

## CALCOLO DEL VOLUME DI GAS NECESSARIO PER IL LAVAGGIO DEI FORNI AD ATMOSFERA CONTROLLATA

**Elio Gianotti. Trattamenti Termici Ferioli & Gianotti. Rivoli To**

Una domanda, peraltro molto semplice, che può però mettere in crisi un trattamentista durante l'elaborazione di un ciclo termico in un forno che deve avere un'atmosfera protettiva per i pezzi da trattare, riguarda il numero di ricambi di atmosfera di lavaggio che si devono fare per avere l'atmosfera sufficientemente pura.

In altre occasioni è indispensabile invece sapere quanti lavaggi sono necessari per purgare un crogiolo dall'aria iniziale e rendere sicura l'introduzione di un gas che può essere esplosivo come ad esempio l'idrogeno.

Esistono tabelle che riportano i limiti di infiammabilità ed i rischi di esplosione di alcuni gas e miscele comunemente usati nei trattamenti termici, per cui conoscere esattamente i numeri di ricambi necessari per ottenere concentrazioni appena al disotto di tali limiti può costituire un motivo di risparmio nella conduzione degli impianti.

Nella tabella 1) sono riportati i limiti di infiammabilità di alcuni gas alla pressione atmosferica e nel diagramma ternario 2) sono indicati i limiti di esplosività dell'idrogeno in una miscela di O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>.

GAS	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	XX
CH <sub>4</sub>	/...	.../										645°C
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	/.../											510°C
CO		/.....	.....	.....	.....	.....	.....	.../				410°C
H <sub>2</sub>	/.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.../				530°C
ENDO GAS	/.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.../				

Tab.1 Limiti di infiammabilità in aria alla pressione atmosferica dei gas indicati e nella colonna XX relative temperature d'accensione.

Una regola empirica che si è affermata negli anni ed è ormai tacitamente accettata a livello industriale, dice che sono necessari cinque cambi di volume per un forno a camera o per un forno a storta, di un gas (o di una miscela di gas) con un altro gas (o miscela di altri gas) per avere un lavaggio sufficiente.

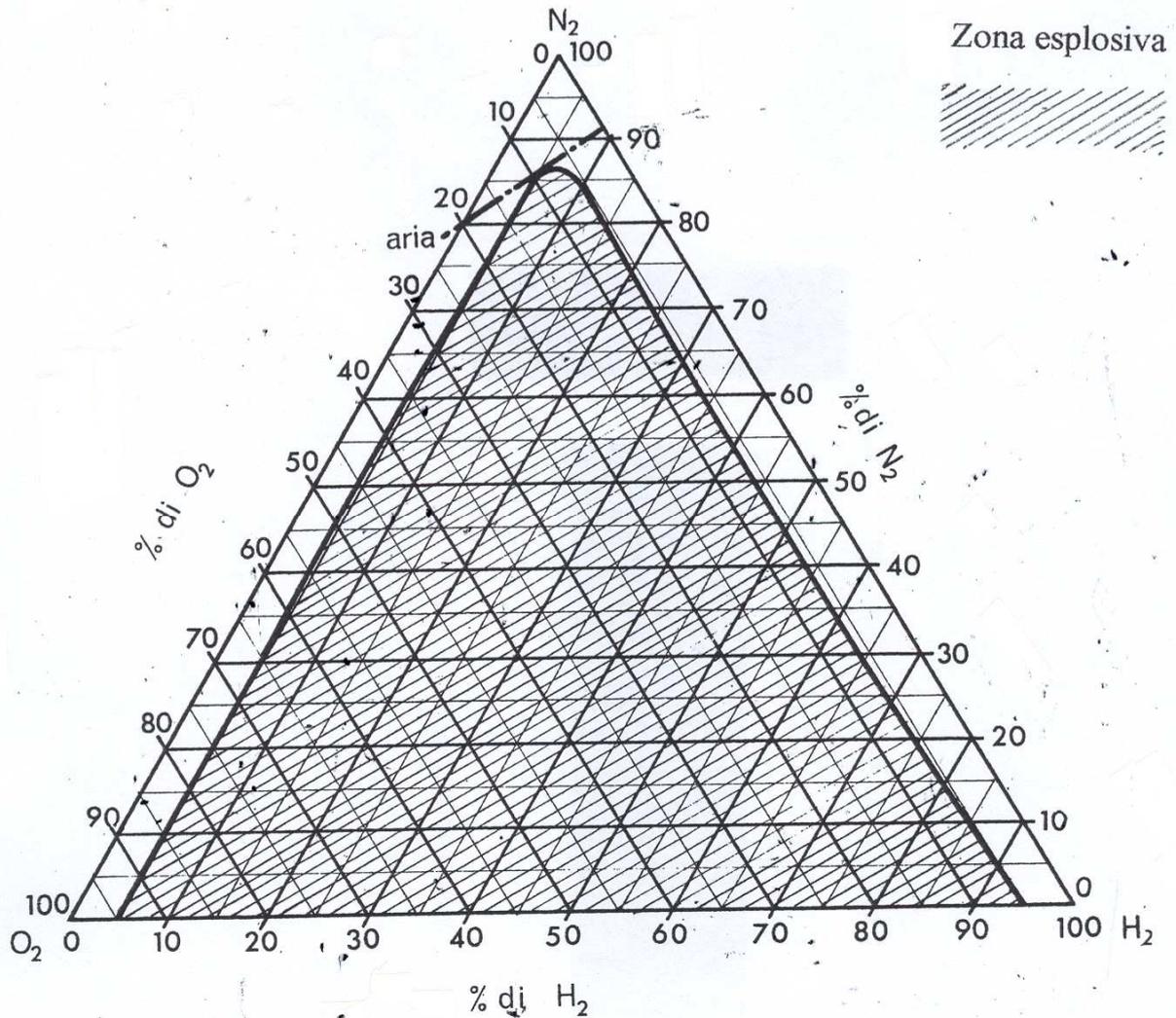
Normalmente il gas di lavaggio è azoto, che serve ad eliminare l'ossigeno dell'aria contenuta nel forno prima di introdurre un gas combustibile, o viceversa, per eliminare un gas combustibile prima di fermare un forno.

Un esempio pratico può essere la brasatura con rame di elementi di acciaio inossidabile in un forno a campana con storta di acciaio refrattario, che viene fatta in ambiente di idrogeno secco. All'inizio del ciclo bisogna lavare la storta contenente i pezzi da brasare con un flusso di azoto fino all'eliminazione dell'aria, poi cominciare ad introdurre idrogeno. Solo a questo punto si può abbassare la campana del forno ed iniziare il riscaldamento. È necessario quindi per evitare un'esplosione, essere sicuri che non esista più l'ossigeno iniziale contenuto nell'aria che, a contatto con l'idrogeno introdotto, può sotto l'effetto della temperatura iniziare una combustione con conseguente deflagrazione.

È possibile oggi rendere sicura ed automatica questa operazione con l'uso di un analizzatore di ossigeno e, volendo, accelerarla con l'uso di una pompa a vuoto.

Esiste una norma americana, la "NFPA 86C, Standard for Industrial Furnaces Using a Special Processing Atmosphere" che definisce lavaggio o spurgo di un forno l'operazione di sostituzione di un'atmosfera infiammabile o contenente un'alta quantità di ossigeno, con un'atmosfera inerte non

inflammabile che contenga meno del 50% del livello minimo del gas infiammabile che può ancora provocare esplosione (<50% LEL: Lower Explosion Limit) oppure meno dell' 1% di ossigeno. La procedura normalmente usata per controllare che l'atmosfera sia stata sufficientemente lavata, prevede un prelievo di gas dall'interno della storta che viene analizzato con un analizzatore di ossigeno ed il lavaggio continua fino a quando almeno due letture dell'analizzatore confermano che l'ossigeno è al disotto dell'1%. L'alternativa a questo metodo è collegare la storta a tenuta con una pompa del vuoto ed estrarre l'aria fino ad una pressione parziale di circa 1 mbar, poi riempire la storta con gas inerte. Con questo metodo la quantità di O<sub>2</sub> residuo nell'atmosfera così trattata sarà di circa 21/1000=0.021%.



Diagr.2 Diagramma ternario sui limiti di esplosività dell'H<sub>2</sub> in una miscela di O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>.

Purtroppo però esistono ancora molti impianti vecchi che non sono dotati di analizzatore ad O<sub>2</sub> o pompe a vuoto ed in questo caso bisogna usare la vecchia regola dei cinque ricambi di atmosfera, pur se permane il dubbio che siano sufficienti per la sicurezza o eccessivi per l'economia del processo.

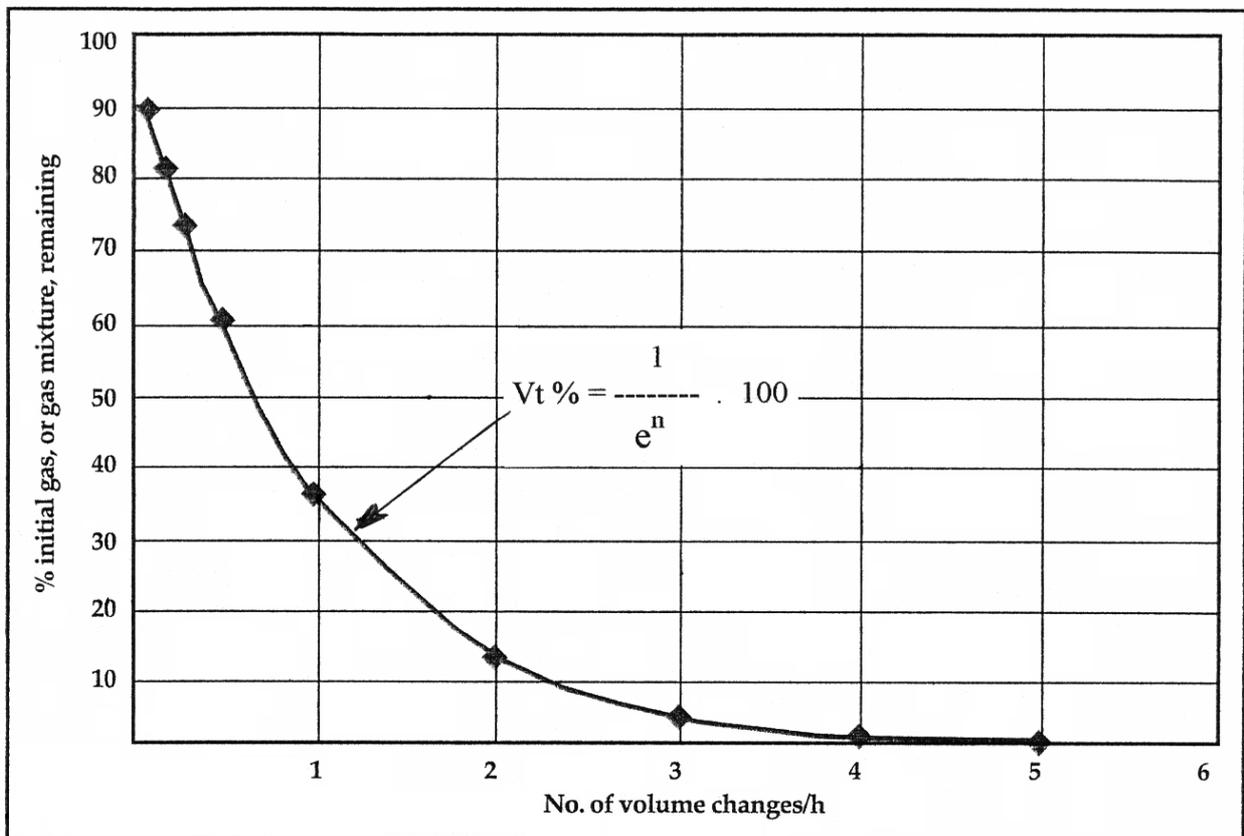
Per avere una tranquillità in più si può in questo caso ricorrere alla matematica ricercando analiticamente la relazione che lega il numero di ricambi del gas di lavaggio con la concentrazione finale del gas iniziale. Si dovrà in questi casi partire da una serie di dati sperimentali per ricavare

una curva su un diagramma cartesiano, che riporti sulle ordinate la concentrazione finale del gas da eliminare e sull'asse delle ascisse il numero dei ricambi.

La più importante delle condizioni sperimentali da rispettare al fine di garantire l'attendibilità e la ripetibilità dei dati, è la omogeneità della miscela del gas di lavaggio con quello iniziale. Per ottenere questo è necessario avere una buona agitazione dell'atmosfera all'interno della storta.

Non sempre i forni sono dotati di ventilatori all'interno delle camere da lavare e in questo caso la tendenza del gas di lavaggio è di stratificare verso l'alto se è più leggero del gas da eliminare e viceversa. Il problema è facilmente risolvibile facendo entrare dall'alto il gas di lavaggio se è più leggero e facendo uscire dal basso il gas da spurgare. Viceversa nel caso opposto. Con questo artificio si potrà continuare ad usare la relazione matematica consapevoli che i calcoli saranno approssimati per eccesso di sicurezza.

Il diagramma 3) rappresenta la curva ricavata sperimentalmente che lega il numero di ricambi del gas di lavaggio con la concentrazione finale del gas da eliminare. La curva è chiaramente quella di una equazione esponenziale che corrisponde con buona approssimazione all'equazione  $y = e^{-x}$



Diagr. 3 Curva della diminuzione della concentrazione del gas iniziale dopo il numero di lavaggi indicati in ascissa.

Ponendo i simboli dei parametri che entrano in gioco come segue:

$V_t$  = volume in  $m^3$  del gas iniziale che ancora rimane nella camera del forno dopo il tempo  $t$  di lavaggio in  $h$

$V_{t_0}$  = volume della camera del forno da lavare in  $m^3$

$F_x$  = flusso del gas di lavaggio in  $m^3/h$

$t$  = tempo di lavaggio in h

$$1) n = \frac{F_x \cdot t}{V_{t_0}} = \text{numero dei ricambi del gas di lavaggio}$$

L'equazione esponenziale si potrà ora esprimere con i simboli sopra elencati.

$$2) V_t = V_{t_0} \cdot e^{-n}$$

La variazione di volume del gas iniziale in funzione del tempo, o meglio, la velocità della sua diminuzione, sarà dato dalla equazione differenziale

$$3) \frac{dV_t}{dt}, \text{ sostituendo } V_t \text{ con la 2) si ottiene}$$

$$4) V_{t_0} \cdot \frac{de^{-n}}{dt} \text{ la cui derivata è } Dn_0(V_{t_0} \cdot e^{-n}) = V_{t_0} \cdot e^{-n_0}$$

ricavando l'integrale si otterrà la relazione matematica che lega il numero dei ricambi di gas  $n$  con la concentrazione finale del gas da eliminare.

$$5) V_t = \int_0^t e^{-n} dt$$

oppure sostituendo la  $n$  con la 1)

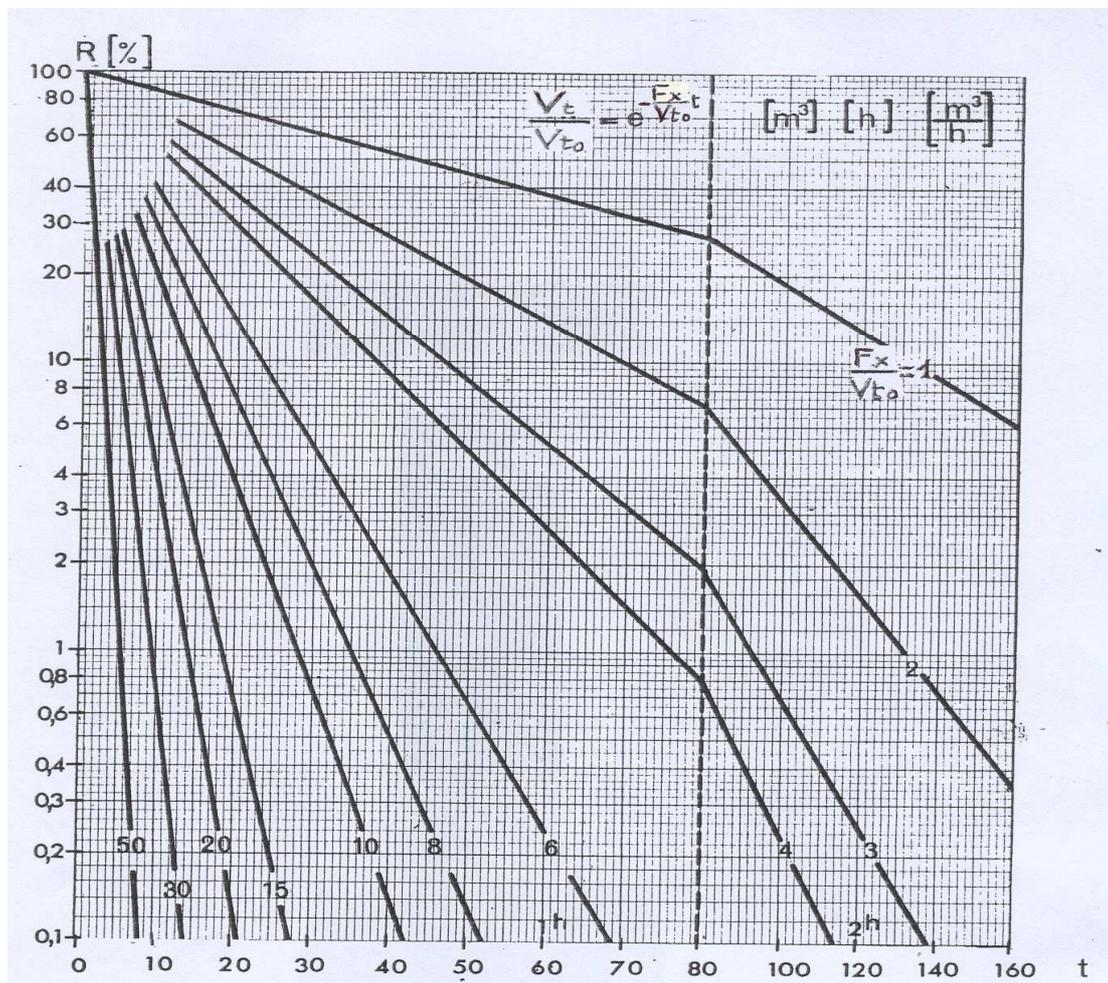
$$V_t = \int_0^t \frac{1}{e^{\left(\frac{F_x \cdot t}{V_{t_0}}\right)}} dt$$

Risolviendo l'integrale, ponendo uguale a 1 mc  $V_{t_0}$  si ottiene la tabella 4) che dà i  $m^3$  di gas residuo dopo  $n$  lavaggi. Moltiplicando per 100 i valori si ottengono le relative concentrazioni % del gas iniziale al variare del tempo e del n° di ricambi per ora del gas di lavaggio.

Numero di lavaggi	Volume di gas residuo su un m <sup>3</sup> di gas iniziale	% di gas iniziale rimasto dopo il numero di lavaggi indicato
0.1	0.9048	90.48
0.2	0.8187	81.87
0.3	0.7408	74.08
0.5	0.6065	60.65
1.0	0.3679	36.79
2.0	0.1353	13.53
3.0	0.0498	4.98
4.0	0.0183	1.83
5.0	0.0067	0.67

Tab.4 Volume di gas residuo dopo il numero di lavaggi indicato.

Il diagramma 5 riporta su scala logaritmica la variazione residua del gas iniziale dopo un tempo t di lavaggio con il numero di ricambi riportato sulle curve relative.



Diagr.5 Diagramma logaritmico delle concentrazioni residue del gas iniziale al tempo t, dopo lavaggio con il numero di ricambi ora indicati nelle varie curve.