SCHEDA

Trasformazioni di energia e impatto ambientale

La fonte più importante dalla quale oggi attingiamo per soddisfare i bisogni di energia è rappresentata dai *combustibili fossili*, veri e propri magazzini di energia chimica: il petrolio, il carbone e il gas naturale. Parliamo di combustibili perché questi materiali sono in grado di liberare grandi quantità di energia attraverso reazioni di combustione.

I giacimenti di combustibili fossili, nonostante le ricerche continuino in ogni parte del mondo, sono destinati prima o poi a esaurirsi; per esempio, è stato stimato che le riserve di petrolio si esauriranno nel giro di alcuni decenni. Per questo motivo i combustibili fossili sono un esempio di **fonti di energia non rinnovabili** o **esauribili**.

La natura ha impiegato milioni di anni per accumulare l'energia chimica nei combustibili fossili. Infatti questi materiali si sono formati in seguito alla lenta decomposizione di sostanze contenute negli organismi viventi, soprattutto vegetali, vissuti alcune centinaia di milioni di anni fa. La decomposizione di questi organismi, avvenuta in assenza di ossigeno, ha consentito di creare sostanze particolarmente ricche di energia chimica: l'energia che ricaviamo oggi dai combustibili fossili non è altro che l'energia di origine fotosintetica immagazzinata nelle piante milioni e milioni di anni fa. Per esempio, l'era geologica nella quale si è formata la maggior parte dei depositi di carbone è stata denominata appunto *Carbonifero* (360-290 milioni di anni fa). Possiamo quindi dire che la nostra vita «biologica» dipende dal Sole di oggi, ma gran parte dell'energia che usiamo per far fronte ai nostri bisogni quotidiani proviene dal Sole di ieri!

Come sappiamo, per utilizzare il contenuto di energia chimica dei combustibili fossili è necessario convertire questa energia in altre forme. Il modo più rapido è quello di bruciare i combustibili e ottenere così energia termica (figura 1). Purtroppo le reazioni di combustione di questi materiali hanno sempre creato anche molti problemi a causa del loro non trascurabile *impatto ambientale*. Questa espressione significa che i prodotti della reazione di combustione sono sostanze che hanno effetti negativi sull'equilibrio ambientale. E ancora oggi, nonostante i progressi della scienza e della tecnologia, questi problemi permangono, anzi, alcuni di essi si sono aggravati.

Consideriamo per esempio il gasolio, un combustibile ottenuto dalla lavorazione del petrolio; il gasolio è una miscela di idrocarburi utilizzata come carburante per molte automobili e autocarri e per alimentare impianti di riscaldamento e centrali termoelettriche. La combustione di uno dei tanti idrocarburi presenti nel gasolio può essere rappresentata con la seguente equazione:

$$C_{15}H_{32} + 23\,O_2 \rightarrow 15\,CO_2 + 16\,H_2O + q$$

Come si vede, per ogni molecola di idrocarburo che brucia si formano ben 15 molecole di anidride carbonica, una sostanza gassosa che, come sappiamo, contribuisce al cosiddetto *effetto serra* dell'atmosfera.

Il gasolio (e ancora di più il carbone) contiene anche piccole quantità di zolfo, perciò nei prodotti della combustione è presente anche l'anidride solforosa (SO_2). L'anidride solforosa può ossidarsi ad anidride solforica ed entrambi questi composti, a contatto con l'acqua presente nell'atmosfera, formano sostanze acide: acido solforoso e acido solforico.

Inoltre durante la combustione, a causa dell'elevata temperatura, avvengono la reazione di sintesi tra l'azoto e l'ossigeno presenti nell'aria e una successiva reazione di ossidazione:

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2\,NO \qquad 2\,NO + O_2 \rightarrow 2\,NO_2$$

▲ **Figura 1** Utilizzare il petrolio e i suoi derivati (benzina, gasolio, kerosene) solamente come combustibili è uno spreco imperdonabile; il petrolio è una materia prima preziosa per moltissime produzioni di manufatti sintetici come per esempio le materie plastiche.

I prodotti di queste ossidazioni, l'ossido e il diossido di azoto, sono talvolta indicati genericamente con la formula NO_x. Queste sostanze, oltre a essere tossiche e a provocare disturbi all'apparato respiratorio anche in basse concentrazioni, formano sostanze acide con l'acqua presente nell'atmosfera.

Gli ossidi di azoto e gli ossidi di zolfo sono dunque responsabili delle cosiddette *piogge acide*, i cui effetti corrosivi risultano particolarmente evidenti sulla vegetazione, sui manufatti di ferro e sui monumenti ed edifici di pietra calcarea.

Occorre ricordare che oggi carbone e derivati del petrolio vengono «desolforati», e ciò consente di ridurre sensibilmente le emissioni di SO_2. Maggiori difficoltà si riscontrano nell'eliminazione degli ossidi di azoto, che si producono sempre durante la combustione.

Preoccupano, inoltre, altri fattori inquinanti associati alla combustione dei materiali fossili. La combustione, infatti, ben difficilmente avviene in modo completo, cioè non si arriva mai a trasformare tutto il combustibile in acqua e diossido di carbonio. In particolare nei motori a scoppio la reazione di combustione avviene in modo esplosivo ed è quindi troppo rapida per poter arrivare a completarsi: tra i prodotti della reazione sono presenti quindi anche *ossido di carbonio* (sostanza tossica), gli idrocarburi che non hanno reagito completamente (i cosiddetti *incombusti*) e il *particolato*. Si tratta di materiali inquinanti che, diversamente da CO_2 e H_2O, possono provocare danni immediati per la salute, in particolare quella degli anziani e dei bambini.

L'ossido di carbonio è una sostanza tossica perché si può legare saldamente agli atomi di ferro dell'emoglobina riducendo la capacità del sangue di trasportare ossigeno.

Gli idrocarburi incombusti, combinandosi con gli ossidi di azoto, possono dare luogo allo *smog fotochimico*, un particolare inquinamento dell'aria che si produce nelle giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche di stabilità e di forte insolazione. I principali effetti sono una forte irritazione agli occhi e difficoltà nella respirazione.

Il particolato è costituito da minuscole particelle solide e liquide sospese nell'aria. Si tratta soprattutto di particelle carboniose impregnate di idrocarburi e di sottoprodotti della combustione (tra i quali il benzopirene), di acqua, di ruggine, di solfati e molte altre sostanze ancora (figura 2). Queste particelle sono classificate in base alla loro dimensione, che determina la loro pericolosità: più sono piccole più sono penetranti e quindi dannose. Esse vengono indicate con la sigla **PM** (*Particulate Matter*), seguita dal diametro massimo espresso in micrometri (μm) (tabella 1).

Oltre agli effetti negativi sull'ambiente, occorre sempre tener presente il problema di fondo, relativo al fatto che i combustibili fossili sono esauribili e non si possono ripristinare in tempi rapidi. Di conseguenza, per soddisfare il crescente fabbisogno mondiale di energia, le nazioni devono prendere con urgenza provvedimenti che vanno nel senso della ricerca di una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse, di una politica di risparmio energetico, dello sviluppo di una pluralità di fonti alternative. Occorre cioè immaginare e costruire un nuovo modello di sviluppo.

▲ **Figura 2** Il *particolato* è il principale componente degli sbuffi di fumo che si vedono uscire spesso dal tubo di scappamento dei veicoli. Questo accade soprattutto nella combustione del gasolio nei motori diesel.

Tabella 1 Dimensione delle particelle e loro pericolosità. In genere, più sono alte le temperature di combustione e più aumenta la frazione di particolato fine e ultrafine. Per questo motivo le maggiori emissioni di *polveri fini* e *ultrafini* provengono dagli scarichi dei veicoli, dalla combustione di carbone o legna, dai processi industriali e dalle combustioni di biomasse negli inceneritori.

Particolato grossolano	PM10	PM2,5 particolato fine	PM1 particolato ultrafine	Nanopolveri
È costituito da particelle sedimentabili di diametro superiore a 10 μm; non è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio.	È costituito da particelle di diametro uguale o inferiore a 10 μm; è una *polvere inalabile*, cioè in grado di penetrare nel naso e nella laringe.	È costituito da particelle di diametro uguale o inferiore a 2,5 μm; è una *polvere toracica*, cioè in grado di penetrare nei polmoni.	È costituito da particelle di diametro uguale o inferiore a 1 μm; è una *polvere respirabile*, cioè in grado di penetrare fino agli alveoli dei polmoni.	Sono costituite da particelle di diametro compreso fra 2 e 200 nm.