

$$\frac{31,2}{70,3} = 44,4\%$$

Poiché il volume teorico di aria per 1 kg di litantrace era di 8,16 Nm³ l'aria usata in eccesso è data da 8,16 · 0,444 = 3,62 Nm³, che sono ovviamente passati nei fumi. Bruciando 1 kg di litantrace otteniamo di conseguenza

CO ₂	1,53 Nm ³
H ₂ O	0,45 Nm ³
N ₂	6,46 Nm ³
Aria	3,62 Nm ³

Possiamo passare ora al calcolo della temperatura teorica di combustione. Cominciamo a calcolare il calore necessario per portare i fumi a 1500 °C:

$$Q_{1500} = 1,53 \cdot 847 + 0,45 \cdot 666 + 6,46 \cdot 520 + 3,62 \cdot 524 = 6.854$$

Per portare i fumi a 1600 °C:

$$Q_{1600} = 1,53 \cdot 910 + 0,45 \cdot 720 + 6,46 \cdot 558 + 3,62 \cdot 562 = 7.355$$

Per portare i fumi a 1700 °C:

$$Q_{1700} = 1,53 \cdot 974 + 0,45 \cdot 772 + 6,46 \cdot 597 + 3,62 \cdot 600 = 7.866$$

Tracciando un tratto del grafico che dà il calore necessario per riscaldare i fumi in funzione della temperatura da raggiungere e interpolando in corrispondenza al calore disponibile ($Q_i = 7.500$), otteniamo

$$T_c = 1628 \text{ °C}$$

temperatura alla quale i fenomeni di dissociazione possono ancora essere considerati in pratica trascurabili.

Capitolo Sesto

COMBUSTIBILI SOLIDI

La classificazione più razionale e logica dei combustibili è quella basata sul loro stato di aggregazione. In base a tale criterio abbiamo tre grandi gruppi: combustibili solidi - combustibili liquidi - combustibili gassosi. In seno ad ognuno di questi gruppi un'altra distinzione può essere fatta in combustibili naturali, che si trovano già preformati in natura, e combustibili artificiali, che derivano dai precedenti attraverso una serie di trasformazioni di natura fisica o chimica.

I combustibili solidi naturali sono rappresentati dal legno e dai suoi derivati: *torba*, *lignite*, *litantrace*, *antracite*. L'unico combustibile solido artificiale di interesse tecnico è oggi il *coke*.

L'importanza dei combustibili solidi è attualmente alquanto diminuita a causa degli svantaggi di natura tecnica ed economica che essi presentano nei riguardi dei liquidi e dei gassosi. In molti paesi tuttavia una notevole frazione dell'energia utilizzata per uso industriale o domestico è ottenuta a partire da combustibili solidi, frazione destinata ad aumentare a causa delle sempre maggiori difficoltà di reperimento dei combustibili liquidi e gassosi.

Il *legno* è ormai scarsissimamente usato come combustibile, sebbene conservi ancora notevole importanza come materiale da costruzione e come materia prima per l'industria chimica. Un cenno alle sue caratteristiche fondamentali non è però fuori luogo, poiché da esso hanno avuto origine tutti gli altri combustibili solidi.

Dal punto di vista chimico il legno è costituito essenzialmente da *cellulosa* e da *lignina*. La cellulosa è un polisaccaride di composizione corrispondente alla formula $(C_6H_{10}O_5)_n$, che deriva dalla condensazione di un numero assai elevato di molecole di glucosio. La lignina è una sostanza a struttura aromatica di composizione non esattamente definita, che probabilmente deriva da parziale disidratazione e ossidazione della cellulosa; ha un tenore di carbonio decisamente più elevato di quello della cellulosa. Accanto ai due costituenti fondamentali vi sono varie altre sostanze, quali gomme, resine, cere e composti inorganici vari.

Tutti i tipi di legno hanno praticamente la stessa composizione chimica, sul secco: C = 50 - 52%; H = 6 - 6,6%; O = 40 - 44%; N = 0,5 - 1%. Varia invece notevolmente la porosità, donde le forti differenze di densità apparente. Assai variabile è anche il contenuto di acqua che nel legno fresco può anche superare il 50%. Quando il legno è lasciato all'aria l'umidità diminuisce sino a ridursi ad un tenore del 15-20%, che può essere eliminato solo per riscaldamento a 100 - 110 °C. Risponendo all'aria di normale umidità il legno perfettamente secco questo riassorbe acqua sino a riportarsi a quel 15-20%, che corrisponde dunque ad un valore di equilibrio.

Il potere calorifico superiore del legno secco è di circa 4200 kcal/kg. A causa dell'umidità e dell'elevata percentuale di idrogeno il potere calorifico inferiore del legno stagionato all'aria si riduce a 2500 - 3000 kcal/kg. Contenendo già una notevole quantità di ossigeno il legno necessita di relativamente poca aria di combustione e la sua temperatura teorica di combustione in confronto a quella di altri combustibili solidi è meno bassa di ciò cui potrebbe far pensare il suo modesto potere calorifico.

I combustibili fossili solidi rappresentano tutti il risultato di più o meno profonde trasformazioni subite dai tessuti vegetali sottratti almeno in parte al contatto dell'aria e sottoposti ad elevate pressioni, ad aumento di temperatura e all'azione di funghi e batteri. Il processo, detto di *carbogenesi* o *carbonizzazione*, ha portato ad una graduale perdita di ossigeno, azoto ed idrogeno, con conseguente aumento del tenore di carbonio. In ordine crescente di alterazione subita si distinguono la torba, la lignite, il litantrace, l'antrace.

La *torba* è il prodotto di formazione più recente e si differenzia dagli altri anche per derivare dalla carbonizzazione di vegetali erbacei o lacustri e non da piante di alto fusto. La torba appena estratta presenta un contenuto di acqua estremamente elevato, che può arrivare sino all'80%; per essiccazione all'aria esso si riduce al 20-25%. È sempre mescolata con terriccio, per cui la percentuale di ceneri è in genere assai alta e può giungere in taluni casi sino al 50% sul secco. Nei casi migliori (20-25% di umidità, 8-10% di ceneri) il potere calorifico inferiore si aggira sulle 3500 kcal/kg. La torba è in definitiva un combustibile di assai scarso pregio e la sua utilizzazione nel campo industriale è oggi praticamente nulla.

La *lignite* è un materiale che ha subito una carbonizzazione più spinta della torba e a differenza di questa deriva da piante di alto fusto. Vi sono diverse qualità di lignite; dalle *xiloidi*, dove è ancora riconoscibile la struttura del legno che le ha generate, si passa sino alle *picee* e alle *bituminose*, molto più compatte e scure, che hanno già l'aspetto caratteristico dei litantraci.

La distinzione fra ligniti di questo tipo e litantraci può essere fatta basandosi su caratteristiche chimiche: in particolare i prodotti di distillazione secca delle ligniti hanno reazione acida per la presenza in essi di acido acetico, i pro-

dotti di distillazione dei litantraci hanno invece reazione basica per la presenza di ammoniaca.

Il potere calorifico delle ligniti è assai variabile, passando da 3500 a più di 6000 kcal/kg in funzione del tipo e delle percentuali di umidità e di ceneri; frequenti sono valori di Q_i attorno alle 4500 - 5000 kcal/kg.

Il *litantrace* è il carbon fossile inteso nel senso vero e proprio del termine. Duro e compatto, presenta in genere una percentuale molto bassa di umidità, dell'ordine del 2-3%, con un tenore di ceneri abbastanza piccolo, che di solito è sul 3-7% e solo raramente raggiunge valori più elevati. La composizione chimica, sul secco ed in assenza di ceneri, è compresa entro i seguenti limiti:

$$C = 75-92\%; H = 4-6\%; O = 3-12\%; N = 0,5-2\%; S = 0,3-1,5\%.$$

Sono state proposte diverse classificazioni dei litantraci; ricordiamo quella, abbastanza semplice, suggerita dal *Grüner*. Essa suddivide i litantraci in cinque grandi categorie in base a due proprietà fondamentali: il *potere cokificante* e il *tenore di sostanze volatili*.

Con il nome di *coke* si intende quella porzione del litantrace che rimane allo stato solido quando questo venga riscaldato per qualche tempo a 900 - 1000 °C fuori dal contatto dell'aria. Il termine sostanze volatili indica invece quella frazione che in seguito al riscaldamento viene eliminata sotto forma di composti gassosi.

Alcuni litantraci danno un coke compatto e coerente, di essi si dice che hanno un elevato potere cokificante e vengono definiti *litantraci grassi*; altri al contrario danno un coke pulverulento e incoerente: *litantraci magri* o a basso potere cokificante.

Tabella 6.1 - Classificazione dei litantraci secondo *Grüner*.

Litantrace	% Sostanze volatili	Aspetto del coke	Potere calorifico superiore kcal/kg
Magri a lunga fiamma	> 40	Incoerente	7800-8200
Grassi a lunga fiamma	32-40	Coerente molto poroso	8200-8800
Grassi propriamente detti	26-32	Coerente poroso	8700-8900
Grassi a corta fiamma	18-26	Coerente poco poroso	8700-9000
Magri a corta fiamma	10-18	Incoerente	8600-8900

La classificazione del Gruner riportata in tabella 6.1 divide i litantraci in cinque gruppi: *magri a lunga e corta fiamma*, *grassi a lunga e corta fiamma* e *grassi propriamente detti*. La lunghezza della fiamma è in relazione con il tenore delle sostanze volatili, le quali durante la combustione in parte distillano e poi bruciano, originando appunto a seconda della quantità fiamme più o meno lunghe.

I litantraci più pregiati sono i grassi a corta fiamma e i grassi propriamente detti, dai quali si può ricavare un coke relativamente poco poroso e dotato di elevata resistenza meccanica alla compressione. Esso trova largo impiego nella produzione della ghisa a partire dai minerali di ferro e viene perciò chiamato *coke siderurgico*.

L'antracite costituisce il termine estremo del processo di carbonizzazione del legno (se si esclude naturalmente la grafite, che però non è più un combustibile) e può essere considerato un litantrace magro a cortissima fiamma. Il tenore di sostanze volatili è ridotto a poche unità percento. La combustione non dà quasi origine a fiamma e presenta difficoltà ad innescarsi. L'antracite è poco usata nell'industria, mentre trova ancora applicazione nel riscaldamento domestico.

Di un carbone interessa conoscere l'analisi elementare in quanto, come abbiamo visto, questo dato è indispensabile per l'impostazione dei calcoli relativi al controllo della combustione. Una valutazione tecnologica più immediata delle caratteristiche del carbone anche a fini commerciali e di classificazione è ottenuta invece attraverso la determinazione del potere calorifico, dell'umidità, delle sostanze volatili, del carbonio fisso e delle ceneri. Anche insieme delle quattro ultime determinazioni si dà appunto il nome di *analisi immediata*.

Determinazione dell'umidità. Si esegue ponendo una quantità pesata di carbone polverizzato in stufa a 105 °C sino a costanza di peso. L'operazione viene di solito condotta in aria, ma per carboni particolarmente reattivi è bene però operare in ambiente di gas inerte o anidride carbonica, perché già intorno ai 100 °C potrebbero avvenire reazioni di ossidazione, con conseguente aumento di peso che maschererebbe, almeno in parte, la perdita dovuta all'eliminazione dell'acqua.

Determinazione della percentuale di sostanze volatili. Il principio consiste nel riscaldare per qualche tempo il carbone a 900-1000 °C in un ambiente dove sia nullamente limitato l'accesso dell'aria per non avere luogo la combustione e nel determinare la conseguente perdita di peso. Per avere risultati con-

stantabili bisogna operare in condizioni ben determinate, che sono fissate dalle norme. In Italia è opportuno fare riferimento a quelle stabilite nel regolamento di esecuzione della legge contro l'inquinamento atmosferico, secondo le quali 10 g di combustibile contenuti in un crogiolo di platino chiuso da un coperchio sigillato al centro vengono mantenuti per sette minuti prima di un forno elettrico a $50 \pm 20^\circ\text{C}$ (*).

Determinazione delle ceneri. Il crogiolo contenente il carbone al cui già si è proceduto alla determinazione delle sostanze volatili viene nuovamente riscaldato, aperto, in ambiente ossidante sino a che tutto il carbonio brucia e rimangono solo le sostanze inorganiche e incombustibili, che costituiscono appunto le ceneri.

Determinazione del carbonio fisso. Si dà questo nome a quella parte del carbonio che nel riscaldamento fuori contatto con l'aria non si trasforma in composti gassosi. La sua percentuale viene stabilita per differenza sottraendo dalla percentuale del coke quella delle ceneri.

Utilizzando i dati dell'analisi immediata è possibile calcolare il valore approssimato del potere calorifico superiore di un carbone mediante la cosiddetta *formula di Goutal*

$$Q_s = 81C + aV$$

dove C è la percentuale di carbonio fisso, V la percentuale di sostanze volatili ed a un coefficiente variabile in seconda della percentuale di sostanze volatili $V' = 100 V/(V+C)$ riferita al carbone puro, cioè privo di umidità e di ceneri. I valori assunti da a in funzione di V' sono riportati in tabella 6.2.

Tabella 6.2 - Valore del coefficiente a nella formula di Goutal.

V'	a	V'	a
5	145	25	103
10	130	30	98
15	117	35	94
20	109		

(*) Il residuo solido che rimane nel crogiolo costituisce il coke, formato dall'insieme delle ceneri e del cosiddetto carbonio fisso.

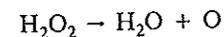
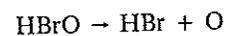
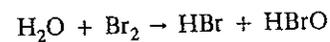
I valori di Q_s calcolati mediante la formula di Goutal rappresentano solo dati indicativi, il valore vero può essere ottenuto solamente con una misura diretta mediante la bomba di Mahler.

Definizione dello zolfo. Altro dato importante per la valutazione del combustibile è la percentuale di zolfo. Questo elemento può essere contenuto nel carbone sotto diverse forme: zolfo libero, zolfo organico, zolfo da solfuri e disolfuri (generalmente pirite FeS_2), zolfo da solfati ($CaSO_4$ anidride solforata).

Nella combustione tre forme lo zolfo può partecipare ai processi di combustione trasformandosi in SO_2 e, almeno in parte, anche in SO_3 (zolfo combustibile). Lo zolfo sotto forma di solfati possiede invece già il suo grado di ossidazione massimo e non può ossidarsi ulteriormente (zolfo incombustibile).

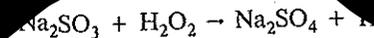
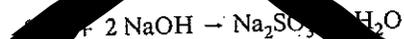
Dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico e dell'erosione delle parti metalliche con cui vengono a contatto i fumi è ovviamente assai più pericoloso lo zolfo combustibile. Per altre applicazioni, ad esempio nel caso di un litantrace che debba essere trasformato in coke siderurgico, è più dannoso lo zolfo incombustibile, poiché, insieme del resto a una parte dello zolfo da solfuri, passa quasi integralmente nel coke e di qui può essere parzialmente trasferito alla ghisa e poi all'acciaio, peggiorandone notevolmente le caratteristiche meccaniche. Interessa dunque conoscere separatamente le due specie di zolfo, anche se ai fini pratici la differenza non è così grande come potrebbe sembrare in teoria. In ambiente riducente in acqua e una temperatura si realizza sicuramente durante le operazioni di cokizzazione talvolta localmente anche nel corso di una combustione, il solfato di calcio può essere ridotto a solfito $CaSO_3$, che a caldo si decompone a sua volta in $CaO + SO_2$, con conseguente passaggio di una parte dello zolfo incombustibile nei fumi o nei prodotti gassosi di distillazione.

Lo zolfo totale si determina con il cosiddetto **metodo di Eschka**. Una piccola quantità di carbone finemente polverizzato viene mescolato con 2-3 volte il suo peso di una miscela costituita da due parti di H_2O ed una parte di Na_2CO_3 (*miscela di Eschka*). Il tutto è coperto ancora da un altro strato di miscela di Eschka, viene posto in un crogiolo e riscaldato per qualche ora a circa $800^\circ C$. In queste condizioni il ossido di magnesio e il carbonato di sodio reagiscono con i vari composti dello zolfo contenuto nel carbone, dando origine a solfuri, solfiti, solfati e tiosolfati di sodio e magnesio, composti tutti facilmente solubili in acqua. Terminato il riscaldamento, il contenuto del crogiolo viene lisciviato in acqua calda. I sali sopra nominati passano tutti in soluzione insieme al carbonato di sodio rimasto inalterato. Si filtra e si aggiunge un ossidante, ad esempio acqua ossigenata.



Tutti i composti contenenti zolfo vengono così trasformati in solfiti. A questo punto si acidifica la soluzione con acido cloridrico e si aggiunge un po' di soluzione di nitrato di bario. Gli ioni Ba^{++} e gli ioni SO_4^{--} reagiscono fra loro per dare $BaSO_4$, che è insolubile. Questo viene raccolto e pesato e dal suo quantitativo si risale a quello dello zolfo presente originariamente nel combustibile.

Lo zolfo combustibile può essere dosato eseguendo la combustione del carbone in una bomba di Mahler, sul fondo della quale si è posta un po' di acqua resa basica per l'aggiunta di $NaOH$ e di Na_2CO_3 e addizionata di un ossidante. In queste condizioni l'anidride solforosa originatasi nella combustione si scioglie in acqua dando solfito di sodio, il quale viene immediatamente ossidato a solfato.



Si filtra la bomba, si filtra dalle ceneri del carbone e sul filtrato si determina lo zolfo per precipitazione come solfato di bario.

Lo zolfo incombustibile si ottiene infine per differenza fra lo zolfo totale e quello combustibile.

Coke - Distillazione dei litantraci.

I litantraci grassi non vengono mai utilizzati come tali, ma sono sottoposti a un processo di distillazione a secco, consistente in un riscaldamento a temperatura elevata ($\sim 1000^\circ C$) fuori dal contatto dell'aria. In queste condizioni il litantrace si decompone lasciando un residuo solido, il coke, e mettendo in libertà un certo quantitativo di sostanze gassose, una parte delle quali condensa durante il raffreddamento dando origine al *catrame* di carbon fossile; la frazione che rimane allo stato gassoso anche a temperatura ambiente costituisce un gas combustibile che, opportunamente purificato, viene largamente utilizzato specie per scopi domestici (*gas illuminante* o, più propriamente, *gas di città*).

La distillazione del litantrace può avere di conseguenza due obiettivi fondamentali differenti, l'ottenimento del coke, oppure l'ottenimento dei prodotti di distillazione: gas di città e catrame. A seconda del prevalere dell'uno o dell'altro di questi obiettivi risultano diversi sia i prodotti di partenza, sia le modalità del processo. Quando interessa soprattutto il coke si parte infatti da li-

tantraci a corta fiamma, cioè a basso tenore di sostanze volatili, e si opera a temperature più elevate (1100-1200°C), nel caso contrario si parte da litantraci a lunga fiamma e si opera a temperature più basse (950-1000°C).

Notiamo che però oggigiorno mentre ancora elevatissima, anzi vieppiù crescente, è la richiesta di coke di buone caratteristiche meccaniche (resistenza alla compressione) da utilizzarsi nell'industria metallurgica, scarsa importanza, quanto meno nel nostro paese, riveste la produzione del catrame e del gas di distillazione. Con lo svilupparsi della petrolchimica il catrame non costituisce più infatti come un tempo la principale fonte di composti organici aromatici (benzene e derivati), mentre per quanto riguarda il gas di città la tendenza attuale è, come vedremo, quella di ottenerlo per gassificazione di derivati petroliferi o di impiegare direttamente gas naturale. Ci occuperemo di conseguenza solo della distillazione dei litantraci che ha come scopo fondamentale la produzione di coke siderurgico.

L'operazione è condotta in grandi forni costituiti da una serie di alcune decine di camere aventi ciascuna lunghezza di circa 12 metri, altezza di 4-4,5 metri e 35-45 cm di larghezza. Le camere sono costruite in materiale refrattario, generalmente mattoni silicei che a una buona stabilità sotto carico accoppiano una notevole resistenza all'abrasione. Nell'intercapedine fra una camera e l'altra sono ricavati dei canali di combustione nei quali si fa bruciare una parte del gas prodotto, utilizzando come comburente aria preriscaldata con i prodotti della combustione stessa in camere di ricupero poste immediatamente al disotto di quelle di distillazione. Il litantrace da distillare viene introdotto dall'alto attraverso una serie di aperture di carico. Le due pareti anteriore e posteriore di ogni camera sono chiuse da porte in lamiera di acciaio rivestite internamente di refrattario.

La temperatura della carica aumenta gradualmente nel tempo a cominciare dalla zona più vicina alle pareti. Data la scarsa conduttività termica sia del litantrace che del coke il processo è piuttosto lento e per una cokizzazione completa si richiedono dalle 12 alle 20 ore. In fig. 6.1 è indicata la variazione di temperatura all'interno di una camera di normali dimensioni in funzione del tempo trascorso dal momento della carica.

Con l'aumento della temperatura il litantrace dapprima perde l'umidità assorbita, poi verso i 300-400 °C subisce un rammollimento a causa della fusione di una parte dei suoi costituenti, per poi ritornare rigido intorno ai 500 °C. Contemporaneamente al rammollimento iniziano i fenomeni di decomposizione termica in coke e prodotti gassosi, che proseguono poi gradualmente sino a completarsi verso i 1000 °C. Nelle ultime fasi del riscaldamento si ha una parziale decomposizione degli idrocarburi sviluppati anteriormente, con formazione di idrocarburi più semplici, idrogeno e carbonio grafítico che si deposita sul coke in formazione, diminuendone la porosità e aumentandone così la resistenza alla compressione. I gas prodotti escono da aperture praticate nella volta alle due estremità della camera.

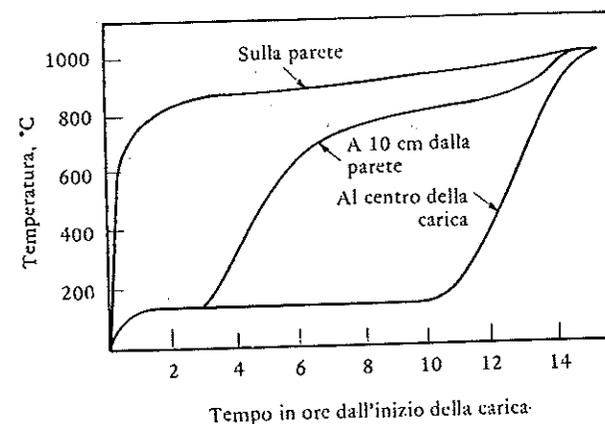


Fig. 6.1 - Andamento della temperatura nell'interno di una camera di distillazione del litantrace.

Al termine delle operazioni di cokizzazione le porte vengono aperte e dal fondo viene introdotto un pistone che spinge in fuori il coke rovente e lo fa cadere su un carrello di acciaio, dal quale è subito trasportato ad una torre di estinzione dove viene raffreddato sottoponendolo ad una violenta pioggia d'acqua.

Da una tonnellata di litantrace si ottengono in media: 0,75-0,80 tonnellate di coke; 250-300 Nm³ di gas; 60-70 kg di acque ammoniacali e 35-40 kg di catrame. Le caratteristiche medie del coke prodotto sono riportate in tabella 6.3.

Tabella 6.3 - Caratteristiche del coke siderurgico.

Carbonio fisso	86-92%
Umidità	2-3%
Ceneri	5-10%
Sostanze volatili	0,5-1%
Potere calorifico superiore	6800-7300 kcal/kg

Il consumo di calore è di circa 500-550 kcal per kg di carbone trattato. Esso è per la maggior parte rappresentato dal calore sensibile dei prodotti ottenuti (~ 80%) e da perdite per irraggiamento e convezione (~ 20%); il processo di carbonizzazione vero e proprio sembra invece essere leggermente esotermico.

Circa il 35% del gas prodotto viene consumato per riscaldare le camere di

distillazione, il rimanente viene distribuito, anche fuori della cokeria, come gas combustibile. Prima di immettere il gas di distillazione al consumo bisogna provvedere ad allontanare una serie di sostanze in esso contenute, in parte perché prodotti di valore, in parte perché potrebbero originare inconvenienti di varia natura nella distribuzione e nella combustione. Queste sostanze, oltre che dal catrame, sono rappresentate da *ammoniaca, solfuro di idrogeno, acido cianidrico, benzene* ed omologhi, *naftalina* ed omologhi.

L'ammoniaca NH_3 deve essere allontanata perché nel corso della combustione potrebbe trasformarsi almeno in parte in NO e successivamente in NO_2 ed acido nitrico, con conseguente inquinamento atmosferico e corrosione dei materiali metallici da parte dei fumi. Per ragioni analoghe (formazione di SO_2 , SO_3 ed acido solforico) deve essere eliminato il solfuro di idrogeno. L'acido cianidrico nel caso di combustione incompleta potrebbe rendere i fumi velenosi, mentre per ossidazione più spinta potrebbe originare anch'esso ossidi d'azoto. La naftalina, sostanza solida a temperatura ambiente anche se dotata di notevole tensione di vapore, può condensarsi nelle zone più fredde delle tubazioni di distribuzione, con graduale diminuzione della sezione e conseguenti forti perdite di carico. Il benzene ed i suoi omologhi non darebbero origine per la verità a inconvenienti di rilievo, salvo quello di rendere la fiamma un po' fuliginosa, ma vengono recuperati per il loro valore intrinseco, trovando larga utilizzazione come solventi o come materia prima per l'industria chimica.

La composizione media del gas purificato, sul secco, è la seguente:

Idrogeno	50 - 55%
Metano	28 - 30%
Ossido di carbonio	4 - 8%
Idrocarburi insaturi	3 - 4%
Anidride carbonica	1 - 3%
Azoto	1 - 2%
Potere calorifico superiore	5200 - 5500 kcal/Nm ³

Qualora lo si voglia utilizzare come gas di città, il gas di distillazione del liantrace viene diluito con altri combustibili gassosi di minor pregio, quali gas d'acqua e gas d'aria, sino a portare il potere calorifico superiore a circa 4000 kcal/Nm³.

Capitolo Settimo

COMBUSTIBILI LIQUIDI

Composizione chimica del petrolio.

Se si esclude l'impiego di piccole quantità di prodotti ottenuti per fermentazione o per sintesi, quali gli alcoli etilico e metilico, i combustibili liquidi sono oggi nella quasi totalità costituiti da derivati del petrolio.

L'origine del petrolio è stata in passato oggetto di notevole controversia. Oggi è opinione comune che esso sia di origine organica e derivi dalla alterazione di grossi ammassi di corpi di animali marini mescolati a piccole quantità di detriti vegetali.

Dal punto di vista della composizione chimica il petrolio è costituito essenzialmente da idrocarburi, uniti a composti ossigenati, solforati e azotati, a composti metallo organici e a sostanze di natura assai complessa e a tutt'oggi non ben definita, cui viene dato il nome di composti asfalcici.

L'analisi elementare varia entro limiti piuttosto ristretti almeno per quanto riguarda i due costituenti fondamentali: carbonio e idrogeno.

Carbonio	83 - 87%
Idrogeno	11 - 12%
Zolfo	0,05 - 8%
Ossigeno	0,05 - 3%
Azoto	0,05 - 1%

Gli idrocarburi rappresentano il costituente fondamentale del petrolio. In alcuni grezzi della Pennsylvania la loro percentuale arriva al 97-98% in peso. A seconda del tipo di idrocarburi prevalenti i petroli vengono suddivisi in *paraffinici, aromatici e naftenici*. Gli idrocarburi insaturi sono quasi del tutto assenti.

Con il termine paraffine si intendono gli idrocarburi a legami semplici e catena aperta corrispondenti alla formula generale $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ (alcani). Nei petroli