

Carbone

Introduzione

Il carbone ha dominato lo scenario energetico mondiale dal diciottesimo secolo fino al 1970 e nel 2015 ha coperto il 28,1% del totale dei consumi primari di energia (*Fonte: International Energy Agency (IEA) – Key World Energy Statistics 2017*). E' la Cina è il primo produttore e consumatore al mondo: nel 2017 il consumo di carbone da parte di questo Paese è stato di 1892,6 milioni di TEP con una produzione di 1747 milioni di TEP all'anno (*Fonte dei dati: BP Statistical Review of World Energy 2018*).

Il suo maggior limite è quello di essere la fonte di energia che inquina di più e incide negativamente sullo stato del clima. Rispetto al gas naturale, la produzione di un chilowattora di elettricità da carbone sprigiona più del doppio di ossido di azoto, otto volte la quantità di metalli pesanti, dieci volte quello di polveri sottili ed emette in gran quantità ossidi di zolfo.

Conoscere il carbone

Che cos'è

Il carbone è un combustibile fossile così come il petrolio e il gas naturale. A differenza di questi ultimi, il carbone è un combustibile solido, e, tra i combustibili solidi, è il più utilizzato al mondo nella produzione di energia elettrica. Il carbone, il petrolio e il gas naturale hanno una diversa origine oltre che un aspetto differente. Infatti, mentre il petrolio e il gas naturale si sono formati dai resti di microscopici organismi acquatici (plancton, molluschi, coralli, ecc.), sedimentati sul fondo di antichi mari, il carbone è costituito dai **resti di piante del passato** le cui strutture e forme, sebbene modificate, sono ancora riconoscibili al microscopio. Il carbonio rimane il principale componente del carbone dopo che gli altri componenti fondamentali della materia vivente originaria (idrogeno, ossigeno e azoto) sono progressivamente venuti meno durante i processi chimico-fisici che l'hanno trasformata. La combustione del carbone libera, dunque, l'energia del Sole immagazzinata dalle piante con la fotosintesi milioni di anni fa: per questo, è un prezioso contenitore di energia solare "fossile".

Dove si trova

Gli ambienti favorevoli alla formazione del carbone sono le vaste pianure costiere, lagunari o paludose, dove il clima caldo-umido ha sviluppato in passato un'abbondante vegetazione. Il lento sprofondamento del suolo fa sì che i resti vegetali vengano rapidamente sepolti da sabbie e argille portate dai fiumi. In profondità, in assenza di ossigeno, la materia vegetale schiacciata dal peso dei sedimenti e per effetto del calore e della pressione, subisce un processo di compattazione e lenta trasformazione in materiali sempre più poveri di acqua e ricchi in carbonio. Si forma prima la **torba**, un accumulo di resti vegetali parzialmente decomposti e impregnati d'acqua, poi la **lignite**, un carbone marrone e tenero che contiene il 70% di carbonio, quindi, il **litantrace**, il carbone più comunemente utilizzato per la produzione di energia elettrica, e, infine, l'**antracite**, una roccia nera, lucida e compatta, che ha il più alto tenore di carbonio (dal 93% al 98%). E' il carbone migliore (con un alto potere calorifico) e meno inquinante, ma viene utilizzato poco perché è difficilmente reperibile e, quindi, molto costoso. La formazione di giacimenti di carbone richiede fino a centinaia di milioni di anni, a seconda del tipo di prodotto finale. Il 95% dei giacimenti di carbone si trova nell'emisfero settentrionale (quasi il 60% è ripartito tra Cina, USA ed ex URSS). In Europa, la fascia dei grandi giacimenti è localizzata nei Paesi centro-settentrionali: Gran Bretagna, Francia settentrionale, Belgio, Olanda, Germania, Polonia e Russia. L'Italia possiede solo piccole quantità di "carboni poveri" (**lignite**). Questa disomogeneità nella distribuzione, dipende dal fatto che la formazione di grossi accumuli di resti vegetali, richiede terre emerse e climi adatti. Le terre dell'attuale Europa centrale, già nell'era Paleozoica, (da 530 a 245 milioni di anni fa) venivano saltuariamente invase da mari poco profondi: condizioni favorevoli allo sviluppo di abbondante vegetazione e alla sua lenta trasformazione in carbone. Le attuali

regioni dell'Europa meridionale, invece, sono di età Mesozoica (da 245 a 65 milioni di anni fa) o più recenti, e si sono formate in mare aperto lontano dalla costa: ecco perché ospitano solo pochi giacimenti di scarso rilievo.

A cosa serve

Il carbone è una fonte d'energia ampiamente utilizzata ed è la maggiore fonte combustibile per la generazione di energia elettrica. Molti Paesi dipendono fortemente dall'energia prodotta usando il carbone: nel 2017 la Cina ha consumato 1892,6 milioni di TEP, l'India 424 milioni di TEP e gli USA 332,1 milioni di TEP (Fonte: *BP Statistical Review of World Energy 2018*). Negli impianti di produzione di energia elettrica, il carbone viene bruciato per riscaldare l'acqua fino a trasformarla in vapore che, messo sotto pressione, fa girare una turbina collegata ad un generatore. L'energia meccanica della rotazione viene così trasformata in corrente elettrica. Circa il 39% dell'elettricità prodotta nel mondo si deve al carbone. Il settore siderurgico utilizza il **coke**: un combustibile solido e compatto prodotto riscaldando il carbone ad alta temperatura. Il coke è la materia prima per la produzione dell'acciaio. In altri processi industriali si usano i **gas di carbone** per produrre fertilizzanti, solventi, prodotti farmaceutici, pesticidi, ecc. Anche il **catrame** si ottiene dal carbone per distillazione. Il naturale disgusto per il suo colore e odore non impedirono ai chimici del Settecento di scoprirne le virtù: il legno spalmato con catrame diventava, infatti, impermeabile all'acqua e inattaccabile da parte dei microbi. Inoltre nei Paesi in via di sviluppo l'uso del carbone è ancora importante per gli utilizzi domestici: riscaldamento e cottura dei cibi.

Un po' di storia

L'era del carbone inizia verso la metà del 1600, in seguito all'esigenza di trovare una fonte di energia alternativa al legno. Fino ad allora, infatti, il legno era la fonte di energia più utilizzata, nonché un buon materiale da costruzione, ma l'eccessivo sfruttamento dei boschi portò in molti paesi europei alla progressiva distruzione delle foreste e il legno cominciò a scarseggiare.

Il carbone fossile sembrò, dunque, l'alternativa più valida a disposizione. Infatti, esso era presente nel sottosuolo di molti paesi del centro Europa e si prestava molto bene come fonte di energia per le prime macchine a vapore.

In pochi decenni la richiesta di carbone aumentò in maniera esponenziale per alimentare un'industria europea sempre più fiorente. In particolare, l'Inghilterra, grazie ai suoi grandi giacimenti, si arricchì e consolidò la sua posizione di supremazia tecnologica e industriale.

A partire dal 1750, proprio in Inghilterra prende il via la Rivoluzione industriale, che sconvolge radicalmente il sistema economico e sociale. Successivamente essa si propagherà anche negli altri paesi europei, fino a raggiungere gli Stati Uniti d'America.

L'entusiasmo per la risorsa "carbone", portò ad uno sfruttamento sempre più intensivo dei giacimenti soprattutto in Inghilterra, Russia, Germania e Francia. In questo periodo, infatti, la produzione mondiale di carbone passò da poco più di 10 milioni di tonnellate nel 1700, a circa 70 milioni di tonnellate nel 1850, a 800 milioni di tonnellate nel 1900. Fino al 1960 il carbone è stata la risorsa di energia fossile più utilizzata, subendo poi la concorrenza del petrolio, più facile da estrarre e trasportare.

L'importanza del carbone è però ancora rilevante come combustibile alternativo al petrolio. Le dimensioni delle sue riserve provate nel 2017 (ovvero le riserve attualmente conosciute e sfruttabili con profitto) a livello mondiale sono, infatti, notevoli: circa 1.035 miliardi di tonnellate di carbone rispetto ai 239,3 miliardi di tonnellate di petrolio.

Al ritmo attuale di consumo, (e in assenza di nuove scoperte o della messa in esercizio dei giacimenti attualmente non sfruttati in quanto troppo costosi) le riserve provate di carbone dureranno per circa altri 134 anni, un tempo più lungo rispetto a quello previsto per gli altri idrocarburi (57 anni per il gas naturale e 50 per il petrolio), ma pur sempre limitato (Fonte: *eni, World Oil & Gas Review 2017; BP Statistical Review of World Energy 2018*).

Dall'estrazione all'utilizzo

L'estrazione del carbone

L'insieme delle operazioni che portano a localizzare giacimenti carboniferi e a valutarne l'interesse minerario si definisce **prospezione mineraria**. Come nel caso del petrolio, si inizia dallo studio delle foto aeree per individuare zone geologicamente interessanti, fino allo studio di campioni di terreno da cui trarre informazioni più dettagliate. Una volta individuato un giacimento, la sua posizione e conformazione, si procede alla costruzione del cantiere-miniera. Se il carbone si trova a profondità non superiori ai 30 metri, viene estratto in **miniere a cielo aperto**, dove il giacimento è reso accessibile dopo l'eliminazione degli strati di suolo e roccia sovrastanti con l'aiuto di cariche esplosive. Per filoni di carbone a profondità maggiori di 30 metri, l'accesso al giacimento si ottiene scavando **miniere sotterranee**, formate da almeno due gallerie, per il passaggio di minatori e macchinari fino al giacimento. Nelle miniere a cielo aperto, il carbone viene estratto dopo essere stato liberato dalle rocce sovrastanti. Nel caso di miniere sotterranee, l'estrazione si esegue con due modi: quello "**dei pilastri abbandonati**" e quello "**delle lunghe fronti**". Il primo sistema consiste nell'estrarre carbone lasciandone però dei "pilastri" a sostegno del soffitto della miniera. Nel caso delle lunghe fronti, invece, si utilizza una serie di strutture di sostegno, dette "armature" che sono facilmente spostabili e sostengono il soffitto nell'area di escavazione. Man mano che l'estrazione procede, le armature vengono spostate e il soffitto frana. I due metodi differiscono per il dissesto del suolo che provocano. Infatti, all'asportazione del carbone, se la miniera non è sostenuta, segue un più o meno graduale abbassamento dei terreni sovrastanti. In aree soggette a vincoli ambientali, si preferisce, dunque, il metodo dei pilastri abbandonati. Altrove, quello delle lunghe fronti che, grazie a uno sfruttamento più intensivo della miniera, produce una quantità di carbone 4/5 volte superiore. Una volta estratto, il carbone viene trattato in modo da renderlo adatto alle esigenze commerciali. In particolare, viene macinato, vagliato per ottenere le pezzature richieste dal mercato e lavato per eliminare le impurità.

Il recupero delle miniere

Una miniera provoca impatti sulle acque superficiali e sotterranee, sul suolo, sull'utilizzo dei territori locali, sulla vegetazione e sulla fauna del luogo. Per ogni miniera deve essere realizzato un piano di recupero e riabilitazione che copre tutte le fasi di vita della miniera. Le attività di recupero devono essere progressive: rimodellazione della morfologia del territorio, ripristino della parte superficiale del suolo, ripiantumazione del sito interessato dall'attività estrattiva. Sia prima sia durante l'attività mineraria occorre occuparsi con attenzione della fauna selvatica, dei siti storici e di tutte le risorse che rivestono un certo valore per il territorio. Durante l'estrazione occorre adoperarsi per minimizzare la produzione delle polveri, dell'inquinamento acustico e la contaminazione delle acque.

Dopo l'esaurimento dell'attività estrattiva, si possono recuperare i pozzi rimasti per costruire serbatoi o per creare attività ricreative con l'utilizzo dell'acqua. Gli utilizzi che si possono fare del territorio recuperato sono svariati: agricoltura, silvicoltura, ricreazione, costruzione per industria o alloggio e habitat della fauna selvatica. Oggi l'industria carboniera è impegnata nella protezione dell'ambiente e la bonifica dei terreni è una parte integrante della maggior parte dei lavori minerari. Le aziende di estrazione di carbone stanno investendo molto (sia in competenze sia in risorse finanziarie) nel ripristino del territorio a una condizione paragonabile, o migliore, rispetto a quella esistente prima dell'attività di estrazione mineraria.

Trattamento e trasporto

L'utilizzo del carbone sul mercato richiede che questo possieda un'elevata **qualità e purezza**. Il carbone estratto dalla miniera contiene una miscela di frazioni di grandezza diversa, a volte contenenti rocce e terriccio. Dunque è necessario uno stadio di preparazione noto anche con il nome di "**beneficiation**" e il carbone grezzo è suddiviso in una serie di prodotti puliti, uniformi e classificati, pronti per la vendita. In alcuni casi il carbone grezzo possiede un'elevata qualità tale da soddisfare le richieste dei consumatori: dunque non è necessaria la "**beneficiation**" e il carbone può essere semplicemente frantumato e setacciato affinché si ottenga il prodotto specifico. Una buona preparazione del carbone

prima della sua combustione aumenta l'omogeneità e l'efficienza dell'utilizzo di tale combustibile, riduce i costi di trasporto e il suo spostamento all'interno dell'impianto produce meno polveri e fa diminuire le emissioni degli ossidi di zolfo. Una volta che il carbone è stato estratto, occorre anche trasportarlo dalla miniera agli impianti di utilizzo. Per brevi distanze ci si serve di camion, mentre il ricorso a treni, chiatte e navi è fondamentale se le distanze sono maggiori. Recentemente sono stati sperimentati **carbonodotti** nei quali il minerale fluisce per pompaggio dopo essere stato ridotto in polvere e mescolato con acqua. Vengono prese misure preventive ad ogni stadio durante il trasporto e lo stoccaggio per ridurre i potenziali impatti ambientali. Per esempio, lo scorrimento superficiale delle acque contaminate è limitato dal design appropriato delle attrezzature di immagazzinamento e tutte le acque utilizzate sono attentamente trattate prima del riuso o dello smaltimento. Le polveri possono essere controllate utilizzando spray d'acqua e compattando il carbone da immagazzinare. Sistemi di trasporto via mare o su strada possono poi essere usati per trasportare il carbone dai luoghi di stoccaggio agli impianti di combustione. Comunque più del 60% del carbone utilizzato per la generazione di energia è consumato a 50 chilometri dalla miniera di estrazione.

La centrale elettrica a carbone

Il percorso dell'energia in una centrale a carbone comincia dalla zona del **generatore di vapore** dove sono ubicati i bruciatori predisposti per la combustione dell'olio combustibile del carbone. Il generatore di vapore è essenzialmente composto da una fornace in cui vengono immessi aria e combustibile che, bruciando, scaldano e vaporizzano l'acqua che scorre nei tubi e nelle serpentine che formano il generatore stesso. Negli impianti moderni il carbone viene prima macinato in polvere finissima aumentando la velocità di combustione e poi insufflato nella camera di combustione del forno, dove viene bruciato a circa 1400 gradi centigradi. L'elevata temperatura dei gas di combustione determina la trasformazione in vapore dell'acqua contenuta nei tubi della caldaia. Il vapore, attraverso grosse tubazioni, raggiunge la **turbina** e la fa ruotare a 3000 giri al minuto. La turbina è una macchina che converte in energia meccanica l'energia cinetica di un fluido (liquido o gas) in movimento. Nel caso delle centrali a carbone il fluido in questione è vapore surriscaldato. L'elemento essenziale della turbina è il **rotore** costituito da una ruota con "palette". L'energia meccanica acquisita dal rotore viene poi trasmessa, tramite un asse, ad un generatore elettrico che prende il nome di **alternatore**. L'alternatore collegato alla turbina produce energia elettrica. I fumi, rilasciato il loro calore nel generatore di vapore, vengono inviati al camino dopo essere passati attraverso i denitrificatori, i captatori polveri e i desolfuratori per l'abbattimento rispettivamente degli ossidi di azoto, di polveri e del biossido di zolfo. Il vapore, dopo aver ceduto gran parte della sua energia alla turbina, viene convogliato al condensatore dove, senza mai venire a contatto, trasferisce il suo calore residuo all'acqua di mare prelevata con idonee pompe. Questo vapore si trasforma così in acqua che viene ricondotta con pompe al generatore di vapore per ripetere il ciclo. L'energia prodotta dall'alternatore viene innalzata di tensione a 380 chilovolt per essere immessa nella rete elettrica.

Ambiente e territorio

Limiti e vantaggi del carbone

In alcuni settori produttivi il carbone è ancora una risorsa energetica importante. Attualmente, infatti, il 39% dell'energia elettrica mondiale è prodotta bruciando questo combustibile. Il carbone, inoltre, ricopre un ruolo fondamentale nella produzione dell'acciaio. D'altra parte, le sue riserve sono ancora tali da non porre problemi d'esaurimento per i prossimi anni. Peraltro, l'utilizzo del carbone, così decisivo in passato per lo sviluppo industriale e il benessere delle nazioni europee, viene oggi messo in discussione a causa dell'alto livello d'inquinamento derivante dal suo utilizzo come combustibile.

La combustione del carbone genera, infatti, elevate quantità di anidride carbonica (CO₂), più di quanta ne producono petrolio e gas naturale. L'anidride carbonica è il gas maggiormente responsabile dell'effetto serra, cioè dell'innalzamento della temperatura della superficie terrestre. Tutti i combustibili fossili producono gas serra e il carbone contribuisce per poco meno del 20% all'aumento dell'effetto serra.

Altri gas inquinanti generati dalla combustione del carbone sono gli ossidi di azoto (NO_x) e gli ossidi di zolfo (SO_x) che,

combinandosi nell'atmosfera con il vapore acqueo, si trasformano in acido nitrico e solforico acidificando le piogge e danneggiando la vegetazione e le acque superficiali. ([Link piogge acide – inquinamento dell'aria](#))

Attualmente il 100% delle ceneri e dei gessi prodotti da carbone viene riciclato. Essi, infatti, trovano un facile riutilizzo nell'ambito della produzione del calcestruzzo, di cemento, della pavimentazione stradale e nella produzione di manufatti da impiegare nelle costruzioni.

Le tecnologie pulite per il carbone

Per consentire un utilizzo di questa risorsa energetica meno dannoso per l'ambiente, negli ultimi anni sono state perfezionate tecnologie che permettono di ridurre l'impatto ambientale di tutte le fasi del ciclo produttivo del carbone: dall'estrazione, al trattamento, fino alla combustione. Queste tecnologie riducono le emissioni, i rifiuti, e aumentano la quantità di energia ricavabile da ogni tonnellata di carbone. Le tecnologie pulite permettono di ridurre le emissioni di anidride carbonica (CO₂) di oltre il 30% per unità di energia elettrica prodotta.

Le tecniche di combustione "a letto fluido", ad esempio, consistono nel bruciare il carbone insieme a una miscela di sali che assorbono le ceneri e parte dei gas nocivi. In questo modo, si libera nell'atmosfera una minore quantità di gas inquinanti (ossidi d'azoto (NO_x), ossidi di zolfo (SO_x), anidride carbonica (CO₂)).

Risultati simili si possono ottenere con processi di gassificazione sotterranea che comportano l'iniezione nei giacimenti di aria e vapore acqueo fino a provocare la combustione parziale del carbone. In questo modo, arriva in superficie solo una miscela di gas combustibili privi di cenere che viene successivamente immessa nei tradizionali metanodotti.

Esistono poi dei sistemi ibridi che combinano le migliori caratteristiche delle tecnologie di gassificazione e combustione, utilizzando il carbone in un processo a due fasi. La prima fase consiste nella gassificazione della maggior parte del carbone, che produce il vapore che viene convogliato a una turbina. La seconda fase consiste nella combustione dei residui del carbone per produrre vapore. Con questa tecnica è possibile raggiungere un'efficienza maggiore del 50%. Inoltre si può applicare a qualsiasi sistema di generazione il co-firing che consiste nel bruciare insieme al carbone le biomasse e i rifiuti. I benefici di questa tecnica possono includere anche la riduzione delle emissioni di CO₂, SO_x, NO_x che si producono dalle centrali tradizionali a carbone. Inoltre in questo modo è possibile ottenere con una grande efficienza energia dalle biomasse e dai rifiuti senza dover costruire nuovi impianti appositi.

Dalla gassificazione del carbone si può anche ottenere idrogeno che può essere utilizzato per produrre energia (per esempio nelle celle a combustibile) "a emissioni zero".