

**Zeitschrift:** Bollettino della Società ticinese di scienze naturali  
**Herausgeber:** Società ticinese di scienze naturali  
**Band:** 8 (1912)

**Artikel:** I forni elettrici per la combustione dell'azoto atmosferico  
**Autor:** Bertolani, Giorgio  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1002897>

### **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:** 03.05.2026

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

PROF. DOTT. GIORGIO BERTOLANI.

---

## **I forni elettrici per la combustione dell'azoto atmosferico.**

*Conferenza letta alla seduta del 15 Maggio 1913.*

---

Quando per invito dell' egregio presidente Dr. Bettelini a tenere una lettura scientifica in occasione dell'assemblea ordinaria della nostra Società mi accordai col collega prof. Viollier per svolgere dal punto di vista elettro-tecnico l'argomento, sotto ogni rapporto pieno d'interesse e di tutta attualità, dell'ossidazione dell'azoto atmosferico nei grandi forni industriali io non credevo di assumere così grave fardello. E valga il vero: quasi impossibile avere a disposizione per lo studio, sia pure in misura ridottissima, apparecchi che richiedono spese d'impianto enormi ed una massa d'energia ingentissima per funzionare; a ciò si aggiunga una certa aria di mistero nella quale si avvolgono con ogni cura i tecnici detentori di brevetti e le Società industriali che tali brevetti tendono a sfruttare; scarse le pubblicazioni nelle riviste tecniche e le poche esistenti incomplete e mancanti di notizie precise e di particolari veramente essenziali.

Ho fatto del mio meglio per raccogliere il poco che era a disposizione dello studioso e per dare un certo ordine alla materia, ma il tempo ristretto concessoci e le difficoltà di altro genere che accompagnano le ricerche su argomenti tecnici di così vasta e complessa natura mi

hanno certamente impedito di soddisfare alla vostra aspettativa. In ogni modo ecco colla maggior brevità consentita dall'argomento e richiesta dalle attuali circostanze il risultato delle mie ricerche. Sono solo spiacente di non poter presentarvi, per le difficoltà già accennate, esperimenti in proposito e dovrò perciò limitarmi alla presentazione di proiezioni, anch'esse non molto ben riuscite, perchè ricavate alla meglio da illustrazioni in riviste e preparate in tempo molto ristretto.

Non istarò qui a parlarvi a mo' d'introduzione dell'interesse che suscita il problema dell'ossidazione dell'azoto atmosferico e di conseguenza della produzione sintetica dell'acido nitrico e suoi sali: su ciò vi ha già parlato e con perfetta competenza di dotto studioso il collega prof. Viollier: dirò solo che è il problema più imperioso dell'età presente, che si è imposto al mondo scientifico ed industriale in questi ultimi anni e che aspetta la sua soluzione conveniente e definitiva. Si può, senza esagerazione affermare che la sua importanza è per l'umanità pari se non maggiore di quella del problema del trasporto dell'energia a distanza che ha avuto pur ieri una soluzione così geniale coll'impiego della corrente elettrica.

A tutti è nota l'inchiesta di Crookes di cui vi ha parlato il mio predecessore riportandovi dati statistici che sono di per sè eloquentissimi: Secondo dunque i risultati di questa inchiesta l'umanità corre rapidamente incontro ad un periodo di carestia di pane: la fame attende l'uomo futuro per tormentarlo, deprimerlo e forse tarparne le ali. La carestia, il gran flagello dei burrascosi tempi passati e che credevamo scomparso per sempre, almeno per l'uomo incivilito, ritornerebbe co' suoi orrori determinando saccheggi, distruzioni: così il quadro descritto dal Manzoni nei Promessi Sposi si riprodurrebbe ad offuscare la civiltà futura? Non è facile la risposta: certo la scienza sta approntando mezzi di difesa che dovrebbero essere efficacissimi in quanto la materia prima è inesauribile (l'azoto atmosferico). Si è già a buon punto: il problema tecnicamente è risolto: non si tratta che di rendere sempre più economico il processo ed elevato il rendimento.

Il problema ridotto alla sua più semplice espressione può essere concepito così: *Ossidazione o combustione dell'azoto dell'aria ad elevatissima temperatura compresa tra i 2500 e i 3500°* e poi trasformazioni varie dell'ossido di azoto NO per ridurlo allo stato di acido nitrico.

Viene naturale l'idea che per raggiungere le elevatissime temperature necessarie si debba ricorrere all'arco voltaico che è la fonte artificiale di calore più intenso che sia in potere dell'uomo. *Combustione dell'azoto dell'aria nel forno elettrico ecco dunque il problema riservato all'elettrotecnica*: Gli altri modi di riscaldamento non si prestano così bene per lo scopo, pur tuttavia si hanno vari brevetti in cui la combustione dell'azoto si fa in speciali forni riscaldati al carbone od in tubi riscaldati colla combustione di gas acetilene ecc: ma i risultati pratici migliori si ottennero col riscaldamento elettrico. Con questo, non solo si possono ottenere le più elevate temperature conosciute, il che è molto utile per la formazione dell'ossido d'azoto e per ottenerlo ad un certo grado di concentrazione; ma è possibile altresì ottenere l'ulteriore rapido raffreddamento richiesto per impedire la dissociazione dei due elementi.

Il meccanismo dell'arco voltaico è ancora avvolto da punti oscuri che i numerosi studi in proposito non hanno valso a rischiarare totalmente; però, fortunatamente è possibile utilizzare le proprietà dell'arco senza conoscere questo meccanismo. Le leggi generali che governano un arco voltaico possono essere riassunte così:

1. Gli archi corti ed intensi richieggono per il loro funzionamento una forza elettro-motrice poco elevata: al contrario gli archi lunghi e di debole intensità non possono esistere senza una f. e. m. molto forte.

2. Per poter accendere l'arco occorre disporre di una tensione minima al disotto della quale l'arco non può stabilirsi.

3. La potenza consumata da un arco per trasformarsi in calore aumenta proporzionalmente alla lunghezza per archi della stessa intensità e, per archi della stessa lunghezza, aumenta proporzionalmente alla intensità della corrente che attraversa l'arco.

Queste leggi però si sono dedotte dallo studio di archi brevi, di media intensità, formati in aria tranquilla, come si possono ottenere in laboratorio: nulla però autorizza a ritenere che queste stesse leggi governino gli archi dei forni industriali che hanno per lo meno una potenza mille volte superiore e sono soffiati e deformati da energici campi magnetici e da forti correnti d'aria ed inoltre bruciano in una atmosfera ricca delle reazioni chimiche che si svolgono.

È da presumere che in tali condizioni la ionizzazione e diffusione degli ioni abbiano ad avvenire in modo tutt'affatto differente.

L'arco voltaico è una corrente elettrica di natura molto instabile: una piccola corrente d'aria lo deforma, lo allunga e per conseguenza tende a spegnerlo: nelle condizioni normali questo allungamento si produce automaticamente per effetto dell'ascesa dell'aria scaldata dall'arco: su ciò sono appunto fondati i ben noti parafulmini a corna, tanto usati in elettro-tecnica.

In linea generale è evidente che tutte le cause che tendono a facilitare la jonizzazione, nel mezzo gassoso che separa gli elettrodi, abbia a mantenere la stabilità dell'arco: le scariche intermittenti, come scintille o fiocchi, i raggi ultra-violetti di Bequerel, i raggi X, le fiamme che facilitano la jonizzazione hanno per effetto di produrre la stabilità degli archi voltaici; invece le correnti d'aria disperdono gli ioni e diminuiscono la stabilità dell'arco ed anzi tendono a spegnerlo. I campi magnetici esercitano lo stesso influsso tendendo ad allungare o deformare il tragitto tranquillo e normale degli ioni fra l'anodo ed il catodo.

Le teorie moderne della jonizzazione spiegano assai bene il fatto constatato dall'esperienza che le correnti alternate danno in generale archi meno stabili delle correnti continue e che, in tutti i casi, la stabilità è maggiore per le correnti alternate di alta frequenza che per quelle a bassa. Infatti nell'arco a corrente alternata ciascun elettrodo, come si sa, funziona alternativamente come anodo e come catodo; entrambi debbono essere mantenuti incandescenti, perchè l'arco possa sussistere; inoltre a ciascun alternazione l'arco si spegne per riaccendersi un istante

dopo, quando la tensione ha riacquistata una sufficiente altezza; si hanno così due regimi che si alternano a vicenda, quello di spegnimento, caratterizzato da una diminuzione di tensione agli elettrodi, e quello di accensione, nel quale la tensione cresce, ma dipende sempre dal valore variabile dell'intensità. Si è poi parimenti constatato che, a parità di condizioni, la stabilità dell'arco è tanto minore quanto maggiore è il peso atomico del metallo elettrodo: di qui l'uso frequente di elettrodi di alluminio. Quando, per una causa qualsiasi, il periodo di spegnimento si potrae il raffreddamento degli elettrodi è tale che non è più possibile la riaccensione e l'arco si spegne definitivamente.

Queste circostanze debbono essere tenute ben presenti dall'elettro-tecnico per avere il miglior rendimento; così gli elettricisti sanno benissimo che, per rimediare alle numerose cause d'instabilità dell'arco, è necessario poter disporre di una riserva di tensione alle volte considerevole tra la marcia a vuoto e la marcia a pieno carico: occorre cioè che per ogni diminuzione di corrente e per ogni allungamento dell'arco si abbia una elevazione automatica sufficiente della tensione. L'installazione elettrica deve essere disposta in modo da raggiungere questo scopo ed i mezzi in potere dell'elettro-tecnico sono vari. Colle correnti continue si potrà servirsi di dinamo a forte reazione dell'indotto e aggiungendo una determinata resistenza; oppure anche disponendo gli archi in serie; così ciascun arco ha, come resistenza ausiliare, l'insieme delle resistenze degli altri. Colle correnti alternate si potrà utilizzare non solo la reazione dell'indotto dell'alternatore, ma anche della sua auto-induzione: si dovrà però aggiungere ancora una auto-induzione ausiliare sufficiente capace di opporsi ad ogni brusca variazione.

Da queste considerazioni scaturisce subito la grande superiorità, per la combustione dell'azoto, di forni con grande sviluppo di arco e grandi fiamme.

Malgrado l'imperfezione delle nostre conoscenze teoriche, tuttavia si è giunti a risultati sicuri, riscontrati nella pratica e che possono riassumersi così:

1. Operando in vasi chiusi e senza rinnovamento del gas si arriva, dopo un certo tempo, ad un tenore limite di NO. Questo limite dipende dalla natura dell'arco o delle scintille, dal modo di riempimento della camera del forno coll'arco o colle scintille, dalle dimensioni della camera e dalla efficacia del dispositivo caldo-freddo.

2. Per gli scopi industriali occorre far circolare rapidamente l'aria attraverso il forno e, a parità di condizioni, con aumento del quantitativo d'aria il rendimento cresce, ma si arriva ad un massimo, per poi diminuire in seguito.

3. La concentrazione del gas si abbassa col crescere del quantitativo di aria e la concentrazione corrispondente al massimo è molto inferiore alla concentrazione limite, per lo stesso gas trattato in vasi chiusi.

Industrialmente però si ha vantaggio ad avere un rendimento inferiore al massimo, pur di avere una concentrazione maggiore che facilita l'assorbimento dei gas.

4. Per uno stesso apparecchio a parità delle altre condizioni il rendimento orario per Kilowatt dipende dalla lunghezza dell'arco, cioè dal suo sviluppo.

Nei forni a grande sviluppo sembrerebbe che il rendimento dovesse crescere colla lunghezza dell'arco; nella pratica questo non avviene, perchè i gas arrivano alla concentrazione limite in ossido d'azoto prima di avere attraversato tutta la camera di ossidazione ed i gas rimangono così a contatto della fiamma senza che si abbia ulteriore ossidazione, mentre il consumo di potenza aumenta colla lunghezza dell'arco. Si deduce perciò che il massimo rendimento si potrà avere solo quando si possa far coincidere il massimo grado di concentrazione di NO nel momento preciso nel quale i gas escono dal forno di ossidazione e questa condizione sarà tanto meglio realizzata quanto più la camera del forno sarà riempita dall'arco.

Premesse queste generalità sull'arco voltaico veniamo a descrivere i diversi processi ideati ed a dare le caratteristiche di ciascuno di essi.

I forni elettrici impiegati industrialmente per la fabbricazione dell'acido nitrico dall'atmosfera possono, qualunque siano i dettagli della loro costruzione, essere clas-

sificati in cinque categorie, a seconda della forma speciale dell'arco e così abbiamo:

- a) *La scintilla od arco di debole durata;*
- b) *L'arco rettilineo;*
- c) *L'arco a ventaglio;*
- d) *L'arco a disco;*
- e) *L'arco rotativo.*

### Arco di debole durata.

*Processo di Bradley e Lovejoy.* — L'arco di debole durata od a scintille è impiegato nel forno di Brandley e Lovejoy nello stabilimento del *Atmospheric Products C.<sup>ie</sup>* a Niagara Falls: esso si compone essenzialmente d'un tamburo rotativo, portante una serie d'elettrodi (36 serie di 23 ciascuna) mobili davanti ad altri elettrodi infissi in un altro cilindro di diametro minore. Gli elettrodi sono di platino-iridio. Facendo girare l'uno o l'altro di questi tamburi su sè stesso le punte di platino esterne ed interne si avvicinano e si allontanano le une dalle altre. I due tamburi sono in comunicazione coi poli di un generatore di corrente di 8 a 10.000 volt.

Quando, nella rotazione dei tamburi, la distanza fra due punte opposte si trova sufficientemente ridotta si forma un arco fra le due punte, arco che viene prima racciato poi allungato ed infine spento dall'allontanarsi delle punte. Facendo passare una corrente d'aria, fra lo spazio compreso tra i due tamburi, una parte di quest'aria viene trasformata in NO.

Il principio fondamentale di questo sistema consiste nella formazione di archi multipli che, nel loro complesso, presentino un massimo di lunghezza ed un minimo di sezione in modo di portare a contatto dell'arco un volume d'aria il più grande possibile. Un arco ordinario a grande intensità è molto grosso e voluminoso e perciò non si presta bene allo scopo, non potendosi far passare attraverso ad esso un volume d'aria corrispondente all'energia

impiegata. Come si vede, Bradley e Lovejoy hanno cercato di superare questa difficoltà suddividendo l'arco in un numero grande di piccole scariche circa 414000 per minuto.

Il rendimento era abbastanza soddisfacente, ma gli apparecchi impiegati troppo complicati e costosi, perciò il tentativo non ebbe seguito.

Il sistema, che potremo chiamare americano, è stato quasi ovunque abbandonato anche a Niagara Falls.

### Arco rettilineo.

*Processo Schönherr.* — Quando si produce un arco tra due carboni esso acquista, come è noto, un forma curva, come di luna falcata, che ha servito a dargli il nome. Se però si aumenta la tensione e di conseguenza la lunghezza dell'arco e gli elettrodi sono disposti su di uno stesso asse verticale l'arco assume una forma sensibilmente rettilinea e presenta l'aspetto di una colonna luminosa. Se alla base di questo arco si fa arrivare una corrente d'aria, tangenzialmente alla sezione della colonna, la fiamma costituente l'arco viene animata d'un movimento elicoidale che facilita il suo contatto col gas. L'impiego di più correnti d'aria facilita il movimento e lo rende più complesso.

Questo dispositivo è impiegato da Schönherr nei forni della Badische Anilin und Soda-Fabrik in Norvegia.

Un tubo metallico lungo e stretto, all'estremità inferiore è munito di un elettrodo isolato in forma di disco che viene continuamente raffreddato; s'introduce una forte corrente d'aria tangenzialmente alla sezione del cilindro, poi si accende l'arco tra l'elettrodo inferiore ed un punto del tubo metallico; sotto l'influenza della corrente d'aria l'arco s'allunga mano mano e viene a raggiungere l'estremità superiore del tubo producendo una bella fiamma persistente e d'una grande lunghezza, da 5 a 7 metri. L'estremità dell'arco così coincide col punto dove i gas sono diventati così caldi da acquistare sufficiente conducibilità in modo da lasciarsi attraversare dalla corrente.

Nei forni industriali l'aria passa attraverso una serie di tubi disposti tangenzialmente e gli uni sopra agli altri in modo che si possono regolare mediante diaframmi. Nel centro del forno si trova l'elettrodo isolato: questo è formato da un corpo di rame energicamente raffreddato con acqua, con un foro nel quale passa una bacchetta di ferro da cui si stacca l'arco: sull'elettrodo si forma uno strato di ossido di ferro il quale volatilizza lentamente e protegge l'elettrodo dal calore dell'arco. A mano a mano che gli elettrodi consumano si fanno avanzare; però il consumo di questi è poco e la spesa del ricambio minimo. I brevetti Schönherr appartengono alla Badische Anilin und Soda fabrik.

*Rendimento:* Da alcune recenti pubblicazioni si calcola che occorrono 2 H.P. annui per produrre 1 ton., di nitrato di calce, oppure 15 H.P. annui per fissare una ton., di azoto: Il rendimento chimico dell'arco è, come si vede, molto debole. Il bilancio può riassumersi così: il 40 % dell'energia viene recuperata sotto forma di calore; 17 % vanno perduti; 30 % forniscono il vapore alle caldaie; 10 % sono assorbiti dal refrigerante e solo il 3 % sono assorbiti per la formazione del biossido d'azoto.

### Arco a ventaglio.

*Processo fratelli Pauling.* — Se invece di due elettrodi rettilinei situati su di un asse rettilineo si impiegano due elettrodi a corna, simili a quelli molto noti, utilizzati in elettro-tecnica come parafulmini, l'arco che viene a stabilirsi nella parte inferiore ravvicinata, per effetto delle correnti d'aria calda, tende ad allungarsi, portandosi in alto strisciando lungo le due corna. Esso si spegnerà se la tensione è insufficiente a mantenerlo, invece si espanderà a forma di ventaglio se la tensione lo permette. Se nella parte inferiore si fa pervenire una corrente d'aria l'arco si allungherà ed espanderà maggiormente.

L'arco a ventaglio è stato utilizzato industrialmente dai fratelli Pauling i cui brevetti furono ceduti alla Sal-

petersäure Industrie di Gensen Kircken. Nei forni Pauling gli elettrodi sono raffreddati con acqua circolante e la loro distanza è regolabile dall'esterno del forno. Lo spegnimento e l'accensione si fanno con un dispositivo consistente in un paio di coltelli di rame, situati sotto gli elettrodi e sufficientemente vicini: essi sono facilmente regolabili e ricambiabili. Ogni forno è costituito da due camere ciascuna contenenti un arco: questi due archi sono in serie su 4000 volta e consumano 100 ampère: la fiamma raggiunge l'altezza di m. 1,50.

Una variante dell'arco a ventaglio è stato preconizzato da Helbig il cui forno è caratterizzato dal fatto che può funzionare direttamente con corrente alternata trifase; esso comprende un complesso di tre elettrodi a corna disposti a triangolo e alimentanti tre archi il cui insieme assume la forma d'una piramide triangolare di grande superficie.

Il rendimento dei forni Pauling è di 60 gr. di acido nitrico per kilowatt ora.

### Arco a disco.

*Processo Birkeland-Eyde* — Il fisico Plücker, già dal 1861, aveva osservato e reso noto che l'arco voltaico si deforma sotto l'influenza di un campo magnetico abbastanza intenso. Così, se si accende un arco tra due elettrodi che siano perpendicolari ad un campo magnetico l'arco è deviato: (*è soffiato* come si dice comunemente in elettro-tecnica) e prende la forma di un mezzo disco: se l'arco è alimentato da una corrente alternata, ad ogni alternazione, si produce un mezzo disco al di sopra ed un mezzo disco al di sotto della linea degli elettrodi e se la frequenza è sufficiente le immagini si sovrappongono nell'occhio e si ha l'impressione di un disco infiammato.

Ecco come avviene precisamente il fenomeno: nei punti molti vicini dei due elettrodi si forma prima un arco elettrico che costituisce una corrente molto debole, molto

flessibile e che si trova in un campo magnetico di grande intensità.

L'arco si dispone allora in una direzione perpendicolare alle linee di forza e con grande velocità le basi dell'arco si allontanano per un movimento retrogrado dalle punte degli elettrodi. Mano mano che l'arco si allunga la resistenza elettrica cresce e quindi cresce anche la tensione fino a che questa diventa sufficientemente elevata per fare scattare una nuova scintilla fra le punte degli elettrodi. L'arco così formatosi in questo momento non offre che una debole resistenza, causa la sua poca lunghezza, allora la tensione sugli elettrodi si abbassa e l'arco periferico, che ha la sua maggiore lunghezza, si spegne. Tutto ciò avviene nell'ipotesi che la regolazione della corrente si faccia mediante una resistenza induttrice, montata in serie colla fiamma. Impiegando corrente continua gli archi si dirigono tutti da una stessa parte formando un semidisco infiammato. L'altezza del suono, che emette la fiamma, permette di giudicare del n.° degli archi per secondo. Con una elettro-calamita di potenza sufficiente si arriva ad ottenerne un migliaio. La fiamma si estende per una lunghezza maggiore verso il polo negativo. Le basi degli archi appaiono come dei punti incandescenti sugli elettrodi. All'elettrodo positivo questi punti luminosi sono più piccoli e più fitti, rispetto a quelli dell'elettrodo negativo, sul quale i punti luminosi sono di maggiori dimensioni e più lontani gli uni dagli altri. La presenza di questi punti luminosi si spiega col fatto che gli archi aderiscono agli elettrodi di guisa che il loro distacco, dovuto alle forze magnetiche, avviene a salti. Impiegando corrente alternata gli archi si dispongono alternativamente ora tutti da una parte, ora tutti dalla parte opposta, con grande velocità e, per la sovrapposizione delle immagini sulla retina, come si è già detto, appare un disco intero infiammato.

Nell'arco a disco, che può raggiungere un diametro perfino di 3 m. con una potenza di 1000 Kw., si fa passare l'aria da trattare.

Questo sistema è dovuto a Birkeland e costituisce il processo Birkeland-Eyde ed è utilizzato soprattutto in Norvegia nell'impianto di Notodden.

Il forno consiste in un cilindro di ferro cavo piatto rivestito di materiale refrattario, con un diametro di 2 m. circa. Lo spazio interno, dove si produce la fiamma, è di 8 cm. circa; una serie di aperture, nello spessore delle pareti, permette d'introdurre l'aria nella camera stessa. Il sistema magnetico si compone di due potenti elettrocalamite, con i poli opposti disposti verso l'interno del forno, alla distanza di 8 cm. tra di loro. Gli elettrodi sono formati da un tubo di rame raffreddato mediante circolazione d'acqua. L'aria è spinta nei forni da potenti ventilatori in ragione di 25 m<sup>3</sup> al minuto, ed i gas carichi di biossido d'azoto non possono soggiornare nel forno, ma sono trascinati fuori rapidamente e quindi subito raffreddati. Così la retrogradazione del biossido è impedita: I gas ancora caldi passano attraverso a caldaie tubulari dove producono il vapore d'acqua necessario allo stabilimento e così la loro temperatura discende fino a 250°, poi passano al refrigerante dove vengono raffreddati a 50°.

Gli esperimenti relativi al processo Birkeland Eyde furono iniziati nel 1903 a Cristiania e poi continuati nell'officina di Ankerlökken (1500 H.P.) e di Vasmoen (1000 H.P.) per stabilire il rendimento industriale. Nel 1905 si costruì lo stabilimento oramai celebre di Notodden in cui il processo Birkeland-Eyde si applica su vasta scala.

*Rendimento.* — Il rendimento è di 500 a 600 Kg. di acido nitrico per Kw., annuo cioè di circa 70 gr. per Kw. ora.

### Arco rotativo.

*Processo Mosciki.* — Se si dispongono due elettrodi cilindrici coassiali, in modo che il loro asse comune sia situato nella direzione delle linee di forza d'un campo magnetico, l'arco si trova in allora animato da un movimento di rotazione la cui velocità può essere facilmente regolata insieme col campo magnetico.

Così si ha il vantaggio di ottenere un ottimo contatto tra l'arco e la corrente d'aria che si fa circolare nello

spazio anulare compreso tra gli elettrodi che anche qui sono raffreddati con circolazione d'acqua. Questo dispositivo costituisce il processo Mosciki ed è utilizzato dalla Aluminium-Industrie-Gesellschaft a Neuhausen.

### Notizie statistiche.

La fabbricazione dei nitrati al forno elettrico è localizzata attualmente in Norvegia dove si hanno disponibili enormi energie idriche di facile sfruttamento e dove perciò l'energia elettrica la si può produrre al massimo buon mercato; però il successo industriale che ha coronato le imprese norvegesi ha incoraggiato iniziative analoghe in altri paesi ed oggi sono abbastanza numerose le fabbriche consimili in Francia, in Svizzera, in Italia, in Austria, in Germania.

Daremo sommariamente qualche notizia delle principali, potuta spigolare nelle riviste scientifiche.

*Impianti in Norvegia.* — La *Badische Anilin und Sodafabrik* che sfrutta i brevetti Schönherr ha installato fino dal 1907 una stazione di esperienze a Kristiansand. L'energia elettrica è prodotta in una centrale idroelettrica situata a 25 Km. di distanza e la corrente arriva alla tensione di 25000 volta; i tre forni assorbono ciascuno 600 HP. cioè 105 ampère sotto 4200 volta e gli archi raggiungono una lunghezza di 5 metri.

In seguito si sono costruiti forni di 1000 HP. in cui gli archi raggiungono la lunghezza di 7 metri e nei quali si iniettano 1100 m.<sup>3</sup> di aria all'ora.

La *Badische* s'è associata alla *Società Norvegese dell'azoto* fondata nel 1905 con un capitale di 41.166.000 fr. per sfruttare in comune i processi Schönherr (arco rettilineo) e Birkeland e Eyde (arco a disco). La casa Bayer di Elberfeld e l'*Aktiengesellschaft* di Berlino sono interessate nell'affare ed il consorzio si è assicurato le più importanti cadute. Si sono create anche due nuove società. La *Società Norvegese di Forza* e la *Società Norvegese delle*

*officine nitrifere*: la 1<sup>a</sup> ha un capitale di 16.000.000 di corone e la 2<sup>a</sup> di 18.000.000.

Attualmente si sta sistemando e terminando i lavori per la più importante delle cascate, quelle del Rjukan. L'altezza totale di questa è 560 m. con un deflusso regolare di 47 m.<sup>3</sup> al secondo per modo che la potenza complessiva è di 250000 H.P. Essa è suddivisa in due salti di 280 m. ciascuno. La prima centrale costruita a Saaheim funziona dalla fine del 1911 con una potenza di 125000 H.P.

Inoltre il consorzio si è assicurato le cascate di Tynn di 81000 H. P. di Mâtre di 83000 e di Vaann di 55000 H. P. in modo che esso potrà disporre di un totale di 400000 H. P. e fornire al mercato 225000 ton. di nitrato di calce.

Recentemente il gruppo della *Badische* ha diminuito di molto la sua partecipazione finanziaria nelle imprese di Norvegia, riducendola da 17 milioni di corone a circa 5 milioni di marchi ed il gruppo norvegese ha assorbito le azioni prima possedute dalla *Badische*. Le vere cause del ritiro della *Badische* non si conoscono. La *Badische* la giustifica colla impossibilità di impiegare denaro e lavoro tedesco in Norvegia in causa delle leggi di quello stato: sta di fatto che i forni della *Badische* non sono entrati nell'esercizio industriale.

*Officine elettro-chimiche di Notodden.* — Sono di gran lunga le più importanti fin qui costruite e vale la pena di spendere attorno ad esse alcune parole. Appartengono alla *Società Norvegese dell'azoto* e posseggono 32 forni della potenza di 833 Kw. ciascuno; l'energia elettrica è fornita da una centrale idro-elett. situata a Svaelfös, distante 5 Km., sul fiume Tynn che serve di emissario al lago Tinnsjoe. Una diga di 17 m. di altezza sbarra il fiume in modo da formare al di sopra un bacino di 7 Km. di lunghezza. L'altezza della caduta è di m. 48 e la potenza sviluppata di 40000 H.P. L'impianto idro-elettrico è uno dei più importanti d'Europa, poichè comprende 4 turbine di 11500 H.P. ciascuna, azionanti, per accoppiamento diretto, 4 alternatori di 10.000 cavalli e questi forniscono la corrente alle officine di Notodden sotto la tensione di 10000 volt. Quivi, dei 32 forni, 27 funzionano insieme e gli altri 5 sono

di riserva e di ricambio, quando occorra interrompere il funzionamento dei primi. La sala che contiene questi forni è lunga 37 m. ed altissima. Il movimento dell'aria fra gli elettrodi produce un ronzio dei più curiosi: otto ventilatori, situati nel sottosuolo, mandano nei forni l'aria con velocità regolabile.

I forni Birkeland che funzionano a Notodden si fanno rimarcare per la grande stabilità e regolarità: possono funzionare oltre un anno senza richiedere riparazioni importanti: il rivestimento refrattario dura oltre 5 o 6 mesi e gli elettrodi vengono ricambiati ogni tre o quattro settimane.

Gli stabilimenti di Notodden si compongono attualmente di una serie di fabbricati situati sul prolungamento gli uni degli altri e comprendono: il locale dei forni, prossimo a quello delle torri di ossidazione, il locale delle torri di assorbimento, dove l'acido si condensa, il locale per la fabbricazione del nitrato di calce ed infine il magazzino per deposito, imballaggio e spedizione dei prodotti fabbricati. Una ferrovia a scartamento ridotto mette in comunicazione le diverse parti dell'officina e si prolunga fino al piccolo porto di Skien dove i prodotti vengono imbarcati.

La fabbrica di Notodden ha presentato dei bilanci con larghi margini di guadagno. Nel 1909 si fabbricarono 12000 ton. di nitrato di calce e fu distribuito un dividendo del 10%. Identico dividendo fu distribuito nel 1910 dopo aver fatto ammortamenti larghissimi.

Fra breve tutta la prima parte dell'impianto del Kyukan sarà completamente ultimato in modo da produrre 100000 tonnellate di nitrato all'anno.

Dopo i forni Schönherr e Birkeland-Eyde è il forno dei fratelli Pauling (arco a ventaglio) il più diffuso. Il processo Pauling appartiene alla *Salpetersäure Industrie Gesellschaft* di Innsbruck. Attualmente la Società possiede un officina a Patsch, presso Innsbruck, che dispone di 15000 cavalli e comprende 24 forni. L'energia proviene dalla centrale elettrica della Sill in Tirolo. La quantità d'aria trattata è di 600 m.<sup>3</sup> per forno e per ora ed i gas

all'uscita contengono 1,5% di ossidi d'azoto ad una temperatura da 700 a 800°.

In Francia i brevetti in parola sono esercitati dalla Società *La Nitrogène* che ha fondato un'officina a La Roche-de-Dame (Hautes-Alpes) che utilizza circa 8000 cavalli della Biaissee affluente di destra della Haute-Durance.

Lo scopo principale di questa fabbrica è la preparazione dell'acido nitrico, ma si sta completando l'industria colla preparazione dei derivati nitrati. La fabbrica comprende 18 forni doppi di 500 cavalli ciascuno.

Un impianto analogo è quello della società *Elettrochimica Dott. Rossi* a Legnano in Italia destinato ad utilizzare 10000 cavalli di energia, non utilizzata da altre industrie, durante la notte; è entrato in piena produzione nei primi mesi del 1911 con produzione di acido nitrico concentrato.

In Germania la Badische menzionata sta progettando la costruzione di una fabbrica di nitrato utilizzando una caduta di 50000 cavalli sull'Alz nell'alta Baviera che, insieme allo sfruttamento delle acque del Walchensee, potrà permettere di contare su di una potenza di 500000 cavalli.

In Germania ancora la *Chemische Fabrik Griesheim-Elektron* continua gli esperimenti a Rheinfelden.

Accanto a queste imprese maggiori si contano quelle minori e così a Vernier presso Ginevra la *Société d'Études Electrochimiques* esperimenta il processo dovuto ai signori Guye e Naville (arco a ventaglio); un gruppo d'iniziativa a Friburgo intraprende studi ed esperimenti a Neuhausen (Aluminium Industrie-Gesellschaft): un altro di Helbig esperimenta a Gampel, dove la società della Lonza deve impiegare all'uopo 10000 cavalli.

Finalmente nel Canton Ticino la *Società Nitrum* studia ed esperimenta nel più grande mistero a Bodio. Riguardo a quest'ultima impresa diremo che non ci fu possibile procurarci alcuna informazione utile; ogni nostro tentativo per visitare lo stabilimento è andato a vuoto; così pure scarsissime furono le notizie che si poterono ottenere dalla direzione: è ancora un mistero il processo che si sta ivi esperimentando e la specie di forno che

viene utilizzato: si sa solo che si fabbrica qualche tonnellata al giorno di acido nitrico, coll'impiego di una trentina d'operai; ma nulla assolutamente si sa sul rendimento dei forni. L'energia elettrica utilizzata proviene dal ben noto impianto della società Motor di Baden a Bodio.

*Conclusiones.* — Da quanto abbiamo esposto si vede che il problema della fissazione dell'azoto atmosferico per ricavarne elementi fertilizzanti è contemporaneamente attaccato da ogni lato e con successo.

In questo momento i risultati più decisivi sembrano essere quelli che si ottengono colla fissazione diretta (combustione dell'azoto) sotto forma nitrica. Questo metodo, malgrado il debole rendimento dal punto di vista dell'utilizzazione dell'energia elettrica, possiede il vantaggio di far a meno dal ricorrere a manipolazioni accessorie e permette di ottenere senza residui inutili tutta una serie di prodotti reclamati dall'industria e dall'agricoltura.

In vista del basso rendimento dei metodi attuali, in confronto al consumo di energia, questi processi non sono applicabili che là ove l'energia elettrica si possa avere a bassissimo prezzo come in Norvegia; ovvero quando si possono utilizzare le ore perdute di notte specialmente nei grandi impianti elettrici, come a Legnano.

Ma se pensiamo che sono appena pochi anni che questi tentativi sono entrati nella fase della pratica applicazione, che ogni giorno, si può dire, il rendimento va migliorando dobbiamo credere, con buon fondamento che in un avvenire non lontano accadrà per essi ciò che è avvenuto per tanti altri procedimenti industriali che non sono giunti allo stato di sviluppo che attraverso ad un'infanzia travagliata.

Come la trasformazione dell'energia elettrica in energia luminosa si effettua sempre più con rendimento migliore, così la trasformazione dell'energia elettrica in attività chimica si perfeziona sempre più e, proseguendo il paragone, come i fisici, con laboriosi esperimenti e studi indefessi, si prefiggono di ottenere la *luce fredda*, cioè la trasformazione dell'elettricità in luce senza perdita sotto forma di calore, così i chimici-elettricisti studiano e ricer-

cano il miglior modo per la trasformazione dell'energia elettrica in energia chimica senza perdita sotto forma di calore e di luce. Quando si potesse giungere ad ossidare l'azoto con una *scarica elettrica fredda*, il problema avrebbe avuto una brillante soluzione; ma disgraziatamente si è molto lontani da ciò.

Per intanto basta che l'industria della fabbricazione dell'acido nitrico sintetico faccia ancora qualche passo in avanti, che del resto è prevedibile assai prossimo, perchè le due industrie, quella dei nitrati naturali e quella dei nitrati ottenuti con processi elettrochimici, che non sono destinate a combattersi, ma si bene a integrarsi a vicenda, possano trovarsi in grado di salvarci dalla temuta carestia di pane che, secondo le facili profezie, attende l'uomo futuro.

---