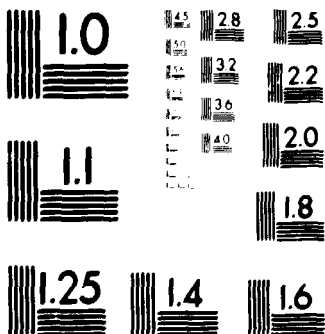
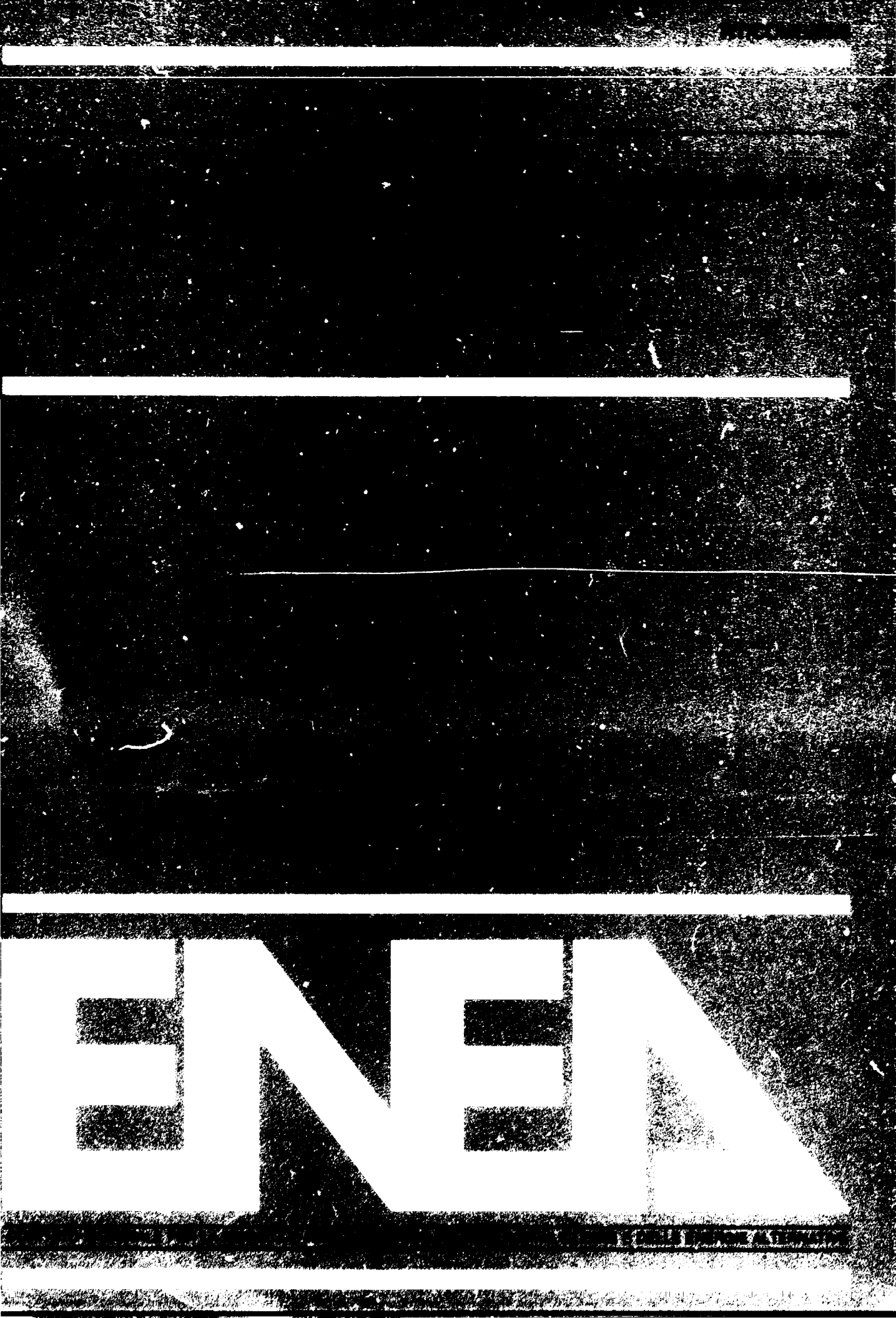


O F



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**

**MISURA DEL VOLUME NEI SERBATOI DI CONTABILITA'
DEGLI IMPIANTI DI RIPROCESSAMENTO.
ESPERIENZA RITCEX**

M. APARO, G. BARDONE, M. DIONISI
ENEA - Dipartimento Ciclo del Combustibile, Centro ricerche energia Casaccia

RT/COMB/85/8

Testo pervenuto nel dicembre 1985

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

RIASSUNTO

Negli impianti di Riprocessamento assume particolare importanza, sia dal punto di vista delle Autorità di Salvaguardia che del Management dell'impianto, la misura del contenuto di materiale nucleare nel prodotto di dissoluzione degli elementi di combustibile. Tale misura viene effettuata in serbatoi speciali chiamati appunto di contabilità.

Nel presente rapporto vengono descritte le procedure e i sistemi strumentali utilizzati sia in fase di calibrazione che in fase operativa; vengono inoltre riportati e discussi i metodi e le tecniche statistiche comunemente usate per il trattamento dei dati di calibrazione ed infine una rassegna di tutte le possibili sorgenti di errore nella misura del Volume.

Il fine di questo lavoro, sulla base anche di quanto i risultati dell'esperienza Ritcex ha dimostrato, è di mettere in evidenza la necessità di scegliere i metodi, le procedure ed i sistemi strumentali che siano in grado di fornire misure di Volume non soltanto più precise, ma soprattutto più affidabili per i controlli di contabilità e salvaguardia nella sezione di input di un impianto di Riprocessamento.

SUMMARY

The measurement of the Nuclear Material content in the spent fuels dissolution product is of a great importance both for the Safeguards Authorities and the Plant Management.

This measurement is carried out in special vessels, currently called Input Accountability Vessels.

In the present report the procedures applied and the instrumentation used both during the calibration and in the operational stages are described; moreover, the method and the statistical techniques currently used for the calibration data treatment and evaluation are reported and discussed. A critical analysis of the all possible sources of error in the Volume determination is also included.

The goal of the present work, taking into account the Ritcex experience results, was to demonstrate the needs of selecting the methodologies, the procedures and the instrumentation able to guarantee, besides a better precision, highly reliable Volume measurements for Accountability and Safeguards controls in the input section of a Reprocessing Plant.

I N D I C E

1. INTRODUZIONE

2. PROCEDURA DELLA MISURA
 - 2.1 PROCEDURA DI CALIBRAZIONE
 - 2.2 TRATTAMENTO STATISTICO DEI DATI
 - 2.3 ERRORI NELLA MISURA OPERATIVA DEL VOLUME

3. PARTECIPAZIONE ALL'ESPERIENZA RITCEX
 - 3.1 SCOPI DELL'ESPERIMENTO
 - 3.2 RISULTATI

4. CONCLUSIONI

1. INTRODUZIONE

Negli impianti di Riprocessamento, il prodotto della dissoluzione degli elementi di combustibile nucleare viene trasferito, prima di entrare nel processo di Ritattamento vero e proprio, in un serbatoio; qui vengono eseguite tutte le misure necessarie a stabilire l'inventario fisico del materiale nucleare d'interesse.

Per questo motivo tali recipienti prendono il nome di serbatoi di contabilità (input accountancy tank).

L'importanza di quest' particolare punto di misura è notevole; basta pensare che è la prima volta, da quando è stato costruito, che l'elemento di combustibile diventa oggetto di misura precisa del contenuto di materiale nucleare, la misura costituisce quindi una verifica dei dati di fabbricazione e dell'irraggiamento subito dal combustibile.

Inoltre, considerato l'alto valore strategico del materiale contenuto nel combustibile irraggiato (in particolare Plutonio), c'è l'interesse, sia dal punto di vista di Management dell'impianto che delle Autorità di Salvaguardia, a conoscere esattamente la quantità di materiale nucleare presente all'ingresso dell'impianto di Riprocessamento.

Il materiale nucleare presente nei serbatoi di contabilità viene determinato attraverso la misura del volume di soluzione contenuta di tali recipienti e, mediante analisi distruttive su campioni opportunamente prelevati di soluzione, della concentrazione degli elementi di interesse.

La misura accurata del Volume nei serbatoi di contabilità presenta delle notevoli difficoltà e negli ultimi anni sono stati effettuati numerosi

studi con lo scopo di perfezionare le tecniche e la procedura di calibrazione e di misura in modo da riuscire ad ottenere una incertezza sul valore del Volume misurato di concentrazione.

In questo contesto è stata condotta l'esperienza RITCEX (Reprocessing Input Tank Calibration Experiment); un esperimento a cui l'ENEA ha attivamente preso parte in collaborazione con altre organizzazioni Internazionali (CEA, CEN, KFK, PNC, BNFL, IAEA ..) i cui obiettivi erano principalmente:

- Studio e perfezionamento della tecnica e procedura di calibrazione.
- Confronto fra le diverse strumentazioni utilizzate nella misura del livello.
- Confronto fra i diversi approcci metodologici di regressione utilizzati nel trattamento statistico dei dati di calibrazione.
- Messa a punto di un progetto ideale di serbatoio di contabilità.

Il fine di questo rapporto è di presentare una descrizione dettagliata di tutte le procedure messe in atto per la misura del Volume nei serbatoi di contabilità e delle problematiche connesse, anche sulla base dei risultati conseguiti con la partecipazione all'esperienza Ritcex.

2. PROCEDURA DELLA MISURA

Il Volume della soluzione proveniente dalla dissoluzione viene determinato misurando il livello del liquido nel serbatoio ed utilizzando una relazione Volume-Livello, detta funzione di calibrazione, caratteristica del serbatoio considerato.

Ne consegue che gli aspetti principali da considerare nella misura del Volume sono essenzialmente due, il primo riguardante la scelta di una adeguata strumentazione per la rivelazione del livello (alta precisione e accuratezza), il secondo riguardante invece la determinazione della migliore curva di calibrazione del serbatoio stesso.

Per quanto riguarda la strumentazione per la misura del livello adottata negli impianti nucleari, quella maggiormente impiegata usa come sensori dei tubi pneumatici attraverso i quali viene misurata una differenza di pressione mediante strumenti che possono essere di diverso tipo (Wallace & Tiernan Manometer, U-Tube Manometer o Elettromanometri).

Altre tecniche strumentali come il Sonar, basato sulla trasmissione e riflessione di onde ultrasoniche, o il TDR, basato sulla trasmissione e riflessione di segnali ad alta frequenza, sono ancora in via di sviluppo.

Nel paragrafo dedicato all'esperienza RITCEX saranno confrontate le prestazioni dei diversi strumenti.

2.1 PROCEDURA DI CALIBRAZIONE

La procedura utilizzata per la determinazione della relazione Volume-Livello è quella degli incrementi successivi; tale tecnica consiste nel misurare il livello di liquido (acqua demineralizzata o soluzione nitrica) per ogni quantità nota successivamente aggiunta nel serbatoio da calibrare.

Il valore del Volume corrispondente al livello misurato h_i si ottiene dalla somma dei pesi degli incrementi introdotti, divisi per la densità del liquido nel serbatoio secondo la seguente formula:

$$V_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_i f_i}{\rho(T_i)} \quad (1)$$

V_i = Volume di liquido nel serbatoio dopo l' i -simo incremento

w_i = peso dell' i -simo incremento

f_i = fattore di correzione dovuto alla spinta dell'aria al momento della pesata.

$\rho(T_i)$ = Densità del liquido nel serbatoio dopo l' i -simo incremento.

Le coppie di valori V_i e L_i vengono trattate mediante opportune tecniche statistiche di regressione per stabilire la relazione matematica tra le due variabili.

Per ridurre l'effetto della presenza di errori nella procedura, l'intera calibrazione viene ripetuta

più volte, ottenendo così una serie di funzioni $V(L)$, da cui si ricava la migliore rappresentazione matematica del serbatoio, rispetto alle variabili considerate.

2.2 TRATTAMENTO STATISTICO DEI DATI

L'equazione di calibrazione $V(h)$ è data, in forma generale, dalla:

$$V(h) = \int_0^h A(y) dy$$

Da cui si nota che se la sezione trasversale del recipiente fosse costante lungo l'altezza l'equazione di calibrazione sarebbe una retta. In realtà per i serbatoi di contabilità le equazioni di calibrazione sono curve segmentate formate da più relazioni polinomiali di primo e di secondo grado; questo è dovuto sia alla forma del recipiente, non sempre costruito con geometria semplice, sia ai diversi sistemi presenti all'interno, come al sistema di trasferimento della soluzione, di omogeneizzazione e i vari sistemi di misura.

E' necessario, quindi, individuare esattamente i punti di cambiamento dei parametri della curva di calibrazione, e questo è possibile attraverso l'esperienza e una approfondita conoscenza delle dimensioni e delle caratteristiche del serbatoio considerato.

La stima dei parametri relativi ad ogni segmento viene ottenuta utilizzando un modello matematico di regressione il quale viene scelto secondo le assunzioni fatte sulle caratteristiche degli errori sperimentali, compiuti nella procedura di calibrazione

che influenzano le misure dei Volumi e dei Livelli.

L'equazione generale di un segmento lineare della curva di calibrazione risulta:

$$Y_i = a + b \sum_{j=1}^i (X_j + e_x) + e_y + e_t \quad (2)$$

dove:

Y_i = livello liquido "vero"

X_j = j-simo incremento di liquido "vero"

e_x = errore associato con la misura dell'incremento aggiunto

e_y = errore associato con la misura del livello

e_t = errore di non perfetta rappresentatività del modello matematico assunto ("lack of fit")

a e b = parametri incogniti della relazione di calibrazione generale

Trascurando l'errore di "lack of fit" e_t , le ipotesi possibili sulle caratteristiche degli errori sono:

- a) Gli errori sulle due variabili, e_x ed e_y , sono confrontabili ed indipendenti con x valore medio zero e varianza rispettivamente σ_x^2 e σ_y^2 . Viene utilizzato il modello di regressione generale con errori incogniti nelle due direzioni dove la stima dei parametri è compiuta attraverso complicati metodi numerici, [1] e [2].

Si noti che frequentemente vengono fatte arbitrarie assunzioni sulle varianze degli errori per semplificare la procedura (ad esempio nell'elaborazione dei dati del Ritcex con questo modello si è assunto che le due varianze sono uguali tra loro). Tali assunzioni sono arbitrarie in quanto le due grandezze x e y sono dimensionalmente differenti e quindi non confrontabili tra di loro.

- b) Gli errori compiuti nella misura dei livelli sono trascurabili nei confronti degli errori sui volumi x che vengono assunti indipendenti e con distribuzione normale (gaussiana).
L'equazione generale (1) viene trasformata nella:

$$X_i = a' + b' y_i + e_{x_i}$$

X_i volume "vero" dopo l' i -esimo incremento

y_i livello corrispondente

e_{x_i} errore sul valore del volume x_i , indipendente dagli errori associati ai volumi precedenti e con distribuzione normale.

Si utilizza, in questo caso, il modello classico dei minimi quadrati, [3]. Questo modello è inadeguato a descrivere la realtà fisica della procedura di calibrazione in quanto, una volta assunto che gli errori sui livelli sono trascurabili nei confronti degli errori sui volumi, non si può non tener presente che quest'ultimi non possono essere considerati indipendenti tra di loro ma, a causa degli incrementi successivi, sono di natura cumulativa.

- c) Nel caso si possono trascurare gli errori compiuti nel misurare gli incrementi di Volume rispetto agli errori sui livelli e y_i l'equazione generale si trasforma:

$$Y_i = a'' + b'' X_i + e_{y_i} \quad (3)$$

dove: X_i e Y_i - sono le coppie di valori Volume-Livello ottenute nella calibrazione

e_{y_i} - errore sulla misura del livello i-simo indipendentemente dagli errori compiuti nella misura dei livelli precedenti e con distribuzione normale.

I parametri a'' e b'' si ottengono con il metodo dei minimi quadrati dopodiché, invertendo la relazione (3) si ottiene l'equazione di calibrazione classica $V = f(h)$, [4].

E' il caso più realistico poiché generalmente gli errori compiuti sulla misura degli incrementi (pesata) sono molto inferiori, anche di un ordine di grandezza, rispetto agli errori compiuti nel misurare il livello di liquido.

- d) Gli errori sui livelli sono trascurabili nei confronti degli errori sugli incrementi di Volume; l'errore sul Volume noto X_i viene assunto come una funzione degli errori associati agli incrementi precedenti e non indipendenti come nell'ipotesi b.

Gli errori e_{x_i} , forniti dalla:

$$e_{x_i} = \sum_{j=i}^i e_{x_j} \quad (4)$$

sono, quindi, di natura cumulativa.

I singoli errori e_{x_i} sono indipendenti, a valor medio nullo e distribuzione normale.

L'ipotesi fondamentale del modello cumulativo è che i singoli errori sugli incrementi provengono dalla stessa distribuzione normale e quindi abbiano la stessa varianza. Nel caso di incrementi non uguali tra di loro come nel caso delle calibrizioni del Ritcex quest'ipotesi non è soddisfatta e quindi non è statisticamente corretto applicare tale modello.

Scegliendo questo modello, si utilizzano le formule di regressione cumulativa, descritte in [4] e [5].

Ottenuta la stima dei parametri a e b della equazione di calibrazione:

$$V = a + bh$$

il passo successivo è lo studio dell'andamento dei residui e_i , definiti:

$$e_i = V_i - \hat{V}_i \quad (5)$$

dove V_i - Sono i valori sperimentali dei Volumi

\hat{V}_i - sono i valori predetti dall'equazione di calibrazione determinata.

L'analisi dei residui può essere utile per diversi motivi, come; [6]:

- per la verifica delle ipotesi assunte sul modello degli errori.
- per la verifica del modello matematico assunto.
- per l'individuazione di eventuali variazioni della sezione trasversale del serbatoio (cambiamenti

di pendenza, presenza di irregolarità e/o non linearità nel serbatoio).

Come è stato detto nel paragrafo precedente, la procedura di calibrazione, denominata generalmente Run di calibrazione, viene ripetuta più volte, ottenendo così più rette di calibrazione. Al fine di determinare la relazione operativa Volume-Livello le diverse rette vengono confrontate per stabilire se i punti delle stesse appartengono ad una unica retta. A questo scopo viene utilizzata l'analisi di covarianza, [3], ed in caso di esito positivo tutti i dati vengono trattati come appartenenti ad un unico run di calibrazione.

L'analisi di Covarianza consiste, brevemente, nel verificare il risultato di tre test statistici basati sulle seguenti ipotesi:

- 1) Le linee di regressione ricavata per ogni singolo Run di calibrazione sono parallele ($b_i = \bar{b}$).
- 2) Il gruppo dei lavori medi \bar{h}_i e V_i , di ciascun Run, giace su una linea di regressione con pendenza \hat{b} .
- 3) Il valore delle singole pendenze (\bar{b}) coincide con la pendenza b della linea di regressione ricavata con il gruppo dei valori medi.

Se tutte le tre ipotesi sono accettate, si può calcolare una unica linea di calibrazione considerando tutti i dati delle calibrazioni.

E' da sottolineare che al momento non esiste nessuna tecnica statistica che permette di confrontare diverse rette ottenute con il modello A (errori nelle due direzioni).

2.3 ERRORI NELLA MISURA OPERATIVA DEL VOLUME

Nel paragrafo precedente si è visto come si determina la migliore rappresentazione matematica $V(h)$ del serbatoio; tale relazione, attraverso una misura operativa del livello, fornisce una stima del Volume di soluzione presente nel serbatoio di contabilità.

Dal punto di vista della Salvaguardia è importante conoscere, oltre al valore stimato del Volume, anche l'errore associato.

In questo tipo di misura l'errore sul Volume dipende essenzialmente dalla precisione con cui viene misurato il livello e dall'accuratezza della relazione di calibrazione.

Vediamo brevemente quali sono le principali cause di incertezza che possono influenzare il risultato della misura di Volume:

1) Errori nella determinazione della curva di calibrazione:

- inaccuratezza dei sistemi usati per la misura degli incrementi di Volume e del Livello;
- imprecisione nelle correzioni apportate ai valori dei Volumi e dei Livelli ottenuti nella calibrazione;
- la vera relazione di calibrazione non è perfettamente lineare; ci sono dei punti in cui la sezione varia bruscamente per la presenza all'interno del serbatoio di sistemi di misura, tubazioni, saldatura etc.
- Una piccola quantità dell'incremento riversato nel recipiente può aderire sulle pareti o tubature interne.

2) Errori nella misura del livello:

- a) effetti di temperatura, delle disomogeneità di temperatura nel liquido provocano una misura della densità, con il sistema dip-tube, il quale misura in una piccola zona del serbatoio, leggermente diversa dalla densità media della soluzione.
- b) effetti di vuoti provocati dalla formazione di bolle sulle estremità dei dip-tubes e/o locali ebollizioni per radiolisi della soluzione.
- c) Variazioni delle condizioni sotto le quali sono stati calibrati i sistemi per la misura del livello come:
 - portata e densità del gas all'interno del dip-tubes;
 - perdite di carico nei dip-tubes;
 - espansioni lineari termiche dei dip-tubes (variazione della distanza nota fra i due dip-tubes per la misura della densità).

3) "Invecchiamento" della curva di calibrazione.

E' la più grossa sorgente di errore poiché l'iniziale curva di calibrazione può essere notevolmente invalidata a causa di numerosi effetti:

- espansione delle dimensioni del recipiente per temperatura e per un aumento della pressione idrostatica poiché, in condizioni operative, la soluzione si trova a temperatura più elevata (fino a 50°C) ed ha una densità molto₃ più grande di quella dell'acqua (1,4 + 1,5 kg/dm³);
- depositi e/o incrostazioni sulle pareti e tubature interne;
- deformazioni, corrosioni e rotture di alcune parti interne;

- variazione nel posizionamento di valvole che permettono il rientro di soluzione in tubature interne e viceversa;
- film di soluzione rimasta sulle pareti del serbatoio da precedente trasferimento;
- sistemi interni come l'omogeneizzazione della soluzione e il sistema per il campionamento in funzione o meno.

3. PARTECIPAZIONE ALL'ESPERIENZA RITCEX

3.1 SCOPI DELL'ESPERIMENTO

Il progetto Ritcex, condotto nell'ambito del Programma di Supporto Belga alle Salvaguardie Internazionali dell'IAEA preparato ed eseguito in collaborazione con l'ESARDA (Working Group for Reprocessing Input Verification) e diverse organizzazioni internazionali si proponeva lo studio approfondito di alcune problematiche relative alla misura di Volume nella sezione di input di un impianto di Riprocessamento.

In particolare, gli scopi dell'esperienza erano:

- a) confronto delle prestazioni di alcuni strumenti per la misura di livello quali:
 - U-tube, sia del tipo ad acqua demineralizzata che del tipo a liquido organico (tetrabromoetano);
 - Elettromanometro Ruska;
 - Sonda (TDR);
 - Sonda ad onde ultrasoniche (Sonar);
- b) confronto di diverse procedure di calibrazione;
- c) confronto di diverse procedure di elaborazione dati;
- d) studio di un ideale serbatoio di Input da un punto di vista Salvaguardia;
- e) ottimizzazione delle procedure di calibrazione e del le misure operative nel serbatoio.

L'esperienza è stata eseguita presso l'impianto di Riprocessamento Eurochemic, Mol (Belgio), sul serbatoio della sezione di Input rappresentato in fig. 1.

Tale serbatoio è stato calibrato 4 volte utilizzando il metodo degli incrementi successivi, cioè, ad ogni successiva aggiunta di una quantità nota di liquido è stato misurato il livello raggiunto mediante i sistemi citati nel punto a.

L'intera serie di valori Volume-Livello relative ad una procedura di calibrazione viene chiamata Run di calibrazione.

Tutti i dettagli delle 4 calibrazioni del serbatoio eseguite (Run 11, 12, 13 e 14), dei contributi di ciascuna organizzazione partecipante e dei risultati conseguiti sono pubblicati nel rapporto finale Ritcex, [8].

Nell'ambito delle azioni previste per l'esecuzione dell'esperienza Ritcex, il nostro laboratorio è intervenuto attivamente in due settori:

- a) Trattamento statistico dei dati ottenuti nelle 4 calibrazioni e valutazione della curva di calibrazione del serbatoio;
- b) installazione e valutazione delle prestazioni del sistema di misura del livello TDR.

Il sistema TDR (Time Domain Reflectometry), descritto estensivamente in precedenti pubblicazioni, [9], [10], è basato su una tecnica che permette di rivelare disadattamenti di impedenza in circuiti o linee di trasmissione.

L'analisi TDR inizia con le propagazioni di un segnale ad alta frequenza che viene inviato nel circuito o nella linea di trasmissione da analizzare seguito poi dall'osservazione del segnale riflesso che ritorna dal sistema sotto controllo.

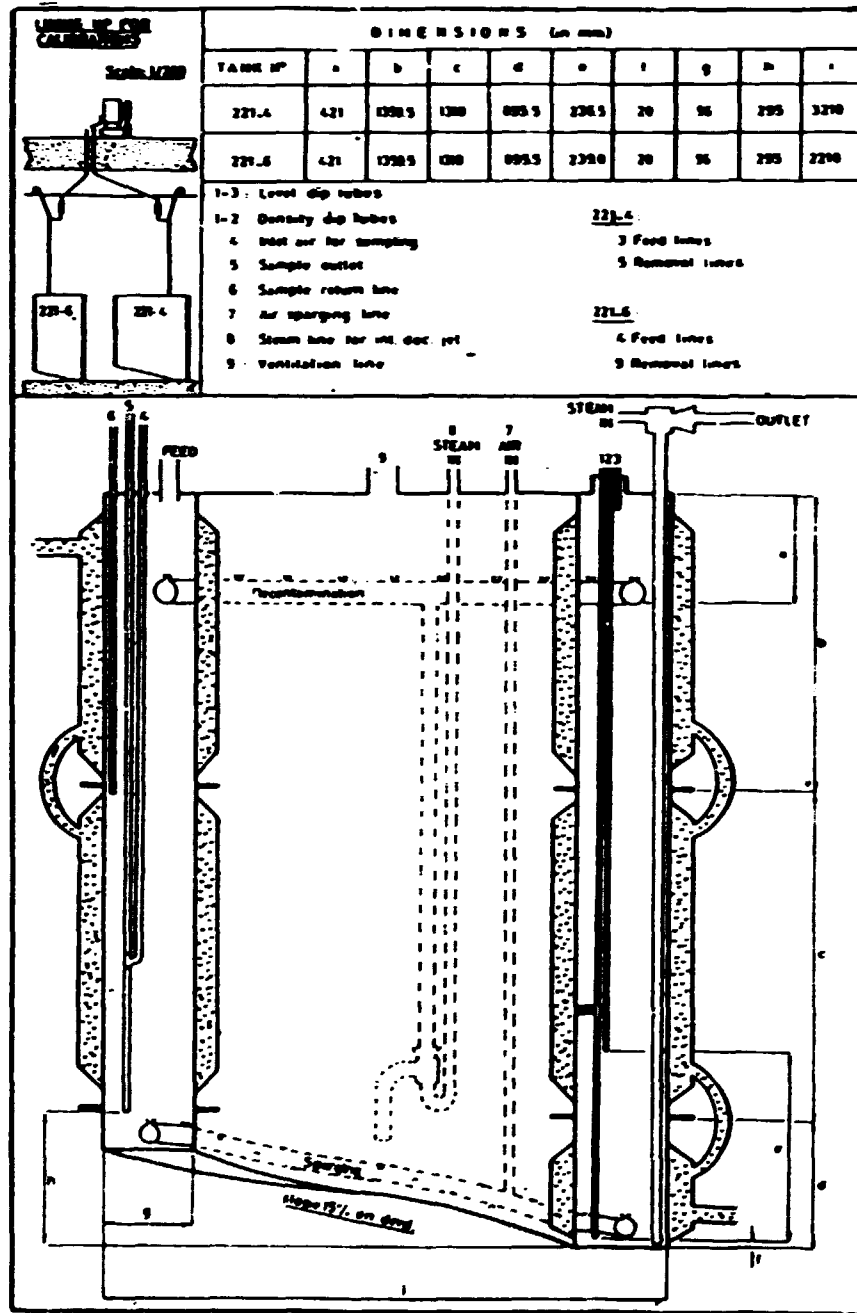


Fig. 1 - Serbatoio di contabilità dell'impianto Eurochemic (Belgio), [11].

Ogni condizione causante discontinuità o disadattamenti può essere localizzata, analizzando la posizione della prima d'onda riflessa rispetto al tempo.

Nel caso di una sonda coassiale, con l'impedenza caratteristica del sistema (50 ohm) e con un dielettrico interposto costituito da aria, immersa in una fase liquida, il cambiamento di costante dielettrica in corrispondenza dell'interfaccia dei due fluidi causerà una riflessione del segnale che può essere rilevata sul CRT dell'oscilloscopio associato al TDR.

Quando la sonda è immersa in uno o più liquidi fra loro immiscibili, si può registrare l'andamento dei coefficienti di riflessione del segnale lungo la sonda coassiale.

Poiché il coefficiente di riflessione e la velocità di trasmissione del segnale variano in funzione della costante dielettrica del mezzo, dall'analisi delle curve TDR registrate si possono calcolare sia la costante dielettrica che il livello del liquido o delle varie fasi liquide.

Le onde TDR, hanno una configurazione coassiale rigida, sono costituite da due conduttori di acciaio INOX i cui diametri sono calcolati in maniera di ottenere una impedenza la più vicina possibile ai 50 ohm caratteristici del sistema. Il dielettrico interposto fra i due conduttori è costituito da aria.

Sul conduttore esterno, è stata realizzata una serie regolare di fori, i quali permettono al liquido di interporarsi, come nuovo dielettrico fra i due conduttori.

Nel caso specifico, il sistema TDR fornito dall'ENEA è installato presso EUROCHEMIC per il RITCEX, è costituito da:

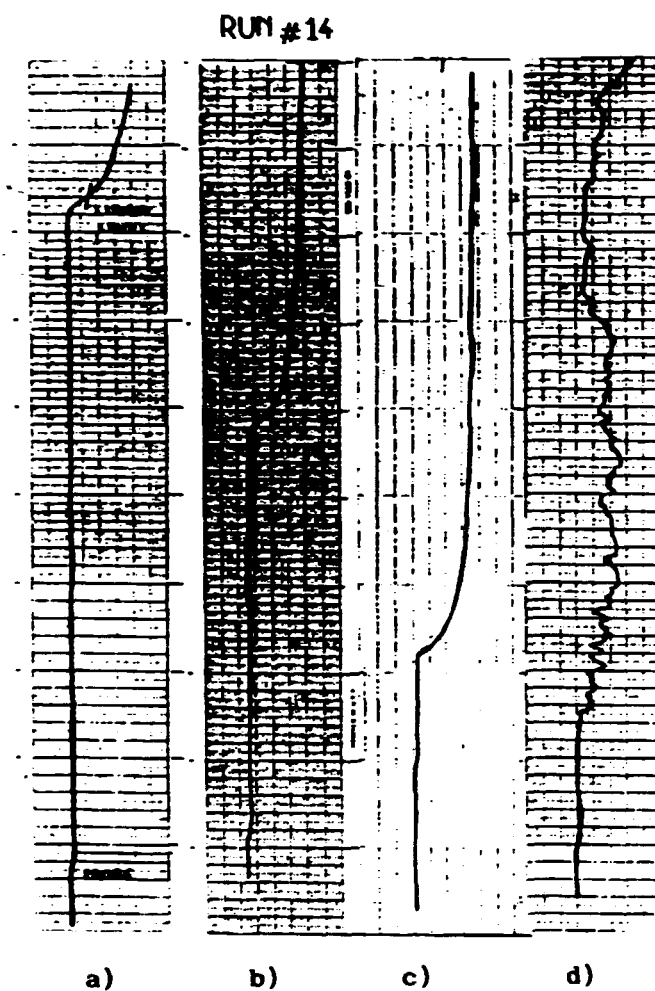


Fig. 3 - Registrazione del TDR a quattro livelli diversi durante il Run di calibrazione 14 del Ritcex.

- a) **Minimo livello operativo**
- b) **Livello intermedio**
- c) **Massimo livello operativo**
- d) **Registrazione durante l'aggiunta del liquido.**

- una sonda di livello coassiale in acciaio INOX 304L, altezza 3800 mm (fig. 2)
- TDR cable tester TEKTRONIX mod. 1502.

Nella figura 3 viene riportata la firma registrata tipica della sonda installata nel serbatoio dell'impianto EUROCHEMIC.

3.2 RISULTATI

I dati a disposizione, che si riferiscono alle 4 calibrazioni ed a diversi tipi di strumentazione per misura del livello (Tab. 1), sono stati trattati separatamente secondo i modelli statistici di regressione descritti nel paragrafo 2.2.

RUN	U-Tube	RUSKA	SONAR	T D R
11	73	73	/	/
12	26	26	21	/
13	26	26	26	/
14	70	70	56	53

TAB. 1- Coppie di dati a disposizione per i 4 Runs di calibrazione e per i diversi strumenti di

misura per il livello.

Si nota che non tutta la strumentazione è stata utilizzata fin dal 1° Run.

La curva di calibrazione del serbatoio non è unica ma formata da diversi segmenti; si è convenuto, in base ai dati geometrici del serbatoio, di suddividerla in 6 regioni:

- 1) Da 0 a 350 mm: tratto non lineare approssimabile con un polinomio di 2° e 3° grado.
- 2) Da 350 a 700 mm: tratto non lineare approssimabile con un polinomio di 2° o di 3° grado.
- 3) Da 700 a 2000 mm: Primo tratto approssimabile con una retta;
- 4) Da 2000 e 3070 mm. Secondo tratto lineare.
- 5) Da 3070 a 3160 mm. Tratto irregolare dovuto alla presenza del sistema di refrigerazione.
- 6) Da 3160 e 3500 mm. Terzo tratto lineare.

Come esempio in Tab. 2 sono riportati i valori dei parametri delle rette di calibrazione (tratto 2000-3070 mm) relative al Run 14 calcolate secondo i diversi modelli e la diversa strumentazione utilizzata per la misura del livello.

Si nota che nel caso del Ruska, cioè errori molto piccoli nella misura del livello, le rette risultanti dai 4 modelli praticamente si equivalgono; questo entro limiti più larghi, è valido anche per i manometri U-Tube.

Quando la precisione della misura di livello non è molto elevata (Sonar e TDR) fra i parametri delle rette, calcolate con i diversi modelli, si riscontrano delle differenze.

C'è da notare la notevole differenza fra

le deviazioni standard, cioè $S(a)$, $S(v)$, stimata dai modelli di regressione con i minimi quadrati (mod. A, B e C) e quelle stimate con il modello di regressione cumulativa.

STRUM.	MOD	a (litri)	S(a)	b(l/m)	S(b)	S(v)
RUSKA	A	- 301.3344	.550	.930887	$2.1 \cdot 10^{-4}$.322
	B	- 301.3367	.550	.930888	$2.1 \cdot 10^{-4}$.322
	C	- 301.3355	.550	.930887	$2.1 \cdot 10^{-4}$.240
	D	- 302.6611	1.556	.931381	$6.3 \cdot 10^{-4}$	1.45
U-Tube	A	- 299.5228	1.413	.930090	$5.3 \cdot 10^{-4}$.83
	B	- 299.5372	1.413	.930096	$5.3 \cdot 10^{-4}$.82
	C	- 299.5295	1.413	.930093	$5.3 \cdot 10^{-4}$.62
	D	- 299.3585	12.559	.929731	$5.1 \cdot 10^{-3}$	11.70
SONAR	A	- 340.6889	2.153	.937981	$8.1 \cdot 10^{-4}$	1.24
	B	- 340.7220	2.153	.937993	$8.1 \cdot 10^{-4}$	1.24
	C	- 340.7044	2.153	.937987	$8.1 \cdot 10^{-4}$.92
	D	- 339.7453	11.377	.938229	$4.6 \cdot 10^{-3}$	10.5
T D R	A	- 203.6201	11.243	.898156	$4.3 \cdot 10^{-3}$	6.85
	B	- 204.5721	11.248	.898520	$4.3 \cdot 10^{-3}$	6.85
	C	- 204.0451	11.244	.898319	$4.3 \cdot 10^{-3}$	5.19
	D	- 226.5555	94.357	.907424	$3.8 \cdot 10^{-2}$	89.35

Tab. 2 - Parametri della retta di calibrazione (Regione 2000-3070 mm) calcolata in base ai dati del Run 14.

Nelle fig. 4, 5 e 6 sono rappresentati, per le diverse strumentazioni, i plot dei residui rispetto alle linee calcolate considerando, per ciascuna regione, globalmente i Runs a disposizione.

L'analisi di covarianza applicata alle diverse rette di calibrazione ottenute con il Ruska evidenzia il fatto che esse non possono essere considerate come un'unica retta. E' invece possibile calcolare la "overall line" per l'U-Tube dopo aver scartato i dati del run 12.

Questa diversità tra due strumenti è dovuta al fatto che il Ruska, data la sua alta precisione, mette in evidenza differenze esistenti tra un run e l'altro, differenza che sono invece, "nascoste" dalla minore precisione dell'U-Tube.

Tali differenze fra i 4 Run sono dovute a diversi motivi:

- I Runs 11 e 14 sono stati condotti con incrementi più piccoli che nei Runs 12 e 13;
- Il serbatoio era completamente vuoto soltanto nel Run 11;
- Nei Runs 12 e 13 sono state effettuate anche misure con la tecnica dei traccianti;
- Non tutte le strumentazioni per la misura del livello erano presenti nel corso di tutti e quattro i Run (vedi Tab. 1).

Dai plot dei residui per i diversi strumenti è possibile trarre alcune importanti considerazioni.

- a) Il sistema di misura Ruska è più preciso dei sistemi convenzionali per la misura del livello (U-Tube); si nota inoltre, fig. 4 che i residui dei quattro Run sono molto simili, questo dimostra come con un elettromanometro, sia possibile seguire con maggior precisione il profilo del serbatoio.

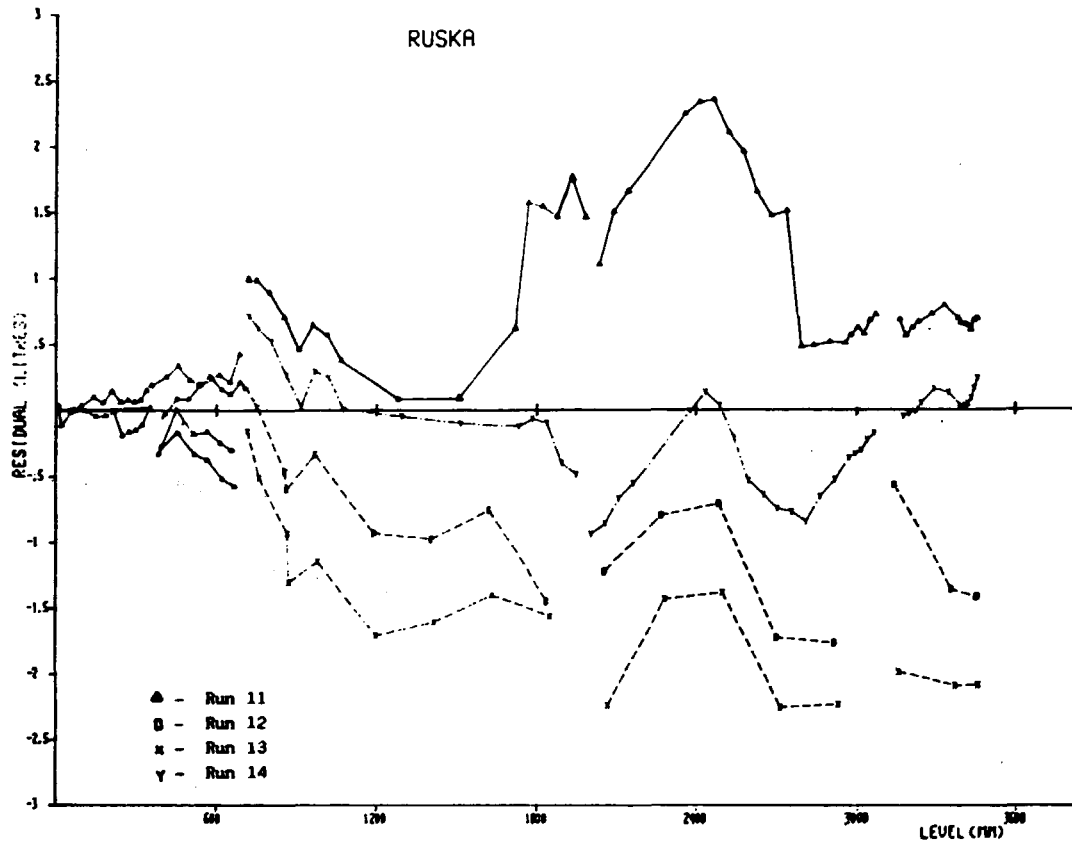


Fig. 4 - Plot dei residui rispetto alla "overall line" per le diverse regioni con il Ruska.

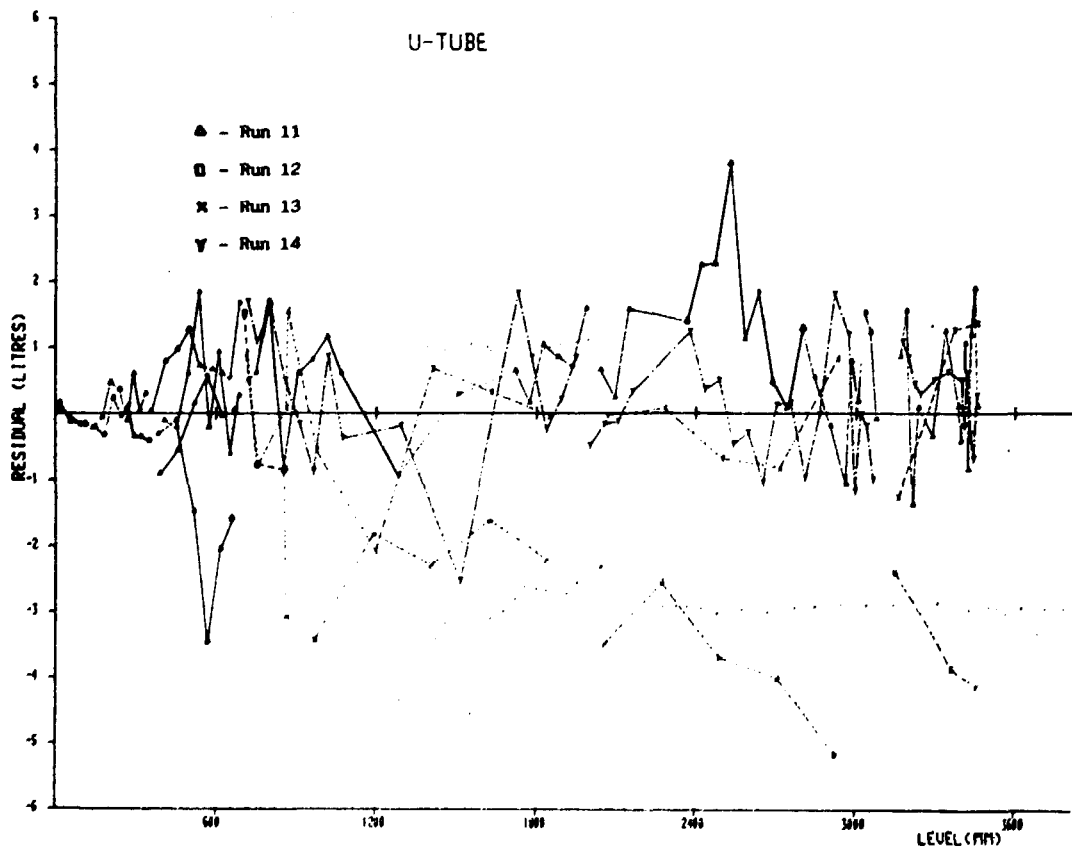


Fig. 5 - Plot dei residui rispetto alla "overall line" per le diverse regioni per il sistema U-Tube.

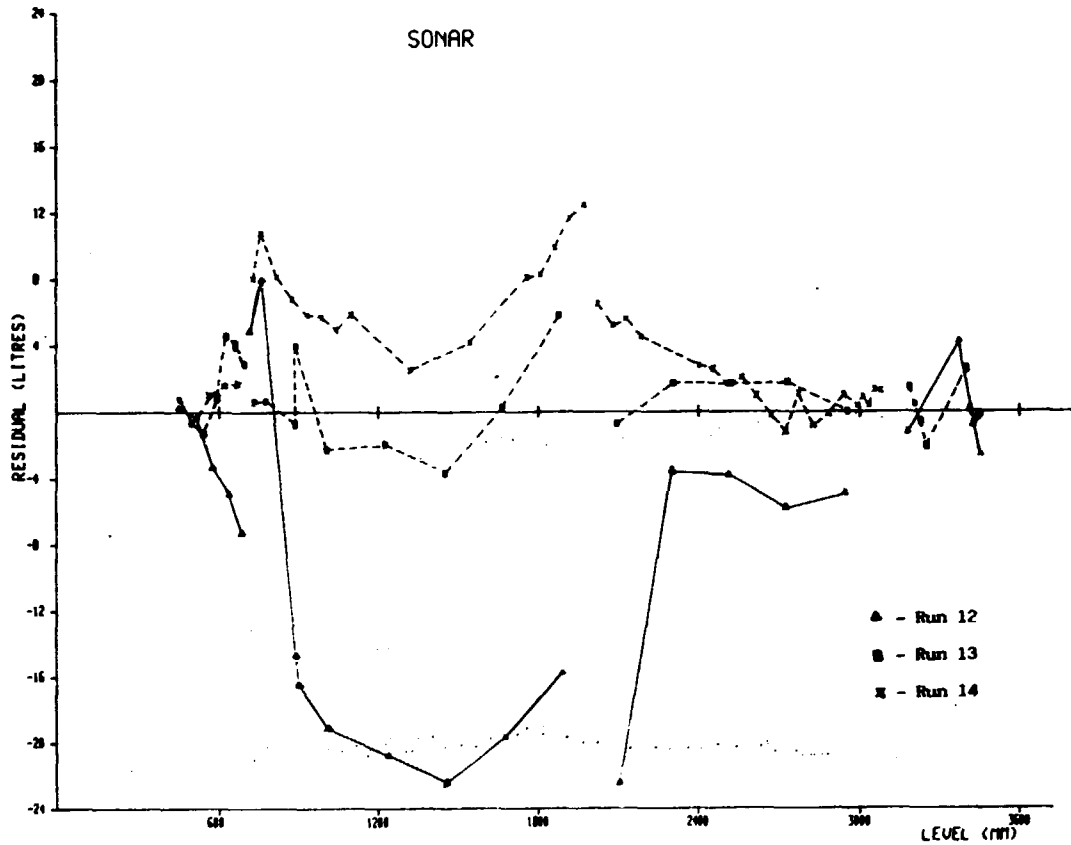


Fig. 6 - Plot dei residui relativi al sistema Sonar.

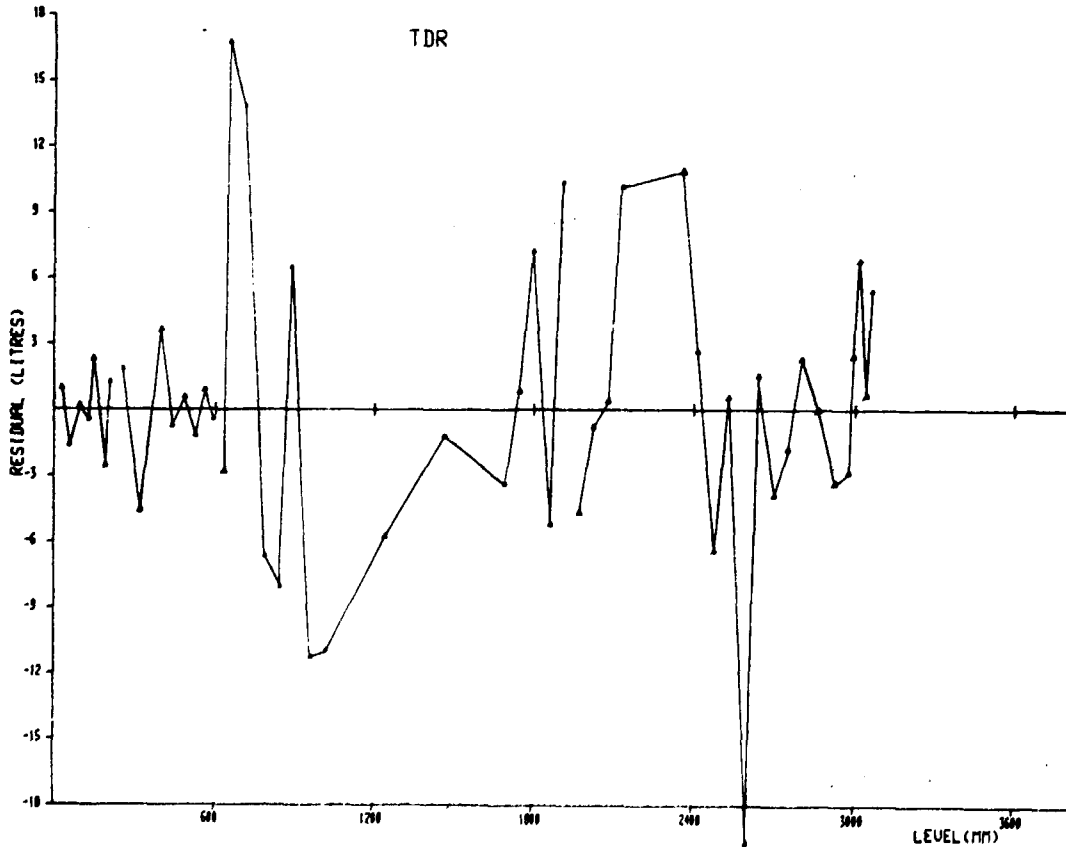


Fig. 7 - Plot dei residui relativi al sistema TDR (solo Run 14).

- b) Il fatto che i quattro profili siano paralleli denota la presenza di errori sistematici diversi nelle procedure di calibrazione; questo non è evidenziato nel caso del manometro U-Tube, dove la minore precisione sulla misura del livello "nasconde" gli errori di altra natura.
- c) I sistemi per la misura del livello Sonar e TDR (fig. 7) hanno bisogno di essere ulteriormente perfezionati poiché le prestazioni sono inferiori di quelle dei sistemi convenzionali.

4. CONCLUSIONI

La determinazione della relazione Volume-Livello o funzione di calibrazione, caratteristica del serbatoio considerato dovrebbe essere preceduta da una attenta valutazione della strumentazione utilizzata per la calibrazione, sia per quanto riguarda la misura del Livello che per la misura del peso degli incrementi di liquido.

Tale valutazione dovrebbe permettere la scelta del modello statistico che meglio descrive la realtà fisica.

A questo scopo la scelta dei modelli dovrebbe essere ristretta ai due seguenti casi:

- Modello C

ovvero si considerano gli errori soltanto nella misura dei livelli. Tale modello può essere usato sia nel caso in cui si possono trascurare gli errori compiuti nella misura dei volumi sia nel caso che gli errori sulle due variabili siano confrontabili.

- Modello D (modello cumulativo)

gli errori sulla misura del livello sono trascurabili e l'errore sul volume X_i è una funzione degli errori associati agli incrementi precedenti.

Per quanto riguarda il modello A dell'analisi dei dati del Ritcex sembra non esista nessun vantaggio nella sua utilizzazione, nessun tipo di analisi che possa verificare la consistenza di differenti rette ottenute con questo modello.

Per quanto riguarda la procedura di calibrazione, vale la pena di puntualizzare che i diversi run devono essere eseguiti con le stesse modalità onde evitare che eventuali differenze possono influen-

zare la "overall line" come è avvenuto per il sistema Ruska durante l'esperienza Ritcex.

Rimane infine da verificare se l'impossibilità di costruire un "overall line" dai dati del Ruska sia effettivamente dovuta alle differenze nei 4 Run di calibrazione o se, l'alta precisione del sistema, che, teniamo a ricordare, è soltanto responsabile della trasduzione del segnale e non della misura in se, non riveli sorgenti di inaccuratezza dovuta al sistema pneumatico di misura (dip-tube).

RIFERIMENTI

- [1]- D.S. Riggs, J.A. Guarnieri, S. Addelmann
"Fitting straight lines when both variables
are subject to error"
Life Sciences Vol. 22 P. 1305
- [2]- D. York
"Least Squares fitting of a straight line"
Canadian Journal of Phys cs, Vol. 44 (1966)
- [3]- J. L. Jaech
"Statistical methods in Nuclear material control"
TID - 26298 (1973)
- [4]- C. G. Hough
"Accuracy of Volume measurement in a large
process vessel"
HW - 62177 (1959)
- [5]- A. Goldman, G. L. Anderson, J. Weber
"Cumulative error models for the tank calibration
problem"
LA - UR - 83 - 2035 (1983)
- [6]- N. R. Draper, H. Smith
"Applied Regression Analysis"
2nd. ed. John Wiley & Sons (1981)
- [7]- K. A. Brownlee
"Statistical theory and Methodology in Science
and Engineering"
2nd. ed. John Wiley & Sons (1965)
- [8]- "RITCEX - Final Report"
in press.

[9] M. De Carolis, G. Bardone

"TDR Methods and Apparatus for Measurement of levels and Physical Characteristics of Moving or Static Fluids in Pipe-Lines or tanks"
CNEN Rep. RT/CHI (1974)7

[10]-M. De Carolis, G. Bardone

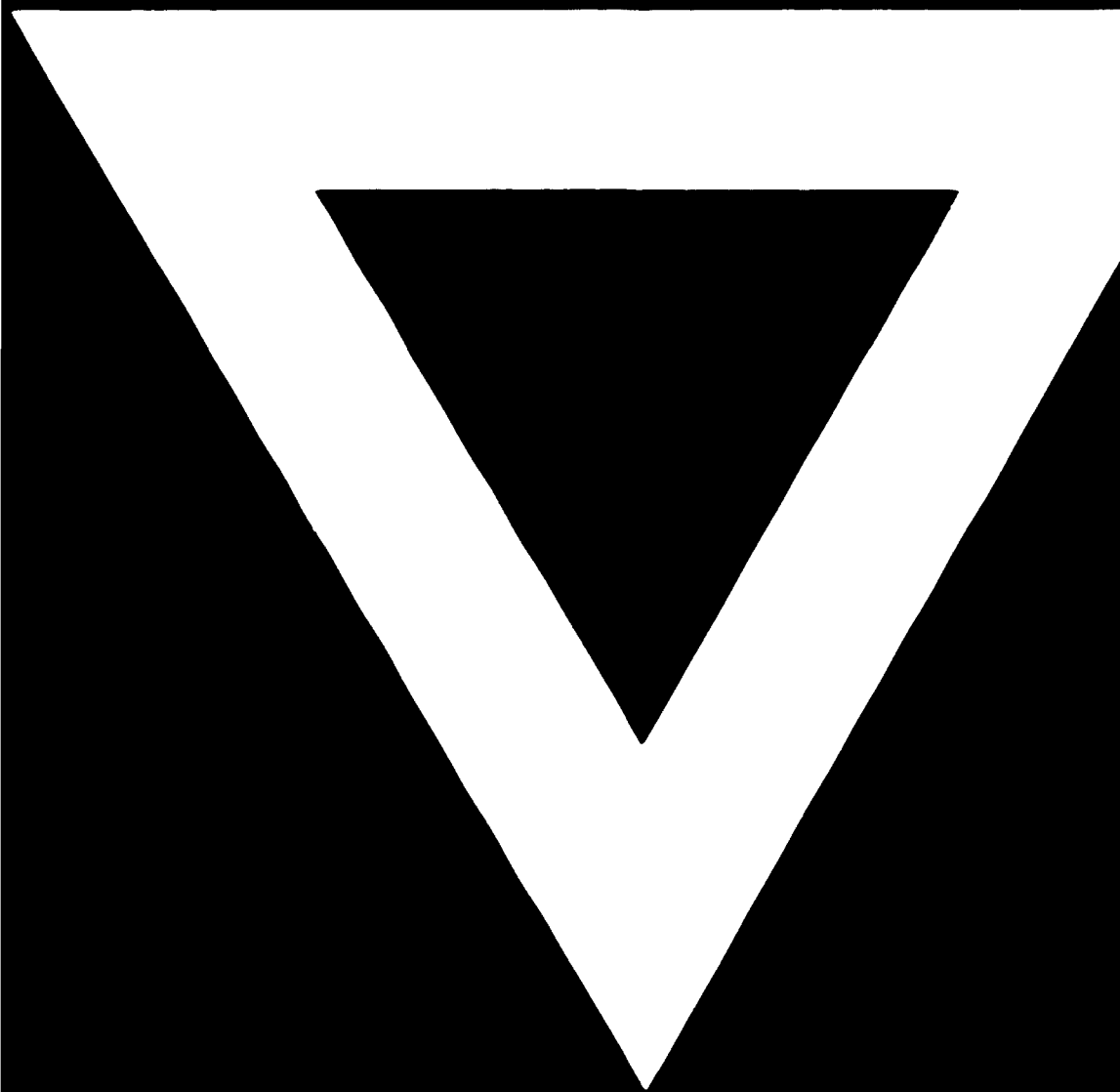
"Methods and apparatus for Measuring the concentration of Elements in solution and the thickness of solid Samples"
CNEN Patent N° 53367 A/72

[11]- F. Franssen, W. Frenzel

"Input tank Calibration at the Eurochemic Plant"
ETR - 236 (1969)

G

T 29



88 02 15

AD 88 11

CAI 800