spallazione radioattivi liquidi e solidi restano confinati all'interno del fluido operativo senza contaminare il fluido refrigerante del reattore. Al contempo, il fluido operativo è mantenuto in costante movimento entro il circuito fluidodinamico chiuso in cui circola, consentendo in tal modo di smaltire il calore sviluppato in esso dal bombardamento delle particelle ad alta energia. Per la circolazione del fluido operativo, inoltre, possono essere utilizzati i medesimi mezzi di circolazione a gas di trascinamento di cui è già provvisto il reattore stesso per la circolazione del proprio fluido refrigerante, senza dover ricorrere all'impiego, per esempio, di pompe meccaniche dalle elevate prestazioni e dalla disposizione problematica. Per il raffreddamento del fluido operativo, viene sfruttata una porzione dello stesso fluido refrigerante del reattore, senza necessità di ricorrere ad ulteriori complessi circuiti di raffreddamento: le particolari caratteristiche costruttive dei mezzi di scambio termico, inoltre, evitano l'insorgere di iperstatiche strutturali di componenti a diversa temperatura.

Nel caso in cui il fascio di particelle ad alta energia, per interagire con il fluido operativi di nuclei pesanti, attraversa una parete meccanica (la parete di

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358/BM)

fondo del condotto di alimentazione), l'invenzione consente di ridurre significativamente le sollecitazioni agenti su tale parete, sicuramente inferiori a quelle che imporrebbero le soluzioni note: secondo l'invenzione, infatti, il battente di fluido di nuclei pesanti agente sulla parete di fondo del condotto di alimentazione è significativamente ridotto rispetto al battente di fluido refrigerante del reattore, e ciò consente di realizzare tale parete in spessore non eccessivamente elevato.

Nel caso invece in cui il condotto di alimentazione termina con un pelo libero di fluido operativo, si evita del tutto la necessità di una parete meccanica in condizioni di esercizio severe. Anche in questo caso, inoltre, il fluido operativo viene mantenuto in moto e raffreddato per dissiparne la potenza assorbita nel processo di spallazione, sempre utilizzando un dispositivo di circolazione ausiliaria a gas di trascinamento che non richiede l'impiego di pompe meccaniche. Nonostante questo, le peculiari caratteristiche costruttive dell'invenzione consentono di avere, al di sopra del pelo libero definente l'interfaccia di interazione con il fascio di particelle, una pressione sostanzialmente nulla (pari al massimo alla tensione di vapore del fluido operativo), mentre la separazione del gas di trascinamento dal fluido operativo avviene in corrispondenza di un ulteriore pelo libero, a livello diverso dal precedente. In questo modo, è possibile mantenere il condotto di alimentazione sostanzialmente sotto vuoto e non è necessario che esso sia riempito con un gas in pressione, che sarebbe altrimenti richiesto per poter sfruttare il dispositivo di circolazione ausiliaria a gas di trascinamento, con conseguente attenuazione della potenza del fascio di particelle ed aumento delle sollecitazioni sullo stesso condotto di alimentazione: in particolare, un eventuale setto di separazione

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358/BMI)

inserito nel condotto di alimentazione a distanza prefissata dalla sua estremità provvista dell'interfaccia con il fluido operativo (utile per esempio per evitare eventuali fughe radioattive attraverso il condotto di alimentazione stesso) potrebbe essere facilmente realizzato in piccolo spessore, senza problemi di natura tecnologica, in quanto sottoposto a basse sollecitazioni.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi della presente invenzione appariranno chiari dalla descrizione seguente di alcuni suoi esempi non limitativi di realizzazione, con riferimento alle figure dei disegni annessi, in cui:

- la figura 1 illustra, schematicamente e in sezione longitudinale, un reattore nucleare provvisto di un dispositivo di produzione di neutroni secondo l'invenzione;
- la figura 2 illustra, schematicamente e in sezione longitudinale, un dettaglio in scala ingrandita del reattore nucleare di figura 1;
- la figura 3 illustra, schematicamente e in sezione longitudinale, una possibile variante al reattore nucleare di figura 1;
- la figura 4 illustra, ancora schematicamente e in sezione longitudinale, un dettaglio in scala ingrandita della variante di figura 3;
- la figura 5 illustra, sempre schematicamente e in sezione longitudinale, un ulteriore dettaglio in scala ingrandita della variante di figura 3;
- le figure 6 e 7 sono due viste in sezione trasversale, rispettivamente secondo i piani di traccia VI-VI e VII-VII, del dettaglio di figura 4.

Con riferimento alle figure 1 e 2, è indicato nel suo complesso con 1 un reattore nucleare del tipo a circolazione naturale del fluido refrigerante, utilizzando come fluido refrigerante un metallo liquido, per esempio piombo.

Il reattore 1 comprende, secondo una soluzione costruttiva nota, un

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358/BM)

involucro interno 2 e un involucro esterno 3, sostanzialmente cilindrici e chiusi superiormente da un coperchio 4: all'interno dell'involucro 2 è contenuta una quantità prefissata di un fluido operativo refrigerante 5, nella fattispecie metallo liquido (per esempio piombo), che raggiunge un pelo libero 6, e una quantità prefissata di un gas inerte 7, contenuto in un polmone 8 posto al di sopra del livello 6 del metallo liquido 5 ed al di sotto del coperchio 4.

Nella parte inferiore dell'involucro 2 è alloggiato il cosiddetto nocciolo di reazione 10, nel quale è disposto, come noto, il combustibile nucleare: il nocciolo 10 ha struttura sostanzialmente anulare, essendo delimitato esternamente da una virola di contenimento 11 e internamente da una corona interna 12 di elementi di combustibile (noti e non illustrati in dettaglio), disposta internamente coassiale alla virola di contenimento 11 e definente una sede 13 sostanzialmente cilindrica all'interno del nocciolo 10; ulteriori elementi di combustibile sono distribuiti su una pluralità di corone concentriche comprese tra la corona interna 12 e la virola di contenimento 11 (non illustrate per semplicità). Il nocciolo 10 è supportato inferiormente da una griglia 14, nota, che convoglia il fluido refrigerante 5 entro il nocciolo 10 stesso.

Secondo una soluzione costruttiva nota, particolarmente indicata per i reattori a metallo liquido, all'interno del reattore 1 sono ricavati un collettore superiore 15 e un collettore inferiore 16, separati da una struttura 17 di configurazione nota, provvista in particolare di una prima porzione cilindrica 18, coassiale all'involucro 2 e costituente in sostanza un prolungamento della virola 11 di contenimento del nocciolo 10, e di una seconda porzione cilindrica 19, pure coassiale all'involucro 2 e radialmente esterna rispetto alla precedente, alla quale è collegata tramite una porzione di raccordo 20, sostanzialmente tronco-conica. Il

reattore 1 comprende inoltre almeno uno scambiatore di calore 21, noto, disposto in corrispondenza della struttura di separazione 17 tra i collettori 15 e 16, la cui funzione è quella di sottrarre calore al fluido refrigerante 5: in uso, il collettore superiore 15 (collettore "caldo") convoglia metallo liquido caldo verso lo scambiatore di calore 21, mentre il collettore inferiore 16 (collettore "freddo"), convoglia metallo liquido freddo, in uscita dallo scambiatore 21, verso il nocciolo 10, definendo in tal modo un circuito di raffreddamento 22.

Preferibilmente, ma non necessariamente, secondo una soluzione nota dalla domanda italiana di brevetto n. TO96A001081 della stessa Richiedente, il reattore 1 comprende inoltre un dispositivo di circolazione ausiliaria 25 che favorisce la circolazione naturale del fluido refrigerante 5 entro il reattore 1.

A tale scopo, la porzione cilindrica 18 della struttura di separazione 17 è prolungata superiormente oltre la porzione di raccordo 20 e si estende fino a una distanza prefissata al di sotto del pelo libero 6 del fluido refrigerante 5; un ulteriore elemento cilindrico 26 di diametro prefissato è disposto internamente alla porzione cilindrica 18, coassiale ad essa, a distanza prefissata dal nocciolo 10, e si estende verticalmente al di sopra del livello 6 del fluido 5, dove è ancorato al coperchio 4: l'elemento cilindrico 26 e la porzione cilindrica 18 definiscono dunque un condotto anulare 27 all'interno del collettore caldo 15, in comunicazione idraulica con quest'ultimo tramite un passaggio anulare 28 definito dalla distanza prefissata tra la porzione cilindrica 18 e il livello 6 del fluido refrigerante 5, oltre che da una pluralità di fori 29 ricavati passanti nella parete laterale del condotto verticale 15 della stessa porzione cilindrica 18. All'interno del condotto anulare 27 è disposta una pluralità di diffusori 30, nei quali, tramite rispettivi condotti di rinvio 31 e apposite soffianti (non illustrate per

semplicità), è alimentato un flusso di gas compresso, per esempio prelevato dallo stesso gas inerte 7 di copertura del reattore 1, contenuto nel polmone 8. Come illustrato nella domanda italiana di brevetto n. TO96A001081, questo flusso gassoso favorisce la circolazione naturale del fluido refrigerante 5 entro il reattore 1, alleggerendo la colonna di metallo liquido caldo in uscita dal nocciolo 10.

Il reattore 1 opera in condizioni sottocritiche, in quanto la quantità di combustibile nucleare presente nel nocciolo 10 non è sufficiente ad autosostenere la reazione di fissione del combustibile stesso: il reattore 1 è pertanto provvisto di un dispositivo 33 per la produzione dei neutroni necessari al mantenimento della reazione. In particolare, il dispositivo 33 di produzione di neutroni comprende mezzi di contenimento 34 di un fluido operativo 35 costituito da un materiale a nuclei pesanti (nel seguito indicato come "fluido operativo di nuclei pesanti") e un condotto di alimentazione 36, attraverso il quale un fascio controllato di particelle ad alta energia (per esempio protoni), indicato dalla freccia 37 in figura 1, è inviato contro il fluido operativo 35 di nuclei pesanti, in modo che l'interazione tra il fascio 37 e il fluido operativo 35 generi, secondo un principio noto, una quantità prefissata di neutroni. Nella fattispecie, il condotto di alimentazione 36 è un condotto sostanzialmente cilindrico disposto in corrispondenza di un asse longitudinale centrale 40 del reattore 1, passante attraverso il coperchio 4 e terminante inferiormente, ad una propria estremità 39, con una parete di fondo 41 sostanzialmente emisferica, posta all'interno della sede 13 del nocciolo 10. Il condotto di alimentazione 36 è mantenuto sostanzialmente sotto vuoto, compreso, in particolare, un suo tronco 42 terminale estendentesi dalla parete di fondo 41.

Secondo la presente invenzione, i mezzi di contenimento 34 del fluido operativo 35 definiscono per quest'ultimo un circuito fluidodinamico 43 chiuso,

privo di comunicazione idraulica con il circuito di raffreddamento 22 del reattore: il fluido operativo 35, pertanto, pur potendo essere costituito dal medesimo tipo di fluido utilizzato come fluido refrigerante del reattore 1 (per esempio piombo fuso), è comunque una porzione confinata di esso, con il quale non si mescola in alcun caso durante il funzionamento del reattore 1.

Nella fattispecie, i mezzi di contenimento 34 comprendono un condotto di contenimento 44, sostanzialmente cilindrico, che si estende verso il basso dal coperchio 4 del reattore 1, dal quale è sostenuto, concentrico e coassiale al condotto di alimentazione 36: il condotto di contenimento 44 è provvisto, al di sopra del livello del pelo libero 6 del fluido refrigerante 5, di fori di comunicazione 45 con il polmone 8 del reattore 1, contenente il gas inerte 7: in tal modo, il condotto di contenimento 44 impedisce al fluido refrigerante 5 di entrare nel circuito fluidodinamico 43 del fluido operativo 35.

Il condotto di contenimento 44 comprende a sua volta un tronco superiore 46, che si estende dal coperchio 4 fino ad una distanza prefissata al di sopra del nocciolo 10, ed un tronco inferiore 47, avente diametro minore di quello del tronco superiore 46 e terminante inferiormente, al di sotto della parete di fondo 41 del condotto di alimentazione 36 e sempre all'interno della sede 13 del nocciolo 10, con una propria parete di fondo 48 emisferica.

Il tronco superiore 46 ed il tronco inferiore 47 del condotto di contenimento 44 sono collegati idraulicamente da un fascio tubiero 49, comprendente una pluralità di tubi di scambio disposti per esempio su più corone concentriche e saldati a proprie opposte estremità longitudinali a due piastre tubiere anulari 50, 51: le piastre tubiere anulari 50, 51 sono poste rispettivamente ad una estremità inferiore del tronco superiore 46 e ad una estremità superiore del tronco inferiore

47, quest'ultima poco al di sopra del nocciolo 10. La piastra tubiera anulare 50, superiore, è saldata ad un bordo radialmente esterno del tronco superiore 46 del condotto di contenimento 44, mentre la piastra tubiera anulare 51, inferiore, è saldata ad un bordo radialmente esterno del tronco inferiore 47 dello stesso condotto di contenimento 44: rispettivi bordi interni delle piastre tubiere anulari 50, 51 sono a loro volta saldati ad un condotto di convogliamento 52, anch'esso sostanzialmente cilindrico e disposto coassiale al condotto di alimentazione 36, a distanza radiale prefissata da esso. Il condotto di convogliamento 52 si estende superiormente oltre la piastra tubiera anulare 50, per un tratto prefissato, e inferiormente oltre la piastra tubiera anulare 51 fino al di sotto della parete di fondo 41 del condotto di alimentazione 36, dove termina con una apertura 53 circolare, preferibilmente sagomata a collo di bottiglia rovesciato.

Una ulteriore virola di contenimento 54 si estende dalla piastra tubiera anulare 50 superiore verso il basso, a prolungamento del tronco superiore 46 del condotto di contenimento 44 e fino in corrispondenza del nocciolo 10: secondo la preferita forma di attuazione illustrata nelle figure 1 e 2, la virola di contenimento 54 è sagomata in modo da inserirsi all'interno della sede 13 del nocciolo; in alternativa, essa potrebbe prolungarsi all'interno del nocciolo 10 per tutta la sua estensione, definendo per esempio una struttura interna di contenimento del nocciolo 10 stesso. In ogni caso, la virola di contenimento 54 presenta proprie aperture radiali 55 passanti, poste in prossimità della piastra tubiera anulare 50.

In uno spazio anulare 56, delimitato all'interno dal condotto di alimentazione 36 e all'esterno dal condotto di convogliamento 52, sono inseriti alcuni condotti di immissione 57 di un flusso gassoso (uno solo dei quali è illustrato nelle figure 1 e 2, per semplicità), le cui estremità inferiori sono poste

poco al di sopra della porzione attiva del nocciolo 10: i condotti di immissione 57 hanno lo scopo, come sarà chiarito in seguito e secondo il principio descritto nella già citata domanda di brevetto n. TO96A001081 della stessa Richiedente, di favorire la circolazione del fluido operativo 35 entro il circuito fluidodinamico 43. Vantaggiosamente, anche il gas di circolazione utilizzato in questo caso può esser prelevato dallo stesso gas inerte 7 contenuto nel polmone 8, eventualmente tramite il medesimo dispositivo di circolazione ausiliaria 25 che favorisce la circolazione del fluido refrigerante 5.

In uso, una quantità prefissata di fluido operativo 35 è inserita nel condotto di contenimento 44, in modo che il fluido operativo 35 raggiunga un livello prefissato entro di esso, definito da un pelo libero 58: il pelo libero 58 del fluido operativo 35 si trova ad un livello significativamente inferiore al pelo libero 6 del fluido refrigerante 5 nel reattore 1, mentre, all'interno del condotto di contenimento 44, è al di sopra del condotto di convogliamento 52.

Durante il funzionamento del reattore 1, come noto, il fascio di particelle 37, dopo aver attraversato il condotto di alimentazione 36 e la sua parete di fondo 41 (che costituisce dunque un'interfaccia di separazione tra il tronco 42 sotto vuoto dello stesso condotto di alimentazione 36 e il fluido operativo 35), interagiscono con il fluido operativo 35 al di sotto della stessa parete di fondo 41, generando neutroni per il sostentamento della reazione nucleare entro il nocciolo 10: il fluido operativo 35, scaldato dall'azione del fascio di particelle 37, risale nello spazio anulare 56, che definisce dunque un condotto anulare di risalita per il fluido operativo 35: la risalita del fluido operativo 35 nel condotto anulare 56 è favorita inoltre dall'immissione, tramite i condotti di immissione 57, di un gas di trascinamento, per esempio prelevato dal polmone 8 tramite opportune soffianti,

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 359/BMI)

note e non illustrate per semplicità, con lo scopo di alleggerire ulteriormente la colonna di fluido operativo 35, caldo, entro il condotto anulare 56 e favorirne così il moto ascendente.

Il fluido operativo 35 risale dunque fino al pelo libero 58 entro il condotto anulare 56, all'interno del condotto di convogliamento 52: in corrispondenza del pelo libero 58, il gas di trascinamento si separa dal fluido operativo 35 e, percorrendo il condotto di contenimento 44, torna al polmone 8. Il fluido operativo 35, privo del gas di trascinamento, scende invece attraverso il fascio tubiero 49, nel quale viene raffreddato da una porzione di fluido refrigerante 5 in uscita dal nocciolo 10 a temperatura inferiore a quella del fluido operativo 35; successivamente, il fluido operativo 35, raffreddato nel fascio tubiero 49, percorre un condotto anulare 59 discendente definito, all'esterno, dal tronco inferiore 47 del condotto di contenimento 44 e, all'interno, dal condotto di convogliamento 52: raggiunta la parete di fondo 48 del condotto di contenimento 44, il fluido operativo 35 risale attraverso l'apertura 53 del condotto di convogliamento 52 e si trova nuovamente sottoposto all'azione del fascio di particelle 37.

Chiaramente, intanto, il fluido refrigerante 5 circola all'interno del circuito di raffreddamento 22 del reattore 1: in particolare, una porzione del fluido refrigerante 5, in ingresso al nocciolo 10 e avente temperatura inferiore a quella del fluido operativo 35 dopo l'interazione con il fascio di particelle 37, attraversa la sede 13 del nocciolo 10, risale entro la virola di contenimento 54, lambendo il fascio tubiero 49 ed asportando calore dal fluido operativo 35, ed esce quindi attraverso le aperture radiali 55, reinserendosi nel flusso di fluido refrigerante 5 in risalita dal nocciolo 10.

In sostanza, dunque, il fascio tubiero 49 definisce, insieme alla virola di

contenimento 54, uno scambiatore di calore 60: nella fattispecie non limitativa illustrata nelle figure 1 e 2, come precedentemente descritto, i tubi di scambio del fascio tubiero 49 sono internamente percorsi dal fluido operativo 35, mentre sul loro esterno circola il fluido refrigerante 5 del reattore 1: è tuttavia evidente che potrebbe essere previsto l'impiego, con la stessa funzione, di uno scambiatore di calore avente diversa configurazione rispetto a quello descritto.

Per esempio, secondo una possibile variante, non illustrata in dettaglio per semplicità ma a questo punto chiara per il tecnico del ramo, il fluido operativo 35 viene raffreddato, anziché dallo stesso fluido refrigerante 5 circolante nel reattore 1, da un fluido refrigerante ausiliario: secondo questa variante, il tronco superiore 46 e il tronco inferiore 47 del condotto di contenimento 44 e la virola di contenimento 54 sono collegati tra loro con continuità a definire un unico sistema di contenimento del fluido operativo 35, all'interno del quale non penetra il fluido refrigerante 5: in tal caso, il fascio tubiero 49 è vantaggiosamente separato da tale sistema di contenimento e collegato ad un circuito chiuso di circolazione del fluido refrigerante ausiliario, proveniente, per esempio, dall'esterno del reattore 1: i tubi di scambio che costituiscono il fascio tubiero 49 sono dunque internamente percorsi dal fluido refrigerante ausiliario, mentre il fluido operativo 35 circola all'esterno di tali tubi.

Secondo un'ulteriore variante, pure non illustrata per semplicità, il gas di trascinamento che si separa dal fluido operativo 35 in corrispondenza del pelo libero 58 può, anziché essere inviato direttamente al polmone 8, essere inviato in un circuito esterno di raffreddamento e purificazione, in modo da condensare e quindi separare eventuali prodotti radioattivi (per esempio mercurio) in esso contenuti, evitandone il ritorno nel reattore 1.

Da quanto descritto, è chiaro che, grazie all'impiego del dispositivo 33 di produzione di neutroni secondo l'invenzione, i prodotti di spallazione radioattivi liquidi e solidi restano confinati all'interno del fluido operativo 35 senza contaminare il fluido refrigerante 5 del reattore 1; inoltre, il battente di fluido operativo 35 che agisce sulla parete di fondo 48 del condotto di alimentazione 36 è solamente quello dovuto alla differenza di livello tra il pelo libero 58 dello stesso fluido operativo 35 entro il condotto di contenimento 44 e la parete di fondo 48, significativamente ridotto rispetto all'eventuale battente che avrebbe il fluido refrigerante 5 se fosse a contatto della medesima parete.

Con riferimento alle figure da 3 a 7, nelle quali i dettagli simili o uguali a quelli già descritti sono indicati con i medesimi numeri, un reattore 1a comprende ancora un involucro 2 chiuso superiormente da un coperchio 4 e al cui interno è definito un circuito di raffreddamento 22 per la circolazione di un fluido refrigerante 5 (per esempio metallo liquido) tra un nocciolo 10 di reazione ed almeno uno scambiatore di calore 21; nella fattispecie, il reattore comprende una struttura 17, sostanzialmente cilindrica e coassiale all'involucro 2, che si prolunga da una virola di contenimento 11 del nocciolo 10 verso l'alto fino ad una distanza prefissata al di sotto di un pelo libero 6 del fluido refrigerante 5, ed un ulteriore elemento cilindrico 26, disposto internamente alla struttura 17, coassiale ad essa, che si estende dal coperchio 4 fino ad una distanza prefissata al di sopra del nocciolo 10: l'elemento cilindrico 26 e la struttura 17 definiscono dunque un condotto anulare 27 interno, mentre la struttura 17 e l'involucro 2 definiscono un condotto anulare 32 esterno, in comunicazione idraulica con il condotto anulare 27 interno tramite un passaggio anulare 28 definito dalla distanza prefissata tra la struttura 17 e il pelo libero 6 del fluido refrigerante 5, oltre che da una pluralità di

fori 29 ricavati passanti nella parete laterale della stessa struttura 17. Anche in questo caso, all'interno del condotto anulare 27 sono disposti condotti di rinvio 31 per alimentare un flusso di gas compresso, per esempio prelevato dallo stesso gas inerte 7 di copertura del reattore 1a, contenuto nel polmone 8.

Anche il reattore 1a opera in condizioni sottocritiche ed è pertanto provvisto di un dispositivo 33a per la produzione dei neutroni necessari al mantenimento della reazione, comprendente mezzi di contenimento 34, definenti un circuito fluidodinamico 43 chiuso per un fluido operativo 35 di nuclei pesanti, e un condotto di alimentazione 36, attraverso il quale un fascio di particelle 37 ad alta energia (per esempio protoni) è inviato contro il fluido operativo 35 di nuclei pesanti, all'interno di una sede 13 del nocciolo 10.

Il condotto di alimentazione 36, che è anche in questo caso un condotto sostanzialmente cilindrico disposto in corrispondenza di un asse longitudinale centrale 40 del reattore 1, passante attraverso il coperchio 4, è tuttavia provvisto di una propria estremità 39 inferiore aperta, delimitata da un bordo circolare 62, disposta all'interno della sede 13 del nocciolo 10.

Il bordo circolare 62 del condotto di alimentazione 36 è raccordato ad un condotto sagomato 64, avente in ogni sua sezione diametro maggiore di quello del condotto di alimentazione 36 e comprendente, a partire da una propria estremità 65 di attacco al bordo circolare 62 del condotto di alimentazione 36, un primo tratto 66 cilindrico e un secondo tratto 67 divergente, eventualmente raccordati tra loro da un breve tratto 68 convergente: il tratto 67 divergente termina ad una seconda estremità 69 aperta del condotto sagomato 64, opposta all'estremità 65 e disposta in prossimità di un bordo inferiore 70 del nocciolo 10.

Analogamente a quanto precedentemente descritto con riferimento alle

figure 1 e 2, sebbene con una conformazione differente, anche in questo caso un condotto di contenimento 44 circonda il condotto di alimentazione 36: nella fattispecie, il condotto di contenimento 44 comprende a sua volta tre tratti 71, 72, 73 successivi sostanzialmente cilindrici, raccordati tra loro: un primo tratto 71 circonda a piccola distanza il condotto di alimentazione 36, un secondo tratto 72 circonda il primo tratto 66 cilindrico del condotto sagomato 64 e un terzo tratto 73, avente diametro maggiore dei precedenti, circonda il tratto 67 divergente del condotto sagomato 64 e si prolunga inferiormente oltre l'estremità 69 di quest'ultimo, per un'estensione prefissata al di sotto del bordo inferiore 70 del nocciolo 10, dove termina con una piastra tubiera 74.

Al di sotto del bordo circolare 62 del condotto di alimentazione 36, a distanza prefissata da esso, e all'interno del condotto sagomato 64, è inserito un condotto di convogliamento 52, che costituisce in sostanza un prolungamento, separato, dello stesso condotto di alimentazione 36 e termina inferiormente, oltre l'estremità 69 del condotto sagomato 64, con un proprio tratto divergente 76 che è ancorato ad una parete laterale interna del terzo tratto 73 del condotto di contenimento 44. Il condotto di convogliamento 52 definisce, all'interno del condotto di contenimento 44, un condotto anulare 59: a sua volta, il condotto sagomato 64 divide longitudinalmente il condotto anulare 59, entro cui è inserito, in ulteriori due condotti anulari 59' e 59'', rispettivamente interno ed esterno.

Dalla piastra tubiera 74 si diparte una pluralità di tubi di scambio 77, disposti per esempio in corone concentriche, di collegamento con una porzione di fondo 78 emisferica, posta al di sotto di una seconda piastra tubiera 79.

In prossimità di un bordo periferico della piastra tubiera 79 sono inoltre inseriti passanti una pluralità di condotti di risalita 80, angolarmente spazati tra

loro e aventi diametro maggiore di quello dei tubi di scambio 77.

I condotti di risalita 80 sono inseriti passanti, entro appositi tubi guida 82, attraverso le piastre tubiere 74 e 79, rispetto alle quali possono traslare in senso verticale, non essendo ad esse saldati; i condotti di risalita 80 sono invece vincolati (per esempio saldati) al tratto divergente 76 del condotto di convogliamento 52, che attraversano per prolungarsi quindi all'interno del condotto anulare 59'' (delimitato all'interno dal condotto sagomato 64 e all'esterno dal condotto di contenimento 44), per una estensione prefissata, terminando con rispettive estremità svasate 83.

I tubi di scambio 77 sono alloggiati all'interno di una virola di contenimento 84, che si estende da una quota prefissata poco al di sopra della piastra tubiera 79, inferiore, fino all'interno del nocciolo 10, dove delimita la sede 13, per l'intera estensione verticale del nocciolo 10: in particolare, la virola di contenimento 84 comprende una prima porzione 85, che delimita radialmente i tubi di scambio 77, ed una seconda porzione 86, avente diametro maggiore della prima porzione 85, che delimita la sede 13 del nocciolo 10: in corrispondenza della piastra tubiera 74, superiore, alla quale è radialmente vincolata, la virola di contenimento 84 presenta un proprio raccordo 87 tra le porzioni 85, 86 aventi diametro differente.

I tubi di scambio 77 definiscono, insieme alla virola di contenimento 84, uno scambiatore di calore 60: chiaramente, come già ricordato con riferimento alle figure 1 e 2, anche in questa variante può essere previsto l'impiego di uno scambiatore di calore avente diversa configurazione rispetto a quello descritto (in particolare, utilizzando un fluido refrigerante ausiliario, distinto e separato dal fluido refrigerante 5 del reattore 1).

All'interno dei tubi di risalita 80 sono inseriti concentrici, sostenuti da appositi ancoraggi di tipo noto, rispettivi condotti di immissione 88 di un gas di trascinamento, per esempio prelevato dal polmone 8, con il quale sono collegati i tubi di immissione 88. I tubi di immissione 88 si estendono a partire da una sezione intermedia dei condotti di risalita 80, compresa tra le piastre tubiere 74 e 79, e si prolungano oltre il condotto di contenimento 44, entro la sede 13 del nocciolo 10 dove, inseriti a loro volta in tubi guida 89, risalgono fino al coperchio 4 del reattore 1 (da cui sono collegati, tramite un circuito non illustrato per semplicità, al polmone 8 contenente il gas inerte 7).

Il condotto di alimentazione 36 è collegato, in modo noto, ad una pompa a vuoto 90, atta a mantenere sostanzialmente sotto vuoto lo stesso condotto di alimentazione 36 e, in particolare, il suo tronco 42 terminale.

Il condotto di contenimento 44 delimita, insieme al tratto cilindrico 66 del condotto sagomato 64 e al condotto di alimentazione 36 raccordato a quest'ultimo, un passaggio anulare 91, collegato superiormente al polmone 8 di gas inerte 7 (tramite un circuito non illustrato per semplicità).

In uso, una quantità prefissata di fluido operativo 35 è inserita nel condotto di contenimento 44, entro il quale raggiunge, all'interno dei condotti anulari 59' e 59'', due differenti livelli, definiti da rispettivi peli liberi 92, 93 posti rispettivamente in corrispondenza del tratto intermedio 68 del condotto sagomato 64 ed in corrispondenza dell'estremità 39 inferiore del condotto di alimentazione 36: infatti, mentre il condotto di alimentazione 36 è mantenuto sostanzialmente sotto vuoto, e quindi il pelo libero 93 del fluido operativo 35 entro il condotto anulare 59' si trova a pressione sostanzialmente nulla, il pelo libero 92 nel condotto anulare 59'' è a pressione pari a quella del polmone 8 del reattore (per

PIEBANI Rinaldo
Iscrizione Albo nr. 358/BW

esempio a pressione atmosferica), con il quale è in collegamento fluidodinamico tramite il passaggio anulare 91: tale differenza di pressione si traduce in un dislivello tra i peli liberi 92, 93. In oltre, il pelo libero 93 si trova all'interno del nocciolo 10, ad un livello significativamente inferiore al livello del pelo libero 6 del fluido refrigerante 5 nel reattore 1.

Durante il funzionamento del reattore 1, il fascio di particelle 37, dopo aver attraversato il condotto di alimentazione 36 sotto vuoto, interagisce con il fluido operativo 35 immediatamente al di sotto del pelo libero 93 dello stesso; il fluido operativo 35 è mantenuto in movimento entro il circuito fluidodinamico 43 chiuso, definito dai mezzi di contenimento 34, dall'immissione di gas di trascinamento entro i condotti di risalita 80, tramite i condotti di immissione 88: il fluido operativo 35, alleggerito dall'immissione di gas di trascinamento, risale dunque all'interno dei condotti di risalita 80 fino alle loro estremità svasate 83, disposte al di sotto del pelo libero 92: in corrispondenza del pelo libero 92, il gas di trascinamento si separa dal fluido operativo 35 e, percorrendo il passaggio anulare 91, torna al polmone 8. Il fluido operativo 35, privo del gas di trascinamento, segue invece il percorso indicato dalle frecce in figura 4, scendendo dapprima nel condotto anulare 59", definito tra il condotto sagomato 64 e il condotto di contenimento 44, e quindi risalendo nel condotto anulare 59', definito tra il condotto sagomato 64 e il condotto di convogliamento 52; attraverso il passaggio anulare definito dalla distanza tra il condotto di convogliamento 52 e il condotto di alimentazione 36, il fluido operativo 35 arriva quindi in corrispondenza del pelo libero 93, dove viene investito dal fascio di particelle 37, per poi scendere all'interno del condotto di convogliamento 52 fino ai tubi di scambio 77 e, attraverso questi ultimi, arrivare alla porzione di fondo

78, da cui infine risale nei condotti di risalita 80.

Intanto, il fluido refrigerante 5 circola all'interno del circuito di raffreddamento 22 del reattore 1: in particolare, il fluido refrigerante 5, in uscita dallo scambiatore 21, viene convogliato sul fondo del reattore 1, da dove una sua porzione, passando radialmente al di sotto della virola di contenimento 84, tra quest'ultima e la piastra tubiera 79, entra all'interno della stessa virola di contenimento 84 e risale quindi verso il nocciolo 10, lambendo sull'esterno i tubi di scambio 77 e raffreddando così il fluido operativo 35 che vi circola (il fluido refrigerante 5 ha infatti temperatura inferiore a quella del fluido operativo 35): la porzione di fluido refrigerante 5 risale dunque all'interno della virola di contenimento 84 fino al nocciolo 10, da cui riprende la circolazione mescolandosi al resto del fluido refrigerante 5 in uscita dallo stesso nocciolo 10.

Come illustrato in particolare in figura 7, la virola di contenimento 84, nella sua porzione 86 che delimita la sede 13 del nocciolo 10, anziché essere sostanzialmente cilindrica, può essere sagomata in modo da costituire una struttura di guida degli elementi di combustibile 100 presenti nel nocciolo 10 stesso: in particolare, se gli elementi di combustibile 100 sono esagonali e disposti in corone concentriche, secondo uno schema tipico, e la sede 13 è ricavata asportando, per esempio, le tre corone più interne, la porzione 86 della virola di contenimento 84 seguirà il profilo degli stessi elementi di combustibile rimasti.

Risulta infine chiaro che al dispositivo sopra descritto possono essere apportate ulteriori modifiche e varianti che non escono dall'ambito delle rivendicazioni.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo (33, 33a) per la produzione di neutroni tramite interazione di un fascio di particelle (37) ad alta energia con un fluido operativo (35) costituito da un materiale a nuclei pesanti, in particolare per un reattore nucleare operante in condizioni sottocritiche, comprendente un condotto di alimentazione (36), attraverso il quale inviare detto fascio di particelle (37) verso detto fluido operativo (35), e mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo (35), disposti ad una prima estremità (39) di detto condotto di alimentazione (36); caratterizzato dal fatto che detto condotto di alimentazione (36) comprende almeno un proprio tronco (42) mantenuto sostanzialmente sotto vuoto e presenta, a detta propria prima estremità (39), un'interfaccia (41, 93) di separazione tra detto suo tronco (42) sotto vuoto e detto fluido operativo (35); e dal fatto che detti mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo (35) definiscono un circuito fluidodinamico (43) chiuso; il dispositivo (33, 33a) comprendendo inoltre mezzi di circolazione (25) di detto fluido operativo (35) entro detto circuito fluidodinamico (43) chiuso, per mantenere detto fluido operativo (35) in movimento in corrispondenza di detta interfaccia (41, 93), e mezzi di scambio termico (60) per sottrarre calore da detto fluido operativo (35) in movimento entro detto circuito fluidodinamico (43) chiuso.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di circolazione (25) di detto fluido operativo (35) comprendono un circuito di immissione (57, 88) di un gas di trascinamento entro detto circuito fluidodinamico (43) di detto fluido operativo (35); il dispositivo (33, 33a) comprendendo inoltre mezzi di separazione di detto gas di trascinamento da un primo pelo libero (58, 92) di detto fluido operativo (35) e mezzi di

PLEBANI Rinaldo
Iscrizione Albo nr. 358/BMI

convogliamento di detto gas di trascinamento per evitare che quest'ultimo circoli entro detto tronco (42) sotto vuoto di detto condotto di alimentazione (36); detti mezzi di circolazione (25) a gas di trascinamento essendo atti a mantenere detto fluido operativo (35) in circolazione continua entro detto circuito fluidodinamico (43) tra detta interfaccia (41, 93) e detti mezzi di scambio termico (60) passando per detto primo pelo libero (58, 92).

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo (35) comprendono una struttura di contenimento (44) disposta sostanzialmente concentrica e coassiale intorno a detto condotto di alimentazione (36), a distanza radiale prefissata dallo stesso, all'interno della quale è inserita una quantità prefissata di detto fluido operativo (35); detti mezzi di scambio termico comprendendo almeno uno scambiatore di calore (60) in cui il calore di detto fluido operativo (35) viene asportato da un fluido refrigerante (5).

4. Dispositivo secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detto almeno uno scambiatore di calore (60) è uno scambiatore a fascio tubiero comprendente una pluralità di tubi di scambio (49, 77) facenti parte di detto circuito fluidodinamico (43) di detto fluido operativo (35); detti tubi di scambio (49, 77) essendo internamente percorsi da detto fluido operativo (35) ed essendo immersi in un circuito di raffreddamento (22) entro il quale circola detto fluido refrigerante (5).

5. Dispositivo secondo la rivendicazione 3 o 4, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di contenimento (34) comprendono un condotto di contenimento (44), sostanzialmente concentrico e coassiale a detto condotto di alimentazione (36), ed un condotto di convogliamento (52), disposto radialmente interno a detto condotto

di contenimento (44), con il quale definisce un primo condotto anulare (59) percorso da detto fluido operativo (35).

6. Dispositivo secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta interfaccia è definita da una parete di fondo (41) di detto condotto di alimentazione (36); detto fluido operativo (35) essendo inserito in detto condotto di contenimento (44) fino ad un livello prefissato, definito da detto primo pelo libero (58); detto condotto di convogliamento (52) essendo radialmente interposto tra detto condotto di contenimento (44) e detto condotto di alimentazione (36), con i quali definisce, rispettivamente, detto primo condotto anulare (59) ed un secondo condotto anulare (56), radialmente interno rispetto a detto primo condotto anulare (59); detto condotto di convogliamento (52) estendendosi da una distanza prefissata al di sotto di detto primo pelo libero (58) di detto fluido operativo (35) fino al di sotto di detta parete di fondo (41) di detto condotto di alimentazione (36), ove termina con una propria apertura (53), preferibilmente sagomata a collo di bottiglia rovesciato.

7. Dispositivo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detto condotto di contenimento (44) comprende a sua volta un tronco superiore (46) ed un tronco inferiore (47), avente diametro minore di quello del tronco superiore (46) e terminante inferiormente, al di sotto di detta parete di fondo (41) di detto condotto di alimentazione (36), con una propria parete di fondo (48) emisferica; detto tronco superiore (46) e detto tronco inferiore (47) di detto condotto di contenimento (44) essendo collegati idraulicamente tramite detta pluralità di tubi di scambio (49) estendentisi longitudinalmente tra due piastre tubiere anulari (50, 51); detto condotto di convogliamento (52) essendo disposto passante attraverso dette piastre tubiere anulari (50, 51).

8. Dispositivo secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di circolazione (25) di detto fluido operativo (35) comprendono una pluralità di condotti di immissione (57) di un flusso gassoso entro detto secondo condotto anulare (56).

9. Dispositivo secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta interfaccia è definita da un secondo pelo libero (93) di detto fluido operativo (35), detta prima estremità (39) di detto condotto di alimentazione (36) essendo un'estremità aperta, delimitata da un bordo (62) sostanzialmente circolare; detto secondo pelo libero (93) essendo posto ad un livello superiore rispetto a detto primo pelo libero (92), in corrispondenza del quale detto gas di trascinamento si separa da detto fluido operativo (35); detti mezzi di separazione di detto gas di trascinamento da detto fluido operativo (35) e detti mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo (35) essendo atti a mantenere una differenza di pressione prefissata al di sopra di detti primo (92) e secondo (93) pelo libero, tale da mantenere detto secondo pelo libero (93) ad un livello superiore a detto primo pelo libero (92).

10. Dispositivo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di contenimento (34) comprendono inoltre un condotto sagomato (64), raccordato a detto bordo (62) sostanzialmente circolare di detto condotto di alimentazione (36) e radialmente interposto tra detto condotto di convogliamento (52) e detto condotto di contenimento (44), rispetto ai quali è sostanzialmente coassiale e concentrico; detto condotto di convogliamento (52) estendendosi a partire da una distanza prefissata al di sotto di detto bordo (62) sostanzialmente circolare di detto condotto di alimentazione (36) all'interno di detto condotto sagomato (64) e terminando inferiormente, oltre detta seconda estremità (69) di

detto condotto sagomato (64), con un proprio tratto divergente (76), ancorato ad una parete laterale interna di detto condotto di contenimento (44); detto condotto sagomato (64) dividendo longitudinalmente detto primo condotto anulare (59) e definendo in esso un secondo (59') e un terzo (59'') condotto anulare sostanzialmente concentrici e coassiali tra loro, percorsi da detto fluido operativo (35) in direzioni opposte; detto fluido operativo (35) essendo inserito in detto secondo condotto anulare (59') fino ad un livello corrispondente a detto secondo pelo libero (93) e in detto terzo condotto anulare (59'') fino ad un livello corrispondente a detto primo pelo libero (92).

11. Dispositivo secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto condotto sagomato (64) comprende, a partire da una propria prima estremità (65) di attacco a detto bordo circolare (62) di detto condotto di alimentazione (36), un primo tratto (66) sostanzialmente cilindrico e un secondo tratto (67) divergente; detto secondo tratto (67) divergente terminando ad una seconda estremità (69) aperta di detto condotto sagomato (64), opposta a detta sua prima estremità (65).

12. Dispositivo secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che detto condotto di contenimento (44) si estende a circondare, con propri rispettivi tratti (71, 72, 73) successivi, raccordati tra loro, detto condotto di alimentazione (36), detto primo tratto (66) sostanzialmente cilindrico di detto condotto sagomato (64) e detto secondo tratto (67) divergente di detto condotto sagomato (64); detto condotto di contenimento (44) delimitando, insieme a detto primo tratto (66) di detto condotto sagomato (64) e a detto condotto di alimentazione (36), un passaggio anulare (91), per la risalita di detto gas di trascinamento da detto primo pelo libero (92) di detto fluido operativo (35).

13. Dispositivo secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che detto

condotto di contenimento (44) si prolunga inferiormente oltre detta estremità (69) di detto condotto sagomato (64), terminando con una prima piastra tubiera (74); detta pluralità di tubi di scambio (77) estendendosi da detta prima piastra tubiera (74) ad una seconda piastra tubiera (79) e collegando idraulicamente detto condotto di convogliamento (52) con una porzione di fondo (78), posta al di sotto di detta seconda piastra tubiera (79); detti mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo comprendendo inoltre una pluralità di condotti di risalita (80) disposti passanti attraverso dette piastre tubiere (74, 79); detti condotti di risalita (80) estendendosi da detta porzione di fondo (78) all'interno di detto condotto di contenimento (44), per una estensione prefissata, e terminando a distanza prefissata al di sotto di detto primo pelo libero (92) con rispettive estremità svasate (83).

14. Dispositivo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detti condotti di risalita (80) sono disposti passanti, entro rispettivi tubi guida (82), attraverso dette piastre tubiere (74, 79), rispetto alle quali sono mobili in senso assiale; detti condotti di risalita (80) essendo ancorati a detto condotto di convogliamento (52).

15. Dispositivo secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di circolazione (25) di detto fluido operativo (35) comprendono una pluralità di condotti di immissione (88) di un gas di trascinamento, disposti all'interno di detti condotti di risalita (80).

16. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre una pompa a vuoto (90), atta a mantenere sostanzialmente sotto vuoto detto tronco (42) di detto condotto di alimentazione (36).

17. Reattore nucleare, in particolare del tipo utilizzante un metallo liquido come fluido refrigerante e operante in condizioni sottocritiche, caratterizzato dal fatto di comprendere un dispositivo di produzione di neutroni secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

18. Reattore nucleare (1, 1a), in particolare operante in condizioni sottocritiche, comprendente un involucro (2) al cui interno è definito un circuito di raffreddamento primario (22) per la circolazione di un primo fluido refrigerante (5) tra un nocciolo (10) di reazione ed almeno un primo scambiatore di calore (21), primi mezzi di circolazione (25) di detto primo fluido refrigerante (5) entro detto circuito raffreddamento primario (22) ed un dispositivo (33, 33a) per la produzione di neutroni tramite interazione di un fascio di particelle (37) ad alta energia con un fluido operativo (35) costituito da un materiale a nuclei pesanti; detto dispositivo (33, 33a) di produzione di neutroni comprendendo a sua volta un condotto di alimentazione (36), attraverso il quale inviare detto fascio di particelle (37) verso detto fluido operativo (35), e mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo (35), disposti ad una prima estremità (39) di detto condotto di alimentazione (36); detto reattore nucleare essendo caratterizzato dal fatto che detti mezzi di contenimento (34) di detto fluido operativo (35) definiscono un circuito fluidodinamico (43) chiuso, privo di comunicazione idraulica con detto circuito di raffreddamento primario (22) di detto primo fluido refrigerante (5); detto condotto di alimentazione (36) comprendendo almeno un proprio tronco (42) mantenuto sostanzialmente sotto vuoto e presentando, a detta propria prima estremità (39), un'interfaccia (41, 93) di separazione tra detto suo tronco (42) sotto vuoto e detto fluido operativo (35); detto dispositivo (33, 33a) per la produzione di neutroni comprendendo inoltre secondi mezzi di circolazione (57,

88) di detto fluido operativo (35) entro detto circuito fluidodinamico (43) chiuso, per mantenere detto fluido operativo (35) in movimento in corrispondenza di detta interfaccia (41, 93) durante l'interazione di detto fascio di particelle (37) con detto fluido operativo (35), e mezzi di scambio termico (60) per sottrarre calore da detto fluido operativo (35) in movimento entro detto circuito fluidodinamico (43) chiuso.

19. Reattore nucleare secondo la rivendicazione 18, caratterizzato dal fatto che detta interfaccia (41, 93) di separazione tra detto tronco (42) sotto vuoto di detto condotto di alimentazione (36) e detto fluido operativo (35) è disposta all'interno di detto nocciolo (10); detti mezzi di scambio termico comprendendo almeno un secondo scambiatore di calore (60) inserito in detto circuito fluidodinamico (43) di detto fluido operativo (35), in cui un secondo fluido refrigerante (5) asporta calore da detto fluido operativo (35).

20. Reattore nucleare secondo la rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto detto secondo fluido refrigerante è costituito da una porzione prelevata in continuo da detto primo fluido refrigerante (5) circolante in detto circuito di raffreddamento primario (22) del reattore; detto almeno uno scambiatore di calore (60) essendo uno scambiatore a fascio tubiero comprendente una pluralità di tubi di scambio (49, 77) in cui circola detto fluido operativo (35), immersi in detto circuito di raffreddamento primario (22) di detto primo fluido refrigerante (5) del reattore e disposti esternamente a detto nocciolo (10), al di sopra o al di sotto dello stesso.

21. Reattore nucleare secondo la rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di scambio termico (60) comprendono un circuito di raffreddamento ausiliario, distinto e separato da detto circuito di raffreddamento primario (22) del

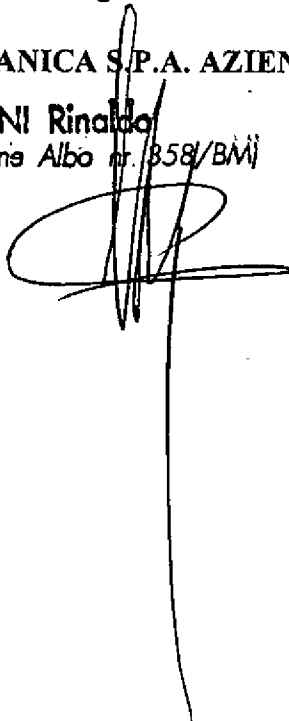
reattore, in cui è inserito detto almeno un secondo scambiatore di calore (60) e nel quale circola detto secondo fluido refrigerante, distinto e separato da detto primo fluido refrigerante (5).

22. Reattore nucleare secondo una delle rivendicazioni da 18 a 21, caratterizzato dal fatto che detti secondi mezzi di circolazione (57, 88) di detto fluido operativo (35) sono mezzi di circolazione a gas di trascinamento, detto gas di trascinamento essendo prelevato da un gas (7) di copertura di detto reattore.

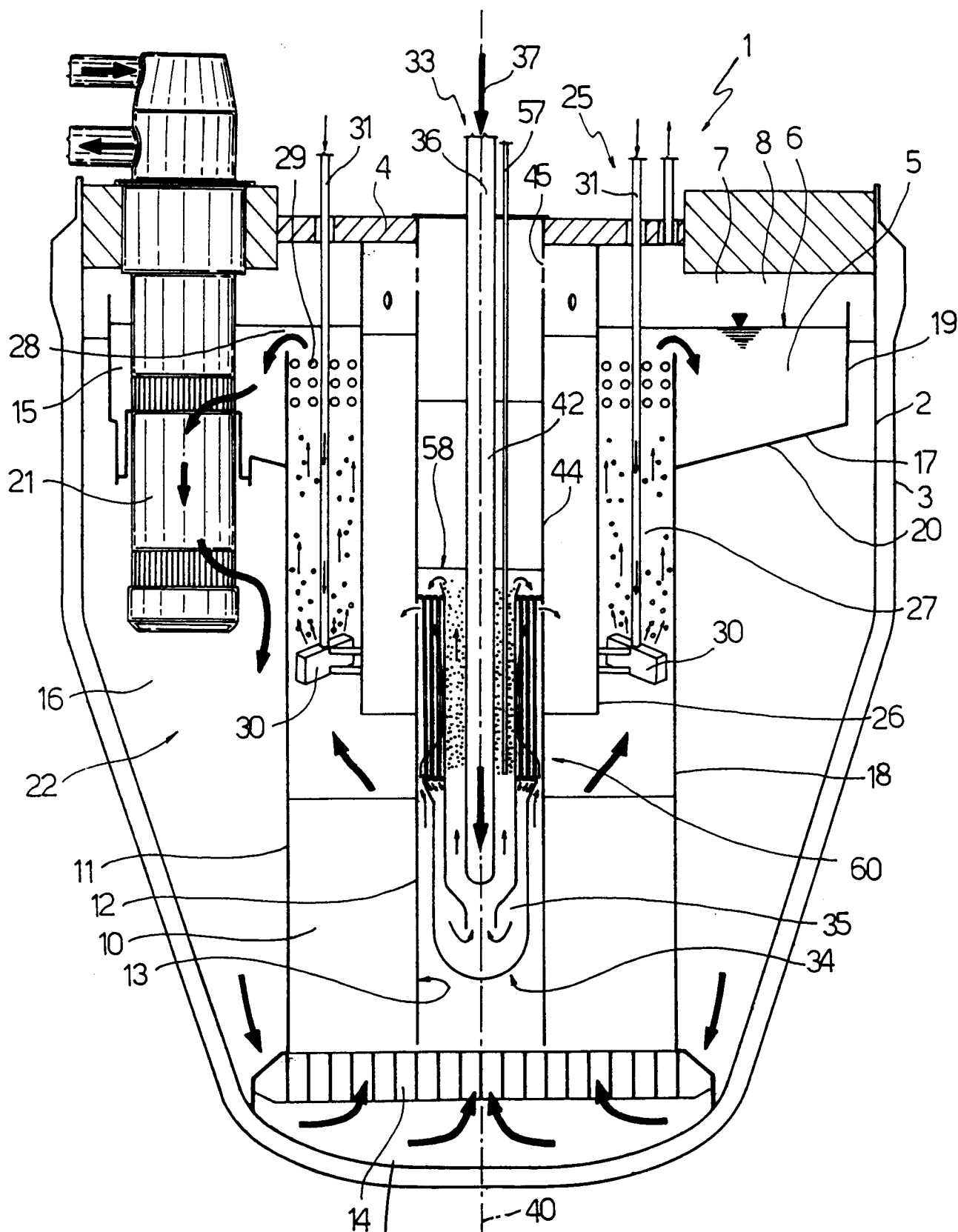
23. Dispositivo per la produzione di neutroni tramite interazione di un fascio di particelle ad alta energia con un fluido operativo costituito da un materiale a nuclei pesanti, e reattore nucleare provvisto di tale dispositivo, sostanzialmente come descritti con riferimento ai disegni annessi.

p.i.: **FINMECCANICA S.P.A. AZIENDA ANSALDO**

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358/BM)



PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358/BM)



p.i.: FINMECCANICA S.P.A. AZIENDA ANSALDO

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione n. 358/BM)

Fig. 1



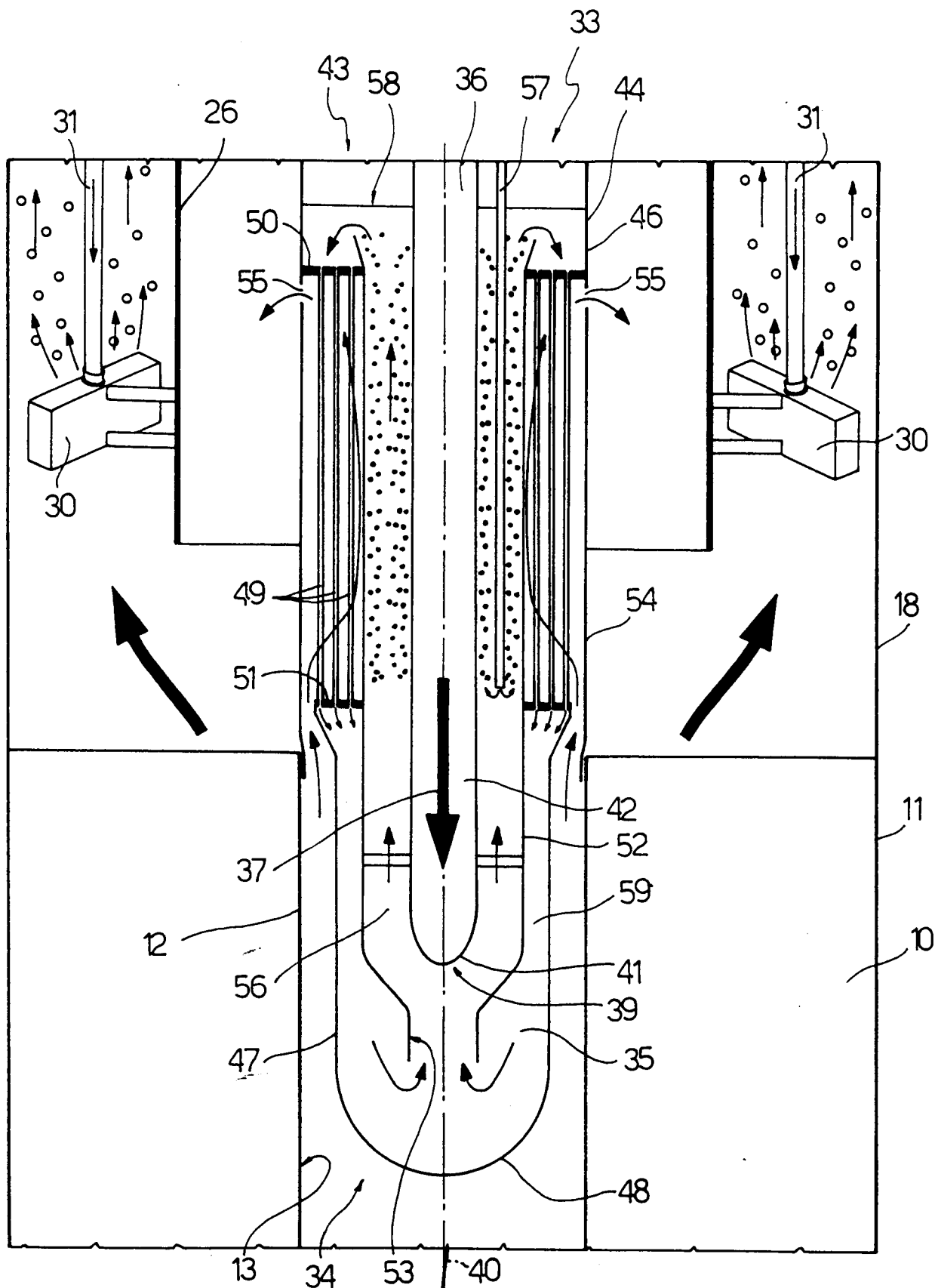


Fig. 2

p.i.: FINMECCANICA S.P.A. AZIENDA ANSAIDO

PLEBANI Rinaldo
[iscrizione Albo nr. 338/BM]



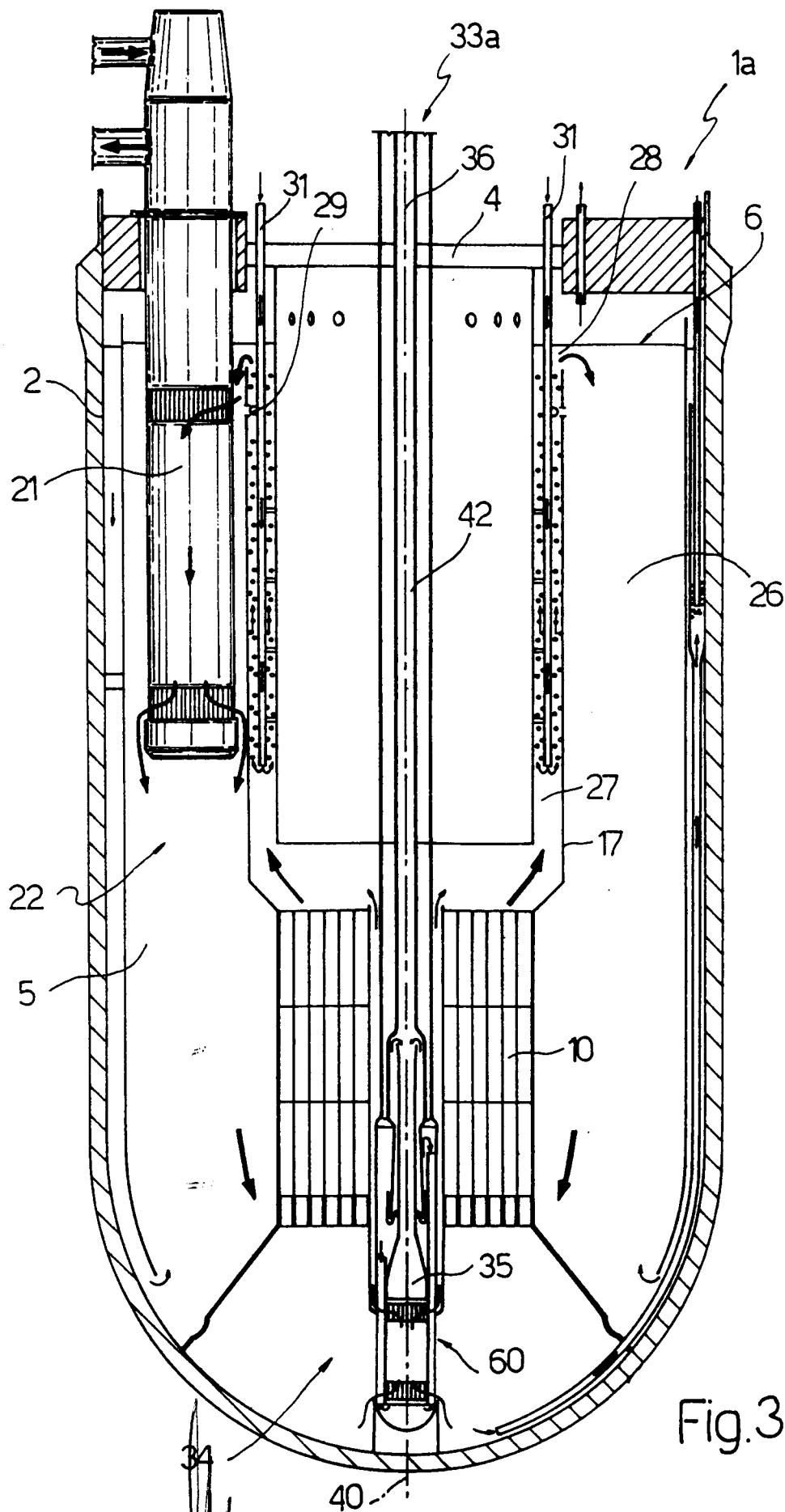
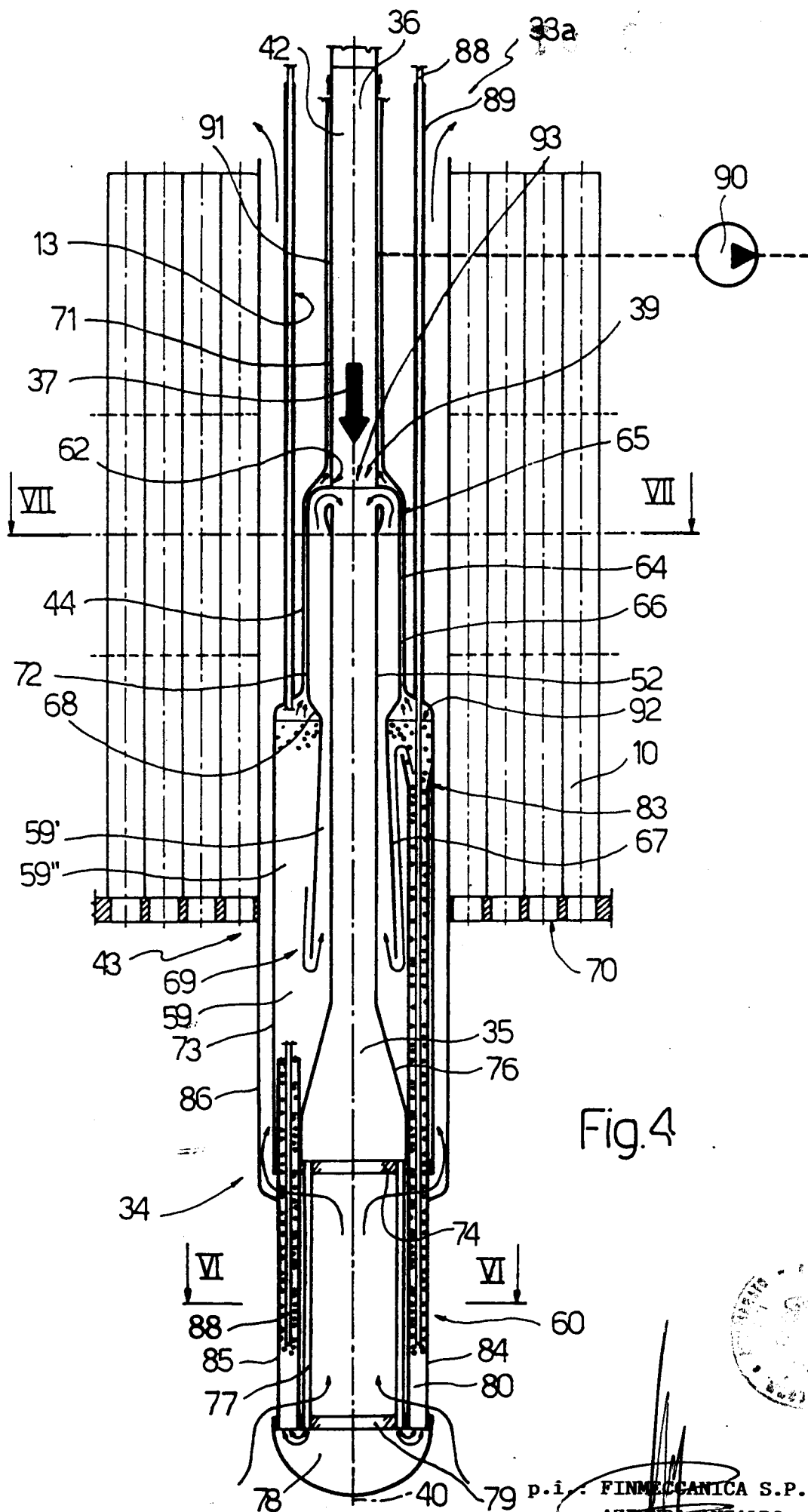
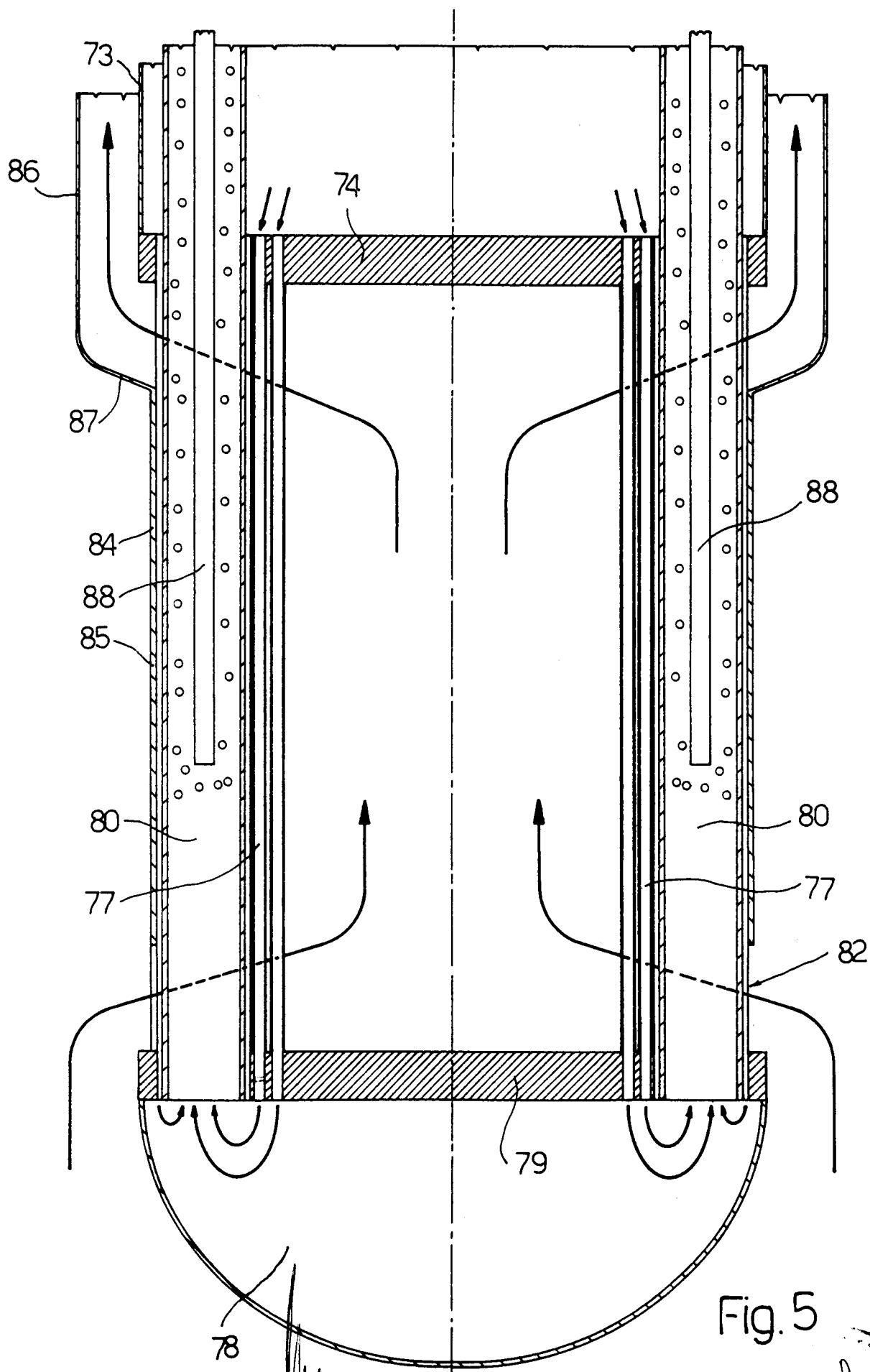


Fig. 3





TO

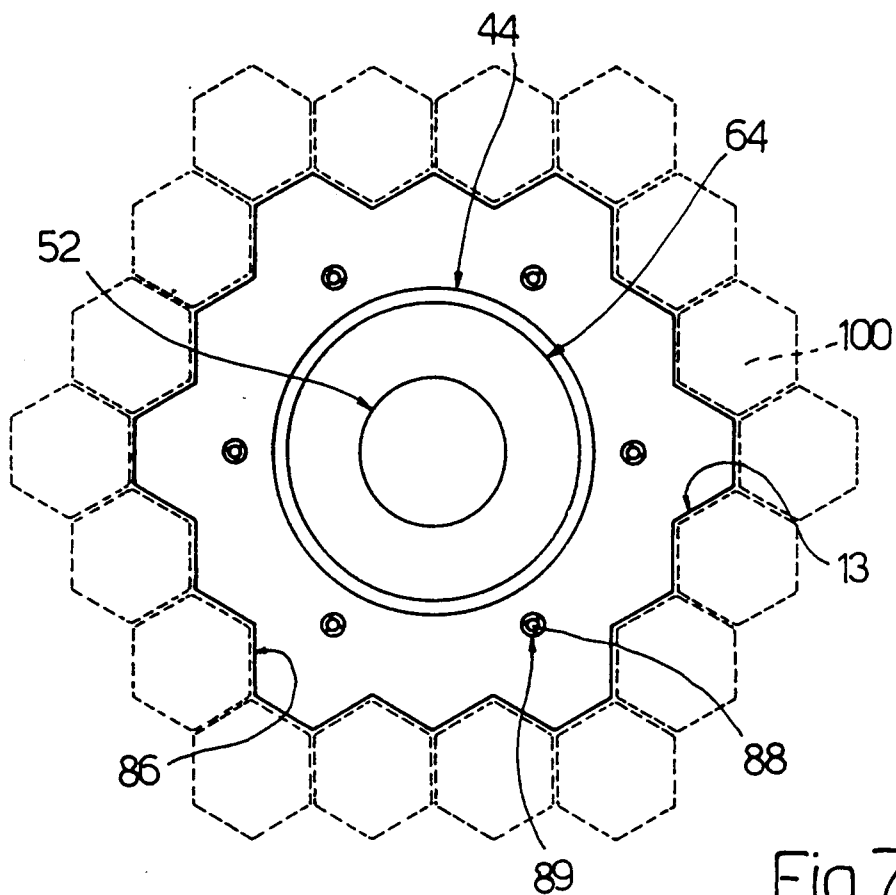


Fig. 7

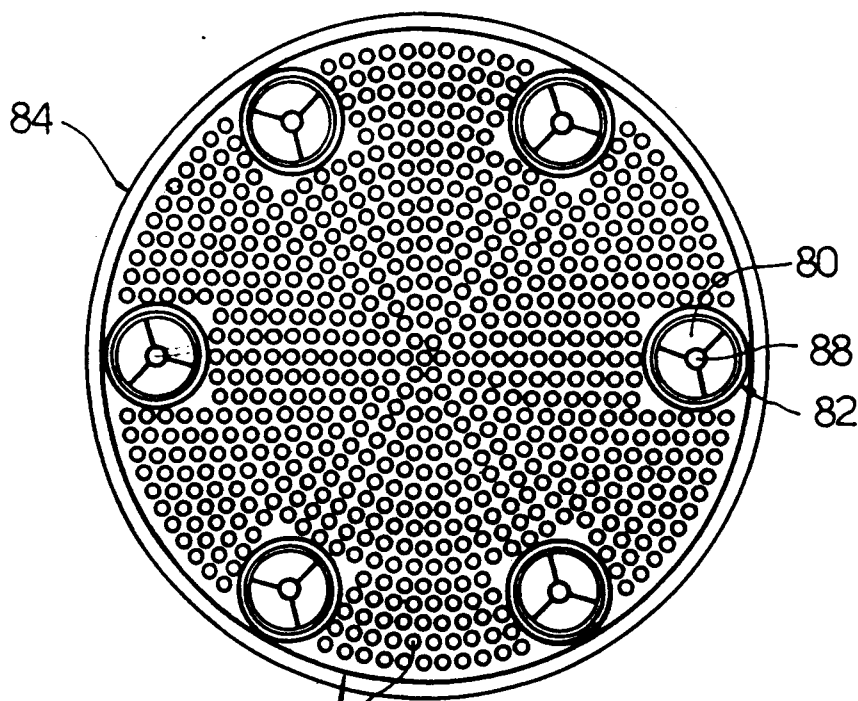


Fig. 6

p.i.: FINMECCANICA S.P.A. AZIENDA ANSALDO

PLEBANI *Rinaldo*
(Iscrizione Albo nr. 358/BMI)

