

LA CHIMICA COINVOLTA NELL'INDUSTRIA DI CHIMICA DI BASE INORGANICA IN ITALIA

Ferruccio Trifirò

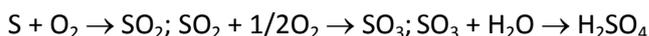
Sono riportate le produzioni di alcuni building blocks dell'industria di chimica di base inorganica in Italia dai quali parte la chimica a valle. Sono elencate le aziende che producono H₂SO₄ e quelle che lo utilizzano per produrre HF e TiO₂, le aziende che realizzano l'elettrolisi a membrana di NaCl e quella che impiega KCl, l'azienda che produce NH₃ e quelle che la trasformano in HNO₃, l'azienda che produce NaHCO₃, quelle che producono H₂O₂, quella che produce solfuri di fosforo e quella che produce cloruri di silicio.

H₂SO₄, Cl₂, NaOH, NH₃
HNO₃, TiO₂, H₂O₂, Si
NaHCO₃, Na₂CO₃, P₄

In questa nota riporterò alcuni building blocks (i mattoni) dell'industria di chimica di base inorganica [1], ossia i primi prodotti di trasformazione delle materie prime inorganiche, che poi vengono ulteriormente trasformati a diversi altri prodotti nell'industria a valle. Saranno riportati solo i mattoni inorganici prodotti dalle industrie chimiche che operano in Italia ed aderiscono al gruppo "Imprese di Chimica Inorganica di Assobase" una delle 17 Associazioni di Federchimica [2], con la sola eccezione di due aziende la "Yara" e la "Marchi Industriale" che non appartengono a questa Associazione. Saranno esaminati in questa nota i mattoni che sono considerati i più importanti come il Cl₂, H₂SO₄, NaOH, NH₃ ed HNO₃, altri come H₂O₂, NaHCO₃, Na₂CO₃, TiO₂ e HF e due sostanze che non sono considerate normalmente mattoni come i solfuri di fosforo e i cloruri di silicio, ma lo sono le loro materie prime di partenze che provengono dall'estero rispettivamente il fosforo giallo (P₄) ed il silicio metallurgico (Si). È bene ricordare che ci sono altri building blocks importanti dell'industria di chimica inorganica di base che non verranno trattati come O₂, N₂, H₂, Br₂, I₂, Ca(OH)₂, H₃PO₄, SiO₂, SO₂, carbone attivo, metalli diversi, terre decoloranti e gas rari.

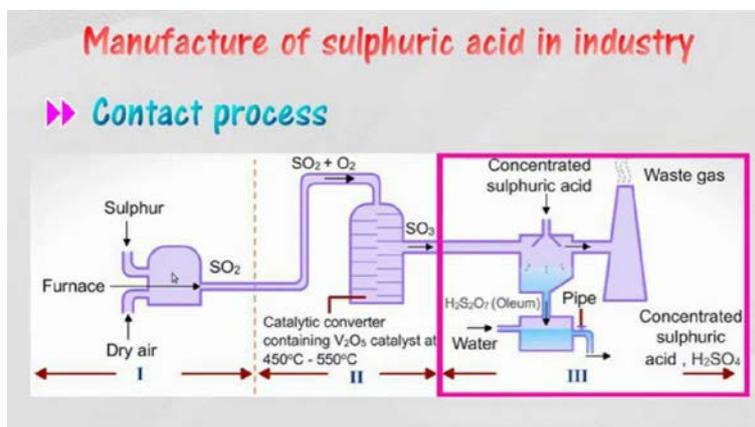
Produzione di acido solforico

Gli impianti attuali di produzione di H₂SO₄ in Italia sono i seguenti [3]: Fluorsid 300.000 t/a ad Assemini (CA), Nuova Solmine 600.000 t/a a Scarlino (GR), Essemar (Esseco e Marchi Industriale) 150.000 t/a a San Martino di Trecate (NO), Nuova Solmine 70.000 t/a a Serravalle Scrivia (AL) e Gruppo Marchi Industriale 170.000 t/a a Marano Veneziano (VE). Tutte le aziende utilizzano adesso come materia prima lo zolfo proveniente dalle raffinerie di petrolio (in passato era il FeS₂) ad eccezione dell'impianto di Serravalle Scrivia che utilizza rifiuti che contengono zolfo e acido solforico di riciclo. Mentre la "Nuova Solmine" e "Solmar" vendono l'acido solforico prodotto ad aziende esterne, "Fluorsid" e "Marchi Industriale" in gran parte lo trasformano in situ ad altri prodotti e vendono il rimanente. La produzione di acido solforico avviene con le seguenti reazioni [3]:



La sintesi di SO₃ è la reazione più critica ed utilizza un catalizzatore a base V₂O₅ con diversi droganti. In genere viene prodotto oleum, chiamato anche acido solforico fumante (H₂SO₄ 104-106% in peso in miscela con 20-30% in peso di SO₃ disciolta), acido solforico concentrato (96%-99% in peso) ed acido solforico diluito (25-65% in peso). Il calore di reazione della ossidazione di SO₂ viene utilizzato per produrre energia nel sito.

Alcuni primi utilizzi dell'acido solforico sono i seguenti [4]: la produzione di solfati di elementi diversi, di solfato di ammonio, di acido fluoridrico per interazione con CaF_2 e di fosfati acidi per interazione con fosforiti, di esteri organici, di acidi solfonici per interazione con aromatici, di trasformazione di acetoncianidrina ad acido metacrilico e di ossidazione di sostanze organiche nell'industria farmaceutica.



Processo di produzione di acido solforico

In particolare le industrie che utilizzano l'acido solforico sono quelle di produzione di: pigmenti, materie plastiche, fibre sintetiche, metalli, fertilizzanti, fitofarmaci, farmaci, batterie, carta, alimentari, cuoio, detersivi, esplosivi e purificazione delle acque.

La "Nuova Solmine" [5] è il maggiore produttore italiano e produce nei due siti italiani oleum, acido solforico concentrato e con la consociata Solbat acido solforico diluito. Lo stabilimento di Scarlino è nato nel 1962 e quello di Serravalle Scrivia nel 1989 ed entrambi gli stabilimenti vendono l'acido solforico anche all'estero.

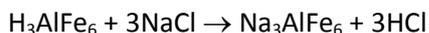
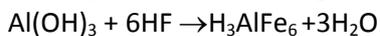
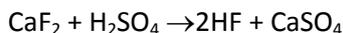
L'azienda "Essemar" [6] è nata nel 2004 come joint venture tra "Esseco Group" e "Marchi Industriale" per produrre oleum, acido solforico al 99% in peso a San Martino di Trecate, l'azienda ha anche impianti in diverse parti del mondo (Usa, Messico, Brasile, Francia, Inghilterra e Spagna).

Il gruppo "Marchi Industriale" [7] è attivo dal 1899 a Marano Veneziano (VE) e produce in particolare oleum, H_2SO_4 concentrato, acido solforico puro per analisi, di cui è l'unico produttore in Italia, ed acido solforico diluito per accumulatori. Nel sito l'azienda utilizza l' H_2SO_4 per produrre K_2SO_4 (fertilizzante) per reazione con KCl con coproduzione di HCl, che viene utilizzato in situ per produrre polialluminio idrossido cloruro, utilizzato come flocculante nel trattamento di depurazione delle acque. Inoltre nel sito l' H_2SO_4 viene utilizzato per produrre fertilizzanti NKP e LAS (linear alkylbenzene sulfonic acid) utilizzato nei detersivi come tensioattivo.

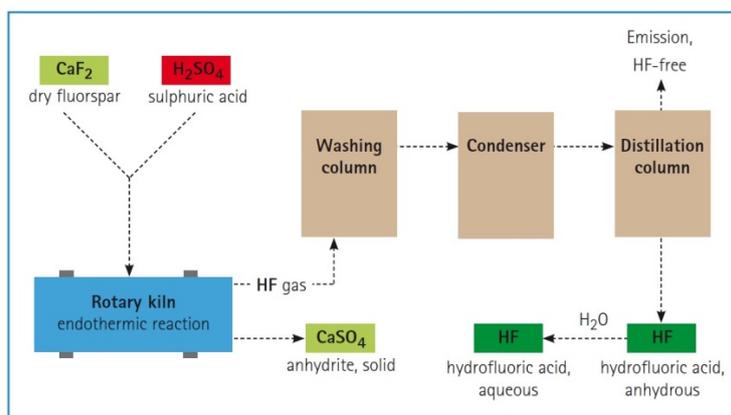
Produzione di acido fluoridrico

In Italia l'HF è prodotto a partire da CaF_2 (fluorite) ed H_2SO_4 ad Assemini (CA) da Fluorsid e a Marghera, dove l'impianto che era della Solvay è stato ceduto ad Alkeemia, società del gruppo Fluorsid. Ad Assemini l'HF è utilizzato nel sito per produrre fluoruri inorganici ed in parte venduto all'esterno, mentre quello prodotto a Marghera va a Spinetta Marengo (AL) presso l'azienda "Solvay Specialty Chemicals" per essere utilizzato per la sintesi di monomeri fluorurati. Fluorsid una società chimica italiana fondata nel 1969 è uno dei maggiori produttori mondiali di fluoruri inorganici per l'industria dell'alluminio e produce: fluoruro di alluminio (AlF_3), criolite sintetica (Na_3AlF_6), acido solforico, fluorite essiccata, acido fluoridrico al 40%, anidrite (CaSO_4 anidro), gesso granulare (CaSO_4 in pellet) e biscotti fluoritici di alluminio.

L'impianto di Assemini nato nel 1969, produce 100.000 t/a di fluoruro di alluminio e criolite, reagenti principalmente destinati alla produzione di alluminio primario. Le reazioni coinvolte nello stabilimento sono:



Fluorsid produce nel sito anche H_2SO_4 dal 2002, con una capacità produttiva di 300.000 t/a a partire da zolfo con il processo a "doppio contatto e doppio assorbimento" [3] il processo che consente le più alte conversioni di SO_2 , l'unico in Italia.

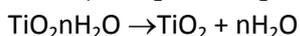


Processo di produzione dell'acido fluoridrico

L' H_2SO_4 prodotto nel sito è utilizzato in gran parte per la produzione di HF ed il rimanente viene venduto. L' AlF_3 viene utilizzato principalmente quale additivo per la produzione di alluminio primario, consentendo di diminuire l'energia elettrica necessaria al processo di fusione. La criolite è utilizzata allo stato fuso per scioglierla l'allumina nel processo elettrolitico di produzione del metallo ed è anche impiegata nell'industria degli abrasivi, delle ceramiche e del vetro. L'anidrite coprodotta della reazione di sintesi di HF viene impiegata nell'industria delle costruzioni, nell'edilizia residenziale e delle opere pubbliche ed il CaSO_4 granulare nella produzione di cemento. I biscotti fluorurati sono una miscela di CaSO_4 e CaF_2 , rifiuti del processo, che vengono venduti come fondenti nella produzione del cemento come regolatore di presa. L'HF non utilizzato nel sito viene venduto all'esterno in soluzione acquosa al 40% ed è utilizzato nell'industria della ceramica, del vetro, degli smalti, dell'acciaio e dell'alluminio.

Produzione TiO_2

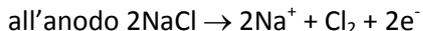
L'azienda "Venator Material Corporation" (del gruppo americano "Huntsmann" il primo produttore di TiO_2 nel mondo) a Casone di Scarlino (GR) produce TiO_2 ed è l'unico produttore in Italia. Lo stabilimento è nato nel 1972 con la "Montedison", nel 1984 è passato all'azienda "Tioxide Europa" e nel 1999 alla "Venator Materials Corporation". All'inizio la materia prima usata era l'ilmenite (FeTiO_3) che aveva l'inconveniente di produrre elevate quantità di FeSO_4 come coprodotto, un rifiuto ingombrante. Le reazioni utilizzate erano le seguenti:



L'acido, solforico, prodotto nello stesso sito dalla "Nuova Solmine", ha il ruolo di dissolvere il titanio e gli altri elementi presenti nei minerali di partenza utilizzati come materie prime, poi avviene l'idrolisi del titanil solfato con precipitazione dell'idrato di TiO_2 e poi l'eliminazione dell'acqua con produzione di TiO_2 anidro. Nel 1984 per diminuire la coproduzione di $FeSO_4$ come materia prima non si è più utilizzata l'ilmenite (45%-55% di TiO_2), ma delle sabbie che provenivano dalla Richard Bay del Sudafrica che avevano un contenuto di TiO_2 del 85%. Il TiO_2 è impiegato nel settore delle pitture e delle plastiche, per la produzione di additivi per alimenti e di prodotti farmaceutici e la produzione realizzata a Scarlino è di 70.000 t/a.

Produzione di NaOH e Cl_2

L'elettrolisi del NaCl produce NaOH, Cl_2 e H_2 , successivamente nello stesso sito per reazione fra NaOH e Cl_2 ($2NaOH + Cl_2 \rightarrow NaClO + NaCl + H_2O$) si produce sodio ipoclorito ($NaClO$) e per reazione fra H_2 e Cl_2 si produce HCl. Le industrie che hanno impianti di elettrolisi di NaCl in Italia sono le seguenti: "Caffaro" con l'azienda Halo in società con "Spin" e "Friulia" a Torviscosa (UD), "Innovyn" a Rosignano (LI), la "Chimica Bussi" a Bussi sul Tirino (PE) e "Idrochem" a Pieve Vergonte (AL) e la "Syndial" (Eni) ad Assemini. Tutte le aziende utilizzano la gran parte del cloro prodotto *in situ* per sintetizzare sostanze organiche o inorganiche clorate, eccetto quella di Assemini, che dopo la chiusura della produzione di dicloroetano nel 2013, vende tutti i prodotti all'esterno. Tutti gli impianti cloro-soda in Italia da alcuni anni non utilizzano più il processo di elettrolisi a membrane, ma utilizzano il processo a membrana, ambientalmente più accettabile, che ha l'unico problema di produrre NaOH diluito [9]. La reazione di trasformazione di NaCl avviene nei due compartimenti della cella, separati da una membrana permeabile al passaggio dei soli ioni sodio. Nell'impianto di elettrolisi hanno luogo le seguenti due reazioni:



NaCl in soluzione acquosa è introdotto nel reparto anodico, dove per effetto della corrente elettrica, si trasforma in cloro, che si libera come gas e sodio ionico. Gli ioni sodio, formatasi all'anodo migrano sotto l'azione del campo elettrico attraverso la membrana al catodo. Al catodo le molecole di acqua sono dissociate in ioni ossidrili e ioni idrogeno che si liberano in forma gassosa, mentre gli ioni ossidrili si legano al sodio in forma ionica dando luogo a soda caustica. Per realizzare il processo è necessario che la membrana che separa i due compartimenti sia permeabile ai soli ioni sodio, e non consenta il passaggio di ioni cloro o di ioni ossidrile. Il cloro è utilizzato in prodotti per la pulizia in ambito domestico e nell'industria chimica come reagente per la produzione di plastiche, coloranti, detergenti e saponi, per la fabbricazione della carta, per il trattamento delle fibre e del cotone. I primi derivati del cloro sono riportati in Tab. 1.

Tab. 1 - I primi rami dell'albero del cloro

HCl, $COCl_2$, $CHCl_3$, CH_2Cl_2 , CH_3Cl , CHF_2Cl
CH_2CH_2Cl , $ClCH_2CH_2Cl$, $CH_2=CHCl$, $CH_2ClCOOH$, CCl_3COOH
$CH_2=CHCH_2Cl$, $CH_2ClCH=CHCH_2Cl$, $CH_2=CHCCl=CH_2$
Epicloridina, cloroparaffine, cloroaromatici
$SiCl_4$, $SiCl_2$, PCl_3 , PCl_5 , $FeCl_3$

Sono riportate in un documento di Federchimica [10] le seguenti osservazioni sull'utilizzo del cloro: "il 95% di tutti i beni di largo consumo per la loro fabbricazione in qualche modo hanno

utilizzato derivati del cloro; il 55% dei processi industriali di trasformazione chimica in Europa utilizzano composti clorurati come intermedi; l'85% dei farmaci oggi esistenti viene prodotto sfruttando la chimica del cloro ed il 96% dei prodotti impiegati in agricoltura per la protezione dei raccolti e delle piante utilizzano il cloro".

Gli impieghi della NaOH sono i seguenti: nel settore farmaceutico, nella produzione di detersivi, nel trattamento delle acque per estrarre i metalli, nella produzione della carta, di resine, esplosivi, vetri, vernici e coloranti, sodio ipoclorito, nell'industria tessile, nella rigenerazione delle resine a scambio ionico, nell'industria alimentare come regolatore di acidità e nell'industria cosmetica come regolatore di pH.

L'azienda "Inovyn" [13] ha acquistato l'impianto cloro-soda da "Solvay" a Rosignano e produce nel sito CH_2Cl_2 e CCl_4 , oltre che NaClO ed HCl.

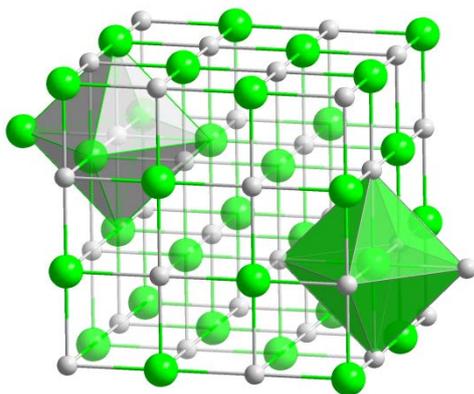
L'azienda "Halo" gestisce l'impianto cloro-soda [14] che è andato in marcia nel 2016 a Torviscosa ed il cloro è utilizzato nel sito dalle aziende Bracco Spin e Caffaro per produrre composti organici clorurati.

L'azienda "Idrochem" [15] gestisce il cloro-soda di Pieve Vergonte dal 2013 che ha acquistato dalla "Tessenderlo", che aveva a sua volta acquistato l'impianto nel 1997 da Enichem ed utilizza il cloro nel sito per produrre clorotolueni. "HydroChem Italia" fa parte del Gruppo "ICIG" (International Chemical Investors Group), un gruppo internazionale con oltre 28 siti nel mondo.

La "Chimica Bussi" della "Società Chimica Fedeli" [16] ha acquistato il cloro-soda di Bussi sul Tirino dalla "Solvay" nel 2016 e nel 2018 ha costruito un impianto di produzione di policloruro di alluminio per utilizzare il cloro prodotto ed ha costruito anche un impianto di concentrazione di NaOH per facilitare la sua vendita.

Produzione di KOH

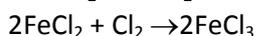
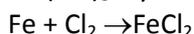
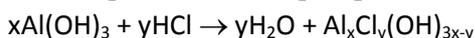
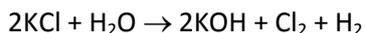
L'azienda "Altair Chimica", che fa parte del gruppo "Esseco", sintetizza KOH insieme a HCl ed H_2 per elettrolisi di KCl a Saline di Volterra (PI) [17]. L'azienda è nata nel 1959 come "Larderello" utilizzando NaCl locale per produrre per elettrolisi con il processo a mercurio Cl_2 e NaOH, poi è passata ad "Enichem", successivamente ad un gruppo finanziario americano, per diventare nel 1995 di nuovo azienda italiana con il nome di "Altair Chimica" ed infine nel 2011



è stata acquistata da "Esseco". L'azienda "Altair" nel 1996 ha cambiato il tipo di produzione utilizzando KCl, non più NaCl, per produrre per elettrolisi sempre con il processo a mercurio KOH, Cl_2 e H_2 e altri composti del potassio e nel 2008 ha sostituito il processo a mercurio con quello per elettrolisi a membrana. Attualmente l'azienda produce utilizzando anche NaOH e CO_2 i seguenti prodotti: KOH, K_2CO_3 , HCl, KCl, NaClO, $\text{Al}_x\text{OH}_y\text{Cl}(3x-y)$ (policloruro idrossido di alluminio), FeCl_3 , FeCl_2 e K_2HPO_4 . I composti a base di potassio sono utilizzati nell'industria alimentare, agraria e farmaceutica,

mentre KCl purificato è utilizzato come additivo per alimenti. I composti clorurati sono impiegati nella disinfezione delle acque potabili e civili. Il policloruro idrossido di alluminio è utilizzato per la purificazione delle acque e come flocculante per l'industria tessile e metalmeccanica. I cloruri di Fe sono utilizzati per la potabilizzazione delle acque. "Altair" è l'unico produttore italiano di KOH e di K_2CO_3 ed esporta questi prodotti anche all'estero.

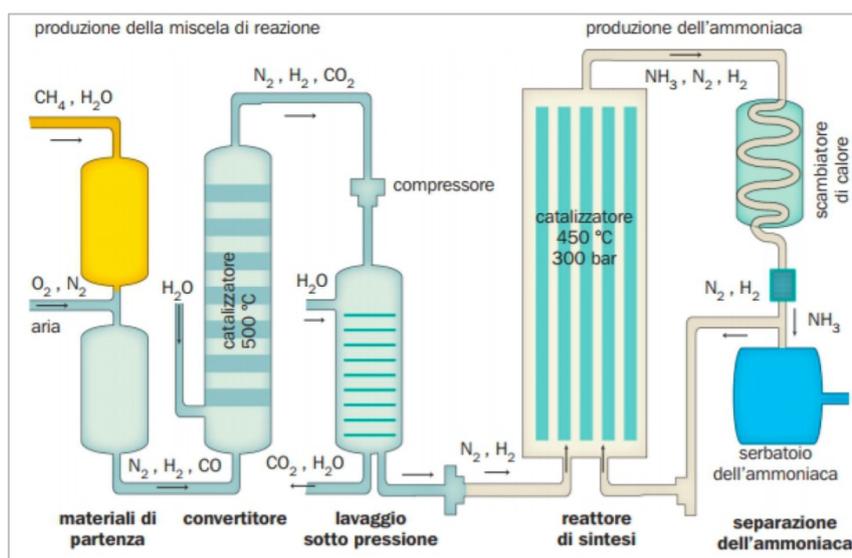
Le reazioni coinvolte nel sito sono:



Nel 2013 “Altair” ha iniziato a produrre nel sito cloro-paraffine C20-C30, così consumando tutto il cloro prodotto nel sito.

Produzione di ammoniaca ed acido nitrico

L'ammoniaca è prodotta in Italia con catalizzatori a base di Fe a partire da N_2 ed H_2 , mentre l'acido nitrico è prodotto per ossidazione di NH_3 con catalizzatori a base di Pt-Rh [18]. L'unico impianto di produzione di NH_3 in Italia è a Ferrara con una capacità di 600.000 t/a da parte “Yara” azienda norvegese [19] che è il più grosso produttore mondiale di NH_3 . L'impianto di Ferrara era dell'Eni ed è stata acquistata da “Norsk Hydro” nel 1996, che poi è diventato “Yara”. L'idrogeno per la sintesi di NH_3 è prodotto nel sito da metano ed il 60% dell'ammoniaca prodotta viene utilizzata direttamente nella produzione di urea (fertilizzante) nello stesso sito per reazione con CO_2 e la quantità restante viene inviata, tramite pipeline, all'impianto di Ravenna per produrre acido nitrico. L'80% dell'ammoniaca prodotta nel mondo va in fertilizzanti.



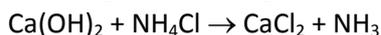
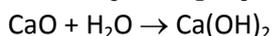
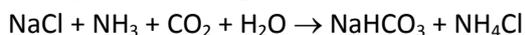
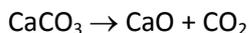
Processo di produzione dell'ammoniaca

L'acido nitrico è prodotto a Ravenna [19] sempre da parte di “Yara” ed a Novara da parte di Radici Chimica [20]. L' HNO_3 viene prodotto mediante ossidazione di NH_3 su catalizzatori a base di Pt-Rh producendo NO_2 , che poi viene assorbito in acqua per produrre l'acido. A Ravenna “Yara” ha due impianti di acido nitrico, con il quale produce nel sito nitrati, fertilizzanti NPK e soluzioni liquide di nitrato d'ammonio. L'azienda “Yara” ha brevettato un catalizzatore che è in grado di ridurre le emissioni di protossido di azoto (sottoprodotto della reazione di sintesi di HNO_3), che è un gas a effetto serra ed il catalizzatore è stato sperimentato per la prima volta proprio a Ravenna nel 2006-2007 e adesso è installato su tutti gli impianti e ha permesso di ridurre del 90% le emissioni di N_2O .

Radici Chimica produce acido nitrico al 65% da NH_3 che proviene dall'esterno nello stabilimento di Novara [20] con catalizzatori a base di Pt-Rh e l'acido è utilizzato nel sito per ossidare cicloesano e cicloesano ad acido adipico e produrre poi poliammide 66.

Produzione di bicarbonato di sodio

Il bicarbonato di sodio (NaHCO_3) è prodotto in Italia solo dalla "Solvay" [21], industria belga, a Rosignano Solvay a partire dal 1912. Le materie prime utilizzate sono NaCl , CaCO_3 e NH_3 e le reazioni coinvolte sono le seguenti:



Il bicarbonato di sodio è utilizzato per l'igiene del bagno, la pulizia della cucina, la preparazione dei cibi e il benessere della persona, il carbonato di sodio nella detergenza e il CaCl_2 come anticongelante per le strade e come essiccante.

Produzione di acqua ossigenata

L'acqua ossigenata è prodotta a Rosignano dalla "Solvay" [21] per sintetizzare acido peracetico e H_2O_2 ultrapura per l'elettronica, a Bussi sul Tirino dalla "Chimica Bussi" [16] ed a Spinetta Marengo da "Arkema" [22], queste ultime due per produrre *in situ* perossidi e peracidi organici. La sintesi è riportata in Fig. 1: la reazione avviene per ossidazione del 2-etilidrossiantrachinone a 2-etilantrachinone e coproduzione di H_2O_2 , successivamente la sua estrazione e la riduzione con idrogeno catalizzata da palladio del 2-etilantrachinone per ottenere di nuovo l'idrossido. L' H_2O_2 è utilizzata principalmente in ambito industriale, in ambito medico e in ambito cosmetico in particolare nell'industria della carta, ma anche nell'industria chimica, tessile, alimentare ed ambientale e nella produzione di propellenti ed esplosivi. In particolare "Solvay" a Rosignano ha realizzato recentemente un impianto di acqua ossigenata ultrapura usata nell'industria dei semiconduttori.

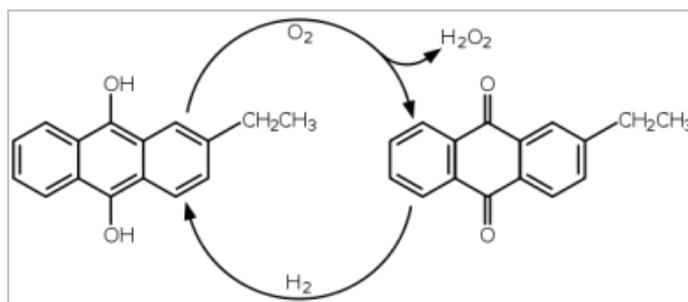


Fig. 1 - Sintesi dell'acqua ossigenata

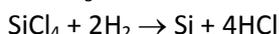
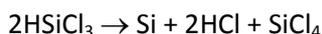
Produzione di solfuri di fosforo

"Italmatch Chemicals", azienda italiana con molti stabilimenti all'estero produce a Spoleto (PG) pentasolfuro di fosforo (P_2S_5), sesquisolfuro di fosforo (P_4S_3) e fosforo rosso (forma allotropica del fosforo giallo) a partire dal fosforo giallo e dallo zolfo che provengono dall'esterno [23, 24]. Il fosforo rosso è ottenuto dal fosforo giallo per trattamento a $250\text{ }^\circ\text{C}$ in atmosfera inerte, mentre i due solfuri sono ottenuti per reazione del fosforo giallo con quantità stechiometriche di zolfo. Nel sito l'azienda produce anche masterbatch a base di miscele di fosforo rosso con un polimero (poliammide o anche polipropilene e polietilene). Il fosforo giallo è ottenuto per riduzione dei fosfati ad alta temperatura con C. La "Italmatch Chemicals", azienda fondata nel 1998, ha acquistato lo stabilimento di Spoleto dalla "Montedison" che l'aveva acquistato dall'azienda S.A.F.F.A. (Società Anonima Fabbriche Fiammiferi ed Affini) nata nel 1929

producendo fosforo giallo, fosforo rosso, e sesquisolfuro di fosforo, tutte materie prime utilizzate per la produzione dei fiammiferi e che negli anni Cinquanta iniziò la produzione di P₂S₅. Italmatch nel 1999 iniziò a produrre masterbatch come ritardanti di fiamma ottenuti dalla miscelazione di fosforo rosso con polimeri.

Produzione di cloruri di silicio

L'azienda tedesca "Evonik Italia Srl" produce a Ferrara triclorosilano (SiCl₃) e tetracloruro di silicio (SiCl₄) ottenuti per reazione fra Si metallurgico e HCl [25]. Il silicio metallurgico è prodotto all'estero per riduzione con C della SiO₂ a 1800 °C. I cloruri di silicio vengono utilizzati per produrre silicio policristallino per applicazioni fotovoltaiche e per l'elettronica con le reazioni:



BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.essentialchemicalindustry.org/chemicals.html>
- [2] <https://assobase.federchimica.it/chiamo/Impresechimica-inorganica>
- [3] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, 2018, **5**(6), 4.
- [4] <https://federchimica.it/industria-chimica-in-cifre/il-ruolo-essenziale-della-chimica/gli-alberi-della-chimica>
- [5] <http://www.nuovasolmine.it/>
- [6] <http://www.essemar.com/>
- [7] <https://www.marchi-industriale.it/>
- [8] <http://www.fluorsid.com/it/fluorurodi alluminio.aspx>
- [9] <https://www.chemguide.co.uk/inorganic/group7/diaphragmcell.html>
- [10] <https://cloro.federchimica.it/CloroNellIndustria.aspx>
- [11] <https://cloro.federchimica.it/AlberoDelCloro.aspx>
- [12] <https://www.my-personaltrainer.it/benessere/soda-caustica.html#74223>
- [13] http://www.comune.rosignano.livorno.it/download/35632/Scheda_informazione_INOVYN_Rosignano_3.pdf
- [14] <https://www.caffaroindustrie.com/news/impianto-cloro-soda-halo-industry-spa.html>
- [15] <http://www.hydrochemitalia.it/>
- [16] <https://www.chimicafedeli.it/it/contatti.html>
- [17] <http://www.altairchimica.com/>
- [18] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria*, 2011, **95**(5), 102.
- [19] <https://www.yara.it/>
- [20] <https://www.radicigroup.com/it/prodotti/chemicals/acido-adipico-radichem>
- [21] <https://www.solvay.it/it/index.html>
- [22] <https://www.arkema.com/en/all-arkema-locations/arkema-in-italy/>
- [23] <https://www.lavocedelterritorio.it/index.php/visita-allo-stabilimento-di-italmatch-chemicals/>
- [24] https://www.confindustriabergamo.it/files/credito_finanza/Argos_CaseStudy_IMC.pdf
- [25] http://www.provincia.fe.it/download/Evonik%20Degussa_Atto%20P.G.%2035706%20del%2005.05.09.pdf?server=sd2.provincia.fe.it&db=/intranet/internet.nsf&uid=1386A373BF42FE76C1257507002A5C6F