



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



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

**STUDIO DI FATTIBILITÀ
PER L'IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA
NRTMA PER UN IMPIANTO
DI FABBRICAZIONE DEL COMBUSTIBILE
NUCLEARE DI TAGLIA INDUSTRIALE**

M. APARO, M. DIONISI

ENEA - Dipartimento Ciclo del Combustibile, Centro Ricerche Energia Casaccia

M. GRAZIANI, R. REMETTI

Università degli Studi di Roma «La Sapienza», Dipartimento di Energetica

ENEA - RT/COMB/89/1

Testo pervenuto nel febbraio 1989
*Progetto Enea: Sicurezza impianti
di ritrattamento e salvaguardia (CE)*

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

Riassunto

Nell'ambito delle problematiche relative alla salvaguardia dei materiali strategici negli impianti del ciclo del combustibile nucleare, le Salvaguardie Internazionali hanno dedicato, negli ultimi anni, un particolare sforzo di Ricerca e Sviluppo ad una nuova procedura denominata Contabilità dei materiali in tempo quasi reale, con l'obiettivo di ottenere una rivelazione tempestiva di diversioni di materiali fissili.

Il presente rapporto, sviluppato in collaborazione con il Dipartimento di Energetica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", descrive uno studio di fattibilità sull'applicazione di un sistema di NRTMA in un impianto di fabbricazione del combustibile nucleare per reattori ad acqua leggera. Tale studio è stato condotto sviluppando un modello dinamico ed un programma di calcolo in FORTRAN 77 per simulare al computer tutte le operazioni di misura e le procedure operative necessarie alla contabilità dei materiali fissili.

Abstract

In the frame of the problems arising from the fissile materials safeguards into the facilities of the nuclear fuel cycle, the International Safeguards devoted in the recent years, R&D efforts on a new Dynamic Accountability procedures (Near Real Time Material Accountancy) appealing to the needs of timeliness in detecting diversion.

The present paper, carried out in cooperation with the Department of Energetica of the University "La Sapienza" of Rome, deals with a feasibility study of a NRTMA system to be applied to a nuclear fuel fabrication plant for light water reactor. Such a feasibility study was performed by developing a dynamic model and a computer program, written in FORTRAN 77, in order to simulate all the processes and measurement procedures involved in the nuclear material accountancy.

**STUDIO DI FATTIBILITA' PER L'IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA
NRTMA PER UN IMPIANTO DI FABBRICAZIONE DEL COMBUSTIBILE
NUCLEARE DI TAGLIA INDUSTRIALE**

Indice

1. Introduzione	1
2. La modellizzazione dell'impianto di riferimento	1
2.1 Descrizione delle procedure di fabbricazione del combustibile nucleare	1
2.2 Descrizione dell'impianto di riferimento	4
2.2.1 Descrizione delle sottoaree	6
3. Il progetto del sistema di contabilità in tempo quasi reale	10
3.1 Il sistema di contabilità	10
3.2 Simulazione delle misure di massa	11
4. Strutture e finalità del codice di simulazione ACCOUNTANCY	11
5. Prestazioni del codice di simulazione	12
Bibliografia	14

1. Introduzione

Nell'ambito delle problematiche relative alla Salvaguardia dei materiali strategici negli impianti del ciclo del combustibile nucleare, sono stati sviluppati un modello dinamico ed un programma di calcolo in FORTRAN 77 per simulare al computer tutte le operazioni di misura e le procedure operative necessarie alla contabilità dei materiali fissili in un impianto di fabbricazione del combustibile nucleare per reattori ad acqua leggera.

E' stato preso in considerazione un sistema di contabilità in tempo quasi reale (NRTMA : Near Real Time Material Accountancy), la cui applicazione consente di scoprire diversioni di materiale speciale più tempestivamente rispetto ai classici metodi di contabilità.

Implementando nel codice di simulazione un modello dell'impianto di riferimento, è stato possibile eseguire l'analisi rapida di lunghi periodi di tempo e raggiungere conclusioni inerenti alle prestazioni del sistema di contabilità progettato.

2. La modellizzazione dell'impianto di riferimento

2.1. Descrizione delle procedure di fabbricazione del combustibile nucleare

E' stato preso in considerazione un impianto di fabbricazione che produce elementi di combustibile a biossido di uranio leggermente arricchito (LEU 2-4% U^{235}) per reattori LWR. La tecnica usata per la fabbricazione delle pastiglie di biossido ("pellets") è il processo di "pellettizzazione" (formatura di pastiglie sinterizzate con i metodi classici della metallurgia delle polveri).

Il processo di fabbricazione esaminato (Fig.1) inizia con la ricezione della polvere di UO_2 arricchito e la successiva caratterizzazione mediante i seguenti controlli:

- 1) superficie specifica (metodo BET ad adsorbimento di azoto)
- 2) densità apparente e densità del grano
- 3) permeabilità
- 4) analisi termica differenziale
- 5) stechiometria.

Segue la fase di omogeneizzazione della granulometria mediante macinazione in mulino a palle di tungsteno in ambiente umido. Per facilitare la successiva pressatura delle polveri, si aggiungono in misura di 0.5-1% del peso totale dei leganti organici (Carbowax, canfora, alcoli superiori) che danno consistenza all'ossido ceramico.

L'ottenimento del granulato da pressare si raggiunge agendo sulla polvere preventivamente essiccata con dei vagli rotativi o con una pressatura preliminare. In entrambi i casi il granulato dovrà avere un diametro massimo inferiore al millimetro. Sempre per problemi di ottimizzazione della pressatura viene anche aggiunto del lubrificante (acidi stearici, stearati) in misura di 0.5-1% per evitare la formazione di agglomerati e diminuire gli attriti.

Utilizzando presse idrauliche o meccaniche la polvere viene poi pressata in stampi cilindrici (10x10 mm) fino al raggiungimento del valore di densità stabilito dalle specifiche (5-7 g/cm³, cioè 45-65 % della densità teorica DT). Ottenute le "pastiglie al verde", queste sono caricate su navicelle ed introdotte in forno continuo dove subiscono una presinterizzazione (400-800 °C) ed una sinterizzazione (1500-1700 °C) in atmosfera riducente di idrogeno in presenza di vapore. Nella fase di presinterizzazione avviene la rimozione del legante e del lubrificante con un processo di lenta evaporazione, mentre nella fase di sinterizzazione vera e propria i corpi delle pastiglie subiscono ritiri lineari del 20% ed aumenti di densità fino al valore di 10.4-10.7 g/cm³ (85-95% DT).

E' necessario poi far sostare le "pellets" in una zona del forno dove avviene un lento raffreddamento (7-8 h) la cui velocità influisce sulle caratteristiche del prodotto finale.

Specifiche dimensionali molto stringenti (tolleranze di 10 mm) rendono importanti le operazioni di rettifica che sono effettuate con macchine del tipo senza centro o con mole smeriglio diamante o "carborundum"; gli scarti delle rettifiche sono fanghi poichè le lavorazioni si svolgono in umido per evitare il diffondersi di polveri nell' ambiente di lavoro.

Dopo la rettifica sono previsti i seguenti controlli di qualità su campioni di "pellets":

- i) metallografia;
- ii) geometria;
- iii) densità;
- iv) struttura cristallografica e
- v) composizione chimica.

Segue poi la fase di impilaggio nella quale le "pellets" sono inserite nelle barre di Zircalloy 2 e/o 4 alle quali é stato preventivamente saldato (saldatura ad arco od elettromagnetica) il tappo inferiore; successivamente vengono inserite le molle che consentono dilatazioni del combustibile all'interno della barra durante il funzionamento in pila, ma ne evitano i movimenti durante trasporti e spostamenti. Le guaine, prima di essere caricate, sono sottoposte ad operazioni di passivazione (autoclavaggio), durante le quali si forma sulla superficie un film protettivo. Vengono poi saldati ai tubi carichi i tappi terminali in atmosfera di elio che riempie anche lo spazio fra le pastiglie e la camicia.

Dopo avere controllato le saldature e la tenuta delle guaine (Helium Test), si passa alla fase finale di assemblaggio dell'elemento di combustibile. L'elemento finito subisce poi controlli dimensionali e di tenuta ed infine viene imballato e preparato per la consegna.

2.2. Descrizione dell'impianto di riferimento

L'impianto ipotizzato utilizza le seguenti materie prime:

- polvere di biossido di uranio arricchito (2-4%) per la produzione delle "pellets"
- leganti e lubrificanti per le operazioni di pressatura (produzione di "pellets al verde")
- barre di zircaloy-2 e/o zircaloy-4 per il guainaggio delle "pellets" di combustibile
- barre di gadolinio utilizzate come veleno neutronico
- materiale strutturale necessario per l'assemblaggio degli elementi di combustibile finiti.

La produzione dell'impianto ha le seguenti caratteristiche generali:

- geometria "pellets" : $h = 10 \text{ mm}$, $d = 10 \text{ mm}$;
- caratteristiche fisiche "pellets": densità = 10.7 g/cm^3 (90-95 % DT), peso = 8.4 g;
- caratteristiche dell'elemento di combustibile: lunghezza attiva 3500 mm, diametro barra = 10-12.3 mm, numero di "pellets" per barra = 350;
- peso complessivo di "pellets" per barra = 2940 g, numero di barre per elemento = 225 (reticolo 15x15).

Per l'impianto, è stato assunto un tipo di lavorazione a "batch" di circa 22 kg di polvere di biossido, prevedendo l'esaurimento completo delle lavorazioni relative ad una carica prima dell'ingresso della successiva; operando nelle sue condizioni nominali, l'impianto è in grado di trattare un "batch" in 72 h.

L'impianto è stato supposto diviso in un'area principale e quattro aree secondarie ben distinte: l'area principale è percorsa dal materiale che subisce le lavorazioni di base, mentre nelle secondarie si svolgono operazioni di contorno, (Fig.2).

Il diagramma di flusso evidenzia la divisione dell'area principale in sottoaree proprie delle varie fasi di lavorazione e/o ricovero del materiale (i "reparti" enucleati dalla consultazione della letteratura specializzata), tali sottoaree rappresentano esattamente i "blocchi logici" presi in considerazione dal codice di simulazione.

Tra le aree secondarie assume un ruolo importante ai fini della Salvaguardia il "laboratorio", il quale consente di effettuare analisi chimiche e non distruttive (a campione) in occasione delle attività di contabilità del materiale e/o di verifica degli inventari. Gli scarti di materiale risultanti dal compimento di analisi di laboratorio sono immagazzinati nell'area "waste", dove confluiscono pure tutti gli scarti solidi e liquidi non identificabili. Poichè è prevista la riutilizzazione degli scarti di produzione provenienti da alcuni stadi della lavorazione, esiste una terza area secondaria, denominata "trattamento scarti", dove questi vengono processati per consentirne il reinserimento nel processo produttivo. Tutti i rifiuti provenienti dal trattamento scarti, e tutti gli sfridi non riutilizzabili della linea principale di produzione, sono avviati al "magazzino scarti", quarta area secondaria.

Per la movimentazione dei materiali da un reparto all'altro e da un'area all'altra sono utilizzati sistemi pneumatici per le polveri, nastri trasportatori per i piccoli contenitori, carrelli elevatori per i contenitori di grandi dimensioni, navicelle per gli spostamenti delle "pellets" all'interno del forno continuo. Per tutte le altre evenienze e per i piccoli spostamenti si provvede manualmente.

Nella Fig.2 i flussi di materiale fra sottoaree e/o aree sono rappresentati da frecce ed accanto ad esse sono riportate le sigle identificative di ciascun flusso. Tali sigle corrispondono ai nomi delle variabili utilizzate nel codice di simulazione e vengono commentate nel paragrafo seguente. Gli asterischi riportati rappresentano i "punti chiave di misura" (KMPs) e quindi simboleggiano la presenza di bilance.

2.2.1. Descrizione delle sottoarce

La Fig.2 descrive la successione temporale delle operazioni svolte nell'area principale. Tale successione può essere ulteriormente definita fornendo altre informazioni in corrispondenza di ogni sottoarea di lavorazione o di ricovero del materiale.

- *magazzino fusti:*

riceve i fusti di polvere di biossido d'uranio arricchito (LEU) provenienti dall'impianto di conversione. La capacità è tale da poter svincolare i ritmi di approvvigionamento da quelli di produzione. Il prelievo di un "batch" di 22 kg di polvere di biossido (FUST), contenuto in due fusti di 6 kg di tara ciascuno, rappresenta l'istante iniziale dei processi di lavorazione simulati dal codice.

- *trasferimento fusti/bidoni:*

il "batch" viene scaricato dai fusti e trasferito in dieci contenitori di minori dimensioni di 2 kg di tara ciascuno. Le perdite che si verificano nella fase di trasferimento, dovute essenzialmente alla quantità di polvere stratificata sulle pareti interne dei fusti, sono tenute in considerazione prevedendo un flusso in uscita (RIMF) da questa sottoarea. Nella sottoarea è presente un KMP nel quale si svolgono i controlli delle tare dei contenitori immediatamente prima del loro riempimento; lo stesso KMP è utilizzato durante la chiusura dei bilanci di materiale.

Il tempo di permanenza del materiale nella sottoarea è di 1h.

- *magazzino bidoni:*

i contenitori relativi al "batch" vi sostano per un tempo variabile, dipendente da esigenze contigenti dell'impianto (fuori servizio, manutenzioni straordinarie, etc.).

Il tempo medio di residenza è stato stimato essere di 1h.

- *trasferimento bidoni/mulino:*
i contenitori vengono scaricati nel mulino a palle (con una perdita di polveri rappresentata da RIMS) unitamente al materiale proveniente dal trattamento scarti (MATR).
Il tempo necessario per il trasporto dei contenitori e per la carica del mulino è stimato in 2h.

- *polvere nel mulino:*
la polvere viene macinata per omogeneizzarne la granulometria.
Il tempo richiesto è di 16h.

- *trasferimento mulino/sistema pneumatico:*
un campione di polvere (ANLAB1) viene inviato al laboratorio; effettuate le analisi la polvere viene reinserita nella sottoarea in questione (OUT1). Il flusso LAB1 rappresenta la differenza fra ANLAB1 e OUT1 (uguale alla somma dei flussi RIMLAB1 e WAST1). Finite le analisi la polvere scaricata dal mulino viene caricata nel sistema pneumatico di trasporto con una perdita RIMM.
Il tempo richiesto dalle analisi e dal caricamento del sistema pneumatico è di 2h.

- *polvere omogeneizzata nel sistema pneumatico:*
il sistema pneumatico di trasporto provvede al trasferimento della polvere fino alle presse impiegando un tempo complessivo di 0.5h.

- *trasferimento sistema pneumatico/pressa:*
nelle operazioni di scaricamento viene persa la quantità RIMP. Prima delle operazioni di pressatura vengono aggiunti un legante ed un lubrificante (AGG).
Il tempo richiesto per lo scaricamento del sistema pneumatico e per caricare gli stampi cilindrici della pressa è 2h.

- *polvere in pressa:*

la polvere posta negli stampi viene pressata fino al raggiungimento della densità di $5-7 \text{ g/cm}^3$ ("pellets al verde"); il tempo richiesto per queste operazioni è di 8 h.

- *trasferimento pressa/bacinelle di sinterizzazione:*

le "pellets al verde" vengono caricate su 22 bacinelle di sinterizzazione di 2 Kg di tara ciascuna e vengono trasportate con un nastro nella zona dove è situato il forno continuo. Le rimanenze di polvere negli stampi della pressa sono rappresentate dal flusso PRESS, mentre SVP rappresenta gli scarti di "polvere pulita" avviati al trattamento scarti.

Il tempo richiesto per scaricare gli stampi, caricare le bacinelle e trasportarle è di 3 h.

- *pastiglie nel forno:*

le bacinelle di sinterizzazione, caricate su "navicelle", seguono un percorso all'interno del forno continuo che le fa transitare per tre sezioni ben distinte corrispondenti a tre fasi di lavorazione: i) presinterizzazione ($400-800 \text{ }^\circ\text{C}$), ii) sinterizzazione ($1600-1700 \text{ }^\circ\text{C}$), iii) raffreddamento lento.

Complessivamente la residenza delle "pellets" nel forno è 17 h.

- *trasferimento bacinelle di sinterizzazione/bacinelle di rettifica:*

all'uscita dal forno le "pellets" vengono caricate su 22 bacinelle di rettifica di 2 Kg di tara ciascuna. Il flusso LAB2 rappresenta la perdita netta di materiale dovuta alle analisi di laboratorio, FRBS è la quantità di materiale persa nel trasferimento tra bacinelle per stratificazione di frammenti sulle superfici, AGG è la quantità evaporata di legante e lubrificante nella fase di presinterizzazione. Il tempo necessario per il trasferimento è di 1 h.

- *pastiglie nelle bacinelle di rettifica:*

le bacinelle di rettifica piene vengono portate mediante nastro trasportatore fino alla zona dove è collocata la rettificatrice.

Il tempo di trasporto è 0.5 h.

- *trasferimento bacinelle di rettifica/rettificatrice:*
le "pellets" vengono scaricate dalle bacinelle e caricate nella rettificatrice; i frammenti persi nell'operazione costituiscono il flusso uscente FRBR.
Il tempo richiesto è 1 h.
- *pastiglie nella rettificatrice:*
il tempo necessario per queste le operazioni di rettifica, fino al rispetto delle tolleranze dimensionali previste (10 mm), è 10 h.
- *trasferimento rettificatrice-vassoi:*
le "pellets" scaricate dalla rettificatrice vengono caricate su 44 vassoi di 1 kg di tara ciascuno. I flussi di materiale uscente da considerare sono: i) gli scarti di "polvere sporca" non riutilizzabili (SVS) avviati al magazzino scarti, ii) gli scarti "duri e sporchi" non riutilizzabili (SDS) avviati al magazzino scarti, iii) gli scarti "duri e puliti" riutilizzabili (SDP) avviati al trattamento scarti, iv) i fanghi di rettifica costituenti materiale riutilizzabile (FR) avviati al trattamento scarti.
Il tempo richiesto per il trasferimento è 1 h.
- *pastiglie nei vassoi:*
i vassoi pieni, caricati su un nastro trasportatore, vengono portati fino alla zona di assemblaggio degli elementi di combustibile.
Il tempo richiesto è 1 h.
- *trasferimento vassoi-barre:*
le "pellets" sono scaricate dai vassoi e sono impilate nelle barre di Zircalloy, qualche frammento di materiale (VASS) rimane nei vassoi costituendo un flusso uscente, al pari di SCSNI (scarti solidi non identificabili) e SCLNI (scarti liquidi non identificabili) che vengono ambedue avviati all'area waste.
Le operazioni di impilaggio richiedono 4 h.

3. Il progetto del sistema di contabilità in tempo quasi reale

3.1. Il sistema di contabilità

Dopo aver modellizzato l'impianto di riferimento, è stato progettato il sistema di contabilità; tale progetto si può dividere in quattro fasi:

- individuazione dei punti chiave di misura;
- divisione dell'impianto in aree di bilancio;
- scelta del tipo di misure da eseguire;
- scelta della frequenza di chiusura dei bilanci.

Nell'impianto di fabbricazione in questione sono stati collocati 10 punti chiave di misura, nei quali sono poste delle bilance, scelte fra quelle più comunemente usate per le Salvaguardie [Rogers].

Si è scelto inoltre di dividere l'impianto in 6 aree di bilancio del materiale:

- MBA 1 : dal magazzino dei fusti di polvere di biossido, fino al forno continuo;
- MBA 2 : dal forno continuo, fino ai canali porta barre;
- MBA 3 : il laboratorio per le analisi;
- MBA 4 : il deposito residui (waste);
- MBA 5 : la zona adibita al trattamento degli scarti riutilizzabili;
- MBA 6 : il magazzino degli scarti.

Si è poi stabilito di chiudere i bilanci di materiale ogni 6 giorni (144 h).

Poichè nell'impianto di riferimento il tempo di lavorazione di un batch di 22 kg di polvere di biossido è di 72 h. in ogni periodo di bilancio vengono trattati 2 batches di materiale, per cui il quantitativo di materiale fissile sottoposto in ogni periodo di bilancio a Salvaguardia è di 44 kg di polvere di biossido d'uranio.

3.2. Simulazione delle misure di massa

Nella simulazione di una misura di massa sono stati individuati tre principali tipi di incertezza, [1], i quali sono stati utilizzati per far degenerare il peso del materiale in misura (valore vero), nel valore misurato del peso stesso; nell'ordine sono stati considerati:

- effetto del galleggiamento (buoyancy effect);
- errore sistematico;
- errore casuale.

La composizione degli errori è stata simulata con la tecnica del "random sampling", [1], [2], mentre per tener conto del "buoyancy effect" sono state introdotte correzioni deterministiche.

4. Struttura e finalità del codice di simulazione ACCOUNTANCY

Il codice (Fig. 3) provvede ad esaminare, per ognuna delle aree di bilancio in cui è stato diviso l'impianto di riferimento, 100 periodi di bilancio della durata di 144 h ciascuno.

La struttura del programma è modulare, vi è infatti un programma principale che richiama, per svolgere molte funzioni, degli appositi sottoprogrammi; in particolare lo "stato vero" dell'impianto (masse di materiale presenti in ogni punto), è fornito al programma principale come dato di input, mediante la lettura di alcuni files esterni.

Sono presenti anche delle subroutines, richiamabili solo a richiesta dell'utente, che simulano le diversioni di materiale: questi sottoprogrammi ricevono in ingresso lo "stato vero", e, con una semplice sottrazione di materiale, forniscono lo "stato perturbato" dell'impianto.

Il "valore misurato" viene fornito dalla subroutine SCALE, che riceve in ingresso lo "stato vero" o lo "stato perturbato", e lo fa degenerare simulando le misure di peso.

Il programma principale è stato concepito diviso nelle seguenti aree di lavoro:

- interfaccia utente-programma per mezzo di un elenco degli obiettivi del programma stesso e delle raccomandazioni per l'utilizzazione;
- lettura dei dati di input dai files esterni;
- calcolo delle deviazioni standard in corrispondenza di ogni valore vero;
- simulazione di tutte le operazioni di peso necessarie alla contabilità;
- acquisizione delle opzioni sulla simulazione di diversione;
- calcolo dei MUFs relativi alle 6 MBAs;
- calcolo dei CUMUFs;
- calcolo del valor medio dei MUFs ottenuti;
- calcolo della deviazione standard della distribuzione dei MUFs ottenuti;
- analisi statistica dei MUFs con un test classico di tipo bilaterale;
- analisi statistica dei CUMUFs con un test di tipo sequenziale;
- calcolo della probabilità di rivelazione ($1 - \beta$), in caso di simulazione di diversione, o della probabilità di falso allarme α , in caso di assenza di diversioni;
- registrazione dei risultati su due files creati dal programma stesso, raggruppando in uno i dati "grezzi" (i 600 MUFs calcolati), e nell'altro i dati "elaborati" (i risultati dell'analisi statistica).

Per completezza, viene riportato (Tabella 1) il contenuto di un file tipico contenente i dati "elaborati" relativi ad una sessione di lavoro in cui l'utente ha scelto di non simulare una diversione di materiale.

5. Prestazioni del codice di simulazione

Sono state simulate le procedure di contabilità in tempo quasi reale che il sistema progettato sarebbe chiamato ad eseguire una volta implementato sull'impianto di riferimento.

In una prima sessione di prove, partendo da valori plausibili dei valori di soglia dei tests statistici, si sono ottenuti un certo numero di campioni delle grandezze stocastiche MUF e CUMUF e delle loro deviazioni standard; i valori ottenuti, riassunti nella Tabella 2, sono stati utilizzati per il progetto delle prove successive.

Inoltre sono state eseguite altre prove parametriche, in cui, al fine di ottimizzare le prestazioni del sistema di contabilità, avendo come obiettivo quelle consigliate dalla IAEA, sono stati fatti variare i valori di soglia assunti per i tests statistici.

Per dare un'idea delle prestazioni raggiunte sono stati riportati i risultati relativi a tre prove effettuate (Tabella 3): nella prima, avendo imposto dei valori plausibili dei livelli di soglia, viene simulata una diversione impulsiva di materiale; nella seconda, avendo imposto per i livelli di soglia i valori doppi delle deviazioni standard medie del MUF, non è stata simulata alcuna diversione. Nella terza prova, utilizzando gli stessi valori di soglia della prima prova, è stata simulata una diversione costante di materiale.

Bibliografia

- [1] D.R.Rogers
Handbook of Nuclear Safeguards Measurement Methods
NUREG/CR-2078 MLM-2855
- [2] M.Dionisi, F.V.Frazzoli, R.Remetti, C.Foggi, V.Peluzzi
Safeguards and Measurement Engineering
Energia Nucleare n.2 (1986) p.95
- [3] C.Foggi, M.Dionisi, F.V.Frazzoli, R.Remetti
Reprocessing input tank accountancy's measurement errors
analysis with simulation methods
Proceedings of the International Symposium on Nuclear Material
Safeguards, IAEA-SM 293/79 (1986)

**SCHEMATIZZAZIONE DEL PROCESSO
DI FABBRICAZIONE DEL COMBUSTIBILE**

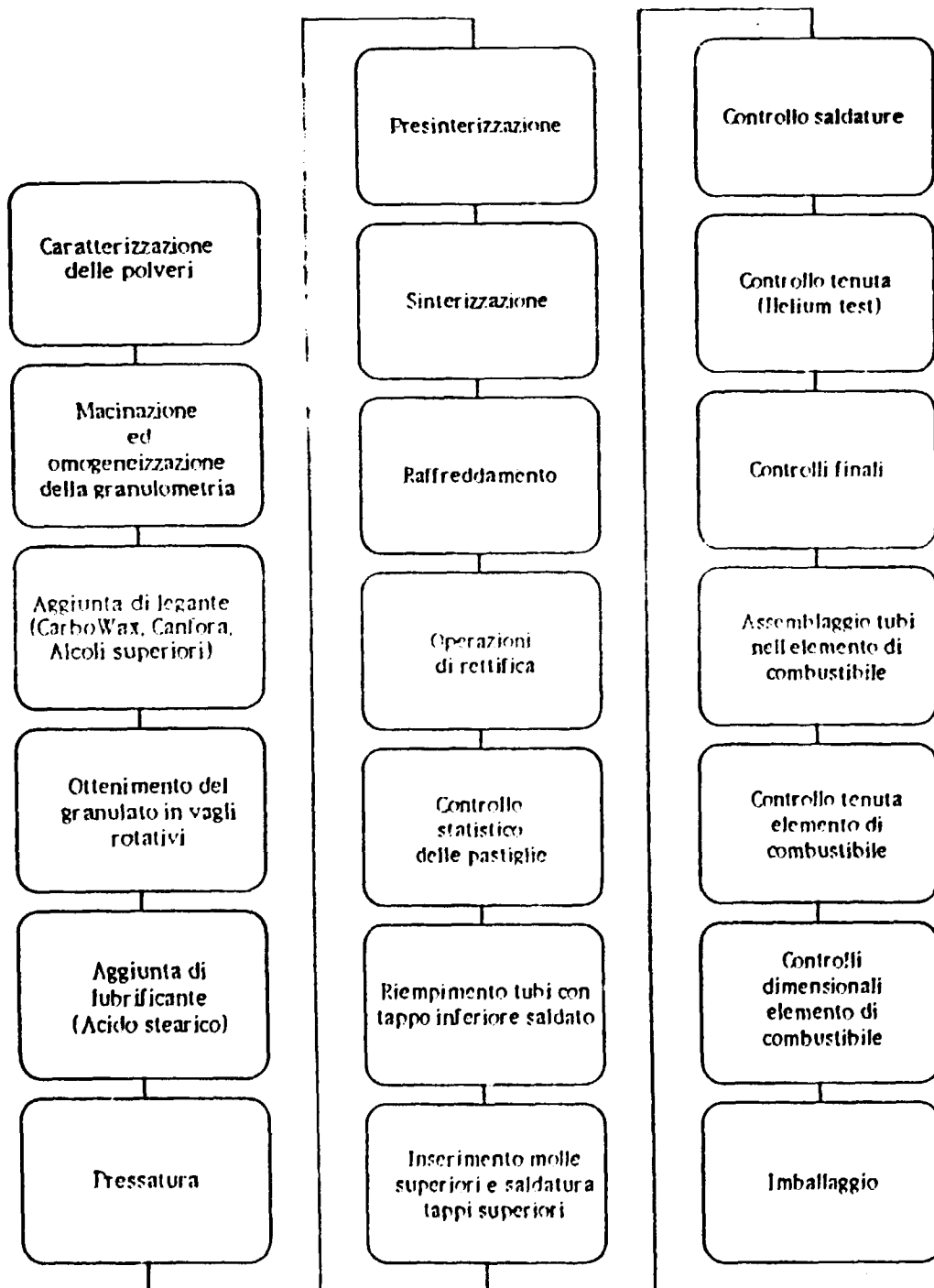
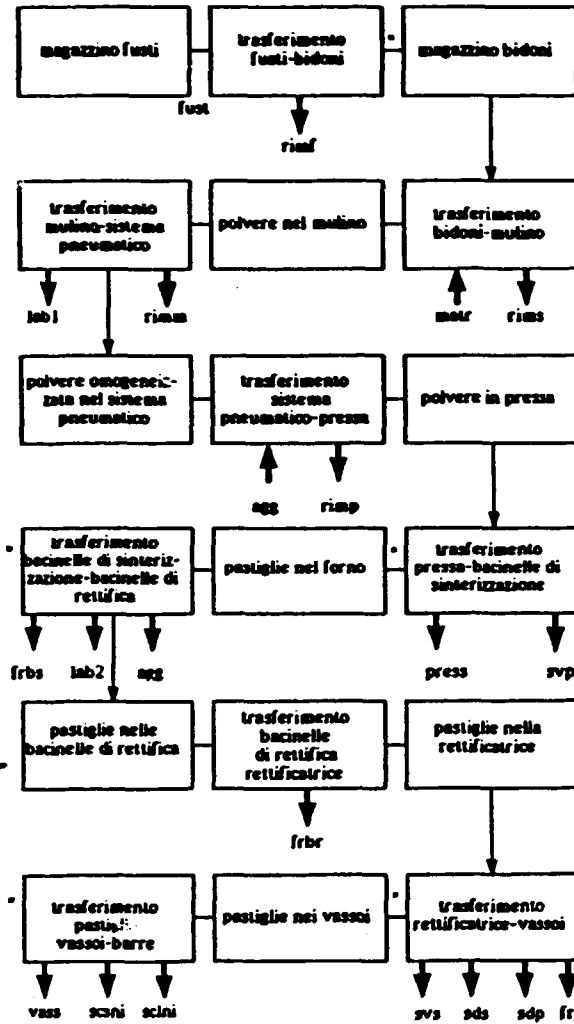


fig. 1

FLUSSO DI MATERIALE NELL'AREA PRINCIPALE



FLUSSO DI MATERIALE NELLE AREE SECONDARIE

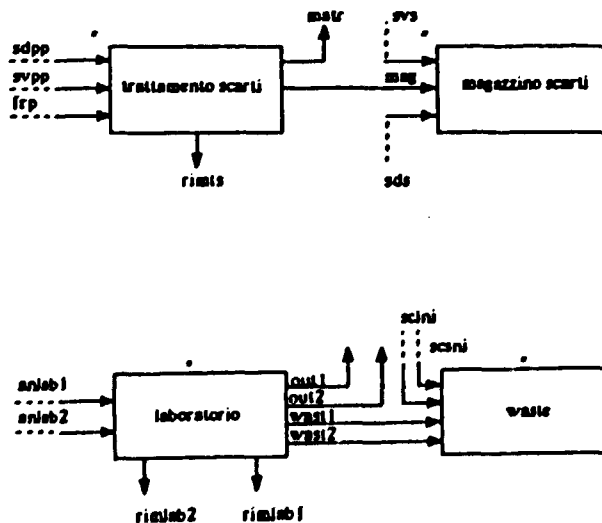


fig. 2

DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROGRAMMA DI CALCOLO ACC.

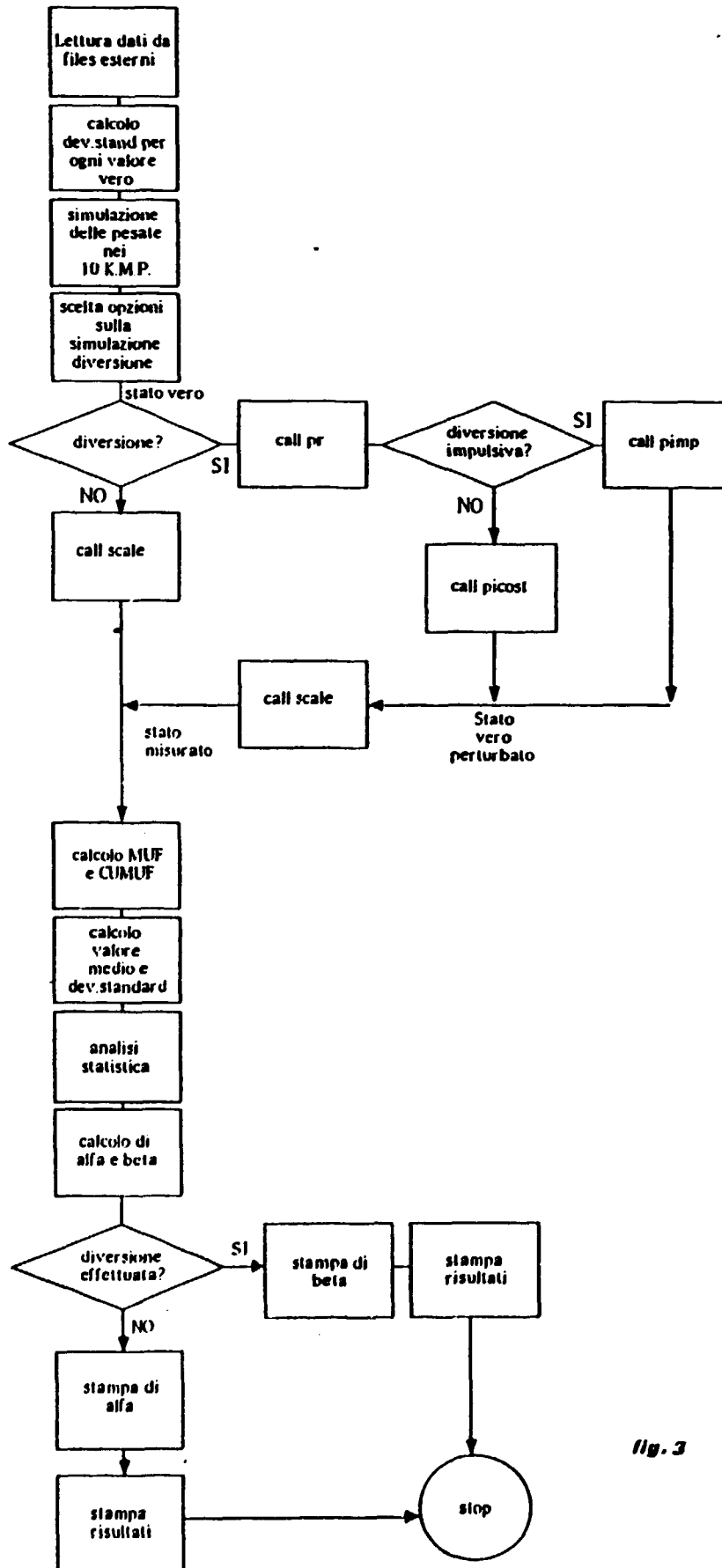


fig. 3

 MEASURED VALUES IN THE MEASUREMENT KEY POINTS

KEY POINTS	GROSS WEIGHTS (Kg)	TARE WEIGHTS (Kg)	MEASURED VALUES (Kg)
1)	.34134E+02	.12013E+02	.22120E+02
2)	.42115E+02	.20119E+02	.21996E+02
3)	.66729E+02	.44134E+02	.22594E+02
4)	.66465E+02	.44139E+02	.22326E+02
5)	.65656E+02	.44136E+02	.21520E+02
6)	.18963E+04	.18550E+04	.41330E+02
7)	.72142E+01	.60125E+01	.12017E+01
8)	.62237E+01	.60117E+01	.21193E+00
9)	.40146E+01	.30123E+01	.10023E+01
10)	.11650E+01	.11500E+01	.14997E-01

	TRUE VALUES (Kg)	TRUE VALUES (Kg)	ERROR (Kg) (tval-mval)
1)	.34000E+02	.12000E+02	-.12047E+00
2)	.41995E+02	.20000E+02	-.13961E-02
3)	.66658E+02	.44000E+02	.63211E-01
4)	.66403E+02	.44000E+02	.76663E-01
5)	.65591E+02	.44000E+02	.70304E-01
6)	.18965E+04	.18750E+04	-.19745E+02
7)	.72000E+01	.60000E+01	-.17097E-02
8)	.62100E+01	.60000E+01	-.19374E-02
9)	.40010E+01	.30000E+01	-.13569E-02
10)	.11650E+01	.11500E+01	.21606E-05

SYSTEM PERFORMANCES IN 100 BALANCE PERIODS

	MBA1	MBA2	MBA3
FINAL CUMUF (Kg)	-.176E+03	-.956E+02	.588E-01
MUF MEAN (Kg)	-.176E+01	-.956E+00	.588E-03
MUF STAND. DEV. (Kg)	.730E+01	.299E+02	.445E-02
# ALARMS MUF TEST	15	25	0
# ALARMS CUMUF TEST	1	18	0
FAL.AL.PROB.MUF TEST	.150E+00	.250E+00	.000E+00
FAL.AL.PR.CUMUF TEST	.100E-01	.180E+00	.000E+00
	MBA4	MBA5	MBA6
FINAL CUMUF (Kg)	.293E-02	.799E+02	-.769E-01
MUF MEAN (Kg)	.293E-04	.799E+00	-.769E-03
MUF STAND. DEV. (Kg)	.268E-02	.132E+00	.190E+00
# ALARMS MUF TEST	7	5	0
# ALARMS CUMUF TEST	0	0	0
FAL.AL.PROB.MUF TEST	.700E-01	.500E-01	.000E+00
FAL.AL.PR.CUMUF TEST	.000E+00	.000E+00	.000E+00

Valori medi del MUF, CUMUF e della deviazione standard del MUF nella prima sessione di prove.

Area di bilancio materiale	MUF medio (Kg)	Deviazione standard media (Kg)	CUMUF finale medio (Kg)
MBA1	-.17628E+01	.73046E+01	-.17628E+03
MBA2	-.95622	.29923E+02	-.95622E+02
MBA3	.58835E-03	.44593E-02	.58835E-01
MBA4	.29326E-04	.26881E-02	.29326E-02
MBA5	.79925	.13252	.79925E+02
MBA6	-.76995E-03	.19066	-.76995E-01

tab.2

Prestazioni del sistema di contabilita'

Div.	Area	Periodo	Quantita' sottratta (Kg)	Numero all.MUF	Numero all.CUMUF
PROVA n. 1					
imp.	1	50	8	MBA1 9 MBA2 10 MBA3 0 MBA4 15 MBA5 6 MBA6 11	3 52 0 0 0 0
PROVA n. 2					
no	/	/	/	MBA1 1 MBA2 4 MBA3 0 MBA4 0 MBA5 5 MBA6 4	0 17 0 0 0 0
PROVA n. 3					
cost	1	tutti	2	MBA1 25 MBA2 9 MBA3 0 MBA4 15 MBA5 6 MBA6 12	100 1 0 0 0 0

tab.3

**Edito dall'ENEA, Direzione Centrale Relazioni.
Viale Regina Margherita, 125 - Roma
Finito di stampare in aprile 1989**

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

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata