

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Bollettino della Società ticinese di scienze naturali |
| Herausgeber: | Società ticinese di scienze naturali |
| Band: | 15 (1920) |
| | |
| Artikel: | Scienza applicata alla refrigerazione meccanica con speciale riguardo alla grande industria metallurgica degli Alti Forni |
| Autor: | Bullo, Gustavo |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-1002883 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ING. GUSTAVO BULLO

Scienza applicata alla refrigerazione meccanica, con speciale riguardo alla grande industria metallurgica degli Alti Forni

(Conferenza tenuta alla Sezione X, Ingegneria, del 100^{mo} Congresso della Società Elvetica di Scienze Naturali, in Lugano,
6—9 settembre 1919)

I. Brevi cenni storici sulla fase pre-scientifica relativa all'applicazione del freddo, direttamente disponibile in natura.

Una delle prime constatazioni che dovette necessariamente fare l'uomo primitivo nell'avvicendarsi delle stagioni, fu senza dubbio, quella che si riferisce all'azione fisica e chimica esercitata dall'alternato elevarsi ed abbassarsi della temperatura dell'ambiente atmosferico, in cui le necessità della vita l'obbligavano a vivere, adattandovisi istintivamente alla meglio e restando, per dei millenni interi, incosciente strumento e vittima di forze brute e misteriose.

Doveva poi spettare all'« *homo sapiens* » di meditare profondamente e studiare davvicino tutti i fenomeni termici, stabilendo la convenzione, d'indole esclusivamente pratica, che la scala delle intensità termiche fosse divisa in due grandi zone, denominando, senza alcuna preoccupazione di rigore scientifico, con *freddo* le intensità al disotto del punto di congelazione dell'acqua e con *caldo* invece quelle superiormente al medesimo.

Già l'anzidetto uomo primitivo deve infatti aver necessariamente constatato il fenomeno dimostrante che l'atmosfera calda agevola, in forte misura, la decomposizione delle sostanze organiche, a differenza di quella fredda, che agisce invece quale eminente mezzo di conservazione, di cui è nota la facile deperibilità durante la stagione estiva.

A facile sostegno di quest'asserzione, mi sia lecito ricor-

dare la scoperta fatta, già oltre un secolo fa, da un celebre viaggiatore, il quale, esplorando la costa settentrionale della Siberia, rinvenne, fra i ghiacci eterni di quella desolata regione, il cadavere d'un gigantesco mastodonte in istato di buona conservazione, tanto che se ne servì per nutrire, durante qualche tempo, i cani trainanti le sue slitte; cani alimentati dunque con carne che si trovava da parecchi millenni sepolta e conservata nella profondità dei ghiacci siberiani.

Verificata la generalità di questa legge naturale, riesce evidente che l'uomo di tutte le epoche, preistoriche e storiche, si adoperasse continuamente a creare e prepararsi mezzi sufficienti per la conservazione dei propri viveri, ricorrendo per ciò al potente ausilio del freddo, in forma di ghiaccio naturale immagazzinato nel corso dell'inverno ed utilizzato durante l'estate; oppure traendo profitto dell'ambiente fresco o leggermente frigido delle cantine e grotte a sua disposizione.

Nelle regioni basse della zona torrida, ove non havvi vero inverno, il ghiaccio naturale vi era importato faticosamente da contrade lontane; oppure prodotto su ristrettissima scala mediante miscele frigorifere, o più di sovente ancora, generato con l'aiuto di ampie e basse bacinelle di terra cotta ripiene d'acqua, all'ingiro e sotto accuratamente isolate, esposte per una notte intiera all'aperto. In estate, l'aria notturna vi è talmente secca, che dà luogo ad un'intensa evaporazione, e, d'altra parte, i corbenti, di cui la bacinella è guarnita, ostacolando un rapido scambio di temperature, il calore occorrente all'evaporazione, mancando tutt'attorno, vien sottratto all'acqua stessa, che si raffredda mano mano, sino al punto di congelare parzialmente, formando cioè un leggero strato di ghiaccio sulle pareti interne delle menzionate bacinelle, dalle quali ultime veniva staccato e poi utilizzato laddove il caso lo richiedesse; per lo più a soli scopi sanitari e casalinghi.

Questa pratica durò per dei secoli, anzi per dei millenni interi, che precedettero l'avvento delle scienze sperimentali e lo sviluppo prodigioso dell'ingegneria e della tecnica in genere, verificatosi verso il 1810, in cui, abbandonato definitivamente il soverchiante empirismo del passato, i cultori di scienze naturali, in stretta collaborazione con gl'ingegneri scientificamente istruiti, determinarono poi quel fenomeno

sociale che noi soliamo denominare oggigiorno col termine di grande tecnica ed industria moderna.

Mediante studio approfondito della natura e delle leggi che reggono i suoi fenomeni maggiori, mercè gli innumerevoli ed interessanti sperimenti di laboratorio e l'indomita opera d'intelligenti direttori d'officine e cantieri di costruzione meccaniche, grazie alla scuola riorganizzata, che diffondeva ovunque la coltura tecnica e professionale, l'uomo pervenne infine ad asservire trionfalmente ai propri scopi d'elevazione civile, molte delle infinite e grandi forze che dominano arcanamente l'universo intero.

Non ad altro fine servino questi brevi accenni storici, abbracciati tutta l'era prescientifica, che a far risaltare efficacemente l'enorme contrasto fra le miserrime condizioni in cui versava un tempo colui che intendesse produrre ed applicare rudimentalmente il freddo e le ben diverse condizioni che vigono, a mo' d'esempio, oggigiorno negli Stati Uniti d'America, in cui la tecnica della refrigerazione meccanica è oramai assurta ad un'importanza di primissimo ordine; tant'è, che nell'industria frigorifica mondiale sono investiti attualmente capitali per un importo complessivo pari a diecine e diecine di miliardi di franchi.

II. Luminari della scienza e dell'ingegneria gareggiano nell'ideare e costruire i primi frigorigeni. — Diversi sistemi di produzione meccanica del freddo. — La storia del pensiero scientifico moderno c'insegna chiaramente che la scintilla innovatrice partì dai laboratori di fisica e di chimica: è là, infatti, che noi dobbiamo cercare l'origine ed il primordiale sviluppo della *Tecnologia del freddo*, su base prettamente scientifica.

Queste ricerche vennero agevolate in modo eminente dalla conoscenza, che già allora si aveva, della macchina pneumatica, o pompa d'aria, che denominar si voglia.

Allorchè, con l'ausilio di questa, si pervenne a rarefare in modo considerevole l'aria in un recipiente ben isolato, contenente dell'acqua, la quale ultima, in seguito alla diminuita pressione, doveva forzatamente evaporare con una certa vivacità, si ottenne allora un congelamento dell'acqua stessa e con ciò fu creata la prima e rudimentale *macchina frigorigena a compressione di vapori (gas)*.

Macchina, questa, che non potè raggiungere importanza pratica, dato l'enorme volume del vapor acqueo di circa 210 metri cubici per ogni kg ; misurati alla temperatura di zero gradi C., la qual circostanza sfavorevole implica l'applicazione di cilindri smisuratamente grandi della pompa aspirante e premente stessa.

Dai menzionati sperimenti con la macchina pneumatica, datano anche i primi tentativi di *Leslie* nel 1810, intenti a far assorbire e condensare dall'acido solforico il vapor acqueo generato nel vuoto della pompa stessa, e fu questa perciò la prima *macchina a freddo del sistema detto ad assorbimento o ad affinità*.

Infine dobbiamo citare *John Herschel* e *Gorrie*, i quali, l'uno nel 1834, l'altro nel 1845, idearono e costruirono i primi *frigorigeni del sistema ad aria atmosferica*.

Enunciati così i tre principali sistemi di frigorigeni, vale a dire : quelli a compressione, ad affinità e ad aria, sui quali si fonda oggigiorno quasi tutta la produzione del freddo artificiale, non vogliamo indugiare a mettere in risalto il fatto, che i risultati ottenuti dai menzionati scienziati di laboratorio, cui spetta però sempre il grande merito d'aver lancia to idee tanto feconde, non ebbero pressochè nessuna importanza pratica all'epoca in cui vissero gl'innovatori stessi.

Doveva essere riservato ai fisici ed agli ingegneri di qualche decennio più tardi il merito, ed anche l'intima soddisfazione di costruire dei frigorigeni direttamente applicabili all'industria, allora già fortemente sviluppata.

Nel campo del sistema a compressione, riscontriamo infatti dapprima *Perkins* nel 1834, il quale, abbandonando il vapor acqueo, adottò quale medio frigorifico l'etere etilico, seguito poi da *Shaw*, *Harrison*, *Lawrence* e *Siebe* nel medesimo senso.

Pertanto l'era classica e trionfale del *sistema a compressione* s'inizia più tardi ancora, e precisamente nel 1871 col genio innovatore di *Carlo Fellier*, costruttore della macchina ad etere di metile, poi col ginevrino vivente, *Raoul Pictet*, che nel 1874 costrusse il frigorifero ad anidride solforosa ed in ultimo il mio illustre capo e maestro *Carlo Linde*, il quale negli anni 1874 e 1881, coadiuato da valentissimi tecnici d'officina, in parte anche della Svizzera, ideò, costruì

ed applicò, su vasta scala, il frigorifero a compressione, prima, ad ammoniaca, e più tardi ad anidride carbonica.

Analoga fu la graduale evoluzione del *sistema ad assorbimento*, la quale evoluzione, iniziata nel 1810 grazie agli sperimenti di *Leslie*, d'assorbire e condensare il vapor acqueo mediante l'impiego dell'acido solforico, si svolse poi rapidamente alquanto più tardi coi celebri lavori di due inventori francesi, e parenti fra di loro, *Ed. Carré* e *Ferd. Carré*, i quali, adottando prima l'ammoniaca anidra nel 1857, poi l'acido solforico all'Esposizione di Parigi del 1867, finirono poicché per riaffermarsi col tipo ad ammoniaca, tipo che raggiunse effettivamente per la prima volta un'assai grande importanza nell'industria ed al quale sistema vennero col tempo apportate notevoli migliorie da *Reece*, *Koch* e *Habermann*.

Ciò che concerne infine il terzo dei sistemi menzionati, vale a dire quello ad aria, di cui scopersero il principio fondamentale e l'applicazione i già menzionati *John Herschel* nel 1834 e *Gorrie* nel 1845, rimarrebbe ad affermare, che i frigoriferi di tale sistema vennero, mano mano, assoggettati a modificazioni e migliorie da *Kirk* nel 1862, da *Windhausen* nel 1869 e da *Giffard* nel 1873.

Giova pertanto rimarcare che i frigoriferi ad aria, assursero a notevole importanza pratica, solo in seguito agli studi approfonditi ed alle ingegnose ricostruzioni di *Bell Coleman*, il quale li applicò con rimarchevole successo al lungo trasporto di carne congelata nei piroscavi transatlantici, rifornenti l'Inghilterra di derrate alimentari. Ulteriori utili modificazioni vi vennero successivamente apportate da *Haslam*, *Halle* e *Lightfoot*.

La statistica ci autorizza a dichiarare, senza tema di esser smentiti, che di tutte e tre i sistemi di frigoriferi sopra menzionati, quello denominato a *compressione di medi ad alta volatilità*, abbia sinora trovato di gran lunga la più vasta applicazione nelle industrie, e ciò grazie al suo elevato rendimento economico.

Analogamente a quanto già avvenne nell'elettricità applicata, anche nel campo della *tecnica del freddo*; i maggiori risultati, le costruzioni più geniali, furono a suo tempo conseguiti e raggiunti solo mercè l'indagine scientifica, lo studio, e la conoscenza profonda della termodinamica; il tutto in stretta collaborazione con l'ingegneria e con quanto di meglio

potevano offrire le moderne officine di costuzioni meccaniche.

L'identico fenomeno psicologico verificato in James Watt e nei suoi contemporanei, i quali grande avversione dimostravano ad applicare medie ed alte pressioni nei cilindri delle motrici a vapore di loro invenzione, si riprodusse quasi un cinquantennio più tardi anche nei costruttori delle più rudimentali macchine frigorifiche a compressione. Anche qui, una quasi morbosa riluttanza di varcare notevolmente la soglia della pressione atmosferica.

Si fu basandosi sulle ricerche e sui risultati prettamente scientifici di uomini come Torricelli, Boyle, Mariotte, Gay-Lussac, Faraday, Regnault, Carnot, Joule, Roberto Mayer, Pictet, Cailletet, Linde, Tellier ed altri ancora, che nel 1876 circa, si potè, con l'ausilio della termodinamica, stabilire le condizioni dalle quali dipende il grado di rendimento d'una macchina frigorigena; non solo, ma si stabilì pure che l'applicazione di agenti frigorifici di alta volatilità nelle menzionate *macchine a compressione*, permette di approssimarsi al massimo rendimento possibile.

Per quanto questo riassunto storico della genesi dei frigorigeni e del pensiero scientifico, che vi si attiene, possa forse a taluno apparire eccessivamente particolareggiato, pure io non me ne potei dispensare, data appunto la circostanza ch'esso si manifesta assai utile per la piena intelligenza delle fasi evolutive, attraverso le quali dovette passare questo importante ramo speciale della termotecnica ed utile, altresì, addimostrasi per la giusta comprensione di quanto, col benevolo vostro consenso, andrò ancora esponendo sui frigorigeni stessi e sulle loro principali applicazioni. E qui, mi sia lecito accentuare subito, che in seguito non mi occuperò che d'un solo sistema di produzione del freddo, di quello, cioè, a *compressione*, il quale, fra tutti, assurse, di gran lunga, a maggior importanza; vuoi dal lato applicazione alle industrie, vuoi anche per l'alto interesse scientifico e costruttivo che presenta oggigiorno nei suoi migliori e svariati tipi.

Con ciò non vuolsi in verun modo, menomare il valore dei sistemi ad assorbimento od affinità, nonchè quello ad aria; i quali, fatti ora oggetto di speciali studi, da parte di valenti tecnici, promettono indubbiamente d'assurgere a

novella importanza, specie per determinati scopi e a particolari condizioni di temperature, d'acqua disponibile e d'ubicazione dell'impianto.

III. Chiarimenti sul ciclo termico nei frigoriferi, —
Grado di rendimento di un frigorifero. — Prima di procedere ad una breve descrizione dei singoli organi costituenti una *macchina generatrice del freddo*, o frigorifero, a compressione, nonchè del suo funzionamento, spendiamo ancora qualche parola, allo scopo di dare una definizione scientificamente rigorosa, del lavoro, detto *ciclo termico*, che si svolge nel menzionato frigorifero, il quale ultimo, deve notoriamente soddisfare al compito assegnatogli di abbassare, oppure anche semplicemente di mantenere la temperatura di determinati corpi al disotto di quella ambientale.

Questo ciclo si affettua come segue: il calore che a tal uopo dev'essere sottratto al corpo da refrigerarsi, vien assorbito dall'agente frigorifico intermediario a temperatura bassa, per poi scaricarlo di nuovo a temperatura elevata su determinati corpi, quali ad esempio l'acqua oppure l'atmosfera, che si utilizzano a questo scopo. Ora, affinchè questo scaricamento di calore, mediante conduzione ed irradiazione, dall'agente frigorifico all'acqua od all'atmosfera possa avvenire, occorre che l'agente stesso venga portato ad una temperatura superiore a queste ultime, ciò che si raggiunge con dispendio di lavoro meccanico o d'energia, che dir si voglia.

In tale guisa l'agente frigorifico subisce alternativamente un elevamento ed un abbassamento entro le menzionate temperature: esso si scarica, cioè, di calore a temperatura bassa e, tosto che ha subito l'azione dell'energia meccanica immessavi, sale poi ad un livello termico tale, da poter nuovamente scaricare il calore nell'acqua o nell'aria, che poscia lo veicolano via.

Quale agente frigorifico per le macchine a compressione, veramente dette, vien impiegato, come già vedemmo, un liquido che alternativamente vaporizza e si liquefa. L'abbassarsi dell'agente alla temperatura del corpo o dell'ambiente (considerato ora come già refrigerato), si effettua ognora in modo, che l'aumento del proprio volume porti seco una produzione di lavoro, il quale si compone principalmente di

lavoro interno, o molecolare, ed in minor parte anche di lavoro esterno, o meccanico.

L'equivalente di detto lavoro interno ed esterno, viene sottratto all'agente stesso in forma di calore. La temperatura dell'agente si abbassa perciò a tal punto, che, per conduzione, il calore passa dal corpo da refrigerarsi al menzionato agente frigorifico.

Il ritorno alla temperatura superiore, insita all'acqua od all'aria impiegata quale mezzo di condensazione, si effettua mediante diminuzione del volume; durante la qual fase, l'equivalente del lavoro complessivo, interno ed esterno, accumulato nel menzionato medio frigorifico, si libera da sè passando gradatamente nell'acqua o nell'aria di liquefazione del medio stesso. Detta liquefazione avviene nel condensatore, previa compressione dell'agente nella pompa aspirante e presente, comunemente denominata *compressore*, sino alla pressione di saturazione, corrispondente alla temperatura dell'acqua o dell'aria disponibili a tale uopo.

Il rapporto esistente fra la quantità di calore Q_1 , sottratta al corpo da refrigerarsi e l'equivalente ($A L$) del lavoro meccanico consumato, espressione algebrica, denominata rapporto o *grado di rendimento d'un frigorifero*, costituisce appunto la base per calcolare e giudicare dal lato tecnico-economico una macchina atta a produrre del freddo, e detto rapporto puossi dedurre, con piena precisione, dalle leggi della termodinamica, previa conoscenza della cosiddetta cifra di Joule $A = \frac{1}{427}$ relativa all'*equivalenza termica del lavoro meccanico*, la quale ci dice che, alla produzione d'una Caloria corrisponde la simultanea distruzione di 427 kilogrammetri, mostrandoci così che il calore, in fondo, non è altro che una delle molteplici forme, sotto cui si presenta l'energia cosmica della natura.

IV. Condizioni per raggiungere il grado di rendimento massimo in un frigorifero. — Ciclo termico perfetto e ciclo termico praticamente raggiungibile. — Esposto così il principio sul quale si basa la produzione del freddo artificiale, definito poscia scientificamente il frigorifero ed il proprio rendimento, ci rimane di rispondere brevemente, ed in forma puramente riassuntiva, alle seguenti tre questioni d'ordine teorico:

1. Qual'è il grado di rendimento massimo raggiungibile?
2. Quale sarà il ciclo perfetto od andamento ideale del

lavoro, corrispondente al menzionato grado di rendimento massimo ?

3. Quale frazione dell'anzidetto rendimento massimo potrassi raggiungere effettivamente coi diversi frigoriferi a compressione, realmente costruiti e funzionanti nella pratica ?

L'esame termodinamico di questi quesiti portò gli scienziati ai seguenti risultati :

ad 1) Per raggiungere il grado di rendimento massimo, l'andamento del ciclo dev'essere tale, che in nessuna fase del medesimo, l'agente frigorifero sia forzato a lavorare a temperatura più bassa, rispettivamente più alta di quelle, alle quali lo scopo del frigorifero deve strettamente soddisfare od attenersi. Con altre parole: l'agente non dovrà essere portato a caricarsi di calore, proveniente dal corpo da refrigerarsi, ad una temperatura al disotto dello stretto necessario: nè esso dovrà venir inutilmente compresso al disopra della pressione di saturazione, corrispondente alla temperatura dell'acqua o dell'aria a disposizione ed impiegata alla liquefazione dell'agente stesso.

Il quale criterio vien espresso dalla seguente equazione:

$$d Q_1 : A d L = T_1 : (T_2 - T_1)$$

ad 2) Premesso che il caricamento e lo scaricamento di calore da parte dell'agente frigorifero avvenga isotermicamente, allora, dalla suddetta equazione avremo, come massimo rapporto di rendimento :

$$Q_1 : A L = T_1 : (T_2 - T_1)$$

e con ciò si ottiene un ciclo ideale. un ciclo di Carnot, avente come diagramma termico un rettangolo.

ad 3) Il frigorifero a compressione, tale come vien usualmente costruito per l'uso pratico, dovette necessariamente venir di molto semplificato, di fronte a quello teorico, dalla qual cosa consegue che il ciclo dell'agente non corrisponde più a quello ideale, detto di Carnot ; ciclo, questo, che dà il massimo rendimento e che risulta del tutto indipendente dal genere di liquido vaporizzante impiegato per la produzione del freddo, sia questo ammoniaca anidra (NH_3), anidride carbonica (CO_2) od anidride solforosa (SO_2).

L'agente frigorifero, il quale, dopo esser stato compresso e liquefatto, dovrebbe teoricamente passare in un cilindro ad

espansione per produrvi del lavoro meccanico, per ragioni di semplificazione, affluisce invece direttamente ad una valvola regolatrice, che esso attraversa, per irrompere poi nel vaporizzatore, foggiate a refrigerante.

Detto spostamento dalla teoria, trascina seco i seguenti inconvenienti: 1) perdita del lavoro d'espansione; 2) l'equivalente di questo lavoro passa in forma di calore, al refrigeratore, abbassandone dunque, l'effetto utile.

Dalle suesposte considerazioni emerge chiaramente che il frigorifero siffattamente costruito e semplificato, non realizza che un rendimento alquanto ridotto, di fronte a quello della macchina con agente che segua il ciclo di Carnot; grado di rendimento scemato anche da altri fattori minori, inerenti alla natura del medio stesso, oltre che essere dipendente anche dalla quantità e dalla temperatura dell'acqua disponibile, senza menzionare poi l'influenza della maggior o minor razionalità che regge la costruzione e l'esecuzione pratica del frigorifero in parola.

V. Succinta enumerazione e descrizione degli elementi principali di cui è costituito ogni frigorifero a compressione. Procediamo ora ad una breve descrizione dei singoli organi costituenti una macchina generatrice del freddo, a compressione di uno dei diversi gas utilizzati nell'industria.

Pel compimento dei cicli, occorre che ogni frigorifero consti dei seguenti tre apparati principali, cioè di:

un *Vaporizzatore*, detto anche *Refrigeratore*, che si compone di tubi fogniati a serpentini, di un sol pezzo, collocati in una vasca, ai quali, previo passaggio per una valvola regolatrice, affluisce il fluido refrigerante liquido, che vi vaporizza, raffreddando in tal guisa l'aria, la soluzione salina od una sostanza qualsiasi nella quale sono immersi i serpentini;

un *Compressore*, che aspira il fluido gaseiforme formatosi nel refrigeratore, lo comprime e lo spinge nel

Condensatore, apparecchio composto anch'esso di serpentini in ferro collocati in una vasca, analoghi a quelli del menzionato refrigeratore, e nel quale l'agente vaporizzato, sotto l'azione successiva della pressione nel compressore e del raffreddamento mediante l'acqua di condensazione, si liquefa. Da qui il liquido affluisce alla valvola regolatrice e

di là passa poi nuovamente al refrigeratore, ripetendosi così ininterrottamente il ciclo termico chiuso sopradescritto.

Queste tre diverse parti integranti del frigorifero, debitamente collegate tra di loro da tubazioni ed enunciate nella loro tipica e più semplice forma, assumono naturalmente, di caso in caso, strutture e costruzioni ben differenti, a seconda dello scopo industriale cui vengono adibite; non solo, ma anche in dipendenza dell'entità dell'impianto, del quantitativo e della temperatura dell'acqua di condensazione, nonchè del modo di azionamento.

VI. Breve enunciazione di alcune fra le più note applicazioni del freddo artificiale. — Alta importanza scientifica, economica e sociale del vasto problema del freddo artificiale. — Criteri tecnico-scientifici per stabilire le basi d'erigendi frigoriferi industriali. — Il freddo artificiale prodotto dai frigoriferi, di cui sopra fu abbozzato il tipo generale con relativo funzionamento, trovò, nel corso degli anni, delle innumerevoli applicazioni scientifiche, tecniche ed industriali, la cui enumerazione, anche incompleta, implicherebbe un assai notevole dispendio di tempo e di spazio, ragion per la quale ci limiteremo ad enunziarne qualcuna delle più salienti, quali, per esempio, la razionale e prolungata conservazione di derrate alimentari d'ogni genere, compreso il latte e suoi prodotti e derivati; la fabbricazione e conservazione del ghiaccio, la refrigerazione del mosto e dell'aria nelle cantine di fermentazione e di deposito per la birra; molteplici applicazioni all'enologia ed alla stagionatura artificiale e rapida di determinati vini e liquori; applicazione vastissima ai mezzi di trasporto per terra, per mare e sui fiumi navigabili; applicazione considerevolissima a tutta intera la chimica farmaceutica ed industriale, specie a quella delle materie coloranti ed estrattive; applicazioni diverse all'agricoltura, alla floricoltura ed alla bachicoltura; alla conservazione di costose pelliccie, stoffe arazzi e tappeti di pregio artistico; alla refrigerazione di locali di lavoro e d'abitazione; alla liquefazione dei differenti gas e particolarmente all'estrazione dell'ossigeno e dell'azoto direttamente dall'atmosfera; al congelamento del suolo per la messa in valore di bacini carboniferi e per l'esecuzione di grandi lavori di fondazioni, gallerie e similari;

interessanti applicazioni alle industrie tessile, ¹⁾ metallurgica, meccanica, elettrica ed elettro-chimica ; alla formazione di piste artificiali di pattinaggio ; alla grande panificazione ; al raffreddamento dell'acqua potabile, di magazzini di deposito per esplosivi, di laboratori scientifici, specie di fisiologia, anatomia, terapia, igiene sociale, chirurgia, conservazione delle salme umane a scopo giuridico o d'identificazione personale ed infine applicazione del freddo artificiale allo studio sistematico delle bassissime temperature e suoi effetti d'ordine scientifico, agrario ed industriale ; indagini che ci possibiliano di verificare come si comportano biologicamente, fisicamente e chimicamente gli esseri organici, i corpi solidi, liquidi e gaseiformi sottoposti a temperature bassissime, che si avvicinano ormai allo zero assoluto, vale a dire a 273 gradi al di sotto del punto di congelamento dell'acqua.

Da ciò che precede emerge in modo assai evidente quanto largo sia il campo d'applicazione del freddo artificiale, di questo potentissimo ausilio degli innumerevoli rami d'attività umana. Difficile gli è ormai trovare un'industria, in cui, in misura maggiore o minore, esso freddo non costituisca un eminente fattore di razionalizzazione di procedimenti tecnici, scientifici, agrari, industriali e commerciali.

Basti qui il dire, che miliardi di franchi sono direttamente od indirettamente investiti in frigoriferi di terra e di mare, e milioni d'uomini sono occupati e trovano larghi mezzi d'esistenza negli stabilimenti per la produzione e l'applicazione del freddo artificiale.

Qui giunti, riteniamo utile osservare che ogni singolo impianto per la produzione ed applicazione del freddo artificiale debba necessariamente esser assoggettato ad uno studio speciale ed approfondito, nel corso del quale si passerà alla scelta del fluido frigorifero da adottarsi (ammoniaca anidra, anidride carbonica, anidride solforosa, cloruro di metile ecc,), del sistema del condensatore (ad immersione, a pioggia, oppure a doppi tubi e controcorrente), della costruzione peculiare del Vaporizzatore detto anche Refrigeratore, se cioè esso debba esser foggiano come raffreddatore diretto od indiretto, vale a

1) Vedi ing. Gustavo Bullo : « L'applicazione del freddo artificiale alla mercerizzazione del cotone ». — Estratto dal « Bollettino dell'Associazione Cotoniera Italiana ». Milano, Numero di Maggio 1913.

dire, se il medio frigorifico debba agire direttamente sulla sostanza o fluido da refrigerare, oppure indirettamente, vale a dire con l'intermediario d'una soluzione incongelabile (salamoia, glicerina, ecc.)

Tutte queste principali ed importantissime questioni, nonchè altre di carattere più o meno accessorio e secondario vanno, di caso in caso, esaminate con rigore scientifico, temperato da sani criteri tecnico-industriali ed economici, di modo che ne risulti un tutto armonico con la pratica attuabilità e pienamente conforme allo scopo cui si mira.

Giova poi qui rimarcare che allo studio frigoritecnico, propriamente detto, dovrà precedere l'esame accurato delle questioni generali d'ubicazione; di facile viabilità; di allacciamento ferroviario; d'approdo marittimo, lacuale o fluviale; di conveniente e rapido rifornimento di laterizi e materiali diversi per la parte edilizia; d'abbondante ed abile maestranza; di quantità, qualità e temperatura dell'acqua a disposizione; del genere di forza motrice (idraulica, elettrica, a vapore, a gas, ad olio pesante, a vento, ecc.); della maggiore o minore probabilità di futuri ampliamenti e di più o meno intensa concorrenza locale o regionale, dovendo appunto tutti quanti i menzionati fattori fornire gli elementi indispensabili per stabilire un calcolo di rendibilità industriale sufficientemente attendibile ed esatto agli occhi dell'assuntore dell'impresa.

VII. Applicazione del freddo artificiale alla produzione del ferro grezzo ed in special modo all'essiccamiento dell'aria da insufflarsi negli alti forni. — Nozioni preliminari. — Esperienze di Gayley relative all'economia di coke. — Obbiezioni. — Risultati accertati. — Limiti di raffreddamento artificiale dell'aria. — Procurataci così, col complesso delle note precedenti, una visione d'insieme sufficientemente chiara, relativa all'origine, alla teoria, all'importanza ed all'ininterrotto progresso della scienza e della tecnologia del freddo artificiale, passiamo ora alla particolare trattazione di una sola fra le numerose e maggiori applicazioni dei frigoriferi all'industria, delle quali più sopra demmo una ristretta enumerazione. Noi procediamo cioè, ora, ad un breve e succinto studio concernente l'interessante applicazione del freddo artificiale alla grande industria produttiva del ferro grezzo negli alti forni moderni.

Per coloro che non sono iniziati in materia, potrebbe apparire alquanto strano il proposito di far intervenire i frigoriferi in procedimenti chimico-industriali, che debbono svolgersi a temperature di combustione altissime, oscillanti fra i 1500° ed i 1750° C, temperature assolutamente indispensabili pel pieno raggiungimento dello scopo cui si mira.

Orbene, ogni stupore sarà svanito, per far posto ad una viva e legittima curiosità di sapore scientifico, tosto che l'attenzione venga diretta, non sul processo metallurgico propriamente detto, ma sul problema d'essiccare convenientemente gli enormi volumi d'aria atmosferica prima ch'essi siano insufflati negli alti forni stessi, ove producesi notoriamente la ghisa di primo getto. Essiccamiento d'aria aente cioè, lo scopo di ridurre notevolmente il consumo di coke negli alti forni stessi.

Infatti, già da oltre un secolo e mezzo, si era fatta la constatazione che l'andamento termico d'un alto forno si svolge a temperatura più bassa a tempo umido che a tempo secco. In estate, allorchè il peso del vapor acqueo contenuto in un metro cubo d'aria raggiunge il suo massimo, quantunque il grado igrometrico possa rimanere assai debole, si è sempre costretti ad intensificare il carico di coke nell'alto forno, onde evitare un raffreddamento della massa metallica in fusione. Breve: più che alla bassa temperatura dell'aria, il maggior consumo di carbone è dunque d'attribuirsi all'alto contenuto di vapor acqueo dell'aria stessa. Nelle giornate invernali relativamente miti ed assai secche, il consumo di coke risulterebbe perciò minimo.

Da esperienze fatte nel 1906 da *Gayley* su alcuni alti forni nordamericani, risulta infatti che, essiccando convenientemente e preventivamente l'aria, si può realizzare un'economia media annuale di 50 kg. di coke per ogni tonnellata di ghisa grezza prodotta.

Parecchi ingegneri metallurgici e chimici-industriali contestarono l'esattezza della menzionata cifra e attribuirono il minor consumo di coke anche ad altre varie circostanze e fattori che si sottraggono al calcolo e ad un esame, per quanto accurato, del complicato processo termo-chimico svolgentesi nell'interno dell'alto forno. Non risulta come definitivamente assodato — essi dicono — che sia proprio il maggior contenuto di vapor acqueo nell'aria che determini, da solo, il pre-

citato maggior consumo di 50 kg. di coke ; anzi, alcuni fra i più dubbiosi di loro — riuniti a diversi congressi di tecnici-metallurgici — erano d'avviso che la menzionata cifra d'economia attribuita al vero e proprio essiccamiento dell'aria, dovesse venir ridotta a soli circa 13 kg.

La verifica di quest'asserzione, esulando essa dal nostro campo strettamente frigoritecnico, convien che sia lasciata agli specialisti che si occupano di chimica metallurgica. Acchè non regni un malfondato scetticismo in merito, riteniamo tuttavia doveroso di riferire qui ciò che nell'anno 1908 ebbe a scrivere *Boudouard* su quanto sopra : Di qualunque natura siano le cause esatte dei risultati enunciati da *Gayley*, sappiamo tuttavia con sicurezza che essiccando preventivamente l'aria da insufflarsi negli alti forni, le economie realizzate risultano per certo :

- 1) dalla diminuzione nel consumo di coke ;
- 2) dall'aumento della produzione di ghisa ;
- 3) da un rendimento superiore delle macchine soffianti ;
- 4) dalla grande regolarità del funzionamento dell'alto forno, che a sua volta si ripercuote sul costo di produzione della ghisa ed ulteriormente sulle spese di fabbricazione dell'acciaio Bessemer.

Malgrado i dubbi sollevati da qualche metallurgico e ad onta dell'elevato costo d'impianto e d'esercizio, l'essiccamiento preventivo dell'aria mediante applicazione di frigoriferi venne adottato su vasta scala in parecchi alti forni nordamericani ed europei, specie per iniziativa e per conto di *Gayley*, che ottenne diversi brevetti d'invenzione basati su quanto sopra.

Tutto ciò premesso e chiarito a scopo d'una sufficiente comprensione dell'importante questione, questione che può, in grandi industrie, implicare delle economie di diecine e centinaia di migliaia di franchi sulle spese annue d'esercizio, procediamo ora ad esaminare quali siano i mezzi che addimostransi i più efficaci ad un conveniente essiccamiento di grandi volumi d'aria.

Il metodo che sino ad un trentennio addietro era quasi esclusivamente adottato, consisteva nel mettere l'aria, da essiccarsi, in continuo e intimo contatto con certe sostanze avide d'acqua, quale, ad esempio, il cloruro di calcio, che assorbe man mano parte dell'umidità contenuta nell'aria stessa.

Raggiunto che abbia un certo grado di saturità, il detto cloruro di calcio vien assoggettato ad una intensa disidratazione mediante aduzione di calore, che ripristina in tal guisa lo stato primitivo di deliquescenza, ponendo, cioè, il predetto sale in grado di riprendere la propria funzione d'essiccante dell'aria.

Dati sicuri di costo d' impianto e d'esercizio, riferiti ad una tonnellata di ghisa prodotta, nonchè relazioni esaurienti sulle condizioni generali che vigono in tali installazioni, scar- seggiano assai. Consta tuttavia all'autore di queste note, che il menzionato sistema d'essiccamiento dell'aria non abbia, in com- plesso, soddisfatto pienamente gli industriali che ebbèro ad adottarlo pei loro alti forni.

L'altro metodo — ed è precisamente quello che forma oggetto speciale del nostro odierno studio — è basato invece su tutt'altro principio, vale a dire sull'*azione del freddo quale fattore essiccante* dei gas, in genere, e dell'aria in ispecie.

Ed infatti, sottoposto un volume qualsiasi d'aria ad un abbassamento di temperatura, si giungerà necessariamente ad un determinato punto, appena sorpassato il quale, l'aria, sovrasatura d'umidità, si libera dell'eccesso di vapor acqueo contenutovi, condensandolo e determinando così la sua pre- cipitazione in forma di pioggia. Quanto più basso si spinge il raffreddamento dell'aria, tanto più si ridurrà il contenuto acqueo dell'aria stessa.

Nel freddo artificiale disponiamo così d'un semplice quanto potente ed efficace strumento d'essiccamiento dell'atmosfera, restando appunto in piena nostra facoltà di spingere la disidratazione sino a quel punto che noi riteniamo pratica- mente proficuo.

Per molteplici ragioni d'ordine chimico-metallurgico, ma specialmente per non esser costretti a lavorare con basso rendimento economico col frigorigeno, suolsi refrigerare l'aria non oltre circa 5° C sotto zero, considerata questa come tem- peratura limite, specie per la stagione invernale, alla quale temperatura corrisponde un contenuto di vapor acqueo di grammi 3,45 per ogni metro cubo d'aria, in istato di saturazione.

Allo scopo di conferire maggior interesse ed evidenza ai criteri tecnico-scientifici che andremo rapidamente svolgendo nell' ultima parte di questo studio, ci sia lecito illustrare le

nostre considerazioni con un caso concreto, mediante cioè cifre tratte dalla pratica nordamericana ed europea.

VIII. Illustrazione d'un caso concreto d'impianto frigorifico per l'essiccamiento dell'aria da insufflarsi in un alto forno produttore di ghisa grezza. — Ad un alto forno che produca ogni 24 ore 370 tonnellate di ghisa, con un consumo medio annuale di 950 kg. di carbone coke per ogni tonnellata di ghisa prodotta, occorrono, a mo' d'esempio, 1000 mc. d'aria d'insufflamento al minuto primo, pari a $1000 \times 60 = 60.000$ mc. all'ora e 1.440.000 mc. ogni 24 ore.

La temperatura massima iniziale dell'aria sia di $+28^{\circ}$ C; la sua umidità relativa sia del 75 %, l'abbassamento della temperatura venga spinto a -5° ; il contenuto di vapor acqueo per ogni mc. d'aria sarà perciò rispettivamente di $26,95 \times 0,75 = 20,0$ e di $3,4 \times 1,0 = 3,4$ grammi, restando sottinteso, per quest'ultima cifra, che l'aria di -5° , uscente dal refrigerante per esser aspirata dalle macchine soffianti, sia pressochè satura.

a) Fabbisogno totale di freddo :

Il calore dunque, che a scopo d'essiccamento devesi sottrarre ad ogni mc. d'aria di $+28^{\circ}$, dell'umidità relativa del 75 %, refrigerata a -5° , con titolo d'umidità del 100 %, si comporrà dei seguenti elementi :

- 1) Abbassamento di temperatura, senza essiccamento; $28^{\circ} - (-5^{\circ}) = 33^{\circ}$ dislivello termico; 0,31 calorie, calore specifico dell'aria riferito al mc., dunque $33 \times 0,31 = 10,23$ calorie.
- 2) Essiccamento propriamente detto :
Differenza dei due titoli d'umidità :
 $20,0 - 3,4 = 16,6$ grammi; 0,61 calorie da sottrarsi ad ogni grammo di vapor acqueo da condensare, dunque : $16,6 \times 0,61 = 10,12$
- 3) Calore da sottrarsi ad ogni mc. d'aria e per ora in seguito ad adduzioni diverse, come irradiamento dall'esterno all'interno dei locali destinati a contenere gli apparecchi refrigeranti; imperfetta isolazione dei refri-

Riporto 20,35

geratori e dei condotti; equivalente calorico dell'energia meccanica consumata da ventilatori ed altri meccanismi; illuminazione artificiale; traffico di personale negli ambienti ed imprevisti, complessivamente, a cifra tonda = 0,65

Calore totale da sottrarsi ad ogni mc. d'aria = 21,00 calorie
Perciò, esigendo l'alto forno in questione un volume d'aria di 60,000 mc. all'ora dovremo dunque sottrarre a quest'ultimi un calore complessivo pari a $60.000 \times 21 = 1.260.000$ calorie all'ora, e ciò allo scopo di raggiungere il desiderato essiccamiento dell'aria da insufflarsi, essiccamiento che a sua volta, deve arrecare quei vantaggi di produzione della ghisa, nonchè le migliori condizioni generali d'esercizio più sopra menzionati.

b) Scelta del sistema del frigorifero.

Stabilito, in tal guisa, il fabbisogno totale di freddo, non ci soffermeremo affatto alla questione, se per l'impianto del frigorifero debbasi adottare il sistema ad assorbimento, detto anche ad affinità, piuttosto che quello a compressione, poichè essa dipende in modo particolarissimo dalle condizioni speciali di sfruttamento dei gas di scappamento degli alti forni stessi a scopo di produzione di forza motrice, nonchè dalla maggiore o minore abbondanza d'acqua di condensazione disponibile.

Su questo punto e su quanto concerne l'essiccamiento dell'aria negli alti forni in generale, giova conoscere, fra altro materiale tecnico-letterario, anche quello esposto e spiegato, ad esempio, nelle diverse conferenze tenute da alcuni ingegneri specialisti nel 1909 al « Institute of Engineers and Shipbuilders » a Glasgow.

Pel nostro caso, che stiamo qui trattando, vogliamo senz'altro ammettere il sistema diffusissimo a compressione di ammoniaca anidra, e ciò facciamo allo scopo di conferire maggiore interesse tecnico scientifico al problema.

Vogliamo contemporaneamente premettere che vi sia abbondanza d'acqua di condensazione, alla temperatura media annuale di $+ 14^{\circ} \text{C}$, ciò che potrebbe, ad esempio, valere per le regioni dell'Italia centrale, specie della costa marittima.

c) Calcolo relativo all'impianto del frigorifero:

La menzionata potenzialità di 1.260.000 calorie all'ora della macchina sia, per maggior sicurezza dell'esercizio, non già concentrata in un solo grande compressore, ma bensì distribuita su due compressori, assumente ognuno la metà della predetta potenzialità; essi siano inoltre di tipo identico, con organi facilmente intercambiabili, ognuno azionato da un proprio motore elettrico, indipendente l'uno dall'altro, ma con condotti dell'ammoniaca intercomunicanti, di modo che l'uno possa eventualmente servire quale riserva dell'altro e funzionare temporaneamente anche da solo, specie durante le giornate secche d'inverno.

L'effetto utile della macchina sia misurato entro i limiti di temperatura seguenti: $+25^{\circ}$ quale media per la condensazione dell'ammoniaca in apparecchi normali cilindrici ad immersione dei serpentini e di -12° per l'ammoniaca vaporizzante nei tubi a spire, foggiati appunto quali refrigeratori diretti dell'aria da essiccarsi, con assoluta eliminazione d'ogni organo intermediario, quale potrebbe essere una soluzione salina incongelabile (salamoia), riducendo così l'impianto alla sua estrema semplicità e sopprimendo tutto ciò che concorre a menomare la razionalità e l'economia d'un grande esercizio.

Se non che, giunti a questo punto, occorre rimarcare che sarebbe eccessivamente costoso di addossare tutto quanto il poderoso compito dell'essiccamiento dell'aria al solo impianto frigorifero propriamente detto, visto che la stessa natura ci fornisce degl'eccellenti *mezzi semi-gratuiti di refrigerazione dell'aria*, tolti direttamente dall'acqua, dolce, salmastra o salina ch'essa sia, purchè in quantità abbondante e di temperatura non troppo elevata.

Ed infatti, nulla si oppone acchè il raffreddamento dell'aria dalla temperatura massima iniziale di $+28^{\circ}$, più sopra ammessa, sino giù a circa $+21^{\circ}$, avvenga mediante continuo ed intenso contatto dell'aria stessa con tubi radiatori, abbondantemente dimensionati, nell'interno dei quali circolasse incessantemente una forte corrente d'acqua di, ad esempio, $+14^{\circ}$, proveniente dal sottosuolo, da sorgenti o dal mare.

Ciò premesso, il calore totale da sottrarsi ad ogni mc. d'aria, da 21 calorie, più sopra calcolate, si ridurrebbe a sole

14,82 calorie, e ciò esteso ai 60.000 mc. all'ora, si giungerebbe ad una cifra di 889.000 calorie; fabbisogno, che in considerazione dell'inevitabile perdita sottraentesi ad un esatto calcolo e derivante dalla formazione d'un leggerissimo strato di brina sui serpentin del refrigeratore, dovremo proporzionalmente maggiorare ed arrotondare a *900.000 calorie all'ora, corrispondente al compito effettivo che dovrà esser addossato alla macchina refrigerante, propriamente detta.*

Vedemmo più sopra che il ciclo termico dovrà compiersi entro un dislivello di 37°, corrispondente alle temperature estreme dell'ammoniaca condensante di + 25° e dell'ammoniaca vaporizzante di — 12°. Orbene, il voler compiere l'intero grande ciclo in un solo ed unico aggregato di macchine, come purtroppo si pratica in numerosi impianti non scientificamente studiati, costituirebbe un delitto di resa razionalità, poichè in diretto urto con le principali leggi della termodinamica.

Infatti, in questo caso l'effetto utile teorico del ciclo monofasico sarebbe solo di :

$$\frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{261}{298 - 261} = 7,05$$

Mentre che se si divide il *ciclo in due fasi*, con un T_1' intermedio, uguale a circa $273 - 5 = 268$, affidando cioè ad ogni compressore l'aspirazione e la compressione di circa la metà del volume totale di gas d' amoniaca e ripartendo la vaporizzazione su due apparecchi, otterremo un rendimento medio superiore del precedente ed all'incirca uguale a

$$\frac{7,05 + 9,0}{2} = 8,02$$

anzichè di soli 7,05.

Ciò premesso nei riguardi della grande linea direttiva da seguirsi nel progettare ed ideare un razionale impianto d'essicciamento d'aria, procediamo ora ad enunciare brevemente ciò che di tale impianto dovrà costituire parte integrante ed essenziale, determinandone, col calcolo, gli elementi principali per la loro costruzione.

Prefrigeratore ameccanico, a semplice circolazione d'acqua dolce e salina. Esso potrà convenientemente constare di batterie formate da tubi in ghisa a nervature, aventi 80 mm. di diametro interno ed in media 1,50 mq. di superficie raffreddante per ogni metro corrente di tubo.

L'aria da essiccarsi e prelevata direttamente dall'atmosfera, viene da potenti elettroventilatori spinta attraverso i vani lasciati liberi dai tubi a nervature, lambisce quest'ultimi, ai quali affluisce e dove circola costantemente acqua fredda dolce o salina, abbassa perciò la temperatura sino al punto suo di condensazione, in seguito a che si scarica della propria umidità eccedente, che precipita poi in forma di pioggia, determinando così un primo essiccamento dell'aria stessa.

Premettendo una differenza media di circa 5° fra la temperatura dell'acqua circolante e dell'aria passante le batterie, ammettendo altresì che ogni mq. di tubo a nervature, trasmetta in media 7 calorie per ogni grado di differenza di temperatura e per ora, possiamo ora determinare la lunghezza totale dei tubi a nervature occorrenti per le batterie refrigeranti.

Al prefabbricatore ameccanico spetta infatti, come vedemmo più sopra, il compito di sottrarre all'aria :

$1.260.000 - 900.000 = 360.000$ calorie-ora, di modo che la lunghezza complessiva delle batterie sarà di :

$$\frac{360.000 \text{ cal-ora}}{5^{\circ} \times 7 \text{ cal.} \times 1.50 \text{ mq.}} = 6850 \text{ metri lineari di}$$

tubo in ghisa a nervature di 80 mm. di diametro interno, ripartiti convenientemente su 6 batterie, avente ognuna 1140 m. di lunghezza circa ed ognuna d'esse munita di apposita incastellatura isolante e d'un elettroventilatore elicoidale della potenzialità effettiva di circa 10.000 mc. d'aria all'ora.

Frigorigeno meccanico, propriamente detto. Calcolammo più sopra il fabbisogno totale di freddo in 1.260.000 calorie-ora. Di queste ne possiamo sottrarre 360.000 mediante il prefabbricatore dianzi descritto e calcolato, di modo che al frigorifero meccanico rimarrebbe il compito della differenza di $1.260.000 - 360.000 = 900.000$ calorie-ora.

Per sode ragioni di praticità e di sicurezza d'esercizio, già più sopra enunciate, premettiamo che il compito della soltrazione del suddetto ingente numero di calorie sia distribuito su due compressori, anzichè concentrato in uno solo di questi, di guisa che ad ognuno d'essi spettino $\frac{900.000}{2} = 450.000$ calorie-ora.

Se il *Compressore*, che più sotto precisiamo col calcolo,

è in grado d' aspirare e comprimere vapori d'ammoniaca di -12°C in un volume tale da poter sottrarre 450.000 calorie-ora all'aria da essiccare, tanto più facilmente potrà assumere il proprio compito il secondo compressore, identico al primo, poichè esso, lavorando entro un dislivello di temperatura minore, cioè fra $+25^{\circ}$ e -5° , anzichè fra $+25^{\circ}$ e -12° , avrà, per questo stesso fatto, da aspirare e comprimere un volume d'ammoniaca assai più piccolo e potrà, in tal guisa, dare, con tutta facilità, il predetto rendimento di 450.000 calorie-ora.

Per cui, procedendo così a stabilire gli elementi principali di costruzione del compressore di 450.000 calorie-ora, misurate entro i limiti di temperatura di $+25^{\circ}$ e -12° , chiameremo anzitutto con :

- D il diametro del cilindro del compressore, in metri ;
- s la corsa dello stantuffo, in metri ;
- $\frac{s}{D}$ il rapporto fra la corsa e il diametro, fissato con 1,6 ;
- n il numero di giri del compressore, fissato con 88 al minuto primo ;
- m il peso totale, pari a 1620 kg. dell'ammoniaca circolante nella macchina, all'ora ;
- x_1 il titolo o quantità specifica di vapore nella miscela di vapore e liquido ammoniaco, fissato con 0,99 ;
- v_1 il volume specifico a -12° del vapore ammoniaco, desunto dalle tabelle e fissato con 0,470 mc. per kg ;
- η l'effetto utile volumetrico del compressore, fissato con 0,92.

Introducendo ora questi valori nella seguente formula, ben nota ai cultori di termodinamica :

$$D^2 s \cdot n = \frac{m \cdot x_1 \cdot v_1}{30 \cdot \pi \cdot \eta}$$

otterremo così il valore del diametro « teorico » del cilindro del compressore, pari a metri 0.40.

Avuto però riguardo alla perdita di volume proveniente dall'asta dello stantuffo, oltre che alle perdite, non indifferenti, che provengono dall'equivalente termico dell'attrito del vapore ammoniaco nei lunghissimi serpentini del vaporizzatore, nei condotti aspiranti ed attraverso le valvole ; tenendo infine debito conto delle inevitabili imperfezioni nella costruzione

degli organi di tenuta e la loro progressiva usura durante l'esercizio continuo della macchina, tutti ratti, questi, che che si sottraggono ad un esatto calcolo preventivo, ciò considerato, diciamo, sarà dunque utile, oltrechè prudente, di dare al cilindro del nostro compressore un diametro

$D = 0.500$ m. ed una corsa dello stantuffo. $s = 0.500 \times 1.6 = 0,800$ m., conservando $n = 88$ giri al minuto primo.

Fissati così gli elementi principali costruttivi del compressore, da installarsi, come dicemmo, in doppio e di tipo identico, passiamo ora alla determinazione delle dimensioni del *Condensatore* ad ammoniaca, di tipo ad immersione, permettendo sempre che a tale scopo vi siano gli occorrenti volumi d'acqua.

Le esperienze di laboratorio e della pratica industriale ci insegnano che, ammessa una differenza media di temperatura di 5° a 7° fra l'acqua e l'ammoniaca, ogni mq. di superficie del condensatore trasmette in media 1000 calorie all'ora, semprechè i serpontini vengano sottoposti almeno due volte all'anno ad un radicale ripolimento.

L'acqua di condensazione dovrà sottrarre al fluido frigorifero :

| | |
|---|------------------------------|
| a) il calore corrispondente al rendimento netto della macchina refrigerante, pari a | 900.000 calorie-ora |
| b) l'equivalente termico dell'energia meccanica consumata dai 2 compressori, complessivamente circa 480 cav. dinamici, corrispondenti a circa | 300.000 » » |
| | totale 1,200.000 calorie-ora |

Di modo che la superficie totale di raffreddamento dei condensatori risulterà di :

$$\frac{1.200.000}{1000} = 1.200 \text{ mq.},$$

corrispondente ad una lunghezza di 11.160 metri lineari di serpontini in tubo di ferro nudo, avente 30 mm. di diametro interno e 38 mm. di diametro esterno ed una superficie media

di 0,1060 mq. per ogni metro lineare corrispondente al diametro medio di $\frac{30 + 38}{2} = 34$ mm. del tubo.

Questa lunghezza assai considerevole di serpentini potrasi ripartire convenientemente su 8 condensatori, contenente ognuno circa 1400 m. di serpentini, direttamente immersi nell'acqua delle singole vasche cilindriche; condensatori, cioè costruiti secondo il noto principio della controcorrente.

Qualora l'acqua di condensazione fosse, oltrechè assai abbondante, anche di temperatura relativamente bassa, converrebbe, senza dubbio, installare pure dei *Surraffreddatori dell'ammoniaca liquida*, disponendo allora della predetta lunghezza di 11.160 m. lineari di serpentini in maniera, che circa 10.000 siano adibiti ai condensatori, propriamente detti, ed il resto arrotondato, vale a dire circa 2.000 m. lineari, serventi a costituire i menzionati Surraffreddatori.

Dato il caso, assai frequente, che le condizioni d'acqua di condensazione siano poco o punto favorevoli, tanto in ciò che riguarda il volume d'acqua disponibile, quanto anche rispetto alla temperatura, occorrerà allora abbandonare il sistema dei condensatori ad immersione e ricorrere invece a quello a pioggia od atmosferico, che dir si voglia.

Questo sistema implica un aumento, variante dal 30 al 50 %, della lunghezza dei serpentini più sopra calcolata per caso normale; oltre a ciò esso esige l'installazione e l'esercizio di potenti elettropompe centrifughe di circolazione dell'acqua, la quale ultima, dopo aver, cadendo, lambiti i serpentini particolarmente foggiati del condensatore a pioggia, si raccoglie nelle vasche sottostanti, allo scopo d'esser poi sollevata e distribuita di nuovo lungo le batterie di serpentini, formanti, questi, tante pareti verticali di tubi, nei quali circola, dall'alto in basso, l'ammoniaca, che si raffredda e che infine si condensa nelle ultime spire, passando indi eventualmente ai Surraffreddatori, qualora se ne sia, in genere, prevista ed effettuata l'installazione.

Allo scopo di riabbassare di alcuni gradi la temperatura dell'acqua che già serve e che deve circolare di nuovo a scopo di condensazione dell'agente frigorifero (ammoniaca, anidride carbonica ecc.), impiantasi non di rado, specie per le grandi industrie, delle *Torri ricuperatrici delle temperature*, a ven-

tilazione naturale oppure meccanica. In esse, una pioggia fittissima ed uniforme d'acqua che cade dai distributori, od anche dei vasti nembi d'acqua, artificialmente polverizzata, sono messe in continuo ed intimo contatto con più o meno intense controcorrenti d'aria, in seguito alla qual azione, l'acqua evapora parzialmente, sottraendo a se stessa una certa quantità di calore, determinando così un notevole abbassamento della propria temperatura. Ciò fatto, l'acqua affluisce poi direttamente ai condensatori dell'ammoniaca, dove il ciclo ricomincia e continua indefinitamente.

Per economizzare spazio, costo d'impianto e spese d'esercizio, puossi talvolta disporre l'installazione in maniera che la menzionata Torre ricuperatrice delle temperature dell'acqua di condensazione sia collocata immediatamente al disopra degli stessi Condensatori atmosferici. L'acqua, raffreddata nella Torre, cade così senz'altro negli apparecchi distributori dei condensatori, che li riversano uniformemente e finemente sulle numerose pareti costituite dai tubi foggiaii a serpentini, in cui circola l'ammoniaca. Lambiti così tutti gli strati tubolari, l'acqua cade poi nella vasca collettrice, di dove, mediante potenti elettropompe centrifughe, vien risollevata e spinta nei grandi canali distributori della Torre ricuperatrice; dall'alto della quale ultima cade lentamente, in forma di pioggerella, andando essa continuamente ad urtarsi e mescolarsi con la corrente d'aria soffiatavi contro, dal basso all'alto, aria lanciata con getti alquanto divergenti, onde poter abbracciare un vasto campo d'azione.

Il rendimento d'un tale impianto di ricupero della temperatura iniziale dell'acqua per la condensazione del medio frigorifico, dipende naturalmente da molti fattori, fra cui figura in prima linea il variabilissimo grado igrometrico dell'aria, che agisce più o meno sfavorevolmente sull'economia dell'esercizio.

L'importante problema che a ciò si riferisce dovrà venir sottoposto, caso per caso, ad uno studio speciale assai approfondito.

L'acqua diacciata proveniente dalla sbrinatura delle batterie del refrigeratore dell'aria, apparecchio questo, la cui forma e dimensioni stabiliremo tosto più avanti, potrà esser proficuamente utilizzata per l'alimentazione del Surraffredda-

tore dell'ammoniaca liquida, qualora le condizioni generali dell'acqua di condensazione consiglino l'impianto e l'esercizio d'un simile apparecchio complementare, apparecchio questo assai utile e troppo spesso omesso per uno spirito di mal compresa economia d'impianto.

Per ultimo ci rimane a trattare, nelle sue linee principali e generali, l'argomento che riflette il *Vaporizzatore dell'ammoniaca*, il quale, per ragioni di semplicità, di razionalità e di minor costo d'impianto, dianzi menzionate, lo consideriamo foggiato quale *Refrigeratore diretto dell'aria da essiccare*, vale a dire a circolazione d'ammoniaca.

Ci rappresentiamo quest'ultimo costituito di numerose batterie di serpentini, formati, questi, di tubi in ferro di 30 mm. di diametro interno e 38 mm. di diametro esterno, muniti di 3 nervature per ogni metro lineare, con la qual disposizione si ottiene una superficie di raffreddamento di circa 0,65 mq. per ogni metro lineare di serpantino.

Premessa una regolare e radicale sbrinatura al giorno, una differenza media di 7° fra l'ammoniaca vaporizzante e l'aria da essiccare, nonchè un coefficiente di trasmissione termica di 6 calorie per ogni mq., per ogni grado di differenza e per ora, otterremo senz'altro la superficie totale S di raffreddamento del Vaporizzatore dell'ammoniaca, foggiato qui a Refrigeratore diretto dell'aria, per sottrarre a quest'ultima complessivamente 900.000 calorie all'ora :

$$S = \frac{900.000 \text{ cal.-ora}}{6 \text{ cal.} \times 7^{\circ}} = 21.430 \text{ mq.}$$

ovverosia

$$\frac{21.430 \text{ mq.}}{0.65 \text{ mq.}} = 33.000 \text{ metri lineari}$$

del suddetto tubo 30×38 mm., munito di 3 nervature per ogni metro lineare, corrispondente ad una lunghezza totale di serpentini 30×38 mm. nudi e lisci, cioè senza nervature, pari a

$$\frac{900.000 \text{ cal.}}{3 \text{ cal.} \times 9^{\circ}} = 32.500 \text{ metri lineari}$$

del menzionato tubo 30×38 mm.

Questa considerevole lunghezza potrà proficuamente venir ripartita su 6 grandi batterie, distribuite su 6 piani, batterie

perpendicolarmente sovrapposte una all'altra, di modo che il percorso dell'aria attraverso i refrigeratori riesca sufficientemente lungo e tale da consentire un vivace e costante scambio di temperatura fra l'ammoniaca vaporizzante nei serpentini e l'aria da raffreddare ed essiccare, aria che lambisce questi ultimi sotto la propulsione di potenti ventilatori a bassa e media pressione, intercalati convenientemente fra una batteria e l'altra.

I suddetti ventilatori, calcolati ognuno per una portata effettiva di 60.000 metri cubi all'ora, dovranno esser costruiti e scelti in modo da poter vincere le resistenze e l'attrito lungo una serie di apparecchi e di canali principali, aventi 100 a 200 m. di lunghezza complessiva.

La formazione d'uno strato più o meno spesso di *brina sui serpentini* essendo inevitabile, si procurerà acchè, giornalmente, le batterie refrigeranti vengano, per turno, liberate dal menzionato involucro, il quale, com'è noto, ostacola sempre la trasmissione del calore da un medio all'altro.

La sbrinatura si effettua razionalmente e rapidamente con l'immissione di vapori caldi d'ammoniaca, da derivarsi dal condotto premente della macchina frigorifica, nei serpentini dei singoli vaporizzatori, previa evacuazione di questi ultimi, operando a questo riguardo secondo i concetti, i criteri e le prescrizioni enunciate in una mia precedente pubblicazione illustrata, dal titolo : « *L'importante problema della sbrinatura delle batterie refrigeranti nei grandi frigoriferi.* » ¹⁾

L'acqua diacciata di fusione della brina, avente dunque una temperatura solo di qualche poco superiore a zero gradi, potrà venir proficuamente utilizzata pel raffreddamento dell'ammoniaca liquida nell'apparecchio, che più sopra denominammo Surraffreddatore, aggiungendola cioè semplicemente all'acqua di pozzo, di sorgente o di mare impiegata a tale scopo di surraffreddamento.

I due compressori, identici nel tipo e nelle dimensioni, nonchè i condensatori e vaporizzatori, questi ultimi foggiati, come dicemmo ripetutamente, a refrigeratore diretto dell'aria, saranno debitamente collegati fra di loro mediante appositi *Condotti dell'ammoniaca*, non già di semplice congiunzione,

1) Vedi : Ing. Gustavo Bullo « Rivista del Freddo », Roma, fascicolo 1, anno 1917.

ma bensì di carattere intercomunicante, di guisa che l'uno o l'altro dei compressori o degl'apparecchi diversi possa venir distaccato dal proprio gruppo e riattaccato a quello gemello, e ciò senza notevole interruzione d'esercizio, creando così degli aggregati, bensì autonomi, ma costituenti una reciproca riserva, con pezzi ed organi intercambiabili, munendo le numerose tubazioni di tutti quei robinetti di chiusura e quelle valvole occorrenti per le diverse manovre d'attacco, di distacco, di sbrinatura, di regolazione, di evacuazione, di caricamento e scaricamento dell'ammoniaca e dell'olio lubrificante, di sgombramento dell'aria, nonchè provvedendo l'impianto di tutti i congegni d'avviamento, d'arresto e di sicurezza contro l'esplosione e la distruzione della macchina.

Per spingere il *rendimento del frigorifero* al proprio massimo grado, sarà necessario munire le macchine di *apparecchi speciali* per un conveniente surriscaldamento dell'ammoniaca, previa separazione dell'ammoniaca liquida dalla parte gaseiforme di quest'ultima.

IX. Richiami e chiarimenti relativi alla scelta del sistema (diretto od indiretto) del refrigeratore dell'aria. — Ultimato così il calcolo relativo all'impianto del frigorifero ed alla determinazione dei principali elementi costruttivi delle singole parti inerenti allo stesso, ci sia lecito di esporre brevemente alcune considerazioni che toccano all'importante questione dal *raffreddatore dell'aria* da essiccarsi. Se quest'apparecchio, di assai considerevoli dimensioni, debba, cioè, esser ideato e costruito secondo il *sistema diretto*, vale a dire, a circolazione dell'ammoniaca nei serpentin del raffreddatore stesso, oppure del *sistema indiretto*, in cui si ricorre ad un liquido intermediario, cioè ad una soluzione salina incongelabile, funzionante quale veicolo e distributore del freddo prodotto nella vasca del Vaporizzatore dell'ammoniaca.

Preferimmo di tardare sino a questo punto con la succinta trattazione di detto problema, onde non compromettere la semplicità e la chiarezza di tutto ciò che si riferiva al calcolo del menzionato raffreddatore, in se.

La precipua ragione per cui noi prevedemmo nel nostro progetto d'impianto un raffreddatore a *sistema diretto*, vale a dire, a circolazione d'ammoniaca, fu il grande valore che noi attribuiamo all'azione immediata, che, basandosi sul prin-

cipio puro di razionalità, tende ad escludere dal ciclo del lavoro ogni fattore di sperpero d'energie, ogni elemento superfluo, parassitario, implicante sempre una costosa complicazione nel mirabile e semplice congegno trasformatore, caricatore e scaricatore termico rappresentato dal moderno frigorifero a compressione.

Benchè, per quanto ci consti, tutti gl' impianti eseguiti in Europa e nell'America del Nord allo scopo d'essiccamen-
to dell'aria da insufflarsi negl'alti forni, funzionino secondo il sistema indiretto ad acqua salata, noi, in omaggio ai men-
zionati criterî di razionalità, di semplicità, ed anche di minor costo d'impianto e d'esercizio, ritenemmo doveroso di dare la preferenza al raffreddatore *diretto*, a circolazione d'ammoniaca, foss'anco a rischio d'esser tacciati di temerari, convinti tutta-
via che il tempo grande rimotore di presunte insormontabili difficoltà, ci darebbe piena ragione.

Specie anche per una razionale, semplice e rapida sbrinatura dei serpentini delle batterie refrigeranti, il sistema diretto presenta degli incontestabili vantaggi, poichè tale ope-
razione quotidiana, estesa contemporaneamente a diversi gruppi di serpentini, si effettua senza la menoma interruzione nell'eser-
cizio dei compressori, dai condotti prementi dei quali si pre-
leva la gaseiforme ammoniaca calda per immetterla, a scopo di sbrinatura, nelle batterie refrigeranti leggermente ricoperte d'uno strato di neve o ghiaccio.

Data una conveniente disposizione generale dell'impianto e specie degli apparecchi raffreddatori dell'aria e relativi canali di guida ed incastellature isolanti, muniti delle opportune valvole a farfalla e serrandole di chiusura, per l'inversione della corrente d'aria e per il regolaggio dell'afflusso di quest'ultima sotto l'azione propulsiva di potenti elettroventilatori a bassa e media pressione, non lesinando nell'applica-
zione di numerosi robinetti di chiusura in tutti i condotti dell'ammoniaca: premesso ciò — diciamo — sarà possibile d'utilizzare assai proficuamente pressochè tutto il freddo accu-
mulato in forma di brina sui serpentini, parte a scopo di refrigerazione dell'aria stessa ed il resto devolvendolo al raf-
freddamento dell'acqua d'alimentazione dei surraffreddatori e condensatori dell'ammoniaca.

Con ciò non intendiamo menomamente asserire che ii

sistema indiretto, cioè a circolazione di salamoia incongelabile, non racchiuda in sè alcuni pregi d'ordine pratico, i quali entrano in seria considerazione, specie laddove ai grossi impianti non siano preposte persone tecniche direttive ed executive di tutta fiducia.

X) *Schema grafico generale del Frigorifero, con annessi impianti accessori.* — Allo scopo precipuo di maggiormente chiarire, tanto il ciclo termico nel frigorifero, quanto anche tutte le operazioni accessorie, atte ad essiccare convenientemente, con l'ausilio del freddo artificiale, l'aria da insufflarsi negli alti forni, producenti la ghisa grezza, venne da me allestito il qui annesso *Schema grafico generale* (Disegno G B N, 17 dell'agosto 1919).

Nel medesimo figurano, in pura forma schematica, i due *Compressori* ad ammoniaca, azionati singolarmente da *Motori elettrici*, mediante cinghia sui rispettivi volani-puleggie.

Ogni compressore aspira un determinato volume d'ammoniaca gaseiforme da un ben determinato gruppo di batterie di serpentini, costituenti, questi, il *Vaporizzatore* del frigorifero, e foggiati ad apparecchi *Refrigeratori diretti dell'aria* da essiccare.

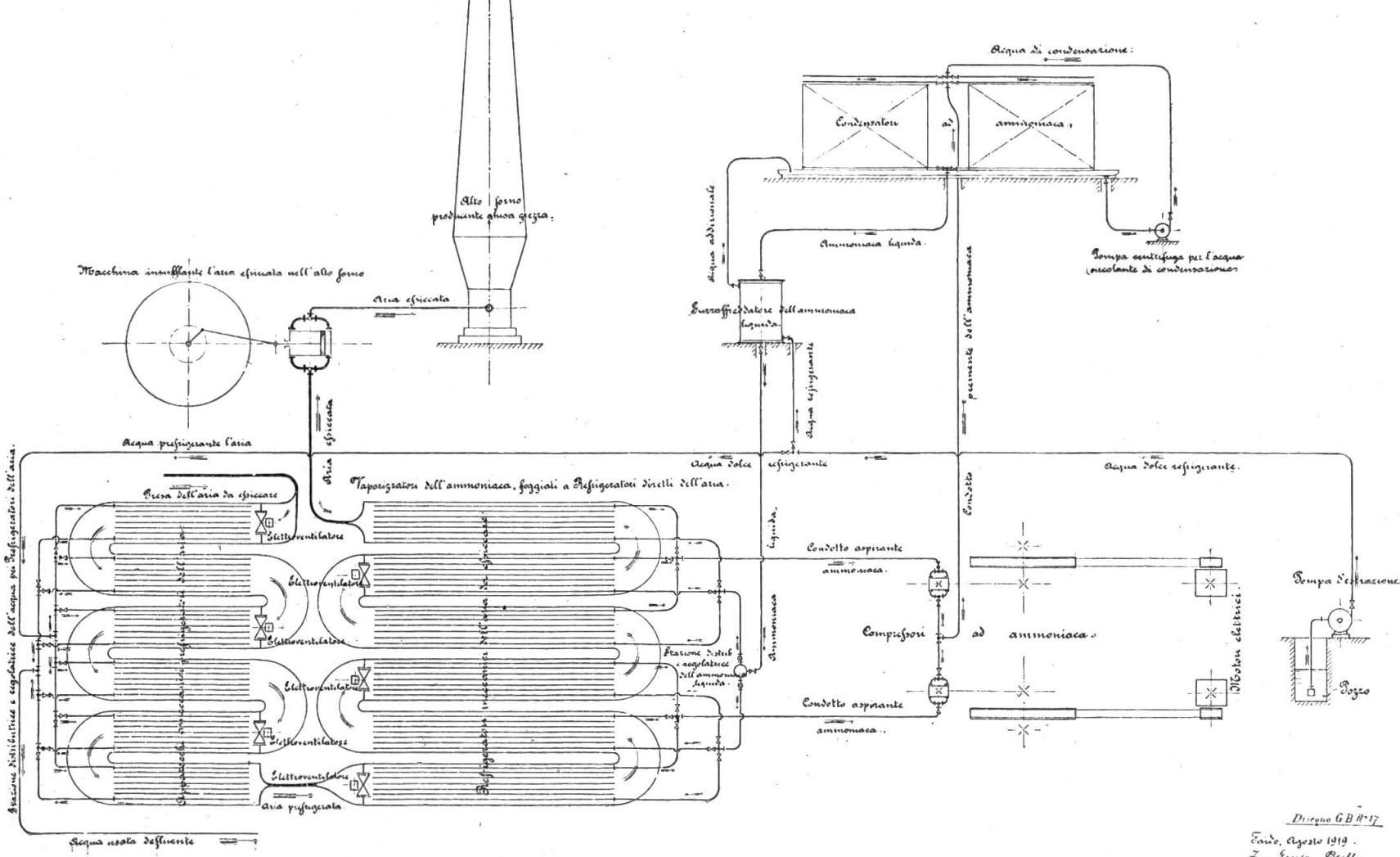
Nei cilindri dei compressori, i gas d'ammoniaca sono sottoposti ad una confacente compressione e poi spinti nel gruppo di *Condensatori* a pioggia, ove avviene la liquefazione. Di qui, l'ammoniaca, ormai liquida, passa nel sottostante *Surraffreddatore* dal quale esce debitamente surraffreddata ed affluisce alla *Stazione distributrice e regolatrice* allo scopo d'esser poi injettata, in giusta misura, nel gruppo di serpentini costituenti il Vaporizzatore, costruito a foggia di Refrigeratore diretto dell'aria, rinnovandosi, di tal guisa, indefinitamente, il ciclo termico del frigorifero, alternandosi in esso la vaporizzazione e la liquefazione dell'agente frigorifico prescelto dal costruttore, agente che potrà esser costituito dall'ammoniaca, dall'anidride carbonica, anidride solforosa, cloruro di metile o da qualsiasi altro medio, atto allo scopo prefisso di generare meccanicamente del freddo artificiale.

Pel raggiungimento del nostro fine, non ci rimane dunque altro che mettere in intimo contatto l'aria da refrigerare con la superficie fredda delle batterie di serpentini, in cui circola, nei primi gruppi meccanici: dell'acqua allo stato naturale di

Società Svizzera delle Scienze Naturali. - 100^o Congresso annuale, Settembre 1919, in Lugano. - Scienza applicata alla Raffigurazione meccanica
del freddo artificiale nell'essiccamento dell'aria da insufflarsi negli altri forni, produttenti ghisa grezza.

Schema generale del Frigorifero con impianti accessori.

Grafico relativo alla conoscenza dell'ing. Gustavo Bussol.



temperatura in cui viene estratta dal sottosuolo, dai fiumi, dai laghi o dal mare; nei secondi gruppi, circolante invece l'ammoniaca vaporizzante.

A tal uopo l'aria libera, avente in massimo una temperatura di 28° C, un'umidità relativa del 75 %, con un contenuto di vapor acqueo di 20,0 grammi per ogni metro cubo, vien presa dall'atmosfera e, mediante potenti elettroventilatori, spinta lungo i serpentini del Prefrigeratore ameccanico, alimentato, questi, puramente da acqua tellurica, donde esce, prefrigerata di pochi gradi, per entrare nel Refrigeratore meccanico, sistema diretto, a circolazione d'ammoniaca, ove l'aria, spintavi anche qui da appropriati elettroventilatori, vien portata successivamente alla temperatura finale di -5° C, nel qual processo totale di raffreddamento essa si libera dell'83 % del proprio contenuto d'acqua che precipita nei serpentini, sotto forma di rugiada, brina e ghiaccio, essiccandosi cioè al punto da contenere, invece dei 20 grammi iniziali, soli 3,4 grammi d'acqua per ogni metro cubo.

L'aria, ormai in sì fortissima misura essicidata mediante l'efficace e la razionale applicazione del freddo artificiale, esce dal Refrigeratore meccanico ad azione diretta, con una temperatura di -5° C e viene poi aspirata da speciale potente macchina soffiante che la comprime leggermente e, mediante appositi condotti, l'insuffla infine nell'alto forno producente ghisa grezza, realizzando in tal guisa, oltre ai molteplici vantaggi enunciati a pagina 31, anche un'economia di circa 50 kg. di coke per ogni tonnellata di ghisa prodotta.

Nello Schema grafico generale figurano altresì due *Elettropompe*, con rispettivi condotti; l'una destinata all'estrazione del considerevole volume d'acqua dal sottosuolo ed occorrente a tutti i servizi dell'impianto, l'altra Elettropompa adibita alla circolazione dell'acqua necessaria al Condensatore dell'ammoniaca sistema a pioggia.

XI. Doveroso riepilogo dei risultati conseguiti. — Determinazione al costo approssimativo d'impianto e d'esercizio pel caso pratico contemplato in questo studio. — Dal complesso di quanto andammo esponendo più sopra, vedemmo che, mercè l'azione dell'acqua fredda di sottosuolo, di sorgente, di fiume o di mare, allo stato termico naturale in cui si trova e grazie alla susseguente refrigerazione meccanica, propria-

mente detta, che assunse il più grave compito, si possa raggiungere razionalmente lo scopo prefisso, quello cioè di raffreddare l'aria libera dell'atmosfera da 28° a -5° , il che, premettendo un'umidità relativa della stessa del 75 %, significa sottrarre anche $20,0 - 3,4 = 16,6$ grammi d'acqua per ogni metro cubo, od in altri termini ridurre dell'83 % il proprio contenuto d'acqua.

L'aria, siffattamente essiccata dell'83 %, insufflata negli alti forni cui è destinata, vi determina un'economia di combustibile in forma di coke in una misura che *Gayley* nonchè altri industriali ed ingegneri metallurgici stabilirono in circa 50 kg. per ogni tonnellata di ghisa prodotta, ottenendo contemporaneamente tutti quei vantaggi che furono già enunciati ed elencati più sopra a pagina 31.

Se prendiamo ora a considerare brevemente anche la grave quistione del costo d'impianto e d'esercizio d'una simile grande installazione, atta all'occorrente essiccamiento dell'aria per gli alti forni, dovremo senz' altro riconoscere che detto costo risulta assai considerevole, ma tuttavia sempre ancora tale da giustificare pienamente il notevole sacrificio finanziario, inevitabile pel raggiungimento dello scopo cui si mira.

Attenendoci al valore dei materiali diversi di costruzione edile e del macchinario, nonchè del costo della mano d'opera e dei lavori d'ingegneria che vigevano immediatamente prima della guerra mondiale degli anni 1914-1918, possiamo stimare come segue il costo totale d'un impianto quale lo calcolammo e descrivemmo più sopra, atto cioè ad essiccare dell'83 % un volume di 60.000 metri cubi d'aria all'ora, portandola dalla temperatura massima iniziale di 28° a quella minima finale di -5° , sottraendole così $20,0 - 3,4 = 16,6$ grammi d'acqua per ogni metro cubo.

Costo approssimativo d'impianto :

Si premette che lo stabilimento degl'alti forni che intende eseguire l'impianto per l'essiccamiento dell'aria più sopra enunciato e precisato, possegga esso stesso una fonderia di ghisa ed un laminatoio, nonchè delle officine meccaniche e di carpenteria, di modo che, ad esclusione delle macchine di precisione, quali gli elettromotori, gli elettroventilatori, le elettropompe, i compressori ad ammoniaca con accessori, tutto l'altro ma'erieale, specie i tubi d'ogni genere, possa esser

fornito e messo in opera dallo stabilimento stesso, senza ricorrere a ditte estranee, realizzando in tal guisa delle considerevoli economie sul costo d'impianto :

- a) Terreno, lavori edili, da muratore, da
da carpentiere, fondazioni, manovalanze,
ponteggi, isolazioni degli edifizi e diversi,
complessivamente circa Fr. 160.000
- b) Apparecchio prefrigeratore dell'aria a cir-
colazione di acqua fredda; macchina refri-
gerante completa, che consta di due com-
pressori, d'un condensatore, d'un surraf-
freddatore, di vaporizzatori foggiati a
refrigeratori diretti dell'aria da essiccare;
tutti i condotti del fluido frigorifico; due
motori elettrici, azionanti ognuno un
compressore; due elettropompe centri-
fughe per l'acqua di condensazione con
rispettive tubazioni; tutti gli elettro-
ventilatori; cinghie; diverse tubazioni
dell'acqua di disgelo e di scarico; tutte
le isolazioni termiche per apparati e per
tubazioni fredde; incastellature e canali
d'aria; prima carica d'ammoniaca; il
tutto messo in opera, pronto al funzio-
namento, complessivamente circa Fr. 310.000
- Costo totale dell'impianto Fr. 470.000

Costo approssimativo d'esercizio :

Dato un consumo approssimativo totale d'energia di 550 cavalli dinamici pel servizio del refrigeratore e del frigorifero meccanico, propriamente detto; premesso che l'energia meccanica possa esser prodotta mediante utilizzazione dei gas di scappamento degli alti forni, di guisa che il cavallo-
ora non venga a costare più di un mezzo centesimo di franco; dati inoltre un interesse del 4 % pel capitale impiegato; un tasso d'ammortamento del 2 % per la parte edilizia e del 5 % pel macchinario in genere; premesso infine che, in turno diurno e notturno di servizio, 4 operai meccanici bastino al servizio delle macchine, avremo le seguenti spese annue d'esercizio :

| | |
|--|------------|
| Interesse 4 % del capitale investito | Fr. 18.000 |
| Servizi ammortamenti | » 18.500 |
| Energia per l'azionamento delle diverse macchine | » 33.000 |
| Personale di servizio macchine | » 12.000 |
| Consumo ammoniaca, lubrificanti, stracci e materiali tecnici diversi | » 6.000 |
| Assicurazioni, spese diverse impreviste e resto a cifra tonda | » 2.700 |
| <i>Totale spese annue d'esercizio, circa</i> Fr. 91.000 | |

Vedemmo, con *Gayley* ed altri autorevoli tecnici, che l'essiccamiento dell'aria da insufflarsi negli alti forni, quale fu prevista dal nostro calcolo, dia per risultato un'economia media di 50 kg. di coke per ogni tonnellata di ghisa prodotta, oltre agli altri notevoli vantaggi derivanti dall'eccellenza ed omogeneità della ghisa prodotta, dalla maggiore regolarità nel processo chimico, dalla più lunga durata del rivestimento refrattario interno dell'alto forno, nonchè da altri più o meno notevoli fattori di superiorità, indubbiamente assai apprezzati dagli industriali metallurgici.

Orbene, estendendo la predetta economia di 50 kg. alla produzione annuale di ghisa e stabilendo il prezzo del coke a Fr. 3.— per ogni 100 kg. otterremo un'economia totale annuale di :

$$370 \times 365 \times 0,50 \times 3 = \dots \dots \dots \text{Fr. 202.575}$$

Di fronte a questa cifra abbiamo, come calcolammo più sopra, una spesa annuale di esercizio dell'impianto d'essiccamiento, pari a . . . » 91.000 di guisa che, l'*utile netto annuale* approssimativo derivante dal preventivo essiccamiento di 60.000 metri cubi d'aria da insufflarsi ogni ora nell'alto forno producente 370 tonnellate di ghisa ogni 24 ore, risulterebbe uguale a Fr. 111.575

XII. Conclusione e brevissime considerazioni d'ordine economico-sociale. — Dato l'attuale favoloso prezzo del carbone, non solo in Isvizzera ed Italia, ma benanche in tutti gli Stati non direttamente produttori di questo prezioso materiale indispensabile all'industria metallurgica, è lecito chiederci se non valga le pena di studiare accuratamente, e con criterî scientifici, tutto il complesso ed importante problema

dell'essiccamento dell'aria destinata all'iniezione negli alti forni, allo scopo precipuo di ridurre il consumo di coke alla misura strettamente necessaria.

Esaminando gli specchietti più sopra esposti, nonchè quanto questi precede, e pur ammettendo senz'altro che le cifre enunciatevi vadano soggette a forti aumenti e riduzioni, a seconda del paese e della località in cui sorge l'impianto, ognuno dovrà tuttavia ammettere che il fatto stesso della convenienza economico-industriale d'essiccare preventivamente l'aria per gli alti forni, sia, in sè, inconfutabile; specie per le condizioni che riguardano l'Europa meridionale. Col largo ed intenso sfruttamento delle forze idrauliche, vi sarà, in un non lontano avvenire, assicurata una ben più ampia distribuzione d'energia elettrica a prezzo limitatissimo, di cui beneficeranno indubbiamente pure le aziende metallurgiche, con l'intento di azionare proficuamente, fra altro, anche i frigorifici, impiantati allo specifico ed altissimo scopo di ridurre il consumo di carbone alla misura più bassa che sia possibile.

Urge ormai che questo vasto e vitale problema tecnico-scientifico venga dai competenti studiato profondamente e risolto in modo rapido e soddisfacente, onde evitare che si vada incontro ad un graduale esaurimento finanziario, derivante dall'ininterrotta importazione di enormi quantità di carbone dall'estero, a prezzi ed a condizioni talmente onerose da preoccupare seriamente anche i più ottimistici pronosticatori, come noi, d'un grande avvenire economico-sociale spettante, di giusta ragione, ad una umanità, spiritualmente rigenerata nella titanica lotta, dalla quale siamo appena usciti.

Umanità civile, che, proprio nell'anno corrente commemorerà solennemente il quarto centenario della morte di quel radiosso ed eccelso artista, di geniale inventore, precursore dei tempi, e di fulgido, profondo cultore delle scienze naturali che fu *Leonardo da Vinci*, all'immortale memoria del quale noi tutti c'inchiniamo riverenti, grati e commossi.
