

CAPITOLO 1

ELEMENTI DI ENERGETICA

1.1 Generalità

Se fino a non molti anni fa la disponibilità di abbondante energia a basso costo era considerata scontata, attualmente tutti sono consapevoli della criticità e dell'importanza che la problematica energetica riveste. Il primo impatto si ebbe negli anni '70 quando, nell'arco di pochi anni, il prezzo del petrolio grezzo si quintuplicò. Da quel momento per tutti risultò evidente la necessità di dedicare maggiore attenzione al “costo energetico” del moderno stile di vita. Ad esempio, per la prima volta in Italia fu emanata una legge tesa a ridurre i consumi energetici per il riscaldamento invernale degli edifici civili e industriali di nuova costruzione o oggetto di ristrutturazioni.

La problematica energetica, oltre che dal punto di vista tecnico, è complicata da notevoli implicazioni politiche ed economiche.

I problemi energetici attuali e futuri non possono essere affrontati, infatti, senza tenere in debito conto:

- rapporto tra la produzione termoelettrica di energia e l'inquinamento;
- rapporto tra l'inquinamento atmosferico ed il progressivo riscaldamento della Terra provocato dall'effetto serra;
- rapporto con lo sviluppo demografico delle popolazioni interessate.

Attualmente i problemi posti dalla **disponibilità** e da un **efficiente uso** delle forme di energia disponibili rivestono enorme importanza per il benessere e la qualità della vita umana. Ogni impropria utilizzazione costituisce, di per sé, uno “spreco”, capace di incidere negativamente sui costi di produzione e d'esercizio, nonché d'incrementare ulteriormente gli attuali problemi ambientali.

La disciplina che applica l'approccio scientifico allo studio dell'uso più razionale delle varie forme di energia è detta ***Energetica***.

1.2 Principali forme d'energia

Come noto, è possibile distinguere tra *forme di energia in transito* attraverso il confine di un sistema (calore e lavoro) e *forme di energia accumulate* all'interno di questo (ad esempio, l'energia potenziale gravitazionale di una massa sospesa).

In particolare, si sono già incontrate alcune importanti forme di energia e cioè:

- **energia meccanica**, forma di energia pregiata facilmente ed efficacemente convertibile in altre forme. In quanto forma in transito, essa è detta **lavoro**, mentre come energia accumulata può essere presente sotto forma di **energia potenziale** e di **energia cinetica**;

- **energia elettrica**, associata al fluire o all'accumulo di cariche elettriche è, anch'essa, facilmente ed efficientemente convertibile in altre forme (ad esempio in energia meccanica);

- **energia elettromagnetica**, associata alle onde elettromagnetiche (ad esempio radiazioni solari);

- **energia chimica**, è di per se stessa una forma di energia potenziale accumulata che può liberarsi come risultato di una reazione chimica;

- **energia nucleare**, è anch'essa una forma di energia potenziale accumulata che può liberarsi come risultato di una reazione nucleare e cioè di particolari interazioni riguardanti lo stesso nucleo atomico di alcuni elementi pesanti (uranio, torio);

- **energia termica**, è associata, come noto, a vibrazioni atomiche e molecolari. Nella forma in transito si parla di **calore** mentre nella forma accumulata di **energia interna**.

Tutte le forme di energia possono essere integralmente convertite in energia termica, mentre la conversione opposta non risulta possibile integralmente (II Principio della Termodinamica).

In linea di massima, tutta l'energia disponibile sul nostro pianeta si presenta nelle forme sopra ricordate:

- energia meccanica può rendersi disponibile realizzando cadute idrauliche (dighe, sbarramenti di fiumi e torrenti) oppure mediante sfruttamento di maree e venti;
- energia chimica da combustibili (solidi, liquidi e gassosi);
- energia elettromagnetica dalle radiazioni solari;
- energia termica diretta da sorgenti termiche naturali (soffioni, etc);
- energia nucleare attraverso la fissione di uranio e torio e, in futuro, da processi di fusione termonucleare di deuterio e litio.

1.3 Energia e sviluppo

La maggiore o minore disponibilità di energia meccanica utilizzabile per i più svariati scopi ha enormemente condizionato la storia umana:

- *mondo antico*: l'energia meccanica si otteneva quasi esclusivamente dallo sforzo muscolare umano, quantità di energia poco superiori potevano essere ottenute tramite l'uso di cavalli, buoi, etc.;
- *medioevo*: l'utilizzo di mulini a vento e ad acqua cominciava a consentire una maggiore disponibilità di energia meccanica;
- *rivoluzione industriale*: l'avvento della macchina a vapore segnò una vera e propria svolta qualitativa a seguito della quale i combustibili fossili divennero beni sempre più preziosi e cercati (ad esempio, nell'Inghilterra industriale del 1850 il consumo di combustibile era già equivalente a circa 5 kg di petrolio per giorno e per persona);
- *epoca contemporanea*: il consumo giornaliero di energia pro-capite delle nazioni tecnicamente più sviluppate corrisponde all'incirca all'energia termica liberata dalla combustione di circa 10 kg di petrolio.

L'energia termica sviluppata da un combustibile (carbone, gasolio) durante la combustione viene espressa come **potere calorifico inferiore H_i** (kJ/kg) che rappresenta la quantità di calore fornito dalla combustione completa di un chilogrammo di combustibile (reazione chimica di ossidazione completa con aria comburente). Ad esempio, per il metano risulta $H_i = 37,8$ MJ/Kg.

Una quantità di energia termica leggermente superiore può ottenersi dallo stesso combustibile se si riesce a condensare una frazione significativa del vapore presente nei gas prodotti dalla combustione. In questi casi si parla di **potere calorifico superiore H_s** (kJ/kg).

Nella valutazione dei fabbisogni energetici, per usare un metro comune e predisporre di un'unità di misura adeguatamente grande, si fa uso del concetto di "**massa di petrolio equivalente**" riferendosi a tonnellate di petrolio equivalenti (**tep**). Si assume convenzionalmente come potere calorifico del petrolio il valore $H_i = 41,9$ MJ/kg, per cui si ha:

$$1 \text{ tep} \Rightarrow 41,9 \text{ (MJ/kg)} \cdot 10^3 \text{ (kg)} = 41,9 \cdot 10^9 \text{ J} = 11639 \text{ kWh}$$

(N.B. $1 \text{ kWh} = 1000 \cdot 1 \text{ (W)} \cdot 3600 \text{ (J)} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$)

1.4 Risorse rinnovabili e risorse non rinnovabili

Si è soliti distinguere tra *risorse rinnovabili* e *non rinnovabili*, cioè tra risorse la cui disponibilità continuamente si rinnova e risorse accumulate nel passato le quali, una volta consumate, non risultano più disponibili.

Nel mondo preindustriale erano impiegate risorse del primo tipo e cioè legna da ardere, mulini ad acqua ed a vento; dall'inizio dell'era industriale l'uomo ha cominciato ad intaccare le seconde (carbone, gas naturale, petrolio e uranio).

I problemi energetici sono sostanzialmente connessi a:

- **disponibilità di fonti energetiche primarie, ovvero con l'energia reperibile in natura;**
- **conversione delle fonti energetiche primarie in forme direttamente utilizzabili.**

1.5 Risorse energetiche

1.5.1 Fonti primarie

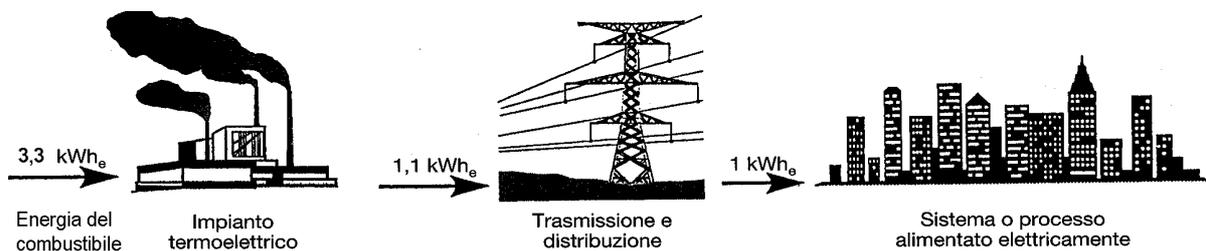
La natura di tali fonti può essere:

- 1) **fossile (petrolio, gas naturale, carbone);**
- 2) **nucleare (fissione, fusione);**
- 3) **geotermica;**
- 4) **rinnovabile (idraulica, solare, eolica, biomassa).**

Le fonti 1), 2) e 3) sono “*non rinnovabili*” e il loro consumo intacca il “capitale energetico”, mentre la 4) riguarda solo l'utilizzo degli “interessi” del capitale.

Queste fonti non vengono quasi mai utilizzate direttamente nella forma in cui si trovano in natura, bensì convertite in **fonti secondarie**. Ad esempio:

- **energia idraulica, eolica, nucleare** sono convertite in **energia elettrica**.
- **petrolio grezzo** viene distillato per ottenere **prodotti derivati** quali benzina, kerosene, gasolio; il **carbone naturale** lavorato per ottenere coke, gas combustibili; i combustibili fossili sono utilizzati per ottenere energia termica e da questa energia meccanica ed elettrica. La figura seguente sintetizza la situazione nell'ipotesi di un rendimento di conversione $\eta = .33$ tra energia termica - meccanica elettrica e nell'ipotesi di ulteriore penalizzazione dovuta al sistema di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica.



1.5.2 Situazione energetica italiana (dati Ministero Attività Produttive al 2004)

Il fabbisogno totale è risultato pari a **195 Mtep** (milioni di tep di petrolio, ove 1 Mtep = $4,18 \times 10^{16}$ J), ripartito come nel prospetto sotto indicato. In questa statistica, l'energia elettrica prodotta per via geotermica ed idraulica, nonché l'energia elettrica importata (l'Italia non possiede più centrali nucleari), viene considerata come energia primaria ipotizzando un rendimento di conversione medio del nostro sistema pari a circa il 41%.

FABBISOGNI ITALIANI RIFERITI ALLE FONTI PRIMARIE	
Petrolio	45.0 %
Gas naturale	33.9 %
Carbone	33.9 %
Energia idroelettrica/geotermica	7.2 %
Energia elettrica importata	5.1 %

Il fabbisogno complessivo di energia primaria è, nei diversi settori:

Produzione di energia elettrica	22.6 %
Usi industriali	21.2 %
Usi civili	22.1 %
Trasporti	22.7 %
Altri usi	7.3 %
Perdite	4.1 %

Si può osservare che:

- se si divide il fabbisogno totale (195 Mtep) per il numero di abitanti il nostro paese, risulta che **ogni italiano** necessita di **circa 3.5 tep/anno**;
- una notevole parte (22.6 %) delle disponibilità e cioè 44.1 Mtep/anno è utilizzata per la **produzione di energia elettrica**;
- il **settore civile** (riscaldamento invernale degli edifici civili, climatizzazione estiva illuminazione, etc) rappresenta una **parte significativa** (22.1 %) corrispondenti a circa 43 Mtep/anno. Il **riscaldamento invernale** degli edifici impegna circa il 15 % del fabbisogno e cioè circa 29 Mtep/anno;
- **usi termici industriali ed i trasporti** utilizzano circa il 43.9 % del fabbisogno.

1.6 Prospettive energetiche

A prescindere dagli effetti negativi che l'uso dei combustibili fossili comporta - inquinamento dell'aria urbana, possibile effetto serra su scala planetaria (conseguente soprattutto all'incremento della **concentrazione di CO₂** nell'atmosfera e relativi impegni internazionali volti a contenere tali incrementi (**protocollo di Kyoto**) - questi diverranno, entro poche generazioni, più rari e costosi, anche in conseguenza dei sempre maggiori consumi che accompagneranno inevitabilmente lo sviluppo del tenore di vita dei popoli più poveri.

Una promettente possibilità consiste nella realizzazione della **fusione nucleare controllata**, da non confondersi con la **fissione nucleare** (utilizzata negli attuali reattori nucleari) e che prevede la **rottura** di particolari nuclei atomici (uranio e torio) al fine di ottenere energia termica da convertire poi in energia elettrica.

La **reazione di fusione nucleare** prevede invece la **combinazione** di nuclei di elementi leggeri, al fine di formare nuclei di maggior massa con la liberazione di grandi quantità di energia. La stessa energia irradiata dal sole trae origine da reazioni termonucleari che portano alla formazione, a partire dall'idrogeno, di molti elementi leggeri (soprattutto elio).

La realizzazione di processi di fusione controllata per produrre energia termica e quindi elettrica presenta, tuttavia, formidabili problematiche tecniche, poiché i processi di fusione nucleare si possono innescare solo a temperature elevatissime dell'ordine di milioni di gradi Kelvin. Ad esempio, negli ordigni termonucleari (bombe H), la reazione è innescata dall'esplosione di una piccola bomba atomica. Per contro, la materia prima,

utile a questi processi, è di disponibilità potenzialmente illimitata. Essa, ad esempio, può essere costituita da deuterio (isotopo dell'idrogeno) che è relativamente abbondante in natura (nell'acqua vi sono circa 33 g di D₂ per m³). Se si tiene conto della notevole energia termica rilasciata dalla fusione di due atomi di deuterio per formare un atomo di elio, questa fonte energetica può essere considerata praticamente illimitata.

1.7 Approfondimenti ed esempi

1.7.1 Combustibili fossili e fissione nucleare

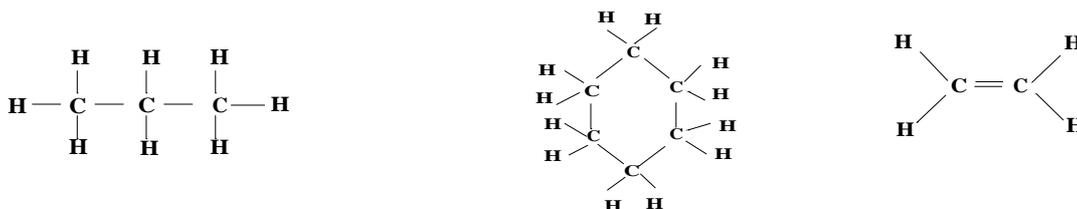
Si consideri la seguente reazione di combustione (reazione chimica di ossidazione) del metano:



Come si può osservare, il metano (e cioè il più semplice composto possibile tra carbonio e idrogeno, classe di composti chimici detti *idrocarburi*) combinandosi con l'ossigeno fornisce energia termica \mathbf{H}_i , acqua (vapore) e anidride carbonica. Ovviamente, in accordo col principio di conservazione dell'energia, l'energia termica ottenuta, o potere calorifico inferiore, non compare dal nulla ma corrisponde esattamente alla variazione dell'energia potenziale chimica dei prodotti (CO_2 e H_2O) e dei reagenti (CH_4 e O_2).

1.7.2 Idrocarburi

Con questo nome si indicano i più semplici composti organici, cioè quelli costituiti da **carbonio** ed **idrogeno**. Enorme è l'importanza degli idrocarburi che sono i principali componenti del greggio e del gas naturale. La loro caratteristica è che si ossidano rapidamente (cioè bruciano) liberando energia termica. Gli idrocarburi possono essere caratterizzati da differenti strutture molecolari, ad esempio:



Il **petrolio** che si trova nel sottosuolo è costituito da miscele di diversi idrocarburi e da svariate altre sostanze. Tra i componenti, ovviamente, predominano nettamente gli idrocarburi. In termini di composizione chimica elementare essi sono, indicativamente, caratterizzati dalle seguenti percentuali in massa:

C: 80 - 89 % ; **H:** 10 - 15 %; **N:** 0.02 - 1 %; **S:** 0.01 - 1 %; **O:** 0.01 - 0.7 %

I **carboni fossili** costituiscono degli ammassi carboniosi residui di riduzione di piante erbacee e legnose. Più antica è la loro origine, maggiore è la percentuale di carbonio in essi presente e minore quella di ossigeno, idrogeno e azoto.

COMBUSTIBILE	CARBONIO (%)	IDROGENO (%)	OSSIGENO e AZOTO (%)	H _i [MJ/kg]
Torba	60	6	34	12,3
Lignite	65 - 75	5 - 6	19 - 29	19,2
Litantrace	75 - 90	4 - 6	6 - 20	31,5
Antracite	93 - 95	2 - 4	< 3	31

La seguente tabella riporta i poteri calorifici di alcuni comuni combustibili

COMBUSTIBILE	H _i [MJ/kg]	H _s [MJ/kg]
Petrolio greggio	41,9	44,8
Benzina auto	44,0	46,9
GPL	45,7	49,8
Gasolio	42,9	45,7
Gas naturale	35,9	38,8
Metano	37,8	43,3
Coke	30,2	30,5
Litantrace	31,5	32,4

1.7.3 Fissione nucleare

Si consideri la seguente reazione di fissione nucleare dell'isotopo fissile dell'uranio:



La quantità di calore **Q**, prodotta da questa reazione nucleare di fissione, è enormemente superiore a quella che caratterizza le normali reazioni chimiche (circa due

milioni di volte maggiore). Infatti, dalla fissione di 1 kg di uranio $^{235}_{92}\text{U}$ si ottiene una quantità di energia (può essere considerata come un potere calorifico H) pari a $H = 82 \cdot 10^6 \text{ MJ/kg}$.

1.7.4 Produzione di energia elettrica

Al fine di meglio inquadrare le problematiche precedentemente discusse, evidenziando anche le relative conseguenze, è opportuno confrontare tra loro alcune modalità di produzione di energia meccanica che, quasi integralmente convertita in energia elettrica, costituisce la forma di energia più pregiata. L'energia elettrica è immediatamente utilizzabile per i più diversi scopi civili ed industriali e si presta particolarmente ad essere distribuita su lunghe distanze agli utenti (linee elettriche).

Si consideri la produzione di una potenza elettrica pari a $P = 1000 \text{ MW}$ in grado, ad esempio, di soddisfare circa 333.000 utenze elettriche domestiche ciascuna delle quali, contemporaneamente, consumi 3 kW. Si ipotizza che tale potenza elettrica possa essere ricavata utilizzando combustibili fossili o sfruttando l'energia nucleare o solare od eolica. Come si vedrà ogni modalità comporta un diverso impatto ambientale relativo all'immissione nell'atmosfera di CO_2 , gas con probabili effetti negativi sui futuri cambiamenti climatici (*global warming* dovuto all'effetto serra). La produzione di energia elettrica, ovviamente, comporterà immissione di questo gas solo nel caso di impiego di combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale).

1 - *Usa di combustibili fossili in centrale termoelettrica*

Se si ipotizza un ciclo termodinamico a vapore caratterizzato da un rendimento $\eta = 0,4$ con cui si voglia produrre una potenza $P = 1000 \text{ MW}$, risulta:

$$\eta = \frac{P}{\varphi} \Rightarrow \varphi = \frac{P}{\eta} = 2500 \text{ MW}$$

La potenza termica da fornire al ciclo bruciando combustibile è pertanto pari a $\varphi = 2500 \text{ MW}$. In base al potere calorifico H_i del combustibile utilizzato si può valutare il consumo di combustibile G_c [kg/s]. Infatti:

$$\varphi = G_c \cdot H_i \Rightarrow G_c = \frac{\varphi}{H_i}$$

Nel caso di **petrolio greggio** il consumo è:

$$\Rightarrow G_c = \frac{2500 \text{ MW}}{41,9 \text{ MJ/kg}} = 59,66 \text{ kg/s} = 214,8 \text{ t/h} = 1.881.650 \text{ t/anno}$$

Nel caso di **carbone** (litantrace) il consumo è:

$$\Rightarrow G_c = \frac{2500 \text{ MW}}{31,5 \text{ MJ/kg}} = 79,40 \text{ kg/s} = 285,7 \text{ t/h} = 2.503.960 \text{ t/anno}$$

Come noto, questi processi di combustione comportano notevoli problemi ambientali, **CO₂** (effetto serra), **SO₂** (inquinamento chimico) ed emissione di polveri e ceneri. Ad esempio, nel caso di petrolio con composizione percentuale in carbonio pari all'80 %, si sarà combinato con l'ossigeno una quantità di carbonio pari a **.8 G_c** e cioè pari **1.505.320 t/anno**. Essendo il rapporto tra le masse molecolari $\mu_{\text{CO}_2}/\mu_{\text{C}} = 3.66$ si avrà l'immissione nell'atmosfera pari a **5.520.000 t/anno** di **CO₂**.

Quantità indicative di alcuni sottoprodotti emessi in un anno, nel rispetto dei limiti di leggi posti alle emissioni di **SO₂** e di **polveri**, sono indicativamente:

- quantità annuali sottoprodotti del petrolio $\Rightarrow \left\| \frac{\text{CO}_2 \cong 5.520.000 \text{ t/anno}}{\text{SO}_2 \cong 11.800 \text{ t/anno}} \right\|$
- quantità annuali sottoprodotti del carbone $\Rightarrow \left\| \frac{\text{CO}_2 \cong 9.035.000 \text{ t/anno}}{\text{ceneri} = 182.500 \text{ t/anno}} \right\|$

Si precisa che polveri e ceneri sono sostanze incombustibili presenti soprattutto nei combustibili solidi, come il carbone, dove possono raggiungere il 10% della massa. Si definiscono **ceneri** i residui solidi che restano nel focolare e **polveri/particolato** residui trascinati in sospensione nei fumi.

A questo riguardo, disposizioni legislative impongono agli impianti con potenza superiore a 50 MW termici un valore limite d'emissione delle polveri, per rispettare il quale si utilizzano elettrofiltri, in grado di trattenere fino al 99,5 % delle particelle sospese. Tuttavia, una certa quantità delle particelle più piccole e dannose alla salute umana (poiché capaci di raggiungere gli alveoli polmonari ed i bronchi) non viene trattenuta. E' interessante esprimere la massa combustibile **M_c** e di anidride carbonica **M_{ac}** che occorre consumare per unità di energia elettrica prodotta espressa in kg/kWh.

La totale energia elettrica prodotta in un anno è:

$$E_t = 1000 \text{ MW} \cdot 1 \text{ anno} = 10^6 \text{ kW} \cdot 365 \cdot 24 \text{ h} = 10^6 \cdot 8760 = 8.76 \cdot 10^9 \text{ kWh}$$

E, quindi, risulta:

- per il petrolio greggio $\Rightarrow \left\| \frac{M_c = 1.881650 \cdot 10^3 / 8.76 \cdot 10^9 = 0.22 \text{ kg/kWh}}{M_{ac} = 5.520.000 \cdot 10^3 / 8.76 \cdot 10^9 = 0.63 \text{ kg/kWh}} \right\|$
- per il carbone (litantrace) $\Rightarrow \left\| \frac{M_c = 2.503.960 \cdot 10^3 / 8.76 \cdot 10^9 = 0.29 \text{ kg/kWh}}{M_{ac} = 9.035.000 \cdot 10^3 / 8.76 \cdot 10^9 = 1.03 \text{ kg/kWh}} \right\|$

Anche lo stoccaggio di una riserva combustibile fossile corrispondente ad un anno di consumo presenta qualche problema, ad esempio, nel caso di carbone occorrerà stoccare una massa $M = 1\ 881\ 650\ 000 \text{ kg}$. Tenendo conto della densità in mucchio del carbone ($\rho = 750 \text{ kg/m}^3$) il volume necessario è:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{M}{\rho} = 2.500.000 \text{ m}^3$$

Questa quantità, se ammassata a formare uno strato alto 10 m, occuperà una superficie di 25 ettari.

2 - Uso d' energia nucleare

Poiché dalla fissione di 1 kg di **uranio** si sviluppano quantità di calore dell'ordine di 2 milioni di volte più elevate di quella ottenibile dalla combustione di un kg di petrolio e 2.6 milioni di volte quella ricavabile dalla combustione di un kg di carbone, ne discende che, a pari potenza prodotta, la massa d'uranio consumata in un anno sarà assai ridotta rispetto ai combustibili fossili.

Assumendo lo stesso rendimento di conversione prima considerato ($\eta = 0,4$) il consumo annuo di uranio sarà, infatti, pari a:

$$C_c = \frac{\phi}{H} = \frac{2500}{8,2 \cdot 10^7} = 3,05 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 940 \text{ kg/anno}$$

Inevitabili sottoprodotti della reazione nucleare sono, come noto, una serie di nuclidi a massa atomica minore dell'uranio, alcuni dei quali radioattivi con lunghi tempi di dimezzamento (scorie nucleari). Il trattamento delle scorie nucleari ed il loro stoccaggio per lunghi periodi (in certi casi migliaia di anni) pone notevoli problemi, bilanciati solo in parte dalle ridotte quantità di queste.

3 - Uso di energia termica di origine solare

Nell'ipotesi di partire da energia termica raccolta mediante pannelli solari senza concentrazione ci si dovrà attendere un rendimento termodinamico di conversione assai basso ($\eta \approx 0,15$) a causa delle ridotte temperature raggiungibili dalla sorgente termica

superiore (circa 150 °C). In questo caso la potenza termica necessaria che dovrà essere raccolta dai pannelli solari sarà:

$$\varphi = \frac{P}{\eta} = \frac{1000}{0.15} = 6667 \text{ MW}$$

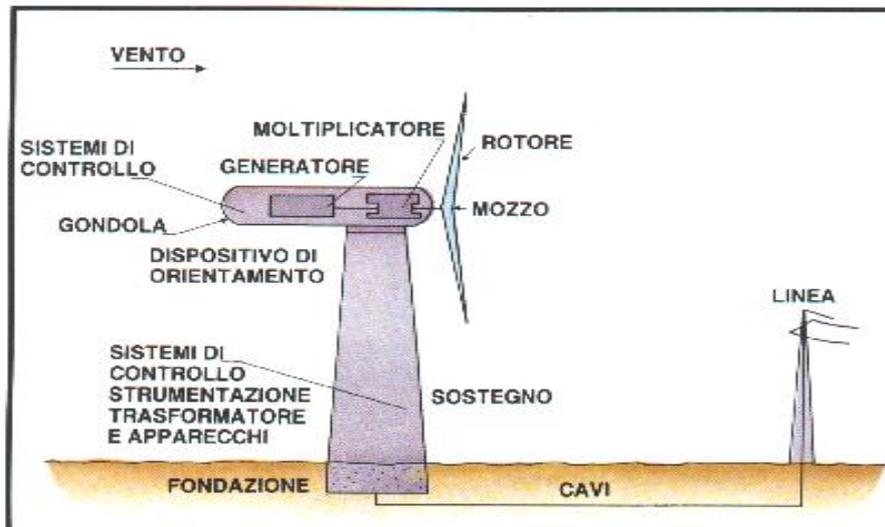
Se il flusso energetico solare fosse costante e pari a 1 kW/m² (valore di picco in un giorno sereno alle nostre latitudini) sarebbero necessari 6.667.000 m² (666,7 ettari !!!) di superficie captante. In realtà, si può mediamente raccogliere solo una parte assai minore del flusso di energia incidente per ovvie ragioni (variabilità del flusso con le ore del giorno e le stagioni, presenza di nubi). Occorre pertanto ipotizzare l'uso di sistemi di accumulo. Se si ipotizza **un rendimento del sistema di captazione:**

$$\eta_{ct} = \text{potenza utile raccolta/potenza solare incidente} = 0,4,$$

la superficie totale dei pannelli risulterà dell'ordine di 16.660.000 m² (1660 ettari !!!).

4 - Uso di energia eolica

Nel caso si volesse utilizzare **energia eolica** (sempre per ottenere la potenza di 1000 MW) si possono fornire le seguenti indicazioni. Nell'ipotesi di captare il 50% dell'energia cinetica associata a vento con velocità media pari a $W_0 = 10$ (m/s) un aeromotore (vedi figura) capace di fornire 1 MW dovrà avere un rotore di circa 65 m di diametro.



Pertanto, per ottenere la potenza richiesta (1000 MW) occorreranno **1000** aeromotori del diametro di 65 (m). Benchè questo impianto non produca gas serra, un intervento di questo tipo presenta spesso un inaccettabile impatto visivo sul paesaggio.

1.7.5 Riscaldamento di edifici e potenzialità di risparmio

Come già osservato, in Italia una **parte significativa** (22.1 %), corrispondente a circa 43 Mtep/anno del complessivo fabbisogno annuale d'energia primaria, è utilizzata nel **settore civile** (riscaldamento invernale degli edifici civili, climatizzazione estiva, illuminazione, etc). Da quanto detto si evince la necessità di contenere sempre di più le richieste energetiche relative a questo settore (più attenta progettazione dei nuovi edifici, isolamento termico, efficienza degli impianti di climatizzazione, produzione acqua calda, illuminazione). Un criterio per classificare gli edifici dal punto di vista energetico è quello di considerare il loro consumo di energia primaria per anno e metro quadro di superficie abitabile **FEP** usualmente espresso in kWh/(m²anno).

In Italia un tipico edificio residenziale consuma indicativamente 160 kWh/m²/anno di energia primaria di cui buona parte (106 kWh/(m²anno) per il riscaldamento sotto forma di dispersioni termiche verso esterno. Ovviamente, nel caso di presenza anche di un impianto per il condizionamento estivo vi sarà un ulteriore consumo. Si può ancora ricordare che nel nostro paese il riscaldamento invernale degli edifici impegna circa il 15 % del fabbisogno e cioè circa 29 (Mtep/anno) prevalentemente sotto forma di combustibili fossili (metano, gasolio, etc.) che corrispondono all'immissione nell'atmosfera di circa 78 milioni di tonnellate di CO₂ con il relativo impatto su possibili effetti di riscaldamento della Terra (effetto serra).

Pertanto, prescindendo dalle difficoltà operative e dai costi, se tutti gli edifici del nostro paese fossero sottoposti ad interventi di isolamento termico tali da ridurre il consumo di energia primaria per il riscaldamento del 30 % si potrebbero risparmiare 9 Mtep/anno immettendo nell'atmosfera 23 milioni di tonnellate di CO₂ /anno in meno. Si può anticipare che il Decreto Legislativo 192 (8/10/2005) in attuazione della direttiva UE 2002/91 impone nel progetto di nuovi edifici/ristrutturazione il rispetto di un valore limite **FEP** da non superarsi per il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale. Ad esempio, nel progettare un edificio da costruirsi in Genova con un rapporto $S/V = 0.55$ ove **S** sia la superficie che delimita verso l'esterno il volume riscaldato **V**; si dovrà rispettare nel progetto il limite massimo di consumo previsto pari a **FEP** ≤ 56 kWh/(m² anno). In un prossimo futuro anche gli edifici esistenti dovranno essere accompagnati da un certificato energetico del tipo sotto raffigurato, al fine di fotografarne lo "stato energetico attuale" e suggerire quali possano essere i possibili interventi di riqualificazione.

CERTIFICATO ENERGETICO N.

RILASCIATO IL

SCADE IL

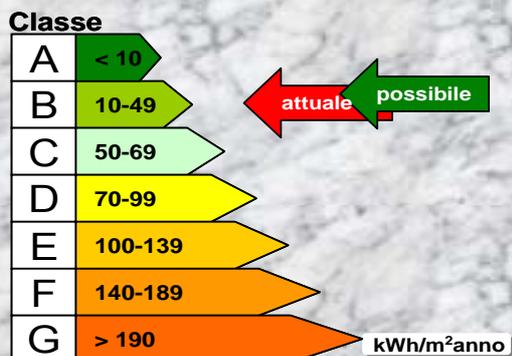
INFORMAZIONI GENERALI EDIFICIO

- UBICAZIONE:
VIA
COMUNE GENOVA
- ZONA CLIMATICA: C D E F
- PROPRIETARIO:
- TIPOLOGIA EDILIZIA:
- ANNO DI COSTRUZIONE:
- SUPERFICIE CALPESTABILE: 1282 M²
- VOLUME LORDO: 4965 M³
- S/V: 0,392

FABBISOGNO ENERGETICO

Confronto tra la classe energetica attuale dell'edificio e quella conseguibile con la realizzazione di interventi migliorativi su involucro e impianto termico.

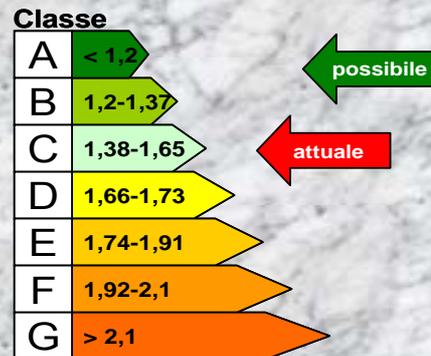
DISPERSIONI EDIFICIO



Classe Attuale: B

Classe massima raggiungibile con interventi migliorativi: B

EFFICIENZA IMPIANTO

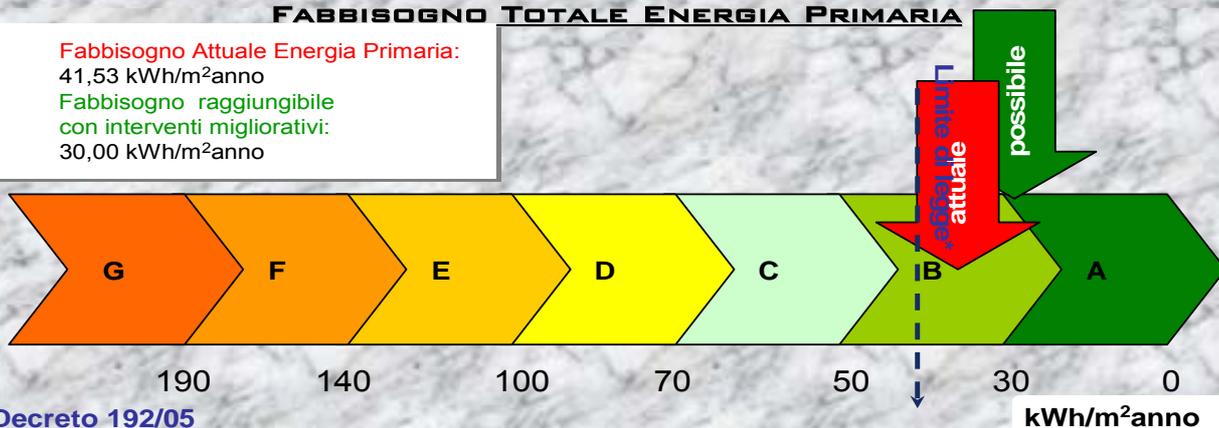


Classe Attuale: C

Classe massima raggiungibile con interventi migliorativi: A

FABBISOGNO TOTALE ENERGIA PRIMARIA

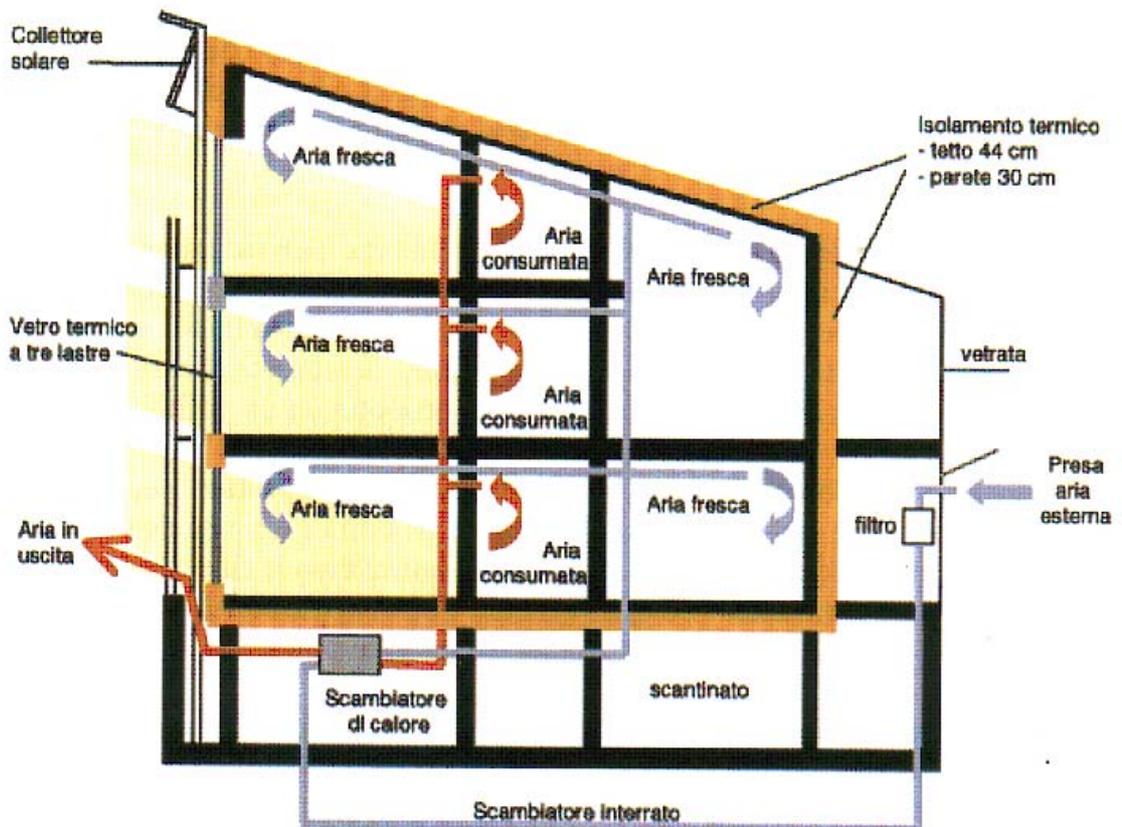
Fabbisogno Attuale Energia Primaria:
41,53 kWh/m²anno
Fabbisogno raggiungibile con interventi migliorativi:
30,00 kWh/m²anno



Ci si può chiedere fino a che punto ci si possa spingere verso bassi consumi. A titolo di esempio, si riporta lo schema di principio di un edificio progettato per realizzare un bassissimo consumo (edificio classificato passivo fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale ≤ 15 (kWh/m² anno)).

Tabella 2 - Parametri di un edificio passivo (validi per l'Europa centrale)

Fabbisogno termico (climatizzazione)	≤ 15 kWh/m ² a
Assenza di ponti termici (Ψ = trasmittanza termica lineare)	$\Psi \leq 0,01$ W/m K
Trasmittanza termica della facciata	
a) Elementi opachi	$U < 0,15$ W/m ² K
b) Vetrate	$U_v \leq 0,8$ W/m ² K
Recupero di calore (media annuale)	$\geq 80\%$
Resistenza dell'involucro al vento	$n_{50} < 0,6/h$
Rendimento del sistema di recupero del calore	$\eta_{rc} \geq 75\%$
Flusso d'aria	orientato
Rapporto tra afflusso e deflusso d'aria	equilibrato $< (\pm 5)\%$



ESERCIZI ED ESEMPI

1. Un generatore di calore adibito al riscaldamento di un edificio è caratterizzato da una potenza termica $\Phi = 350 \text{ kW}$. Ipotizzando di utilizzare gasolio (potere calorifico $H_i = 42900 \text{ kJ/kg}$) valutare il consumo orario di combustibile. Poiché $\Phi = G_c H_i$ risulta:

$$G_c = \frac{\Phi}{H_i} = \frac{350 \text{ kW}}{H_i \text{ kJ/kg}} = \frac{350 \text{ kJ/s}}{H_i \text{ kJ/kg}} = 0.0082 \text{ kg/s}$$

il consumo orario è (1 s = 1/3600 h):

$$G_c = 0.0082 \text{ kg/s} = 3600 \cdot 0.0082 = 29.4 \text{ kg /h}$$

2. Nel mondo antico la quantità giornaliera di energia meccanica disponibile per un lavoro artigianale era principalmente ottenuta attraverso lo sforzo muscolare umano e pertanto assai ridotta, dell'ordine di $E_d = 1.5 \text{ kWh}$ per persona e giorno (**8h**). Stimare la quantità di energia elettrica giornaliera e quindi meccanica a disposizione di un artigiano moderno. Nell'ipotesi che la potenza elettrica a disposizione sia $P = 6 \text{ kW}$ ed ipotizzando un intervallo di tempo $\tau = 8 \text{ h}$ risulta:

$$E_d = P\tau = 48 \text{ kWh/giorno}$$

Il valore attuale è circa 30 volte superiore.

3. Il fabbisogno energetico di energia primaria per il riscaldamento invernale di un edificio (3000 m² di superficie calpestabile) da costruirsi in Genova è **FEP = 56 kWh/m²anno**. Quale sarà la quantità annuale di CO₂ immessa nell'atmosfera nell'ipotesi di utilizzare gasolio ($H_i = 42.9 \text{ MJ/kg} = 11.91 \text{ kWh/kg}$) ?

Il totale fabbisogno è:

$$E_t = 3000 \cdot 56 = 168000 \text{ kWh/anno}$$

La quantità annuale di gasolio consumato M_c è:

$$M_c = \frac{E_t}{H_i} = \frac{168000 \text{ kWh/anno}}{11.91 \text{ kWh/kg}} = 14097 \text{ kg/anno}$$

Se la composizione elementare in carbonio è pari a 0.82 la quantità annuale di CO₂ è :

$$M_{CO_2} = .82 \cdot 14097 \text{ (kg/anno)} \cdot \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_C} = 42307 \text{ kg/anno}$$