

Fisica  
Tecnologia  
Applicazioni

---

Massimiliano Virdis



# Indice

---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Licenza e Copyright . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Le tecniche di illuminazione</b>	<b>3</b>
2.1	Il corpo nero . . . . .	3
2.2	Spettro di emissione . . . . .	4
2.3	Grandezze fotometriche . . . . .	4
2.4	Fiamma libera . . . . .	5
2.5	Lampada a gas . . . . .	5
2.6	Lampada a incandescenza . . . . .	5
2.7	Lampada alogena . . . . .	6
2.8	Lampada a scarica . . . . .	7
2.9	Lampada a fluorescenza . . . . .	8
2.10	Lampada a LED . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Le tecniche di riscaldamento</b>	<b>11</b>
3.1	Caminetto . . . . .	11
3.2	Stufa a legna . . . . .	11
3.3	Stufa catalitica a gas . . . . .	11
3.4	Stufa elettrica . . . . .	12
3.5	Pompa di calore . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Tecniche diagnostiche in medicina</b>	<b>15</b>
4.1	Radiografia a raggi X . . . . .	15
4.2	TAC . . . . .	15
4.3	PET . . . . .	15
4.4	Scintigrafia . . . . .	15
4.5	Risonanza magnetica nucleare . . . . .	16
4.6	Ecografia . . . . .	16

<b>5</b>	<b>La fisica dell'automobile</b>	<b>17</b>
5.1	La ruota . . . . .	17
5.2	Il motore . . . . .	17
5.2.1	Motori a combustione esterna . . . . .	18
5.2.2	Motori a combustione interna . . . . .	19
5.2.3	ciclo Otto . . . . .	19
5.2.4	ciclo Diesel . . . . .	19
5.2.5	ciclo Atkinson . . . . .	19
5.3	I freni . . . . .	19
<b>6</b>	<b>Telecomunicazioni</b>	<b>21</b>
6.1	Il telegrafo . . . . .	21
6.2	Il telefono . . . . .	22
6.3	Il telegrafo senza fili . . . . .	22
6.4	La radio . . . . .	22
6.5	La televisione . . . . .	22
6.6	Il radiotelefono . . . . .	22
<b>7</b>	<b>Computer</b>	<b>23</b>
7.1	schermi . . . . .	23
7.1.1	Schermo touch screen . . . . .	23
<b>8</b>	<b>Navigare</b>	<b>25</b>
8.1	Galleggiamento . . . . .	25
8.2	Propulsione . . . . .	26
8.2.1	Remi . . . . .	26
8.2.2	Vela . . . . .	26
8.2.3	Elica . . . . .	26
8.2.4	Idrogetto . . . . .	26
8.3	Sommergibili e sottomarini . . . . .	26
<b>9</b>	<b>Volare</b>	<b>29</b>
9.1	L'aquilone . . . . .	29
9.2	L'aereo . . . . .	29
9.3	L'elicottero . . . . .	29
<b>10</b>	<b>Lo spazio</b>	<b>31</b>
10.1	I missili . . . . .	31
10.2	I satelliti . . . . .	31

<b>11 La rete elettrica</b>	<b>33</b>
11.1 Dinamo . . . . .	33
11.2 Alternatore . . . . .	34
11.3 Trasformatore . . . . .	34
<b>12 Appendici</b>	<b>35</b>
12.1 Unità di misura fondamentali del Sistema Internazionale . . . . .	35
12.2 Costanti fisiche fondamentali . . . . .	36
12.3 Multipli e sottomultipli . . . . .	37
12.4 Pianeti sistema solare . . . . .	37



Caro lettore,

L'interesse per la fisica è fortemente motivato dalla sua rilevanza nella vita quotidiana, per le sue applicazioni e per essere alla base della maggior parte della tecnologia. Abbiamo sempre avuto grande interesse a capire come funzionano gli oggetti che ci circondano. Da questo desiderio e dalla convinzione che esso sia condiviso dalla maggior parte dei giovani ho tratto la motivazione per scrivere questo piccolo documento. In esso ho cercato di analizzare gli oggetti più comuni o noti facendo riferimento alle leggi della fisica che si possono studiare a scuola.

Spero che quanto riportato in quest'opera sia se non di aiuto almeno non dannoso. Per migliorare quanto scritto e evidenziare qualsiasi errore non esitate a scrivermi.

*email: prof.virdis@tiscali.it*

## 1.1 Licenza e Copyright

**Questo file e documento viene concesso con licenza Creative Commons. CC BY-NC-ND.**

- Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.
- Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.
- Non puoi alterare o trasformare quest'opera, né usarla per crearne un'altra.



δωρεῖν ἄλβετε, δωρεῖν δότε (Mt. 7.8)





# 2

## Le tecniche di illuminazione

---

Uno dei modi più antichi di produrre illuminazione è quello di usare una fiamma libera. La fiamma è l'evidenza luminosa di un processo chimico in corso, nel quale si producono gas a temperatura elevata. Le molecole del gas hanno un'energia abbastanza elevata da rilasciarla sotto forma di luce.

Perché un oggetto a temperatura abbastanza elevata diventa luminoso? Ce lo spiega il modello detto "corpo nero".

La luce emessa da un gas caldo si comporta come un corpo nero?

Cerchiamo qui di seguito di rispondere a queste due domande.

### 2.1 Il corpo nero

Il corpo nero [21] [4] è un modello ideale di corpo. Tre sono le sue caratteristiche principali.

1. È un perfetto emettitore: è l'oggetto che per una data temperatura e lunghezza d'onda emette la maggiore energia radiante.
2. È un perfetto assorbitore: assorbe tutta la radiazione elettromagnetica che lo colpisce.
3. Emette isotropicamente, cioè in un'uguale maniera in tutte le direzioni.

Questo modello fu introdotto da Kirchhoff nel 1860 per interpretare le righe spettrali che si osservavano nella luce del Sole. Esso descrive molto bene il comportamento di oggetti come il Sole o il filamento incandescente di una lampadina ad incandescenza.

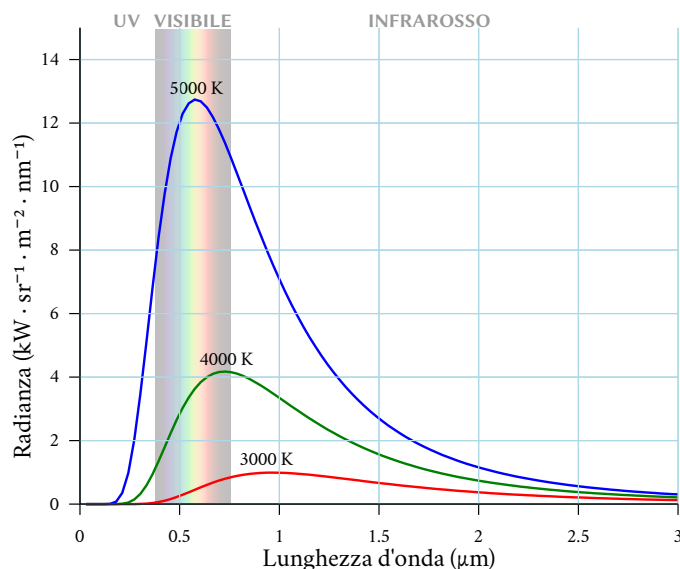
La potenza radiante  $P$  emessa da un corpo nero è legata alla sua temperatura dalla legge di Stephan-Boltzmann:

$$P = e\sigma AT^4 \quad (2.1)$$

- $e$  (emissività) è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1: il suo valore è 1 per il corpo nero e inferiore per i cosiddetti corpi grigi;
- $\sigma$  è la costante di Stephan-Boltzmann;
- $A$  è la superficie esterna del corpo;
- $T$  è la temperatura in Kelvin del corpo.

## 2.2 Spettro di emissione

Un corpo nero, in condizioni di equilibrio, emette radiazioni elettromagnetiche con una curva caratteristica che dipende dalla temperatura. Queste radiazioni vengono emesse su tutto lo spettro, cioè su tutte le frequenze, con un unico picco di emissione. Per un corpo a temperatura ambiente il picco è nell'infrarosso; per temperature intorno ai 6000 K (la temperatura superficiale del Sole) il picco è nel visibile, come osservabile nel grafico successivo.



La legge che esprime il legame tra l'intensità della radiazione emessa in un certo intervallo di frequenze e la temperatura è stata ricavata da Max Planck nel 1900 a partire da quello che è considerato il primo modello fisico basato su concetti di fisica quantistica. In particolare la relazione che segue ci fornisce la cosiddetta *radianza spettrale*: essa, integrata tra due valori di lunghezza d'onda, fornisce l'energia complessivamente emessa per unità di area e tempo.

$$R(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad (2.2)$$

La legge di Planck, integrata su tutte le lunghezze d'onda, prendendo quindi in considerazione tutte le radiazioni emesse dal corpo, si riconduce alla legge di Stephan-Boltzmann.

Se invece di avere un corpo solido o un gas ad alta pressione, abbiamo un gas a bassa pressione allora il modello del corpo nero non è più applicabile. L'emissione avviene su frequenze specifiche che dipendono dagli stati eccitati raggiunti dagli elettroni degli atomi del gas. Si osserva quella che si chiama emissione a righe. Ogni gas ha le sue righe spettrali specifiche.

## 2.3 Grandezze fotometriche

Nel confrontare i vari tipi di sorgenti luminose utilizzate per l'illuminazione è necessario far riferimento a delle grandezze che ci indichino quanto luce possiamo ottenere a partire da una certa energia e la qualità della luce emessa.

Una prima grandezza è il *flusso luminoso* [11] che misura la misura percepita della luce e che viene ormai sempre indicata tra le caratteristiche delle lampadine; viene misurato in lumen.

Un'altra grandezza è l'*efficienza luminosa* [9] che esprime il rapporto tra il flusso luminoso e la potenza radiante ovvero il flusso radiante; viene misurato in lumen/watt. Mentre nel flusso luminoso viene inserita solo l'emissione di luce visibile invece nel flusso radiante viene considerata qualsiasi emissione elettromagnetica, come ad esempio i raggi ultravioletti e infrarossi che non sono percepibili dall'occhio.

## 2.4 Fiamma libera

La fiamma è un gas parzialmente ionizzato. In prima approssimazione il gas della fiamma può essere pensato come un corpo nero. Dal momento che la temperatura di una fiamma libera è compresa normalmente tra 500 °C e 1500 °C, la radiazione emessa dalla fiamma sarà in grandissima parte solo nell'infrarosso e pochissimo nel visibile: la fiamma è quindi un modo estremamente inefficiente per produrre luce. L'efficienza luminosa di una candela è circa 0,3 lumen/watt.

## 2.5 Lampada a gas

Se un gas viene riscaldato emette radiazione elettromagnetica. Questo lo abbiamo già ricordato nelle righe precedenti. Le lampade a gas usate sia nell'illuminazione pubblica che in casa prima dell'avvento dell'elettricità emettevano luce come una fiamma libera. L'emissione aveva una parte molto consistente sotto forma di calore e nei mesi estivi costituiva un gran problema; inoltre il pericolo di incendi era sempre in agguato. L'efficienza luminosa è circa 2 lumen/watt, già molto migliore delle candele.

Le lampade a gas da campeggio invece non funzionano secondo questo solo principio. In esse il gas brucia e inonda completamente una reticella. Questa reticella, fino a pochi anni fa realizzata anche con materiali radiativi, contribuisce essa stessa all'emissione luminosa favorendo l'emissione luminosa a discapito di quella infrarossa e aumentando di conseguenza l'efficienza generale del processo.

## 2.6 Lampada a incandescenza

La lampada ad incandescenza [18] segue il modello del corpo nero. Il filamento di queste lampade è solitamente fatto di tungsteno, un metallo che fonde a circa 3800 K. Il filamento è tenuto a circa 2700 K, una temperatura di compromesso tra l'esigenza di massima emissione di luce e il fatto che, pur rimanendo sotto la temperatura di fusione, all'aumentare della temperatura il metallo evapora via via più velocemente, diminuendo la durata della lampada. Alla temperatura indicata l'energia irradiata dal filamento è quasi completamente sotto forma di calore: solo il 5% dell'emissione avviene nel visibile. Una parte dell'emissione avviene nell'ultravioletto, tuttavia il bulbo delle lampade è fatto di vetro che è trasparente solo al visibile.

Il filamento delle lampadine si scalda per effetto Joule quando viene attraversato da corrente elettrica. La potenza dissipata, se il filamento segue la legge di Ohm, vale:

$$P = Ri^2 = \frac{V^2}{R} \quad (2.3)$$

Solitamente la differenza di potenziale  $V$  ai capi del filamento è costante (ad esempio la tensione della rete elettrica). La resistenza invece varia con la temperatura: più piccola a bassa temperatura, più alta ad alta temperatura. Di conseguenza, appena la lampadina viene accesa, si ha un picco di emissione: più bassa la resistenza più alta la potenza. La temperatura del filamento sale velocemente e si stabilizza in pochi secondi o meno. L'efficienza luminosa, per una lampadina con filamento in tungsteno da circa 100 W, è circa 14 lumen/watt; tende ad aumentare per potenze maggiori e a diminuire per quelle inferiori. Per questo motivo illuminava meglio un lampadario con un'unica grande lampadina che non uno con tante piccole lampadine dalla stessa potenza complessiva.

Si incominciarono a realizzare delle lampadine già agli inizi dell'800. Per quanto riguarda le lampadine ad incandescenza ricordiamo in particolare Joseph Wilson Swan che realizzò un primo modello funzionante già nel 1860. Edison venne a sapere di questi studi e registrò nel 1879, dopo una lunga serie di studi alla ricerca di un materiale adatto al filamento, un nuovo brevetto. Non è stato quindi lui ad inventare né la lampadina, né quella ad incandescenza: altri hanno realizzato lampadine funzionanti negli anni precedenti, ma la loro durata era solo di poche decine di ore. Lo stesso brevetto di Edison si presenta come un perfezionamento tecnico dell'invenzione di Swan. Comunque, la notizia delle ricerche di Edison si diffuse in tutto il mondo. Tuttavia passarono ancora alcuni anni prima che si potesse commercializzarla, dal momento che il prototipo realizzato aveva ancora una durata troppo limitata e una luce troppo fioca.

In Italia, Alessandro Cruto [1], proprio in quegli anni, era riuscito a realizzare dei filamenti di grafite purissima: sembravano i candidati ideali per la realizzazione di filamenti di lampadina, invece dei filamenti di bambù carbonizzato utilizzati da Edison. Presentò la sua idea e la realizzò all'università di Torino, ottenendo una lampadina funzionante il 4 marzo 1880, cinque mesi dopo Edison. Pochi anni dopo, la lampadina di Cruto, decisamente migliore di quella di Edison, ottenne un rilevante successo internazionale che gli consentì di avviare una produzione industriale che si protrasse per alcuni decenni.

Sempre in Italia Arturo Malignani [2] si distinse per le sue innovazioni tecniche nella produzione delle lampadine, in particolare per il brevetto registrato nel 1894, riguardante la tecnica per realizzare il vuoto nel bulbo della lampadina, tecnica usata ancora oggi e utilizzata con grande soddisfazione dallo stesso Edison.

Una innovazione tecnica realmente realizzata da Edison, e tuttora usata, è lo standard relativo alla filettatura delle lampadine: le lampadine utilizzate in Italia hanno solitamente un attacco detto E27.

## 2.7 Lampada alogena

Le lampadine alogene sono una variante di quelle ad incandescenza. In esse il filamento incandescente è portato a temperature maggiori. In questa maniera aumenta la percentuale di emissione luminosa emessa rispetto al resto dello spettro di emissione. L'efficienza luminosa, rispetto alle analoghe lampadine al tungsteno, aumenta almeno del 50 %. Tuttavia si hanno due conseguenze. La prima è che il filamento evapora molto più velocemente. La seconda è che, oltre ad aumentare l'emissione luminosa, aumenta anche quella ultravioletta.

Per risolvere il primo problema si è pensato di riempire il bulbo delle lampadine con dei gas alogeni (da cui il nome della lampada). I gas permettono di realizzare un ciclo continuo

di evaporazione e ricondensazione. Il risultato finale è che il filamento non si consuma più velocemente di quanto non faccia con le lampadine non alogene.

Per quanto riguarda il secondo problema c'è da dire che, a causa della maggiore temperatura del filamento, il bulbo viene realizzato in quarzo e non in vetro. Il quarzo è però trasparente agli ultravioletti e l'intensità degli ultravioletti emessi è tutt'altro che trascurabile: il rischio di causare danni alla pelle e persino melanomi, per una esposizione continuata a questo tipo di lampada, è reale. Per anni questo aspetto è stato del tutto trascurato. Attualmente i bulbi vengono realizzati in quarzo, ma mischiato con materiali opachi agli ultravioletti. Si consiglia comunque di proteggere le lampadine con delle lastre di vetro anche per il rischio di ustioni qualora di toccassero i bulbi mentre le lampadine sono accese. Ultimamente (2018) la commercializzazione delle lampadine ad incandescenza e di gran parte di quelle alogene è stata vietata.

## 2.8 Lampada a scarica

I gas sono normalmente degli isolanti. Gli elettroni più esterni di ogni atomo, proprio perché gli atomi sono isolati gli uni dagli altri, non possono essere trasferiti da un atomo ad un altro. Inoltre gli atomi o molecole che lo costituiscono sono neutri e non c'è possibilità di avere una conduzione di cariche neanche col movimento degli stessi atomi.

Quando applichiamo una differenza di potenziale tra due punti dello spazio creiamo anche un campo elettrico. Se il campo è applicato al gas, i singoli atomi possono essere sottoposti a un campo elettrico tale da strappare qualche elettrone all'atomo, ionizzandolo. In questo modo gli ioni diventano portatori di carica e sono accelerati dalla presenza del campo elettrico. Quando questo processo inizia procede molto velocemente col creare un gran numero di ioni. Questi ioni raggiungono alte velocità e finiscono con l'urtare con gli altri atomi del gas. Gli urti contribuiscono a creare un numero sempre maggiore di molecole ad alta velocità e quindi temperatura. Si crea allora la scintilla. La sua luminosità è dovuta all'emissione di luce per le alte temperature raggiunte.

Il processo precedente è fortemente tumultuoso e instabile: esso avviene se la pressione del gas è simile a quella atmosferica o superiore. Se invece la pressione è sufficientemente bassa si crea la cosiddetta "scarica a bagliore": in essa il processo, se si stabilisce ad esempio in un tubo chiuso, può essere del tutto stabile. Se la pressione è ancora più bassa non avviene più il processo di scarica. Nelle lampade a scarica si cerca di ottenere le condizioni per la scarica a bagliore.

Un tipo di lampada in cui si stabilisce tale processo è la tradizionale insegna luminosa costituita da lunghi tubi. Il gas è a bassa pressione; la differenza di potenziale che si applica ai suoi estremi è dell'ordine dei 1000 V; la scarica fluisce quasi istantaneamente e con essa l'emissione luminosa: questo permette di realizzare insegne lampeggianti. Il tipo di gas utilizzato determina il colore dell'emissione luminosa: se si usa il neon la luce emessa è rossa.

Nel caso delle lampade stradali ai vapori di sodio (si riconoscono per la caratteristica luce gialla) e quelle ai vapori di mercurio (luce bianco azzurra) la pressione è più alta e i vapori devono scaldarsi per alcuni minuti. La prima scarica si innesca dopo diversi secondi dall'innesco della differenza di potenziale.

## 2.9 Lampada a fluorescenza

La lampada a fluorescenza è realizzata a partire da una lampada a scarica. Sebbene si usi chiamarle lampade al neon in realtà in esse sono quasi sempre presenti solo vapori di mercurio e argo. L'emissione luminosa non è immediata come nelle insegne luminose: la differenza di potenziale è solamente di qualche decina di volt. La scarica emessa non è continua, infatti la corrente di alimentazione ha un andamento sinusoidale. Per ogni semionda o semionda positiva si crea una scarica e conseguentemente un'emissione luminosa.

I vapori di mercurio non emettono solo luce, ma anche raggi ultravioletti. Per non sprecarli si riempie l'interno del tubo a gas di materiale fluorescente che trasforma i raggi ultravioletti in luce: in questo modo aumenta l'efficienza energetica del processo. Le lampadine a basso consumo che si usano in casa e i tubi che si usano prevalentemente nei locali pubblici e commerciali funzionano in questo stesso modo. L'unica differenza sostanziale è che gli usuali tubi lineari seguono la frequenza della corrente di rete. Emettono quindi 50 o 100 lampi al secondo: questo rende la loro luce un po' fastidiosa alla vista. Le lampadine di uso domestico hanno invece un circuito elettronico che le alimenta a frequenze più alte: in questa maniera aumenta il confort visivo, ma anche l'efficienza energetica.

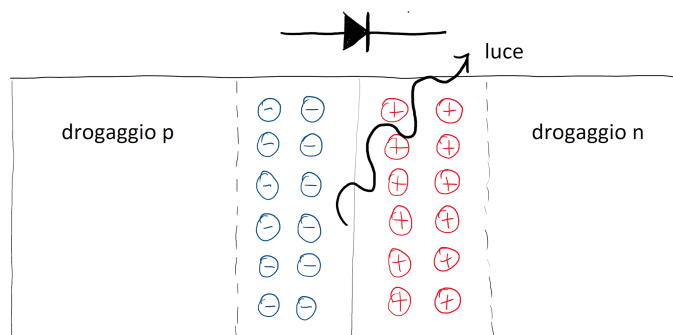
Negli anni settanta e ottanta ci si è posti il problema se i raggi ultravioletti prodotti in queste lampade potessero essere pericolosi per la salute. Queste lampade hanno sempre un tubo di vetro che è opaco agli ultravioletti; inoltre il materiale fluorescente ne trasforma gran parte in luce; non di meno una parte viene trasmessa all'esterno. Si è calcolato che l'esposizione per una giornata ad una di queste lampadine ci può esporre alla stessa dose di ultravioletti che riceveremmo stando per cinque minuti al sole. Il rischio è considerato trascurabile.

## 2.10 Lampada a LED

I LED sono diodi ad emissione di luce, acronimo di Light Emitting Diode [19]. Fin dagli inizi del '900 si realizzarono dispositivi in grado di produrre luce per fotoluminescenza, ma senza rilevanza pratica o commerciale. I primi dispositivi analoghi al LED vennero realizzati negli anni '50, ma emettevano solo infrarossi. Per avere il primo dispositivo in grado di emettere luce dobbiamo arrivare al 1962 quando Nick Holonyak Jr. per primo ne realizzò uno.

I primi LED emettevano solo luce rossastra; dobbiamo aspettare gli anni '70 per avere i primi LED blu e quindi la possibilità di realizzare anche LED a luce bianca combinando dispositivi con colori diversi.

I LED sono un particolare diodo a stato solido realizzato su una giunzione p-n. Si parte con un materiale semiconduttore, ovvero con caratteristiche intermedie tra conduttori e isolanti, come il silicio. Questo materiale può essere contaminato con pochissimi atomi di un altro materiale (meno di un atomo su un miliardo): se il materiale tende a creare delle *lacune* di elettroni (ovvero dei punti di carica positiva rispetto alla zona circostante) allora si chiama di tipo **P**; se il materiale tende a creare delle zone con eccesso di elettroni (ovvero dei punti di carica negativa rispetto alla zona circostante) allora si chiama di tipo **N**. L'accostamento di due strati **P** e **N** ci dà la giunzione p-n. Nella zona di contatto tra i due materiali le lacune e gli elettroni tendono a diffondere nello strato confinante. Questo oggetto si comporta come un diodo perché tende a far passare i portatori di carica preferibilmente in un verso della giunzione piuttosto che l'altro.



Se il diodo è sottoposto ad una differenza di potenziale tale da abbattere la differenza di potenziale che si crea naturalmente nella giunzione si può avere ricombinazione di lacune con elettroni con conseguente emissione di luce. Questa luce rimarrebbe intrappolata nel diodo stesso se non fosse che la giunzione è estremamente sottile. Anche la geometria del diodo viene attentamente studiata per realizzare LED con la più alta efficienza possibile.





# 3

## Le tecniche di riscaldamento

---

### 3.1 Caminetto

Il modo più semplice per riscaldare un'abitazione è quello di fare bruciare della legna in uno spazio apposito. Questo spazio era solitamente il centro della casa, per terra, senza nessuna struttura, in un luogo senza copertura. Questa soluzione permetteva di riscaldare tutta la casa, sia pur con scarsa efficienza e con il rischio che le fiamme non protette del fuoco si propagassero alle strutture della casa.

Solamente alla fine del medioevo venne inventato il caminetto [7]. Il caminetto o camino è una struttura parzialmente chiusa in cui un lato è sempre aperto. La struttura è sovrastata da una canna fumaria. La canna convoglia i fumi della combustione che avviene nella camera di combustione alla base del camino.

L'efficienza energetica del camino è piuttosto bassa: circa il 15%. Gran parte del calore che viene dalla combustione finisce nei fumi e con questi nella canna fumaria e poi fuori dall'abitazione. Tuttavia aumentano le prestazioni rispetto al fuoco libero e soprattutto aumenta la sicurezza.

### 3.2 Stufa a legna

Alla fine del '700 progredisce la tecnologia metallurgica. Si riescono a realizzare delle camere di combustione per camino totalmente chiuse (tranne ovviamente la canna fumaria) [25]. Nasce così la stufa, con i primi prototipi già a fine '500. Il vantaggio sul camino è il fatto che tutte le pareti della stufa possono trasmettere calore all'ambiente circostante. Inoltre la combustione avviene in un ambiente molto più controllato. La legna o carbone possono essere bruciate più lentamente lasciando molti meno residui sotto forma di cenere. Ciò nonostante la stufa è uno strumento potenzialmente pericoloso in grado di rilasciare quantità rilevanti di polveri sottili nell'ambiente in cui vengono utilizzate. L'efficienza complessiva può arrivare al 80%. La trasmissione del calore avviene sia per conduzione che per irraggiamento.

### 3.3 Stufa catalitica a gas

Il gas può essere bruciato direttamente all'aria, come avviene in un fornello a gas in cucina. Tuttavia questo sistema produce una fiamma che contiene molti inquinanti sia per la difficoltà di regolare il corretto rapporto tra ossigeno dell'aria e combustibile, sia per le elevate temperature che coinvolgono anche l'azoto presente nell'aria. Nelle stufe catalitiche [26] il gas viene

posto in contatto con un pannello catalizzatore costituito da una griglia silicea e porosa nella quale è inglobato un metallo che funge da catalizzatore: la combustione, a causa dell'azione catalizzatrice della griglia, avviene a temperature più basse e in condizioni molto più controllate. Le emissioni sono costituite quasi esclusivamente da anidride carbonica e vapore acqueo. Il rendimento, rispetto all'uso della fiamma libera, è migliore: infatti il riscaldamento avviene non semplicemente scaldando l'aria con la fiamma, ma con l'irraggiamento della griglia per il calore che in essa si accumula durante la combustione.

### 3.4 Stufa elettrica

La stufa elettrica è un oggetto dalla fisica essenziale. Il fenomeno fisico sfruttato è l'*effetto Joule*: un conduttore sottoposto ad una differenza di potenziale  $V$  e attraversato da una corrente elettrica  $i$  si scalda. La potenza dissipata istante per istante è:

$$P = Vi \quad (3.1)$$

La stufetta elettrica non fa altro che trasformare energia elettrica in calore. Il processo ha un'efficienza praticamente del 100%. Da questo punto di vista non esiste possibilità di avere stufe più o meno efficienti, a meno di utilizzare qualche fenomeno fisico diverso. L'unica differenza tra i vari modelli esistenti è nel modo in cui il calore è trasferito.

Nelle cosiddette stufe a termoventilatore l'elemento riscaldato si trova a temperature tali da non emettere luce: il riscaldamento avviene integralmente scaldando l'aria circostante la stufa.

In altre stufe ha invece una parte consistente l'irraggiamento diretto. Tra queste troviamo le stufe alogene: gli elementi radianti sono delle lampade alogene che, oltre che ad emettere calore, emettono luce e sono quindi molto suggestive. Abbiamo le stufe al quarzo: sono esteticamente molto simili alle prime, ma gli elementi radianti sono fatti di quarzo. Ci sono poi le stufe dette ad infrarossi: al contrario delle precedenti trasmettono il calore soprattutto per irraggiamento con un limitato riscaldamento dell'aria circostante. In questa maniera riescono a scaldare meglio la persona che vi si trova davanti.

### 3.5 Pompa di calore

La pompa di calore è un dispositivo che, tramite lavoro, trasferisce calore da una sorgente più fredda a una più calda. Il processo inverso (trasferire calore da un corpo più caldo ad uno più freddo) è un processo assolutamente spontaneo che avviene senza l'utilizzo di lavoro. Macchine termiche e pompe di calore sono le due facce di una stessa medaglia.

Idealmente vorremmo usare pochissimo o nessun lavoro per realizzare il trasferimento di calore: questo non è permesso da un fondamentale principio.

**Secondo principio della termodinamica** nella formulazione di Clausius: *è impossibile una trasformazione ciclica il cui unico risultato sia il trasferimento di calore da un corpo più freddo ad uno più caldo senza l'apporto di lavoro esterno.* [13]

L'usuale pompa di calore che possiamo avere in casa (compreso il frigorifero) funziona comprimendo e facendo espandere del gas. Nei primi decenni del '900 si usava ammoniacca. Poi vennero inventate delle sostanze inerti e non tossiche come i clorofluorocarburi. Negli anni '80 si è scoperto che questi ultimi gas, se rilasciati nell'atmosfera, contribuivano grandemente

all'assottigliamento dello strato di ozono presente nell'atmosfera che ci protegge dai raggi ultravioletti del sole. I CFC sono stati messi al bando e ora usiamo dei gas del tutto sicuri.

Se comprimiamo un gas diminuendone il volume, aumenterà la pressione e la temperatura. Facciamo passare questo gas caldo attraverso uno scambiatore di calore (una serpentina) posto nell'ambiente al quale vogliamo trasferire calore. Il gas si raffredderà diminuendo di pressione. A questo punto il gas più freddo viene fatto espandere e la sua temperatura diminuirà. Lo facciamo passare attraverso un altro scambiatore di calore posto nell'ambiente da cui vogliamo assorbire calore e la sua temperatura aumenterà nuovamente. Il ciclo viene ripetuto più volte. In tutto questo processo dovremo compiere del lavoro almeno per comprimere il gas.

Volendo quantificare la resa di una pompa di calore e il suo vantaggio, in termini energetici, su altri sistemi di riscaldamento possiamo usare la grandezza detta COP (coefficient of performance) coefficiente di prestazioni: il COP esprime il rapporto tra il calore fornito dalla pompa e il lavoro spesso per ottenerlo. Attualmente il valore di questa grandezza per le pompe di calore in commercio ha un valore compreso tra 3 e 5. Questo significa che se l'apparecchio assorbe un kW/h di energia elettrica per funzionare (lavoro speso) fornirà dai 3 ai 5 kW/h di energia termica, ovvero dalle 3 alle 5 volte meglio di una stufetta elettrica tradizionale. Il COP dipende da diversi fattori, tra cui la temperatura esterna dell'ambiente in cui si trova ad operare: più fa freddo e più il COP diminuisce. In pratica la pompa di calore, nella variante più semplice, può operare nel migliore dei modi nei climi temperati [15].



# 4

## Tecniche diagnostiche in medicina

---

### 4.1 Radiografia a raggi X

L'invenzione della radiografia a raggi X può essere associata alla scoperta stessa dei raggi X. Fu infatti Röntgen che nel 1895 si accorse della natura di questi raggi osservando in trasparenza le ossa della sua mano. Stava studiando la natura dei raggi catodici quando si accorse che su una lastra di platinocianuro di bario si creava una debolissima luminescenza. La prima ipotesi poteva essere di associare questo fenomeno ai raggi catodici, ma una breve indagine lo convinse che si stava trovando di fronte a una nuova tipologia di raggi.

Lo strumento[8] ancor oggi usato per la produzione dei raggi x è basato sul tubo catodico. In un'ampolla sotto vuoto un filamento metallico incandescente (il catodo) libera elettroni per effetto termoionico che vengono attirati e accelerati da un anodo, tenuto ad una potenziale  $V$  rispetto al catodo: le differenze di potenziale utilizzate vanno dal alcune decine a centinaia di KV. Gli elettroni così accelerati vengono intercettati da una lastra metallica. Nell'urto con la piastra metallica producono prevalentemente il riscaldamento della stessa, ma se l'energia cinetica degli elettroni è abbastanza grande, una piccola parte dell'energia (l'1%) si libera sotto forma di raggi x. Questi raggi x sono attenuati o per bremsstrahlung (radiazione di frenamento) o per radiazione caratteristica.

Sensori di raggi x.

### 4.2 TAC

Sensori di raggi x a stato solido.

### 4.3 PET

Decadimenti radiativi. Ciclotroni.

### 4.4 Scintigrafia

Decadimenti radiativi.

## 4.5 Risonanza magnetica nucleare

La risonanza magnetica nucleare è una tecnica di indagine della materia sviluppata dagli anni '60. Negli anni '70 si è sviluppata abbastanza da permetterle di ricavare immagini (quasi in tempo reale) del corpo umano per uso diagnostico. L'idea fondamentale è quella di far "risuonare" gli atomi di un particolare elemento chimico con un'onda radio dopo averli allineati con un forte campo magnetico. Il tintinnio che si può sentire è a sua volta un'onda radio.

Il congegno fondamentale (e la parte più costosa) presente in questi apparecchi è un generatore di campo magnetico statico. L'intensità di questo campo è fondamentale per ottenere immagini quanto più dettagliate. In generale è possibile utilizzare dei magneti permanenti realizzati con materiali ferromagnetici. Tuttavia, per ottenere campi di pochi decimi di Tesla, si dovrebbero costruire magneti con una massa di cento tonnellate.

Campo magnetico di un solenoide. Effetto Joule. Superconduttori.

## 4.6 Ecografia

Gli ultrasuoni.

## 5.1 La ruota

In origine fu la ruota. Per quanto elementare essa possa sembrare le prime testimonianze storiche sono state individuate presso i Sumeri, ma si ritiene che l'invenzione possa risalire a 5000 anni prima di Cristo [10]. Possiamo anche osservare che le prime testimonianze storiche relative all'uso dei metalli risalgono solo a mille anni prima. Possiamo definire la ruota come un oggetto circolare in grado di ruotare rispetto ad un asse centrale. Uno dei suoi primi usi è stato come sostegno dei carri. Cosa chiediamo ad una ruota?

## 5.2 Il motore

I motori delle attuali automobili e moto sono motori a combustione interna o motori elettrici. I primi sono a tutti gli effetti delle macchine termiche.

Una *macchina termica* trasferisce calore da una sorgente più calda ad una più fredda trasformando parte del calore in lavoro meccanico. Questo processo avviene ciclicamente: il sistema dopo aver compiuto il processo di trasferimento torna nel suo stato iniziale e un nuovo processo può avvenire. L'ambiente invece è cambiato, ma quando si studia la macchina termica si suppone, per semplicità, che sia rimasto praticamente immutato.

Il principio fondamentale che una macchina termica deve seguire è il **primo principio della termodinamica**. Supponiamo di avere una porzione di universo chiamata sistema e supponiamo di cedere o assorbire calore  $Q$  da essa. Il sistema è dotato di una certa energia interna  $U$ : essa è la somma dell'energia cinetica dei suoi componenti (riferiti al centro di massa) e della loro energia potenziale. Il sistema può compiere lavoro  $L$  sull'ambiente esterno (che è quello che si cerca per un motore) o viceversa. Se il sistema compie una trasformazione tra due stati di equilibrio l'energia interna subisce una variazione  $\Delta U$  legata al calore scambiato e al lavoro compiuto secondo la seguente relazione:

$$\Delta U = Q - L \tag{5.1}$$

questa relazione esprime il primo principio della termodinamica.

Il primo principio è detto anche *principio di conservazione dell'energia* perché, se abbiamo un sistema isolato (cioè che non può scambiare né calore né lavoro con l'ambiente esterno), allora l'energia interna non può variare.

Abbiamo scritto che la macchina termica opera ciclicamente: questo vuole dire che il sistema, dopo avere compiuto un qualsivoglia tipo di trasformazione, ritorna nello stesso stato di partenza. L'energia interna, essendo una variabile di stato, assume sempre lo stesso valore per un dato stato: la sua variazione in un ciclo deve essere nulla. Di conseguenza il lavoro compiuto deve essere uguale al calore assorbito. Secondo il primo principio una macchina termica può trasformare tutto il calore assorbito da un'unica sorgente in lavoro.

Prima ancora di arrivare alla piena comprensione del primo principio erano già state sviluppate le idee alla base del secondo principio della termodinamica. Ricordiamo in particolare il lavoro di Sadi Carnot "Réflexions sur la puissance motrice du feu" (Riflessione sulla potenza motrice del fuoco), scritto nel 1824. Carnot era interessato a comprendere quale fosse il modo migliore per realizzare una macchina a vapore e fino a che limiti si potesse arrivare nella loro efficienza. Chiamiamo rendimento  $\eta$  di una macchina termica il rapporto tra il lavoro compiuto  $L$  e il calore assorbito  $Q_c$  da una sorgente calda:

$$\eta = \frac{L}{Q_c} \quad (5.2)$$

Carnot comprese che questo rendimento non dipendeva semplicemente dalla temperatura della sorgente calda, come si riteneva allora, ma dalla differenza con una seconda necessaria sorgente fredda. Concepì una trasformazione reversibile ideale, detta *ciclo di Carnot*, e dimostrò che qualsiasi macchina termica operante reversibilmente non poteva avere un rendimento maggiore di quello di questa macchina:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad (5.3)$$

dove  $T_f$  e  $T_c$  sono rispettivamente la temperatura della sorgente fredda e di quella calda. Se la macchina non opera reversibilmente il rendimento deve essere inferiore.

Il primo principio consente che una macchina termica possa trasformare tutto il calore assorbito in lavoro e il suo rendimento sia uguale a 1; Carnot dimostrò che ciò non è mai possibile, neanche idealmente, a meno di non avere una sorgente fredda posta a 0 K. In pratica, per le temperature a cui lavora normalmente un motore termico, il rendimento è quasi sempre inferiore al 50%.

Le idee di Carnot sono confluite nel **secondo principio della termodinamica** nella formulazione di Kelvin-Planck: *È impossibile una trasformazione ciclica il cui unico risultato sia la sottrazione di calore ad una sorgente a temperatura  $T$  e la conversione completa di questa energia termica in lavoro meccanico.* [13]

Prima ancora di raggiungere questo livello di comprensione generale diversi erano stati i tentativi di realizzare una macchina termica per realizzare lavoro. Distinguiamo allora tra motori a combustione esterna e combustione interna.

### 5.2.1 Motori a combustione esterna

La macchina a combustione esterna è quella in cui il fluido oggetto di trasformazione è scaldato all'esterno della macchina. Il più classico motore termico a combustione esterna è la macchina a vapore, ma lo è anche un reattore nucleare.

Esempi di motori di questo tipo ci provengono già dall'antichità: Erone di Alessandria, nel I secolo d.C., costruì alcuni spettacolari dispositivi azionati dal vapore tra cui la cosiddetta *eulipila*, una specie di sfera ruotante azionata da sbuffi di vapore. Citiamo poi Denis Papin,



inventore della pentola a pressione: alla fine del 1600 studiò per primo la possibilità di usare un pistone mobile azionato da un fluido per la produzione di lavoro meccanico.

Un primo motore con pistoni azionato dal vapore fu quello di Newcomen che trovò applicazione come pompa dell'acqua nelle miniere. Intorno al 1770 James Watt perfezionò la macchina di Newcomen con diverse innovazioni tecniche che ne aumentarono significativamente il rendimento.

### **5.2.2 Motori a combustione interna**

#### **5.2.3 ciclo Otto**

Il ciclo Otto è una trasformazione termodinamica ideale in cui un gas perfetto è sottoposto alle seguenti trasformazioni:

1. Una compressione adiabatica
2. Una trasformazione a volume costante
3. Una espansione adiabatica
4. Una trasformazione a volume costante

#### **5.2.4 ciclo Diesel**

#### **5.2.5 ciclo Atkinson**

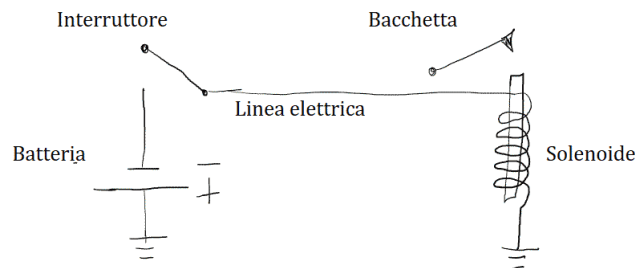
### **5.3 I freni**



## 6.1 Il telegrafo

Il telegrafo è un sistema di comunicazioni dati a distanza realizzato mediante opportuni codici. Il mezzo trasmissivo utilizzato può essere di vari tipi: corrente in un filo, onde elettromagnetica in aria, segnali ottici. Uno dei primi ad essere utilizzato ed a essere ampiamente diffuso fu il telegrafo ottico dei fratelli Chappe il quale utilizzava una grande asta mobile visibile a chilometri di distanza per trasmettere un semplice codice alfanumerico. Questo sistema si diffuse ampiamente in Francia dalla fine del '700 alla prima metà dell'800.

La tipologia di telegrafo che ebbe e continua ad avere la maggiore diffusione è stata quella elettrica su cavi conduttori. La sua invenzione è tradizionalmente associata ad un pittore e inventore americano: Samuel Morse. La realtà storica degli eventi è in realtà molto più articolata[6]. Intorno agli anni '30 dell'ottocento in Europa e America diversi inventori realizzarono un telegrafo: tra questi Cooke e Wheatstone in Inghilterra, con un significativo successo commerciale, Henry negli Stati Uniti e Gauss in Germania, che non ne intravidero una prospettiva commerciale o di ampia diffusione. Morse tentò anch'egli di realizzare un apparecchio, senza particolare successo; chiederà aiuto a Joseph Henry, uno dei più importanti fisici americani, allora all'Università del New Jersey. Morse ebbe l'intuizione di realizzare un sistema completo di telegrafia e di propugnarne la diffusione: nel 1837 registrerà un primo brevetto, ma solo con l'appoggio finanziario del governo degli Stati Uniti riuscirà nel 1844 a metter su la prima linea telegrafica tra Washington e Baltimora, divenendo nei decenni successivi uno degli uomini più ricchi d'America. Un merito specifico di Morse è il codice che da lui prende il nome.



Il telegrafo su filo può essere pensato come un semplice circuito RL costituito da una batteria o alimentatore e un solenoide che, quando attraversato da corrente, produce un campo magnetico che aziona un'opportuna bacchetta in grado di produrre o un ticchettio ben udibile o di tracciare una striscia più o meno lunga su un nastro di carta. I limiti di applicabilità sono legati in particolare all'attenuazione della corrente con l'aumentare della lunghezza del filo a causa della

resistenza dello stesso. Infatti, per la prima legge di Ohm,  $I = V/R$  e se diminuisce l'intensità di corrente diminuisce anche la capacità del solenoide di produrre un campo magnetico e quindi di muovere la bacchetta ad essa legata. Osserviamo che fino agli inizi del '900 non esistevano amplificatori e quindi per trasmettere un segnale ricevibile a grande distanza bisognava usare almeno una elevata tensione e potenza.

## 6.2 Il telefono

Per anni la paternità dell'invenzione del telefono è stata contesa tra diverse persone. Attualmente i più sono concordi nell'attribuire questa invenzione all'italiano Antonio Meucci. In realtà le ultime testimonianze storiche consentono di attribuire la paternità dell'invenzione a Innocenzo Manzetti. Il Manzetti fu un scienziato ed inventore che operò intorno alla metà dell'ottocento principalmente ad Aosta. Nel 1864 realizzò il primo "telegrafo vocale". La sua invenzione venne presentata alla stampa l'anno dopo e se ne ebbe notizia in tutto il mondo.

Certamente colui che invece realizzò il primo grande business con i telefoni fu Graham Bell.

## 6.3 Il telegrafo senza fili

L'idea delle onde elettromagnetiche fu proposta da James Clerk Maxwell nel 1864 nell'opera "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field" [22], ma la prima evidenza sperimentale della loro esistenza fu data da Heinrich Hertz [12] intorno al 1888. L'apparato sperimentale di Hertz era costituito da un generatore di correnti oscillanti ad alta frequenza con il quale si potevano produrre delle scintille: possiamo osservarne qui di seguito uno schema. In esso compare un rocchetto di Ruhmkorff come generatore di segnali ad alta frequenza e un coppia di fili lunga un metro come trasmettitore. Il ricevitore era costituito da un semplice anello conduttore con una piccola interruzione.

Questo apparato emetteva uno spettro di segnali centrato intorno ai 50 MHz, quelle che oggi chiameremo onde corte. Con questo segnale Hertz riuscì ad evidenziare la natura ondulatoria del segnale in particolare dimostrando la polarizzazione e la rifrazione dell'onda prodotta.

Propagazione delle onde elettromagnetiche. Marconi. Il circuito RCL.

## 6.4 La radio

La modulazione delle onde radio. Il circuito supereterodina.

## 6.5 La televisione

Il tubo catodico.

## 6.6 Il radiotelefono

## 7.1 schermi

### 7.1.1 Schermo touch screen

Per interagire attraverso il tocco delle mani o con apposito stilo con lo schermo di un computer si sono sviluppate dagli anni '50 diverse tecnologie.

#### **Penna ottica**

La prima realizzazione di una penna ottica venne compiuta al MIT nel 1955 [20]. Negli anni '60 l'IBM dotò alcuni dei suoi computer con questo strumento di interazione. La penna ottica è una penna dalla punta dotata di un sensore luminoso: quanto viene poggiato su uno schermo CRT riesce a determinare in quale punto è stata appoggiata. Negli schermi CRT ogni pixel è acceso uno di seguito all'altro, con una precisa temporizzazione. Il singolo pixel viene acceso solo in un preciso istante: solo in quell'istante verrà visto dalla penna ottica. Abbiamo quindi la possibilità di ricavare quale punto è stato visto dall'istante in cui viene visto. Questo sistema, piuttosto intuitivo, aveva lo svantaggio che la penna doveva essere tenuta ferma e sollevata sullo schermo con non poco affaticamento del braccio.

#### **Schermo resistivo**

[27]

#### **Schermo capacitivo**

Negli schermi capacitivi la superficie dello schermo, sotto una lastra di vetro, è ricoperta da una matrice di condensatori carichi. Quando si tocca la superficie con un oggetto conduttore e sufficientemente esteso da poggiare su almeno due condensatori vicini allora si chiude un circuito; nel circuito circola corrente che viene opportunamente localizzata attraverso il reticolo di collegamenti che interconnettono i condensatori posti nella matrice.



Partiamo da una breve indicazione terminologica. In italiano, soprattutto dal punto di vista legale, non c'è un termine generico per indicare tutte le strutture mobili che galleggiano in acqua. In particolare si usano tre termini: *natanti*, *imbarcazioni* e *navi* [14]. La differenza tra i termini è nella lunghezza e stazza (dimensioni) degli oggetti galleggianti a cui si riferiscono. Noi useremo genericamente il termine imbarcazione.

## 8.1 Galleggiamento

Se vogliamo costruire un'imbarcazione la prima cosa che chiediamo è che almeno galleggi. Il primo che riuscì a quantificare e ben descrivere il fenomeno del galleggiamento è stato Archimede. La storia o leggenda ci dice che Archimede stava facendo il bagno in una vasca quando comprese il motivo del suo galleggiamento esclamando l'espressione, da allora famosa, "eureka", "ho trovato".

Il **principio di Archimede** dice: *un corpo immerso in un fluido subisce una forza verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato.*

Dal principio di Archimede deduciamo che per far galleggiare una imbarcazione è certamente preferibile usare materiali meno densi dell'acqua, ma ciò che conta veramente è la densità media dell'oggetto, con i suoi pieni (la struttura dello scafo) e con i suoi vuoti (l'aria che contiene).

Nel linguaggio specifico si chiama *dislocamento* la massa complessiva delle imbarcazioni; in alcuni casi si considera la massa a vuoto, in altri si comprende anche l'equipaggio, il carburante, il carico trasportato, ecc. . Il dislocamento è del tutto uguale alla massa d'acqua spostata dall'imbarcazione che galleggia. Con il termine *stazza* si intende invece un volume pari a circa tre metri cubi, anche se l'unità di misura è indicata in tonnellate.

Le più antiche testimonianze di imbarcazioni risalgono all'epoca preistorica. Per trovare dei resti completi dobbiamo arrivare a circa 10000 anni fa, con la realizzazione di cayuchi, barche realizzate scavando un solo pezzo di legno[5]. Si usano anche altri materiali leggeri come le canne. La costruzione delle imbarcazioni prosegue con il legno, con fasciami sempre più complessi. Nel XIX secolo la disponibilità del legno diventa sempre più inadeguata per le esigenze dell'industria navale e si cominciano a diffondere strutture in ferro. Nel XX quasi tutte le navi verranno costruite con questo materiale. Possiamo poi citare materiali alternativi come la vetroresina o il rarissimo ferroemento.

Agli inizi del '900 vengono realizzati i primi *aliscafi*. Quando un'imbarcazione avanza è limitata nel suo movimento dall'attrito dello scafo con l'acqua. Per limitare questo attrito si può im-

immaginare di ridurre la superficie di contatto con l'acqua stessa: questo è quello che si realizza con gli aliscafi. Un aliscafo è un'imbarcazione dotata di ali immerse in acqua e connesse allo scafo: quando lo scafo è in movimento le ali lo spingono verso l'alto fino a farlo emergere completamente. Tuttavia, affinché avvenga l'emersione, il battello deve raggiungere elevate velocità, con motori adeguatamente potenti, e non deve avere una massa troppo elevata. Inoltre il movimento dell'aliscafo è fortemente limitato dalla presenza di onde: per questo è utilizzato soprattutto nei laghi per il trasporto veloce di persone. Uno dei primi che riuscirono a realizzare un aliscafo funzionante fu Enrico Orlandini: intorno al 1905 realizzò il primo aliscafo in grado di emergere completamente dall'acqua, chiamandolo idrovolante.

## 8.2 Propulsione

### 8.2.1 Remi

### 8.2.2 Vela

### 8.2.3 Elica

### 8.2.4 Idrogetto

## 8.3 Sommergibili e sottomarini

La differenza tra i due termini è questa: il *sommergibile* è un'imbarcazione in grado di immergersi e muoversi sott'acqua per brevi periodi (non più di un giorno). Il *sottomarino* invece può stare in immersione e muoversi per periodi molto più lunghi. In pratica fino all'avvento dei sottomarini a propulsione atomica si avevano a disposizione solo sommergibili.

Tra i problemi da affrontare nella costruzione di questi apparecchi possiamo evidenziarne tre: resistere alla pressione dell'acqua, trovare una fonte di energia per alimentare i motori, e trovare un modo per spingere il battello.

1. La pressione  $p$  che deve sopportare un oggetto alla profondità  $h$  sotto il livello del mare, è data dalla legge di Stevino

$$p = p_0 + \rho gh \quad (8.1)$$

dove  $p_0$  è la pressione dell'aria sul mare,  $g$  è l'accelerazione di gravità e  $\rho$  la densità dell'acqua (praticamente costante a tutte le profondità). Questa pressione è di circa 10 atm ad una profondità di 100 m. In pratica un sommergibile della seconda guerra mondiale poteva immergersi fino a 300 m, mentre un moderno sottomarino nucleare non può andare oltre i 500 m.

2. Per quanto riguarda la propulsione il metodo classico è stata l'uso di motori Diesel per la propulsione in emersione e l'uso di motori elettrici e batterie per la propulsione in immersione. Se anche fosse stato possibile alimentare il motore con una tubazione uscente dall'acqua, il vero problema sarebbero stati i gas di scarico, facilmente visibili in superficie. D'altra parte le batterie, allora come oggi, avrebbero potuto accumulare un'energia molto limitata. Pochi problemi invece per i motori elettrici, sicuramente in grado di raggiungere un'efficienza superiore all'80%. Per tutta la seconda guerra mondiale i motori Diesel hanno



costituito un grande problema, anche per il solo stoccaggio del gasolio: l'aria dei battelli era perennemente satura dei suoi vapori.

Finalmente negli anni '50 si è potuto realizzare il primo sottomarino a propulsione atomica: il sottomarino militare americano "Nautilus". Con esso si riuscì ad arrivare in immersione sotto la banchisa artica fino al polo Nord. Si riuscì persino a rompere il ghiaccio in superficie per poter emergere con la torretta del battello.

La tecnologia nucleare ha permesso di realizzare sottomarini sempre più grandi e potenti. Il più grande e potente realizzato è il sottomarino russo della classe "Typhoon": un apparecchio lungo 180 m e largo 30 m con due motori dalla potenza di 180 MW.

Tuttavia è interessante notare che nel corso degli anni si è avuta l'esigenza di realizzare sottomarini sempre più silenziosi, per fare in modo da essere il meno intercettabili possibili. I tradizionali sottomarini nucleari si sono rivelati troppo rumorosi rispetto alle esigenze.

La marina militare tedesca, in collaborazione con quella italiana, ha realizzato dopo il 2000 una nuova generazione di sottomarini. La spinta in emersione è ancora realizzata con motori Diesel, ma la spinta in immersione è realizzata con motori elettrici alimentati con batterie a combustibile. In questa maniera si riesce ad alimentare il motore per circa due settimane senza rifornimento d'aria, dando pienamente ragione della denominazione di sottomarino. Inoltre questi battelli sono caratterizzati da un profilo acustico molto basso: cioè riescono ad essere difficilmente intercettabili in relazione al rumore che fanno in immersione.

3. Per quanto riguarda la spinta fondamentale si usa la stessa di tutte le imbarcazioni a motore: l'elica. I problemi di efficienza sono gli stessi che per qualsiasi altro natante. Tuttavia, come emerso prima, c'è anche l'esigenza della silenziosità, che le eliche non riescono a garantire.

Una spinta alternativa realizzata negli ultimi decenni è quella della spinta idrodinamica. L'acqua viene incanalata in un sofisticato tubo circondato ad un solenoide a superconduttore. Il campo magnetico che si forma all'interno da una piccola spinta all'acqua al suo interno. In questa maniera si realizza una specie di motore a reazione. Il processo è estremamente silenzioso: non ci sono parti meccaniche in movimento, ma la spinta che si ottiene è minima: si riesce a raggiungere una velocità di pochi chilometri orari.



# 9

---

## Volare

### **9.1 L'aquilone**

### **9.2 L'aereo**

### **9.3 L'elicottero**



# 10

---

## Lo spazio

### **10.1 I missili**

### **10.2 I satelliti**

Orbite di un satellite intorno ad un pianeta. Leggi di Keplero. I e II velocità cosmica. Accelerazione di gravità su una astronave in orbita e microgravità.



Obiettivo di una rete elettrica è quello di trasmettere energia attraverso la corrente elettrica: non siamo interessati ad usare le cariche trasportate dalla corrente, ma l'energia delle cariche stesse. Per avere una corrente tra le estremità di conduttore abbiamo bisogno che tra le estremità ci sia una differenza di potenziale. Se  $\Delta V$  è la differenza di potenziale,  $R$  la resistenza del conduttore e  $i$  l'intensità di corrente possiamo in generale applicare la I legge di Ohm.

$$\Delta V = Ri \quad (11.1)$$

Dal momento che non siamo interessati ad usare le cariche, ma solo l'energia ad esse associata, per trasmettere una corrente abbiamo bisogno di due fili: uno per fare fluire le cariche in un verso e uno per farle ritornare indietro. Potremmo usare anche un solo filo, ma dovremmo avere ad una delle estremità una sorgente di cariche e dall'altra un pozzo in cui riversarle: tutto ciò non è inconcepibile, ma decisamente complicato e molto più complesso che avere due fili. Il primo apparecchio per la produzione di energia e corrente elettrica è stata la pila di Volta, realizzata intorno al 1799. Nel 1831 Faraday e Henry realizzano i primi prototipi di generatore elettromagnetico, strumenti che consentono di trasformare un moto in energia elettrica. La realizzazione di apparecchi realmente utilizzabili prenderà ancora qualche decennio.

## 11.1 Dinamo

Un apparecchio fondamentale nello sviluppo della tecnologia fu la dinamo realizzata nel 1860 da Antonio Pacinotti. La stessa fu perfezionata in Francia nel 1871 da Zènobe Gramme che riuscirà a farne un prodotto industriale di successo. Nel 1870 si annovera il primo accoppiamento di una dinamo con una turbina idraulica per l'avvio di una produzione industriale di elettricità.

Negli Stati Uniti Edison realizza un sistema completo di produzione e distribuzione dell'energia elettrica. La corrente era solo continua con una tensione di circa 100 V su tutta la rete. Questa tensione era il miglior compromesso per l'utilizzo di lampadine elettriche ad incandescenza ed era comunque adeguata per essere utilizzata nei motori usati in ambito industriale.

Tra i limiti subito evidenti c'è la rapida perdita di energia trasmessa all'aumentare della distanza. La corrente trasmessa attraverso un conduttore metallico dissipa energia attraverso l'effetto Joule dissipando una potenza, sotto forma di calore, che dipende dall'intensità di corrente e dalla resistenza del filo:

$$P = Ri^2 \quad (11.2)$$

Dover utilizzare circa 100 V su tutta la rete voleva dire usare elevate correnti e questo costringeva le prime centrali a trovarsi in prossimità (meno di due chilometri) degli utilizzatori. La distribuzione di energia elettrica è cominciata a metà dell'800 utilizzando la corrente continua.

## **11.2 Alternatore**

## **11.3 Trasformatore**



### 12.1 Unità di misura fondamentali del Sistema Internazionale

Nome della grandezza	Simbolo	Nome dell'unità di misura	Simbolo
lunghezza	l	metro	m
massa	m	chilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s
corrente elettrica	I	ampere	A
temperatura termodinamica	T	kelvin	K
quantità della sostanza B	$n_b$	mole di B	mol(B)
intensità luminosa	$I_n$	candela	cd

## 12.2 Costanti fisiche fondamentali <sup>1</sup>

grandezza	simbolo	valore e unità di misura	incertezza
velocità della luce nel vuoto	$c, c_0$	$299792458 \text{ m s}^{-1}$	esatto
Costante magnetica	$\mu_0$	$12,566370614 \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$	esatto
Costante dielettrica ( $1/4\pi\epsilon_0$ )	$\epsilon_0$	$8,854187817 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$	esatto
Costante di gravitazione universale	$G$	$6,6742 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$	$\pm 0,0010 \times 10^{-11}$
Costante di Planck	$h$	$6,6260693 \times 10^{-34} \text{ J s}$	$\pm 0,0000011 \times 10^{-34}$
Carica elementare	$e$	$1,60217653 \times 10^{-19} \text{ C}$	$\pm 0,00000014 \times 10^{-19}$
massa dell'elettrone	$m_e$	$9,1093826 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$\pm 0,0000016 \times 10^{-31}$
massa del protone	$m_p$	$1,67262171 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$\pm 0,00000029 \times 10^{-27}$
Costante di Avogadro	$N_a$	$6,0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$\pm 0,0000010 \times 10^{23}$
Costante dei gas perfetti	$R$	$8,314472 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$\pm 0,000015$
Costante di Boltzmann ( $R/N_a$ )	$k$	$1,3806505 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$	$\pm 0,0000024 \times 10^{-23}$

I simboli per le unità di misura devono essere stampati in carattere diritto (romano). Essi devono rimanere inalterati al plurale e non devono essere seguiti da un punto eccetto che alla fine di una frase.

I simboli per le unità di misura devono essere scritti con lettere minuscole, a meno che essi derivino dal nome di una persona, nel qual caso essi devono cominciare con una lettera maiuscola.

<sup>1</sup>Peter J. Mohr and Barry N. Taylor, CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2002, published in Rev. Mod. Phys. vol. 77(1) 1-107 (2005).

## 12.3 Multipli e sottomultipli

fattore di moltiplicazione	prefisso	simbolo	valore
$10^{24}$	yotta	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{21}$	zetta	Z	1 000 000 000 000 000 000 000
$10^{18}$	exa	E	1 000 000 000 000 000 000
$10^{15}$	peta	P	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	tera	T	1 000 000 000 000
$10^9$	giga	G	1 000 000 000
$10^6$	mega	M	1 000 000
$10^3$	chilo	k	1 000
$10^2$	etto	h	100
$10^1$	deca	da	10
$10^{-1}$	deci	d	0,1
$10^{-2}$	centi	c	0,01
$10^{-2}$	milli	m	0,001
$10^{-6}$	micro	$\mu$	0,000 001
$10^{-9}$	nano	n	0,000 000 001
$10^{-12}$	pico	p	0,000 000 000 001
$10^{-15}$	femto	f	0,000 000 000 000 001
$10^{-18}$	atto	a	0,000 000 000 000 000 001
$10^{-21}$	zepto	z	0,000 000 000 000 000 000 001
$10^{-24}$	yocto	y	0,000 000 000 000 000 000 000 001

## 12.4 Pianeti sistema solare <sup>2</sup>

Nome	Distanza dal Sole	Raggio medio	Massa	Periodo orbitale (anni)
Mercurio	$5,791 \times 10^{10}$ m	$2,440 \times 10^6$ m	$3,33 \times 10^{23}$ kg	0,2408
Venere	$1,082 \times 10^{11}$ m	$6,652 \times 10^6$ m	$4,869 \times 10^{14}$ kg	0,6152
Terra	$1,496 \times 10^{11}$ m	$6,371 \times 10^6$ m	$5,972 \times 10^{24}$ kg	1,0000
Marte	$2,279 \times 10^{11}$ m	$3,397 \times 10^6$ m	$6,419 \times 10^{23}$ kg	1,8808
Giove	$7,784 \times 10^{11}$ m	$7,149 \times 10^7$ m	$1,899 \times 10^{27}$ kg	11,863
Saturno	$1,427 \times 10^{12}$ m	$6,027 \times 10^7$ m	$5,685 \times 10^{26}$ kg	29,447

<sup>2</sup><https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>



## Bibliografia

---

- [1] *Alessandro Cruto*. 2020. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Alessandro\\_Cruto](https://it.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Cruto).
- [2] *Arturo Malignani*. 2022. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Arturo\\_Malignani](https://it.wikipedia.org/wiki/Arturo_Malignani).
- [3] BIPM et al. *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*. 3rd. 2012.
- [4] *Black body*. 2018. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Black%20body>.
- [5] *Boat*. 2020. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Boat>.
- [6] David Bodanis. *L'universo elettrico: l'elettrizzante storia dell'elettricità*. 2005.
- [7] *Breve storia del caminetto*. 2020. URL: [https://www.alfredoneri.com/breve\\_storia\\_del\\_caminetto.htm](https://www.alfredoneri.com/breve_storia_del_caminetto.htm).
- [8] Stefano Cangialosi. *Le immagini a raggi x in campo medico*.
- [9] *Efficienza luminosa*. 2022. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Efficienza\\_luminosa](https://it.wikipedia.org/wiki/Efficienza_luminosa).
- [10] *Enciclopedia dei ragazzi Treccani*. 2006. URL: [http://www.treccani.it/enciclopedia/enciclopedia\\_%28Enciclopedia-dei-ragazzi%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/enciclopedia_%28Enciclopedia-dei-ragazzi%29/).
- [11] *Flusso luminoso*. 2022. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Flusso\\_luminoso](https://it.wikipedia.org/wiki/Flusso_luminoso).
- [12] *Heinrich Hertz*. 2019. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich\\_Hertz](https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz).
- [13] *History of the internal combustion engine*. 2018. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_internal\\_combustion\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_internal_combustion_engine).
- [14] *Imbarcazione*. 2020. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/imbarcazione>.
- [15] *L'etichetta energetica per i climatizzatori dell'aria*. 2020. URL: <https://www.energiaenergetica.enea.it/servizi-per/cittadini/interventi-di-efficienza-e-risparmio-energetico-nelle-abitazioni/etichetta-energetica/etichetta-energetica-apparecchi/1-etichetta-energetica-per-i-climatizzatori-dell-aria.html>.
- [16] *La fisica della vela*. 2020. URL: <https://web.infn.it/fisicainbarca2011/images/stories/rimini/galli-2011-05-19-fisicavela-1x1.pdf>.
- [17] *La fisica della vela*. 2020. URL: <http://www.itimariecurie.gov.it/homesite/attachments/article/563/lez%201%20fisica%20della%20vela.pdf>.
- [18] *Lampadina ad incandescenza*. 2020. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Lampada\\_a\\_incandescenza](https://it.wikipedia.org/wiki/Lampada_a_incandescenza).
- [19] *LED*. 2020. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/LED>.
- [20] *Light pen*. 2018. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Light\\_pen](https://en.wikipedia.org/wiki/Light_pen).
- [21] Mahmoud Massoud. *Engineering thermofluids: thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer*. 2005.

- [22] James Clerk Maxwell. *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. 1864.
- [23] *Perché le vele “portano”?* 2020. URL: <https://www.giornaledellavela.com/2018/11/21/portanza-vele-perche/>.
- [24] *STORIA DELLA VELA*. 2020. URL: <https://www.soleil-vacanze.com/breve-storia-della-vela/>.
- [25] *Stufa*. 2023. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wood-burning\\_stove](https://en.wikipedia.org/wiki/Wood-burning_stove).
- [26] *Stufa a gas catalitica*. 2020. URL: [https://www.faidate360.com/Stufe\\_catalitiche.html](https://www.faidate360.com/Stufe_catalitiche.html).
- [27] Geoff Walker. *Touch Technologies Tutorial*. 2006. URL: [http://http://www.walkermobile.com/Touch\\_Technologies\\_Tutorial\\_Latest\\_Version.pdf](http://http://www.walkermobile.com/Touch_Technologies_Tutorial_Latest_Version.pdf).

# Indice analitico

---

- aliscafo, 25
- bremsstrahlung, 15
- caminetto, 11
- Carnot, Sadi, 18
- Chappe, fratelli, 21
- ciclo di Carnot, 18
- circuito RL, 21
- Cooke, William Fothergill, 21
- corpo nero, 3
- costanti fisiche fondamentali, 36
- Cruto, Alessandro, 6
- Edison, T.A., 33
- Edison, Thomas Alva, 6
- effetto Joule, 12
- efficienza luminosa, 5
- Enrico Orlandini, 26
- Erone di Alessandria, 18
- eulipia, 18
- fiamma libera, 5
- flusso luminoso, 4
- Gauss, Johann Friedrich Carl, 21
- giunzione p-n, 8
- Gramme, Zènobe, 33
- Grandezze fotometriche, 4
- Henry, Joseph, 21
- Joule, 5
- Joule, effetto, 33
- lampada a fluorescenza, 8
- lampada a gas, 5
- lampada a gas da campeggio, 5
- lampada a incandescenza, 5
- lampada a LED, 8
- lampada a scarica, 7
- lampada alogena, 6
- legge di Stevino, 26
- lumen, 4
- macchina termica, 17
- Malignani, Arturo, 6
- Morse, Samuel, 21
- multipli e sottomultipli, 37
- Newcomen, 19
- Nick Holonyak Jr., 8
- Ohm, I legge di, 33
- Pacinotti, Antonio, 33
- Papin, Denis, 18
- penna ottica, 23
- planeti sistema solare, 37
- pompa di calore, 12
- primo principio della termodinamica, 17
- principio di Archimede, 25
- principio di conservazione dell'energia, 17
- radianza spettrale, 4
- radiazione caratteristica, 15
- rendimento, 18
- schermo capacitivo, 23
- schermo resistivo, 23
- schermo touch screen, 23
- secondo principio della termodinamica, 12, 18
- sistema internazionale, 35
- sommergibile, 26
- sottomarino, 26
- spettro di emissione, 4
- stufa a legna, 11
- stufa catalitica a gas, 11
- stufa elettrica, 12
- Swan, Joseph Wilson, 6
- telefono, 22
- telegrafo, 21

unità di misura fondamentali del S.I., 35

Volta, Alessandro, 33

Wheatstone, Charles, 21