

290-9-964
CENTRO NAZIONALE STUDI VETRARI - VENEZIA

LEZIONI di TECNICA VETRARIA



Dott. ^{Dono} M. CINI
MATERIE PRIME

Ing. ^{Luigi} F. FRANCESCHINI
FORNI VETRARI

Dott. ^{Januario} G. ROMAGNOLI
CONTROLLO DELLA TEMPERATURA

PREFAZIONE
del
Ing. Prof. LUIGI ZECCHIN

VENEZIA 1949

Tutti i diritti riservati a norma di legge

Stamperia Editrice già Zanetti - Venezia

INDICE

Prefazione VII

PARTE PRIMA

MATERIE PRIME USATE NELL'INDUSTRIA VETRARIA

Cap. Primo	— <i>I vetrificanti</i>	pag.	3
Cap. Secondo	— <i>I fondenti</i>	”	10
Cap. Terzo	— <i>Gli stabilizzanti</i>	”	16
Cap. Quarto	— <i>Le sostanze accessorie</i>	”	23

PARTE SECONDA

I FORNI VETRARI

Cap. Primo	— <i>Cenni di tecnologia del calore</i>	pag.	35
Cap. Secondo	— <i>Riscaldamento a gas - Gassogeni</i>	”	44
Cap. Terzo	— <i>Riscaldamento con olii combustibili e catrami</i>	”	64
Cap. Quarto	— <i>Materiali refrattari</i>	”	68
Cap. Quinto	— <i>Forni di fusione</i>	”	83
Cap. Sesto	— <i>Cenni sulla calcolazione dei forni di fusione</i>	”	120

PARTE TERZA

APPARECCHI E STRUMENTI

PER IL CONTROLLO DELLE TEMPERATURE

Cap. Primo	— <i>Termometri a dilatazione</i>	pag.	131
Cap. Secondo	— <i>Termometri elettrici a resistenza</i>	”	135

Cap. Terzo	— Termometri a coppie termoelettriche	pag. 140
Cap. Quarto	— Pirometri ottici	„ 146
Cap. Quinto	— Apparecchi indicatori e registratori	„ 153
Cap. Sesto	— Pirometri speciali	„ 156
Cap. Settimo	— Termoregolatori	„ 160

P R E F A Z I O N E

Nel 1612 usciva in Firenze, in edizione giuntina, « *L'arte vetraria distinta in libri sette, di Antonio Neri, fiorentino, ne' quali si scoprono effetti meravigliosi et insegnano segreti bellissimi del vetro nel fuoco et altre cose curiose* ».

Il titolo, alla moda di allora, era magniloquente, ma il libro era veramente prezioso ed i vetrai del tempo mostrarono di gradire i meravigliosi effetti ed i bellissimi segreti ch'esso prometteva. Dopo qualche decennio dalla sua prima edizione cominciarono da noi le stampe, all'estero le traduzioni e le annotazioni: l'opera di Prete Neri andò per il mondo in italiano, in inglese, in latino, in tedesco, in francese, e fece testo per oltre un secolo.

Con essa si iniziava la letteratura tecnica vetraria.

Che questa letteratura abbia avuto origine da noi, in Italia, donde già due volte, con Roma e con Venezia, l'arte vetraria s'era irradiata nel mondo, non può meravigliare. Può meravigliare invece il fatto che, anche adesso, a trecento e tanti anni di distanza, l'unico apporto cospicuo a questa letteratura che l'Italia possa vantare è proprio il libro di Neri.

A dire il vero, fino al 1800, le pubblicazioni tecniche vetrarie non furono molte; alcune di esse, però, meritano ancora di essere ricordate.

Lasciamo pur da parte quelle del seicento che, dopo l'opera di Neri e dei suoi chiosatori, si riducono praticamente alla

« *Ars vitraria experimentalis* » di Giovanni Kunckel (Amsterdam, 1679) e alla « *Art de la verrerie* » di Haudicquer de Blancourt (Paris, 1697); ma il settecento, specialmente per opera dei francesi, diede un buon contributo alla letteratura vetraria. Anche senza tener conto delle note scientifiche di argomento vetrario, alcune delle quali tutt'altro che trascurabili (come quelle di De Reaumur, Geoffroy, Du Fay, Pott, Achard, Marggraf), tramandateci, attraverso i loro Atti, dall'Accademia di Parigi e dall'Accademia di Berlino, non può certamente essere ignorata l'opera di Bosc d'Antic. Tecnico di indiscusso valore, direttore del più forte organismo vetrario dei suoi tempi, egli seppe esaminare con fine senso d'indagine scientifica il problema tecnico della produzione vetraria: le sue note, pubblicate dalla « *Académie Royale des Sciences* » di Parigi, si conclusero con la famosa « *Mémoire sur la Verrerie* » per la quale Bosc d'Antic vinse nel 1760 il premio straordinario promesso dalla stessa Accademia « a chi fosse meglio riuscito a determinare i mezzi più adatti a portare la perfezione e l'economia nell'arte vetraria ».

E' devè essere ricordata pure la sessantina di pagine in folio preparate da De Jaucourt, che l'« *Encyclopedie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* » pubblicò, intorno al 1770, alla voce « *Verre* », assieme ad una nutrita serie di tavole incise in rame che costituisce tuttora, fatte le dovute proporzioni, la più bella ed organica rappresentazione iconografica dell'industria vetraria.

Non voglio fare a meno, infine, di accennare all'« *Essai sur l'art de la verrerie* » di G. Loysel (Paris, 1800). Non è grande opera, forse, dal punto di vista tecnico, ma mi par notevole il fatto ch'essa raccolga con ordine ed offra all'applicazione, tutti i dati che la scienza poteva allora mettere a disposizione dei vetrai: l'opera, direi, è una specie di invito a quella collaborazione fra scienza e tecnica, intima e sistematica, che sola molto più tardi doveva essere realizzata.

Per far rilevare l'assenza di un notevole contributo italiano (dopo il libro di Neri, s'intende) alla letteratura vetraria, ho creduto di citare alcune fra le pubblicazioni sul vetro apparse fino al 1800. Il numero di queste pubblicazioni, piuttosto ridotto,

mi dava questa possibilità di elencazione; che non è concessa invece dalla copiosa bibliografia tecnica vetraria dell'ottocento e, non parliamone, del novecento.

Appunto nell'ottocento, nulla o quasi nulla di italiano fra questa, comè s'è detto, copiosa bibliografia. Copiosa e tecnicamente importante; basterà ricordarne un solo titolo: « *Guide du Verrier* » di Giorgio Bontemps (Paris, 1868), fonte di notizie e di acute osservazioni, tutt'altro che disprezzabile anche per il tecnologo moderno.

Non desidero però di lasciar passare sotto silenzio una buona intenzione italiana: nel 1861, Bartolomeo Cecchetti pubblicava a Venezia un « *Programma di un'opera generale sull'arte vetraria* ». Innamorato dell'arte muranese, il giovane Cecchetti (che più tardi, illustre direttore dell'Archivio di Stato veneziano, doveva por mano ad una non più superata raccolta di documenti preziosi per la storia di quest'arte) pensava ad una opera, storica e tecnica nello stesso tempo, su ciò che Venezia aveva fatto e poteva fare nel campo della sua industria più caratteristica. Gli mancarono gli aiuti e, forse, per la parte tecnica, gli mancò la preparazione: non ne fece niente.

Il novecento ha visto la bibliografia tecnica vetraria straniera arricchirsi giorno per giorno di nuovi titoli: nell'ultimo cinquantennio, tedeschi, americani, inglesi, francesi, belgi (per limitarsi alle opere scritte nelle lingue più alla mano), hanno fornito al vetraio moderno pubblicazioni tecniche dense di dati e di osservazioni di notevole interesse.

Qualche cosa hanno fatto anche gli italiani: oneste compilazioni di più o meno largo respiro che, se non costituivano un contributo originale allo studio dei problemi tecnici, pur tuttavia presentavano una indiscutibile utilità per i nostri vetrai.

Ho detto presentavano perchè anche queste poche nostre pubblicazioni sono, da tempo, esaurite.

E' proprio questa attuale carestia di testi italiani che ha indotto il Centro Nazionale Studi Vetrari di Venezia all'edizione di questo volumetto. Che non vuole proporsi come manuale del

tecnica vetraio ma vuol presentarsi, semplicemente, per quello ch'esso è in realtà: la raccolta delle lezioni svolte da alcuni componenti del Comitato Direttivo del Centro, in un corso per tecnici del vetro tenuto in Venezia nei primi mesi del 1948.

Non le raccoglie tutte queste lezioni: mancano quelle tenute dal dott. Mario Samassa sull'« Industria vetraria pesante » e quella tenuta dal sottoscritto, come prolusione, col titolo « Cinquanta secoli di tecnica vetraria ». Inserirle nel corso esse avevano un loro significato e, le prime, una loro importanza: meno si sarebbero inquadrate, forse, nella presente pubblicazione.

Che, pur rivolta a limitati aspetti dello scibile vetrario ha, almeno così mi sembra, una sua fisionomia. E, per il valore stesso dei suoi compilatori, un suo valore.

LUIGI ZECCHIN

DARTE PRIMA

**MATERIE PRIME USATE
NELL'INDUSTRIA VETRARIA**

(dott. Marco Cini)

CAPITOLO PRIMO

I VETRIFICANTI

A seconda della loro funzione, le materie prime usate nella fabbricazione dei vetri si distinguono in quattro gruppi: *vetrificanti, fondenti, stabilizzanti, sostanze accessorie*.

L'ultimo gruppo può a sua volta suddividersi in sottogruppi (affinanti, decoloranti, opacizzanti, coloranti).

I *vetrificanti* sono quelle sostanze che godono della proprietà di venire trasformate, per la semplice azione del calore, in vetri. Esse conservano questa proprietà anche se vi si aggiungono, in determinate proporzioni, altre sostanze con lo scopo principale di abbassarne la temperatura di fusione e di ottenere particolari caratteristiche di lavorabilità ed uso. Sono vetrificanti: la *silice*, l'*anidride boriga*, l'*anidride fosforica*.

La SILICE (SiO_2 - peso molecolare: p.m. 60) è il costituente fondamentale dei vetri, nei quali è presente in quantità variabili, comunemente, dal 50 all'80%. Pura, fonde a circa 1710° , per cui il vetro di sola silice ed i vetri molto silicei sono difficili da fondere, da affinare e da lavorare. Fortunatamente per il vetraio, l'aggiunta di altre sostanze, dette appunto *fondenti*, ne abbassa notevolmente il punto di fusione. Le reazioni che avvengono, ancora allo stato solido, tra questi componenti, permettono al vetro di formarsi a temperature relativamente basse. La percentuale di silice nei vetri comuni, pur giocando entro limiti assai estesi, non può scendere sotto un certo valore, altrimenti si corre il rischio della *crystallizzazione*, o, come si dice, della *devetrificazione* (*).

(*) Dicesi *devetrificazione* la cristallizzazione spontanea della silice (*tridimite, cristobalite*) o del silicato di calcio (*wollastonite*): essa è dovuta a cause complesse, inerenti soprattutto all'andamento termico della fusione e ad un inadatto rapporto tra silice, calce ed alcali.

La silice è assai diffusa in natura come costituente fondamentale di parecchie rocce: da queste traggono origine in diversa guisa le *quarziti* e le *sabbie* che vengono utilizzate come materie prime nella fabbricazione del vetro. Esse contengono in proporzioni varie delle impurità come allumina, calce, alcali, ossido ferrico, sostanze organiche, ecc. Se queste sostanze sono presenti in piccola percentuale non sono nocive, ma se il loro tenore comincia a diventare rilevante bisogna tenerne conto nel calcolo della composizione della miscela vetrificabile (la cosiddetta «partita»). Di qui l'opportunità di conoscere, grazie all'analisi chimica, l'esatta composizione della sabbia che si deve usare. In modo particolare è necessario conoscere con precisione la percentuale di ferro, espressa in ossido ferrico Fe_2O_3 , per decidere se una data sabbia si può usare in una determinata produzione vetraria o no.

In generale, il tenore di ossido ferrico ammissibile per le sabbie usate in vetreria, è il seguente:

— per il vetro d'ottica	0,015%
— per la cristalleria fine	0,02 "
— per la vetreria artistica	0,03 "
— per i cristalli da specchi	0,04 "
— per la flaconeria comune	0,10 "
— per le lastre da finestra	0,15-0,20%
— per le bottiglie bianche	0,25 "
— per le bottiglie scure	0,50 " e più.

La composizione delle sabbie silicee (*) (non si deve confondere la sabbia quarzosa con la quarzite: *sedimentaria* la prima, *eruttiva* la seconda) varia a seconda della natura del bacino di erosione da cui provengono. La tabella seguente riporta la composizione percentuale di alcune fra le sabbie più usate nell'industria vetraria nostrana:

(*) In relazione alla natura chimica del composto che in esse predomina, le sabbie possono essere *silicee*, *calcareae*, ecc. Le sabbie usate come materie prime nell'industria vetraria sono appunto silicee. Sabbia calcarea è invece quella del Lido di Venezia, che ha la seguente composizione:

Silice	15 %
Allumina	0,72%
Ossido ferrico	2,3 %
Carbonato di calcio	54,25%
Carbonato di magnesio	26,7 %
Cloruro sodico	tracce

	A	B	C	D	E	F	G
Silice	97,20	99,74	99,61	93,12	98,40	96,05	99,75
Ossido ferrico	0,05	0,006	0,019	0,07	0,13	0,05	0,013
Allumina	0,21	0,018	0,11	0,53	0,56	3,38	0,11
Ossido di Calcio	1,22	0,07	0,05	2,34	0,42	tr.	—
Oss. di magnesio	—	—	—	0,23	—	—	—
Anidride titanica	—	—	tr.	—	—	tr.	0,014
Alcali	—	0,07	tr.	—	—	tr.	—
Perdite d calc.	1,18	0,10	0,20	2,08	0,36	0,35	0,12

dove:

- A) — Sabbia d'Istria, per vetrerie da lastre (analisi Samassa);
 B) — Sabbia d'Istria (S. Vincenti), extra bianca (analisi C. S.V. (*) 1936);
 C) — Sabbia nazionale (La Mineraria), grezza (analisi C. S.V. 1936);
 D) — Sabbia di Trapani, per vetreria da lastre (analisi Samassa);
 E) — Sabbia del Vicentino, per vetreria da lastre (analisi Samassa);
 F) — Sabbia di Tenda (analisi C.S.V. 1940);
 G) — Sabbia di Nemours (analisi riportata da B. Long (**).

Le quarziti sono rocce primarie costituite essenzialmente da quarzo. Per venire utilizzate nell'industria vetraria devono subire una macinazione che deve essere fatta con mezzi appropriati per non aggiungere ulteriori quantità di ferro (***)).

Dopo la cavatura della sabbia o la macinazione delle quarziti, si passa al *lazaggio* che ha lo scopo di eliminare gli elementi microcristallini, le sostanze argillose e le orga-

(*) Qui e in seguito, con la sigla C.S.V. si indica il Centro Nazionale Studi Vetrari: questa analisi fu appunto eseguita nel Laboratorio del Centro, nel 1936.

(**) Cfr. BERNARD LONG — Les propriétés physiques et la fusion du verre; Paris, 1933, pag. 221.

(***) Si riporta qui il risultato di tre analisi eseguite su quarziti nazionali: la prima si riferisce alla quarzite della Valsugana (analisi C.S.V. 1938), la seconda alla quarzite di Davoli (analisi C.S.V. 1947), la terza si riferisce pure alla quarzite di Davoli, dopo macinazione (analisi C.S.V. 1947):

Silice	99,1 %	98,6 %	98,0 %
Ossido ferrico	0,007 %	0,008 %	0,018 %
Allumina	0,173 %	1,05 %	1,54 %
Ossido di calcio	0,07 %	tr.	tr.
Alcali	0,07 %	tr.	tr.
Perdite di calcinazione	0,57 %	0,20 %	0,30 %

niche: si diminuisce così anche il tenore di ferro, eliminato con le parti più fini che lo contengono in maggior proporzione. Deferrizzazioni di sabbie sono basate su metodi chimici (lavaggio con acido cloridrico, per esempio) od elettromagnetici, sempre costosi.

La *granitura* della sabbia ha grande influenza sulla fusione e formazione del vetro. I grani troppo grossi reagiscono difficilmente con i fondenti dando origine a formazione di infusi; quelli troppo fini, oltre che causare alla miscela una eterogeneità dannosa, presentano l'inconveniente di trattenere e quindi portare in fusione notevoli impurità. Una buona sabbia per fusione in crogiolo deve essere costituita da grani del diametro compreso tra due decimi e un decimo di millimetro, mentre per fusioni in bacino vengono preferite graniture maggiori, comprese fra tre e cinque decimi: ciò perchè i grani molto minuti possono essere trasportati via dalle correnti del forno.

Ecco i risultati dell'analisi granulometrica di due sabbie: la *Fontainebleau* (Francia) e la *Campine* (Belgio). Quest'ultima è particolarmente adatta alle fusioni in bacino.

	<i>Fontainebleau</i>	<i>Campine</i>
— Sullo staccio da 100 maglie per cmq si ha un residuo del	0%	1%
— Sullo staccio da 324 maglie	2,2%	20,5%
— Sullo staccio da 625 maglie	5,5%	56,5%
— Sullo staccio da 1089 maglie	10%	81%
— Sullo staccio da 2200 maglie	94%	97,5%
— Sullo staccio da 3300 maglie	100%	100%

L'umidità di una sabbia non deve superare il 6% (*), per non dar luogo a formazione di noduli (*punte*). Perciò, e anche per facilitarne la stacciatura, la sabbia viene asciugata in forni speciali (*calchere*) prima di essere adoperata. Essa non deve essere però incorporata alla miscela mentre è ancora calda, ma deve essere lasciata raffreddare in modo da farle assumere spontaneamente quel 3-4% di umidità che, nella miscelatura della partita, serve a sciogliere parzialmente la soda, determinando attorno ai granuli di sabbia la formazione di una specie di pellicola alcalina che favorisce la fusione.

(*) Nella fusione in grandi bacini che alimentano le macchine continue per la tiratura delle lastre, si possono usare sabbie che contengono fino al 18% di umidità, ciò che nel vetro artistico e neutro non potrebbe essere assolutamente tollerato.

L'ANIDRIDE BORICA (B_2O_3 - p. m. 70) è, come la silice, un componente acido del vetro, e la sostituisce in tutto (solo eccezionalmente) o in parte.

Si usa principalmente nei vetri d'ottica e nei vetri neutri per l'influenza notevole che esercita sull'abbassamento del coefficiente di dilatazione e per l'incremento della resistenza fisica. Serve pure a migliorare certe qualità di vetri comuni: infatti, per la facilità con cui scioglie gli ossidi coloranti, favorisce la colorazione del vetro, conferendo una notevole brillantezza.

La pratica ha dimostrato che non bisogna eccedere nella quantità di anidride borica: tenori superiori al 10-15% rispetto al peso totale del vetro, peggiora la quantità di questo anzichè migliorarla, e può renderlo perfino opalescente. Anche le modalità di lavorazione dei vetri ricchi di anidride borica sono diverse da quelle ordinarie, perchè essa innalza l'intervallo critico della temperatura di raffreddamento.

Le materie prime usate per incorporare l'anidride borica nei vetri sono l'*acido borico* e il *borace*.

L'ACIDO BORICO (H_3BO_3 - p. m. 62 = Contiene il 56,4% di B_2O_3 e il 43,6% di acqua).

Se ne trova in commercio di due provenienze: quello inglese e quello italiano dei soffioni boraciferi di Larderello (Toscana). Quest'ultimo si distingue in:

acido borico *greggio*, titolo 82-95%;
 acido borico *raffinato*, titolo 99,5%;
 acido borico *purissimo*, titolo 100%;

In vetreria si usano i primi due; quello raffinato si presenta in cristalli, granuli, pagliette o scaglie e polvere. Da scartare queste due ultime varietà per gli inconvenienti di ordine meccanico e fisico cui danno origine. Impurità del greggio sono: sali di calcio, piombo, magnesio, ferro, cloruri e solfato ammonico. Può venire sofisticato con carbonato sodico, cloruro sodico, e solfato sodico, sostanze tutte facilmente identificabili con l'analisi chimica.

Il *fattore di rendimento* dell'acido borico è uguale a 0,504: ciò significa che, contenendo l'acido borico il 56,4% di anidride borica, per introdurre in un vetro parti 56,4 di anidride borica bisogna mettere nella miscela parti 100 di acido borico.

L'acido borico perde la maggior parte della sua acqua di composizione sotto i 200°, ma, secondo A. Cousen e W.

Turner (*). neanche la temperatura di 900° è sufficiente a levarne le ultime tracce di umidità: bisogna scaldare fino a 1400° per ottenere l'anidride borica pura.

Il BORACE CRISTALLIZZATO (o tetraborato sodico $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - p. m. 382. Contiene il 36,6% di B_2O_3 , il 16,2% di Na_2O , il 47,2% di H_2O). Può essere naturale o artificiale. Quello nazionale è ottenuto per neutralizzazione dell'acido borico con soda. Il borace raffinato del commercio è appunto quello cristallizzato con 10 molecole di acqua.

Volendo determinare la quantità di borace che corrisponde all'acido borico, per l'introduzione della stessa quantità di anidride borica, si dovrà fare il rapporto fra il fattore di rendimento dell'acido borico (0,564) e quello del borace (0,366):

$$\frac{0,564}{0,366} = 1,54 \text{ circa.}$$

Ciò vuol dire che per sostituire un Kg. di acido borico bisogna usare Kg. 1,54 di borace.

Ma introducendo nei vetri, col borace, anche dell'alcali (ossido sodico Na_2O), bisogna contemporaneamente diminuire la quantità di soda (carbonato sodico Na_2CO_3 - p. m. 106) della miscela vetrificabile. Infatti il carbonato sodico contiene il 58,5% di Na_2O , vale a dire il suo fattore di rendimento in ossido sodico è 0,585. Il rapporto fra il fattore di rendimento del borace in ossido sodico e quello della soda:

$$\frac{0,162}{0,585} = 0,278$$

dà la quantità di soda che bisogna togliere per ogni kg. di borace messo in composizione.

L'ANIDRIDE FOSFORICA (P_2O_5 - p. m. 142) si introduce nei vetri come cenere d'ossa, che contiene il 60-84% di fosfato di calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, usato come opacizzante nella proporzione del 10% circa rispetto al peso del vetro, curando in modo particolare la marcia termica della fusione per non « svuotare » il vetro.

Per alcuni vetri da tavola si usa in piccole proporzioni (2%) il fosfato bisodico Na_2HPO_4 , che conferisce loro una maggior brillantezza.

L'anidride fosforica è introdotta in elevate proporzioni in alcuni vetri d'ottica speciali: i cosiddetti « crown - fosfati » (*).

(*) Cfr. A. COUSEN e W. E. S. TURNER in *Journal of the Society of Glass Technology*; Sheffield, 1928, pag. 176.

(*) L'uso di questi vetri è limitato alla confezione di parti interne di strumenti ottici, poichè essi sono facilmente attaccati dagli agenti atmosferici, in modo particolare dall'umidità.

CAPITOLO SECONDO

I FONDENTI

Essendo la silice molto refrattaria al calore, per facilitarne la fusione, è necessario aggiungere una o più sostanze dette appunto *fondenti*.

Sebbene anche altre materie prime, come l'acido bórico, gli ossidi di piombo, di calcio e di bario possano funzionare da fondenti, almeno fino ad un certo punto, la qualifica di fondenti viene attribuita esclusivamente agli alcali. Fra questi, soltanto *soda* e *potassa* vengono utilizzate nella pratica vetraria, essendo gli altri troppo costosi. A sua volta il prezzo superiore della potassa rispetto a quello della soda, limita il suo impiego alla fabbricazione dei vetri pregiati (*cristalli*) e dei vetri d'ottica.

La potassa e la soda sono indispensabili nell'industria vetraria: infatti non esiste vetro comune o speciale che manchi di queste sostanze.

L'azione di questi due fondenti è duplice:

- aumentano la fusibilità, facilitando così la *fondita*;
- influiscono prevalentemente sulla viscosità, permettendo così al vetro di essere lavorato in un più vasto intervallo di temperatura (proprietà questa largamente sfruttata nel lavoro delle macchine soffiatrici a grande produzione).

Si deve notare però che non sempre l'aggiunta di alcali, abbassando la temperatura all'inizio della fusione, abbassa anche la temperatura di *affinaggio*: anzi quest'ultima può elevarsi se l'allargamento dell'intervallo di fusibilità arriva a ritardare la realizzazione della fluidità necessaria all'affinaggio stesso.

Ciò spiega come un'aggiunta di soda ad un vetro che fonde male non riesce sempre a facilitare la fusione: per un dato rapporto *silice-alcali* si può avere infatti un minimo di temperatura di affinaggio che un'aggiunta di fondente non può abbassare. In questo caso, soltanto un aumento di temperatura potrà facilitare la fusione.

Fra i due fondenti, soda e potassa, non esistono grandi differenze di effetti, salvo una maggior brillantezza e sonorità impartite al vetro dalla potassa.

La potassa.

Materie prime della potassa sono il *carbonato potassico* e il *nitrato potassico*. Di quest'ultimo si dirà trattando degli affinanti.

Il CARBONATO POTASSICO (K_2CO_3 - p. m. 138. Contiene il 68,2% di K_2O e il 31,8% di CO_2) puro fonde a 894° . In quantità equimolecolari con il carbonato sodico ($K_2CO_3 + Na_2CO_3$) dà una miscela che fonde a 815° : ciò rende evidente l'opportunità di unire fondenti diversi per abbassare il punto di fusione del vetro.

Viene ottenuto in varie maniere:

- Partendo dal *soffato potassico*: processo Leblanc (*).
- Partendo dal *cloruro potassico*: processo alla magnesia o di Stassfurt (**) (non si può ottenere col processo Solvay perchè il bicarbonato potassico $KHCO_3$ è molto solubile)
- Partendo dalle ceneri di piante terrestri.
- Partendo dalle melasse di barbabietole.
- Partendo dal tartaro delle botti.

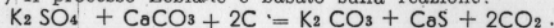
Il carbonato potassico si trova in commercio sotto varie forme: *potassa greggia*, *potassa raffinata*, *potassa pura*. La potassa normalmente usata in vetreria è quella pura, in polvere bianca, a titolo 96-98% di K_2CO_3 anidro. Le impurità possono essere costituite da cloruro, solfato, idrossido di potassio, carbonato sodico, ecc. E' molto igroscopica, e perciò va tenuta al riparo dell'umidità.

In Francia viene usato il carbonato idrato $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$ il cui tenore in acqua varia pochissimo col tempo d'immagazzinaggio (titolo 82-85%).

Ecco due analisi di carbonato potassico di Stassfurt: (***)

K_2CO_3	97,15	99,45
Na_2CO_3	0,07	0,05
KCl	1,25	0,06
K_2SO_4	—	0,02
Umidità	0,31	0,40
Insolubili	0,06	—

(*) Il processo Leblanc è basato sulla reazione:



(**) Il processo alla magnesia è basato sulla reazione:

$3(MgCO_3 \cdot 3H_2O) + 2KCl + CO_2 = MgCl_2 + 2(MgCO_3 \cdot KHCO_3 \cdot 4H_2O)$
 Quest'ultimo composto è il sale doppio di Engel, che a temperatura inferiore a 80° si scompone precipitando il carbonato di magnesio idrato che ritorna in ciclo.

(***) Cfr. B. LONG, op. cit., pag. 231.

La soda.

Materie prime della soda sono il *carbonato sodico*, il *solfato sodico*, il *nitrate sodico*. Di quest'ultimo verrà trattato a proposito degli affinanti.

Il CARBONATO SODICO anidro (Na_2CO_3 - p. m. 106. Contiene il 58,5% di Na_2O e il 41,5% di CO_2), comunemente chiamato *soda*, fonde a 851° .

Col carbonato di calcio forma un sale doppio $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ che fonde a 813° ed ha una notevole importanza nella fusione dei vetri calcici.

Si trova in natura mescolato a bicarbonato sodico sciolto nell'acqua o come efflorescenza sulle rive dei laghetti salati sodiferi dell'Egitto, del Fezzan, della California, ecc., e viene chiamato « natron » o « trona ».

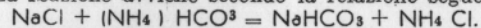
Il carbonato sodico può essere ottenuto dalle ceneri di piante marine (che, a differenza delle terrestri, contengono sale sodico anziché potassico), mescolato a cloruro sodico e a residui carboniosi, come nella *soda di Catania* (*), usata ancor oggi, nell'industria vetraria muranese, per la fabbricazione dell'*arventurina*.

Nella grande industria si otteneva col metodo Leblanc, che ha lasciato oggi il posto al processo all'ammoniaca o Solvay, meno costoso. Il processo Solvay, si basa sulla reazione che avviene fra una soluzione di cloruro sodico ed una di bicarbonato ammonico (**). Praticamente si inizia il processo con una soluzione satura di cloruro sodico che viene a sua volta saturata con ammoniaca gassosa ed umida in apparecchi a colonna in contro corrente, nei quali la soluzione sa-

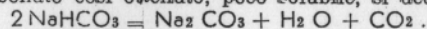
(*) Ecco il risultato di una analisi di *soda di Catania* (analisi C.S.V. 1946).

Cloruro sodico	34,0 %
Carbonato sodico	24,8 %
Carbonato potassico	8,4 %
Carbonato di calcio	16,7 %
Allumina + Ossido ferrico	3,7 %
Insolubili (sabbia, ecc.)	6,3 %
Sostanze organiche	4,2 %

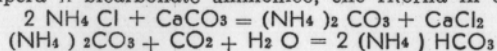
(**) La reazione avviene secondo la relazione seguente:



Il bicarbonato così ottenuto, poco solubile, si decompone secondo la:



Nel processo si ottiene il cloruro di calcio come sottoprodotto e si ricupera il bicarbonato ammonico, che ritorna in ciclo:



lina discende e l'ammoniaca vien fatta salire dal basso. La soluzione che ne risulta, viene saturata con anidride carbonica sotto pressione proveniente da appositi forni di cottura del carbonato di calcio. In Italia vi sono due stabilimenti: uno a Monfalcone e l'altro a Rossignano presso Livorno che sfrutta un giacimento di salgemma situato nelle vicinanze.

Il prodotto così ottenuto è molto puro e di composizione costante. Esso contiene in media il 98% di Na_2CO_3 , un po' di cloruro sodico (0,5-2%), del solfato sodico (0,10-0,15%), e pochissimo Fe_2O_3 (0,002-0,003). Sfortunatamente è igroscopico, ciò che costringe a conservarlo in locali asciutti e dosarne l'umidità al momento dell'uso.

A seconda del modo come viene calcinata nella fase finale di fabbricazione, la soda si distingue in *soda pesante* (densità: $d=1,5$) e in *soda leggera* ($d=0,9-1$). La prima si mescola meglio con gli altri componenti della miscela vetrificabile e riduce la formazione di polvere al momento dell'infornata (il più conveniente diametro dei grani è sui mm. 0,15 - 0,50). L'uso della soda pesante non si è però mai generalizzato: la soda leggera ha infatti miglior azione fondente, perchè i suoi grani avviluppano meglio i grani di sabbia.

Ecco alcune analisi di soda ottenuta col processo Leblanc e col processo Solvay: (*)

	Soda Leblanc		Soda Solvay	
Carbonato sodico (Na_2CO_3)	96,5	98,96	97,80	98,40
Itrato sodico (NaOH)	0,1	—	—	—
Cloruro sodico (NaCl)	0,5	0,8	1,70	1,10
Solfato sodico (Na_2SO_4)	1,1	0,10	0,12	0,15
Ossido ferrico (Fe_2O_3)	0,5	—	0,008	0,005
Allumina (Al_2O_3)	—	—	0,012	0,019
Ossido di calcio (CaO)	—	—	0,025	0,03
Ossido di magnesio (MgO)	—	0,06	0,012	tr.
Silice (SiO_2)	—	—	0,015	—

Le composizioni preparate con la soda Solvay hanno il difetto di *schiumeggiare* durante la fusione. Questo inconveniente, sconosciuto al tempo della soda Leblanc, è dovuto alla grande purezza della sola Solvay: si può evitarlo con l'uso di un po' di solfato sodico, che agisce in senso favorevole sulla tensione superficiale del vetro fuso evitando così la formazione della schiuma.

(*) Le analisi della soda Solvay sono ricavate da B. LONG, op. cit., pag. 225; quelle della soda Leblanc sono riportate da PAUL BARY: *La verrerie*, Paris, 1941, pag. 85.

Il carbonato sodico cristallizza con 10 molecole d'acqua ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e allora contiene circa il 63% di acqua. Ma nell'industria vetraria si adopera il sale anidro in polvere o in masse bianche che all'aria umida possono assorbire non oltre il 10% di acqua poichè si forma una crosta superficiale protettiva, ma che non vanno però in deliquescenza come la soda caustica.

La soda Solvay viene posta in commercio in sacchi contenenti generalmente 0,5 - 1% di acqua, che talvolta può arrivare anche oltre il 3%.

Il SOLFATO SODICO anidro, o sale di Glauber anidro, (Na_2SO_4 - p.m.142. Contiene il 43,7% di Na_2O e il 56,3% di SO_3) può sostituire il carbonato nelle composizioni vetrarie. Circa la convenienza economica, bisogna che il costo del solfato sia inferiore ai $\frac{3}{4}$ del costo della soda, essendo il rapporto dei fattori di rendimento:

$$\frac{0,437}{0,585} = 0,75 \text{ circa.}$$

Per la convenienza tecnica bisogna tener presente che il solfato contiene attorno al 0,3% di Fe_2O_3 , mentre nella soda l'ossido ferrico non raggiunge il 0,01%.

fortemente il materiale refrattario, innalza la temperatura di fusione, necessita di aggiunta di carbone (*) (nel rapporto del 5% circa) che colora il vetro.

Viene usato come affinante nella proporzione di parti 1,5 - 3 su 100 di sabbia, poichè scomponendosi a temperatura elevata (intorno ai 1300°) aiuta l'affinaggio.

Il solfato sodico anidro fonde a 884° .

Esso viene fabbricato partendo dal cloruro sodico (**). Può contenere, come principali impurità: cloruro sodico, bisolfato sodico, silice, solfato di alluminio, di ferro, di magnesio. Gli insolubili possono oscillare tra 0,10 e 2%.

Ecco due analisi di solfato sodico, ordinario il primo, purificato il secondo (***):

(*) L'azione del carbone sul solfato è espressa dalla reazione:
 $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{C} = \text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_2 + \text{CO}$.

(**) Il metodo è basato sulle equazioni seguenti:
 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{HCl} + \text{NaHSO}_4$
 $\text{NaCl} + \text{NaHSO}_4 = \text{HCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$

(***) Da B. LONG, op. cit., pag. 229.

Solfato sodico (Na_2SO_4)	94,0	98,80
Acido solforico (H_2SO_4)	1,4	—
Cloruro sodico (NaCl)	0,88	0,29
Ossido ferrico (Fe_2O_3)	0,25	0,01
Silice (SiO_2)	0,4	0,33
Allumina (Al_2O_3)	0,11	0,04
Ossido di calcio (CaO)	0,67	0,02
Ossido di Magnesio (MgO)	0,07	0,075
Acqua (H_2O)	1,0	0,23

CAPITOLO TERZO

GLI STABILIZZANTI

I vetri contenenti soltanto silice e un fondente (soda o potassa), sono alterabilissimi e, se il tenore in alcali diventa elevato, essi si sciolgono completamente in acqua (il cosiddetto «vetro solubile» si forma per fusione di 100 parti di sabbia con 60 parti di soda). Per impedire questa solubilità, cioè per stabilizzare il vetro, è necessario aggiungere determinate sostanze che vengono dette appunto *stabilizzanti*.

La principale sostanza di questo gruppo è la *calce*; vengono poi, in ordine, la *magnesia*, la *barite*, l'*allumina*, l'*ossido di piombo* (minio e litargirio), l'*ossido di zinco*. La scelta di questi prodotti, da impiegare in ciascun caso particolare, dipende dalla conoscenza delle proprietà che essi impartiscono ai vetri che si vogliono ottenere, in relazione a particolari requisiti fisici, chimici, tecnici.

La calce.

I vetri a tre elementi: sabbia + calce + soda, abbracciano i tre quarti dell'industria vetraria.

La calce è assai largamente usata quale stabilizzante perchè dà un vetro di proprietà medie, conveniente nella maggior parte dei casi.

I vetri alla calce sono fluidi ad alta temperatura e si rapprendono assai rapidamente: si hanno i cosiddetti vetri *liquidi* e *secchi* se la calce è in eccesso.

La materia prima più usata per introdurre la *calce* (CaO - p.m. 56) è il *carbonato di calcio*.

Il CARBONATO DI CALCIO (CaCO₃ - p.m. 100. Contiene il 56% di CaO ed il 44% di CO₂) è molto diffuso in natura come costituente fondamentale delle rocce calcaree. Carbonato di calcio quasi puro è il marmo bianco di Carrara che, anche dopo la macinazione, ha un contenuto in ossido ferrico non superiore al 0,01% (0,005 - 0,007), ed è perciò ricercatissimo anche all'estero per la fabbricazione dei vetri d'ottica e della cristalleria fine.

La presenza di tracce di sabbia, magnesia, allumina, non è ordinariamente nociva, purchè la loro ripartizione sia uniforme. Secondo taluni autori è preferibile che i grani siano dello stesso ordine di grandezza di quelli della sabbia (mm. 0,1 - 0,2 di diametro) e della soda, piuttosto grossi che fini a causa della tendenza a dare «punte» (quel fenomeno che i francesi chiamano «callage»), che si osserva con i calcari troppo fini.

Ecco alcune analisi di carbonato di calcio nazionale. Le due prime si riferiscono a calcari vicentini (analisi C.S.V., 1941), la terza ad un calcare di Sacile (analisi C.S.V., 1943):

	I	II	III
Perdite di calcinazione	43,89	42,50	43,74
Ossido di calcio (CaO)	55,85	52,90	55,19
Ossido di magnesio (MgO)	—	—	0,06
Alcali	tr.	2,90	0,23
Silice (SiO ₂)	tr.	1,10	—
Ossido ferrico (Fe ₂ O ₃)	0,025	0,13	0,51
Allumina (Al ₂ O ₃)	tr.	0,40	0,51

La magnesia.

Una piccola percentuale di *magnesia* (Ossido di magnesio MgO - p.m.40,3) migliora le proprietà meccaniche dei vetri calcici e la loro resistenza idrolitica (*); ne diminuisce il coefficiente di dilatazione, aumentando quindi la resistenza ai salti termici. La diminuzione della tendenza alla devetrificazione e l'allungamento dell'intervallo di lavorazione che essa provoca, fanno della magnesia un elemento eminentemente utile per la flaconeria meccanica.

La proporzione della magnesia che si può introdurre nel vetro, è limitata dalla difficoltà di fondere le composizioni ricche di questa sostanza, e dal tenore in ferro contenuto nelle materie prime usate per la sua introduzione nel vetro, la *magnesite* e la *dolomite*.

La MAGNESITE o CARBONATO DI MAGNESIO (MgCO₃ - p.m. 84,4. Contiene il 47,9% di MgO e il 52,1% di CO₂) si scompone assai facilmente per azione del calore. Si preferisce il carbonato di magnesio precipitato a quello naturale: ma è troppo costoso ed è perciò poco usato. D'altro

(*) E' la resistenza opposta dalla superficie del vetro finito a cedere i suoi componenti all'acqua e alle soluzioni acquose di acidi e di alcali. Si dice correntemente *neutro* un vetro che presenta in modo notevole questa resistenza.

canto, magnesite naturale veramente esente da ossido ferrico è solo quella dell'Eubea.

La DOLOMITE o CARBONATO DOPPIO DI CALCIO E MAGNESIO ($MgCa(CO_3)_2$ - p.m. 184. Contiene il 21,9% di MgO , il 30,4% di CaO , il 47,7% di CO_2) permette di incorporare più facilmente la magnesia nel vetro: la fusione è più rapida e si evita l'inconveniente degli *infusi*. E' però di composizione assai variabile ed è piuttosto impura per composti di ferro, silice, allumina.

Si riportano nella tabella seguente le analisi di alcune dolomiti nazionali:

	A	B	C	D	E	F
Perd. calcinazione	47,08	47,50	47,04	39,60	46,45	46,39
Ossido di calcio	31,79	34,10	34,16	38,53	33,60	34,16
Ossido di magnesio	20,02	18,13	18,50	19,95	18,45	17,95
Silice	0,14	0,05	—	tr.	—	—
Ossido ferrico	0,09	0,04	0,10	0,06	0,015	0,025
Allumina	0,88	0,18	0,30	0,83	1,20	1,00

dove:

- A) — Dolomite lombarda (analisi C.S.V. 1937);
 B) — Dolomite saccaroide lombarda (analisi C.S.V. 1937);
 C) — Dolomite del vicentino (analisi C.S.V. 1936);
 D) — Dolomite del vicentino (analisi C.S.V. 1941);
 E) ed F) — Dolomiti dell'Italia centrale (analisi C.S.V., 1947).

La barite.

La *barite* (ossido di bario BaO - p.m. 153), più che alla calce e alla magnesia, dal punto di vista vetrario, si accosta all'ossido di piombo, poichè impartisce ai vetri una elevata densità (e quindi aumento dell'indice di rifrazione e della lucentezza), nonchè elasticità e sonorità, tanto che il vetro al bario si chiama anche *semicristallo*. Viene usata specialmente nei vetri d'ottica, nei vetri per illuminazione, nella flaconeria per profumi, insieme ad *ossido di zinco*. Sui vetri piombici, quelli al bario presentano il vantaggio di essere insensibili all'atmosfera riducente del forno, e quindi possono venir fusi con maggiore tranquillità in crogioli scoperti.

La barite aumenta inoltre la fusibilità in rapporto ai vetri calcici corrispondenti. I vetri baritici si lavorano meglio alla *pressa*: però le composizioni contenenti barite, come

quelle al piombo, sono molto aggressive verso i refrattari.

La materia prima usata per l'introduzione dell'ossido di bario nei vetri è essenzialmente il *carbonato di bario*. Nella fabbricazione dei vetri d'ottica viene usato anche il *nitrato di bario* $Ba(NO_3)_2$. Meno usato è invece il *solfato di bario*. Ora comincia a prender piede l'uso del *silicato di bario*, con accertati vantaggi.

IL CARBONATO DI BARIO ($BaCO_3$ - p.m. 197. Contiene il 77,7% di BaO e il 22,3% di CO_2), come prodotto naturale (*witherite*), proviene dall'Inghilterra. In vetreria si usa ordinariamente quello ottenuto per riduzione con carbone, del solfato di bario a solfuro, e susseguente precipitazione del carbonato di bario per azione dell'anidride carbonica in soluzione acquosa. Il tenore in ossido ferrico è basso: contiene come impurità solfato, solfuro, iposolfito di bario e zolfo libero.

L'ossido di zinco.

Per molto tempo l'uso dell'OSSIDO DI ZINCO (ZnO - p.m. 81,4) è stato limitato alla fabbricazione di vetri speciali resistenti ai salti violenti di temperatura, nonchè di vetri d'ottica scientifica e vetri da termometri clinici. Ora viene molto usato nei vetri trasparenti alle radiazioni ultraviolette e nella fabbricazione del vetro bianco per lavorazioni a pressa. Associato al selenio, ne evita una eccessiva volatilizzazione, facilitando la decolorazione del vetro.

Quasi sempre usato in miscela con la barite, contribuisce ad accorciare l'intervallo di fusibilità e a rendere l'affinaggio più facile, dando dei vetri trasparenti e lucenti, esenti da bolle.

La materia prima usata in vetreria è il cosiddetto *bianco di zinco*, che, a seconda del grado di bianchezza, di finezza e di purezza, viene contrassegnato con sigilli di diverso colore, usati nella chiusura dei barili (sigillo bianco, verde, rosso). Però si trova in commercio anche dell'ossido di zinco *granulato*, fabbricato espressamente per usi vetrari, più facile da ripartirsi in modo omogeneo nella miscela vetrificabile, dell'ossido ordinario che, essendo più finemente suddiviso, si agglutina facilmente dando origine a grumi.

Poichè si ottiene industrialmente per arrostitimento della *blenda* (*solfuro di zinco* ZnS), si giustifica la presenza di sol-

fato, come appare dalla seguente analisi di un bianco di zinco del commercio (*):

Ossido di zinco (ZnO)	93,68%
Solfato di zinco (ZnSO ₄)	0,16 "
Ossido ferrico (Fe ₂ O ₃)	tr.
Insolubili	0,04 "
Acqua	6,12 "

L'ossido di piombo.

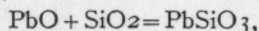
L'ossido di piombo (PbO - p.m. 223) è un costituente tipico per determinati vetri speciali. Infatti viene usato nella fabbricazione del cristallo cui dona grande densità, e perciò brillantezza, per l'elevato indice di rifrazione, e particolare sonorità.

Può sostituire in parte o totalmente la calce.

Appunto per l'elevato indice di rifrazione ed il grado di dispersione della luce, viene largamente usato nei vetri d'ottica. Da vetri molto fusibili, ma piuttosto alterabili se si superano certe proporzioni. I vetri al piombo consentono alla silice di scendere ai più bassi tenori.

L'ossido di piombo fonde a 880°. A partire da 250° è facilmente riducibile a piombo metallico dai gas riduttori del forno, come l'idrogeno e l'ossido di carbonio; per questo si deve associare a nitrato potassico, che sviluppa ossigeno nella fusione, e usare crogioli coperti.

Secondo Tamman e Kalsing, la reazione fra la silice e l'ossido di piombo,



ha inizio già a 580°.

Materie prime dell'ossido di piombo sono il *litargirio* e il *minio*.

Il LITARGIRIO (PbO) è una polvere gialla, utilizzata solo eccezionalmente in vetreria.

Il MINIO (ossido salino di piombo: $\text{Pb}_3\text{O}_4 = \text{PbO} \cdot \text{Pb}_2\text{O}_3$ - p.m. 685. Contiene il 97,7% di PbO e il 2,3% di O₂) viene preferito al litargirio come materia vetrificabile, perchè con esso si arrischia molto meno di introdurre nel vetro del piombo metallico. L'ossigeno che si sviluppa prima di fondere, è una garanzia illusoria contro l'azione riducente dei gas combustibili: bisogna aggiungere del nitrato potassico.

(*) Cfr. EMILIO DAMOUR: *Cours de verrerie*, vol. 1°; Paris et Liège, 1929, pag. 75.

Il minio si ottiene per arrostitimento progressivo del piombo elementare in speciali casse dette *ferrazze*, che, oggi essendo costruite con acciai inossidabili, consentono di ottenere del minio esente da ferro, il cui tenore deve essere inferiore al 0,01%.

E' una polvere pesante, di color rosso vivo, spesso sofisticato con solfato di bario. Non deve contenere piombo metallico (*).

L'allumina.

Per la proprietà peculiare dell'*ossido di alluminio* di essere *anfotero* (di comportarsi cioè come *acido* e come *base*), non si è ancora d'accordo se lo si deve piazzare, dal punto di vista chimico, insieme con la silice e l'acido borico fra i *vetrificanti* quale elemento acido, o accanto alla calce, bariete, ecc., come *stabilizzante* basico. E' accertato comunque dalla pratica che l'*allumina* (Al₂O₃ - p.m. 102) è sostanza indispensabile nella fabbricazione dei vetri ai quali viene richiesta una elevata resistenza chimica e meccanica. Per l'influenza tutta particolare che esercita sul rapporto *fluidità-viscosità*, ha convinto molti vetrai, gli americani tra i primi, ad usare l'allumina anche nella vetreria bianca.

L'allumina impedisce o ritarda la devetrificazione. Suo principale inconveniente è quello di esaltare la colorazione dovuta all'ossido di ferro.

Secondo Appert, l'allumina permette di sostituire, senza inconvenienti e con vantaggio, una parte degli alcali con una quantità equivalente di calce; può anche sostituire la silice, nella proporzione del 7-8%, aumentando la fusibilità del vetro senza pregiudicarne la lavorabilità a caldo.

Gli americani hanno adottato, per i vetri destinati alla lavorazione interamente meccanica col sistema Owens, l'aggiunta del 2-4% di allumina. Da noi vengono usati forti tenori di allumina nei vetri speciali da laboratorio (5-7%) e in quelli da fiale (fino al 10%).

L'allumina può venire introdotta come *allumina anidra* (Al₂O₃), *allumina idrata* o *gibbsite* (Al₂O₃·3H₂O), *caolino*,

(*) I minerali di piombo, che contengono spesso argento, bismuto, rame, cadmio, arsenico, antimonio, stagno, cobalto, nichelio, manganese, zinco, possono nuocere alla purezza del vetro. Infatti il rame dà una colorazione azzurrastra che non si può mascherare con alcun decolorante, il bismuto toglie brillantezza al vetro: solo il manganese, in piccola quantità, non nuoce.



feldspati, fonolite, lepidolite.

Per usi speciali si preferisce l'allumina idrata, che è molto pura (0,007% di Fe_2O_3), ma comunemente si adopera, come materia prima dell'allumina, quasi esclusivamente il feldspato. In natura si riscontrano tre tipi di feldspati:

— L'ORTOSE o FELDSPATO POTASSICO
($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ — p.m. 558,4).

Contiene: K_2O 16,9%, Al_2O_3 18,4%, SiO_2 64,7%.

Punto di fusione: 1170°.

— L'ALBITE o FELDSPATO SODICO
($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ — p.m. 526,4).

Contiene: Na_2O 11,8%, Al_2O_3 19,4%, SiO_2 68,8%.

Punto di fusione: 1100°.

— L'ANORTITE o FELDSPATO CALCICO
($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ — p.m. 520).

Contiene: CaO 20,1%, Al_2O_3 36,3%, SiO_2 43,6%.

Punto di fusione: 1550°.

L'albite e l'anortite si trovano frequentemente associati. I feldspati che si trovano in commercio per uso vetrario sono misti di ortose ed albite, con prevalenza di questa ultima. Nella tabella seguente sono appunto riportati i risultati d'analisi di alcuni feldspati nazionali usati nell'industria vetraria (analisi C.S.V., 1937-1939).

	A	B	C	D	E
Perd. calcinazione	1,32	1,60	0,39	1,75	0,30
Silice	76,44	75,08	73,84	77,95	66,86
Allumina	13,48	14,55	16,30	13,09	20,74
Ossido ferrico	1,36	1,25	0,76	1,51	0,34
Ossido di calcio	—	tr.	0,85	tr.	tr.
Alcali	7,40	7,50	7,86	5,70	11,76

CAPITOLO QUARTO

LE SOSTANZE ACCESSORIE

Gli Affinanti.

Nelle reazioni chimiche che hanno luogo, durante la fusione, fra i componenti della miscela vetrificabile, si liberano dei gas, che restano, almeno in parte, sospesi nella massa vitrea sotto forma di minute bollicine. Per eliminarli, si usano speciali sostanze dette *affinanti*, capaci di liberare una forte quantità di gas che, attraversando la massa fusa, trascina alla superficie le dette bollicine: si compie così anche una certa azione di rimescolamento che aiuta a rendere omogeneo il vetro fuso.

Questo duplice scopo si conseguiva anticamente immergendo nella massa in fusione una patata o un rametto di legno verde. Gli affinanti si aggiungono ora, fin dal principio, alla miscela vetrificabile. Quelli più usati sono i seguenti.

L'ARSENICO, chimicamente *anidride arseniosa* (As_2O_3 — p.m. 198). Viene usato nella proporzione del 0,2-0,5 per cento di sabbia. Il meccanismo di azione dell'anidride arseniosa non è ancora ben chiaro. Secondo alcuni essa funziona da ossidante, riducendosi ad arsenico elementare, completamente volatile ad alta temperatura: l'ossigeno liberato ossiderebbe a ferrici i sali ferrosi, funzionando così anche da *decolorante*. Secondo altri avverrebbe il contrario: l'anidride arseniosa che non volatilizza, capterebbe l'ossigeno liberato dalle altre materie prime presenti nella miscela, e resterebbe nel vetro nella proporzione di circa 2/3 come *anidride arsenica* As_2O_5 .

Nei vetri piombici non si dovrebbe usare l'arsenico, poiché si combinerebbe col minio formando dell'arseniato di piombo, resistente anche alle più alte temperature, che opalizzerebbe la massa vitrea (appunto su questo principio si basa la fabbricazione dei vetri opali e degli smalti ricchi di piombo).

L'arsenico si unisce generalmente alla miscela fondente, ma si può anche gettare, in pezzi o bastoncini, nel vetro fuso.

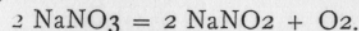
L'arsenico nazionale di produzione « Rumianca » (Apuania) è purissimo ma troppo leggero per l'uso vetrario. Il migliore è quello svedese e quello messicano (titolo 99,5, peso specifico 3,8 - 4,1).

L'ANTIMONIO (Sb — peso atomico 120). Usato in vetreria è l'antimonio elementare ottenuto per arrostitimento della *stibina* (solfo di antimonio Sb_2S_3). Va in commercio col nome di *antimonio greggio* o *regolo di antimonio*.

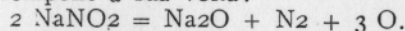
Durante la fusione del vetro l'antimonio si ossida facilmente, formando un composto volatile.

Il miglior antimonio per usi vetrari è il cosiddetto *regolo stella*, di origine cinese (monopolio inglese). Un prodotto nazionale discreto proviene dalle miniere di piombo della Sardegna.

IL NITRATO SODICO ($NaNO_3$ — p.m. 85). Fonde a 310° . A temperatura di poco superiore si scompone secondo l'equazione



Il nitrito sodico che così si ottiene, a temperatura più elevata, si scompone a sua volta:



L'azione affinante del nitrato si esplica solo in unione all'arsenico o all'antimonio. Raramente il nitrato viene utilizzato per introdurre più del 2-3% di Na_2O nel vetro (*).

Il nitrato sodico naturale proviene dal Cile, raffinato per ricristallizzazione; esistono però anche prodotti sintetici. Nelle seguenti analisi (**), la prima si riferisce a nitrato sodico del Cile (raffinato), le altre due a nitrato sodico sintetico:

	I	II	III
Insolubili	0,10	0,05	0,07
Cloruro sodico ($NaCl$)	0,50	0,40	0,25
Solfato sodico (Na_2SO_4)	0,06	0,30	0,23
Ossido ferrico (Fe_2O_3)	0,009	0,015	0,018

Accanto alla sua azione affinante, e, naturalmente, oltre la sua azione di fondente, il nitrato sodico esercita una non trascurabile azione di decolorante sulla massa vitrea in

(*) Tener presente che il suo fattore di rendimento è 0,365. contenendo il nitrato sodico il 36,5% di Na_2O .

(**) Cfr. LONG, op. cit., pag. 230.

fusione. Questo potere decolorante, comune ai nitrati, riposa sulla loro azione ossidante, sfruttata principalmente nella fusione dei vetri al piombo e dei vetri colorati con ossidi metallici facilmente riducibili.

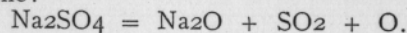
Nella fusione dei vetri piombici i nitrati evitano la riduzione del minio a piombo metallico, che porterebbe a vetri brunastri; nei vetri colorati con biossido di manganese, con cromati e bicromati, con ossido ramico, i nitrati evitano la riduzione degli ossidi metallici e dell'acido cromico.

IL NITRATO POTASSICO (KNO_3 — p.m. 101. Contiene il 46,6% di K_2O). Fonde a 333° . Si fabbrica per azione del cloruro di potassio sul nitrato sodico.

Un ottimo prodotto al 99,9%, esente da cloruri, viene importato dalla Francia.

Il nitrato potassico ha proprietà perfettamente analoghe a quelle del nitrato sodico: a differenza di questo, non è igroscopico, e viene perciò preferito, salvo il costo maggiore. Per questo maggior costo, il nitrato potassico si usa soltanto nella cristalleria di lusso.

IL SOLFATO SODICO (Na_2SO_4). Già ricordato come fondente. Usato nel rapporto di parti 1,5 - 3 su cento di sabbia, esercita la sua proprietà affinante in quanto che ad alta temperatura (intorno ai 1300°) si scompone, secondo l'equazione:



Lo SPATOFLUORE o FLUORURO DI CALCIO (CaF_2 — p.m. 72. Contiene il 43% di fluoro e il 57% di calcio). Come gli altri composti fluorurati, è un energico fondente: viene usato perciò per affrettare la fusione del vetro. Nei vetri trasparenti è usato nel rapporto di 1 su 100 parti di sabbia. Arricchisce i vetri di calce senza elevarne il punto di fusione.

L'uso del fluoruro di calcio è sempre malfido, per l'irregolare sviluppo di fluoro che genera una certa instabilità nella composizione del vetro che si vuol ottenere (*).

Usato anche in minime proporzioni, nei vetri da fiale, può arrecare notevoli inconvenienti di ordine farmaceutico al momento della chiusura delle fiale alla soffieria (**).

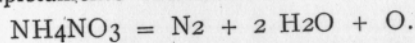
(*) Dall'analisi quantitativa del vetro, infatti, non si può mai risalire alla composizione di miscela.

(**) Il saggio qualitativo con la lacca zirconio-alizarina è probativo per dichiararne la non idoneità.

Si riportano qui i risultati delle analisi di alcuni prodotti nazionali (analisi C.S.V., 1936-1940):

	I	II	III
Fluoruro di calcio (CaF ₂)	96,35	98,75	97,75
Allumina + Ossido ferrico	1,20	0,40	0,65
Silice (SiO ₂)	tr.	tr.	tr.
Alcali	—	—	0,82
Ossido manganico (Mn ₂ O ₃)	2,00	tr.	—

Il NITRATO AMMONICO (NH₄NO₃ — p.m. 80).
Fonde verso i 100°, comincia a decomporsi verso i 250°, a 1000° è completamente volatilizzato:



Dovrebbe costituire l'affinante ideale, ma non ha mai incontrato il favore dei vetrai, perchè presenta l'inconveniente di far ribollire eccessivamente la massa in fusione.

Il CLORURO SODICO (NaCl — p.m. 58,5). Pur fondendo a 804°, non si scioglie nella massa vitrea, ma forma una crosta nuotante in superficie. Volatilizza notevolmente intorno ai 1000° ed entra in ebollizione a 1450°.

Può essere usato, come affinante ausiliario, in deboli quantità (una parte su cento di sabbia). Il cloruro sodico contenuto nella soda Solvay come impurità (2,5% al massimo), contribuisce appunto all'affinamento.

I Decoloranti.

Le materie prime usate nell'industria vetraria (specie la sabbia) contengono quantità più o meno rilevanti di ferro, che impartisce al vetro una colorazione più o meno sensibile: da ciò la necessità di usare particolari sostanze, che per la loro funzione si chiamano appunto *decoloranti*.

L'azione decolorante di queste sostanze può esplicarsi per via fisica, sfruttando il fatto che colorazioni *complementari* danno luogo ad un color grigio neutro pressochè insensibile; oppure per via chimica, in conseguenza dell'ossidazione del *silicato ferroso* (verde-azzurro) a *silicato ferrico* (giallastro).

Il BISSIDO DI MANGANESE (MnO₂) ha funzione doppia: ossida i sali ferrosi, e forma inoltre un silicato di manganese di color violetto, complementare del color giallastro, proprio del silicato ferrico (perciò il « manganese » si chiama anche *sapone dei vetrai*). Non è raro però il

caso che, a distanza di tempo, il vetro così decolorato diventi violetto per l'azione ossidante della luce: riscaldando in muffola al rosso incipiente, si può ottenere ancora il vetro decolorato per riduzione dell'*ossido manganico* (Mn₂O₃) ad *ossido manganoso* (MnO).

Il miglior biossido di manganese (o *manganese*, semplicemente, come è chiamato nell'uso vetrario) è quello di Giava e del Caucaso (titolo 95% in MnO₂); anche quello nazionale, di titolo 75-80%, può essere usato nell'industria vetraria.

Il manganese, come decolorante, si usa nella proporzione di 20-300 gr. per 100 Kg. di sabbia, a seconda della purezza delle materie prime e dell'atmosfera, più o meno riducente, del forno. Per esaltarne il potere decolorante, si usa, in unione al manganese, dell'*ossido di cobalto*, in ragione del 0,5 - 0,1% rispettivamente ai pesi del manganese stessi.

L'OSSIDO DI NICHELIO (NiO), non risentendo dell'atmosfera del forno come il manganese, viene ad esso preferito quale decolorante. Anche l'ossido di nichelio colora il vetro (potassico) in rosa-violaceo, nascondendo il giallo del silicato ferrico. Si impiega in ragione di 4 - 6 gr. per 100 Kg. di sabbia. Anche ad esso può associarsi l'ossido di cobalto (in ragione del 5 - 7% del suo peso).

In commercio vi sono ossidi di nichelio a tre titoli diversi: il grigio-verde (titolo 100%), il verde (titolo 88%) il nero (titolo 68%).

Il SELENIO (Se) è il decolorante di moda, usato da solo o insieme all'ossido di cobalto. Viene impiegato nella proporzione di gr. 1 - 5 per 100 Kg. di sabbia.

E' importato dall'America, dall'Inghilterra, dal Belgio. Si trova in commercio sotto due forme (*stati allotropici*): in polvere grigia di aspetto metallico, e in polvere nera opaca voluminosa.

Al suo posto può esserne usato il sale Na₂SeO₃ (SELENITO SODICO), che contiene il 45% di selenio elementare, e si presenta come polvere bianca cristallina. Il selenio può essere introdotto nel vetro anche per mezzo del SELENITO DI ZINCO (ZnSeO₃), che sostituisce vantaggiosamente il selenio elementare per la sua maggior stabilità.

I crogioli nuovi assorbono il selenio: nelle fondite successive bisogna perciò usarne meno, altrimenti il vetro si colora in rosa salmone.

Gli Opacizzanti

Si dicono *opacizzanti* quelle sostanze che, per la loro peculiare proprietà di non sciogliersi nel vetro, ma di rimanere disperse in particelle più o meno piccole, conferiscono opacità ai vetri.

Gli opacizzanti più usati sono i composti del fluoro:

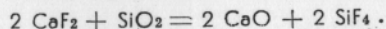
Il FLUORURO DI CALCIO (CaF_2), che abbiamo già incontrato fra gli affinantissimi ausiliari, si usa sempre in unione al feldspato in dosi elevate, a seconda della composizione della miscela e del grado di opacità che si vuol ottenere (*).

La CRIOLITE ($\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$), che è fluoruro doppio di alluminio e sodio. Può essere naturale o artificiale. Quella naturale è un minerale bianco che viene macinato in polvere impalpabile: prodotto impareggiabile che proviene solamente dalla Groenlandia. Quella artificiale è in polvere bianca finissima che, pur avendo un potere opacizzante inferiore di quella naturale, serve abbastanza bene nella fabbricazione dei vetri opalescenti e diffusori.

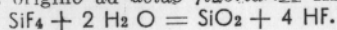
Il FLUOSILICATO SODICO (Na_2SiF_6), che viene usato in unione a materie alluminose, come feldspati e caolino, in proporzioni non sempre facili da stabilire in rapporto alla composizione della miscela fondente.

Anche i fosfati vengono usati come opacizzanti, e specialmente il FOSFATO TRICALCICO $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. È questo il principale componente delle ceneri d'ossa (60-80%). Usato ora il prodotto chimicamente puro offerto dalla grande industria. Nel vetro fuso il fosfato di calcio si scioglie completamente, ma durante il raffreddamento della massa vetrosa si separa allo stato di estrema suddivisione, opacizzando così il vetro. Bisogna usare però un'oculata condotta della marcia termica, altrimenti il vetro, come si dice in linguaggio vetrario, « si svuota ». Viene impiegato nella proporzione del 15-30 per cento di sabbia.

(*) Durante la fusione il fluoruro di calcio si scompone secondo l'equazione:



Il tetrafluoruro di silicio SiF_4 che si origina, è volatile e dannoso agli organismi vegetali e animali, ove venga prodotto in gran copia, come accade per certe fabbricazioni. Infatti, a contatto dell'aria umida, dà origine ad *acido fluoridrico* HF assai tossico:



Opacizzanti sono pure il BLOSSIDO DI STAGNO (SnO_2), molto usato in ceramica e nella fabbricazione degli smalti, ma abbandonato nell'industria vetraria per il suo alto prezzo; e il TALCO (Mg_2SiO_4), che può trovare impiego nella fabbricazione di speciali vetri opalini-alabastro, ma che da noi è poco usato.

Anche l'ANIDRIDE ARSENIOSA e l'ANTIMONIO hanno proprietà opacizzanti nei vetri piombici, se usati in convenienti proporzioni: danno luogo infatti alla formazione di arseniati ed antimonati di piombo, di aspetto lattescente che ricorda l'avorio.

I Coloranti.

OSSIDO DI FERRO. Parlando dei decoloranti, s'è già detto della colorazione verde-azzurra caratteristica del silicato ferroso e della colorazione giallastra propria del silicato ferrico: queste due colorazioni e le loro intermedie, più che dal reciproco rapporto in cui vengono usati l'OSSIDO FERROSO FeO (in polvere nera) e l'OSSIDO FERRICO Fe_2O_3 (in polvere rosso-bruna), dipendono dalla opportuna aggiunta di agenti riducenti od ossidanti.

OSSIDO DI MANGANESE. Per colorare il vetro in violetto si usa il BLOSSIDO DI MANGANESE (MnO_2) o il PERMANGANATO POTASSICO (KMnO_4), assai più puro e di composizione costante. Tanto il biossido, quanto l'anidride permanganica (Mn_2O_7) contenuta nel permanganato, si dissociano facilmente per azione del calore, generando il *sesquiossido di manganese* od *ossido manganico* (Mn_2O_3), che impartisce appunto la colorazione violetta; a sua volta il sesquiossido si dissocia in *ossido manganoso* (MnO) ed ossigeno, e la colorazione tende a svanire se la atmosfera del forno è riducente.

La colorazione impartita dal sesquiossido varia inoltre con la composizione del vetro: è ametista nei vetri potassici, rosso-viola nei vetri sodici.

Mescolato con opportune percentuali di ossido ferrico, il manganese impartisce al vetro magnifiche tonalità giallo-ambrate.

OSSIDO DI CROMO. Si usano comunemente il CROMATO POTASSICO K_2CrO_4 (di color giallo) ed il BICROMATO POTASSICO $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (di colore arancio) che, per azione del calore, si scompongono liberando *ossido cromatico* Cr_2O_3 che impartisce al vetro una colorazione verde.

OSSIDO DI COBALTO. Quello del commercio, in polvere grigio-nera, è comunemente una miscela di *protossido di cobalto* (CoO), di *sesquiossido di cobalto* (Co_2O_3) e di *ossido salino di cobalto* (Co_3O_4) (*). Può essere adoperato anche il *carbonato di cobalto* (CoCO_3), polvere rosa da impiegarsi in ragione di una volta e mezza del peso dell'ossido che si intende sostituire.

Usata anche la cosiddetta *zaffera*, miscela di vari ossidi di cobalto, impura per ossidi di altri metalli, sabbia, carbonati, ecc., in polvere di color grigio o bluastro.

OSSIDO DI NICHELIO. Usato comunemente è l'*ossido nicheloso* (NiO), di color grigio-verde; più raramente si usa l'*ossido nichelico*, nero, poco stabile. Una parte di ossido su 1000 parti di vetro dà già una colorazione apprezzabile; questa varia però notevolmente con la composizione del vetro: bruno-violacea nei vetri sodici, è violetta nei vetri potassici e bruna nei borosilicati.

OSSIDO DI RAME. L'*ossido rameico* (CuO), detto anche *ramina*, è polvere nera che impartisce al vetro un color acquamarina. Può essere sostituito dal *solfo di rame* ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$): in tal caso il solfato deve essere usato in ragione di kg. 3,14 per ogni kg. di ossido da sostituire.

OSSIDO DI URANIO. Colora il vetro in giallo con riflessi verdi. Può essere introdotto anche a mezzo dell'*uranato sodico*. L'*ossido di uranio* del commercio è una polvere gialla che può contenere anche il 6-8% di umidità e la cui composizione, piuttosto variabile, dipende dal procedimento usato per ottenerlo. E' ricavato, infatti, dalla uraninite e dalla carnotite, come sottoprodotto dell'estrazione

(*) L'ossido di cobalto del commercio ha composizione piuttosto variabile, come dimostrano le seguenti analisi (analisi C.S.V., 1942-1944, su prodotti commerciali).

	I	II	III
Ossido di cobalto (come Co_3O_4)	92,00	94,36	91,45
Umidità	2,00	0,30	0,60
Insolubili	3,25	0,25	4,80
Biossido di manganese	—	4,75	2,05
Ossido ferrico	1,25	0,59	1,65
Anidride antimoniosa	0,59	—	—

del radio, ottenendo come prodotto intermedio il *carbonato uranil-sodico* (*).

Gli ossidi metallici visti finora sono detti *coloranti immediati*: essi, dando luogo alla formazione di silicati, borosilicati, ecc., aventi colorazione propria, impartiscono al vetro una colorazione tanto più intensa quanto maggiore è la quantità del composto usato.

Diversamente accade per i cosiddetti *coloranti di saturazione*, che colorano il vetro solo a partire da una certa proporzione ed usando particolari trattamenti termici. La loro azione è dovuta alla formazione « in vitro » di una dispersione colloidale del metallo, che impartisce tonalità e colorazioni varie in funzione della grandezza (*grado di dispersione*) delle micelle o aggregati molecolari di esso. Questi coloranti sono:

L'ORO - Messo in composizione sotto forma di *acido cloroaurico* (HAuCl_4), dà al vetro una colorazione rosso rubino fino al violaceo. Durante la fusione questo composto libera acido cloridrico e cloro, nonché oro metallico che si discioglie nel vetro. La dose di gr. 0,1 per kg. di vetro (rapporto 1 su 10.000) può essere sufficiente per ottenere una colorazione rossa intensa alla ricottura.

L'ARGENTO - Messo in composizione come *nitrate* (AgNO_3) o *cloruro* (AgCl), colora il vetro in giallo vivo.

IL RAME - Messo in composizione come *ossido rameoso* (Cu_2O), in polvere rossa, e associato a sostanze riduttrici (come *ossido di stagno*, *solfo ferroso*, *cremor-tartaro*), colora il vetro in rosso rubino.

IL SELENIO - Messo in composizione unitamente al *solfo di cadmio*, colora pure in un bel rosso rubino.

Anche lo ZOLFO è un colorante vetrario: assieme al carbone, impartisce una bella tinta gialla ai vetri.

Altri coloranti, impiegati con molta parsimonia per il loro prezzo elevato, sono quelli del cosiddetto gruppo delle *terre rare*. Il più importante fra essi è l'**OSSIDO** di CERIO (CeO_2), impiegato da qualche tempo nella fabbricazione di

(*) Ecco i risultati di alcune analisi di prodotti commerciali (analisi C.S.V., 1944, sul secco):

Ossido di uranio (Come U_3O_8)	78,20	80,10	68,20	70,40
Alcali	10,05	10,60	2,05	10,44
Insolubili	—	—	21,30	5,60
Anidride carbonica (per diff.)	11,75	9,30	8,45	13,56

vetri da occhiali per la sua proprietà di assorbire le radiazioni ultraviolette, e usato anche per ottenere vivaci colorazioni gialle e gialle ambra. Si trova in commercio come *ossido giallo* (titolo 96-98%), *nitrato*, *ossalato*.

A proposito di colorazioni speciali ottenibili nel vetro con le terre rare, può interessare il seguente schema:

- *ametista*, con l'ossalato di neodimio,
- *giallo brillante*, con l'ossido di cerio « opaline »,
- *bruno fumo*, con l'ossido di terre ceriche,
- *rosa latteo*, con nitrato di didimio,
- *azzurro tenero*, con molibdato di cerio,
- *verde porro*, con ossido di praseodimio,
- *bianco di Strass*, con ossido di torio,
- *viola ametista*, con ossalato di didimio.

PARTE SECONDA

I FORNI VETRARI

(ing. Felice Franceschini)

CAPITOLO PRIMO

CENNI DI TECNOLOGIA DEL CALORE

TEMPERATURA - Allo scopo di determinare le temperature si utilizzano le proprietà che hanno alcuni corpi di subire delle variazioni precise e inequivocabilmente determinabili, col variare della temperatura. Ad esempio: la dilatazione termica di una colonnina di mercurio o di alcool nei comuni termometri; la variazione del colore di un sottile filo metallico per effetto della resistenza opposta al passaggio della corrente elettrica, nei termometri a resistenza; l'intensità della corrente generata per effetto del riscaldamento della saldatura di una coppia termoelettrica, nei pirometri.

Le temperature vengono indicate in gradi centigradi. Indicando con 0° la temperatura del ghiaccio fondente e con 100° quella di ebollizione dell'acqua, il grado centigrado è la centesima parte di tale intervallo di temperature. Nell'industria vetraria entrano in gioco temperature da 20° , temperatura ambiente, fino a 1800° , temperatura delle fiamme molto calde.

QUANTITA' DI CALORE - Per aumentare la temperatura di un corpo occorre apportargli del calore, mettendolo in diretto contatto con un corpo più caldo. Il calore passa dal corpo più caldo a quello più freddo, finchè i due corpi hanno raggiunto la stessa temperatura.

Al contrario, per raffreddare un corpo, vale a dire per abbassare la sua temperatura, bisogna fargli cedere del calore ad un corpo più freddo. Ad esempio: vetro caldo allo stampo freddo o all'aria fredda circostante.

Per riscaldare un corpo introduciamo dunque in esso del calore, mentre per raffreddarlo gli togliamo del calore: sembra cioè che il calore si comporti come una specie di energia fluida invisibile. Per quanto questa espressione non sia esatta, essa rende chiari i concetti « quantità di calore », « flusso o corrente di calore », « passaggio di calore ». « conduttività termica ».

Così appare senz'altro chiaro che 10 mattoni uguali ed ugualmente caldi contengono una quantità di calore dieci volte più grande di quella contenuta in un mattone riscaldato alla stessa temperatura. Se immergiamo uno di questi mattoni caldi in una determinata quantità di acqua fredda, la temperatura di questa si innalzerà; ma il riscaldamento dell'acqua sarà più forte se vi immergeremo due mattoni, e più forte ancora se ve ne immergeremo tre e così via.

La temperatura che l'acqua può assumere, per effetto del contatto con un corpo più caldo, può dunque venir presa come base di misura delle quantità di calore trasmesse. Quale unità di misura della quantità di calore è stata fissata la quantità di calore necessaria per innalzare di 1° centigrado la temperatura di 1 Kg. di acqua. Questa unità di misura viene chiamata *Caloria*. Così, ad es., per riscaldare 50 Kg. di acqua da 10° a 90°, cioè di 80 gradi, occorreranno 4000 calorie ($50 \times 80 = 4000$).

Il calore viene generato in molti modi. Nell'industria vetraria esso vien generato, nella grande maggioranza dei casi, dalla combustione di gas di generatore, cioè dalla combustione indiretta di combustibili solidi (ligniti, legna, carboni fossili, coke, ecc.), e in via subordinata dalla combustione diretta di combustibili liquidi o gas naturali. La produzione di calore per via elettrica nell'industria vetraria è ancora agli inizi.

POTERE CALORIFICO - E' il numero di calorie che 1 Kg. di un dato combustibile può fornire bruciando completamente. Così ad es., 1 Kg. di buon carbone fossile bruciando completamente fornisce circa 7500 calorie, 1 Kg. di buon olio combustibile ne fornisce circa 10000.

CALORE SPECIFICO - Non tutti i corpi si riscaldano di un grado, come l'acqua, apportandovi una caloria per ogni Kg.; alcuni corpi si riscaldano più fortemente, altri meno. Ad es. per riscaldare di 1°, 1 Kg. di vetro, bastano da 0,08 a 0,23 calorie.

La quantità di calore necessaria per riscaldare di 1°, 1 Kg. di un determinato corpo, espressa in calorie, si chiama *calore specifico* del corpo stesso. Così, ad es., posto uguale ad 1 il calore specifico dell'acqua, il calore specifico del vetro varia fra 0,08 a 0,23, quello dei materiali refrattari fra 0,21 e 0,23.

Il calore specifico dei vetri dipende essenzialmente dalla loro costituzione chimica e può venir calcolato con buona approssimazione. Nei vetri il calore specifico varia anche con

la temperatura; così, ad es., per un certo vetro vennero determinati i seguenti valori:

da	0° a 100°	cal. spec.	0,19
»	100° » 500°	»	» 0,24
»	500° » 1100°	»	» 0,29
»	1100° » 1500°	»	» 0,30

RISCALDAMENTO E RAFFREDDAMENTO - Facciamo un esperimento semplicissimo: immergiamo cioè un termometro in un recipiente con acqua calda e, a regolari intervalli di tempo, controlliamo la temperatura. Riportiamo i dati nel diagramma della fig. 1: otteniamo così la curva di raffreddamento dell'acqua. Questa curva ci mostra che il raffreddamento dell'acqua non è lineare, vale a dire non procede con passo costante, ma procede tanto più lentamente quanto più la temperatura dell'acqua, si avvicina alla temperatura ambiente.

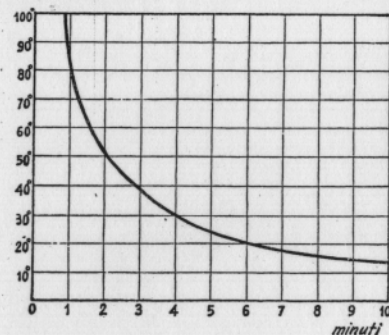


Fig. 1 - Curva di raffreddamento dell'acqua.

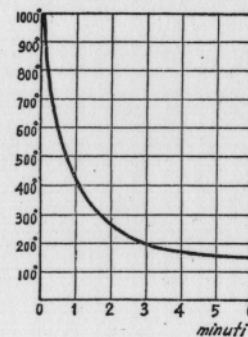


Fig. 2 - Curva di raffreddamento del vetro.

Per legge naturale, i corpi riscaldati si raffreddano tanto più rapidamente dalla loro temperatura elevata a quella del mezzo che li circonda, quanto più forte è la distanza fra le due temperature.

Il contrario vale per il riscaldamento.

Anche per il vetro possiamo tracciare una curva di raffreddamento, ad es. quella della fig. 2.

La velocità con la quale una posta di vetro si raffredda dipende, oltre che dalla differenza fra la temperatura della posta e quella dell'ambiente, principalmente dalla massa della posta, dalla sua conduttività termica, dalla sua superficie e dalla conduttività termica del mezzo che provoca il raffreddamento (aria, ghisa dello stampo, ecc.).

Poste più grandi richiedono maggior tempo per raffreddarsi delle poste più piccole, giacchè nelle prime, a pari temperatura, è contenuto un maggior numero di calorie, le quali debbono venir sottratte durante il raffreddamento.

CONTENUTO DI CALORE - E' il numero di calorie contenuto in 1 Kg. di un determinato vetro, avente una determinata temperatura iniziale, e che può da questo esser ceduto durante il raffreddamento fino alla temperatura ambiente; esso è lo stesso numero di calorie, che bisogna immettere nello stesso Kg. di vetro, per portarlo dalla temperatura ambiente alla temperatura iniziale sopra accennata. Lo si può determinare in base al calore specifico del vetro in esame.

Poniamo il calore specifico uguale a 0,2 e supponiamo:

1° *esempio*: si ha' un crogiolo contenente 500 Kg. di vetro alla temperatura di 1400°; per effetto del suo raffreddamento a 20°, temperatura ambiente, si libereranno $(1400 - 20) \times 500 \times 0,2 = 138000$ calorie. Il contenuto di calore di questa massa di vetro fra 20° e 1400° è quindi di 138000 cal.

2° *esempio*: da un bacino a bottiglie togliamo ogni 24 ore 15000 Kg. di vetro alla temperatura di 1000°. Le bottiglie arrivano al magazzino alla temperatura ambiente, che supponiamo di 20°. Quante calorie sono state cedute dai 15000 Kg. di vetro all'aria, alle macchine, agli stampi, ai forni di raffreddamento, ecc.? $(1000 - 20) \times 15000 \times 0,2 =$ circa 3 milioni di calorie.

3° *esempio*: se dobbiamo riscaldare 1000 Kg. di rottami di vetro dalla temperatura di infornata, temperatura ambiente che ammettiamo di 20°, a 1000°, dobbiamo teoricamente spendere $(1000 - 20) \times 1000 \times 0,2 =$ circa 200000 calorie, corrispondenti a circa 30 Kg. di carbone da 7000 calorie.

CONDUTTIVITA' TERMICA - La velocità di raffreddamento di una posta di vetro dipende anche dalla possibilità che il calore ha di giungere dall'interno alla superficie esterna in quella quantità (numero di cal. per cmq. al secondo) che il mezzo raffreddante (aria ambiente, ghisa dello stampo) può sottrarre; la velocità di raffreddamento dipende cioè, oltre che dal numero di calorie, che dall'ambiente raffreddante possono venir sottratte alla superficie della posta, anche dalla velocità con la quale il calore dall'interno passa alla superficie.

La velocità con la quale il calore attraversa i corpi non

è uguale per tutti, bensì varia da corpo a corpo, e si chiama *conduttività termica*.

Nei corpi così detti *conduttori* (ferro e metalli in genere), il calore passa rapidamente dall'interno alla superficie esterna; essi si raffreddano rapidamente ed altrettanto rapidamente possono venir riscaldati. La conduttività termica del vetro è relativamente piccola. Nelle poste di vetro in lavorazione avviene normalmente, che il nucleo centrale non arriva a fornire alla superficie esterna tutto il calore, che l'aria ambiente o lo stampo di ghisa possono assorbire; ne deriva che sovente il nucleo centrale è ancora caldo e relativamente molle, mentre la superficie esterna è fredda e rigida. Si generano così le *tensioni termiche* dei vetri. Nei corpi conduttori, ad es. i metalli, le tensioni termiche sono naturalmente sempre trascurabili.

Le tensioni termiche nei vetri sono molto sovente causa di rotture; per evitare lo stato di tensione, i pezzi vengono sottoposti ad un processo di lento raffreddamento, chiamato impropriamente *temperare*, nel linguaggio di fabbrica.

Per ottenere degli oggetti di vetro privi di tensioni termiche, basta portarli, nel forno di raffreddamento, ad una temperatura la più vicina possibile a quella di inizio di rammollimento del vetro col quale sono fatti gli oggetti, e mantenerveli per un tempo variabile da pochi secondi per oggetti di spessore molto sottile, a pochi minuti per oggetti di spessore normale, a qualche decina di minuti per oggetti di spessore forte. Il raffreddamento successivo può poi venir fatto con relativa rapidità.

La temperatura di rammollimento varia da vetro a vetro, per cui anche la temperatura dei forni di raffreddamento dovrà variare a seconda del tipo di vetro, col quale sono fabbricati gli oggetti da raffreddare (impropriamente *temperare*).

La temperatura, come appare dai brevi cenni dati, è, dopo la composizione chimica, il principale fattore dello stato vetroso. Ad ogni temperatura, per ogni singolo tipo di vetro, corrisponde un determinato grado di viscosità; ogni caduta di temperatura genera delle variazioni nella viscosità, variazioni che influiscono considerevolmente sulla fusione e sulle proprietà lavorative del vetro.

Saper dominare l'intero flusso di calore, che accompagna il processo di fusione e di lavorazione del vetro, è perciò necessario per la realizzazione di un andamento tecnicamente perfetto del processo stesso.

TABELLA PRIMA
(da Trinks: I forni industriali)
CARATTERISTICHE DEI COMBUSTIBILI

Tipo del combustibile	% in volume a 0° e 760 mm. di mercurio											Potere calorifico superiore Cal/m ³	Potere calorifico inferiore Cal/m ³	Annotazioni
	Costituzione (per m ³ di materiale secco)													
	CO ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	H ₂	O ₂	N ₂	Tot. %					
Gas naturale	irrece	—	84.7	—	9.4	—	—	1.6	100	10610	8760	meda di 25 Stati U.S.A.		
Gas da cokeria	0.75	6—	28.15	—	—	53.—	—	12.1	100	4480	4010 (2)	vap. acq. 1.85 o/o vol.		
Gas greggio di gassogeno	7.5	20.5	3—	—	—	12.5	—	56.5	100	1384	1300	da carbone di Pittsburg		
Gas purificato di gassog.	9.71	19.03	2.78	0.19	—	13.48	0.02	54.79	100	1284	1199			
Gas d'altoforno	12.5	25.4	—	—	—	3.5	—	58.6	100	860	876	vap. acq. 1.45 o/o vol.		
Gas d'acqua	3.5	43.5	0.7	—	—	47.3	0.6	4.4	100	2839	2613			
Gas illuminante	4.6	5.5	36.6	4.6	—	42.3	4.6	1.8	100	5057	5595			
Gas ill. (arricch. con gas seq.)	2.9	18.2	23.9	8.1	—	38.3	4.8	3.8	100	4745	4994			
G-s mescolato	3.46	13.84	28.3	6.92	—	39.6	4.73	3.15	100	5330	4858	1 gas ill. + 2 gas d'acq.		

Tipo del combustibile	% in peso											Potere calorifico superiore Cal/Kg.	Potere calorifico inferiore Cal/Kg.	Annotazioni
	Contenuto di calore nei prodotti della combustione completa di 1 m ³ di gas													
	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	H ₂ O	ceneri	Tot. %						
Carbone fossile	79.86	5.02	4.27	1.86	1.18	—	7.81	100	7810	8040	8040			
Carbone fossile	—	5.—	8.—	2.—	2.—	—	13.—	100	6900	7090	7090			
Lignite xiloida (asciutta)	59.9	4.37	18.64	1.22	2.65	—	13.22	100	5495	5590	5590			
Lignite xiloida (umida)	41.93	3.06	13.05	0.85	1.86	30.—	8.25	100	3845	3925	3925	analisi media		
Catrame di carbone fossile	86.7	6.—	3.10	0.116	0.745	3.20	0.097	100	8790	9080	9080			
Olio combustibile	84.—	12.7	1.2	1.7	0.400	—	—	100	10480	11100	11100			

1) Il potere calorifico inferiore è uguale a quello superiore aumentato del calore contenuto nel vapore d'acqua legato alla combustione.
2) Il potere calorifico è basso perché penetrò aria nel forno da coke, come lo dimostra l'alto tenore di azoto.

Combustione completa con la quantità di aria teorica

Tipo del combustib.	1 m ³ gas richiede Kg.						Prodotti della combustione compl. (in kg) di 1 m ³ di gas						Contenuto di calore nei prodotti della combustione completa di 1 m ³ di gas Cal/m ³	Temperatura di combustione (aria 0°) (aria 1000°)	Volume speci. in m ³ kg. dai prodotti della combustione a 0° 760 mm.		
	O ₂		N ₂		Aria		CO ₂		H ₂ O		N ₂					Totale	
	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³	kg/m ³	m ³	kg	m ³	kg	m ³	kg	m ³				kg	kg
Gas naturale	3.020	9.998	13.018	2.169	1.630	10.020	13.819	3.562	1.454	0.000538	12 (3)	1986	2520	0.808			
Gas da cokeria	1.152	3.838	4.990	0.645	0.824	3.988	5.457	1.454	0.0002243	12	1975	2475	2475	0.834			
Gas greggio pt gassog.	0.329	1.096	1.425	0.602	0.1462	2.500	2.500	0.607	0.000909	12	1631 (4)	2070	2070	—			
Gas purif. di gassog.	0.302	1.005	1.307	0.5878	0.1509	1.528	2.267	0.5518	0.000858	12	1748	1980 (5)	1980	0.762			
Gas d'alto forno	0.1923	0.6405	0.8328	0.699	0.027	1.326	2.052	0.4701	0.000732	12	1420	1700	1700	0.709			
Gas d'acqua	0.618	2.065	2.683	0.8735	0.3684	2.113	3.355	0.8450	0.0001413	12	2152	2580	2580	0.778			
Gas illuminante	1.422	4.728	6.150	1.030	0.940	4.740	6.710	1.761	0.0002751	12	2059	—	—	—			
Gas ill. (arr. gas. acq.)	1.295	4.300	5.595	1.136	0.780	4.335	6.251	1.615	0.000254	12	2098	—	—	—			
Gas mescolato	1.332	4.421	5.753	1.095	0.8275	4.463	6.386	1.655	0.0002601	12	2091	—	—	0.811			

Tipo del combustib.	Un kg combustibile richiede Kg.						Prodotti della combustione completa (in kg) di 1 kg di combustibile (kg/kg)						Contenuto di calore nei prodotti della combustione completa Cal/kg.	Temperatura di combustione aria 0°	Volume specifico m ³ /kg.		
	O ₂		N ₂		Aria		CO ₂		H ₂ O		N ₂					Totale	
	kg/kg	m ³	kg/kg	m ³	kg/kg	m ³	kg	m ³	kg	m ³	kg	m ³				kg	kg
Carbone fossile	2.505	8.295	10.80	2.953	0.452	8.318	11.723	2.794	1.000409	12	2159	2710	—	—			
Carbone fossile	2.21	7.32	9.53	2.61	0.45	7.34	10.400	2.483	0.000365	12	2126	2640	0.758	—			
Lignite xiloida (asciutta)	1.788	5.932	7.72	2.25	0.3933	5.0445	8.5878	2.056	0.000308	12	2059	—	—	—			
Lignite xiloida (umida)	1.251	4.190	5.405	1.575	0.5755	4.1625	6.3125	1.570	0.000252	12	1886	—	—	—			
Catrame di carbon foss.	2.79	9.26	12.05	3.18	0.572	9.30	13.052	3.112	0.0000457	12	2159	2680	0.768	—			
Olio combustibile	3.26	10.77	14.03	3.088	1.143	10.80	15.031	3.724	0.000551	12	2148	2670	0.779	—			

(3) 1 è espresso in gradi centigradi.

(4) Questo valore è puramente teorico; il gas di gassogeno greggio, non viene mai impiegato freddo
(5) con gas pure riscaldato a 1000°, la temperatura di combustione risulta 2310°.

COMBUSTIBILI - Come già accennato, nei forni industriali in genere e quindi anche in quelli impiegati nell'industria vetraria, vengono bruciati i seguenti combustibili:

- 1) *Combustibili gassosi*:
 - a) gas ricchi: gas naturali, gas illuminante, gas di cokeria, gas d'acqua;
 - b) gas poveri: gas lavato di generatore, gas misto o d'altoforno;
 - c) gas greggio di generatore.
- 2) *Combustibili liquidi*:
olio greggio, petrolio, olii combustibili leggeri, olii combustibili pesanti, catrame.
- 3) *Combustibili solidi* (bruciati in griglia):
 - a) polverino di carbone;
 - b) coke;
 - c) carbon fossile.

Nella tabella prima sono indicate le principali proprietà caratteristiche dei combustibili più importanti: i valori in essa indicati debbono naturalmente venir considerati come valori medi. Le temperature di combustione limite indicate sono ricavate da curve di temperature, calcolate però senza tener conto della dissociazione della CO_2 , che si mantiene comunque inferiore all'1%, fino a temperature di 1600° circa.

Le temperature di combustione, che possono venir praticamente realizzate, dipendono dalla velocità di combustione e dalla dispersione del calore durante la combustione stessa; esse sono molto inferiori a quelle teoriche indicate e raggiungono un valore che sta fra il 48% ed il 75% delle temperature teoriche. Solo se la velocità di combustione è estremamente piccola si può scendere al di sotto del 48% e solo in condizioni eccezionalmente favorevoli si può andare sopra al 75%.

In realtà, la combustione non avviene mai con l'esatta quantità di aria comburente necessaria, ma con un eccesso od un difetto d'aria; anche nel caso di una combustione molto buona, si hanno nel forno dei punti in cui l'aria è in eccesso ed altri punti in cui l'aria è in difetto.

Per effetto d'un'eccedenza o d'una deficienza d'aria, la temperatura di combustione risulta più bassa di quella teorica indicata; per un eccesso del 15% (normalmente si conduce la combustione con un eccesso di aria del 10 - 15%) l'abbassamento della temperatura di combustione si può ritenere del

5 - 7%, per un eccesso del 30% si ha un abbassamento del 10 - 15%. E' noto a tutti come l'aria di combustione affluisca in parte come aria secondaria. Quest'ultima viene preriscaldata il più possibile negli appositi *ricuperatori* o *rigeneratori* di calore, a spese del calore contenuto nei fumi diretti al camino di tiraggio. Le temperature limiti di combustione indicate nella tabella sono due per ogni combustibile, la prima per aria secondaria fredda, la seconda per aria secondaria preriscaldata a 1000°, temperatura questa raggiungibile col preriscaldamento nei comuni ricuperatori o rigeneratori.

Per quanto riguarda l'effetto sulla temperatura di combustione esercitato dal preriscaldamento dell'aria secondaria, vale a dire l'innalzamento reale della temperatura di combustione relativamente alla temperatura dell'aria secondaria, se ne può avere un'idea confrontando le cifre indicate nella tabella. Teoricamente, nel caso ad es. di gas normale greggio di gassogeno, in cui la combustione teorica perfetta avviene con volumi di gas e aria secondaria pressochè uguali, si ha l'innalzamento di 1° della temperatura di combustione per ogni innalzamento di 2° della temperatura dell'aria secondaria.

CAPITOLO SECONDO

RISCALDAMENTO A GAS - GASSOGENI

Il riscaldamento a gas è di gran lunga il più diffuso nell'industria vetraria. In America, il riscaldamento con gas naturali ricchi è abbastanza diffuso nelle regioni in cui essi si producono in abbondanza: tale riscaldamento risulta estremamente facile ed economico. Nei grandi centri industriali americani e tedeschi, si è diffuso negli ultimissimi decenni il riscaldamento con gas di cokeria. Si tratta però sempre di un numero relativamente piccolo di forni; nella stragrande maggioranza dei forni riscaldati a gas, viene impiegato il gas di gassogeno.

I *gassogeni* servono alla trasformazione dei combustibili solidi (carbon fossile, lignite, legna, torba, ecc.) in un combustibile gassoso, chiamato *gas di generatore* o *gas povero* o *gas misto*; e sono costituiti essenzialmente da una camera a sezione circolare o rettangolare. Il combustibile solido vien versato nella camera del generatore dall'alto, e scende lentamente verso il basso. Dal basso viene introdotta nella colonna di carbone incandescente, l'aria o una miscela di aria e vapor d'acqua. L'aria sale e toglie al carbone i componenti combustibili, formando così il gas di generatore, gas che si raccoglie in alto, e di qui viene avviato, per mezzo di canali appropriati, ai punti d'impiego; i residui non gassificati del combustibile vengono invece tolti dalla parte inferiore del gassogeno.

Il combustibile solido, oltre alla vera sostanza combustibile (*carbonio puro*), contiene anche dei componenti minerali non combustibili (*ceneri*) e acqua (*umidità*).

Le ceneri non si possono naturalmente gassificare e debbono perciò venir tolte come residuo o *scorie*.

L'acqua evapora nel gassogeno e forma vapor d'acqua, la così detta *umidità del gas*.

La sostanza combustibile si compone principalmente di carbonio (C), idrogeno (H) e ossigeno (O); carbonio ed idrogeno sono due elementi combustibili, l'ossigeno non è combustibile. Nel carbone (al termine carbone diamo il significato generico di *combustibile*) idrogeno ed ossigeno non so-

no liberi; in parte sono legati insieme formando l'acqua di costituzione del carbone, ed in parte sono legati al carbonio come *idrati di carbonio* ed *ossidi di carbonio*. Riscaldando il carbone, questi composti carboniosi, detti *composti volatili*, vengono trascinati nel gas e rimane un residuo solido, il *coke*, che si compone del così detto *carbonio fisso* e delle ceneri.

Questo processo di separazione delle materie volatili e del coke si chiama *degassificazione* e viene deliberatamente sviluppato nella produzione del gas illuminante e del gas di cokeria. Esso rappresenta semplicemente uno stadio intermedio, sia nel caso della combustione diretta, come nel caso della distillazione in gassogeno.

Mentre però, nel caso della combustione diretta, il coke, residuo della degassificazione, viene subito bruciato e trasformato in CO₂ (*anidride carbonica*), che non è più combustibile, nel gassogeno esso vien trasformato nuovamente in un gas combustibile e precisamente il CO (*ossido di carbonio*), che bruciando si trasforma in CO₂.

Un buon gas di gassogeno deve perciò contenere poco CO₂ ed il più possibile di CO. Una completa assenza di CO₂, come sarebbe desiderabile, non è praticamente possibile.

Il carbone, procedendo dall'alto verso il basso, subisce, per effetto della corrente ascendente di gas, le seguenti trasformazioni:

Essiccazione, che ha luogo nella parte superiore del generatore e che consiste nell'eliminazione dell'umidità per evaporazione.

Degassificazione, cioè separazione dei composti volatili.

Gassificazione, che ha luogo nella parte inferiore della camera, ad opera dell'ossigeno contenuto nell'aria.

La gassificazione consiste in una trasformazione del carbonio in ossido di carbonio (CO) gassoso ed in parte in anidride carbonica (CO₂). Secondo l'opinione più accreditata, la trasformazione in CO non avviene immediatamente: nella zona più bassa della colonna incandescente di carbone avviene la combustione ad anidride carbonica (CO₂) del carbonio residuo, nella zona sovrastante avviene invece una trasformazione (*riduzione*) più o meno completa della CO₂ a CO per sottrazione di carbonio dal coke.

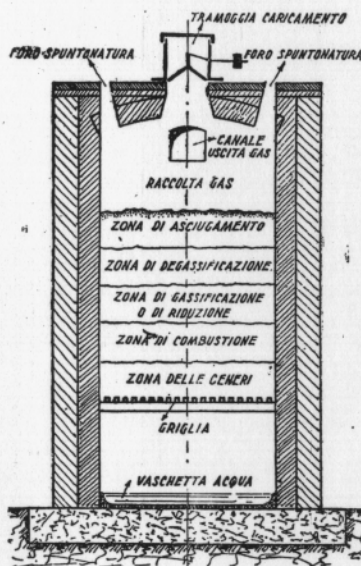
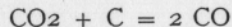


Fig. 3 — Suddivisione schematica delle zone in un gassogeno.

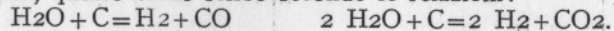
sto quasi esclusivamente di CO_2 e N_2 . L'azoto passa intatto attraverso il gassogeno; al contrario, fra la CO_2 ed il carbonio del coke, nella parte superiore della zona incandescente, avviene una reazione chimica, quando la temperatura supera gli 800° : e precisamente la CO_2 assorbe C dal coke e si trasforma in CO più o meno completamente:



Questo processo di riduzione della CO_2 è di basilare importanza per la gassificazione.

Al di sotto degli 800° non si verifica nessuna riduzione di sorta. Se il contatto fra CO_2 e coke è sufficientemente prolungato, a poco più di 1000° la trasformazione è quasi completa. Quanto più alta è la temperatura, tanto più completa e più rapida è la trasformazione.

Se nel gassogeno viene introdotto con l'aria anche del vapore (H_2O), se la temperatura del coke è sufficientemente alta, questo viene scisso secondo le relazioni:



Nella fig. 3 sono rappresentate schematicamente le quattro zone. L'aria entra nel gassogeno dal basso, o per tiraggio naturale o ventilata, nello strato di coke incandescente. Il carbonio si trasforma in CO_2 unendosi all'ossigeno dell'aria, che viene consumato quasi completamente. Il calore, che si sviluppa da questa combinazione chimica, genera nel gassogeno, in corrispondenza dello strato di coke, una temperatura variabile fra 1000° e 1500° , temperatura necessaria per la realizzazione dei processi di gassificazione e degassificazione.

Se nel gassogeno viene introdotta solamente aria, dalla zona di combustione esce un gas composto

Si forma cioè dell'idrogeno libero combustibile, del CO pure combustibile e della CO_2 non combustibile. Quanto più alta è la temperatura alla quale si verificano le accennate reazioni, tanto minore risulta la formazione di CO_2 .

Il gas defluente dalla zona incandescente contiene quindi i gas combustibili CO e H_2 ed i gas non combustibili CO_2 , O_2 e N_2 (azoto dell'aria).

Per ogni temperatura della zona di combustione, in presenza di carbonio incandescente, si ha uno stato di equilibrio fra CO, CO_2 , H_2 e H_2O e precisamente, coll'aumentare della temperatura aumentano i tenori di CO e H_2 mentre diminuiscono i tenori di CO_2 e H_2O .

Presupposto per lo stabilirsi dello stato di equilibrio è una sufficiente durata del contatto fra gas e carbonio. Nella parte inferiore della zona di riduzione, data l'alta temperatura ivi regnante, lo stato di equilibrio si stabilisce in brevissimo tempo. Può però succedere, se lo strato incandescente è sottile e la velocità di deflusso del gas è forte, che la durata del contatto fra gas e coke non sia sufficiente per poter ottenere del gas col necessario tenore in CO e H_2 .

Per la produzione di un buon gas è quindi necessario avere nel gassogeno una zona incandescente sufficientemente spessa e sufficientemente calda. Il processo di riduzione della CO_2 e del vapor d'acqua assorbe calore, per cui la temperatura si abbassa verso la parte alta della zona incandescente.

L'acqua di umidità, sempre contenuta nel combustibile, evapora nella corrente di gas ascendente, e l'essiccamento si compie in strati sempre più profondi, quanto più alto è il tenore in umidità del combustibile. All'asciugamento segue la scissione della sostanza combustibile: dapprima si separa l'acqua di costituzione, si liberano quindi i composti ossigenati del carbonio (CO e CO_2), dopo questi si liberano i composti idrati del carbonio (idrocarburi pesanti della serie C_mH_n , principalmente *etilene* e *metano*); infine, nelle zone più profonde e più calde della colonna di combustibile, si libera l'idrogeno puro (H_2).

Tutti gli idrati di carbonio sono dei preziosi combustibili, che elevano considerevolmente il potere calorifico del gas.

Essi hanno la proprietà di scindersi, riscaldandosi, in idrocarburi più semplici; ad es. i complessi vapori di catrame a circa 800° si scindono in idrocarburi pesanti ed in metano; a temperatura ancora più alta, questi si scindono in idrogeno e carbonio, il quale si separa poi come

fuliggine nelle canalizzazioni del gas; la separazione di fuliggine è più forte se il gassogeno è molto caldo anche in corrispondenza degli strati superiori della colonna di carbone, nel qual caso il gas brucia in parte già nel gassogeno.

Qualora vengano gassificati combustibili molto umidi, ad es. lignite greggia, il gas è molto meno caldo, i vapori di catrame divengono liquidi e come tali si depositano lungo le canalizzazioni del gas.

Quanto più profonde e quindi quanto più calde sono le zone nelle quali si compie la degassificazione, tanto più rilevante risulta la separazione di metano (CH₄) e di H₂ dagli idrocarburi pesanti. Se il consumo del gassogeno è forte e quindi rapida è la calata del carbone alle zone calde, la degassificazione si compie ad alta temperatura e la separazione di CH₄ e H₂ risulta considerevole (nei gassogeni soffiati è più elevata che in quelli a tiraggio naturale).

Nella zona di degassificazione si compie anche la separazione dell'azoto e dello zolfo contenuti nel carbone (una parte però di quest'ultimo rimane nelle ceneri). Si formano ammoniaca (NH₃), idrogeno solforato (H₂S) e anidride solforosa (SO₂).

I prodotti della degassificazione ed il vapor d'acqua, si mescolano coi prodotti della gassificazione, ascendenti dalle zone sottostanti; la miscela così costituita abbandona il gassogeno come *gas di gassogeno* o *gas di generatore*.

I prodotti della degassificazione rappresentano il 6 - 15 per cento del volume totale del gas.

In generale la degassificazione si compie in periodo di tempo molto minore di quello richiesto per la gassificazione del coke residuo, per cui, fra due cariche successive, la costituzione del gas di generatore varia, e precisamente: poco prima della carica il gas è quasi privo di catrame e contiene solo piccoli quantitativi di idrocarburi pesanti e di metano; diminuisce pure il contenuto del gas in CO₂.

Nella tabella seconda sono indicati i dati caratteristici del gas di generatore quali medie di numerose determinazioni. Vi sono indicate: la costituzione chimica del gas asciutto, il grado di umidità, il potere calorifico inferiore e la temperatura di erogazione del gas, per i principali tipi di combustibili, per gassogeni soffiati e per gassogeni a tiraggio naturale. Le cifre indicate si riferiscono ad impianti tecnicamente ben condotti; in casi eccezionalmente favorevoli si possono avere dei valori più elevati dei poteri calorifici.

La legna e la torba vengono impiegati molto raramente nei gassogeni dell'industria vetraria.

TABELLA SECONDA

Dati sulla costituzione del gas di generatore prodotto in gassogeni ben condotti e suo potere calorifico

1) composizione del gas asciutto in % di volume	Lignite greggia		Mattonelle di lignite e lignite picea		Carbone fossile	
	tiraggio naturale	soffiati	tiraggio naturale	soffiati	tiraggio naturale	soffiati
a) Gas combustibili						
Ossido di carbonio	18 - 22	20 - 24	23 - 27	28 - 31	21 - 24	26 - 29
Idrocarburi pesanti	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5
Metano	1 - 2	1 - 2	1,5 - 3	1,5 - 3	1,5 - 3	1,5 - 3
Idrogeno	10 - 12	12 - 16	8 - 13	12 - 16	7 - 10	10 - 15
b) Gas non combustibili						
Anidride carbonica	6 - 10	6 - 10	4 - 7	3 - 5	5 - 8	3 - 5
Ossigeno	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3
Azoto	53 - 60	49 - 55	52 - 57	47 - 53	52 - 60	49 - 55
2) Potere calorifico inferiore Cal/m ³	1100-1250	1200-1350	1200-1350	1400-1600	1000-1200	1350-1500
3) Tenore di umidità gr/m ³ di gas asciutto	300 - 450	300 - 500	60 - 120	80 - 150	30 - 60	40 - 80

E' grave errore credere che qualunque combustibile solido possa venir impiegato nei gassogeni veramente perfetti che oggi si costruiscono. Certamente, anche da un combustibile solido inferiore si può avere del gas, ma in quantità non sufficiente per alimentare i forni di fusione, e di qualità scadente, tale da non consentire la realizzazione delle necessarie temperature. In generale risulta sempre più economico l'impiego di combustibili ricchi per la gassificazione. Importanti fattori, da tenere sempre presenti, sono: la pezzatura, il comportamento al riscaldamento, il tenore di ceneri, il punto di fusione delle ceneri, il grado di umidità.

Una pezzatura omogenea è fattore di primaria importanza; ideale è la pezzatura da 4 a 12 cm. Nel caso di una pezzatura mista, dal polverino ai grossi pezzi, la gassificazione non risulta regolare; i grossi pezzi nel caricamento si portano contro le pareti del gassogeno, mentre il polverino si ammuccia nella parte centrale, sotto la tramoggia di caricamento; la resistenza al passaggio dell'aria risulta troppo forte al centro, che rimane costantemente freddo.

Molto difficili da gassificare sono i combustibili polverulenti, perchè offrono una enorme resistenza al passaggio dell'aria; nei gassogeni a tiraggio naturale il loro impiego è impossibile; nei gassogeni a tiraggio forzato (*soffiati*) ci si può aiutare aumentando la pressione dell'aria ventilata, diminuendo lo spessore della colonna di carbone ed intensificando il lavoro di spuntatura; i risultati sono però sempre insoddisfacenti. Malgrado le contrarie asserzioni di alcuni tecnici, si può senz'altro asserire che non è mai stato possibile constatare una gassificazione veramente buona di polverino di carbone.

Per quanto riguarda il comportamento al riscaldamento, servono bene quei combustibili che, durante il riscaldamento nel gassogeno, mantengono la loro pezzatura, cioè non si sbriciolano (come avviene di molte ligniti) e non si agglomerano (come avviene di alcuni tipi di carboni grassi, ricchi di catrame). Nel primo caso si verificano gli inconvenienti accennati per il carbone di pezzatura piccolissima; nel secondo caso si formano, nelle zone superiori della colonna di combustibile, delle masse compatte, catramose, che impediscono completamente il passaggio al gas formatosi negli strati inferiori. Per quanto riflette il tenore di ceneri e la formazione di scorie, se il tenore di ceneri è forte, risulta basso il potere calorifico del combustibile e diventa difficile il lavoro di sgrigliatura; con l'aumentare delle ceneri aumenta pure il quantitativo di carbone incombusto, che passa nel-

le ceneri stesse. Le difficoltà diventano ancor maggiori quando le ceneri sono fusibili. Le ceneri per lo più fondono fra i 1250° ed i 1500°, possono cioè fondere nella zona di combustione del gassogeno, formando degli ammassi di scorie, i quali, ricoprendo il combustibile, impediscono il passaggio dell'aria. Spesso le scorie formano dei veri ponti nel gassogeno, sotto i quali si aprono dei vuoti; nei casi più gravi le scorie riescono ad intaccare le pareti interne della camera del gassogeno e molto laborioso risulta allora il distaccarle.

Le ceneri di alcuni carboni fossili, e specialmente di alcune ligniti, formano delle scorie durissime, come ammassi petrosi e cementati; il loro allontanamento dal gassogeno durante la marcia è impossibile; è necessario spegnere il generatore e riprendere da capo.

Per impedire che il processo di formazione delle scorie si spinga troppo avanti, si aggiunge all'aria del vapore d'acqua; il calore necessario alla scissione del vapore, viene naturalmente tolto alla zona di combustione. Questa, aumentando l'aggiunta di vapore, viene raffreddata, in modo che la formazione di scorie risulti tollerabile, non solo, ma che le scorie stesse risultino non troppo dure e quindi facilmente spezzabili e frantumabili. Un'aggiunta troppo forte di vapore porta però con sé degli inconvenienti assai gravi. Disponendo di carbone fortemente scorificabile, bisogna spuntare continuamente il gassogeno, per evitare la formazione di grossi nuclei di scorie.

In merito all'umidità del carbone, l'acqua contenuta nel combustibile deve venir evaporata nelle zone superiori della colonna a spese del calore contenuto nella corrente ascendente di gas. Se l'umidità è forte, naturalmente forte risulta lo spessore della zona di asciugamento; la conseguenza è la formazione di un sottile strato incandescente ed il fuoco viene per così dire compresso.

Nella gassificazione delle ligniti gregge, la cui umidità si aggira intorno al 50%, e lo supera anche, la maggior parte del calore sensibile contenuto nel gas proveniente dalle zone inferiori, viene spesa per la vaporizzazione dell'acqua di umidità, e la zona incandescente si riduce allo spessore di 20 cm. ed anche meno. Una sottile zona incandescente è però difficilmente dominabile; in essa i normali disturbi causati dalla sgrigliatura e dalla spuntatura possono portare a conseguenze relativamente gravi, quali la formazione di canali, l'accensione dei gas formati, la costituzione di forti agglomerati localizzati di scorie, ecc.

Un asciugamento artificiale del combustibile, prima del suo impiego, raramente è conveniente, e può esser fatto solo se il combustibile non si sbriciola nell'asciugarsi.

L'umidità del combustibile si traduce in vapor d'acqua, che accompagna il gas, per il che risultano notevolmente abbassate le temperature di combustione del gas, tanto da non poter più risultare alte abbastanza per compiere il processo di fusione. In questo caso è necessario raffreddare artificialmente il gas in modo che il vapor d'acqua possa separarsi, almeno in buona parte, condensandosi. Il gas che si conduce al forno risulta così quasi asciutto, ma freddo.

In via di massima è possibile dare un giudizio, sulla possibilità d'impiego efficace di un determinato combustibile in gassogeno, solo dopo qualche prova esauriente. In generale si può ritenere quanto segue:

— i carboni fossili si prestano alla gassificazione, salvo quelli facilmente agglomerabili e facilmente scorificabili; i più adatti sono i carboni a lunga fiamma; i carboni minuti procurano sempre delle difficoltà;

— le ligniti picee si lasciano gassificare senza difficoltà nella maggior parte dei casi; è consigliabile non usare quelle molto ricche di zolfo, che causa dei depositi sul vetro in lavorazione;

— le mattonelle di lignite, ben pressate, fabbricate con ligniti sufficientemente ricche di catrame, costituiscono un ottimo combustibile da gassogeno;

— le ligniti normali, se con tenore basso di ceneri, possono venir gassificate con successo anche se molto umide.

In via di massima però, dal punto di vista economico, risulta consigliabile l'impiego di combustibili poveri per la gassificazione, solo nel caso in cui questi si possano avere a condizioni veramente favorevoli. Si possono talvolta impiegare vantaggiosamente delle miscele di combustibili, in proporzioni da determinare sperimentalmente, ad es. mattonelle di lignite e buona lignite; mai mescolare carboni fossili e lignite, giacchè le loro velocità di gassificazione sono molto diverse.

TIPI COSTRUTTIVI DI GASSOGENI

Fondamentalmente si distinguono due gruppi di gassogeni:

I°) *Gassogeni a tiraggio naturale*, nei quali l'aria di gassificazione viene aspirata, per effetto del tiraggio naturale esercitato dalla colonna di gas caldo ascendente nel gassogeno. Rappresentante principale di questo gruppo è il vecchio *gassogeno Siemens*, a sezione rettangolare, in muratura. Esso è ancora largamente diffuso nell'industria vetraria.

II°) *Gassogeni soffiati*, nei quali l'aria di gassificazione, oppure una miscela di aria e vapor d'acqua, viene spinta nel gassogeno per mezzo di ventilatore o di iniettore. Questi gassogeni si dividono a loro volta in due gruppi:

a) *Gassogeni con griglia fissa*, nei quali l'allontanamento delle scorie e delle ceneri viene eseguito a mano (a questo gruppo appartengono anche i così detti *gassogeni senza griglia*, nei quali ceneri e scorie sostituiscono la griglia);

b) *Gassogeni con griglia mobile*, per lo più con griglia girevole a sezione circolare, nei quali la sgrigliatura, cioè l'allontanamento delle scorie e delle ceneri, viene eseguita meccanicamente.

Fra i numerosi tipi costruttivi di gassogeni a griglia fissa, quelli impiegati nell'industria vetraria sono il gassogeno con griglia a tegolo, in muratura, a sezione rettangolare, ed il gassogeno a camera circolare cilindrica, a tenuta d'acqua.

Vi sono anche dei tipi speciali costruttivi di gassogeni; ed es.: gassogeni ad alta pressione, per la gassificazione di carboni minuti; gassogeni con dardo, per la riduzione delle scorie a masse liquide facilmente eliminabili; gassogeni a doppio fuoco, per la trasformazione dei vapori di catrame in gas permanenti; gassogeni con speciale dispositivo per la separazione del catrame, ecc. Essi non trovano applicazione nell'industria vetraria.

VECCHIO GASSOGENO SIEMENS. - E' rappresentato nella fig. 4. Esso è costituito da una camera a sezione rettangolare in muratura con griglia mista:

piana a barrotti e inclinata a scala. Con la disposizione a scala si raggiunge lo scopo di aumentare la superficie della griglia e conseguentemente l'afflusso di aria ed il consumo del gassogeno, senza aumentare la sezione della camera. Murando i vuoti superiori della griglia a scala, si ottiene lo sco-

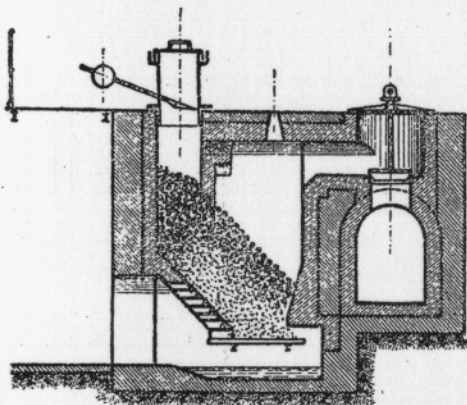


fig. 4 - Gassogeno tipo Siemens a tiraggio naturale

po di ridurre la superficie della griglia e quindi il consumo di combustibile. Spesso lo spazio di caricamento viene separato, come indicato nella figura, dallo spazio del gas, mediante una parete verticale, detta *lingua*, che delimita la massima altezza dello strato di combustibile. Siccome lo spessore più favorevole della colonna di combustibile dipende dal tipo di combustibile, la lunghezza della lingua deve adattarsi al tipo di combustibile da gassificare. Importante è la sistemazione di una vaschetta, mantenuta sempre piena d'acqua, sottostante alla griglia; essa ha i seguenti scopi:

a) preserva dalla combustione totale i pezzi di coke incandescente che, malgrado la più accurata e ben fatta sgrigliatura, vengono trascinati con le scorie e le ceneri: i pezzi di coke incandescenti vengono spenti dall'acqua.

b) il calore irradiato attraverso la griglia provoca una vivace evaporazione dell'acqua contenuta nella vaschetta: il vapore prodotto raffredda i barrotti e le piastre della griglia a scala, dei quali prolunga così la durata.

c) il vapor d'acqua, salendo nel gassogeno dopo aver attraversato la griglia, si scinde nella zona di combustione

in idrogeno ed ossigeno: il primo eleva il potere calorifico del gas anche fino al 10%.

E' necessario chiudere il gassogeno davanti alla griglia con una porta in lamiera, lasciandovi sotto una striscia vuota alta 10-15 cm. circa, per l'ingresso dell'aria di gassificazione. Si ottiene con questo dispositivo una diminuzione delle perdite per irradiazione; l'aria entra inoltre con maggior velocità ed è obbligata a lambire lo specchio d'acqua ed a trascinare con sé il vapore formatosi.

Il gas prodotto passa in un canale collettore, dal quale si dipartono i canali porta-gas al forno o ai forni da alimentare. Si possono sistemare questi gassogeni a batteria, affiancati cioè l'uno all'altro, in numero da 2 fino a 10, con un unico canale collettore. Le dimensioni della sezione del tipo normale sono di m. 1-2 x 2,30-2,70; l'altezza complessiva della camera di un gassogeno di questo tipo è di circa m. 4-4,40.

La costruzione di questi gassogeni è semplice ed economica; essi sono assai facili da condurre, non si inceppano quasi mai e danno un buon gas. Presentano lo svantaggio, rispetto ai gassogeni soffiati, di dare un prodotto di sgrigliatura con un'alta percentuale di coke mescolata alle scorie e alle ceneri.

La perdita di coke, per un tenore di ceneri ad es. del 6% nel carbone, è del 10-12% nel migliore dei casi, mentre la perdita di coke, per lo stesso tipo di carbone, in un gassogeno a griglia girevole automatica non raggiunge neppure l'1%.

Altri inconvenienti s'incontrano nell'esercizio di questi generatori. La sgrigliatura è faticosa e molto lenta, il loro funzionamento dipende molto dalle condizioni atmosferiche, specie dalla direzione del vento; non è possibile aumentare in caso di bisogno la produzione di gas, anche per breve tempo; quando si chiudono le valvole del gas dei forni di fusione, si genera nel gassogeno uno stato di pressione, per effetto del quale i prodotti della degassificazione, talvolta anche per qualche ora, vengono spinti fuori dal gassogeno attraverso la griglia e bruciano senza scopo con lunghe fiamme. D'altro canto può prodursi con relativa facilità una depressione nel canale collettore del gas, il che provoca aspirazione d'aria falsa nel collettore stesso e ciò con pericolo di esplosioni.

Questi gassogeni vengono impiegati normalmente nei piccoli impianti, dove la produzione di un normale gassogeno a griglia girevole risulta eccessiva, ed anche nei grandi

impianti, quando si gassifica lignite greggia; in questi impianti (ad es. le grandi vetrerie tedesche da vetro bianco del bacino vetrario della Germania centrale e centro-orientale) generalmente ogni forno di fusione, e relativi forni ausiliari, costituiscono un impianto a sè, alimentato da una batteria di più gassogeni.

GASSOGENO CON GRIGLIA FISSA A TEGOLO.
- E' rappresentato nella fig. 5. E' pure costruito in muratura ed è assai diffuso nella media industria vetraria, specialmente per la gassificazione di lignite xiloide, lignite picea e mattonelle di lignite; esso può ritenersi derivato dal gassogeno tipo Siemens, come appare appunto dalla figura. La griglia mista, piana ed inclinata a scala, è sostituita da tegoli in ghisa, lunghi quanto è profonda la camera, con delle aperture a finestrella attraverso le quali passa la miscela aria-vapore di gassificazione. La miscela aria ventilata-vapore viene introdotta sotto al tegolo con un'apposita tubazione. Si costruiscono gassogeni ad un tegolo o a doppio tegolo.

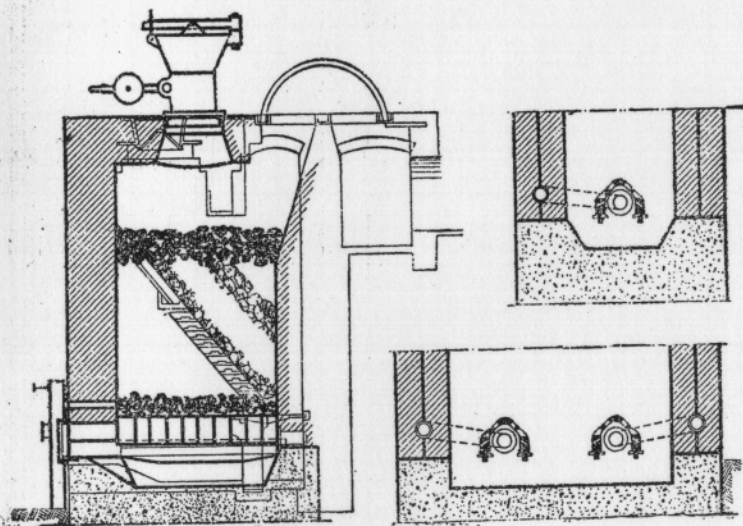


Fig. 5 — Gassogeno soffiato con griglia fissa a tegolo.

I gassogeni di questo tipo presentano tutti i vantaggi dei gassogeni soffiati: in essi lo sfruttamento del combustibile è molto migliore che non nei gassogeni tipo Siemens,

così che riesce largamente compensata la spesa per l'energia elettrica per l'elettroventilazione e per la produzione di vapore. Il costo d'impianto è molto limitato rispetto a quello dei gassogeni con chiusura idraulica.

Anche questi gassogeni sono raggruppati in batterie con unico canale collettore del gas.

Per effettuare la sgrigliatura bisogna sospendere l'aria ed il vapore; durante questo periodo la produzione di gas risulta ridottissima. In questi gassogeni la distribuzione della aria e del vapore è veramente eccellente.

GASSOGENO A CAMERA CIRCOLARE CON GRIGLIA FISSA. - Questi gassogeni vengono impiegati per la gassificazione di carbon fossile.

Nella fig. 6 è rappresentato un tipo costruttivo molto usato. La camera cilindrica del generatore è costruita in muratura sopra ad un anello metallico portante, munito di un'appendice cilindrica pure metallica, costantemente immersa nell'acqua di una vasca sottostante e facente corpo col gassogeno stesso. L'interno della camera risulta così completamente isolato dall'atmosfera. L'immersione dell'appendice nell'acqua dev'essere sufficientemente profonda, in modo che il gas, dotato di una certa pressione, non possa sfuggire attraverso la vasca. Le ceneri e le scorie vengono a cadere nella vasca piena d'acqua, e di qui posson venir tolte senza sospendere l'afflusso di aria e di vapore al gassogeno.

L'aria ventilata, miscelata al vapore, entra nel gassogeno secondo l'asse centrale; la tubazione è coperta da una specie di cuffia o fungo, in uno o più pezzi, di dimensioni più o meno rilevanti a seconda dei tipi costruttivi, con delle aperture a finestrella, così da formare una vera griglia per la distribuzione della miscela aria-vapore nell'interno della colonna di combustibile; questa riposa direttamente sullo strato di ceneri e di scorie, raccolte nella vasca dell'acqua.

L'aria entra attraverso il fungo o griglia nella parte centrale della camera, dove provoca una vivace combustione con forte sviluppo di calore, così che molto facilmente viene a formarsi una colonna di scorie, sopra al fungo. Le dimensioni della griglia o fungo sono limitate dalla necessità che vi sia uno spazio anulare, tra esso e l'anello portante, sufficientemente ampio per permettere la calata senza ingorghi delle ceneri e delle scorie nella vasca d'acqua. Per conseguenza la distribuzione dell'aria nella colonna di combustibile non è mai uniforme. Nei gassogeni di forte diametro, oltre ad una ventilazione centrale, si applica perciò anche una ventilazione periferica. Entrambe però debbono essere

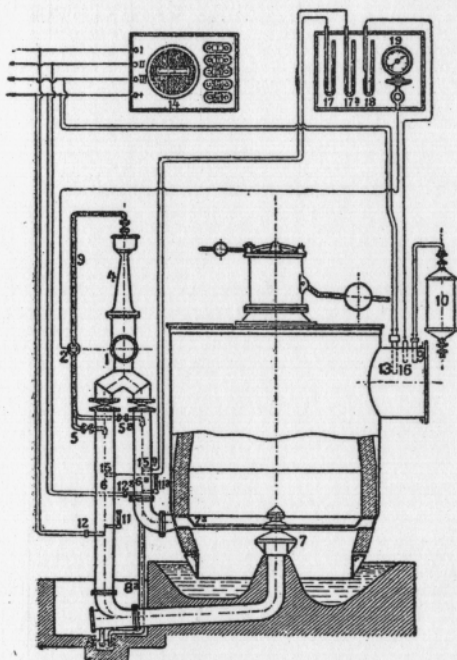


Fig. 6 — Gassogeno a camera circolare con griglia fissa, con le installazioni di controllo.

1. tubazione aria ventilata.
2. tubazione vapore.
3. tubazione all'iniettore di vapore.
4. iniettore di vapore (riserva).
5. ingresso del vapore nella conduttura centrale dell'aria ventilata.
- 5a. ingresso del vapore nella tubazione periferica dell'aria ventilata.
6. tubazione centrale aria ventilata.
- 6a. tubazione periferica aria ventilata.
7. fungo centrale distribuzione aria ventilata.
- 7a. cassette perimetrali distribuzione aria ventilata.
8. disidratazione della tubazione centrale aria ventilata.
- 8a. disidratazione della tubazione periferica aria ventilata.
9. tubazione di presa del gas al recipiente di raccolta del gas per prove.
10. recipiente di raccolta del gas per prove.
11. termometro a mercurio per determinazione temperatura della miscela aria a vapore nella tubazione centrale aria ventilata.
- 11a. id. id. nella tubazione periferica aria ventilata.
12. termometro sistemato a distanza per indicazione temperatura della miscela aria vapore nella tubazione centrale aria ventilata.
- 12a. id. id. nella tubazione periferica aria ventilata.
13. pirometro o termometro per determinazione temperatura del gas.
14. strumento indicatore delle temperature 12, 12a, 13.
15. attacco per la determinazione della pressione nella tubazione centrale aria ventilata.
- 15a. attacco per la determinazione della pressione nella tubazione periferica aria ventilata.
16. attacco per la determinazione della pressione nel canale di erogazione del gas.
17. manometro per la determinazione della pressione nella tubazione centrale aria ventilata.
- 17a. manometro per la determinazione della pressione nella tubazione periferica aria ventilata.
18. manometro per la determinazione della pressione nel canale di erogazione del gas.
19. manometro per la determinazione della pressione nella tubazione del vapore.

perfettamente sorvegliabili e regolabili. E' necessario sistemare dei fori di osservazione nel mantello del gassogeno sopra al livello di sbocco dell'aria, per poter controllare in ogni momento la formazione delle scorie.

Questi generatori vengono sovente ricoperti con un mantello di lamiera; fra il mantello e la muratura della camera vien sistemato uno strato di materiale isolante.

Rispetto ai gassogeni con griglia a tegolo, questi presentano il vantaggio di poter esser sgrigliati senza sospendere l'afflusso dell'aria-vapore, cioè praticamente senza interrompere la produzione del gas.

GASSOGENO A GRIGLIA GIREVOLE. - E' rappresentato, nella sua forma costruttiva normale, nella fig. 7. E' molto simile al gassogeno descritto precedentemente; la

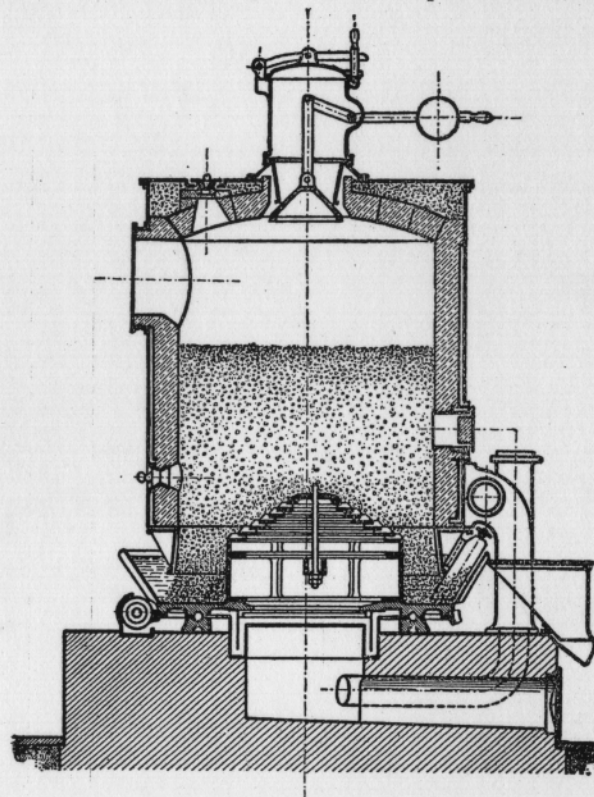


Fig. 7 — Gassogeno a griglia girevole.

griglia a fungo è però mobile o meglio girevole su sè stessa, e l'allontanamento delle scorie e delle ceneri avviene automaticamente. La camera poggia su quattro robuste staffe o colonne in ghisa; la colonna di combustibile riposa sulla vasca in ghisa delle ceneri, normalmente munita di chiusura idraulica, la quale a sua volta poggia su sfere o rulli ed è fissata ad una ruota dentata. Questa ingrana con una vite perpetua, che le imprime un lento movimento (un giro in una o più ore). Con la vasca delle ceneri, ruota la griglia a fungo, che normalmente è centrata sulla vasca stessa; in alcune costruzioni invece è montata eccentricamente. La vasca delle ceneri è sempre naturalmente piena d'acqua, per lo spegnimento delle ceneri e delle scorie. Le velocità delle varie parti meccaniche sono regolabili, in modo che l'asportazione delle ceneri corrisponda esattamente al quantitativo formatosi. L'accurata costruzione meccanica delle varie parti è condizione indispensabile per un funzionamento regolare, senza interruzioni.

La miscela aria-vapore, come per il tipo precedente, viene introdotta assialmente sotto la griglia, che provvede a suddividerla nell'interno della colonna di combustibile.

Le varie costruzioni si differenziano per lo più nella forma e nelle dimensioni della griglia, che i costruttori cercano di adattare il più possibile alle esigenze dei combustibili da gassificare.

La camera consiste per lo più in una carcassa di lamiera rivestita internamente di materiale refrattario; generalmente vien praticato il raffreddamento ad acqua del tratto inferiore della parete.

Il costo d'impianto di questi gassogeni è relativamente assai elevato; essi vengono perciò impiegati solo in grandi impianti, dove si consumano continuamente forti quantitativi di gas.

CAPACITA' DI GASSIFICAZIONE. - I gassogeni vengono spinti più o meno nel loro esercizio, a seconda dei criteri che informano la condotta tecnica degli impianti. Nella tabella terza sono indicati i consumi medi, che si possono realizzare agevolmente nei vari tipi di gassogeni. Le cifre più basse si riferiscono a combustibili con forte tenore di minuto e a combustibili facilmente scorificabili. E' consigliabile di mantenere il carico dei gassogeni entro i limiti indicati. In linea generale, dal punto di vista tecnico, è consigliabile un carico moderato. E' bene calcolare i gassogeni con larghezza ed in base alla massima richiesta di gas. Nel caso infatti in cui i gassogeni debbano alimentare dei forni di fu-

TABELLA TERZA

Consumi normali dei vari Gassogeni
in Kg. ora per un mq. di sezione degli stessi.

TIPO DI GASSOGENO	Lignite greggia	Mattonelle di lignite e lignite picea	Carbone fossile
Vecchi generatori tipo Liemery	60-90	50-70	30-50
Gassogeno con griglia e tegolo	110-150	80-100	50-80
Gassogeno a canna circolare o griglia fissa	—	80-100	50-80
Gassogeno a griglia girevole	150-200	120-160	90-120

sione a crogioli, il consumo di gas è molto più forte nel periodo della fusione, che non durante il periodo della lavorazione.

Supponiamo, per fare un esempio, che il consumo massimo richiesto corrisponda a 1600 Kg. di mattonelle di lignite e che si vogliano installare dei gassogeni soffiati con griglia a tegolo. Consideriamo un consumo medio di Kg. 90 per mq. ora: occorreranno circa 18 mq. di sezione di gassogeno. Se supponiamo di installare dei gassogeni a doppia griglia della sezione di m. 2,20x1,60 pari a circa 3,50 mq. cadauno, occorrerà installare, per il consumo richiesto, una batteria di 6 gassogeni; sarà prudente dotare la batteria di un settimo gassogeno di riserva.

Per quanto riguarda il fabbisogno di aria e di vapore per la gassificazione, esso può ritenersi di:

2,4 - 2,8 mc. d'aria per la gassificazione di 1 Kg. di carbon fossile,

1,7 - 2,1 mc. d'aria per la gassificazione di 1 Kg. di mattonelle di lignite,

1,7 - 2,1 mc. d'aria per la gassificazione di 1 Kg. di lignite picea,

0,9 - 1,2 mc. d'aria per la gassificazione di 1 Kg. di lignite xiloide comune,

(se l'aria è ventilata, le pressioni normalmente impiegate variano da 20 a 100 mm. di colonna d'acqua; i ventilatori debbono però essere in grado di fornire dal 30 al 50% in più del quantitativo richiesto dal calcolo)

gr. 200 - 400 di vapore per la gassificazione di 1 Kg. di carbon fossile,

gr. 150 - 250 di vapore per la gassificazione di 1 Kg. di mattonelle di lignite,

gr. 150 - 250 di vapore per la gassificazione di 1 Kg. di lignite picea,

CAPITOLO TERZO

RISCALDAMENTO CON OLII COMBUSTIBILI
E CATRAME

Sia gli olii combustibili che il catrame non bruciano come liquidi, giacchè la temperatura di accensione del liquido è considerevolmente più alta della temperatura di vaporizzazione. Se si cerca di bruciare dell'olio liquido, si ha una combustione superficiale, in quanto che brucia il vapore di olio che si forma alla superficie, con una velocità corrispondente alla quantità di ossigeno, con la quale può combinarsi.

Sia il catrame che gli olii combustibili contengono dei residui, che non vaporizzano o che non vengono scissi durante la vaporizzazione. Se questi residui vengono, durante il processo di combustione dei vapori, in contatto di pareti relativamente fredde, aderiscono ad esse formando dei depositi di coke, depositi che debbono venire regolarmente eliminati di tanto in tanto, onde evitare gravi interruzioni di esercizio. Vapori di idrocarburi formano depositi di coke anche su pareti calde, se vi è forte deficienza di aria, specie nei punti dove la velocità della fiamma è piccola.

Una rapida combustione, che sia ultimata prima che i prodotti non completamente bruciati abbiano la possibilità di arrivare in contatto delle pareti, viene ottenuta con una finissima suddivisione del combustibile e con un'intima miscelatura, delle minutissime particelle ottenute, con l'aria di combustione. La combustione viene ancora più accelerata se l'aria di combustione è fortemente preriscaldata. Va inoltre ricordato che, per evitare la formazione di depositi di coke, nelle camere di combustione la corrente di vapori di olio deve scorrere al centro e deve esser avvolta dall'aria.

I combustibili liquidi devono perciò subire una preparazione iniziale per poter esser bruciati, ed allo scopo vi sono tre metodi:

- 1) Vaporizzazione.
- 2) Polverizzazione.
- 3) Vaporizzazione e polverizzazione unite.

VAPORIZZAZIONE - Può venir eseguita nel forno od in appositi vaporizzatori. Questo secondo modo, per quanto di applicazione molto semplice, è pochissimo usato, perchè presenta molti inconvenienti, che non si è ancora riusciti a superare.

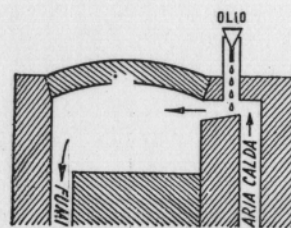


Fig 8 - Schema di riscaldamento ad olio per gocciolamento.

Il primo modo è invece schematicamente rappresentato nella fig. 8 e dà dei risultati molto buoni, però solo se l'aria è fortemente preriscaldata ed in eccesso. L'aria di combustione proviene da un recuperatore o da un rigeneratore. L'olio cade a gocce o in filo sottile su una piastra refrattaria incandescente, vaporizza immediatamente e i vapori, incontrandosi con l'aria calda, s'incendono istantaneamente. In molte costruzioni si fa gocciolare olio misto ad acqua: il vapore d'acqua, che si forma, accelera la vaporizzazione dell'olio.

Il rendimento dei forni così riscaldati è molto elevato; il sistema però è applicabile solo ai forni a fuoco continuo.

POLVERIZZAZIONE - Tutti i bruciatori praticamente impiegati si basano sulla polverizzazione, cioè sulla finissima suddivisione o nebulizzazione del combustibile liquido. Occorre però comprendere che la polverizzazione è solamente il mezzo per arrivare ad una rapida vaporizzazione ed alla rapida miscelatura del vapore del combustibile con l'aria di combustione, tanto rapida da impedire alle particelle di carbonio di giungere in contatto con le pareti del forno.

Alla polverizzazione segue la vaporizzazione e la miscelatura con l'aria; a questa segue la combustione vera e propria. Questi due stadi si susseguono così rapidamente l'uno all'altro, che non è possibile segnare dei limiti fra di loro: essi sono però delle realtà fisiche.

Dopo che l'olio ha abbandonato l'ugello di un polverizzatore, che lo ha suddiviso in minutissime particelle, entra in una cameretta di accensione e di qui nella camera di combustione. La cameretta di accensione (generalmente troncoconica) viene riscaldata dalla camera di combustione per irradiazione: in essa si vaporizzano le particelle di olio. Vaporizzano dapprima i componenti a basso punto di ebollizione, seguono quelli a punto di ebollizione più alto; infine viene raggiunta una temperatura di combustione così alta, che ogni gocciolina vaporizza completamente o il picco-

lo residuo vien scisso nei suoi elementi: carbonio e idrogeno. La combustione di questi due elementi completa la combustione dell'olio.

Il tempo necessario per lo svolgimento di questo processo, dipende dalla velocità di vaporizzazione e di miscelatura con l'aria. A parità di condizioni, la vaporizzazione è tanto più rapida, quanto più piccole sono le singole goccioline.

Per la polverizzazione dei combustibili liquidi bisogna compiere un lavoro meccanico onde vincere la loro coesione molecolare. Per quanto non sia nota la grandezza di questo lavoro, è certo che essa è in relazione colla viscosità e colla pressione del vapore dell'olio o del catrame. Alla temperatura di vaporizzazione la coesione è uguale a zero. Da questa considerazione nasce la necessità di preriscaldare i combustibili liquidi alla temperatura massima possibile, compatibile con la sicurezza di funzionamento. Il catrame vien riscaldato fino a 70° - 75° ; gli olii pesanti fino a 80° ; temperature più basse di preriscaldamento si addicono solo ad olii leggeri: un olio da 36° - 40° Bé si lascia polverizzare benissimo alla temperatura ambiente.

La polverizzazione vien prodotta in modi diversi:

- a) per pura pressione: il liquido vien sottoposto a pressione e spinto attraverso ad aperture piccolissime;
- b) per effetto di una veloce corrente di gas defluente (aria compressa o vapore);
- c) per combinazione di entrambi i processi suddetti.

Polverizzazione per pura pressione - Praticamente si ottiene una polverizzazione completa con una pressione di circa 8,5 Kg./cmq.; nei tipi costruiti si arriva fino a 12 atm. e non si scende mai sotto le 5 atm. Si fanno solo bruciatori di grande portata, dai 50 Kg./ora in su. A fornire l'aria per la combustione basta il tiraggio di un forte camino: si può però usare anche aria ventilata colla pressione di 25 - 50 mm. di colonna d'acqua.

Con questi bruciatori si ha una fiamma corta, rotonda e di diametro relativamente grande.

Polverizzazione con corrente gassosa - La corrente gassosa è normalmente costituita da aria ventilata.

Si hanno bruciatori a bassa pressione, nei quali si impiega cioè aria a bassa pressione da 0,03 a 0,14 Kg./cmq. (da 300 a 1400 mm. di colonna d'acqua) e bruciatori ad alta pressione, nei quali cioè s'impiega aria alla pressione di 4 - 9 Kg./cmq. Questi bruciatori sono pochissimo usati; per

eseguire in essi la polverizzazione è sufficiente il 7 - 10% dell'aria complessiva necessaria per la combustione; solo questo quantitativo viene fornito dal compressore per la polverizzazione: il rimanente quantitativo viene invece fornito come aria secondaria di combustione, generalmente preriscaldata. I bruciatori a bassa pressione sono quelli generalmente impiegati. Per pressioni dell'aria fino a 300 mm. di colonna d'acqua, tutta l'aria di combustione serve per la polverizzazione dell'olio, perciò passa attraverso al polverizzatore del bruciatore.

Per pressioni fra 500 e 600 mm. di colonna d'acqua, basta una metà circa dell'aria necessaria alla combustione per eseguire la polverizzazione, per cui si fa passare solo questo quantitativo attraverso il polverizzatore; il rimanente quantitativo, necessario per effettuare la combustione, viene perciò introdotto nella camera di combustione come aria secondaria, generalmente preriscaldata.

Per pressioni superiori, e precisamente da oltre 600 fino a 1400 mm. di colonna d'acqua, il quantitativo di aria necessario per la polverizzazione dell'olio diventa una frazione sempre minore (per 1400 mm. circa $\frac{3}{10}$) del quantitativo totale necessario per la combustione, così che aumenta sempre il quantitativo da apportare come aria secondaria. Praticamente però, la quantità di aria necessaria per una buona polverizzazione dipende non solo dalla pressione dell'aria, ma anche dalla pressione dell'olio e dalla sua temperatura.

Per poter realizzare delle elevate temperature nei forni riscaldati con combustibili liquidi è necessario che una buona parte dell'aria di combustione venga preriscaldata: allo scopo servono molto bene i bruciatori per pressioni da 500 a 1400 mm. di colonna d'acqua. L'aria secondaria viene fornita da un recuperatore; si raggiungono temperature molto elevate della fiamma, con aria preriscaldata a 650° ed oltre.

Il quantitativo teorico di aria necessaria per la combustione completa di 1 Kg. di nafta normale, si aggira intorno 10-11 mc.; in pratica ne occorre molta di più, per cui, nel prevedere le portate dei ventilatori, è bene considerare un fabbisogno di aria di almeno 15-17 mc. per 1 Kg. di combustibile.

CAPITOLO QUARTO

MATERIALI REFRAATTARI

Si chiamano *materiali refrattari* in generale quei prodotti dell'industria ceramica, che sono in grado di resistere all'azione delle alte temperature. Il concetto di *refrattario* non è un concetto assoluto, giacchè in realtà non esiste un corpo perfettamente refrattario; si tratta sempre di « refrattarietà relativa » di un determinato materiale rispetto ad una determinata temperatura.

Nell'industria dei refrattari, si ritengono *refrattari* quei materiali il cui punto di fusione non è inferiore al *cono Seger 26*, che corrisponde ad una temperatura di circa 1600°.

Si è accennato ai *coni Seger*. Essi sono delle piccole piramidi triangolari, dell'altezza minima di cm. 2,5 e massima di cm. 6 circa, che costituiscono una serie di miscele di silicati, studiate sistematicamente, il cui punto di fusione aumenta da uno all'altro, di un intervallo quasi costante di gradi. Servono per seguire lo sviluppo delle temperature nei forni di ogni tipo e specialmente nell'industria ceramica.

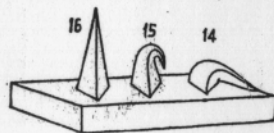


Fig. 9 — Determinazione delle temperature con i coni Seger.

Dalla fig. 9 appare come si dispongono i coni Seger. per la determinazione della temperatura raggiunta. Su un piano disposto nel punto del forno da controllare, si fissano con dell'argilla tre coni successivi, dei quali il centrale sarà quello corrispondente alla temperatura da raggiungere nel punto

stesso. A cottura ultimata il cono centrale dovrà apparire leggermente piegato, mentre quello più tenero apparirà completamente fuso ed il terzo, quello più duro, apparirà invece intatto.

Nella tabella quarta sono riportati i valori medi dei punti di fusione dei coni Seger. Essi si possono suddividere nei seguenti 5 gruppi:

dal 022 (600°) al 010a (900°) - temperatura di cottura per decorazioni su porcellana, terraglia, vetro;

dal 010a (900°) al 01a (1080°) - cottura dei mattoni normali fatti con argille ricche di ferro, delle terrecotte; temperatura di smaltatura;

dal 01a (1080°) al 10 (1300°) - cottura dei mattoni normali fatti con argille povere di ferro, del klinker, delle piastrelle per rivestimento e simili prodotti;

dal 10 (1300°) al 20 (1530°) - cottura dei materiali refrattari, della terraglia forte, della porcellana, del cemento; fusione di tutti i tipi di vetro;

dal 26 (1580°) al 42 (2000°) - determinazione della refrattarietà delle argille e dei materiali refrattari in genere.

TABELLA QUARTA

Valori medi dei punti di fusione dei coni Seger

N°	T	N°	T	N°	T	N°	T
022	600°	07 _a	960°	9	1280°	29	1650°
021	650°	06 _a	980°	10	1300°	30	1670°
020	670°	05 _a	1000°	11	1320°	31	1690°
019	690°	04 _a	1020°	12	1350°	32	1710°
018	710°	03 _a	1040°	13	1380°	33	1730°
017	730°	02 _a	1060°	14	1410°	34	1750°
016	750°	01 _a	1080°	15	1435°	35	1770°
015 _a	790°	1 _a	1100°	16	1460°	36	1790°
014 _a	815°	2 _a	1120°	17	1480°	37	1825°
013 _a	835°	3 _a	1140°	18	1500°	38	1850°
012 _a	855°	4 _a	1160°	19	1520°	39	1880°
011 _a	880°	5 _a	1180°	20	1530°	40	1920°
010 _a	900°	6 _a	1200°	26	1580°	41	1960°
09 _a	920°	7	1230°	27	1610°	42	2000°
08 _a	940°	8	1250°	28	1630°	—	—

I coni Seger debbono esser conservati all'asciutto e possono venir impiegati una sola volta.

Un tempo i coni Seger venivano forniti esclusivamente dal « Chemisches Laboratorium für Tonindustrie » - Prof. D. Seger & E. Kramer - Berlino — creatori di questo meraviglioso mezzo di controllo delle temperature. Oggi vengono prodotti anche in Francia, in Inghilterra, in America e potrebbero benissimo venire prodotti anche da noi, essendo perfettamente note le varie miscele.

La classificazione dei materiali refrattari è quanto mai complicata. Ciò dipende principalmente dal fatto che i materiali refrattari non vengono sollecitati solamente dalle alte temperature: essi quindi non debbono resistere esclusivamente all'azione delle alte temperature, ma devono contemporaneamente resistere ad azioni chimiche, fisiche, meccaniche e ad altre azioni le più svariate, che accompagnano il processo della combustione nei forni. Non solo tutte le

azioni accennate hanno influenza sulla resistenza dei materiali refrattari, ma anche il tipo di forno, suoi eventuali difetti costruttivi, sua eventuale cattiva ed imprevedente condotta, suo difettoso ed insufficiente essiccamento, suo errato avviamento (generalmente troppo rapido), sovraccarico, eccetera.

Vi sono parecchi punti di vista per la classificazione dei prodotti refrattari.

Essi possono essere distinti a seconda del loro impiego: si parla allora di materiali per forni da coke, per altiforni, per forni da vetro, per forni a cupola, ecc.

Essi possono anche distinguersi in base al loro comportamento chimico, cioè in base al loro comportamento rispetto al processo chimico che si svolge nell'esercizio del forno: si hanno così prodotti refrattari acidi, basici, semiacidi.

Possono ancora essere distinti in base alla loro resistenza pirometrica.

Anche i materiali di partenza servono talvolta per la distinzione dei materiali refrattari: così si parla di materiali di silice, di materiali alluminosi, di materiali silico-alluminosi, di materiali di bauxite, di materiali di magnesite, eccetera.

I fabbricanti distinguono i materiali anche in base alla forma costitutiva: si hanno così materiali pieni, materiali cavi, ecc.

Vi è poi una serie infinita di materiali dalle denominazioni speciali, sotto le quali i fabbricanti tendono a proteggere i loro prodotti: ad es. Vitral, Dymaxit, Corhart, Silamit, Durcit, Duras, Chromosit, Deva, Dynamidon, Alundum, ecc., il che serve ancor più a rendere confuso il campo della classificazione dei materiali refrattari.

Bisogna comunque riconoscere che è oltremodo difficile eseguire una classificazione esatta dei materiali refrattari secondo un determinato concetto base.

La classificazione proposta da Litinsky è forse quella che meglio risponde:

1) *Materiali di silice* (con alto tenore di silice): vi appartengono i comuni materiali di silice legati con calce o con argilla:

2) *Materiali alluminosi* (con alto tenore di allumina): vi appartengono i materiali refrattari prodotti con miscele di argille crude e argille cotte, i materiali di bauxite e quelli a base di corindone;

3) *Materiali silico-alluminosi*, che stanno al limite fra i materiali di silice e quelli alluminosi: sono preparati come

i materiali alluminosi, in più contengono del quarzo come dimagrante;

4) *Materiali argillosi*, che vengono prodotti con argille speciali contenenti sabbia e senza aggiunta alcuna di materiali dimagranti;

5) *Materiali carboniosi*, che sono refrattari preparati con carbone, carborundum, grafite;

6) *Materiali refrattari speciali*, preparati con magnesite, dolomite, cromite, ossido di zirconio, ecc.

Per quanto riguarda il carattere chimico dei materiali refrattari, al quale ho sopra accennato:

1) *Basici* si chiamano quei materiali, che devono la loro refrattarietà al tenore in ossidi dei metalli alcalino-terrosi (Al_2O_3 , MgO , CaO); in largo senso si possono ritenere basici anche quei materiali preparati con argille crude e cotte, che non contengono silice libera, cioè espressamente o meglio artificialmente introdotta, e che in generale contengono almeno il 35 - 40% di Al_2O_3 .

2) *Acidi* si chiamano invece, in antitesi a quelli basici, quei materiali la cui refrattarietà dipende dal tenore di silice, il quale varia dal 93 al 97%.

3) *Semi-acidi* si chiamano infine i materiali silico-alluminosi.

I materiali di silice (acidi) vengono preparati con quarzite macinata con l'aggiunta di qualche percento di materiale legante, e precisamente calce od argilla. I primi, in inglese « *dinas* », vengono prodotti generalmente usando quarziti amorfe; mentre per i secondi si impiegano generalmente quarziti cristalline.

I materiali alluminosi (basici) vengono preparati con miscele di argilla cruda ed argilla cotta (denominata generalmente « *chamotte* ») ad altissima temperatura (intorno ai 1450°); l'argilla cruda serve come legante. Questi materiali si distinguono per il loro alto tenore di allumina. Impiegando solamente argilla, il massimo tenore di allumina che si può raggiungere è teoricamente del 46%; è questo però un tenore praticamente irraggiungibile; in pratica i tenori massimi di allumina, che si possono raggiungere, variano fra il 42 ed il 43%. Per avere dei materiali alluminosi con tenori di allumina superiori a quelli indicati, si introducono nelle miscele della bauxite o del corindone.

I materiali silico-alluminosi (semiacidi) sono refrattari, nei quali la parte magra della miscela è costituita da argilla cotta (*chamotte*) e da quarzo macinato, mentre la parte legante è costituita da argilla cruda. Va notato che il quarzo riscaldato ad alta temperatura tende ad aumentare di volu-

me, mentre l'argilla tende invece a diminuire di volume; impiegando il quarzo si tende a compensare la diminuzione di volume dell'argilla, così da avere materiali, che teoricamente dovrebbero mantenere inalterato il loro volume, anche con forte riscaldamento. Il tenore medio in allumina di questi materiali si aggira fra il 16 ed il 23%, quello corrispondente di silice fra il 79 ed il 73%.

MATERIE PRIME PER MATERIALI REFRA-TARI ALLUMINOSI E DI QUARZO - Sono due grandi gruppi: le argille refrattarie per i primi e le quarziti per i secondi.

Argille refrattarie - Sono derivate dall'azione chimica e fisica del caldo e del freddo, dell'acqua e dell'anidride carbonica sulle rocce feldspatiche. Per effetto di queste azioni, riducenti ed ossidanti, su determinati componenti di dette rocce (gli alcali, i composti alcalino-terrosi, l'ossido di ferro e la silice) questi vennero asportati in tutto od in parte dalle acque agenti: si formarono così dalle rocce madri dei composti idrati di allumina e di silice.

Come le argille, che si trovano generalmente in giacimenti secondari, si sono pure formati i caolini, che si trovano generalmente in giacimenti primari e che si distinguono dalle argille refrattarie per il loro grado di purezza. I caolini hanno una colorazione molto chiara, che si avvicina sempre più al bianco, coll'aumentare della loro purezza. I caolini non sono plastici, per cui possono venir impiegati nella fabbricazione dei materiali refrattari solo come componenti magri.

Le proprietà delle argille e dei caolini sono molto diverse a seconda delle caratteristiche e del grado di disgregazione delle rocce madri.

Cuocendo le argille ad alta temperatura (1450° circa) si ottiene, come già si è detto, la « chamotte » o argilla cotta, che, macinata e mescolata con argilla cruda pure macinata, costituisce una massa plastica, con la quale si formano mattoni ed i pezzi refrattari più diversi.

Dal punto di vista chimico le argille refrattarie contengono tre gruppi di componenti, che le caratterizzano:

- 1) la sostanza argillosa propriamente detta (Al_2O_3 , $2SiO_2$, $2H_2O$),
- 2) i residui dei componenti delle masse rocciose, dopo la loro disgregazione,
- 3) i così detti « componenti accessori ».

Il componente principale è la sostanza argillosa, composta principalmente da allumina, silice ed acqua. Il com-

ponente di maggior valore e più refrattario è l'allumina (punto di fusione 1775°). La silice è più facilmente fusibile (punto di fusione 1685°). La miscela 1 mol. Al_2O_3 + 1 mol. SiO_2 è la più refrattaria. Con l'aumentare della SiO_2 (fino a 17 mol.) la refrattarietà diminuisce; coll'aumentare ulteriore della SiO_2 la refrattarietà aumenta invece nuovamente. Normalmente però le argille, o meglio le miscele di silice ed allumina, contengono anche dei fondenti, i così detti *componenti accessori*, sotto forma di ossidi di ferro, titanio, calcio, magnesio, sodio, ecc., i quali abbassano la refrattarietà delle miscele stesse.

I residui dei componenti delle rocce originarie sono costituiti principalmente da feldspato, minerale contenente alcali, e quarzo libero.

Caratteristica importante delle argille è la plasticità ed il conseguente loro *potere legante*.

Per *plasticità* s'intende quella proprietà dell'argilla di formare con acqua una massa pastosa, con la quale si possono formare, principalmente per pressatura o per colaggio, gli oggetti più svariati, che non si deformano per effetto dell'essiccamento, ossia per effetto dell'allontanamento dell'acqua.

Secondo alcuni studiosi la plasticità dell'argilla risiede nella forma sferica delle sue particelle; secondo altri nel tenore di sostanza argillosa; secondo altri ancora in fermenti organici ed in batteri presenti nell'argilla. Secondo le teorie più recenti, infine, si ritiene che la plasticità delle argille risieda nel loro contenuto di colloidi.

Le argille plastiche si ritirano considerevolmente, sia per effetto dell'essiccamento, cioè della perdita dell'acqua igroscopica contenuta e dell'acqua di preparazione dell'impasto refrattario (*ritiro di essiccamento*), sia per effetto della cottura, cioè della perdita dell'acqua di costituzione (*ritiro di cottura*).

Nei materiali refrattari, per ridurre al minimo il loro ritiro di cottura, si introduce la minor percentuale possibile di argilla cruda; per avere dei materiali che non si riducano ulteriormente durante l'esercizio dei forni, occorre che vengano cotti ad una temperatura almeno pari a quella di esercizio dei forni stessi. I materiali refrattari sono tanto più pregiati, quanto più forte è stata la loro cottura.

In base all'analisi chimica non si può giudicare il grado di refrattarietà d'una determinata argilla. Fra due argille, quella che contiene più allumina, in proporzione alla silice e ai componenti fondenti, è quella più refrattaria, cioè più difficilmente fusibile. Se per diverse argille la propor-

zione fra tenore di allumina e componenti fondenti è uguale, la più povera di silice è la più refrattaria. Per quanto riguarda la silice contenuta nell'argilla, la sua azione è completamente diversa, a seconda che questa si trova libera o legata.

Non si può parlare per le argille, come pure per il vetro, di un *punto di fusione*, ma solo di un *intervallo di fusione*. Le argille presentano un punto di rammollimento, che è di diverse centinaia di gradi inferiore al punto di fusione vero e proprio.

Le cause del rammollimento delle argille non sono ancora sufficientemente studiate. Riguardo a questa caratteristica, inoltre, le argille presentano un comportamento ben diverso a seconda che esse vengono assoggettate solo temporaneamente oppure per lungo tempo all'azione di temperature elevate.

In ogni caso è stato constatato che, salvo pochissime eccezioni, l'industria dei materiali refrattari dispone solo di argille, il cui inizio di rammollimento non supera i 1300° - 1350° (Cono Seger 10 e 12), mentre le stesse argille hanno un punto di fusione superiore a 1670° (Cono Seger 30). Col'aggiunta di dimagranti appropriati (argille cotte schistose ed anche quarzo) si riesce ad agire favorevolmente sul rammollimento dell'argilla legante.

Lo sforzo dei fabbricanti di materiali alluminosi è perciò quello di preparare delle miscele, il cui punto di rammollimento sia il più alto possibile e si avvicini il più possibile al punto di fusione.

Quarziti - L'altro grande gruppo di materie prime per la fabbricazione dei materiali refrattari è costituito dalle «quarziti». Le sabbie silicee e le arenarie vengono usate pochissimo. Le quarziti sono composte da un ammasso di piccoli grani di quarzo tenuti assieme da un legante, generalmente costituito da acido silicico o silice; cioè mentre il quarzo è un concetto mineralogico, cioè un minerale, la quarzite è un concetto petrografico, cioè una roccia.

Le quarziti impiegate nella fabbricazione dei materiali refrattari di silice sono quelle cristalline e quelle amorfe, nonché le quarziti del carbonifero, che costituiscono forme di passaggio fra le altre due.

Le prime sono di origine marina e derivano dalla continua e lenta separazione della silice dalle acque del mare originario e ridotte poi a roccia resistente per effetto della pressione generatasi durante la formazione delle montagne. La loro struttura è cristallina ed appartengono geologicamente al carbonifero, al devoniano ed al siluriano.

Le seconde, quarziti amorfe, appartengono alle formazioni secondarie e terziarie; derivano da banchi di sabbie molto fini, i cui grani vennero legati assieme da acido silicico contenuto in acque superficiali e penetrate fino ai banchi di sabbia.

Al microscopio si possono distinguere perfettamente le varie specie di quarziti, dalla dimensione e dalla forma dei grani di quarzo e dalla costituzione del cemento siliceo legante.

Per effetto del riscaldamento tutte le quarziti aumentano di volume; ciò dipende dal fatto che il quarzo, senza mutare la sua costituzione chimica, si trasforma ad alta temperatura, più o meno rapidamente, nelle forme stabili «tridimite» o «cristobalite». Il peso specifico della quarzite si abbassa da 2,65 a 2,32, cui corrisponde un aumento di volume del 14% circa.

La trasformazione in tridimite vien facilitata della presenza di un fondente vetroso.

Le quarziti cristalline si trasformano molto lentamente in tridimite, mentre quelle amorfe si trasformano rapidamente. Le prime richiedono quindi un periodo di cottura molto più lungo delle seconde, per cui queste sono le più adatte per la fabbricazione di mattoni e materiali in genere di silice; la loro cottura risulta molto meno costosa ed i mattoni subiscono aumenti di volume molto piccoli durante l'esercizio dei forni.

La temperatura minima di cottura dei materiali di silice è di circa 1450° (Cono Seger 16).

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI REFRATTARI - Le caratteristiche principali alle quali debbono rispondere i materiali refrattari sono le seguenti:

- 1) Alto punto di fusione, vale a dire forte refrattarietà.
- 2) Adatta costituzione chimica.
- 3) Forte resistenza meccanica.
- 4) Buon comportamento sotto carico alle alte temperature: cioè l'inizio del rammollimento non dev'essere eccessivamente abbassato per effetto del carico, al quale il materiale è sottoposto.
- 5) Invariabilità del volume; cioè si debbono ridurre al minimo possibile le variazioni permanenti di volume, dovute a trasformazioni chimiche e fisiche, causate nei materiali dal riscaldamento ad alte temperature. Non entrano in considerazione le variazioni dovute alla dilatazione, che sono comuni a tutti i corpi e che hanno carattere temporaneo.

6) Conduttività termica bassa o alta, a seconda dell'impiego dei materiali.

7) Calore specifico basso ed il più possibile costante, anche con l'aumentare della temperatura.

8) Buon comportamento agli sbalzi di temperatura.

9) Buona resistenza agli attacchi degli agenti chimici, specialmente delle scorie, delle ceneri, dei sali, dei vapori, del carbonio.

10) Buona compattezza, giacchè i materiali sono tanto più resistenti quanto più sono compatti; per conseguenza la densità e quindi il peso specifico, debbono essere alti al massimo. I mattoni refrattari isolanti debbono invece essere porosi il più possibile e per conseguenza avere una densità e un peso specifico minimi.

11) Massima impermeabilità al passaggio dei gas.

12) Colorazione piuttosto chiara, la quale indica un basso tenore di ferro nella massa dei materiali.

13) Buona struttura: cioè i pezzi debbono essere ben formati, di misure esatte, cotti fortemente e ben resistenti (il che si può riconoscere al suono che si ottiene battendo i materiali), ben pressati, con angoli perfetti, ecc.

14) Forme e misure appropriate all'impiego dei materiali.

Non si può produrre un materiale che soddisfi contemporaneamente a tutte queste caratteristiche, spesso in contrasto più o meno forte fra loro. Si giunge quindi sempre ad un compromesso e praticamente si sceglie un materiale che, a seconda del suo impiego, abbia in sé il più gran numero delle proprietà elencate e richieste.

IMPIEGO DEI REFRATTARI NELL'INDUSTRIA VETRARIA - Un grande errore consiste nell'unire alla farina di chamotte, del quarzo in grani, come si usa fare in molte fabbriche di refrattari. Ciò dev'essere assolutamente evitato, giacchè il quarzo va considerato come il più forte distruttore di materiali refrattari alluminosi, nel forno di fusione da vetro, sia a crogioli che a bacino: specie in questi ultimi.

Il vetro si ottiene dalla fusione di sabbia silicea (o quarzo) con soda o con potassa e con calce. Quando i grani di quarzo dei materiali refrattari vengono in contatto con questi sali, si liberano senz'altro dal complesso della massa dei materiali stessi e fondono; i materiali si fanno man mano sempre più porosi, fino a che si fessurano in tutte le direzioni e si sfasciano. Ancora più rapido è il processo di sgretolo-

lamento se i grani di chamotte sono piuttosto grossi (anche 3 mm. e più).

I crogioli debbono venir fabbricati con una massa il più possibile omogenea, senza aggiunta di quarzo e con argille e chamottes macinate molto fini. Lo stesso dicasi dei blocchi per la costruzione delle vasche dei forni a bacino, che vengono in contatto con la massa di vetro in fusione.

Materiali normali con l'aggiunta di quarzo possono essere impiegati solo là, dove non vi è alcun contatto con vetro in fusione o con fondenti. Comunque, per quanto il quarzo abbia il suo lato buono, nel senso che per effetto della dilatazione che subisce, tende a bilanciare il ritiro dell'argilla, è sempre raccomandabile di rinunciare completamente all'impiego del quarzo, giacchè anche in sua assenza tutto procede ugualmente bene.

Grande importanza ha la compattezza della massa, cioè l'assenza di aria nel suo interno (soffiature, bolle d'aria, ecc.), specie per i crogioli ed i blocchi da bacino.

Secondo le ricerche di C. Berry, la resistenza dei blocchi da bacino all'azione corrosiva del vetro fuso, dipende più dalla struttura fisica dei materiali, che dalla loro composizione chimica; come già detto, i materiali debbono essere molto compatti e quindi debbono avere un alto peso specifico, le pareti, specie quelle rivolte verso l'interno della vasca, debbono essere assolutamente lisce, onde possano sciogliersi nel vetro lentamente e senza formazione di « sassi ».

Spesso si osserva nei blocchi da bacino un tipo di corrosione per così dire cellulare, spugnosa, come ad alveare. Questa formazione dipende, fra l'altro, dall'aver impiegato per la formazione della miscela, in unione alla chamotte, vecchi blocchi e vecchi crogioli porosi. E' sconsigliabile l'impiego di questi materiali, giacchè essi hanno già assorbito quantità più o meno rilevanti di fondenti. Ci si può facilmente convincere di ciò, facendo assorbire dell'acqua a dei pezzi di questi materiali; durante l'asciugamento appariranno alla superficie i sali alcalini. Se però questi vecchi materiali sono assolutamente compatti e non hanno assorbito vetro in quantità forti, costituiscono una magnifica chamotte, in quanto che hanno sopportato una fortissima e prolungata cottura. Anche l'impiego di chamotte fresca, ma esageratamente cotta e vetrificata, può provocare la corrosione cellulare; l'argilla cruda non può legare perfettamente i grani così vetrificati, i quali perciò si staccano facilmente. Vi sono però altre cause della corrosione cellulare, non facilmente individuabili, ma che si possono far risalire

nel loro complesso, qualora le due cause precedentemente accennate siano escluse, ad insufficiente compattezza.

La durata delle vasche dei forni a bacino è di circa 10 mesi; quella dei forni attrezzati con macchine completamente automatiche è maggiore e non di rado raggiunge anche i due anni. Questa maggior durata pare dovuta al lavoro senza interruzioni fatto a temperatura rigorosamente costante.

I blocchi delle vasche dei forni a bacino, come pure i crogioli, vengono fortemente attaccati dalle materie prime della miscela non ancora completamente fuse insieme. Quando alla miscela si aggiunge molto rottame, l'attacco è meno forte.

Nei bacini da vetro si riscontrano molte volte, specie nella zona di fusione, delle corrosioni nei blocchi, delle quali nessuno, né il costruttore, né il fonditore, né il fuochista, né il compositore hanno colpa; ma la colpa va addebitata ad una cattiva scelta del materiale.

Per la preparazione dei blocchi da bacino, per le pareti della zona di fusione, è consigliabile un impasto da crogioli, con grana molto fine e basso tenore di allumina, il quale è assai ben resistente anche all'attacco del fiele del vetro; questo si forma alla superficie, durante la fusione di vetro al solfato di soda, per la incompleta riduzione del solfato a solfito, riduzione provocata dal carbone, detto appunto «di riduzione», aggiunto alla miscela.

Per il fondo e per il rimanente delle pareti, si possono impiegare anche materiali meno costosi. Infatti è noto che la vasca del forno a bacino deve venir riempita esclusivamente con rottame per la prima fusione, così tutti i blocchi risultano ricoperti da uno strato protettivo di vetro. La massa di vetro fuso, che si trova nella vasca, a causa del raffreddamento del banco si irrigidisce per circa $1/3$ della sua altezza e non prende parte al processo di fusione, per cui l'attacco ai materiali del banco e del primo terzo di parete è minimo; perciò il materiale da impiegare, come detto sopra, può essere anche di qualità inferiore.

Per i bruciatori dei forni a gas, specie di quelli a crogioli, i tedeschi consigliano le arenarie naturali, aventi un alto grado di refrattarietà. Naturalmente deve trattarsi di materiali molto puri. I pezzi provenienti dalla cava ed aventi la naturale umidità, devono venire asciugati, preferibilmente dopo esser stati ridotti alle precise dimensioni richieste per il loro diretto impiego. Il processo di asciugamento è molto lento e dura da 6 a 8 mesi. Siccome le arenarie aumentano di volume con la temperatura, occorre lasciare fra i vari pezzi delle fughe sufficientemente larghe; per pietre

bene asciugate si calcolano delle fughe di 6-8 cm. per 1 m. lineare. Bisogna proteggere accuratamente le fughe dalle materie estranee, che potrebbero impedire la libera dilatazione dei blocchi di arenaria, dilatazione che si compie solo in 6-8 settimane. Solo al secondo cambio di crogioli le fughe eventualmente non ancora completamente chiuse, vengono tappate con ottimo cemento refrattario, molto fluido, al quale è stata aggiunta dell'ottima arenaria.

Per una giusta scelta del tipo di materiale refrattario, nell'industria vetraria non entra solo in gioco la durata del forno, ma anche la bontà del prodotto. Così ad es. nei forni di fusione vengono impiegati materiali di silice per la volta e per le pareti, al di sopra del livello del vetro nei forni a bacino, per la volta e quasi tutte le pareti (eccettuati i primi corsi inferiori) nei forni a crogioli, malgrado l'atmosfera del forno sia satura di vapori alcalini.

La ragione di questa costruzione apparentemente irrazionale va ricercata non solo nel fatto che i materiali di silice si prestano meglio alla costruzione delle volte, ma anche e principalmente nel fatto che le gocce, che si formano sulla faccia inferiore della volta, costituite da silicati alcalini e che cadono nella massa di vetro fuso, si sciolgono subito, il che non avverrebbe se le gocce fossero costituite da silicati di alluminio.

La durata della volta in mattoni di silice dipende per lo più dalla direzione della fiamma. Per i forni a fiamma orizzontale, la durata può anche raggiungere gli 8-10 anni; nei forni a fiamma verticale invece è molto minore, al massimo 3-4 anni.

Per i forni di raffreddamento (*tempere*), i quali, com'è noto, hanno una temperatura di marcia relativamente bassa, bastano dei materiali refrattari comuni, per i quali non si hanno speciali esigenze.

Nei forni di fusione a crogioli giocano un ruolo molto importante i crogioli stessi, non solo per il loro costo intrinseco, ma anche per la perdita di produzione che causano le loro rotture; infatti la sostituzione dei crogioli richiede parecchi giorni, perchè prima di essere immessi nel forno, essi debbono subire un riscaldamento lento e graduale.

In via di massima i crogioli vengono fabbricati a mano direttamente nelle singole vetrerie; si fabbricano però crogioli anche per colaggio, col metodo seguito per la fabbricazione dei prodotti ceramici in generale. Di solito gli impasti vengono lavorati a mano (*ballatura*), senza ausilio alcuno di macchine mescolatrici, tagliatrici, ecc. In appositi locali, mantenuti alla temperatura costante di 18-20 gradi, i

crogioli subiscono un lento processo di asciugamento, che dura parecchi mesi. Al momento del loro impiego i crogioli vengono riscaldati a circa 900° molto lentamente, in apposito forno, ed a questa temperatura vengono immessi nel forno di fusione. Per i crogioli non si ha cioè una vera cottura, come per tutti gli altri materiali refrattari.

Ai crogioli si richiede, oltre ad una forte refrattarietà, una grande resistenza all'attacco del vetro in fusione, una grande compattezza, una forte resistenza meccanica ed una considerevole indifferenza agli sbalzi di temperatura.

Si distinguono crogioli *scoperti* e crogioli *coperti*: questi ultimi servono solo per la produzione di vetri eccezionalmente puri; la calotta, che copre il crogiolo vero e proprio, serve a proteggere il vetro, in fusione e fuso, dal fumo e dalle ceneri, trasportate dal gas.

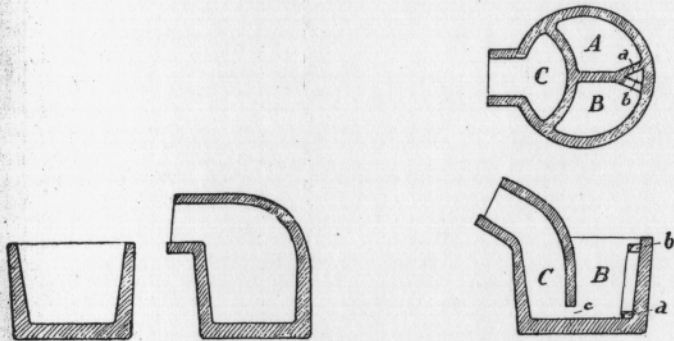


Fig. 10 — Crogioli scoperti e coperti.

Fig. 11 — Crogioli a lavorazione continua.

Vi sono anche crogioli per lavorazione continua: un tipo ben studiato è rappresentato nella fig. 11. « A » è la parte del crogiolo destinata alla fusione, nella quale la miscela da fondere viene caricata continuamente. Il vetro fuso, specificamente più pesante, scende al fondo e, attraverso alla apertura « a », passa in un canale verticale, che abbandona poi attraverso l'apertura « b », per scorrere nella parte di crogiolo « B », destinata all'affinaggio. Qui il vetro affinato, specificamente più pesante, scende al fondo e, attraverso al foro « c », passa nella parte coperta « C », destinata alla lavorazione: in questa zona infatti il vetro è più freddo che nelle altre e perciò vi può assumere la pastosità necessaria per poter essere levato e lavorato.

Normalmente il diametro dei crogioli varia da 0.60 a 1.30 m., l'altezza da 0.60 a 1.20 m.

Nei crogioli di forte diametro (per lastre), gli spessori sia del fondo che delle pareti debbono esser dimensionati con larghezza, per poter sopportare senza sforzo la pressione del vetro.

I *cerchi*, i *flotteurs*, i *galleggianti*, ecc. hanno le stesse esigenze dei crogioli. Scopo degli anelli, cerchi, ecc. è quello di tener lontano dalla superficie del vetro le impurità contenute nella massa fusa.

La fabbricazione dei crogioli richiede una grande pratica. E' necessario che argilla cruda e chamotte siano della stessa provenienza: la chamotte dev'essere stata cotta fortemente, in modo che non possa più ritirarsi. E' essenziale che la massa sia assolutamente omogenea, affinché non vi siano punti più facilmente attaccabili. I così detti « sassi » del vetro per il 99% dipendono da particelle di argilla, che si staccano dalla massa del crogiolo e non riescono a sciogliersi nella massa del vetro. Per i crogioli servono argille a basso tenore di allumina.

Più che la refrattarietà, requisito essenziale per i crogioli è la compattezza della massa; ad es. masse molto refrattarie a base di caolino non servono, perchè rimangono sempre porose e quindi offrono all'attacco della miscela fusa una superficie enorme.

La formazione di screpolature è uno dei più gravi difetti dei crogioli, non solo perchè la durata di questi ultimi risulta molto abbreviata, ma anche perchè ha influenza dannosa sulla qualità del vetro, il quale risulta facilmente sassoso, ondulato, cordato.

La formazione di screpolature (talvolta sottili come capelli) ha parecchie cause, che vanno ricercate in tutto il processo di fabbricazione: dalla preparazione dell'impasto, allo asciugamento, alla cottura nel forno di riscaldamento.

Screpolature si possono facilmente formare se la miscela è troppo grassa; d'altra parte la magrezza dell'impasto non deve superare il limite, oltre il quale l'azione legante dell'argilla cruda non riesce completa.

Nell'argilla si trovano spesso dei noduli di pirite, che debbono esser tolti accuratamente, giacchè rimanendo polverizzati nella massa sono causa di formazione di screpolature. Nella chamotte ai noduli di pirite corrispondono delle zone nere o grigio-nere, che vanno naturalmente eliminate. I rottami di crogioli debbono venir puliti a fondo e liberati da ogni traccia di vetro.

Naturalmente screpolature possono esser causate anche da insufficiente mescolatura della miscela: si hanno screpolature di ritiro là dove c'è solo argilla cruda, e scre-

polature così dette « magre », là dove c'è solo chamotte. Se il tenore di acqua aggiunta alla miscela è troppo forte, si hanno le così dette « screpolature di acqua », causate dal fatto che le parti più umide asciugano più lentamente di quelle meno umide. Screpolature possono infine verificarsi per correnti d'aria durante il periodo di essiccamento e per troppo rapida cottura.

E' consigliabile eseguire sempre la prima fusione esclusivamente con rottame di vetro.

La durata media dei crogioli va da 6 a 10 settimane.

Per la fabbricazione di vetri d'ottica, i crogioli vengono preparati con argille molto pure, il più possibile povere di ferro; si tratta di argille lavate, alle quali cioè si è fatto subire uno speciale processo di purificazione. Siccome questi crogioli sopportano una sola fusione, lo spessore delle pareti e del fondo possono venire opportunamente ridotte, mantenendole però nei limiti di sicurezza per la pressione esercitata dal vetro fuso a temperature molte elevate (1475° - 1500° della massa fusa).

CAPITOLO QUINTO

FORNI DI FUSIONE

Può darsi che un giorno si arrivi alla produzione del vetro con metodi a noi ancora ignoti e che neppure sappiamo immaginare; fino ad oggi però l'unica via è quella della fusione di miscele vetrificabili in forni di fusione.

Il vetro è cioè un prodotto della pura tecnica del fuoco. Le reazioni chimiche, che avvengono fra i componenti della miscela vetrificabile, durante il processo di fusione della miscela stessa, avvengono tutte ad alta temperatura e, in via di massima, si compiono tanto più rapidamente e tanto più completamente, quanto più elevata è la temperatura raggiunta nel forno di fusione.

Il compito principale della tecnica vetraria è quindi quello di costruire dei forni di fusione, nei quali si possono realizzare temperature sufficientemente elevate. Disponendo di forni di fusione sufficientemente caldi, fare del buon vetro non è già un'arte, bensì un problema tecnico relativamente semplice e facile.

La tecnica moderna è riuscita a costruire dei forni di fusione, nei quali si possono realizzare temperature elevatissime, anche di molto superiori a quelle strettamente necessarie per la realizzazione del processo di fusione. Un limite alle temperature dei forni di fusione è però imposto dalla resistenza pirometrica dei materiali refrattari, coi quali i forni di fusione vengono costruiti; tanto che oggi il problema centrale non è più quello di produrre delle alte temperature, bensì quello di produrre dei materiali refrattari in grado di sopportare le temperature realizzabili.

Dalle origini dell'industria vetraria fino al 1868, quando cioè Siemens costruì il suo primo forno a bacino, il vetro veniva fuso esclusivamente in forni a crogioli. I crogioli dell'antica industria vetraria egiziana (fig. 12) erano delle piccole ciotole del diametro di



Fig. 12 -- Crogiolotti egiziani

circa 20 cm., alte circa 7 cm. Queste venivano appoggiate sopra cilindri di argilla, che fungevano da supporti; fra questi si attizzava il fuo-

co di legna le cui fiamme avvolgevano le ciotole; probabilmente il complesso ciotole e supporti relativi sarà stato sistemato entro una camera adatta, a volta. La fusione era un'operazione molto laboriosa e complessa, che durava parecchi giorni, forse anche più di una settimana. Dopo una prima fusione, la massa, più o meno fluida, veniva liberata a caldo dalle scorie galleggianti su di essa, veniva quindi raffreddata, sminuzzata in piccoli pezzi e rifiuta. L'operazione si ripeteva parecchie volte, fino a che cioè si otteneva una massa sufficientemente pura e adatta alla lavorazione.

Questo metodo di lavorazione, migliorato via via il sistema di riscaldamento ed aumentata la capacità dei crogioli con l'elevarsi delle temperature raggiunte, venne seguito per decine di secoli, fino alla scoperta del focolare a griglia.

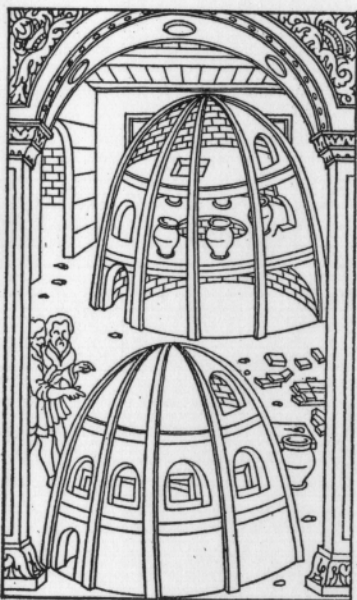


Fig. 13 — Forni vetrari del secolo XVI

Agricola ci dà una descrizione dei forni adoperati nel XVI sec. (fig. 13) per la fusione del vetro. Si tratta di camere a volta a tre piani: al piano terreno veniva fatto fuoco, al piano intermedio veniva eseguita la fusione del vetro, al piano superiore veniva eseguito il raffreddamento (tempera) degli oggetti lavorati. I vari piani erano in comunicazione fra di loro per mezzo di ampie aperture centrali.

Con l'introduzione del focolare a griglia, riuscì possibile innalzare considerevolmente la temperatura dei forni ed ottenere quindi del vetro migliore e più rapidamente, passando però sempre dalla miscela alla fritta in un primo tempo, e dalla fritta al vetro propriamente detto in un secondo

tempo. Nei forni di fusione moderni, la fusione del vetro, date le temperature elevate che in essi si possono realizzare, avviene invece in un sol tratto; il passaggio da fritta a vetro

fuso avviene nello stesso periodo di fusione e inavvertitamente.

L'industria vetraria d'oggi dispone di forni a crogioli, per la produzione di vetri fini, e di forni a bacino, per la produzione di massa.

I primi hanno un numero variabilissimo di crogioli, da uno fino a sedici e anche più, della portata anche di 1500 Kg. e più ciascuno, come nei grandi forni per la produzione di lastre colate o di specchi. La tecnica moderna riesce oggi a costruire forni a bacino anche di proporzioni veramente colossali, con capacità di vasca fino ad oltre 2000 tonn. di vetro e che forniscono dei vetri industriali assolutamente perfetti.

La tecnica costruttiva moderna dei forni di fusione tende ad abolire i forni a crogioli, anche per la lavorazione non di massa, perchè sono antieconomici, ed a sostituirli con forni a bacino a fondita, a lavorazione diurna, nei quali si ottiene del vetro di qualità pressochè pari a quello ottenuto nei forni a crogioli.

Come sopra accennato, per la fusione del vetro sono necessarie determinate e sufficientemente elevate temperature. La durata della fusione, vale a dire il tempo in ore, nel quale dalla miscela infornata si ottiene il vetro fuso, affinato, pronto per venir lavorato, dipende considerevolmente dalle temperature raggiungibili nel forno di fusione. Quanto più queste sono elevate, tanto più rapidamente si svolge il processo di fusione e di affinaggio; al contrario, quanto più basse sono le temperature del forno di fusione, tanto più lenta riesce la fusione.

L'altezza della necessaria e appropriata temperatura dipende anzitutto dalla costituzione chimica del vetro da fondere. Vetri di difficile produzione, difficilmente fusibili, i cosiddetti *vetri duri* (ad es. i vetri da laboratorio) con piccolo coefficiente di dilatazione, richiedono temperature superiori ai 1500°; altri vetri, ad esempio quelli per canna da soffiaria, per la fabbricazione di articoli vari (articoli decorativi per albero di Natale, ecc.) possono venir prodotti anche con temperature di soli 1300° circa; il vetro di quarzo invece richiede per la sua fusione temperature superiori a 1700°, temperature che non si debbono raggiungere nei normali forni di fusione industriali a gas o a nafta, perchè a queste temperature non resistono i materiali refrattari normalmente impiegati nella costruzione di tali forni.

Si può dire che nell'esercizio industriale vetrario le normali temperature stanno fra i 1400 e i 1550 gradi.

La temperatura di fusione dipende però anche dalla com-

posizione della miscela vetrificabile. E' noto ad esempio che per la fusione di un determinato vetro si richiede una temperatura superiore, se la miscela è preparata con solfato di soda, anzichè con carbonato.

Entro certi limiti, è possibile fondere i varii vetri anche a temperature più basse di quelle che sarebbe opportuno raggiungere. La fusione riesce però molto lenta; al di sotto di detti limiti, che non sono però molto inferiori alla temperatura regolare di fusione adatta per i singoli vetri da produrre, non è possibile ottenere dei vetri sufficientemente buoni.

Principale esigenza di un impianto vetrario è perciò quello di avere dei forni di fusione molto caldi e molto resistenti, ad andamento il più possibile regolare ed uniforme. Nei forni di fusione riscaldati con combustibili solidi a fuoco diretto non possono venir prodotti dei vetri sufficientemente affinati, in grado di soddisfare alle odierne esigenze; o almeno questi forni non si prestano ad una produzione di tipo industriale, nel senso moderno della parola. Per *riscaldamento a fuoco diretto* s'intende quel sistema nel quale i combustibili solidi, in sottile strato, bruciano completamente su griglie metalliche o in materiale refrattario, dalle quali si dipartono le fiamme che lambiscono l'intero laboratorio del forno; tutta l'aria di combustione passa perciò attraverso la griglia. I fumi, cioè i gas bruciati, defluiscono poi nella atmosfera attraverso appositi fori praticati nella volta o nei muri perimetrali del laboratorio stesso. In questi forni, ormai completamente scomparsi nell'industria vetraria ed interessanti solo dal punto di vista storico, il contenuto dei crogioli veniva però più o meno fortemente inquinato dalle ceneri trasportate dalle fiamme; vetro veramente incolore, comunemente detto *bianco*, poteva esser prodotto esclusivamente impiegando crogioli coperti. Di fronte a queste difficoltà, invero considerevoli, si rimane veramente ammirati alla vista di vetri tecnicamente perfetti, prodotti anche parecchi secoli addietro, e che rivelano una grande, eccezionale perizia dei vecchi « maestri vetrai ». Osservando però le vecchie collezioni di vetri, troviamo che in generale essi sono difettosi e tutte le loro manchevolezze (bolle più o meno grandi, insufficiente affinaggio, corde, ondulazioni, cattiva colorazione, ecc.) dipendono palesemente da temperatura insufficiente dei forni di fusione. In relazione alle loro modeste capacità produttive, i forni a fuoco diretto erano anche degli impareggiabili divoratori di combustibile.

Nel senso moderno della parola, possiamo chiamare *riscaldamento a fuoco diretto*, quello ottenuto dalla combu-

stione diretta di olio polverizzato, con aria compressa o vapore; oppure quello ottenuto dalla combustione diretta del polverino di carbone soffiato; oppure quello ottenuto per via elettrica. Il riscaldamento però ad olio combustibile o nafta, non è in generale economico, specie nei paesi ricchi di combustibili fossili e di buone ligniti. Il riscaldamento con polverino di carbone soffiato, assai diffuso e ben studiato in America, specie per l'applicazione a forni metallurgici, si trova da noi in Europa ancora allo stato iniziale. Il riscaldamento elettrico infine, che ha dato ottimi risultati, specialmente dal punto di vista del rendimento specifico dei forni, è possibile solo là dove si può disporre di energia elettrica — generalmente idraulica — a prezzo molto basso. E' chiaro che se si deve impiegare del combustibile solido o liquido, per la produzione dell'energia elettrica per l'alimentazione dei forni elettrici, nella maggior parte dei casi questa risulterà troppo cara.

FORNI DI FUSIONE A SEMI-GAS. - Una forma più vantaggiosa di riscaldamento dei forni è quella denominata a *semi-gas*.

Su questo principio è basato il forno « Boëtius », ancora oggi rappresentato da parecchi esemplari, specie nelle cristallerie francesi.

E' questo il tipo di forno di fusione (fig. 14) intermedio fra quello con riscaldamento a fuoco diretto ed il forno riscaldato a gas. Il suo funzionamento è basato sul fatto che il combustibile solido non viene bruciato completamente sulla griglia del focolare del forno, ma, come nei gassogeni, esso viene in buona parte gassificato. Il focolare, che potremmo chiamare « semigassogeno », è murato in un corpo solo col forno, cosicchè il gas arriva assai caldo al bruciatore.

Quando si lavora con gas è necessaria, per poter eseguire la combustione, l'aggiunta di aria secondaria. Nel forno Boëtius, l'aria secondaria di combustione, prima di entrare nel bruciatore, percorre dei canali a zig-zag lungo le pareti del focolare e quindi dei canali tracciati sotto il banco del forno; si ottiene così lo scopo di preriscaldare l'aria a spese del calore irradiato dalle pareti del focolare e del banco.

I prodotti della combustione (fumi) lasciano il laboratorio del forno attraverso a piccoli caminetti, sistemati nei pilastri di sostegno della volta, fra un crogiolo e l'altro; vengono raccolti in una cappa di lamiera o di cotto, sovrastante al laboratorio del forno, e da questa passano nell'atmosfera attraverso un appropriato camino in lamiera, sufficientemente alto per poter esercitare il tiraggio necessario.

Nel forno Boëtius si trovano insiti i due principi fondamentali del successivo sviluppo dei forni di fusione, e precisamente: riscaldamento a gas e preriscaldamento dell'aria.

Il forno Boëtius permette, per quanto con bassissimo rendimento e con una lunga durata della fusione, di raggiungere delle temperature assai elevate. Siccome però gli

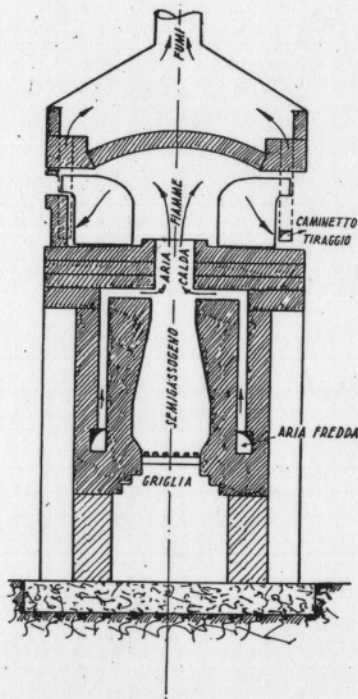


Fig. 14 — Forno a crogioli a semigas tipo Boëtius

inquinamenti della massa in fusione, dovuti a ceneri trasportate dalla fiamma, sono considerevoli, per poter avere del buon vetro è necessario impiegare crogioli coperti, per il che la fusione risulta ancor più considerevolmente prolungata. Altri svantaggi del forno Boëtius sono il forte e molesto sviluppo di fumo e lo spiacevole e poco pulito movimento di carbone e di ceneri nel locale del forno.

FORNI DI FUSIONE A GAS - Dal riscaldamento a semigas è stato abbastanza facile e semplice passare al riscaldamento a gas vero e proprio, riscaldamento che si è dimostrato senza dubbio il più perfetto ed economico, e che

perciò si è imposto ovunque, in tutte le industrie del fuoco.

In via di massima, in questi forni i gassogeni non fanno corpo col forno di fusione vero e proprio, ma vengono sistemati fuori dal forno, più o meno lontani da esso; il gas prodotto dai gassogeni viene portato al forno per mezzo di canalizzazioni in muratura od in lamiera.

Con l'allontanamento dei gassogeni dal forno di fusione è stato possibile introdurre nel forno di fusione del gas molto più puro (e ciò per lo più a spese del calore sensibile del gas), cioè quasi privo di ceneri e di polveri, che vengono depositate dal gas durante il suo percorso nelle canalizzazioni. E' così riuscito possibile abbandonare, per la stragrande maggioranza dei casi, l'impiego dei crogioli coperti, riservati ormai solo alla produzione di alcuni tipi di cristalli finissimi o di vetri d'ottica d'eccezione. Siccome la fusione nel crogiolo coperto, a causa della trasmissione molto lenta del calore, dura molto più a lungo, che non nel crogiolo scoperto, con l'impiego del riscaldamento a gas si ottenne subito un raccorciamento del tempo necessario per lo svolgimento dell'intero processo di fusione, rispetto al riscaldamento a semigas; tale raccorciamento rappresenta naturalmente un sensibilissimo vantaggio economico. Inoltre l'impianto indipendente dei generatori, in via di massima sistemato esternamente al locale del forno addetto alla lavorazione, consente di evitare l'invasione di fumo in quest'ultimo, il che non è un vantaggio indifferente.

Un considerevole aumento della temperatura di combustione nel laboratorio del forno, col conseguente aumento della capacità di fusione e del rendimento dell'intero impianto, è però raggiungibile solamente preriscaldando il gas o l'aria o entrambi, prima del loro incontro nel bruciatore. Tale preriscaldamento, per la verità molto forte, viene ottenuto a spese del calore contenuto nei fumi, che abbandonano il laboratorio, diretti al camino di tiraggio, che li diffonde nell'atmosfera. La massa di tale calore è veramente ingentissima, ed è chiaro quanto sia importante per l'economia tecnica di un impianto di fusione, sfruttarla al massimo. Però anche nelle costruzioni modernissime più perfette, nelle quali una parte del calore residuo dei fumi, dopo il passaggio nei ricuperatori, è impiegato per la produzione di vapore a scopo di riscaldamento, od anche per la produzione di energia elettrica, almeno un quarto delle calorie complessivamente prodotte e impiegate nel processo di fusione, va perduto coi fumi di scarico. Bisogna anche ricordare che, nella combustione del gas di generatore, con la relativa quantità di aria di combustione, si sviluppa anche una deter-

minata quantità di calore, che non viene completamente utilizzata per la fusione, ma che in parte considerevolissima viene impiegata per il riscaldamento dei vari gas-zavorra, contenuti nel gas, nell'aria secondaria e nei prodotti della combustione, quali anidride carbonica, vapor d'acqua, azoto, ecc.

Se i gas partecipanti al processo di combustione verranno preriscaldati, evidentemente si raggiungerà una temperatura maggiore di quella che si sarebbe ottenuta senza preriscaldamento. La temperatura della fiamma per una stessa composizione del gas e per un'uguale proporzione della miscela gas-aria, sarà tanto più alta quanto più forte sarà stato il preriscaldamento del gas e dell'aria prima del loro incontro.

I dispositivi tecnici per il preriscaldamento dell'aria e del gas richiedono però una costruzione del forno di fusione molto più complessa e molto più costosa di quella del forno a semigas. Tuttavia la maggior spesa d'impianto è larghissimamente compensata dal maggior rendimento e conseguentemente dal grande vantaggio economico di esercizio rappresentato dal forno a gas.

Vi sono due processi di preriscaldamento, e precisamente quello a *rigenerazione* e quello a *ricupero*.

La differenza essenziale fra i due sistemi non consiste nel fatto che nei forni a ricupero viene preriscaldata generalmente soltanto l'aria di combustione, o aria secondaria, mentre nei forni a rigenerazione vengono preriscaldati sia il gas che l'aria secondaria, giacchè esistono anche forni a ricupero — di recente costruzione — nei quali si effettua anche il preriscaldamento del gas, come esistono forni a rigenerazione, nei quali viene preriscaldata soltanto l'aria secondaria di combustione (specialmente e precisamente quando s'impiegano, per l'alimentazione dei forni, gas molto ricchi, quali ad es. gas di cokeria, gas illuminante, gas naturale).

La differenza invece consiste principalmente nelle diverse direzioni date alle correnti dei gas freddi e dei fumi, nel diverso principio di trasmissione del calore dai fumi ai gas freddi, e infine nel diverso comportamento della fiamma.

FORNI A RICUPERO - Caratteristico di questo sistema, rappresentato schematicamente nella fig. 15, è anzitutto il fatto che i fumi, lasciato il laboratorio del forno, prima di arrivare al camino di tiraggio, attraversano con flusso continuo una camera, detta *preriscaldatore*, od anche *scambiatore di calore*, o più comunemente *ricuperatore*, mentre l'aria se-

condaria di combustione, pure con flusso continuo e con direzione opposta a quella dei fumi, percorre nel ricuperatore dei canali, le cui pareti sono lambite dai fumi di scarico diretti al camino. Essendo le pareti costituite da sottili piastre di materiale refrattario, buona parte del calore contenuto nei fumi viene trasmessa facilmente all'aria fredda, che va così riscaldandosi sempre più, man mano che si avvicina al bruciatore del forno. L'aria fredda — sia per tiraggio naturale, il che è sempre preferibile, sia soffiata da un ventilatore — entra nel ricuperatore alla temperatura ambiente e sale, riscaldandosi nel percorso a 700° - 1000° ed anche più, fino a raggiungere il bruciatore, dove si unisce e mescola al gas pro-

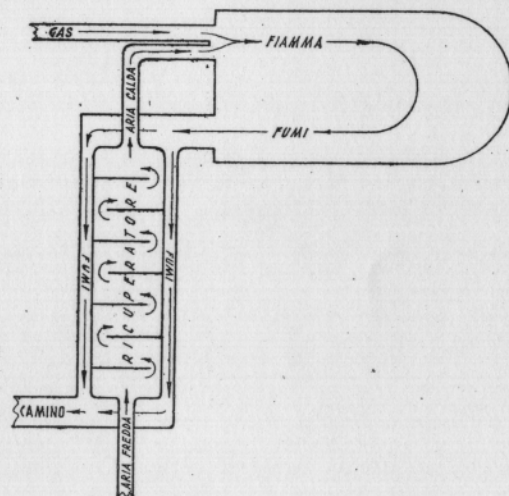


Fig. 15 — Schema di forno a gas a ricupero.

veniente dal gasogeno o dai gasogeni. La fiamma si comporta in modo che i prodotti della combustione, o fumi, i quali lasciano il laboratorio del forno alla temperatura di circa 1400° , arrivano alla camera del ricuperatore, dove, separati dai canali dell'aria da sottili pareti in materiale refrattario, cedono parte del calore in essi contenuto all'aria secondaria. La direzione delle due correnti, dei fumi diretti al camino e dell'aria secondaria in preriscaldamento, rimangono sempre invariate.

Generalmente nei forni a ricupero si rinuncia al preriscaldamento del gas; bisogna però cercare di far perdere al gas stesso, nel suo percorso fino al bruciatore, il meno possibile del calore sensibile in esso contenuto; si cerca perciò

di ridurre al minimo il tragitto del gas, sistemando i gassogeni vicino al forno; in alcuni tipi di forni a ricupero (ad es. il forno Hermansen) il gassogeno, o i gassogeni, vengono incorporati nel forno stesso. E' chiaro che i gas ricchi — come gas naturale, gas di cokeria, gas illuminante e specialmente gas caldi di carbon fossile — sono, dal punto di vista economico-termico, molto superiori ai gas di mattonelle di lignite e di lignite. Al preriscaldamento del gas si rinuncia anche per un altro motivo importante: l'esperienza insegna che non è facile mantenere per lungo tempo, durante l'esercizio dei forni, la perfetta tenuta delle parti costruttive dei ricuperatori. Mentre piccole perdite non producono un danno sensibile nei ricuperatori dell'aria, queste agiscono nei ricuperatori del gas nel senso di peggiorare considerevolmente la qualità del gas stesso, il che porta ad annullare in gran parte il vantaggio del preriscaldamento.

In generale i ricuperatori debbono venir costruiti in modo che i fumi arrivino quanto più caldi è possibile allo scambiatore di calore, che vengano portati il più vicino possibile all'aria secondaria — senza però naturalmente portarli a contatto — e infine che possano cedere all'aria la maggior parte possibile del calore in essi contenuto, abbandonando così il ricuperatore alla minima temperatura possibile.

La fiamma, che erompe dalla bocca del bruciatore, raggiunge la sua massima temperatura in un punto più o meno lontano dal bruciatore; la temperatura della fiamma diminuisce però sempre con l'allungarsi della fiamma stessa. Riesce perciò molto difficile, col riscaldamento a ricupero, realizzare nei laboratori dei grandi forni a crogioli quell'uniformità di temperatura, che è invece necessaria.

Nei forni a bacino a lavorazione continua, questo inconveniente è meno sentito, giacché lungo l'asse della vasca si deve avere, per il processo stesso di lavorazione, una caduta di temperatura di parecchie centinaia di gradi. La fiamma deve avere la massima temperatura nella zona di fusione, che è quella più vicina al bruciatore, e la minima nella zona di lavorazione, che è quella più lontana dal bruciatore. Per questa ragione è senz'altro possibile riscaldare col sistema della ricuperazione anche bacini molto grandi. In via di massima non viene impiegato in Europa, per i grandi forni di fusione a bacino, il riscaldamento a ricupero, ma bensì quello a rigenerazione; mentre invece in America il riscaldamento a ricupero trova applicazione anche in forni di grande portata.

A causa delle alte temperature cui sono soggetti, i ricuperatori vengono costruiti in materiale refrattario. Sic-

come per poter avere una rapida cessione di calore da parte dei fumi all'aria, le pareti di separazione fra i due gas debbono essere molto sottili, è necessario che il materiale refrattario sia ottimo.

In questi ultimi tempi sono stati applicati, specie in America, dei ricuperatori metallici, costruiti con acciai speciali. Si possono evidentemente realizzare, in questi ricuperatori, delle pareti di separazione, fra fumi ed aria, estremamente sottili rispetto a quelle in refrattario; dato poi l'alto coefficiente di conduttività termica dell'acciaio, la trasmissione del calore dai fumi all'aria riesce molto più rapida, che non nei ricuperatori in refrattario, per cui i ricuperatori metallici risultano di proporzioni molto ridotte; hanno inoltre il vantaggio di essere perfettamente stagni e di potersi facilmente trasportare da un punto all'altro, il che naturalmente non è fattibile coi ricuperatori in muratura.

Quanto più alta è la temperatura di entrata dei fumi nel ricuperatore e quanto più bassa è quella di uscita, tanto migliore è il rendimento del ricuperatore e tanto più forte risulta il preriscaldamento dell'aria.

Tecnicamente un ricuperatore deve rispondere alle seguenti condizioni:

- 1) Assoluta tenuta: quanto più grande è la massa refrattaria del ricuperatore, tanto più facile riesce, durante l'esercizio del forno, la formazione di fessure, cedimenti, spostamenti, ecc., cause di perdite.
- 2) I fumi, o gas di scarico, del forno devono soggiornare un certo tempo nel ricuperatore, o meglio nei canali del ricuperatore, onde poter rendere più completo possibile il passaggio di calore attraverso le pareti dei canali stessi.
- 3) La superficie di trasmissione del calore dev'essere la massima possibile; vale a dire i canali debbono essere dimensionati in modo che, per determinate dimensioni della camera di ricupero, la superficie delle pareti dei canali stessi risulti la più grande possibile, compatibilmente con le possibilità di tiraggio e con le possibilità costruttive.
- 4) I singoli canali non debbono avere sezione troppo piccola, giacché in tal caso si produrrebbero delle perdite troppo forti di tiraggio; non debbono neppure avere angoli morti, che potrebbero facilmente venir ostruiti dalla polvere trascinata dai fumi.
- 5) I singoli canali debbono essere tutti sorvegliabili dall'esterno, da dove si debbono poter pulire a mezzo di attrezzi adatti.

Come già accennato, il recuperatore è costituito da una camera, nella quale viene costruito un doppio sistema di canali incrociati, in uno dei quali passano i fumi provenienti dal forno di fusione e diretti al camino di tiraggio, e quindi sempre secondo una direzione costante: nell'altro sistema, separato dal primo da sottili pareti in refrattario, scorre invece l'aria secondaria o di combustione, pure secondo una direzione costante e generalmente opposta a quella dei fumi.

Lo schema generale del recuperatore è rappresentato nella fig. 16: al canale A pervengono i fumi di scarico del forno, i quali percorrono la serie di canali $a_1, a_2, a_3...$ fino a raggiungere il canale del camino di tiraggio C. Fra i singoli corsi di canali, esternamente ad essi, ed orientati in direzione normale a quella dei canali del fumo, si sviluppano i canali entro i quali fluisce l'aria da preriscaldare. Una costruzione del genere veniva un tempo realizzata, come nella fig. 16, con piastre speciali in refrattario, sagomate, di dimensioni adatte; la loro messa in opera però era oltremodo difficile e delicata; essendo molto numerose le linee di giunzione, dopo poco tempo di esercizio le perdite risultavano inevitabili.

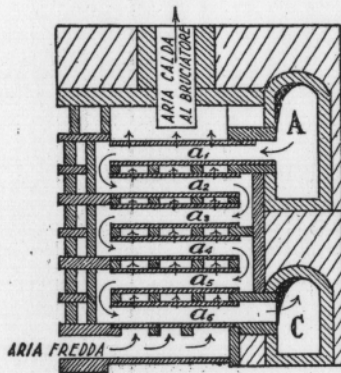


Fig. 16 — Schema generale di recuperatore.

Oggi i recuperatori si costruiscono esclusivamente con elementi costituiti da tubi in refrattario nervati (fig. 17); nell'interno dei tubi scorrono i fumi diretti al camino di tiraggio, esternamente lungo i canaletti formati dalle nervature scorre l'aria da preriscaldare.

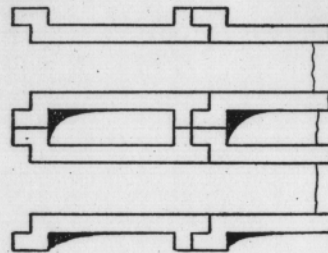


Fig. 17 — Elementi di recuperatori a canali orizzontali.

I costruttori si sono sbizzarriti sulle dimensioni degli elementi tubolari, sulla forma e sulla sezione dei tubi (sezioni quadrate, rettangolari,

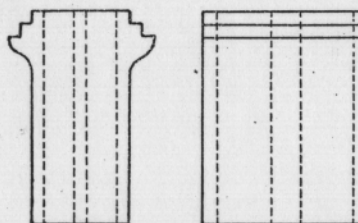


Fig. 18 — Elementi per recuperatori a canali verticali.

tubi lunghi, corti, con molte o con poche nervature) sempre allo scopo di avere una grande superficie di scambio di calore entro un determinato volume della camera del recuperatore.

Da relativamente pochi anni, e specialmente in America, si sono diffusi i recuperatori a canali verticali anziché orizzontali (fig. 18); in questi le perdite sono più difficili a verificarsi in quanto che per

effetto del peso delle colonne degli elementi di recupero, gli elementi stessi vengono pressati l'uno contro l'altro, impedendo alle giunture fra elemento ed elemento di aprirsi. Nella disposizione dello schema (fig. 16) invece, le file di elementi tendono a flettersi; ed in caso di cedimento, anche di pochi elementi, le giunzioni fra elemento ed elemento tendono facilmente ad aprirsi.

I recuperatori a canali verticali presentano però, a loro volta, degli altri svantaggi su quelli verticali, per cui la scelta può essere incerta. Comunque in America oggi i recuperatori a canali verticali sono quelli più generalmente applicati.

FORNI A RIGENERAZIONE. - In questi forni, vengono generalmente preriscaldati sia l'aria che il gas.

Il preriscaldamento avviene nel modo seguente: i rigeneratori sono costituiti da due coppie di camere indipendenti, riempite da un graticcio di mattoni refrattari, detto *impilaggio*. I fumi, che abbandonano il forno alla temperatura di circa 1400° , defluiscono verso una delle due coppie di camere e nell'attraversarle cedono una parte del calore, in essi contenuto, all'impilaggio di mattoni ed abbandonano quindi la camera ad una temperatura di circa $400^{\circ} - 500^{\circ}$, per portarsi al camino di tiraggio e di qui nell'atmosfera. Dopo un certo periodo di tempo, le camere (per esser più esatti si dovrebbe dire l'impilaggio delle camere, ma per brevità dirò sempre semplicemente « le camere ») risultano saturate di calore; vale a dire, un ancor più prolungato passaggio dei fumi attraverso ad esse, non riesce più ad innalzare sensibilmente la temperatura dei mattoni di riempimento; la temperatura dei fumi all'uscita delle camere continuerebbe ad innalzarsi, quindi le perdite di calore aumenterebbero continuamente e continuamente si abbasserebbe il rendimento del forno.

Raggiunto questo limite di saturazione, si effettua l'inversione e si dirigono i fumi all'altra coppia di camere. I gas e l'aria freddi diretti al forno di fusione vengono convogliati attraverso la coppia di camere saturate di calore, il gas attraverso ad una camera detta appunto « camera del gas » e l'aria attraverso all'altra camera, detta appunto « camera dell'aria ». Il calore assorbito e immagazzinato dall'impilaggio viene ceduto al gas ed all'aria, che vengono così preriscaldati fino a temperature anche di 1200° per l'aria e di 900° per il gas; usciti dalle camere, gas ed aria s'incontrano nel bruciatore del forno, dove si combinano bruciando con fiamma molto calda. Una parte del calore sviluppato dalla combustione si trasmette alla massa in fusione e alla muratura del forno; la altra parte, come accennato, attraverso all'altro bruciatore passa coi fumi nella seconda coppia di camere, per il riscaldamento fino a saturazione del loro impilaggio. Le camere, in fase di raffreddamento, attraverso le quali affluiscono gas e aria fredda, si chiamano « camere del fuoco »; le altre due camere, in fase di riscaldamento, attraverso le quali passano i fumi diretti al camino, si chiamano « camere dei fumi ». Quanto più a lungo il gas e l'aria freddi defluiscono attraverso le camere del fuoco, tanto più queste si raffreddano; con l'abbassarsi della temperatura dei mattoni d'impilaggio, si abbassa la temperatura di riscaldamento del gas e dell'aria e conseguentemente la temperatura della fiamma. Il processo di raffreddamento dell'impilaggio non deve perciò venir

spinto oltre un certo limite, e ciò si ottiene invertendo nuovamente la direzione dei fumi dalla seconda coppia di camere alla prima: questa diventa coppia dei fumi, mentre la seconda diventa coppia del fuoco. L'intervallo di tempo fra un'inversione e l'altra si chiama « periodo d'inversione ». Il costruttore del forno deve saper dimensionare le camere in modo che alla fine di ogni periodo d'inversione, le camere dei fumi risultino sufficientemente saturate di calore e quindi sufficientemente calde, mentre l'impilaggio delle camere del fuoco non risulti eccessivamente raffreddato.

La differenza di temperatura della fiamma nel forno fra l'inizio e la fine di un periodo d'inversione non deve supera-

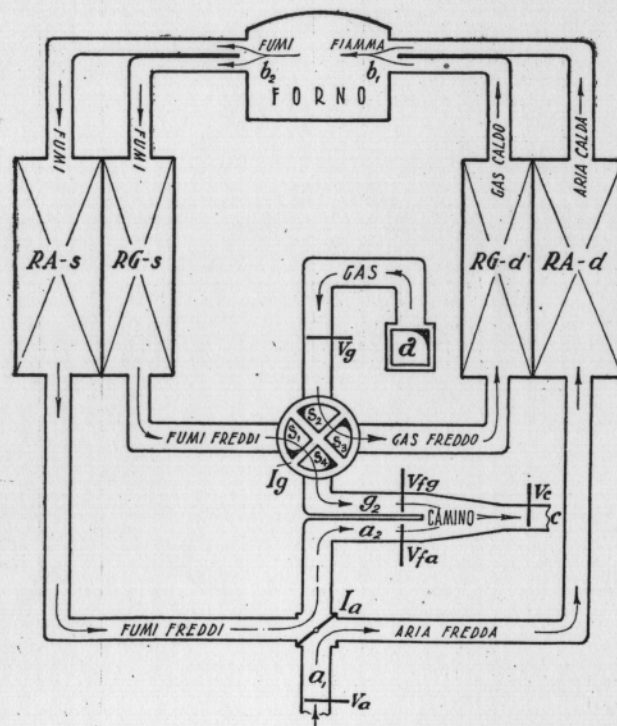


Fig. 19 — Schema di forno a gas a rigenerazione.

re i 50° . Queste inevitabili fluttuazioni della temperatura nel forno a rigenerazione non si verificano nel forno a ricupero.

La fig. 19 rappresenta uno schema del forno a rigenerazione.

RGd ed *RAd* costituiscono la coppia destra di camere di rigenerazione, *RGs* e *RA*s costituiscono la coppia sinistra: dalla prima si passa al bruciatore *b1*, dalla seconda al bruciatore *b2*. Le camere del gas sono collegate con l'inversione del gas *Ig*, mediante canali che sboccano nei settori *s1* e *s3*. Il settore *s2* riceve il gas proveniente dal collettore del gas regolato dalla valvola *Vg*. Il quarto settore d'inversione *s4* è collegato al camino di tiraggio a mezzo del canale *g2*, regolato dalla valvola *Vfg*. Le camere dell'aria sboccano superiormente nei bruciatori, e sono collegate inferiormente con l'inversione dell'aria *Ia*, la quale riceve l'aria fredda regolata colla valvola *Va* dal canale *a1* ed è in comunicazione col camino a mezzo del canale *a2*, regolato dalla valvola *Vfa*. I due canali *a2* e *g2* sboccano nell'unico canale *c*, diretto al camino di tiraggio, regolato dalla valvola *Vc*. Scopo delle inversioni del gas e dell'aria è quello di realizzare il processo descritto di riscaldamento.

Nella posizione indicata nella fig. 19 avviene quanto segue:

Parte del fuoco: il GAS attraverso la valvola *Vg*, ai settori *s2* e *s3* dell'inversione del gas arriva alla camera *RGd* e di qui al bruciatore *b1*; l'ARIA attraverso la valvola *Va* ed all'inversione dell'aria *Ia*, arriva alla camera *RA*d e di qui al bruciatore *b1*.

Parte dei fumi: i gas combusti della fiamma entrano nel bruciatore *b2*, si suddividono fra le due camere *RA*s e *RG*s e raggiungono il camino, i fumi provenienti dalla prima camera attraversando l'inversione dell'aria, quelli provenienti invece dall'altra attraversando i settori *s1* e *s4* dell'inversione del gas.

Le camere (fig. 20) - Si hanno camere alte e camere basse, camere cioè sviluppate nel senso dell'altezza e camere sviluppate nel senso della lunghezza. La loro forma ed il tipo dell'impilaggio debbono permettere il riscaldamento più uniforme possibile dei mattoni di riempimento, evitando angoli morti, spazii inattivi e mutamenti di direzione dei fumi, cause di perdite di tiraggio.

Se l'aria di combustione fredda non viene introdotta nella camera con ventilatore, ma per aspirazione naturale, co-

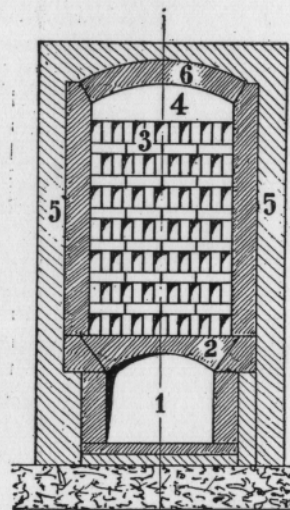


Fig. 20 - Camera di rigenerazione con impilaggio a doppio graticcio.

m'è sempre consigliabile, le camere hanno anche il compito di sviluppare la necessaria forza di aspirazione; per il che quelle alte sono preferibili a quelle basse.

Come appare dalla fig. 20, una camera si compone fondamentalmente delle seguenti parti costruttive:

- 1) Sottocamera, vale a dire prolungamento del canale di collegamento per tutta la lunghezza della camera.
- 2) Voltini o archetti in pezzi speciali, che hanno il compito di sostenere l'intero peso dell'impilaggio.
- 3) Impilaggio.
- 4) Spazio di raccolta del gas o dell'aria caldi.
- 5) Pareti della camera.
- 6) Volta della camera.

Alle estremità esterne, le camere sono chiuse da doppie murature ben sigillate, nelle quali vengono praticate, in posizioni opportune, tre o quattro aperture, in cui vengono fissati dei tubi di ferro da circa 2". Attraverso questi tubi si può verificare lo stato delle camere stesse, la temperatura dell'impilaggio, l'eventuale grado di intasamento, ecc.; detti tubi debbono esser tenuti ermeticamente chiusi, di solito verso l'esterno. In uno dei fori, circa a metà altezza dello impilaggio, è bene tenere sistemato un pirometro per la sorveglianza continua della temperatura della camera, il che è importante per regolare i periodi d'inversione.

Per quanto riguarda l'impilaggio, esso vien sempre fatto con corsi di mattoni sovrapposti l'uno all'altro; i mattoni in ogni singolo corso sono disposti secondo file parallele ed equidistanti: la distanza fra due file è generalmente uguale allo spessore dei mattoni. Le file sono disposte però secondo la lunghezza delle camere o secondo la larghezza, a corsi alternati. L'impilaggio assume così la struttura di un doppio graticcio, con dei canali orizzontali e dei canali verticali equidistanti fra loro. Secondo uno schema d'impilaggio, le varie file di mattoni dei singoli corsi dello stesso tipo risultano esattamente sovrapposte (fig. 21); secondo invece

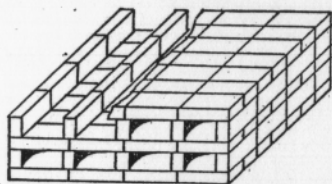


Fig. 21 — Impilaggio a canali.

un altro schema d'impilaggio, che è quello più comunemente usato e rappresentato nella fig. 20, le file dei corsi dispari dello stesso tipo risultano sovrapposte fra di loro, mentre le file dei corsi pari dello stesso tipo risultano pure sovrapposte fra di loro, ma spostate, rispetto a quelle dei corsi dispari, di uno spazio uguale allo spessore dei mattoni, cosicchè in due corsi successivi dello stesso tipo, ai canali dell'uno corrispondono i muretti pieni dell'altro. Per l'impilaggio si possono impiegare mattoni normali, ma in generale si usano mattoni di dimensioni diverse dalle normali. Lo scopo principale da raggiungere è quello di ottenere un impilaggio che presenti, fissate le dimensioni delle camere, la massima superficie di riscaldamento e la minore facilità all'intasamento, per opera della polvere e della fuliggine trasportate dai fumi.

Sono stati studiati anche dei mattoni sagomati speciali, allo scopo di evitare un rapido intasamento, il crollo di parte dell'impilaggio in caso di esplosione ed eventuali angoli morti.

Quando l'impilaggio risulta intasato, prima che il forno abbia compiuto la sua campagna lavorativa, bisogna rifarlo a caldo, il che rappresenta un lavoro assai pesante.

E' stato riscontrato che non è utile preriscaldare il gas fino a 1100°-1200° come l'aria, perchè a quella temperatura alcuni idrocarburi preziosi contenuti nel gas si scindono a contatto dei mattoni arroventati; si è constatato inoltre che la trasmissione del calore dai mattoni al gas è più rapida che non dai mattoni all'aria. In base a queste considerazioni, le camere del gas vengono costruite più piccole di quelle dell'aria e precisamente il rapporto fra i volumi della camera dell'aria e quella del gas vien tenuto uguale a:

- 2 per gas di carbon fossile
- 1,5 per gas di mattonelle di lignite
- 1,3 per gas di lignite picea
- 1,2 per gas di lignite xiloide normale.

Per quanto riguarda le temperature nei vari punti delle camere, debbono essere:

camera del fuoco dell'aria: 250°-500° all'ingresso dell'aria, 600°-800° nei corsi inferiori dell'impilaggio, 1000°-1150° nei corsi superiori, 1100°-1250° nello sbocco al bruciatore;

camera del fuoco del gas: 300°-400° all'ingresso del gas, 500°-600° nei corsi inferiori dell'impilaggio, 800°-900° nei corsi superiori, 900°-1000° nello sbocco al bruciatore.

In queste condizioni, la fiamma raggiunge la temperatura di 1600°-1700° nel laboratorio del forno ed i fumi arrivano al bruciatore d'uscita ad una temperatura di circa 1300°-1400°; a questa temperatura entrano nelle camere dei fumi, per abbandonarle alla temperatura di circa 450°-600°.

Nei forni a crogioli, durante il periodo di lavorazione, le temperature subiscono un forte abbassamento, per cui le camere stesse debbono venire fortemente riscaldate prima di poter iniziare la fusione.

Alle quattro camere si accede attraverso altrettanti canali, detti « canali di inversione », la cui muratura prende parte allo scambio di calore tra fumi e gas, fumi ed aria; cosicchè ad es. l'aria, entrando nel canale alla temperatura ambiente, arriva al piede della camera alla temperatura sopra indicata di 250° e più; lo stesso dicasi per il gas.

Per quanto riguarda la giacitura delle camere rispetto al laboratorio del forno, affinché l'andamento di esso sia regolare, occorre osservare una disposizione perfettamente simmetrica dei bruciatori, delle camere dei canali.

Non è possibile qui descrivere dettagliatamente gli apparecchi per l'inversione del gas e dell'aria. Mi limiterò a darne un'idea sommaria.

L'inversione del gas (fig. 22) è generalmente costituita da una crociera in ghisa, fatta da un anello e da una croce, che divide lo spazio circoscritto dall'anello in quattro spicchi uguali. Sotto ad ogni spicchio si trova un canale.

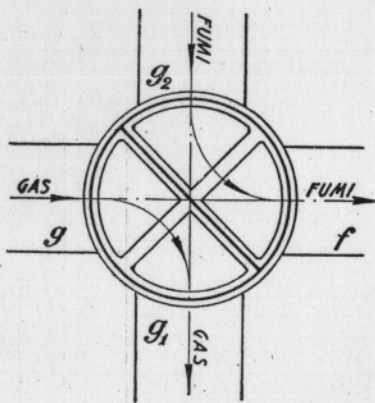


Fig. 22 — Schema di inversione del gas.

La crociera ha sezione ad U cavo e viene sempre mantenuta piena d'acqua, onde ottenere una perfetta tenuta idraulica. Un tamburo in lamiera di ferro, con una parete interna pure in lamiera, che lo divide in due mezzi cilindri perfettamente uguali e perfettamente separati fra loro, è montato in modo che il suo bordo inferiore viene a disporsi (immerso nell'acqua e quasi poggiante sulla faccia supe-

riore del fondo dell'anello) secondo il circolo mediano dell'anello, mentre il bordo inferiore della parete divisoria viene a disporsi lungo l'asse di uno dei bracci della croce. Siano *g* il canale del gas fresco proveniente dal gassogeno, *g1* il canale del gas alla camera del fuoco del gas, *g2* il canale del gas alla camera dei fumi del gas, *f* il canale portafumi al camino di tiraggio. Nella posizione indicata nella fig. 22, il gas passa dal canale *g* al canale *g1*, ed i fumi dal canale *g2* al canale *f*. Il tamburo è montato su di un dispositivo di sollevamento e rotazione, cosicchè per eseguire l'inversione il tamburo viene sollevato in modo che la parete divisoria venga a trovarsi al di sopra della crociera; quindi, sempre restando immerso nell'acqua, il tamburo vien fatto rotare di 90° e nuovamente abbassato. La parete divisoria verrà così a disporsi secondo l'asse dell'altro braccio della croce; il gas passerà, dopo l'inversione, dal canale *g* al canale *g2*, ed i fumi dal canale *g1* al canale *f*.

Per l'inversione dell'aria si usano comunemente delle valvole a farfalla; queste però col tempo si consumano e si incurvano, provocando perciò delle perdite. E' quindi consigliabile d'impiegare, anche per l'inversione dell'aria, un dispositivo a tamburo od un dispositivo analogo, a tenuta idraulica.

Durante l'operazione d'inversione, si ha una perdita di gas, in quanto il gas fresco, durante il breve periodo nel quale il tamburo rimane sollevato, passa direttamente al camino di tiraggio; lo stesso avviene anche per l'aria; e può accadere che aria e gas s'incendino ed esplodano nel canale al camino, specie quando, per un troppo prolungato periodo di inversione, gli apparecchi d'inversione si siano riscaldati eccessivamente.

La massima regolarità nel periodo d'inversione è la legge base per un buon funzionamento del forno.

Per evitare le perdite accennate, sono stati studiati ed applicati tipi più complicati di apparecchi, ma non è qui il caso di parlarne.

I forni di fusione sono allacciati ad un camino di tiraggio, che ha lo scopo di asportare dal laboratorio del forno i fumi e di disperderli nell'atmosfera. Nel forno deve sempre regnare una leggera pressione. Vi sono camini a tiraggio naturale e camini a tiraggio forzato. In questi ultimi, oggi senza dubbio i più usati, il tiraggio è dovuto all'azione di un aspiratore sistemato sul canale dei fumi; nei primi invece, il tiraggio è la conseguenza della differenza di peso fra la colonna di fumi caldi, che si muove nel tubo interno del camino, ed un'uguale colonna di aria fredda, qual'è quella atmo-

sferica. Importante è che il tiraggio si mantenga sempre costante: allo scopo si installano degli apparecchi di controllo.

FORNI A CROGIOLI A RIGENERAZIONE. - Si distinguono il sottoforno ed il forno propriamente detto, o laboratorio.

Consideriamo i forni a fiamma verticale, cioè quelli aventi i bruciatori sistemati sotto e nel banco del laboratorio e sboccanti quindi sul banco stesso (fig. 23).

Il sottoforno comprende le due coppie di camere di rigenerazione, i due bruciatori coi relativi pozzetti e relative camerette di raccolta del vetro, defluente dal banco del forno in seguito alle normali perdite di fusione, a eventuali rotture di crogioli, ecc.

Ciascuno dei due bruciatori corrisponde ad una coppia di camere; le due camere di ciascuna coppia, a mezzo di un canale brevissimo uscente in alto al di sopra dell'impilaggio, sono in comunicazione col pozzetto del bruciatore; più precisamente i detti canali sboccano nella parte alta del pozzetto del bruciatore; qui gas ed aria si mescolano e si incendiano; la fiamma entra verticalmente dalla bocca del bruciatore nel laboratorio, si sviluppa, avvolge i crogioli, lambisce la volta e le pareti e quindi, sotto forma di gas bruciat, viene attirata all'altro bruciatore e di qui, attra-

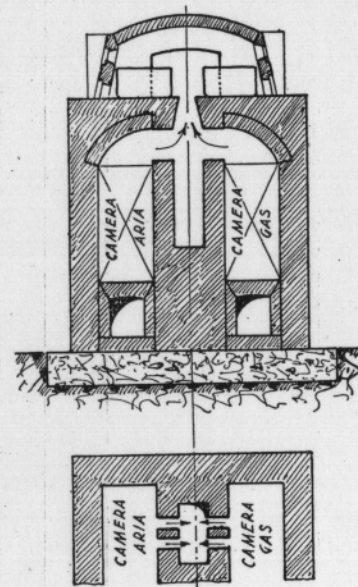


Fig. 23 — Schema di forno a crogioli a gas a rigenerazione con bruciatore a bocca libera.

verso le altre due camere, al canale che porta al camino, per effetto del tiraggio di quest'ultimo.

Sotto al pozzetto di ogni bruciatore è sistemata una camera di raccolta del vetro, avente un'apertura verso l'esterno, onde poter estrarre il vetro ivi raccolti. Queste came-

rette si chiamano normalmente *tasche* o *camerette fredde*. In caso di rottura di uno o più crogioli, le camerette fredde debbono venir vuotate il più rapidamente possibile.

Nel laboratorio si distinguono: il banco, i muri perimetrali (nei quali sono praticati gli archi, che fronteggiano i singoli crogioli, chiusi da *portine*, fino all'altezza del bordo superiore del crogiolo, e da *sopraportine* o *controbozze*, nelle quali è praticata la bocca di levata); la volta, che poggia sui muri perimetrali e sui voltini degli archi.

Questi forni hanno normalmente una forma ovale (figura 24): i due bruciatori sono sistemati sull'asse longitudinale del forno ed in modo che i crogioli vengano investiti dalla fiamma il più uniformemente possibile.

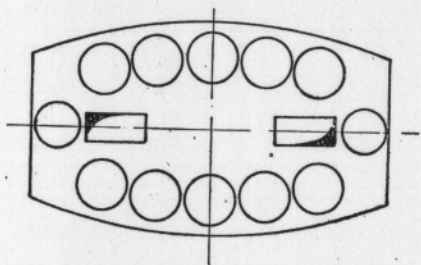


Fig. 24 — Schema di laboratorio di forno a crogioli a gas a rigenerazione con bruciatori verticali a bocca libera.

Sia il sottoforno che il laboratorio, e specialmente quest'ultimo, vengono robustamente armati con montanti, costituiti normalmente da ferri a doppio T, fissati con tiranti in tondino di ferro.

Il tipo descritto vien denominato « con bruciatori a bocca libera »; vi è però un altro tipo costruttivamente uguale, denominato « con bruciatori a griglia », che differisce dal precedente solo nella costruzione dei bruciatori; e precisamente in ogni camera non è previsto un solo sbocco nel pozzetto, ma sono previsti due o più sbocchi, che si mantengono indipendenti, così che gas ed aria s'incontrano non già nel pozzetto, ma solamente al loro ingresso nel forno (fig. 25).

Nel forno con bruciatori a bocca libera, incontrandosi gas ed aria nel pozzetto, la fiamma esce dal bruciatore già formata e già più o meno sviluppata; invece nel forno con bruciatori a griglia, incontrandosi gas ed aria solamente al loro ingresso nel forno, la fiamma si forma e si sviluppa completamente nel laboratorio.

Il punto di massima temperatura della fiamma è quindi più lontano dal bruciatore in questi forni, che in quelli con bruciatori a bocca libera; il percorso della fiamma nel forno.

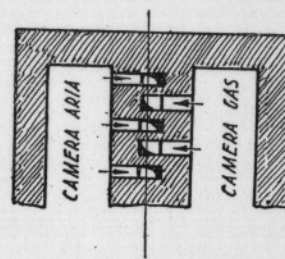


Fig. 25 — Sezione di bruciatore verticale a griglia.

con bruciatori a griglia è quindi più lungo che non in quelli con bruciatori a bocca libera; questo tipo di riscaldamento serve quindi meglio per i forni di grande superficie.

Si fanno forni con bruciatori a bocca libera per superfici da 5 a 20 mq. e forni con bruciatori a griglia per superfici da 10 a 30 mq.

Vi sono poi forni a crogioli a fiamma orizzontale. In essi (fig. 26), che sono sempre rettangolari con due file parallele di crogioli, disposte lungo le due fiancate del forno, i

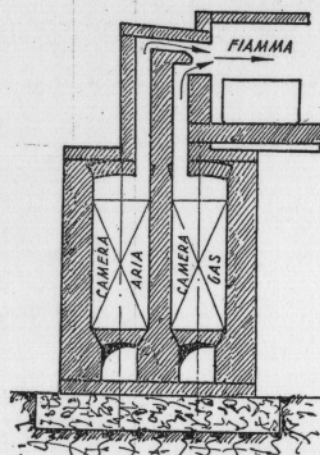


Fig. 26 — Testata di forno a crogioli a gas a rigenerazione a fiamma orizzontale.

bruciatori, anziché venir sistemati nel banco, come per i tipi precedentemente descritti, vengono sistemati sulle due testate e sboccano orizzontalmente nel laboratorio, al di sopra dei crogioli. Le fiamme, entrando nel laboratorio da una testata, percorrono tutto il forno, lambendo crogioli, pareti e volta, ed esce dall'altro bruciatore; ad ogni inversione s'inverte l'azione dei due bruciatori: la fiamma entra dal bruciatore, dal quale uscivano i fumi nel periodo d'inversione precedente e viceversa.

In questi forni i bruciatori non dispongono di un pozzetto e di una camera fredda del vetro; i canali, che portano

il gas e l'aria preriscaldati al bruciatore, sono assai più sviluppati che nei tipi precedenti e si sviluppano all'esterno del forno.

Questi sono generalmente forni di grande portata e sono usati quasi esclusivamente nell'industria del vetro colato da specchi.

Nei forni a fiamma orizzontale, la trasmissione del calore allo specchio del vetro, avviene quasi esclusivamente per irradiazione diretta della fiamma e della volta, e quindi gli strati inferiori di vetro nei crogioli vengono riscaldati solo per conduzione dall'alto verso il basso (fig. 27).

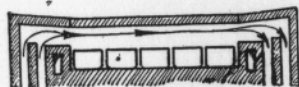


Fig. 27 — Percorso della fiamma nei forni a fiamma orizzontale.



Fig. 28 — Percorso della fiamma nei forni a fiamma verticale.

Nei forni a fiamma verticale invece il riscaldamento diretto della fiamma è minimo, mentre nettamente superiore è quello dovuto all'irradiazione della volta (fig. 28); forte è anche il riscaldamento della massa in fusione per effetto della trasmissione del calore attraverso alle pareti dei crogioli, lambiti dalla fiamma. Durante la fusione è di gran lunga preponderante il calore di irradiazione della volta, mentre, durante il periodo di lavorazione, aumenta il calore trasmesso attraverso le pareti dei crogioli.

Nel forno a fiamma orizzontale, il rendimento è migliore durante la fusione; manca però in esso il così detto *calore del banco* o *calore di fondo*, per cui, durante il periodo di lavorazione, il fondo dei crogioli si raffredda considerevolmente, il che è causa di striature e di corde nel vetro.

L'ideale sarebbe quello di avere dei forni funzionanti a fiamma orizzontale durante il periodo di fusione e con fiamma verticale durante il periodo di lavorazione.

La durata dei crogioli nei forni a fiamma verticale è più breve, di quella dei crogioli dei forni a fiamma orizzontale: lo stesso dicasi per la durata della volta.

Nei forni a volta libera, vale a dire con la volta indipendente dalle pareti del forno, sostenuta cioè dalle armature,

la volta dura normalmente da 3 a 4 anni nei forni a fiamma verticale e fino a 8 anni in quelli a fiamma orizzontale.

FORNI A CROGIOLI A RICUPERO - Anche in questi (fig. 29) si distinguono il sottoforno ed il laboratorio.

Nel sottoforno sono sistemati i ricuperatori, i canali del gas ed il canale dei fumi al camino.

Nel laboratorio si distinguono — come per i forni a rigenerazione — il banco, i muri perimetrali con i relativi archi per i crogioli, la volta.

Anche i forni a crogioli a ricupero possono essere a fiamma verticale e a fiamma orizzontale: nei primi, i bruciatori (uno, nei forni fino a quattro crogioli; due, nei forni a sei e più) sono sistemati nel banco; nei secondi invece si ha un solo bruciatore, sistemato sulla testata del forno.

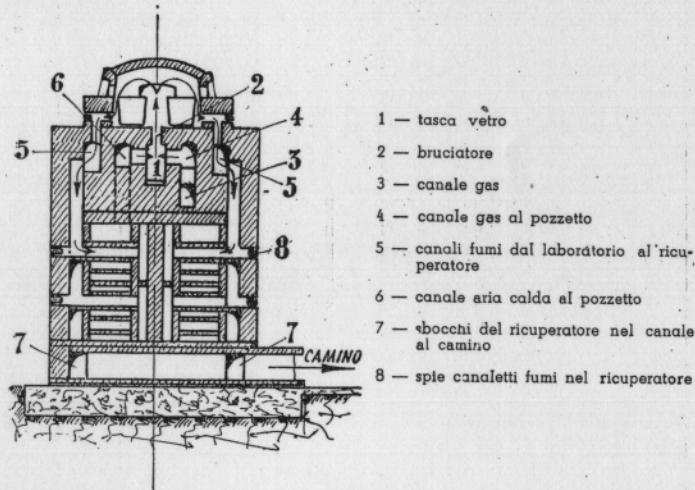


Fig. 29 — Schema di forno a gas a ricupero a crogioli, con bruciatori verticali.

I bruciatori sono costruttivamente uguali a quelli dei forni a rigenerazione. Il grande vantaggio dei forni a ricupero è che in essi non esiste inversione: la fiamma ha sempre una direzione costante. Essa entra nel forno dal bruciatore o dai bruciatori, avvolge i crogioli, lambisce la volta e le pareti del laboratorio e raggiunge poi dei fori praticati nella parte inferiore dei pilastri di sostegno degli archi, dai quali si dipartono dei canali, che portano i fumi ai ricupera-

tori; i fumi, dopo aver attraversato i recuperatori, raggiungono il canale, che li porta al camino di tiraggio.

FORNI A BACINO. - Vi sono due tipi di forni a bacino: forni a bacino *a fondita a lavorazione diurna* e forni a bacino *a lavorazione continua*.

Nella fig. 30 sono indicati gli schemi dei due tipi.

Nell'esercizio del forno a crogioli, com'è noto, la fusione e la lavorazione si alternano in periodi di tempo regolari e questi due periodi sono nettamente separati l'uno dall'altro. Mentre viene eseguita la fusione, non si può lavorare del vetro e viceversa; giacchè, mentre per la fusione si richiedono temperature aggirantisi intorno ai 1500° , per la lavorazione la tempe-

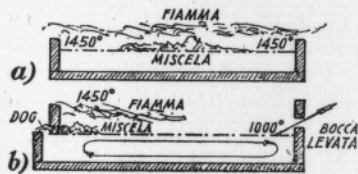


Fig 30 - Schemi di forno a bacino:
a) fondita,
b) per lavorazione continua.

ratura del vetro dev'essere di 1000° - 1150° . La durata della fusione, compreso il riscaldamento iniziale del forno per portarlo dalla temperatura di lavorazione a quella minima di infornaggio (1350° circa), è di 10-12 ore; altre 2 o 3 ore occorrono per raffreddare il vetro dalla temperatura di fusione a quella di lavorazione; rimangono da 9 a 10 ore normalmente per la lavorazione. Il ciclo completo avviene cioè in 24 ore.

Nei forni a bacino a fondita, il ciclo di esercizio è uguale a quello accennato dei forni a crogioli; in luogo di un certo numero di crogioli, si ha però una vasca, che si comporta come fosse un unico grande crogiolo.

Naturalmente tutti i forni a bacino sono a fiamma orizzontale.

Anche questi forni vengono costruiti a rigenerazione o a ricupero.

Nei forni a rigenerazione si hanno due bruciatori opposti, sistemati sulle due testate della vasca; essi agiscono alternativamente da bruciatore del fuoco e da bruciatore del fumo; la fiamma esce dal bruciatore del fuoco, percorre la vasca in tutta la sua lunghezza, ed arriva all'altro bruciatore, dal quale i fumi passano alle sottostanti camere di rigenerazione e da queste al camino di tiraggio. Nei forni a ricupero invece si ha un solo bruciatore, sistemato su di una testata del forno; da questo esce la fiamma, che, dopo aver percorso la vasca in tutta la sua lunghezza, raggiunge uno o più aperture sistemate nella testata opposta, alle quali fan-

no capo dei canali che portano i fumi ai recuperatori sottostanti. I fumi raggiungono quindi il canale, che li porta al camino.

FORNI A BACINO A FONDITA. - Il principale vantaggio dei forni a bacino a fondita, rispetto ai forni a crogioli, consiste nella grande economia realizzata nel loro esercizio. Il consumo di combustibile è almeno del 30% inferiore a quello dei forni a crogiolo di uguale portata.

Inoltre non vi è cambio di crogioli per tutta la durata della campagna lavorativa del forno (e quindi nessuna perdita di lavoro) e si possono raggiungere temperature molto elevate senza timore di rotture, come per i crogioli. Questi forni servono benissimo quando si deve produrre un tipo solo di vetro e, come già accennato addietro, danno dell'ottimo vetro, pressochè pari a quello ottenuto nei crogioli.

FORNI A BACINO A LAVORAZIONE CONTINUA. - Si è cercato di realizzare una lavorazione continua anche in forni a crogioli, impiegando crogioli appositamente costruiti ed ai quali ho accennato nel capitolo sui « Refrattari ». Questo dispositivo non ha però mai dato del vetro veramente buono, ed è perciò rimasto limitato alla produzione di quantità modeste di articoli comuni e a buon mercato.

Supponiamo ora di avere una vasca rettangolare, quale può essere rappresentata da un forno a bacino a fondita, e facciamo la seguente esperienza: riscaldiamo il bagno di vetro con fuoco intenso, ma solo su una zona limitata intorno ad una testata della vasca; il resto non viene riscaldato direttamente, ma riceve calore dalla prima parte, solo per irradiazione e per conduzione. Dalla zona opposta a quella riscaldata, leviamo continuamente del vetro per la lavorazione, mentre carichiamo continuamente nella zona calda una corrispondente quantità di miscela, che portiamo a fusione completa. Se abbiamo eseguito la costruzione in modo che il vetro, nella zona di levata, abbia la temperatura e quindi la viscosità necessaria per poter esser lavorato, siamo in grado di eseguire su questa vasca una lavorazione continua.

Nei forni a bacino il processo si svolge quindi ininterrottamente.

La vasca del bacino risulta idealmente divisa in tre zone, nel senso della sua lunghezza: nella prima, quella contro la testata da dove proviene la fiamma, si compie la fusione della miscela; in quella centrale, l'affinaggio della massa fusa; nella terza, la lavorazione del vetro fuso ed affinato. La temperatura è massima nella vasca di fusione ed è di circa

1500°-1550°; nella zona di affinaggio si mantiene leggermente più bassa e discende poi rapidamente fino alla temperatura di lavorazione di circa 1100°-1150° nella zona di lavorazione.

L'esercizio dei forni a bacino a lavorazione continua è ancor più economico di quello a fondita; si può ritenere ad es. che il consumo di combustibile sia circa pari al 52-60% di quello dei forni a crogioli di uguale portata. Il forno a bacino si presta per qualsiasi capacità produttiva. Mentre la portata massima dei forni a crogioli può ritenersi di 200 - 250 Q.li e quella dei forni a bacino a fondita può ritenersi di 40-50 Q.li di vetro lavorato nelle 24 ore, vi sono forni a bacino capaci di fornire giornalmente fino a 100-120 ton. di vetro lavorato.

Si costruiscono naturalmente bacini continui sia a rigenerazione che a ricupero.

Anche in questi forni si distinguono: il sottoforno, in cui sono sistemate le camere di rigenerazione o i ricuperatori, ed il laboratorio sovrastante, costituito dalla vasca e dai bruciatori.

La vasca è generalmente di forma rettangolare. Nei forni per la lavorazione a mano, la testata della zona di lavorazione è generalmente di forma semicircolare o semiellittica.

La tecnica industriale vetraria moderna, come già accennato, tende ad eliminare i forni a crogioli perchè antieconomici; anche per il vetro colato da specchi si va sostituendo, specie in America, il forno a bacino a quello a crogioli.

La maggior difficoltà era quella di ottenere un vetro sufficientemente affinato, ma oggi la si può ritenere ormai superata.

La lavorazione meccanica automatica richiede il forno a bacino.

Si può ritenere per certo che in avvenire il forno a crogioli verrà impiegato esclusivamente quando occorra cambiare continuamente o molto sovente il tipo di vetro, oppure per la produzione di vetri fini speciali, ad es. vetri per ottica e cristalli al piombo, giacchè l'esperienza insegna che non è possibile ottenere questi vetri, puri e perfettamente incolori, nel forno a bacino.

Fino a poco tempo fa, non si aveva un'idea esatta di come e coll'aiuto di quali forze, il vetro, dal cono di miscela galleggiante sul bagno, poteva pervenire alla zona di lavorazione. Si riteneva molto semplicemente che i filetti di vetro, non ancora perfettamente fuso ed affinato, proveniente dalla fusione della miscela, si allargassero sempre più alla superficie del bagno, fino a raggiungere la bocca di levata; frattan-

to, nel percorso, avevano il tempo per affinare ed unirsi a costituire una massa omogenea. Secondo questo concetto, gli strati superficiali del bagno di vetro sarebbero dotati di un moto di scorrimento (corrente) in direzione delle bocche di lavoro, ma solo fino a che viene introdotta miscela da una parte e levato vetro dall'altra. Questo moto dovrebbe cessare appena vengono sospese la lavorazione e l'infornamento.

Ma osservazioni accurate e precise dimostrarono che il moto di scorrimento persiste negli strati superiori del bagno, e presso a poco colla stessa velocità, anche quando dal bacino non si leva vetro, nè nel bacino si carica miscela. Esiste cioè sempre nel bacino un moto continuo, negli strati superficiali, diretto dalla zona calda verso la zona più fredda, anche quando non si lavora; il che significa che, negli strati sottostanti, deve esistere un moto contrario, cioè diretto dalla zona più fredda verso la zona calda. La massa del vetro nel bacino è quindi sottoposta ad un movimento anulare in piani verticali longitudinali, colle direzioni sopra accennate. Queste correnti vengono chiamate « correnti longitudinali ».

Le forze che obbligano il vetro a descrivere questo percorso anulare chiuso, derivano dalla differenza di temperatura fra la zona di fusione e la zona di lavorazione.

Nel bacino esiste però un'altra caduta di temperatura, che genera pure delle forze motrici esercitanti sulla massa di vetro, e precisamente la differenza di temperatura fra gli strati superficiali, sottoposti all'azione della fiamma, e gli strati inferiori, sottoposti invece al raffreddamento, molte volte anche artificialmente spinto, dovuto ai materiali refrattari del banco e del fondo della vasca. Nei primi si ha una temperatura di circa 1450°, nei secondi una temperatura sui 600°. La temperatura diminuisce continuamente dall'alto verso il basso. Siccome fra i 1000° ed i 600°, la mobilità del vetro è molto ridotta (a 600° il vetro può ritenersi rigido) è chiaro che lo strato di vetro compreso fra le dette temperature, non potrà prender parte al movimento e costituirà perciò una massa inerte, che vien denominata « vasca morta ».

La profondità delle vasche continue varia fra 60 e 140 cm. e con essa aumenta certamente lo spessore dello strato in movimento.

Nella massa di vetro della vasca vi è pure un terzo e non meno importante salto di temperatura, generato dal raffreddamento dovuto alle pareti del bacino; e per effetto del quale si genera una corrente simile a quella longitudinale, ma a questa normale. Questa è però una corrente non desiderata, in quanto che disturba considerevolmente la prima. Nella fig.

31 sono indicate schematicamente le correnti, che animano la massa di vetro di un forno a bacino.



Fig. 31 — Rappresentazione schematica delle correnti nei bacini a lavorazione continua.

La formazione del vetro, per effetto della fusione della miscela, richiede un certo determinato tempo, specie per quanto riguarda l'affinaggio. Mentre nella fusione in crogioli, si può sempre avere a disposizione il tempo necessario per l'affinaggio (prolungando il tempo destinato alla fondita), questa facoltà non esiste nella fusione nel forno a bacino; data infatti la velocità delle correnti, che trascinano il vetro verso la bocca di lavorazione, la possibilità che ha il vetro di giungere perfettamente affinato alla bocca stessa, dipende, più che altro, dal tempo concessogli per affinare, cioè dalla lunghezza del suo percorso.

Compito perciò del costruttore dei forni a bacino è quello di determinare la velocità del flusso di vetro, la lunghezza del percorso di affinaggio e la distribuzione del calore nel forno, in modo che il vetro possa affinare completamente. Naturalmente la durata dell'affinaggio, fissata la lunghezza del percorso destinato ad esso, dipende dalla velocità del flusso: questa dipende a sua volta evidentemente dalla quantità di vetro levata nelle 24 ore, espressa in kg. per 1 mq. di superficie riscaldata, e che chiamasi: portata specifica.

Superficie riscaldata del bacino è quella parte della superficie della vasca, sulla quale agisce direttamente la fiamma. Ogni bacino ha una portata massima, che vien determinata dalla grandezza della superficie riscaldata e dal grado di affinaggio, dal quale a sua volta dipende la portata specifica.

La portata specifica è di 200-300 kg. nei forni da lastre, che devono dare del vetro assolutamente buono, ed arriva anche a 600-700 kg. e più nei forni da bottiglie.

Nella fig. 32 è indicata schematicamente la superficie ri-

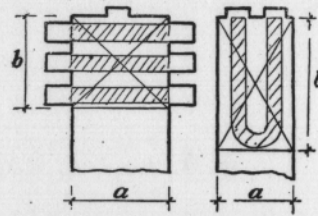


Fig. 32 — Superficie riscaldata ($a \times b$) nei bacini a fiamma trasversale e nei bacini a fiamma a ferro di cavallo.

scaldata di due forni a bacino, l'uno con riscaldamento a ferro di cavallo e l'altro con riscaldamento trasversale.

La pratica ha dimostrato che, per avere del vetro veramente buono, è opportuno opporre al deflusso del vetro verso la bocca di levata, degli ostacoli che obblighino gli strati superficiali più caldi ad abbassarsi, in modo che vengano in contatto con gli strati sottostanti più freddi, formando così una massa più omogenea.

I mezzi impiegati allo scopo sono i galleggianti, gli anelli e gli sbarramenti.

I galleggianti, detti anche ponti, sono dei blocchi di ottimo refrattario, lunghi press'a poco quanto è larga la vasca; essi vengono disposti trasversalmente al bacino, fissati, o meglio opportunamente ancorati, alle pareti, e sono immersi da 30 a 40 cm. nel vetro (raramente di più).

Originariamente si impiegavano per trattenere le impurità galleggianti sul bagno di vetro; in realtà però essi hanno lo scopo di omogeneizzare nel miglior modo la massa fusa. I galleggianti debbono esser sistemati nei punti di passaggio fra uno stadio ed il successivo, del processo di fusione del ve-

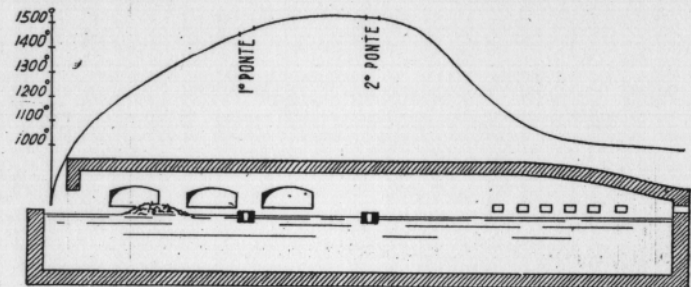


Fig. 33 -- Distribuzione delle temperature nella sezione longitudinale della vasca.

tro. Il primo galleggiante deve perciò venir sistemato là dove, terminata la fusione greggia della miscela, ha inizio l'affinaggio, cioè l'eliminazione, dalla massa ancora pastosa, delle innumerevoli bollicine gassose che l'impregnano. Il secondo galleggiante dev'esser collocato là dove ha termine l'affinag-

gio del vetro ed ha inizio il rapido abbassamento della temperatura, fino al valore necessario per la lavorazione; esso segna cioè la divisione fra la zona riscaldata del bacino e quella non riscaldata.

Nella fig. 33 è indicato schematicamente lo sviluppo delle temperature secondo la sezione longitudinale di un bacino a galleggianti; nella fig. 34 è indicata l'azione esplicata da questi ultimi.

Naturalmente se la vasca è larga, i galleggianti sono costituiti in due o più pezzi agganciati fra loro.

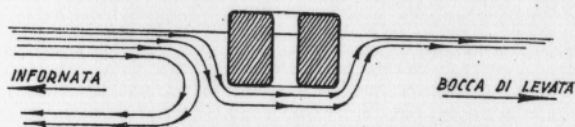


Fig. 34 — Azione dei galleggianti (o ponti, o travi).

I galleggianti sono sottoposti ad un'usura abbastanza rapida e debbono perciò esser cambiati durante il corso della campagna lavorativa del forno; per il loro ricambio si seguono i criteri ed i metodi, seguiti per il ricambio dei crogioli.

Gli *anelli* o *cerchi* hanno lo stesso scopo dei galleggianti; essi hanno diametri di 30-40 cm., spessori di 5-8 cm. e altezza di 30-40 cm.: vengono impiegati principalmente nei forni a bacino per bottiglie, generalmente corti e molto larghi, contrariamente ai bacini per lastre, che sono molto lunghi e relativamente stretti. Essi vengono disposti contro la parete di lavorazione su due o tre file.

Un altro mezzo per obbligare gli strati superficiali di vetro a sprofondarsi, allo scopo precipuo di omogeneizzare la massa fusa, è quello degli *sbarramenti*. In questo caso il bacino di fusione è separato da quello di lavorazione per mezzo di una parete trasversale, eretta dal banco della vasca fino a sopra il livello del vetro, e nella cui parte mediana, verso il basso, è praticata un'apertura rettangolare relativamente piccola. Solo una parte limitata del vetro defluente attraversa tale passaggio; la maggior parte della massa del vetro viene obbligata, dalla parete, ad invertire la direzione del suo moto.

Questi passaggi, vedi fig. 35, vengono energicamente raffreddati, anche con l'ausilio di forti ventilatori, onde ritardare l'usura dei materiali, fortemente attaccati dal vetro caldo. Ciò non ostante, l'usura dei detti materiali è considerevole. Con l'allargarsi dell'apertura, la qualità del vetro peggiora, la portata del forno diminuisce ed occorre sospendere la

lavorazione. Per la costruzione del passaggio bisogna impiegare il miglior tipo possibile di materiale refrattario (*corhart*, *sillimanite*, ecc.). La portata specifica dei forni a bacino a sbarramento è più elevata di quella dei bacini a galleggianti.

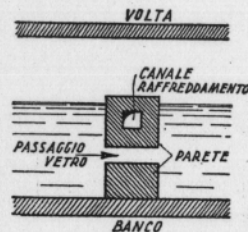


Fig. 35 — Schema di sbarramento per bacino.



Fig. 36 — Cucco o stivale.

Per piccole portate, si usano anche i forni a bacino a lavorazione continua a *cucco*, dalla denominazione toscana. In questi forni, la zona di lavorazione è molto calda; in essa sono immessi dei pezzi cavi di refrattario, a forma di stivale capovolto, con un foro nel fondo (fig. 36). Il vetro entra nello stivale o cucco, e di qui vien levato per esser lavorato.

Le parti costruttive principali della vasca sono: il banco, le pareti ed i bruciatori.

Il banco è costituito da grandi piastre refrattarie dello spessore da 25 a 35 cm., ben squadrate e sistemate l'una vicina all'altra senza interposizione di cemento refrattario. Siccome il banco non è mai molto caldo ed è sottoposto ad un attacco molto limitato, sia termico che chimico, esso non richiede del materiale refrattario di qualità superiore. In corrispondenza della zona riscaldata della vasca, le piastre debbono poter venir opportunamente raffreddate; perciò sotto il banco si crea uno spazio vuoto, dell'altezza da 20 a 40 cm.; il vuoto è interrotto solo dai pilastri, che sostengono le piastre del banco. Questo spazio vien perimetralmente chiuso, in parte più o meno grande, così da poter regolare il raffreddamento. Nei forni a bacino a fondita, essendo riscaldata tutta la vasca, tutto il banco del forno deve poter esser raffreddato.

Le pareti sono costituite da blocchi refrattari dello spessore da 30 fino a 45 cm. per i grandi bacini. I corsi superiori devono essere costruiti con blocchi di primissima qualità (*corhart*, *sillimanite*, *vitral*, ecc.); per i blocchi dei corsi inferiori le esigenze sono molto minori.

E' consigliabile ridurre al minimo i corsi dei blocchi, onde ridurre al minimo le giunture orizzontali, le quali favori-

scono l'usura; secondo la tecnica più moderna si consiglia pure di disporre i blocchi non sfalsati, ma l'uno sopra l'altro, giacchè sembra che così si prestino meno all'attacco del vetro in movimento.

Nei grandi bacini occorre prevedere anche il raffreddamento con aria ventilata delle pareti, onde rallentare l'usura dei blocchi; l'aria ventilata viene soffiata contro le giunture.

Il riscaldamento della vasca viene effettuato nei bacini a rigenerazione secondo due schemi diversi.

Nei grandi forni, lunghi e stretti per vetro da lastre, o relativamente corti e molto larghi per vetro da bottiglie, si hanno (fig. 37) più coppie di bruciatori sistemati lungo i fianchi della vasca; i bruciatori di un fianco agiscono alternativamente da bruciatore o da aspiratore dei fumi, diretti alle camere di rigenerazione e da queste al camino di tiraggio. Questo tipo di riscaldamento si chiama « riscaldamento trasversale ».

Nei forni di dimensioni normali, per vetro bianco o mezzo bianco, si ha invece una sola coppia di bruciatori, sistemati su una testata della vasca, quella opposta alla testata di lavorazione. La fiamma (fig. 38) entra nel bacino alternativamente da uno dei due bruciatori, descrive nell'interno della vasca una U e raggiunge quindi l'altro bruciatore, da dove i fumi passano alle camere di rigenerazione e quindi al camino di tiraggio. Questo tipo di riscaldamento vien chiamato « riscaldamento a ferro di cavallo ».

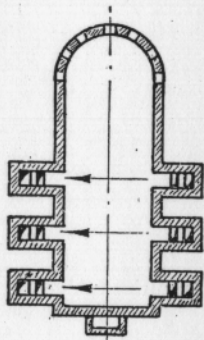


Fig. 37 — Bacino con riscaldamento a fiamma trasversale.



Fig. 38 — Bacino con riscaldamento a fiamma a ferro di cavallo.

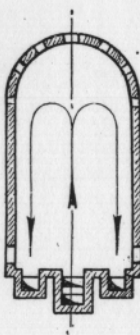


Fig. 39 — Bacino a ricupero con bruciatore centrale.

Regolando il camino di tiraggio, si può allungare o accorciare il cammino della fiamma nel bacino, cioè si può au-

mentare o diminuire la superficie riscaldata, e conseguentemente si può regolare la distribuzione delle temperature lungo la sezione longitudinale della vasca.

Nei forni a bacino a ricupero il riscaldamento è normalmente a doppio ferro di cavallo secondo due schemi costruttivi. Com'è già stato più volte ricordato, nei forni a ricupero la direzione della fiamma è sempre costante.

Secondo il primo schema (fig. 39) si ha un solo bruciatore sistemato sulla linea mediana del bacino: la fiamma entra nel laboratorio dal bruciatore, percorre una parte della vasca (la zona riscaldata) lungo la sua mediana e si divide poi in due correnti, che ritornano verso la testata, lungo le pareti, per andare ad imboccare due aperture, alle quali fanno capo due canali che portano i fumi ai recuperatori.

Secondo l'altro schema invece (fig. 40) si hanno due bruciatori sistemati ai lati della testata ed una sola apertura di uscita dei fumi sistemata al centro.

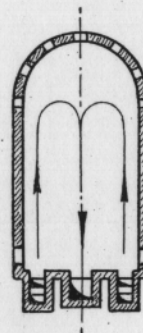


Fig. 40 — Bacino a ricupero con bruciatori laterali.

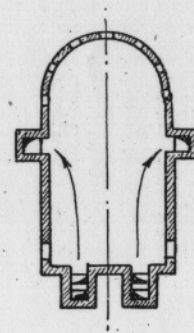


Fig. 41 — Bacino a ricupero con torrieri di scarico sui fianchi.

Un altro schema di riscaldamento abbastanza largamente usato, è quello della fig. 41. Sulla testata della vasca è sistemato il bruciatore e sulle due fiancate, all'inizio della zona di lavorazione, si dipartono i canali, che portano i fumi al recuperatore.

Per quanto riguarda la costruzione dei bruciatori, essi constano nei forni a rigenerazione di due canali verticali, separati da una parete divisoria, che portano, l'uno l'aria calda e l'altro il gas caldo, provenienti dalle rispettive camere di rigenerazione; questi due canali sboccano in una cameretta orizzontale, nella quale il gas e l'aria s'incontrano e dal

loro incontro nasce la fiamma, che entra pressochè orizzontalmente nel bacino. La parete divisoria porta alla sua estremità normalmente un pezzo speciale, detto *lingua*, di forma e dimensioni appropriate, avente lo scopo di fare avvenire l'incontro del gas coll'aria nel punto desiderato (vedi fig. 42). Si costruiscono i bruciatori in modo che il mescolamento dell'aria col gas risulti il più completo possibile.



Fig. 42 — Bruciatori per forni a bacino.

In via di massima l'incontro del gas con l'aria deve avvenire tanto più presto, quanto più grande è il bruciatore, quanto maggiore è la velocità e quanto minore è il riscaldamento del gas e dell'aria, quanto più lunga è la fiamma del gas e infine quanto più alto è il tenore in vapor d'acqua del gas. Nei bacini a ricupero, la costruzione dei bruciatori è la stessa; solo che il canale del gas proviene direttamente dal collettore del gas e quello dell'aria dal ricuperatore.

Per quanto riguarda la direzione della fiamma sulla superficie del vetro: si riteneva un tempo, che fosse opportuno spingere il più possibile la fiamma contro lo specchio del bagno, fino a portarla a contatto diretto col vetro. Per questo si costruivano le volte dei forni a crogioli molto basse; ma non si otteneva il vantaggio di una fusione più rapida, per di più i crogioli avevano una durata inferiore. Per quanto riguarda i bacini si costruivano i bruciatori in modo da spingere energeticamente la fiamma contro il vetro.

E' stato invece dimostrato che il calore vien trasmesso al bagno di vetro in grande prevalenza per irradiazione della fiamma.

E' stato anche dimostrato che nei bacini il vetro risulta difettoso, se viene in contatto diretto con la fiamma. Perciò oggi i bruciatori dei forni a bacino vengono costruiti in modo che il nastro di fiamma risulti leggermente inclinato verso lo specchio del bagno di vetro.

Per quanto riguarda l'informaggio: normalmente la ca-

rica della miscela viene effettuata attraverso ad apposite aperture praticate nei fianchi del laboratorio, in immediata vicinanza della testata, nei forni con riscaldamento a ferro di cavallo, oppure da un'apertura praticata nel centro della testata, nei forni a riscaldamento trasversale.

Negli impianti moderni, in luogo di semplici aperture, si costruiscono delle camerette avanzate (*dog*), che vengono mantenute sempre piene di miscela (figura 43) raggiungendo così il vantaggio di ridurre considerevolmente le perdite di calore durante le cariche.

Non è possibile, entro i limiti di queste brevi note, diffondersi oltre sul tema dei forni di fusione e bacino; eppure lo meriterebbe davvero.

Accennerò solo ai bacini a due vasche completamente separate fra loro.

Nella prima, normalmente riscaldata a rigenerazione, avviene la fusione e l'affinaggio del vetro, il quale passa poi nella seconda vasca, quella di lavorazione, normal-

mente riscaldata a ricupero. Nella prima regna costantemente la temperatura di fusione, nella seconda invece quella di lavorazione.

E' questo il tipo di forno usato oggi, specie in America, per la lavorazione meccanica delle bottiglie e del vetro bianco in genere; esso permette una perfetta regolazione delle temperature, specie di quella di lavorazione, e fornisce del vetro veramente perfetto.

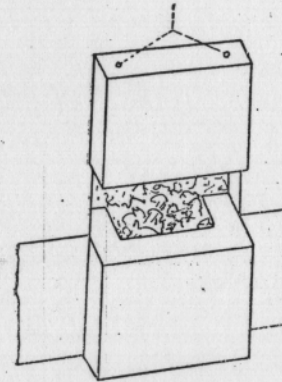


Fig. 43 — Schema di cameretta d'informata (*dog*).

CAPITOLO SESTO

CENNI SULLA CALCOLAZIONE DEI FORNI
DI FUSIONE

La calcolazione di un forno di fusione, è un problema assai complesso e non certo alla portata di tutti. Molti tecnici di valore si sono preoccupati di concentrare in poche formule semplici, in poche tabelle, in pochi grafici e in poche regole fondamentali di proporzionalità, fra le varie parti del forno, i risultati di lunghi e faticosi calcoli, come il Trinks, o di numerosissime esperienze e determinazioni pratiche, come la W.B.G. (Wärmetechnische Beratungsstelle - Frankfurt/M.).

Naturalmente non è possibile riportare qui le tabelle ed i grafici del Trinks o della W.B.G.

Accennerò brevemente ai risultati essenziali e finali degli studi della W.B.G. Questa benemerita associazione di tecnici vetrai prese in esame oltre un centinaio di forni a crogioli e a bacino, fra quelli che in Germania presentavano notoriamente un funzionamento, sia dal punto di vista tecnico che industriale, pienamente soddisfacente. Di questi forni vennero presi tutti i dati dimensionali delle varie parti e i dati di esercizio (consumo, capacità produttiva, ecc.). In base a questi dati, tradotti in tabelle ed in grafici, vennero fissati i dati medi per il proporzionamento delle varie parti del forno.

FORNI A CROGIOLI:

Portata o capacità di fusione di un forno è la quantità di vetro fuso levata dai crogioli, non la quantità di vetro effettivamente ricavato per la vendita. La quantità di vetro perduta dipende dal tipo di lavorazione, dalla perfezione della installazione e da altri fattori.

Portata specifica è la capacità di fusione per mq. di superficie del forno. La portata specifica aumenta con l'aumentare della superficie del forno. Quanto più grande è il forno tanto più vetro può venir fuso, non solo in via assoluta, ma

anche in via relativa, cioè per ogni mq. di superficie del forno. Ciò si spiega facilmente dal punto di vista termotecnico, quando si pensi che il calore portato al forno per ogni mq. di superficie è indipendente dalla grandezza del forno stesso; a parità di condizioni, sia nei grandi che nei piccoli forni, viene consumata un'uguale quantità di calore per ogni mq. di superficie del forno. Di questa massa di calore, solo una parte viene utilizzata per la fusione, la maggior parte va perduta per effetto del raffreddamento delle pareti. Siccome la superficie di raffreddamento per ogni mq. di superficie del banco, diminuisce con l'aumentare delle dimensioni del forno, così, nei grandi forni, la proporzione fra calore ceduto al vetro e calore disperso, è maggiore che nei piccoli, per cui la capacità specifica di fusione risulta maggiore nei forni grandi che nei piccoli.

Nei forni studiati dalla W.B.G. il consumo di calore risultò di 90.000 - 160.000 Cal/ora per mq. di superficie del forno. Come valore medio si può ritenere 125.000 Cal/ora per mq.

Si spiega l'indipendenza del consumo di calore per mq. di superficie dalla grandezza del forno, col fatto che la fiamma, a parità di temperatura, cede la stessa quantità di calore per ogni mq. di superficie irradiante.

Il fatto è stato confermato dai dati raccolti dallo studio dei forni a bacino, dove si ebbe un consumo di calore di circa 55.000 - 60.000 Cal/ora per ogni mq. di superficie della vasca; siccome la superficie della parte di vasca riscaldata è circa la metà della superficie totale, risulta un consumo per mq. di superficie riscaldata di circa 110.000-130.000 Cal/ora per mq., che collima con la media sopra stabilita.

Riferendo questi consumi per mq. di superficie ai chilogrammi di vetro fuso per ogni mq., si arriva a stabilire il consumo per ogni Kg. di vetro fuso, che risulta di:

circa 18.000 Cal. per 1 kg. in un forno da 6 mq.

circa 9500 Cal. per 1 kg. in un forno da 20 mq.
sempre per vetro bianco.

Da queste cifre appare chiara la dipendenza del consumo di combustibile per 1 Kg. di vetro dalla grandezza del forno. Quanto più grande è il forno, tanto minore è il consumo di combustibile per ogni Kg. di vetro fuso.

Naturalmente se il forno non è completamente sfruttato, i consumi per ogni Kg. di vetro aumentano ancora, giacché rimane sempre invariato il consumo per mq.

Crogioli - Oggi si usano quasi esclusivamente crogioli scoperti, di forma leggermente troncoconica. Lo spessore

delle pareti alla bocca è di 5-7 cm., quello del fondo di 9 - 12 cm. Il diametro varia entro limiti piuttosto ampi, da 50 a 150 cm.; normalmente si usano diametri da 70 a 120 cm. L'altezza oscilla fra 50 e 80 cm.

La *capacità teorica* di un crogiolo è data semplicemente dal suo volume interno moltiplicato per il peso specifico del vetro, cioè per 2,5.

La *capacità reale* rappresenta invece la quantità di vetro, che si può effettivamente ricavare dal crogiolo per ogni fondita: essa è inferiore alla capacità teorica perchè i crogioli non si possono riempire completamente fino all'orlo, e non si possono nemmeno svuotare completamente (una parte del vetro rimane aderente alle pareti ed una parte notevole viene lasciata sul fondo, perchè verso gli ultimi strati peggiora di qualità).

Per *fattore di sfruttamento* s'intende il rapporto fra la capacità reale e quella teorica; esso oscilla entro limiti molto ampi dal 30 al 70%; normalmente, per il calcolo dei forni ci si basa su uno sfruttamento del 60%. Il numero dei crogioli, fissato il peso di vetro da fondere, dipende dal tipo di lavorazione, che si intende fare: articoli leggeri soffiati richiedono crogioli relativamente piccoli, articoli pesanti pressati richiedono crogioli più grandi.

Lo spazio occupato dai crogioli è circa il 40-45% della superficie del banco, per grandi crogioli, minore per crogioli più piccoli.

Per una determinata capacità di fusione, sono preferibili crogioli di grande diametro e relativamente bassi, giacchè in essi, per un consumo presso a poco uguale di calore, si ottiene un vetro migliore.

Per una determinata superficie del forno, si ha però un ricavato di vetro tanto maggiore, quanto più alti sono i crogioli: si realizza così un consumo specifico inferiore.

E' perciò opportuno aumentare l'altezza dei crogioli fino al limite massimo, oltre il quale la qualità del vetro risulta peggiorata.

Forma dei forni a crogioli - I forni a crogioli si costruiscono generalmente di forma ovale o rettangolare, più raramente rotonda. Fissato il quantitativo di vetro da produrre, bisogna stabilire su quanti forni sia possibile suddividerlo, tenendo presente che quanto più il forno è grande, tanto minore risulta il consumo specifico.

Siano ad es. da fondere 6000 kg. di vetro. Dalle tabelle della W. B. G. si ha:

con 1 forno solo una sup. di 19 mq.; consumo 9700 Cal. per 1 kg. vetro;

con 2 forni una sup. di 13 mq. cad.; consumo 12200 Cal. per 1 kg. vetro;

con 3 forni una sup. di 7,2 mq. cad.; consumo 16900 Cal. per 1 kg. vetro.

La lunghezza dei forni varia da 2,5 a 11,5 m.; la larghezza da 2 a 4,8 m.

Non si possono dare dei dati fissi del rapporto fra lunghezza e larghezza del banco: esso dipende per lo più dal numero dei crogioli.

La distanza fra due crogioli contigui e quella fra i crogioli e le pareti del forno debbono esser ridotte al minimo. Invece la distanza fra due crogioli opposti, nei forni a fiamma verticale, non può scendere sotto un determinato valore, per evitare che i crogioli vengano a trovarsi investiti troppo in pieno dalla fiamma. Infine i crogioli debbono esser disposti in modo da venirsi a trovare tutti presso a poco alla stessa distanza dai bruciatori.

L'altezza dei forni varia da m. 1,20 a 1,50 fino ad un massimo di 2 m. Normalmente essa si tiene: nei forni a fiamma verticale uguale al doppio dell'altezza dei crogioli; nei forni a fiamma orizzontale il triplo, per non premere troppo la fiamma sui crogioli.

La costruzione dei forni dev'essere assolutamente simmetrica rispetto ai bruciatori, onde ottenere la massima uniformità nella distribuzione del calore.

Rigeneratori - Ho dato più addietro un'idea della forma delle camere di rigenerazione; per una loro buona utilizzazione bisogna che l'impilaggio occupi la maggior parte possibile del volume delle camere; generalmente si arriva al 50%, in qualche caso anche al 60%, in qualche altro si è molto al disotto e si scende anche al 30%.

Occorre inoltre che il cammino dei fumi sia lungo il più possibile, onde prolungare al massimo il soggiorno dei fumi nelle camere; occorre infine che i fumi lambiscano l'impilaggio il più uniformemente possibile e che vengano evitati angoli morti.

Le dimensioni normali dei mattoni d'impilaggio sono le seguenti: 8x12, 10x10, 6x12, 7x12, 7x14, 8x15, 8x16; la lunghezza è generalmente di 25 o 50 cm. La superficie riscaldante riesce tanto più grande, quanto più piccole sono le sezioni dei mattoni; non si può però scendere sotto un certo limite, altrimenti diventa difficile la pulizia e facili gli intasamenti.

L'altezza interna delle camere varia normalmente da m. 1,60 a 2, nei forni a fiamma verticale con bruciatori a bocca libera; da m. 1,80 a 2,40 nei forni con bruciatori a griglia; nei grandi forni a fiamma orizzontale arriva anche a 3 m.

La lunghezza interna varia rispettivamente da m. 1,50 a 2,50; da m. 2 a 2,80; da m. 4 a 9. La larghezza da m. 1 a 1,20; da m. 1 a 1,50; da m. 1,50 a 2 e in qualche caso fino a 2,50.

La superficie riscaldata di una coppia di camere, in base alle statistiche della W.B.G., sta normalmente fra 15 e 20 mq. per ogni mq. di superficie del forno. Facendo il calcolo della stessa superficie in base al consumo specifico di calore, alla durata della permanenza dei fumi nella camera, ai coefficienti di trasmissione del calore dei materiali, ecc., si arriva alle stesse conclusioni.

Rapporti fra le camere del gas e dell'aria. - E' opportuno riscaldare il gas meno dell'aria, giacchè riscaldando troppo il gas (oltre 900°) si provoca la scissione dei preziosi idrocarburi in esso contenuti. Perciò le camere del gas si fanno sempre più piccole di quelle dell'aria. Fra le due si stabilisce (come si è già detto a suo tempo) un rapporto, variabile in base al combustibile usato come segue:

carbone	1:2
mattonelle di lignite	1:1,5
lignite picea	1:1,3
lignite xiloide e legna	1:1,2

La sistemazione delle camere deve essere sempre assolutamente simmetrica rispetto all'assè del forno.

Bruciatori. - Hanno principalmente lo scopo di preparare la miscelatura del gas e dell'aria di combustione o secondaria, in modo che la fiamma si sviluppi calda al massimo e con la forma più appropriata; debbono inoltre consentire una omogenea distribuzione del calore nel laboratorio del forno. Non è possibile entrare nei dettagli sulla costruzione dei bruciatori, dirò solo che questa dev'essere tale, da consentire una perfetta mescolanza del gas e dell'aria.

Per quanto riguarda la temperatura, lo scarto massimo fra bruciatore del fuoco e bruciatore dei fumi dev'essere di 170 gradi.

Circa le dimensioni dei bruciatori va notato che: quanto più piccola è la sezione del bruciatore, tanto più grande è la velocità di deflusso dei gas e quindi della fiamma, la quale risulta più sottile e più lunga e mantiene più costante la sua direzione; se queste caratteristiche della fiamma sono desiderabili nei forni a bacino, non lo sono nei forni a crogioli

a fiamma verticale, non lo sono in grado minore nei lunghi forni a fiamma orizzontale.

Una grande sezione dei bruciatori è però più dannosa ancora, la fiamma risulta troppo corta, il riempimento del laboratorio del forno con la fiamma risulta pressochè impossibile, occorre far affluire al bruciatore molto più gas del necessario, e per conseguenza aumenta il consumo di combustibile. Sezioni opportune dei bruciatori, secondo la W.B.G., stanno fra 1,5 e 2,5% della superficie del forno.

Anche col calcolo in base ai consumi specifici di calore ed alle velocità di deflusso dei gas e dei fumi, si arriva a questo risultato.

FORNI A BACINO. - Similmente a quanto già detto per i forni a crogioli, *portata o capacità di fusione giornaliera* di un forno a bacino è la quantità di vetro fuso ricavabile nelle 24 ore.

Capacità di fusione specifica è la quantità di vetro prodotto in 1 ora su 1 mq. di superficie riscaldata.

Nei bacini a fondita la superficie riscaldata si identifica con la superficie totale della vasca; nei bacini continui, indipendentemente dal tipo di vetro prodotto, la superficie riscaldata costituisce in generale tra il 50 ed il 60% della superficie totale.

Come per i forni a crogioli, la capacità di fusione specifica aumenta con l'aumentare della superficie del banco. Per essa si possono assumere i seguenti valori:

vetro bianco da 20 a 30 kg. di vetro per 1 mq. di superficie riscaldata;

vetro da bottiglia da 20 a 30 kg. di vetro per 1 mq. di superficie riscaldata;

vetro da finestra da 15 a 25 kg. di vetro per 1 mq. di superficie riscaldata.

I valori più bassi valgono per bacini di piccole dimensioni (20 mq. circa) e quelli più alti per bacini di grandi dimensioni (60 mq. ed oltre).

Il *carico termico specifico*, cioè il consumo di calorie per mq. di superficie riscaldata, è indipendente dalle dimensioni del forno e varia; nei forni considerati dalla W.B.G., da 85.000 a 125.000 Cal./mq.ora. Per un calcolo preventivo si può assumere come base il valore medio di 105.000 Cal. per mq. di superficie riscaldata, per ora.

Dividendo il carico termico specifico per la capacità di fusione specifica si ha il consumo di calore per 1 kg. di vetro fuso, che diminuisce con l'aumentare delle dimensioni

del bacino, e che è comunque inferiore a quello che si ha per un forno a crogioli.

Così in un bacino per lastre di 40 mq., che ha una capacità di fusione specifica di 21 kg./mq.ora, il consumo di calore per la fusione di 1 kg. di vetro risulta di:

$$105.000 : 21 = 5.000 \text{ Cal.}$$

mentre per un bacino di 80 mq. con una capacità di fusione specifica di 26 kg./mq.ora si ha:

$$105.000 : 26 = 4.000 \text{ Cal.}$$

Notiamo per inciso che il calore di fusione rappresenta solo una parte del calore totale, che si consuma nella produzione del vetro; ad esso va aggiunto il calore per i forni ausiliari, specialmente di riscaldamento e di raffreddamento (tempera). Il consumo totale di calore per 1 kg. di vetro si ha moltiplicando il calore di fusione in generale per:

- 1,8 - 2 per il vetro bianco,
- 1,1 - 1,2 per il vetro da bottiglie,
- 1,6 - 2 per il vetro da lastre soffiate,
- 1,1 - 1,2 per il vetro da lastre tirate,
- 1,1 - 1,2 per il vetro da specchi colato.

In base ai dati sopra riportati, si calcola la superficie dei bacini.

Si voglia, ad es., costruire un bacino per produrre 180 Q.li nelle 24 ore di vetro per bottiglie. Prendiamo la media dei valori dati per la capacità di fusione specifica, cioè 25 kg./mq.ora. La superficie riscaldata della vasca dovrà essere di:

$$180 : (25 \times 24) = 30 \text{ mq.}$$

che corrispondono a 50-60 mq. di superficie totale.

In base alla superficie riscaldata della vasca si calcolano gli altri elementi del forno.

Rigeneratori. - La superficie dell'impilaggio di una coppia di camere si determina moltiplicando per 25-30 la superficie riscaldata della vasca. Dalla superficie dell'impilaggio si risale al suo volume (che dipende dal tipo di impilaggio scelto) e quindi al volume delle camere.

Circa il rapporto fra la camera del gas e quella dell'aria, i tipi d'impilaggio, le dimensioni normali dei mattoni, ecc., rimandiamo a quanto detto in proposito sui forni a crogioli.

Ricuperatori. - La superficie totale interna dei canali dei ricuperatori (canali dei fumi) dev'esser tenuta 10-15 volte più grande della superficie riscaldata del banco (è meglio orientarsi verso il valore più alto).

Brucciatori. - Rimandiamo a quanto s'è detto in generale su questo argomento a proposito dei forni a crogioli.

La loro sezione si fa in generale uguale al 2-3% della superficie riscaldata del banco.

REGOLAZIONE DELLA COMBUSTIONE. - L'azione della fiamma prodotta dalla combustione del gas di generatore con l'aria secondaria di combustione nel laboratorio, per una determinata costruzione del forno e dei bruciatori, dipende principalmente dalla quantità di gas, che viene bruciata nell'unità di tempo e dalla proporzione fra gas ed aria. La quantità di gas dipende dal consumo di calore richiesto dalla fusione nei suoi vari periodi; per contro il fabbisogno di aria dipende dal grado di eccesso di aria, che si deve avere per ottenere una buona fiamma neutra od ossidante o dal grado di eccesso di gas che si deve avere per ottenere una fiamma riducente, quale eventualmente si desidera avere nei forni.

Non si possono dare delle indicazioni numeriche generali.

Dalle proporzioni fra gas ed aria dipendono la composizione dei prodotti di combustione, la lunghezza, la temperatura, il colore, la luminosità e l'azione chimica della fiamma.

Per la combustione completa del gas è necessaria una quantità teorica di aria, che si può calcolare facilmente in base alla costituzione del gas. Per la combustione di 1 mc. di gas necessita teoricamente 1-1,3 mc. di aria; se la combustione è perfetta, nei fumi si trovano il 19-20% di CO₂ ed il 79-80% di N₂: non sono più presenti gas combustibili come CO, H₂, CH₄ e neppure ossigeno.

Ma con la quantità teorica di aria di combustione, nei forni non si ottiene mai una combustione perfetta, la fiamma è troppo lunga, la velocità di accensione è troppo piccola e piccola risulta pure la velocità di combustione. La combustione non è ultimata all'ingresso della fiamma nel bruciatore dei fumi e continua nelle camere di rigenerazione; anche la temperatura della fiamma risulta inferiore alla teorica. L'azione chimica della fiamma, a causa del suo contenuto di incombusti, a base di materie carboniose e di particelle di carbonio, è nettamente riducente, vale a dire la fiamma può assorbire ossigeno dalle combinazioni chimiche, che si effettuano nella fusione e può cedere carbonio.

Se poi la quantità di aria è per di più inferiore alla teorica, la combustione è ancora più incompleta, la fiamma risulta molto lunga, rossiccia, anche fumosa, con temperatura bassa ed è fortemente riducente.

Aumentando la quantità di aria, scompaiono man mano i fenomeni della combustione incompleta. La fiamma si fa più corta, il colore da rossiccio si fa giallognolo, poi azzurrognolo ed infine trasparente; la potenza luminosa diminuisce. La temperatura però non aumenta sensibilmente. Teoricamente la temperatura della fiamma diminuisce aumentando lo eccesso di aria, infatti l'eccesso di aria dovrebbe raffreddare i prodotti della combustione.

Praticamente la temperatura aumenta, fino ad un certo grado di eccesso di aria.

L'eccesso di aria opportuno va dal 10 al 30%.

Quanto più caldi sono il gas e l'aria, tanto minore risulta l'eccesso di aria secondaria necessario. Anche nel caso in cui il gas contenga forti quantità di idrogeno, l'eccesso di aria secondaria può esser ridotto.

Per i forni a ricupero valgono press'a poco gli stessi valori indicati per i forni a rigenerazione, sia per i consumi che per le dimensioni dei ricuperatori, dei bruciatori, ecc.

PARTE TERZA

APPARECCHI E STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELLE TEMPERATURE

(dott. Giancarlo Romagnoli)

CAPITOLO PRIMO

TERMOMETRI A DILATAZIONE

§ 1 — Termometri a mercurio

I termometri a mercurio sono i termometri più diffusi nell'industria perchè il mercurio è la sostanza più adatta per servire da elemento termometrico.

Infatti esso presenta le seguenti caratteristiche:

- a) Si trova allo stato liquido entro una scala molto estesa di temperature;
- b) In confronto ad altro liquido è un ottimo conduttore di calore;
- c) Ha un calore specifico basso;
- d) Ha un grande coefficiente di dilatazione;
- e) Ha una dilatazione praticamente uniforme.

La fig. 44 rappresenta schematicamente un termometro a distanza dove B è il bulbo che è congiunto alla molla

manometrica A per mezzo del tubo capillare C. Se il sistema è completamente pieno di mercurio, e si riscalda il bulbo B, la dilatazione del mercurio fa espandere la molla Bourdon A e conseguentemente rotare la lancetta. Il meccanismo del termometro è, come si vede, semplicissimo; non così invece la sua costruzione. Nei termometri a distanza molte sono le fonti di errore, che richiedono un particolare studio e speciali accorgimenti per



Fig. 44

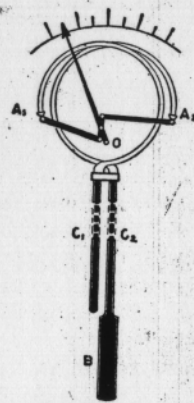


Fig. 45

essere eliminate: la principale è la variazione della temperatura del capillare. Questa variazione genera degli errori che

sono certamente più rilevanti di quanto comunemente si crede. Osservando la fig. 44 appare evidente che, se la temperatura nella zona del capillare C varia, il mercurio in esso contenuto subirà una dilatazione o contrazione alterando la indicazione, anche se il bulbo B è rimasto ad una temperatura costante. Questa alterazione della indicazione è tanto più forte quanto maggiore è il contenuto di mercurio nel capillare rispetto a quello del bulbo.

Dunque due sarebbero i mezzi con i quali ridurre al minimo l'errore: diminuire il diametro del capillare, oppure aumentare il volume del bulbo.

Siccome però il bulbo non può, per ragioni pratiche, oltrepassare un dato volume, sorge la necessità di usare del tubo capillare con un foro molto piccolo, e tanto più piccolo quanto più aumenta la distanza.

Deve osservarsi però che in un capillare di sezione troppo ridotta, la resistenza opposta dalla capillarità alla contrazione ed espansione del mercurio, diventa troppo grande e da ciò si ha lentezza nell'indicazione. Non solo: anche un foro piccolissimo, per una certa lunghezza del capillare, risulta troppo grande per evitare gli errori della variazione di temperatura ambiente. Ci si trova così di fronte ad un limite, oltre il quale non si può più rimediare all'inconveniente proporzionando il foro capillare al volume del bulbo, ma si è costretti a ricorrere a degli artifici, compensando il sistema in modo di ridurre od eliminare gli effetti della dilatazione del mercurio contenuto nel capillare.

Il sistema di compensazione più comunemente adottato è rappresentato schematicamente nella fig. 45 dove, accanto al tubo capillare di trasmissione C₁ viene posto un secondo tubo capillare C₂ perfettamente eguale al primo, che termina in una molla manometrica A₂. Si intuisce immediatamente il funzionamento del congegno: se nella zona del capillare avviene un mutamento della temperatura, il mercurio contenuto in tutti e due i capillari agisce contemporaneamente sulle molle A₁ e A₂ variando le loro espansioni che, per un appropriato sistema differenziale di leve, si compensano perfettamente l'una con l'altra, senza influire sugli spostamenti dell'indice dovuti alla dilatazione del mercurio contenuto nel bulbo e trasmessi dalla molla A₁.

Questo sistema è il più preciso, sebbene più costoso, e risponde pienamente allo scopo in quanto compensa completamente qualsiasi variazione, anche non uniforme, della temperatura del tubo capillare.

Il campo di applicazione dei termometri a mercurio va da -30° a $+500^{\circ}$. Il capillare comunemente è di acciaio di

2-3 mm. di diametro e può venire facilmente piegato. La fig. 46 mostra un termometro a gambo rigido fabbricato dalla S. A. Filotecnica di Milano.

La stessa Casa si interessa della costruzione dei registratori: essi sono costituiti essenzialmente da un tamburo o disco che, mosso da apposita orologeria, porta il foglio diagrammatico, sul quale un pennino inchiostroato registra in modo continuo le temperature alle quali va sottoposto il bulbo. La fig. 47 mostra uno dei tipi di questi registratori.

§ 2 — Termometri bimetallici

I termometri bimetallici si basano sugli spostamenti relativi di due materiali scelti, a coefficienti di dilatazione il più possibile diversi tra di loro.

Tali materiali sono: alluminio, ottone, rame, nichel, nichelcromo, acciaio, porcellana, *invar* (acciaio al nichel) e quarzo.

L'alluminio ha un coefficiente massimo, il quarzo minimo.

Generalmente si impiegano le seguenti combinazioni: *alluminio-invar* fino a una temperatura massima di 250° ; *ol-*

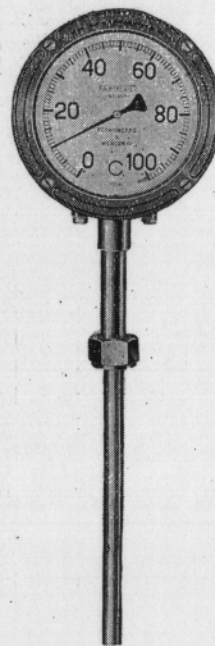


Fig. 46

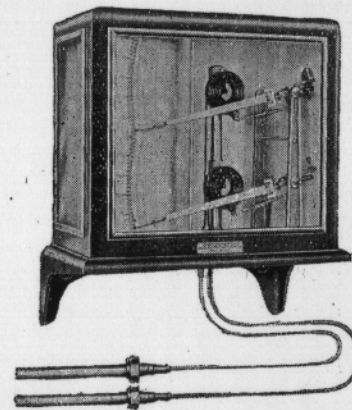


Fig. 47

bone invar, nichel-quarzo fino a 600° ; nichelcromo - porcellana fino a 1000° .

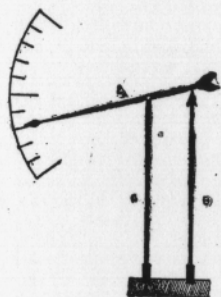


Fig. 48

Il principio di funzionamento risulta chiaro dallo schema di fig. 48. La lamina A porta imperniata ad una estremità l'indice L, che indica la temperatura sulla scala. Qualora, per il variare della temperatura, le due lamine A e B varino di lunghezza, l'indice L è costretto a ruotare intorno al suo perno. Si leggono così sulla scala le varie temperature.

CAPITOLO SECONDO

TERMOMETRI ELETTRICI A RESISTENZA

Il campo di applicazione dei termometri semplici a mercurio è limitato (da -30° a $+500^{\circ}$). Per avere un maggior campo di misura, e quando necessiti portare alquanto lontano lo strumento di lettura dal luogo di misura, occorre senz'altro passare all'applicazione di apparecchi elettrici.

Per misure da -200° a $+400^{\circ}$ vengono usati *termometri a resistenza elettrica*.

Il funzionamento dei termometri a resistenza elettrica, si basa sul principio ben noto che la resistenza ohmica dei metalli varia in modo quasi uniforme col variare della temperatura.

Da ciò si deduce che, conosciuta la legge di variazione, basterà la misura della resistenza per conoscere la temperatura.

I metalli più comunemente usati sono il *platino* ed il *nichelio*.

Essi vengono usati normalmente sotto forma di filo avvolto a bobina e isolato, oppure a spirulina e annegato nel quarzo e poi protetto da opportuna guaina.

La misura del valore di questa resistenza alle varie temperature si può ottenere in vari modi: il sistema industriale maggiormente in uso è quello galvanometrico a bobine incrociate secondo lo schema di cui alla fig. 49.

L'apparecchio comprende due bobine incrociate liberamente girevoli entro un campo magnetico, e alimentate da un'unica sorgente di corrente continua (batteria di accumulatori o raddrizzatore di corrente). Come indica lo schema, le due bobine sono percorse da due diverse correnti. L'una, quella

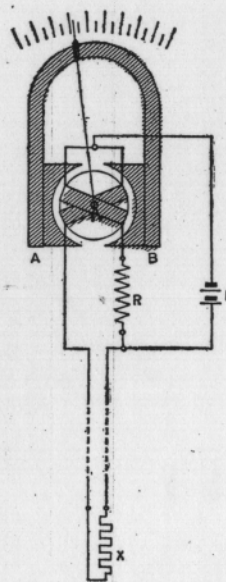


Fig. 49

di misura, circola nel ramo B che comprende il termometro X; l'altra, quella di paragone, circola nel ramo A dove agisce una resistenza R fissa e costante. Dall'azione reciproca e variabile delle due diverse correnti risulta il movimento, proporzionale al loro rapporto e quindi al rapporto inverso delle resistenze. Il quadrante dell'apparecchio può quindi essere senz'altro tarato in gradi centigradi. La scala può essere limitata al solo campo di temperatura che interessa; altro importante vantaggio è che l'indicazione risulta indipendente dalle piccole variazioni di tensione, dato che la corrente varia in tal caso in rapporto uguale nelle due bobine.

L'apparecchio ricevitore può essere un semplice *indicatore*, oppure un apparecchio *registratore* (fig. 50).

Sia l'uno che l'altro possono essere installati anche a notevole distanza dall'elemento rivelatore.

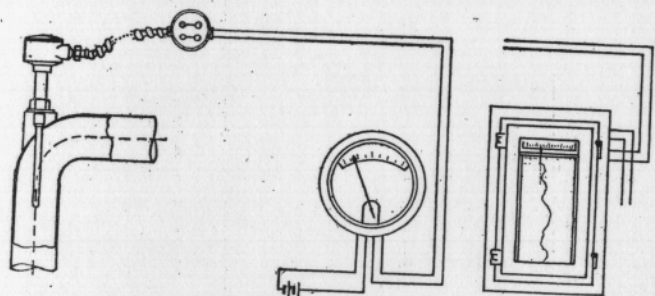


Fig. 50

Nei casi di distanza molto forte (superiore a 150 - 200 metri), oppure là dove, per particolari condizioni ambientali, si teme una frequente variazione di resistenza della linea (tratti di linea in ambiente chiuso e tratti allo scoperto, per

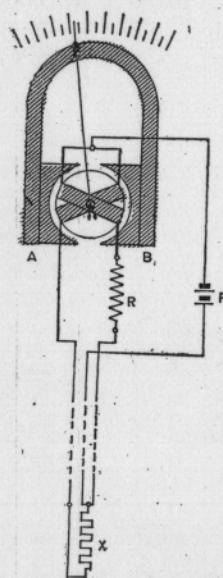


Fig. 51

es.), è opportuno modificare lo schema di fig. 49 secondo lo schema di fig. 51, in cui ogni inconveniente del genere risulta eliminato con l'aggiunta di un terzo filo detto di *compensazione*. In bobine dell'apparecchio, vengono prolungati fino al rivelatore termometrico, e risultano così ugualmente influenzati dalle eventuali variazioni di temperatura.

In pratica lo schema degli apparecchi industriali si differenzia leggermente da quello rappresentato in fig. 49 o in fig. 51, dato che, per necessità di taratura, occorre inserire oltre la resistenza di paragone R anche altre resistenze sia sul ramo B, sia sull'alimentazione, sia infine sotto forma di *shunt* tra il ramo A ed il ramo B.

Ogni termometro a resistenza elettrica è costituito essenzialmente da:

- a) un rivelatore termometrico;
- b) una testa di collegamento;
- c) una protezione esterna.

Il *rivelatore termometrico* è formato normalmente da una spirulina di filo di platino annegato nel quarzo, che serve da isolante e come prima protezione. In altri casi il rivelatore è costituito da una semplice matassina di filo rivestito (di nichelio o platino), avvolto opportunamente su una bobina di materiale isolante.

Il valore della resistenza del rivelatore è normalmente di 100 ohm a 0°, semprechè la distanza con il ricevitore non sia eccessiva e cioè la resistenza di linea non superi i 5 ohm. In casi speciali, o per distanze superiori, il valore della resistenza del rivelatore potrà essere diversa dai normali 100 ohm a 0°.

I due capi, della spirulina o della bobina, vengono portati alla testa di collegamento mediante prolungamenti generalmente in filo di rame isolato con cilindretti di ceramica.

La *testa di collegamento* non è altro che una scatola metallica fissata all'estremità della protezione del rivelatore

e nell'interno della quale è fissata su materiale isolante una morsettiera sulla quale arrivano, come abbiamo detto, i due capi del rivelatore. Da essa parte la linea che va all'apparecchio segnalatore.

Il coperchio della testa di collegamento è smontabile per permettere il fissaggio della linea ai morsetti.

La protezione del rivelatore evidentemente è di grande importanza per la conservazione del medesimo.

La scelta deve essere fatta tenendo conto dell'ambiente in cui il rivelatore va introdotto (camino, tubazioni, ecc.), nonché dello speciale fluido di cui si deve segnalare la temperatura (acqua, vapore, gas, liquidi aggressivi, ecc.).

Lo schema illustrato in fig. 49 è usato comunemente dalla S.A. Bosco, mentre la S.A. Siemens usa correntemente per i suoi apparecchi l'inserzione dell'elemento termometrico sul circuito cosiddetto « a ponte » (figg. 52 e 53).

Questo, costituito in tre rami da resistenze invariabili e nel quarto dalla resistenza termometrica stessa (fig. 52), è

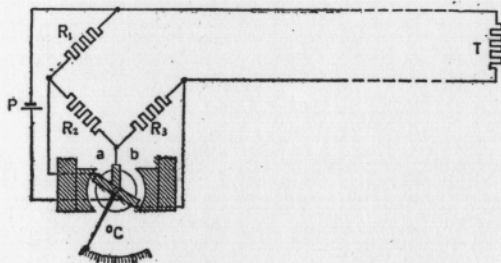


Fig. 52.

equilibrato in corrispondenza al valore assumibile da quest'ultimo quand'è portato alla più bassa temperatura di cui interessa il controllo. In tal momento l'equipaggio del galvanometro non è percorso da corrente, e l'indice risulta deviato completamente a sinistra, corrispondentemente al valore iniziale di scala.

Non appena però la temperatura dell'elemento sensibile aumenta (e con essa la resistenza ohmica) il ponte si squilibra, l'equipaggio del galvanometro viene percorso da corrente, e la deviazione subita dall'indice permette di riconoscere di quanto sia variata la resistenza e pertanto la temperatura. La scala dell'istrumento può venir quindi tarata direttamente in centigradi.

Nel caso che la lunghezza dei conduttori in opera superi

il centinaio di metri, un'inserzione tripolare (fig. 53) consente di far sopportare contemporaneamente a due rami adiacenti del ponte le variazioni di resistenza cui i conduttori possono andar di per sé stessi soggetti, in seguito a variazione della loro temperatura, così che l'equilibrio del ponte non ne risulti alterato e l'esattezza di misura, comunque vari la resistenza citata, non soffra menomazione alcuna.

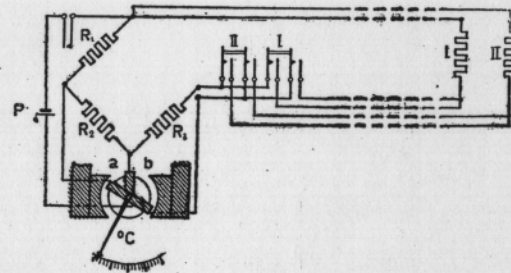


Fig. 53

CAPITOLO TERZO

TERMOMETRI A COPPIE TERMOELETTRICHE

Riscaldando il punto di saldatura (*giunto caldo*: g.c.) di due fili di materiale diverso (metalli o leghe metalliche), e mantenendone nel contempo a una temperatura inferiore le estremità libere (*giunti freddi*: g.f.), si genererà fra queste una forza elettromotrice di alcuni millivolt, misurabile mediante galvanometro, funzione, oltre che della differenza di temperatura fra il *giunto caldo* e i *giunti freddi*, anche dei materiali di cui risulta costituita la *coppia termoelettrica* T in questione (fig. 54).

Mantenendo costante la temperatura dei giunti freddi, la forza elettromotrice generata, e la deviazione corrispondente subita dall'indice del galvanometro, consentiranno di risalire alla conoscenza della temperatura indagata. Il galvanometro (millivoltmetro con equipaggio di misura a bobina mobile) può essere tarato pertanto direttamente in centigradi. La misura non richiede sorgente alcuna di energia sussidiaria.

I metalli, o le leghe metalliche destinate ad essere trafilate per la costituzione di coppie termoelettriche, sono prescelti in modo che, di ciascuna coppia-tipo, risultino rigorosamente costanti le caratteristiche termoelettriche — così che a determinata temperatura corrisponda in qualsiasi caso forza elettromotrice identica — ciò che assicura l'intercambiabilità di più coppie dello stesso tipo ed evita ritarature del galvanometro o impiego di tabelle di correzione.

La costanza delle caratteristiche termoelettriche, ad es. delle coppie Siemens, è ottenuta col metodo della fusione sottovuoto dei diversi metalli e delle diverse leghe. Ciò consente di poter garantire l'intercambiabilità delle coppie al

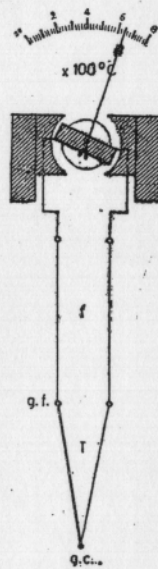


Fig. 54

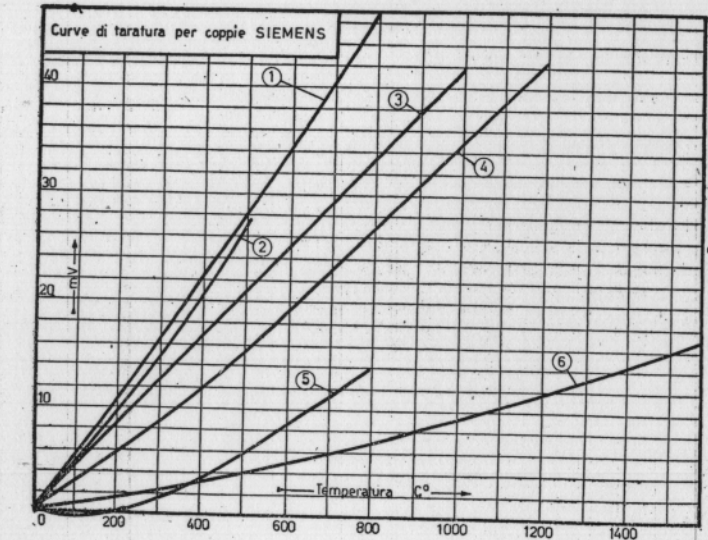


Fig. 55. (*)

(*) Le curve 1, 2, 3, 4, 5, 6, si riferiscono nell'ordine a coppie termoelettriche: ferro-costantana, rame-costantana, nichel-nichelcromo (taratura internazionale), nichel-nichelcromo (taratura Siemens), OKL, platino-platinorodio 10%.

Le curve sono esatte solo nel caso che i giunti freddi si trovino a zero gradi.

Nel caso che i giunti freddi si trovino a +20°, occorrerà apportare una diminuzione di

0,80 mV	per coppie	rame-costantana,
1,05 »	» »	ferro-costantana,
0,60 »	» »	nichel-nichelcromo (Siemens),
0,77 »	» »	nichel-nichelcromo (internazionale),
0,11 »	» »	platino-platinorodio 10%.

platino-platino-rodio con uno scarto massimo di 0,08 mV rispetto alla curva base di taratura, e delle coppie in metallo comune con 0,5 mV.

Le coppie termoelettriche possono essere costituite, oltre che con metalli nobili, anche con metalli comuni che presentano il gran vantaggio di generare forze elettromotrici relativamente elevate (fig. 55), e di consentire pertanto l'impiego di millivoltmetri di tipo industriale corrente, non così sensibili come quelli di precisione, ma notevolmente meno costosi, così come risultano del resto anche le coppie termoelettriche in questione. Queste saranno adunque da prefe-

rirsi in tutti i casi in cui le temperature da controllare non richiedano assolutamente l'impiego di metalli preziosi.

Una coppia termoelettrica di caratteristiche del tutto speciali è quella nota sotto il nome di « coppia OKL ». Il suo impiego concede di eliminare l'influsso delle variazioni di temperatura ai giunti freddi — entro 0° e 150° — sui risultati di misura.

La tabella I permette di riconoscere quali risultino i tipi principali di coppie e le loro essenziali caratteristiche.

TABELLA I

Caratteristiche di alcune coppie termoelettriche

COPPIE TERMOELETTRICHE in	adatte per temperature sino a $^\circ\text{C}$	e generanti in corrispondenza circa mV
Rame-costantana	500	28
Ferro-costantana	800	47
Nichel-nichelcromo: curve di taratura Siemens curve di taratura interna- zionale	1200 1000	42 40
Platino-platinorodio	1600	17
Coppia termoelettrica OKL	800	28

A isolare i termoelementi l'uno dall'altro servono, nel caso di coppie in ferro-costantana e nichel-nichelcromo, semplici cilindretti in *steatite*. Per le coppie platino-platinorodio si usufruisce invece di veri e propri tubetti in materiale ceramico a doppia foratura, provvisti ad una delle estremità di un incavo emisferico di dimensioni sufficienti a raccogliere e a proteggere con efficacia il giunto caldo fra i termoelementi.

Base per la misura con pirometri a coppia termoelettrica è la temperatura differenziale fra il punto di saldatura e i giunti freddi. Allorchè la temperatura di questi è soggetta a variare, ne consegue analoga variazione della temperatura differenziale e indeterminazione nelle misure. Qualora non s'impieghino le coppie termoelettriche OKL, tale influsso, dannoso nei confronti di una pratica esecuzione dei controlli, può essere tuttavia eliminato. Il modo più semplice è il seguente:

La testa della canna pirometrica, in cui son sistemati i giunti freddi della coppia e i relativi morsetti di collegamento, sia situata in una posizione soggetta a variazioni di temperatura. In tal caso, anzichè inserire direttamente ai morsetti i conduttori di collegamento al millivoltmetro, si prolunghi artificialmente la coppia, al di là dei morsetti e sino ad una posizione in cui la temperatura possa ritenersi sufficientemente costante, mediante uno spezzone di *cavo di compensazione* al quale poi, in appropriata scatola di raccordo, si colleghino i conduttori normali adducanti al millivoltmetro. Il cavo di compensazione citato è costituito da una coppia di conduttori isolati che, pur essendo di materiale meno costoso di quello di cui consiste la coppia termoelettrica vera e propria, ne possiede identiche caratteristiche termoelettriche.

Lo schema di principio industrialmente seguito per l'inserimento di una coppia termoelettrica è quello visibile in fig. 56.

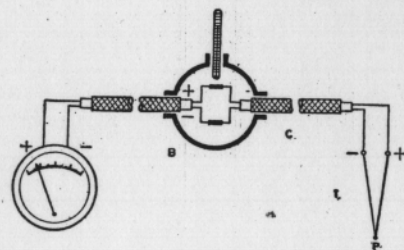


Fig. 56

In essa P è il giunto caldo della termocoppia T, C è il cavo di compensazione che porta al giunto freddo B. Tale giunto freddo è costituito nel più semplice dei casi da una cassetta con pareti doppie: nella intercapedine circola acqua a temperatura normale. Ciò è sufficiente ad assicurare una buona costanza di temperatura del giunto freddo. Da B si diparte il cavo ordinario, generalmente in rame isolato con gomma e piombo, che porta la f.e.m. all'indicatore o al registratore.

Il tutto è racchiuso entro la custodia formata dal materiale più opportuno, scelto secondo la tabella II.

Le coppie termoelettriche possono venire costruite nelle forme più disparate. Un tipo di pirometro molto usato è

TABELLA II

Materiali usati per le custodie di coppie termoelettriche

Metal monel e acciaio inossidabile	500° C	vapore
Acciaio smaltato	600° C	gas combust
Acciaio	600° C	gas di scarico di motori a scoppio
Per forni di cottura, di riscaldamento e fusione		
Ferrocromo	1100° C	forni da temperatura e da riscaldamento (anche in presenza di composti di zolfo)
Materiale ceramico	1500° C	forni di cottura, di riscaldamento e fusione
Per bacini di fusione di stagno, zinco, piombo e alluminio		
Acciaio smaltato	600° C	stagno, zinco, piombo
Acciaio	800° C	(saltuariam.) stagno, zinco, piombo, alluminio
Acciaio protetto da uno strato di sostanza speciale.	800° C	Alluminio
Ferrocromo con manico di rinforzo in acciaio	900° C	piombo
Per bagni salini da tempera e da rinvenimento		
Acciaio	800° C	nitrurazioni e rinvenimento alla durferrite.
Nichelcromo	950° C	cianurazioni, clorurazioni, ferriti Ca e Cs
Acciaio speciale	1100° C 1250° C	(saltuariam.) Bagni al cloruro di bario e carbonetri
Materiale ceramico	1200° C	
Per bacini di fusione di rame, ottone, bronzo e consimili		
Ferrocromo	1250° C	(saltuariam.) rame, ottone, bronzo, ecc.

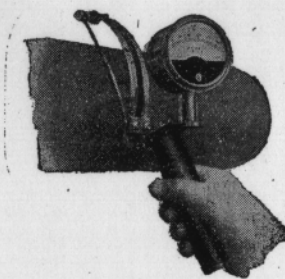


Fig. 57

quello di fig. 57, funzionante a semplice contatto, con campo di misura fra -200° e $+900^{\circ}$.

Serve per misurare la temperatura di superfici di corpi rotanti o comunque in movimento (come alberi, tamburi, cilindri, calandre), oppure di corpi immobili come isolanti, muri, tubazioni, cuscinetti, cilindri di motori.

In caso di necessità, e cioè se si devono misurare temperature in posti speciali, come fori, alette di cilindri, ecc., il pirometro può essere costruito in modo adatto alla bisogna di ogni singolo caso.

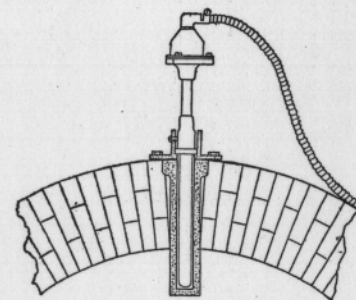


Fig. 58

Le figure 58-59 mostrano come possono venire collocati in opera questi pirometri.

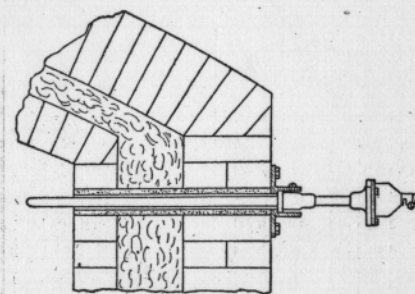


Fig. 59

CAPITOLO QUARTO

PIROMETRI OTTICI

§ 1 — *Ardometri*

Oltre i 1600° i termometri a resistenza ed anche quelli a coppia termoelettrica non possono più venir praticamente impiegati; e ciò soprattutto per la difficoltà di procurarsi materiale resistente chimicamente e fisicamente a queste temperature.

Sono soprattutto da temere le alterazioni strutturali che determinano variazioni irreversibili sia nella resistenza specifica che nella f.e.m. di contatto tra due metalli. Si rende pure difficile la protezione del termometro, giacchè i mantelli di rivestimento (tubi di porcellana, di allumina, ecc.) col tempo diventano alquanto porosi, con conseguenti penetrazioni di gas del forno, che, a quella temperatura elevata, rapidamente determinano corrosioni profonde del materiale metallico.

Per la misura delle alte temperature, cioè superiori ai 1500°, è più razionale ricorrere ai pirometri ottici.

Di quest'ultimi distingueremo due tipi fondamentali:

- a radiazione totale (*ardometro*) adatto a misure continue;
- a radiazione parziale (*pirometro a filamento evanescente*) adatto a misure istantanee.

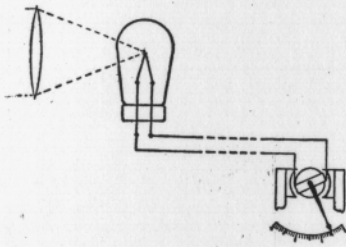


Fig. 60

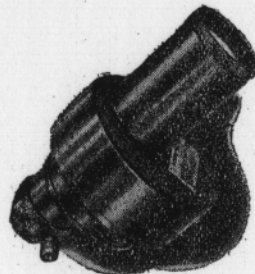


Fig. 61

Schematicamente il funzionamento dell'ardometro è spiegato nel disegno della fig. 60. Tutta la radiazione emessa dal corpo incandescente si concentra su di una fogliuzza di platino annerita, alla quale è saldata una piccola coppia termoelettrica che ne misura il riscaldamento — funzione quindi della temperatura sotto controllo — su di un millivoltmetro, tarato direttamente in centigradi.

Industrialmente gli ardometri vengono per lo più realizzati come nella fig. 61, la cui sezione è visibile in fig. 62.

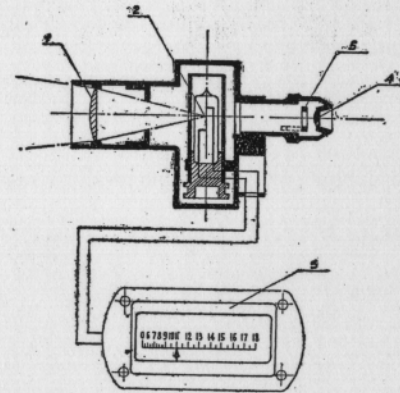


Fig. 62

La radiazione proveniente dall'apertura del forno, o comunque dalla superficie incandescente, viene raccolta dalla lente (1) sulla lamella collettrice (2) in contatto con una termocoppia. La f.e.m. da questa generata sarà una funzione della quantità di energia raggiante incidente su di essa, la quale è a sua volta funzione della temperatura del corpo incandescente sul quale l'apparecchio è puntato. Perciò lo strumento elettrico indicatore (o registratore) (3), collegato con la termocoppia, può essere direttamente graduato in gradi centigradi.

La lente oculare (4) serve unicamente per orientare correttamente lo strumento, una volta tanto, all'atto dell'installazione. A tale scopo, impugnando l'apparecchio come un cannocchiale, o spostandone in modo opportuno lo stativo sul quale esso è montato, lo si punta sull'apertura del forno, in modo che il dischetto aderente alla termocoppia risulti perfettamente centrato nel campo luminoso (fig. 63). Uno schermo (5), anteposibile all'oculare mediante bottone manovrato dall'esterno, evita l'abbagliamento dell'operatore.

Nel *pyrradio* (Hartmann e Braun) la radiazione cade direttamente sulla saldatura annerita. L'apparecchio presenterebbe però l'inconveniente che, dovendo essere lo strumento adattato all'apertura del forno, si ha anche un forte riscaldamento della saldatura fredda della pinza termoelettrica, cosicchè la misura può venire alterata. Per ovviare a



Fig. 63

questi inconvenienti, lo strumento è dotato di un dispositivo automatico di compensazione, costituito da un diaframma ad iride azionato da un'asta bimetallica; questa col calore dell'ambiente si deforma e provoca il restringimento del foro d'entrata del fascio luminoso. Lo strumento può pertanto dare indicazioni esatte anche con temperature ambiente di più di 100°.

Nel *Radiopirometro* della Filotecnica, invece, la compensazione della temperatura ambiente viene ottenuta mediante uno speciale circuito elettrico e creando una speciale atmosfera gassosa nella ampollina contenente la coppia termoelettrica.

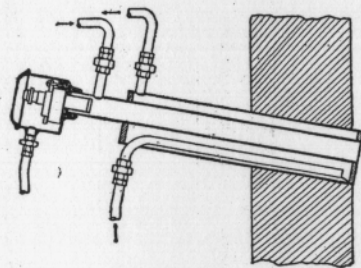


Fig. 64

Gli ardometri vanno sempre installati in custodia protettiva.

La fig. 64 mostra una installazione della Siemens con protezione ad acqua ed aria: nel tubo di puntamento viene insufflata aria a bassissima pressione, mentre invece nella

camicia esterna circola l'acqua di raffreddamento. La funzione dell'aria è quella di impedire l'impolveramento della lente obbiettivo.

§ 2 — *Pirometro a filamento evanescente*

Schematicamente un pirometro a filamento evanescente funziona come segue (fig. 65):

La radiazione emessa dal corpo incandescente viene paragonata con quella del filamento di una lampada a lumino-

sità variabile, la cui corrente d'alimentazione — funzione dunque della temperatura sotto controllo — può venire letta su di un amperometro tarato direttamente in centigradi.

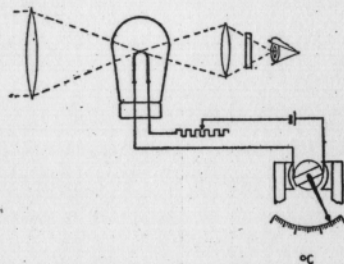


Fig. 65

Il confronto avviene a luce monocromatica filtrata da un apposito filtro (color rosso di lunghezza d'onda pari a 0,65 micron).

Industrialmente il pirometro a filamento evanescente viene realizzato come appare nella sezione visibile in fig. 66.

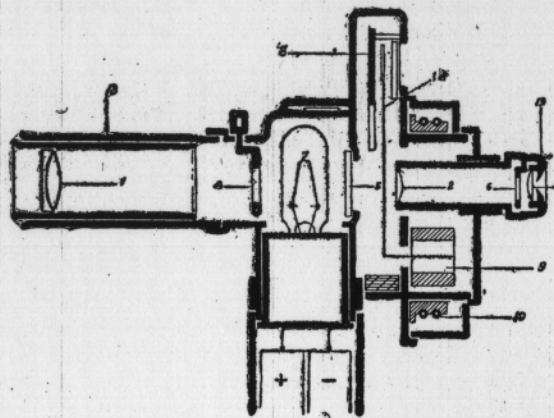


Fig. 66

In essa (1) è la lente obbiettivo del cannocchiale il cui oculare (13) — tipo Ramsden — è realizzato dalle lenti (2) e (3). L'ampolla della lampadina contenente il filamento di paragone è in (7). Tale filamento è alimentato dalla pila (+ e -) la cui corrente indicata dall'indice (14) sulla scala (8) del galvanometro (9) viene regolata dal reostato (10). Lo scher-

mo monocromante è in (6), mentre invece lo schermo attenuante è in (4). Quest'ultimo può venire inserito o meno, a seconda che si voglia usare l'una scala o l'altra sulle quali è tarato l'apparecchio.

La messa a fuoco dell'oggetto si fa spostando la lente (1) mediante il sistema di tubi a cannocchiale (12). La messa a fuoco del filamento tarato si fa invece spostando l'oculare di Ramsden (13).

Le misure con pirometri ottici (ardometri e a filamento evanescente) sono completamente attendibili solo se è rispettata la condizione fondamentale che la radiazione si riferisca ad uno dei così detti « corpi neri », simili precisamente a quelli che vengono usati per la taratura degli stessi pirometri. (Per *corpo nero* si intende un corpo che a qualsiasi temperatura emetta il massimo d'energia radiante, ciò che si verifica solo qualora tutti i raggi che lo colpiscono vengano assorbiti e nessuno riflesso).

In pratica l'interno di un forno industriale visto attraverso un foro praticato nella parete può considerarsi un corpo nero.

In questo caso i pirometri ottici danno indicazioni corrette. Nel caso invece che la temperatura da misurare sia quella di un corpo liberamente radiante, i pirometri ottici ci daranno la cosiddetta *temperatura nera*, quella cioè di un corpo « nero » che irradia con identica intensità. Dato però che un corpo « nero » è tale, da irradiare in qualsiasi caso la massima energia possibile, la temperatura così misurata sarà inferiore alla vera, cosicchè, qualora non si possa accontentarsi di un valore del genere, occorrerà risalire alla temperatura esatta deducendola dalla « temperatura nera » così misurata.

Ciò non offre particolare difficoltà. Ogni sostanza possiede infatti un potere emittente caratteristico, funzione della sua lunghezza d'onda spettrale, e che nella maggior parte dei casi risulta già esattamente determinato. Volendo effettuare dunque, con esattezza, controlli di temperatura su corpi liberamente radianti, converrà servirsi senz'altro di un pirometro a *radiazione parziale* (a filamento evanescente), e precisamente perchè il potere emittente dei corpi ci è noto con precisione nel campo delle radiazioni visibili (rosso), mentre invece non è stato ancora esattamente determinato per tutte le altre lunghezze d'onda. Usufrueno quindi di pirometri a *radiazione totale* (ardometri) ci si esporrebbe a inesattezze senza confronto maggiori.

La tabella III dà i poteri emittenti di alcuni corpi determinati per il colore rosso di lunghezza d'onda pari a 0,65 micron.

TABELLA III

Argento (solido)	0,07	Ossido di ferro	0,5
Rame	0,11	Pietre Refratterie	0,6
Oro (solido)	0,13	Scorie di ferro fuso	0,65
Platino (solido)	0,33	Ossido di Rame	0,7
Nichelio (solido e fuso)	0,36	Carbone	0,85
Acciaio (fuso)	0,4	Ferro incandescente (polvere)	0,90
		Grafito in polvere	0,95

Con il nomogramma di fig. 67 è possibile, conosciuto il potere emittente del corpo la cui temperatura è da misurarsi, determinare la correzione da apportare alla indicazione del pirometro a filamento evanescente.

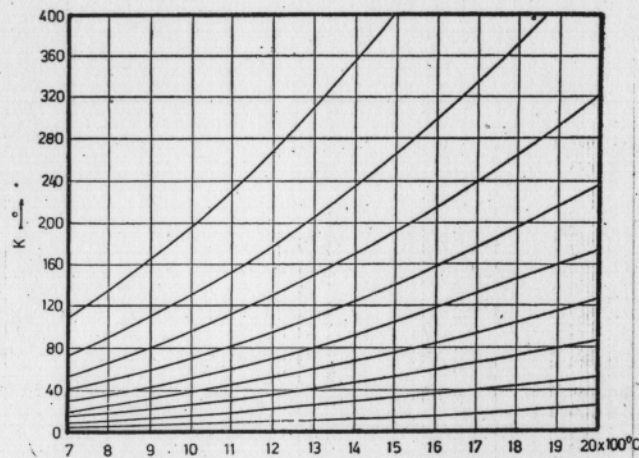


Fig. 67

Facciamo un esempio: la temperatura di un blocco di ferro incandescente allo stato solido risulta, al pirometro a filamento, di 950° . Il potere emittente del ferro solido è di 0,9. Dalle curve di correzione di fig. 67 risulta che per un potere emittente di 0,9 e ad una temperatura letta di 950° , la correzione da apportare è di 8° . La temperatura esatta è dunque di 958° .

CAPITOLO QUINTO

APPARECCHI INDICATORI E REGISTRATORI

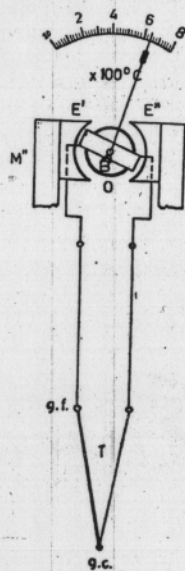


Fig. 68

§ 1 — Indicatori galvanometrici

Trattando dei termometri a resistenza, a coppia termoelettrica, e degli ardometri, abbiamo spiegato in cosa consistano gli apparecchi indicatori. Essi sono generalmente galvanometri a magnete permanente le cui bobine mobili possono essere o semplici o doppie incrociate.

Nella Fig. 68, $M'M''$ sono i poli di un grosso magnete permanente, $E'E''$ sono le relative espansioni polari il cui scopo è, notoriamente, quello di ottenere, insieme al cilindretto magnetico O , una distribuzione più concentrata possibile delle linee di forza corrente da un polo all'altro, onde più energica sia la loro reazione sul campo magnetico creato dalle correnti circolanti nelle bobine.

La fig. 69 mostra la realizzazione di un indicatore per montaggio incassato a profilo. Questi indicatori possono venire montati anche in colonna in modo da occupare uno spazio molto ristretto.

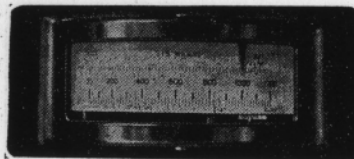


Fig. 69

§ 2 — Registratori

I registratori sono essenzialmente costituiti come gli indicatori. In essi però l'indice, mediante opportuno meccanismo, è costretto a scrivere su un nastro di carta che gli si svolge sotto le varie posizioni assunte.

I registratori possono essere di due tipi: *ad archetto battente* oppure *grafici galvanometrici* (fig. 70).

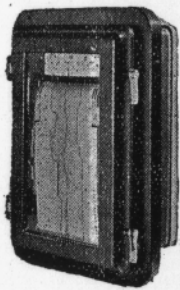


Fig. 70

I primi possono scrivere da una a sei curve a colori diversi, contemporaneamente. Lo schema di funzionamento di un registratore ad archetto battente, ad una curva, è indicato nel disegno dimostrativo della fig. 71.

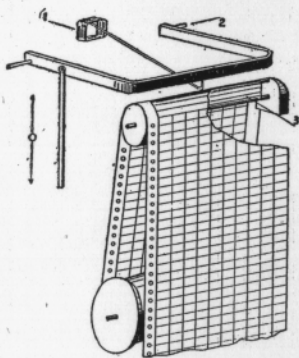


Fig. 71

In esso è visibile l'equipaggio di misura (1) a bobina semplice (che potrebbe però anche essere a bobine incrociate), portante l'indice. Sull'indice batte, di 15 secondi in 15 secondi, l'archetto (2) che è mosso da un minuscolo motorino. L'indice è costretto quindi a comprimere in un punto il foglio diagrammatico contro il nastro inchiostatore (3). Segna cioè ogni 15 secondi un piccolo punto. L'insieme di tutti i punti costituisce la curva che dimostra quali valori ha assunto la grandezza di misura ad ogni istante. Il nastro diagrammatico è fatto avanzare da un comune movimento ad orologeria.

In esso è visibile l'equipaggio di misura (1) a bobina semplice (che potrebbe però anche essere a bobine incrociate), portante l'indice. Sull'indice batte, di 15 secondi in 15 secondi, l'archetto (2) che è mosso da un minuscolo motorino. L'indice è costretto quindi a comprimere in un punto il foglio diagrammatico contro il nastro inchiostatore (3). Segna cioè ogni 15 secondi un piccolo punto. L'insieme di tutti i punti costituisce la curva che dimostra quali valori ha assunto la grandezza di misura ad ogni istante. Il nastro diagrammatico è fatto avanzare da un comune movimento ad orologeria.

In esso è visibile l'equipaggio di misura (1) a bobina semplice (che potrebbe però anche essere a bobine incrociate), portante l'indice. Sull'indice batte, di 15 secondi in 15 secondi, l'archetto (2) che è mosso da un minuscolo motorino. L'indice è costretto quindi a comprimere in un punto il foglio diagrammatico contro il nastro inchiostatore (3). Segna cioè ogni 15 secondi un piccolo punto. L'insieme di tutti i punti costituisce la curva che dimostra quali valori ha assunto la grandezza di misura ad ogni istante. Il nastro diagrammatico è fatto avanzare da un comune movimento ad orologeria.

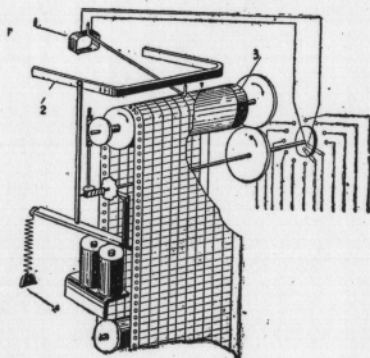


Fig. 72

In fig. 72 è indicato invece il funzionamento schematico di un registratore a più curve. In esso c'è, in più del precedente, il meccanismo (4) di cambio del nastro inchiostato. Tale meccanismo ad ogni colpo dell'archetto presenta un nastro con inchiostro di colore diverso. Il commutatore automatico (5) provvede ad inserire le diverse coppie termoelettriche ad ognuna delle quali corrisponde un colore del nastro inchiostato.

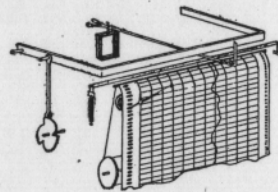


Fig. 73

La Casa S.I.S. produce registratori ad archetto battente nei quali i nastri stanno al di sopra del foglio diagrammatico e sono essi che vengono periodicamente premuti dall'indice onde segnare il punto (fig. 73).

La fig. 74 dà lo schema del meccanismo interno di un registratore S.I.S. In esso, la scala (1) dell'indicatore porta una finestrella (2) davanti alla quale compare di volta in volta il numero corrispondente al termometro inserito. L'indice (3) viene premuto sul nastro inchiostato (5) dall'archetto (4), che è azionato dalla camma dentata (6). La camma (7) provvede all'inserimento del nastro di colore opportuno. Il rullo (8) provvede all'avanzamento continuo del foglio diagrammatico.

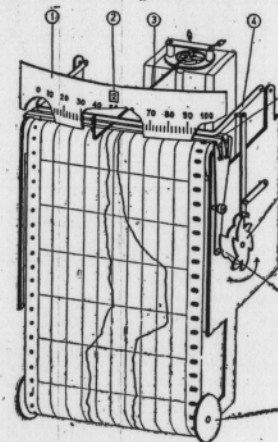


Fig. 74

I registratori grafici galvanometrici sono invece più semplici: possono però segnare una sola curva, cioè possono ad esempio essere collegati ad una sola coppia.

Essi sono costituiti da un semplice indicatore il cui indice porta un piccolo pennino inchiostato che striscia sul foglio diagrammatico in modo continuo. Il foglio diagrammatico naturalmente è fatto svolgere dalla solita orologeria.

Esternamente si presenta come un registratore ad archetto battente.

Generalmente i registratori ad archetto battente e grafici galvanometrici vengono dotati di rotolo diagrammatico della larghezza variante da 90 a 140 mm. Naturalmente più il foglio è largo, meglio vengono apprezzate le piccole variazioni delle grandezze registrate. Però l'uso di una carta assai larga per il tracciamento del diagramma porta l'inconveniente che essa varia di dimensioni al variare dello stato igroscopico, sicché la sensibilità che deriva dalla larghezza di essa viene praticamente annullata.

CAPITOLO SESTO

PIROMETRI SPECIALI

§ 1 — *Pirometro Keiser e Schmidt.*

Il pirometro Keiser e Schmidt è un apparecchio molto semplice e pratico che può dare misure di temperatura molto esatte, sempre che si osservino le norme per l'uso suggerite dalla casa costruttrice.

L'apparecchio è costituito (fig. 75) da una lente (2) che concentra la radiazione uscente dal foro praticato nel fianco del forno, su una minuscola spiralina (9) che è fissata ad una estremità mediante due fili radiali (14) ad un dischetto di alluminio (11). L'altra estremità della spiralina è foggiate ad indice (10) e può ruotare liberamente davanti ad una scala disegnata su vetro smerigliato (8).

La scala è direttamente tarata in centigradi ed è illuminata dai raggi luminosi provenienti dall'ambiente ove è piazzato il forno. Tali raggi passano attraverso la lastra di vetro trasparente (1) che serve come sostegno della lente obbiettivo (2). Lente obbiettivo (2) e lastra di vetro trasparente (1) sono fissate al corpo dell'apparecchio (4) mediante una semplice ghiera (3).

Il disco di alluminio (11) è fissato all'estremità di una molla bimetallica (12), l'altra estremità della quale è fissata ad una lastra di vetro trasparente.

La scala (8) è fissata al corpo dell'apparecchio (4).

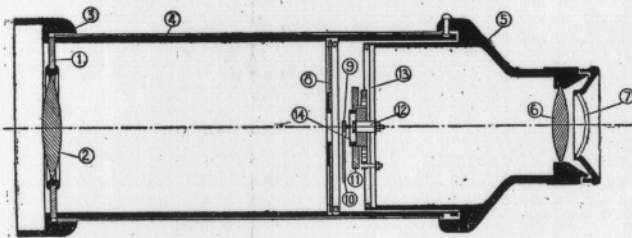


Fig. 75

La spiralina (9), il dischetto d'alluminio (11) e la molla bimetallica (12) sono fissati alla ghiera (5) che può ruotare intorno al corpo dell'apparecchio (4).

L'oculare dell'apparecchio (6) permette di vedere il campo esplorato dall'obbiettivo (2) e di leggere le indicazioni dell'indice (10) sulla scala (8). In (7) trovasi uno schermo colorato antiabbagliante, amovibile.

Il campo visibile all'occhio dell'operatore è quello di fig. 76. Il foro praticato nel fianco del forno deve essere circolare e la sua immagine formata dall'obbiettivo deve riempire tutto e solo il primo cerchietto circostante l'esagono centrale.

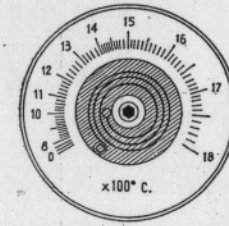


Fig. 76

Solo in tali condizioni si hanno indicazioni esatte.

Prima dell'uso l'apparecchio deve venir messo a zero ruotando la ghiera (5). In qualche altro modello la messa a zero si fa manovrando una apposita levetta accessibile solo dopo aver tolto

la ghiera (3). Indi va puntato sul forno e così tenuto fino a che la lancetta (10) si ferma. In questo momento si può leggere la temperatura.

Se i dintorni del forno ove ci si piazza per fare la lettura sono ad alta temperatura, la spirale bimetallica (12) ruota in senso inverso alla spiralina (9), in modo da compensare esattamente lo scarto di temperatura. La spiralina (9) è infatti influenzata, oltre che dai raggi provenienti dal forno, anche dalla temperatura ambiente.

L'apparecchio dà indicazione esatta da 800° a 1800°.

§ 2 — *Pirometri fotometrici*

I pirometri fotometrici (*Pyro-Optyx*, ecc.) sono essenzialmente costituiti (fig. 77) da una lente obbiettivo (7) che

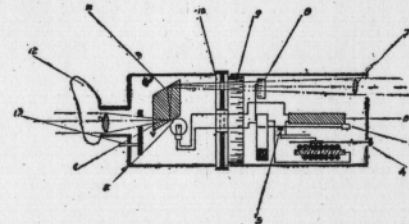


Fig. 77

raccoglie i raggi luminosi emessi dal corpo incandescente, e li convoglia all'oculare (12), dopo averli fatti passare attraverso un vetro affumicato ad intensità variabile (10) ed un prisma deviatore (11).

L'occhio dell'osservatore vede attraverso l'oculare (12) il campo di misura, ed una piccola macchia circolare collocata al centro ed illuminata ad intensità costante dalla lampadina (2).

Quest'ultima viene alimentata dalla batteria (6), e l'intensità della corrente defluente attraverso il filamento viene regolata e controllata dal reostato (4) e dal milliamperometro (8).

Il vetro (10) è affumicato a intensità variabile: quindi, ruotandolo, i raggi luminosi provenienti dall'obbiettivo (7) vengono più o meno attenuati.

In tal modo la macchia luminosa (1) che si scorge al centro del campo può apparire più chiara o più scura del resto del campo. Ad un certo momento essa potrà anche scomparire, e questo accadrà quando il campo avrà la sua stessa intensità.

In tal momento si interrompe la rotazione del vetro (10), e si legge sulla scala con esso solidale (9) la temperatura del corpo in esame.

La misura può anche venir eseguita in luce rossa monocromatica, basta perciò collocare davanti all'oculare un apposito, predisposto, filtro rosso (13).

La corrente di taratura della lampadina (2) è seguita sul suo stesso involucro e viene letta sulla scala del milliamperometro (8).

Col tempo la lampada può cambiare leggermente di intensità. Per controllare è necessario sostituirla con una lampadina campione che viene all'uopo fornita insieme allo strumento, e variando il reostato (4) si aggiusta la corrente al valore da questa richiesto.

Letta quindi la temperatura di un forno qualunque, si lascia ferma la scala delle temperature e si sostituisce la lampadina campione con quella di servizio.

Se la macchia luminosa di paragone cambia di intensità, la si fa sparire manovrando opportunamente il reostato (4).

La nuova corrente di esercizio si legge ora sulla scala (8), e si tiene fissa fino ad una successiva taratura.

Diminuendo il valore della corrente, la lampadina può essere usata quasi fino al suo esaurimento.

Il milliamperometro (8) può essere messo a zero, mediante aggiustamento della vite di correzione (5).

L'interruttore (3), accessibile dall'esterno dello strumento, serve a spegnere la lampadina (2).

Insieme allo strumento può anche venire fornita una lente addizionale per l'obbiettivo, in modo da aumentare lo ingrandimento o rendere possibili misure di temperatura su oggetti molto piccoli.

La messa a fuoco degli oggetti incandescenti si opera manovrando un apposito bottone, che sposta la lente obbiettivo.

L'apparecchio viene fornito per misure di temperatura da 760° a 2000°, ed anche, con scale già corrette, per misure di temperature su determinati corpi liberamente radianti (colate di ferro fuso, lingotti alla trafilata, ecc.).

CAPITOLO SETTIMO

TERMOREGOLATORI

§ 1 — Generalità

I termoregolatori costituiscono un accessorio indispensabile per il controllo termico dei forni elettrici e di ogni altro apparecchio sottoposto al riscaldamento, specialmente per quelli da laboratorio, nel caso che il forno debba funzionare a temperatura costante, entro determinati limiti di temperatura, per molte ore senza controllo da parte dell'operatore (per esempio, di notte). Ne esistono di vari tipi, dai termostati ad acqua per 20°-30° agli stabilizzatori per forni industriali ad altissime temperature; dai termostati per fornelli con 300 watts di potenza fino ai termoregolatori trifasi sopportanti decine di Kilowatts.

I vantaggi che i regolatori offrono sono:

- Economia di energia o di combustibile.
- Temperature mantenute in limiti precisi, senza eccesso o surriscaldamento (e quindi anche senza danno ai materiali costituenti il forno), e senza insufficienza a detrimento della qualità finale del prodotto.
- Riduzione di mano d'opera, e nello stesso tempo maggiore utilizzazione delle capacità operative dell'operaio.
- Miglioramento nella qualità del prodotto.
- Eliminazione o limitazione degli scarti.

I termoregolatori si dividono in due grandi categorie:

La prima comprende i regolatori cosiddetti « tutto o niente » (in essi infatti la regolazione della temperatura avviene togliendo al complesso riscaldante tutta l'energia fino al raggiungimento di un determinato valore, ed erogando tutta la energia di assorbimento non appena lo stesso valore di temperatura ha tendenza a diminuire).

La seconda comprende i regolatori cosiddetti « continui » (poichè regolano con continuità togliendo od immettendo piccole quantità di energia nel circuito di riscaldamento del forno).

Questa categoria di regolatori comprende gli apparecchi capaci di impedire ogni oscillazione nelle temperature dei forni: invece i regolatori della categoria a « tutto o niente » permettono piccole oscillazioni intorno alla temperatura fissata.

Ad esempio sono termoregolatori a « tutto o niente » i termoregolatori bimetallici semplici e doppi descritti nel § 3 di questo capitolo.

§ 2 — Termoregolatori Static-Vertex

I termoregolatori Static-Vertex constano di un relè di controllo automatico e di un termometro a contatto elettrico spostabile.

Il relè « Static » è costituito da un sistema magnetico agente su di un bulbo a mercurio a funzionamento verticale: il complesso, sostenuto da una base isolante, è protetto da un coperchio di materiale isolante o di lamiera verniciata.

I bulbi a mercurio « Static » si costruiscono in due diversi tipi: per chiusura di circuito (fig. 78) e per apertura di circuito (fig. 79).

Gli elettrodi sono incorporati per fusione nella massa vitrea del bulbo, così da assicurare la tenuta ermetica del bulbo stesso. Nell'interno di questo è racchiusa un'atmosfera costituita da gas inerti e riducenti sotto pressione, aventi lo scopo di smorzare rapidamente la scintilla e di evitare l'ossidazione del mercurio.

Nella parte inferiore del bulbo trovasi raccolto il mercurio, in contatto permanente con l'elettrodo inferiore, di tungsteno. L'elettrodo superiore, pure in tungsteno, si prolunga nell'interno di un pozzetto di quarzo riempito con una goccia di mercurio.

Nel bulbo di tipo di fig. 78 (per chiusura di circuito), trovasi al disopra del mercurio un galleggiante di materiale refrattario avvolto da una camicia magnetica di composizione e forma speciale, atta a garantire lo spostamento del galleggiante senza attrito apprezzabile. Il materiale costituente detta camicia è assolutamente inattaccabile dal mercurio, anche sotto l'azione delle scariche elettriche.



Fig. 78

Il galleggiante, per effetto del succhiamento magnetico esercitato dalla bobina, viene attratto verso il basso e si tuffa.

fa nel mercurio innalzandone il livello. Si viene così a stabilire il contatto fra i due elettrodi, attraverso il mercurio del pozzetto di quarzo. Al cessare dell'azione magnetica il galleggiante risale rapidamente, il livello del mercurio si abbassa, e la rottura del circuito avviene lungo l'orlo del pozzetto di quarzo, con rapido spegnimento della scintilla.

Nel bulbo di fig. 79 (tipo per apertura di circuito) il galleggiante è invece costituito da un nucleo pesante, immerso nel mercurio, del quale solleva permanentemente il livello. Il circuito tra l'elettrodo superiore e l'inferiore risulta così chiuso a riposo. Eccitando il sistema magnetico, il nucleo si solleva interrompendo il circuito.



Fig. 79

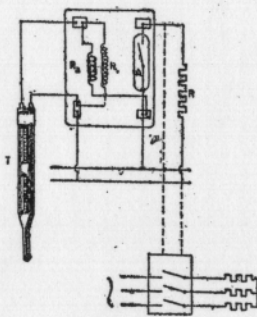


Fig. 80

Il sistema elettromagnetico è costituito, come si vede nella stessa fig. 80, da due avvolgimenti (abbraccianti il bulbo): uno con poche spire di filo grosso, e l'altro con molte spire di filo sottile, rispettivamente Ra ed Rv, che risultano fra di loro in serie e complessivamente in parallelo sulla base di alimentazione. Allorchè nel termometro Vertex a contatto spostabile T, non si è raggiunta ancora la temperatura stabilita col contatto mobile, la corrente non può passare attraverso di esso per cui, dopo aver attraversato Ra, è costretta ad attraversare Rv per ritornare alla linea. Si crea così un numero di amper-spire sufficiente a mantenere attratto verso il basso, e quindi parzialmente immerso, il galleg-

giante, il quale tuffandosi nel mercurio ne innalza il livello fin oltre il pozzetto. Tra i due elettrodi viene così chiuso direttamente o il circuito di alimentazione della resistenza riscaldante R (se l'energia richiesta non è molto grande), o, in caso contrario, il circuito di alimentazione delle bobine comandanti le staffe di un teleruttore atto all'inserzione di correnti di intensità da 30 ampèr in su. Ma, quando si raggiunge la temperatura prestabilita, l'avvolgimento Rv viene cortocircuitato attraverso T, colla conseguenza che, nonostante il discreto aumento di corrente, le poche spire di Ra non sono più sufficienti a mantenere il campo magnetico ad una intensità tale da costringere il galleggiante all'immersione. Questo viene allora rapidamente spinto verso l'alto per forza idrostatica ed il livello del mercurio si abbassa interrompendo il circuito elettrico. I bulbi del secondo tipo sono montati in modo che il galleggiante molto pesante e normalmente immerso viene succhiato verso l'alto dal campo magnetico e di conseguenza il livello di mercurio si abbassa, aprendo il circuito che a riposo risultava chiuso.

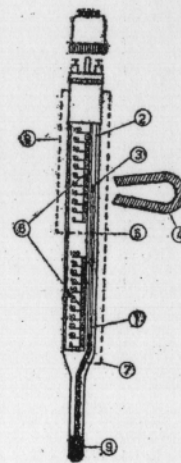


Fig. 81

I termometri Vertex a contatto elettrico spostabile (figura 81) sono simili ad un comune termometro, ma a differenza di questi sono provvisti di due scale identiche (6), una inferiore e l'altra superiore. Lungo la scala inferiore è disposto il capillare prismatico (1) nel quale scorre il filetto del mercurio, l'estremità superiore del quale segna la temperatura cui trovasi esposto il bulbo sensibile del termometro.

In corrispondenza della scala superiore scorre invece, nell'interno di un tubicino cilindrico (2), un segnalino magnetico (3) che può essere spostato dall'esterno mediante calamita a ferro di cavallo (4). L'estremità superiore di detto segnalino indica sulla scala superiore la temperatura alla quale è stato predisposto il termometro per la regolazione. Al segnalino magnetico è saldato inferiormente un filo finissimo di lunghezza esattamente uguale alla distanza fra le due scale, cosicchè quando l'estremità del segnalino si trova per esempio in corrispondenza di 40° sulla scala superiore, anche l'estremità inferiore del filo arriva esattamente alla graduazione 40° della scala inferiore. Questo filo sottilissimo si accavalla su due anelli di contatto (5) fra cui scorre perfettamente. Sulla sommità del termometro ha posto un cappellotto contenente due morsetti a serrafile, di cui uno è collegato con un elettrodo (7) che attraversa il bulbo ed è perennemente in contatto con la massa di mercurio; l'altro (8) è collegato con gli anelli di guida (5). Allorchè il bulbo sensibile (9) viene esposto al calore, il mercurio in esso contenuto si dilata e sale lungo la scala inferiore fino a raggiungere la temperatura prestabilita, raggiunta la quale tocca l'estremità del filo collegato al segnalino, e chiude il circuito fra i morsetti. Tale chiusura agisce sul relé di controllo automatico mettendo in corto circuito Rv. In seguito all'interruzione della corrente nella resistenza riscaldante, la temperatura diminuisce leggermente, il che provoca l'abbassamento del mercurio in (1); ma non appena il contatto del termometro si apre, il relé si rieccita, rinchiudendo il circuito della resistenza scaldante. Così ogni minima escursione della colonna di mercurio del termometro effettua la chiusura o l'apertura del relé, mantenendo praticamente costante la temperatura.

Questi termometri sopportano fino a 360 volta ed evitano ogni scintillamento interno, dato che essi non interrompono il circuito di eccitazione, ma hanno solo funzione di cortocircuitare l'avvolgimento del relé. Se il sistema da riscaldare non è dotato di grande capacità termica, ovvero se la temperatura di regime è abbastanza elevata, e quindi elevata è la corrente di alimentazione, è opportuno operare in modo che il Vertex non inserisca o tolga tutta la corrente ma soltanto una sua aliquota la quale agirà su un'avvolgimento indipendente da quello principale di riscaldamento. Il complesso Static - Vertex, oltre che alla regolazione automatica di riscaldamento si presta anche, montato in apposito circuito, alla regolazione automatica di raffreddamento, alla regolazione di riscaldamento fra due limiti, al riscaldamento fino

ad un certo valore seguito poi dal completo raffreddamento, eccetera.

§ 3 — Termoregolatori bimetallici.

Abbiamo visto al Cap. I su quale principio si basano i termometri bimetallici: essi si prestano molto bene per essere adattati a termoregolatori. Schematicamente essi funzionano come segue (figura 82): il cilindretto interno di invar A è mantenuto pressato sul fondo di ottone B mediante la molla C. All'estremità superiore A si prolunga una asticina agente sulla leva D la quale porta una delle piastrine del contatto elettrico. Allorchè con l'innalzamento della temperatura B si allunga, A meno dilatabile di B, si abbassa, richiamando a mezzo dell'asticina la leva D, la quale a un determinato punto staccherà la piastrina dalla contropiastrina E, determinando la interruzione della corrente nel circuito. Onde far avvenire questa interruzione ad una temperatura voluta, entro la gamma di temperature per la quale il termoregolatore è costruito, la contropiastrina E è montata su una piastrina flessibile la cui posizione può venir variata con continuità mediante una camma F munita di indice.

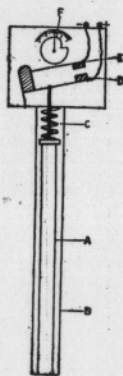


Fig. 82

Nel caso di potenze installate di una certa entità, è spesso necessario ed opportuno interrompere ed inserire una parte della corrente riscaldante. Quindi è necessario attuare un dispositivo mediante il quale al crescere della temperatura vengono esclusi successivamente uno o più circuiti riscaldanti. Un esempio di tale dispositivo è schematicamente rappresentato in fig. 83, il quale funziona sullo stesso principio del termoregolatore di figura 82. Solo in un primo tempo viene escluso il contatto K1 dopo di che, se la leva C collegata al cilindro di invar continua ad abbassarsi, ad un certo momento deforma anche la lamina L spinta in giù dalla vite regolabile B. Si determina così l'interruzione anche nel contatto K2 con conseguente esclusione anche del secondo circuito riscaldante.

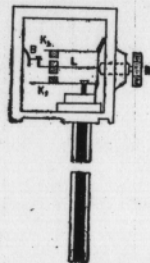


Fig. 83.

All'atto del raffreddamento, viene naturalmente a ristabilirsi prima il contatto K2 e successivamente il K1 in ordine inverso a quello di apertura. Si noti a destra (fig. 83) il bottone

R, munito di manopole con indice e scala: girandolo mediante passante a vite, si preme più o meno un pignone contro il telaio porta contatti determinando anticipo o ritardo nelle condizioni di contatto.

§ 4 — Termoregolatori a contatti di mercurio.

I termoregolatori a contatti di mercurio sono costituiti essenzialmente da un galvanometro a bobina semplice, il cui indice viene costretto ad aprire o chiudere un circuito.

Tale manovra del circuito viene però eseguita da una specie di bilancia a mercurio nel vuoto, che può assumere due posizioni ben definite, corrispondenti alla inserzione o disinserzione dell'alimentazione del forno.

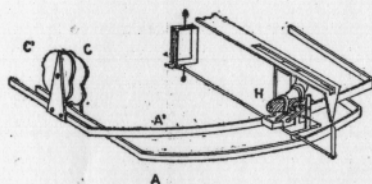


Fig. 84

Il dispositivo (fig. 84) è costituito da due camme CC' azionate da un motorino ad induzione. Le camme sollevano ed abbassano alternativamente due archetti AA' che a loro volta agiscono sulla bilancia H costituita da un interruttore a mercurio nel vuoto.

La bobina mobile può essere comandata da una coppia termoelettrica o da un termometro a resistenza.

§ 5 — Regolazione di temperatura a programma.

Molto spesso si rende necessario far seguire ai forni industriali un certo ciclo di trattamento termico, con variazioni prestabilite della temperatura in funzione del tempo.

A tali necessità si ovvia in maniera del tutto automatica con i *termoregolatori a programma*.

Con tali termoregolatori si possono regolare le temperature in modo tale che abbiano ad aumentare in un certo tempo, abbiano a rimanere costanti per un altro tempo determinato, più o meno lentamente, ad un limite minimo.

I cicli di trattamento che si possono ottenere sono infiniti. La regolazione a programma può essere realizzata con strumenti galvanometrici, in connessione con apparecchi a riduzione a zero.

In fig. 85 è rappresentato un breve ciclo di lavorazione, sviluppato su diagramma ortogonale, e riprodotto poi su disco polare (fig. 86).

Più precisamente in fig. 85 viene riprodotto un ciclo di trattamento della durata di 12 ore, durante il quale la temperatura del forno viene portata automaticamente dalla temperatura ambiente alla temperatura di 800° in 2 ore; successivamente la temperatura è abbassata al valore di 400°, tale limite viene raggiunto entro 2 ore e mezzo; il valore di 400° viene portato al valore di 200° in 7 ore. Infine il materiale può essere estratto o lasciato raffreddare naturalmente nel forno.

Il ciclo descritto è stato trasformato, sotto forma di camma (come risulta dalla fig. 86) per regolatori a programma.

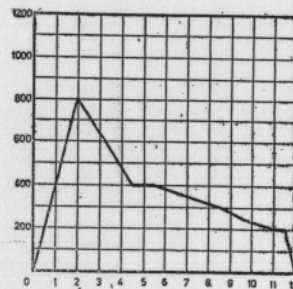


Fig. 85

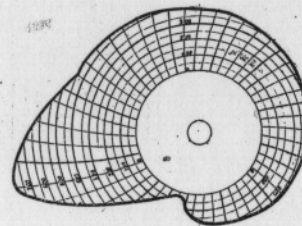


Fig. 86

Naturalmente ogni strumento a programma, nei limiti di tempo per cui viene costruito, può permettere la realizzazione di un qualsiasi ciclo di lavorazione con la preparazione di appropriate camme.

Nei regolatori a programma la forza elettromotrice della termocoppia (E_I) viene addizionata a quella data dall'apparecchio (E_A), e la somma delle due costituisce una f.e.m. costante (C = E_I + E_A).

Gli estremi di funzionamento possono quindi essere riassunti come segue:

a) con forno freddo, tutta la f.e.m. è fornita dall'apparec-

chio a programma. La f.e.m. della termocoppia è uguale a zero;

- b) Con forno a regime, al massimo valore di temperatura, la f.e.m. è data totalmente dalla termocoppia; la f.e.m. fornita dallo strumento a programma è zero.

L'apparecchio a programma mediante l'eccentrico sagomato di cui sopra, mantiene costante la f.e.m. (somma di quella della termocoppia e di quella dell'apparecchio); un aumento od una diminuzione di tale f.e.m. provoca l'intervento del regolatore di temperatura che interrompe o richiude il circuito di alimentazione.

INDICE ALFABETICO

189604



Acido borico, 7-8
Acido cloridrico, 31
Affinanti, 23
Albite, 22
Allumina, 21
Alluminio ossido, 21
Ammonio nitrato, 26
Anelli, 113
Anidride arseniosa, 23-24, 29
Anidride borica, 7-8
Anidride carbonica, 45
Anidride fosforica, 8-9
Anidride permanganica, 29
Anortile, 22
Antimonio, 24, 29
Antimonio solfuro, 24
Ardometri, 146-148
Arenarie, 78
Argento, 31
Argille refrattarie, 72-74
Argille — plasticità, 73
Argille — potere legante, 73
Argille — punto di fusione, 74
Argille — ritiro, 73
Arsenico, 23-24
Avventurina, 12

Bario carbonato, 19
Barite, 18-19
Blenda, 19
Borace, 8
Bruciatori, 104, 124-125, 127
Bruciatori a bocca libera, 104
Bruciatori a griglia, 104
Bruciatori per forni a bacino,
117-118

Cadmio solfuro, 31
Calce, 16-17
Calcio carbonato, 16-17
Calcio fluoruro, 25-26, 28

Calcio fosfato, 8, 28
Calore di fondo, 106
Calore specifico, 36
Caloria, 36
Camere di rigenerazione, 98-101
Camere — del gas, 96, 124
Camere — dell'aria, 96, 124
Camere — del fuoco, 96
Camere — dei fumi, 96
Camerette fredde, 104
Camino di tiraggio, 102
Canaletta d'informata, 119
Caolino, 21
Capacità di fusione, 120, 125
Carbonio fisso, 45
Carbonio ossido, 45
Carico termico, 125
Catrame (riscaldamento con), 64
Cavo di compensazione, 143-144
Ceneri, 44, 50-51
Cerchi, 81, 114.
Cerio ossido, 31-32
Cerio molibdato, 32
Chamotte, 71, 77
Cobalto ossido, 27, 30
Cobalto ossido salino, 30
Cobalto protossido, 30
Cobalto sesquiossido, 30
Coke, 45
Coloranti, 29-32
Combustibili, caratteristiche, 40
Combustibili — impiego nei gas-
sogeni, 52
Combustibili — pezzatura, 50
Combustibili — umidità, 51
Combustibili liquidi (riscaldamento con) 64
Combustibili liquidi — polverizzazione, 64, 65-67
Combustibili liquidi — vaporizzazione, 64, 65

Combustione, prodotti, 41
 Combustione — regolazione, 127-128
 Conduttività termica, 38
 Coni Seger, 68-69
 Controboche, 104
 Coppie termoelettriche, 140-145
 Corpo nero, 150
 Correnti dei bacini, 111
 Cremortartaro, 31
 Criolite, 28
 Cristalli al piombo, 110
 Cristallizzazione, 3
 Cristobalite, 75
 Crogioli 77, 79-82, 121-122
 Crogioli coperti, 80, 88, 89
 Crogioli scoperti, 80
 Crogioli — capacità, 122
 Crogioli — fattore di sfruttamento, 122
 Cromo ossido, 29
 Cucco, 115

Decoloranti, 26-27
 Degassificazione, 45
 Devettrificazione, 3
 Didimio nitrato, 32
 Didimio ossalato, 32
 Dog, 119
 Dolomite, 18

tilene, 47

Fattore di rendimento, 7
 Feldspati, 21, 22
 Ferro ossido, 4, 29
 Ferro solfato, 31
 Flotteurs, 81
 Fondenti, 3, 10
 Fonolite, 21
 Forni, 83-128
 Forni a fuoco diretto, 86-87
 Forni a gas, 88-128
 Forni antichi, 83-84
 Forni a ricupero, 90-95
 Forni a rigenerazione, 95-99

Forni a semigas, 87-88
 Forni elettrici, 87
 Forni Hermansen, 92
 Forni — calcolazione, 120-128
 Forni — consumo di calore, 121
 Forni — portata, 120
 Forni a bacino, 108-119
 Forni — a fiamma a ferro di cavallo, 116
 Forni — a fiamma trasversale, 116
 Forni — a fondita, 109
 Forni — a lavorazione continua, 109-119
 Forni a crogioli a ricupero, 107-108
 Forni a crogioli a ricupero a rigenerazione, 99-107
 Forni a crogioli — forma, 122-123
 Fritta, 84

Galleggianti, 81, 113
 Gas di generatore, 44, 48-49
 Gas misto, 44
 Gas povero, 44
 Gassificazione, 45
 Gassogeni, 44-63
 Gassogeni, a camera circolare, 57-59
 Gassogeni, a griglia fissa a tegolo 56-57
 Gassogeni, a griglia girevole, 59-60
 Gasogeni, Siemens, 53-56
 Gassogeni — capacità di gassificazione, 60
 Gassogeni — condotta, 62
 Gassogeni — fabbisogno aria e vapore, 61, 62
 Gassogeni — funzionamento, 44-52
 Gassogeni — sgrigliatura 62
 Gassogeni — spuntatura, 63
 Gassogeni — tipi costruttivi, 53-60
 Gibbsite, 21
 Giunti freddi, 140

Giunto caldo, 140

Impilaggio, 99-100
 Indicatori galvanometrici, 153
 Informata, 119
 Invar, 133
 Inversione del gas, 101-102
 Inversione dell'aria, 102

Lepidolite, 21
 Lingua, 117
 Litargiro, 20

Magnesite, 17-18
 Manganese, 27
 Manganese biossido, 26-27, 29
 Manganese ossido, 27, 29
 Manganese sesquiossido, 29
 Metano, 47
 Minio, 20

Neodimio ossalato, 32
 Nichelio ossido, 27, 30

Opacizzanti, 28-29
 Oro, 31
 Ortose, 22

Piombo ossido, 20
 Pirite (noduli nell'argilla), 81
 Pirometri a filamento evanescente 148-152
 Pirometri a radiazione parziale, 150
 Pirometri a radiazione totale, 150
 Pirometri fotometrici, 157-159
 Pirometri Keiser e Schmidt, 156-157
 Ponti, 113
 Potassa, 10-11
 Potassio bicromato 29
 Potassio carbonato 11
 Potassio cromato, 29
 Potassio nitrato, 25
 Potassio permanganato, 29

Portata specifica 112
 Portine, 104
 Potere calorifico, 36
 Praseodimio ossido, 32
 Preriscaldatore, 90
 Pyro-Optyx, 157
 Pyrradio 148

Quantità di calore, 35
 Quarziti, 4, 5, 74-75

Radiopiometro, 148
 Raffreddamento dell'acqua (curva), 37
 Raffreddamento del vetro (curva), 37
 Rame, 31
 Rame ossido, 30
 Rame solfato, 30
 Refrattari (materiali), 68-72
 Refrattari alluminosi, 70-71
 Refrattari argillosi, 71
 Refrattari carboniosi, 71
 Refrattari di silice, 70-71
 Refrattari silico-alluminosi, 70-71
 Refrattari speciali, 71
 Refrattari — ballatura, 79
 Refrattari — caratteristiche, 75-76
 Refrattari — classificazione 69-72
 Refrattari — impiego, 76-79
 Registratori, 153-155
 Registratori ad archetto battente, 154-155
 Registratori grafici galvanometrici, 154-155
 Ricuperatori, 90-95
 Ricuperatori metallici, 93
 Ricuperatori — dimensioni, 126
 Ricuperatori — elementi, 95
 Ricuperatori — requisiti, 93
 Rigeneratori (dimensioni), 123-124, 126
 Rivelatore termometrico, 137

- S**abbia del Lido, 4
 Sabbie, 4
 Sabbie — composizione, 5
 Sabbie — granitura, 6
 Sabbie — umidità, 6
 Sassi, 77
 Sbarramenti, 113
 Scorie, 44
 Selenio, 27-31
 Semigassogeno, 87
 Silice, 3-6
 Soda, 10, 12-15
 Soda di Catania, 12
 Sodio carbonato, 12-14
 Sodio cloruro, 26
 Sodio fluosilicato, 28
 Sodio fosfato, 9
 Sodio nitrato, 24-25
 Sodio selenito, 27
 Sodio solfato, 14-15, 25, 78
 Sodio uranato, 30
 Sopraportine, 104
 Sottocamera, 99
 Spatofluore, 25-26
 Stabilizzanti, 16
 Stagno biossido, 29
 Stagno ossido, 31
 Stibina, 24

 asche, 104
 Tempera del vetro, 39
 Tempera (forni), 79
 Temperatura, 35
 Temperatura di fusione del vetro, 85

 Temperatura nera, 150
 Tensioni termiche, 39
 Termometri a coppia termoelettrica, 140-145
 Termometri a mercurio, 131-133
 Termometri a resistenza elettrica, 135-139
 Termometri bimetallici, 133-134
 Termoregolatori, 160-168
 Termoregolatori a contatti di mercurio, 166
 Termoregolatori a programma, 166-168
 Termoregolatori bimetallici, 165-166
 Termoregolatori Static—Vertex, 161-165
 Terre rare, 31-32
 Testa di collegamento, 137-138
 Torio ossido, 32
 Tridimite, 75

Uranio ossido, 30-31

Vasca morta, 111
 Vetri duri, 85
 Vetrificanti, 3
 Vetro di quarzo, 85

Witherite, 19

Zaffera, 30
 Zinco ossido, 19-20
 Zinco selenito, 27
 Zinco solfuro, 19
 Zolfo, 31

