

INTRODUZIONE

La trasformazione e lo sfruttamento delle varie forme di energia hanno da tempo immemorabile consentito agli utilizzatori maggiore benessere ed affrancamento dalla fatica del lavoro manuale.

La rivoluzione industriale, con l'introduzione di nuove tecnologie energetiche da il via ad una grande produzione di merci e servizi, ma anche ad un impressionante consumo di energia nelle sue varie forme.

La nostra civiltà ha ormai dimostrato di non poter fare a meno dell'energia, ma anzi, di incrementarne i consumi con tassi di crescita elevati.

Attualmente i consumi annuali di energia corrispondono per l'intera popolazione mondiale (5 miliardi di persone) a circa 10 miliardi di tep (tonnellate equivalenti di petrolio).

Il totale e la media, come sempre, non rendono l'idea dei consumi individuali. Se si approfondisce il dettaglio si scopre che un miliardo di persone, 1/5 della popolazione mondiale, consuma da sola oltre cinque miliardi di tep, più della metà dei consumi mondiali, mentre un altro miliardo di persone, "i diseredati del mondo", quelli dei paesi in via di sviluppo, ne consuma meno del 2%.

Gli scenari possibili per questo secolo sono diversi, ma anche quelli meno pessimistici, prevedono l'esaurimento di petrolio e gas naturale entro un centinaio di anni, una maggiore durata di qualche secolo per il carbone, lasciando l'interrogativo dell'energia nucleare da fissione all'eventuale sviluppo di tecnologie più sicure.

Se nei prossimi decenni, oltre alla crescita demografica, si dovesse assistere ad un aumento dei consumi energetici di tutti i paesi in via di sviluppo, con un allineamento a quelli dei paesi industrializzati, il problema delle risorse energetiche potrebbe assumere aspetti anche drammatici. La soluzione allo stato attuale non esiste!

L'energia da "fusione" è ancora lontana ed eventuali altre tecnologie in grado di rimpiazzare le fonti energetiche tradizionali (uranio, petrolio e gas naturale) non sono ancora disponibili.

Le fonti energetiche rinnovabili, con le attuali tecnologie, non sembrano in grado di sostituire in percentuali apprezzabili gli attuali fabbisogni di combustibili fossili.

Le prospettive non sono quindi rosee, il che non significa che non si possa o non si debba fare niente. Insieme alla ricerca di nuove fonti e nuove tecnologie energetiche rinnovabili e sostenibili, uno degli obiettivi strategici internazionalmente più accreditati è quello del miglioramento dell'efficienza energetica.

Utilizzare meglio l'energia, ridurre al minimo le perdite e gli sprechi è una sfida che vale sempre la pena di accettare, almeno fino a quando non disporremo di una fonte energetica rinnovabile, completamente sostenibile e praticamente gratuita.

Auguri a noi e alle generazioni future!

FONTI ENERGETICHE

Chiave di lettura

1. **Natura fisica:** descrizione della natura energetica della fonte.
2. **Disponibilità:** informazioni sulla intensità energetica della fonte e sulla sua reperibilità.
3. **Equivalenza energetica:** le diverse fonti risultano disponibili in diverse forme energetiche (es.: solare come energia radiante; idraulica ed eolica come energia cinetica; biomasse come energia chimica di legame). Viene quindi fornito un indice energetico equivalente della loro disponibilità espresso con parametri di più corrente uso. Trattandosi di valori lordi, viene anche indicata la massima aliquota annua trasformabile in energia utile con le attuali tecnologie.
4. **Flessibilità operativa:** con questo termine si indica l'adattabilità della fonte alle esigenze delle utenze. Dipende dalle modalità con cui si rende disponibile la fonte e dalle possibilità di accumulo della stessa o dell'energia prodotta. Flessibilità elevata(++); sufficiente(+); basso(-); scarsa(--).
5. **Dati di base per dimensionamento di massima:** vengono indicati i parametri indispensabili per il primo dimensionamento degli impianti.
6. **Conversioni più convenienti:** descrizione del tipo di energia convenientemente producibile con le tecnologie oggi disponibili.

RADIAZIONE SOLARE

1. **Natura fisica:** onde elettromagnetiche emesse dal sole.
2. **Disponibilità:** fonte a bassa intensità energetica.

PARAMETRO (1)	NORD (45°N)	SUD (35°N)
potenza max (kW/m ²)	1	1
disponibilità annua (kW/m ² -anno)	1000-1100	1300-1350
energia max giornaliera (kW/m ² -giorno)	6,0 - 6,5	7,0 - 7,5
dispon. estiva/dispon. inv. (2)	6 - 7	3,5 - 4,5

(1). Valori riferiti a superfici orizzontali; la max disponibilità annua si ha su superfici orientate a sud e inclinate di 35°-45° a seconda della località; il 60-65% della disponibilità annua è concentrata tra maggio e settembre.
(2). Rapporto medio tra le energie giornaliere.

3. **Equivalenza energetica:** contenuto energetico in kg equivalenti di gasolio, della radiazione giornaliera:
 - giornata estiva limpida 0,6 kg/m²
 - giornata estiva media 0,4 kg/m²
 - massima frazione annua recuperabile: 45-50%
4. **Flessibilità operativa:** molto bassa. La fonte richiede sistemi di accumulo (non necessari nel caso dell'essiccazione). Fonte non immagazzinabile tal quale. Adattamento con le utenze:
 - riscaldamento ambienti: —
 - acqua calda sanitaria (45-55° C) +
 - essiccazione a bassa temperatura (<50°C) ++
 - essiccazione a media temperatura (>70°C) —
 - utenze elettriche +
5. **Dati base per dimensionamento di massima:** radiazione media mensile; caratteristiche dell'utenza.

6. Conversioni più convenienti: produzione di calore a bassa temperatura con collettori solari piani e produzione diretta di corrente continua, a mezzo di moduli fotovoltaici.

ENERGIA IDRAULICA

- Natura fisica: energia potenziale e/o cinetica posseduta da un corso d'acqua.
- Disponibilità: fonte generalmente di media intensità energetica; utilizzabile quanto un salto idrico è disponibile nelle vicinanze delle utenze (distanza < 600 m).
- Equivalenza energetica: energia meccanica equivalente sviluppata in un giorno da una portata d'acqua di:
- 10 l/s: 2,4 kWh/m di salto
(per portate diverse assumere valori proporzionali)
Massima frazione annua recuperabile: 60-70%
- Flessibilità operativa: medio-alta a seconda delle zone (limitata nel caso di sfruttamento di corsi d'acqua a regime torrentizio). L'accumulo dell'energia prodotta è solitamente richiesto solo per piccoli impianti a corrente continua. La fonte è immagazzinabile anche come tal quale (piccoli bacini o serbatoi); ciò consente autonomie fino ad un max di 2-3 giorni in caso di secche o interruzioni del flusso. Nelle applicazioni microidrauliche (< 100 kW) sono però preferibili installazioni a presa fluente (minori costi e minori problemi di impatto ambientale). Fonte adattabile ad ogni tipo di utenza elettrica (+/+).
- Dati di base per dimensionamento di massima: portata media del corso d'acqua e sue variazioni annue; misura del dislivello lordo; lunghezza della condotta forzata; tipo di utenze.
- Conversioni più convenienti: produzione di energia elettrica; (produzione di energia termica a mezzo di resistenze elettriche o pompe di calore).

ENERGIA EOLICA

- Natura fisica: energia cinetica posseduta da correnti d'aria in movimento tra zone di alta e bassa pressione.
- Disponibilità: fonte ad intensità energetica elevata solo nelle zone in cui la velocità media annua del vento (V_m) è > 12 m/s; con V_m compreso tra 5 e 8 m/s i periodi con potenza nulla sono brevi. L'utilizzo con $V_m < 5$ m/s è proponibile solo per pompaggio. La velocità del vento (V) varia con l'altezza da terra (h). Per spazi aperti e per $h < 50$ m vale la relazione approssimata:
$$V = V_s (h/10)^{0,14}$$

con V_s = velocità fornita da stazione meteorologica (lettura con $h = 10$ m)
- Equivalenza energetica: energia meccanica equivalente sviluppata in un giorno dall'aria in movimento attraverso una vena fluida ad una velocità di:
- 6 m/s (si muovono i piccoli rami e si alza polvere): 3,2 kWh/m²
- 9 m/s (ondeggiano alberi di piccola taglia): 10,8 kWh/m²
- 15 m/s (ondeggiano alberi robusti): 50,0 kWh/m²
(valori riferiti all'area della vena perpendicolare al flusso; l'energia varia con il cubo della velocità). Massima frazione annua recuperabile: 15 - 35%
- Flessibilità operativa: bassa con $5 < V_m < 8$ m/s; media con $V_m > 8$. L'accumulo dell'energia prodotta si effettua solo con generatori a corrente continua. Fonte non immagazzinabile come tal quale e non sempre adattabile ad ogni tipo di utenza elettrica (+).

- Dati di base per dimensionamento di massima: velocità media annua del vento (V_m); durata del periodo a bassa velocità (< 5 m/s); tipo di utenze.
- Conversioni più convenienti: produzione di energia meccanica (pompaggio acqua); produzione di energia elettrica in corrente continua o alternata (conversione termica a mezzo di resistenze elettriche o pompe di calore).

SOSTANZE LIGNO-CELLULOSICHE

- Natura fisica: sostanza organica prodotta direttamente dall'attività fotosintetica dei vegetali. Trattasi per lo più di sottoprodotti colturali e agro-industriali con rapporto Carbonio / Azoto < 30 e bassa umidità.
- Disponibilità: l'impiego della fonte risulta interessante solo se la sua reperibilità è garantita all'interno dell'azienda o nelle sue immediate vicinanze (circuito corto).
- Equivalenza energetica: contenuto energetico in kg equivalenti di gasolio, di 1 kg di prodotto (kg/kg):

MATERIALE	UMIDITÀ:	0%	10%	20%
Paglia frumento		0,410	0,363	0,316
Paglia orzo		0,400	0,354	0,309
Paglia riso		0,371	0,328	0,285
Residui potatura		0,431	0,381	0,333

Massima frazione annua recuperabile: 50-60%

- Flessibilità operativa: molto alta. Fonte immagazzinabile come tal quale senza particolari limitazioni tecniche (eventuali problemi di tipo gestionale e organizzativo). Prima dell'immagazzinamento la biomassa può essere sottoposta a specifici trattamenti: 1) sminuzzatura; 2) addensamento (prodotti finali, pallets, tronchetti o briquettes); 3) essiccazione artificiale (solo con umidità > 35%). Adattabile a utenze termiche (+/+ ed elettriche (+).
- Dati di base per dimensionamento di massima: tipo e quantità annua di biomassa disponibile: sua umidità al momento dell'utilizzo; tipo di utenze.
- Conversioni più convenienti: come combustibile solido in processi di trasformazione termochimica per: 1) produzione diretta di calore (combustione); 2) produzione di un combustibile intermedio solido (carbonizzazione) o gassoso (gassificazione) a sua volta convertibile in energia termica, meccanica o elettrica.

DEIEZIONI ANIMALI

- Natura fisica: sottoprodotti delle attività zootecniche utilizzabili come deiezioni tal quali (urine+feci), liquami (deiezioni+acqua), letami (deiezioni+letiera). Caratterizzate da un rapporto Carbonio/Azoto < 30 e da elevata umidità (> 80%).
- Disponibilità: fonte reperibile nell'ambito di ogni azienda zootecnica in quantità e qualità variabili a seconda della specie allevata, del tipo di allevamento e del tipo di alimentazione. Le deiezioni prodotte, in % giornaliera del peso vivo, sono pari a:

bovine di latte:	6-9%	tori da carne:	5-7%
suini da ingrasso:	5-10%	suini da riproduzione:	10-12%
oviole:	7-12%	broilers:	6-8%

Tra i diversi fattori, il tipo di allevamento ha maggiori influenze sulla produzione di liquori per le diverse quantità di acqua di lavaggio impiegate.

3. **Equivalenza energetica:** massimo contenuto energetico, in kg equivalenti di gasolio, delle deiezioni animali tal quali valutato prevedendo la conversione biochimica:

Bovini	in stabulazione libera con:	(kg/m ³)
	- lettiera	45-55
	- cuccette	12-18
	- flushing	10-16
	- ruspette	24-30
	- grigliata (bovini da carne)	27-33
Suini	a ciclo chiuso con grigliata e vasca di tracidazione	2-3
Suini	da ingrasso su grigliata	4-5

Massima frazione annua recuperabile: 45-50%.

4. **Flessibilità operativa:** medio-bassa, a seconda delle tecnologie di trasformazione impiegate. La disponibilità energetica dipende dalla temperatura esterna. È necessario l'accumulo della fonte.
 5. **Dati di base per dimensionamento di massima:** quantità e tipo di reful prodotti giornalmente: percentuale sul tal quale di solidi totali (ST, contenuto in sostanza secca) e solidi volatili (SV, contenuto di sostanza organica); analisi chimica; tipo di utenze.

Bovini	in stabulazione libera con:	ST	SV	SV/ST
	- lettiera	20,6	16,5	0,83
	- cuccette	6,5	5,0	0,77
	- flushing	6,5	4,8	0,74
	- ruspette	12,0	9,0	0,75
	- grigliata (bovini da carne)	12,0	10,0	0,83
Suini	a ciclo chiuso con grigliata e vasca di tracidazione	0,5	0,3	0,60
Suini	da ingrasso su grigliata	2,2	1,4	0,64

(Indicazioni valide solo per il prodotto fresco. Dopo poche ore all'aperto la SV si riduce del 10-20%).

6. **Conversioni più convenienti:** processi di trasformazione biochimica di tipo anaerobico con produzione di biogas. Tra le diverse soluzioni, risultano raccomandabili le lagune anaerobiche dotate di teli galleggianti per il recupero del biogas che si forma sul loro fondo.

COMBUSTIBILI

1. **Natura fisica:** materiali solidi, liquidi e gassosi la cui energia chimica può essere liberata sviluppando calore (combustione), utilizzabile a mezzo di motori (produzione di energia meccanica) e/o di caldaie (produzione di energia termica). Possono essere di origine fossile o rinnovabile.

TIPO	ORIGINE	
	Rinnovabile	Fossile
SOLIDI	materiali ligno-cellulosici carbone vegetale	Carboni (lignite, litantrace, antracite, coke)
LIQUIDI	Etanolo Metanolo Oli vegetali	Benzina, Kerosene Oli combustibili (Gasolio e Oli pesanti)
GASSOSI	Biogas Gas povero	Gas naturale Propano, Butano (loro miscele: GPL)

2. **Disponibilità:** generalmente concentrata in giacimenti per quelli fossili e diffusa per quelli rinnovabili.
 3. **Equivalenza energetica:** viene preso come riferimento il contenuto energetico di 1 kg di gasolio. Si riporta anche la massa volumica (Mv: kg/m³) e il potere calorifico (Pci: kWh/kg, o m³ nel caso dei gas).

COMBUSTIBILE	EQUIVALENZA ENERGETICA	Mv (kg/dm ³ o m ³)	Pci (kWh/kg o m ³)
Gas naturale	1,1-1,2	0,68	9,5-10
Biogas (1)	1,9-2,5	1,1-1,3	4,8-6,5
Gas povero	7-11	1,1-1,2	1,0-1,7
Propano	1,1	1,90	12,9
Benzina	0,97	0,73	12,2
Gasolio	1	0,84	11,9
Oli combustibili	1,1	0,85	10,8
Etanolo	1,6	0,80	7,5
Oli vegetali	1,1-1,2	0,90	9,8-11,0
Antracite	1,3	1,50	9,3
Lignite (2)	2,0	1,30	5,9 (4)
Legna	2,3	0,70	5,1
Paglia	2,7	(3)	4,2

(1): valori riferiti a 1 m³ di gas;

(2): Mv espresso come massa volumica effettiva; non tiene, quindi, conto dell'influenza della pezzatura o dell'eventuale confezionamento;

(3): valore poco significativo; la massa volumica approssima varia tra 0,08 (pancotto sciolto non pressato) e 0,20 kg/dm³ (pancotto in bolle ad alta densità);

(4): Pci riferiti a kg di sostanza secca.

BIBLIOGRAFIA

B. MUSSO, Il ruolo dell'energia elettrica per lo sviluppo sostenibile, AEL 82, 1, 1995

G. RIVA, F. MAZZETTO, Energie e tecnologie energetiche per l'agricoltura, MIPAA n° 12, 1990

F. BALDI, P. BIONDI, G. COLZANI, G. SANTORO, Evaluation of the thermal efficiency of a parabolic cylinder solar collector system for the bulk curing of bright leaf tobacco, Solar World Forum (Proc. Intern. Solar Energy Soc. Congress, Brighton, England), Pergamon Press, Oxford, (1987) 1026-1030

P. BIONDI, G. COLZANI, Energia e risparmio energetico in agricoltura, Agricoltura e Ricerca, Roma 1985

F. BALDI, P. BIONDI, G. COLZANI, S. GUARNA, L'impiego dell'energia solare nella cura del tabacco V. Bright, Risultati di prove sperimentali di un impianto solare a collettori cilindro-parabolici in Umbria (Estratto di Quaderno CNR-PRIMA n° 18) Ann. Ist. Spic. Mecc. Agric. (1980) 2, 123-154

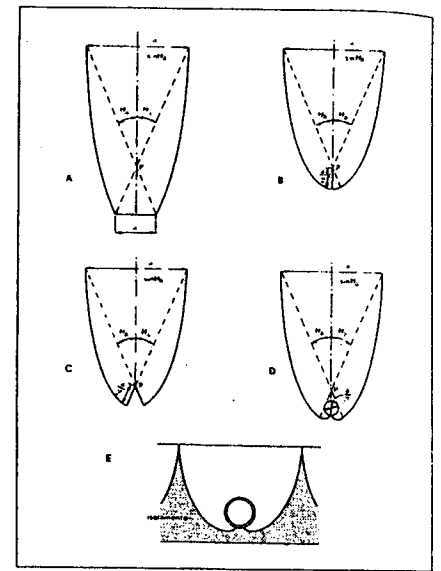
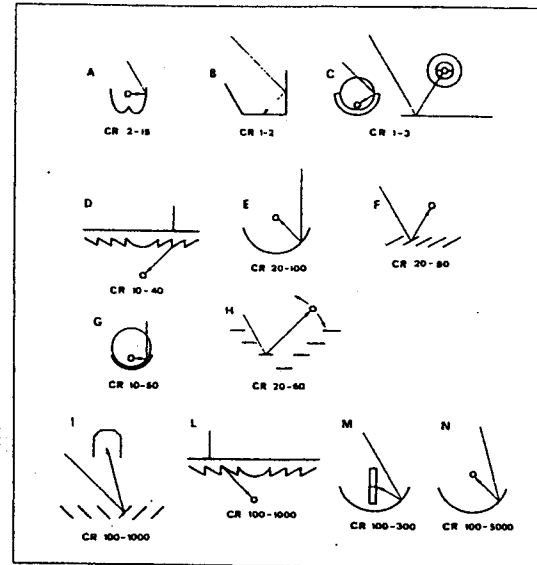
4. **Flessibilità operativa:** in genere è molto elevata. L'accumulo dei gas rinnovabili è poco conveniente.
 5. **Dati di base per dimensionamento di massima:** tipo di combustibile; requisiti per lo stoccaggio; tipo di utenza.
 6. **Conversioni più convenienti:** sono possibili tutte le conversioni energetiche.

CHIAVE DI LETTURA

- Principio di funzionamento:** indicazioni sulle modalità delle conversioni energetiche svolte dalla tecnologia.
- Tipologie impiantistiche:** descrizione delle caratteristiche tecniche, costruttive e operative della tecnologia.
- Efficienza di conversione:** indicazione sui valori di rendimento (rapporto tra energia utile prodotta ed energia entrante nel sistema) ottenibili con impianti realizzati a regola d'arte in relazione al tipo d'utenza.
- Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** vengono fornite informazioni circa le applicazioni più idonee e dei parametri indicativi utili per un primo dimensionamento.
- Vantaggi:** elenco dei principali aspetti positivi della tecnologia.
- Svantaggi:** elenco dei principali aspetti negativi della tecnologia.
- Costi:** indicazione sui valori unitari richiesti per l'installazione dell'intero impianto.
- Reperibilità della tecnologia:** viene specificato se la tecnologia è effettivamente disponibile a livello commerciale.
- Impatto ambientale:** sono elencate le principali interazioni della tecnologia con l'ambiente.

COLLETTORI SOLARI (produzione energia termica)

- Principio di funzionamento:** dispositivi che trasformano l'energia posseduta dalla radiazione solare in energia termica sotto forma di aria o acqua calda.
- Tipologie impiantistiche:** si hanno due tipologie costruttive:
 - Collettori piani:** per la trasformazione della radiazione nella sua intensità originaria. Disponibili nelle versioni ad acqua e ad aria in base al fluido termovettore usato. Sono composti dai seguenti elementi: 1 - assorbitore della radiazione solare; 2 - copertura trasparente; 3 - isolamento termico; 4 - contenitore. In alcune soluzioni costruttive, più o meno semplificate, gli elementi 2, 3 e/o 4 possono mancare.
 - Collettori concentratori:** per la trasformazione della radiazione concentrata su superfici limitate (l'area di captazione è maggiore dell'area in cui si attua la trasformazione energetica). Fluido termovettore: acqua o olio adiabatermico. Sono composti da: 1 - sistema ottico per concentrare la radiazione; 2 - ricevitore (assorbitore); 3 - sistema di puntamento (captano solo la componente diretta della radiazione); 4 - struttura di sostegno.
- Efficienza di conversione:** i collettori piani hanno una buona resa (aliquota di energia solare trasformata in energia utile) solo se lavorano a basse temperature:
 - c.p. ad acqua: 40-60 % (< 70°C)
 - c.p. ad aria: 35-50 % (incrementi di temp. < 15-20°C)
 Per i concentratori l'efficienza è anche influenzata dalle prestazioni del sistema di puntamento:
 - concentratori: 20-30 % (fino a temp. Max di 300°C)
- Applicazioni / prestazioni e dimensioni:**
 - Produzione di acqua (45°C): media annua di 45 l/m² giorno (con oscillazioni tra 60 e 10-20 l/m² giorno rispettivamente in estate e in inverno. Resa energetica equivalente (uso completo dell'energia): 50-60 kg di gasolio/m² anno.
 - Dimensionamento impianti: acqua calda sanitaria: 1 m²/persona



riscaldamento (30% rid. Cons. nel Nord Italia)

0,1 m² / m³ abit.

- Dimensionamento accumulato:

acqua calda sanitaria:

40-50 l/m²

riscaldamento

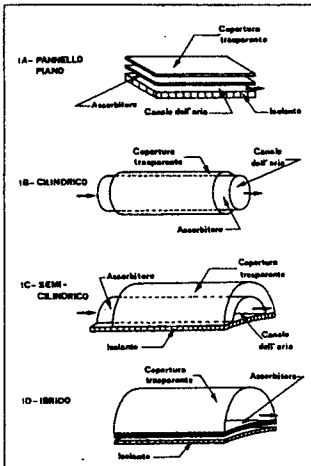
60-80 l/m²

5. **Vantaggi:** a) manutenzione limitata e funzionamento autonomo; b) possibilità di ricorrere a soluzioni impiantistiche semplificate; c) i sistemi ad aria per l'essiccazione dei prodotti non richiedono accumulato.

6. **Svantaggi:** a) i normali impianti termici vanno progettati in modo diverso da quelli tradizionali per ottimizzare l'uso dei collettori; b) non può essere garantita l'autonomia energetica, soprattutto per le utenze invernali; conseguente necessità di prevedere generatori di calore convenzionali da integrare all'impianto; c) necessità di accumulato dovuta al frequente sfasamento temporale tra offerta e domanda energetica; d) con collettori piani si opera a bassa temperatura e ciò limita le applicazioni; e) i concentratori offrono una disponibilità energetica ancor più legata alle condizioni ambientali (es. necessitano di cielo limpido).

7. **Costi:**

Tipi di collettori solari ad aria a bassa temperatura di semplice esecuzione



Nelle pagine a fianco da sinistra:

- Schemi tipici di collettori concentratori con indicatori i rapporti di concentrazione ottenibili. Concentratori stazionari o quasi stazionari concentratori parabolici composti (A), specchi piani di rinforzamento (B), tubi evasati (C).

Concentratori lineari con integrazione intorno ad un asse: lenze di Fresnel (D), cilindro-parabolici (E), specchi segmentati (F), dischi di plastica girevoli (G), specchi fissi a ricezione mobile (H), concentratori puntuali con integrazione su due assi: campo di specchi (I), lenze di Fresnel (L), semi-fotici (M), parabolici (N).

- Schemi tipici di collettori concentratori parabolici composti (CPC): lo schema E è il più sofisticato con due aperture trasparenti, sia per il riflettore che per l'assorbitore.

- coll. piani ad acqua: soluzioni commerciali classiche (moduli con assorbitore metallico): 0,8-1,2 Mtu/m^2 ; soluzioni semplificate: 0,3-0,4 Mtu/m^2
 - coll. piani ad aria (soluzioni semplificate per essiccatori): su edifici in costruzione: 0,08-0,10 Mtu/m^2 ; adattamento su edifici preesistenti: 0,10-1,15 Mtu/m^2 ;
 - coll. concentratori: di difficile determinazione, mancando una loro disponibilità commerciale.
8. **Reperibilità della tecnologia:** per i collettori piani: a livello commerciale (alla portata di qualsiasi impresa edile o idraulica); per i collettori concentratori: realizzazioni su ordinazione da parte di ditte specializzate.
9. **Impatto ambientale:** limitato a problemi estetici.

MICROTURBINE IDROELETTRICHE

1. **Principio di funzionamento:** dispositivi che trasformano l'energia idraulica di un corso d'acqua in energia elettrica. Sono costituite da una turbina idraulica con asse sempre collegato a un generatore elettrico (gruppo turbina-generatore). Il generatore può produrre corrente continua o alternata. In questo secondo caso possono essere previsti generatori sincroni o asincroni.
2. **Tipologie impiantistiche:** il termine micro-turbina si riferisce ad impianti di potenza elettrica < 100 kW. Si distinguono:
- a) turbine ad azione: tutta l'energia all'ingresso della girante è cinetica;
 - b) turbine a reazione: l'energia all'ingresso della girante è a tipo misto (pressione + velocità); in tal caso sono anche dotate di un diffusore che collega lo scarico della girante allo scarico finale. Esistono diversi modelli:
 - Turbine a elica o Kaplan (a reazione): adatte per bassi salti (0-20 m) ed elevate portate (>500 l/s)
 - Turbine Francis (a reazione): adatte per salti medi (15-150 m) ed elevate portate (100-1000 l/s)
 - Turbine Pelton (ad azione): necessitano di salti elevati (>50 m) e basse portate (<100 l/s)
 - Turbine Banki o a flusso incrociato (ad azione): adatte per salti da 1 a 100 m con portate >50 l/s (la portata attraversa la girante).
- Oltre al gruppo turbina-generatore un impianto completo prevede: a) sistema per il convogliamento dell'acqua alla macchina, formato - in generale - da opere civili (per deviare totalmente o parzialmente il corso d'acqua) e da una condotta forzata; b) sistemi per la regolazione elettronica e/o elettromeccanica della portata e dell'energia prodotta; c) eventuali ricoveri per i macchinari; d) linea elettrica di collegamento tra generatore e gruppi utenze.
3. **Efficienza di conversione:** il rendimento si misura come rapporto tra l'energia elettrica prodotta e l'energia idraulica entrante nel sistema. È dell'ordine del 65-75%.
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** tecnologia applicabile quando sia disponibile un salto idrico utilizzabile senza eccessive complicazioni; interessante per malghe isolate per le quali risultano sufficienti impianti di piccola taglia (<2 kW), facilmente rimovibili a fine stagione.
5. **Vantaggi:** a) tecnologia semplice e facilmente gestibile anche da personale non specializzato; gli interventi di manutenzione sono contenuti; b) flessibilità operativa molto elevata; c) possibilità di conseguire l'autosufficienza energetica.
6. **Svantaggi:** a) necessità di disporre di un salto idrico entro un raggio di 600 m dal centro di utilizzo; b) allestimento delle opere per il convogliamento dell'acqua spesso complicato e costoso; c) con generatori sincroni (dissipazione dell'energia in eccesso su carichi resistivi in acqua e/aria) o quando si desideri comunque produrre acqua calda si deve prevedere un serbatoio di accumulo;

- d) complessi e costosi iter burocratici per ottenere la concessione di derivazione delle acque e i permessi per la costruzione delle opere di presa.
7. **Costi:** variano molto in funzione del tipo di regolazione annesso al gruppo turbina-generatore e in funzione delle fasce di potenza: 8-10 Mtu/kW per potenze (P) < 1 kW; 3-6 Mtu/kW per $2 \leq P \leq 15$ kW; 0,8-1,5 Mtu/kW per $P > 30$ kW.
- In linea di massima di tali valori il 5-10% è da imputare al gruppo turbina-generatore; il 30-50% alle opere idrauliche; il 10-15% ai sistemi di regolazione e controllo; il 20-40% alle opere edili.
8. **Reperibilità della tecnologia:** a livello commerciale
9. **Impatto ambientale:** generalmente contenuto e limitato alla costruzione delle opere di derivazione della portata.

GENERATORI EOLICI

1. **Principio di funzionamento:** dispositivi che trasformano l'energia eolica in energia meccanica. Tale energia può essere utilizzata tal quale (es: pompaggio dell'acqua) oppure trasformata in energia elettrica mediante dinamo o alternatori.
2. **Tipologie impiantistiche:** si dividono in due classi:
- ad asse orizzontale, ove il numero di pale è inversamente proporzionale alla velocità di rotazione e alla coppia prodotta. I modelli a 1, 2, o 3 pale risultano adatti per la generazione elettrica, quello multipale per la produzione di energia meccanica;
 - ad asse verticale, come i modelli a coperce e Savonius (adatto per en. Meccanica); Darrieus ed Evans (adatti per generare en. Elettrica). Questi ultimi, a differenza di tutti gli altri, hanno parti in moto più veloci del vento.
- La generazione elettrica richiede impianti costituiti da: a) rotore (con dispositivo di regolazione per mantenere costante la velocità di rotazione); b) treno (blocco macchina per manutenzioni o velocità eccessive del vento); c) moltiplicatore di giri; d) generatore elettrico; e) sistema di orientamento (solo per macchine ad asse orizzontale).
- Inoltre, a seconda delle modalità di produzione dell'energia possono anche essere previsti un sistema di accumulo (batterie per produzione in corrente continua), un inverter e un dispositivo di controllo per limitare la potenza disponibile per le utenze (deviazione dell'energia su carichi resistivi).
3. **Efficienza di conversione:** ogni modello commerciale ha un funzionamento definito da tre velocità caratteristiche del vento: V1: velocità minima richiesta per mettere in rotazione le pale; V2: velocità alla quale la macchina inizia ad erogare la propria potenza nominale (rimane costante anche a velocità superiori); V3: velocità alla quale si arresta il funzionamento onde evitare possibili rotture per eccesso di sollecitazioni. Le migliori rese si ottengono quando la velocità è compresa tra V2 e V3. In teoria, il rendimento massimo (en. Meccanica / en. Eolica) è del 59% (criterio di Betz); in pratica esso varia tra il 10 e il 40% a seconda del tipo di rotore (più elevato nei sistemi ad alta velocità di rotazione).
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** tecnologie applicabili solo in zone in cui la velocità media annua del vento (V_m) è superiore a 5 m/s. In realtà, a seconda dei modelli, si ha un certo interesse pratico solo se $V_m > V_2$ per non meno di 3000 h/anno. L'energia eventualmente erogata ai carichi resistivi può trovare utile impiego nel riscaldamento.
5. **Vantaggi:** alcune macchine sono molto affidabili e richiedono una manutenzione limitata.
6. **Svantaggi:** a) bassa flessibilità operativa; b) necessità di accoppiare la tecnologia ad altri tipi di gene-

- ratori e a sistemi di accumulo, c) impianti ingombranti in rapporto alla potenza erogabile; d) costi elevati.
7. **Costi:** indicativamente 8-10 Mlit/kW di potenza elettrica nominale; più contenuti nella produzione di energia meccanica.
 8. **Reperibilità della tecnologia:** a livello commerciale.
 9. **Impatto ambientale:** rumorosità e problemi estetici.

MOTORI TERMICI VOLUMETRICI

1. **Principio di funzionamento:** l'energia di pressione sviluppata (in tempi ridotti) dalla combustione di una miscela aria/carburante viene trasformata in coppia motrice applicata ad un albero ruotante. Quest'ultima può essere utilizzata per azionare direttamente delle macchine o dei circuiti idraulici (produzione di energia meccanica) o dei generatori (produzione di energia elettrica). Se il calore di raffreddamento viene recuperato per fini produttivi, si parla di cogenerazione.
2. **Tipologie costruttive:** i motori più importanti sono quelli endotermici (Otto o Diesel), interessanti anche quelli a combustione esterna (a vapore, Stirling), che però non sono diffusi.
3. **Efficienza di conversione:** viene definita come rapporto tra energia prodotta ed energia di combustibile impiegato. Dipende dal tipo di motore, dal combustibile e dalla potenza sviluppata.
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** le applicazioni sono innumerevoli e strettamente legate al tipo di utenza finale.
5. **Vantaggi:** a) massima flessibilità operativa; b) possibilità di sviluppare anche potenze elevate; c) i motori Otto bene si prestano per l'utilizzo del gas biologico, del gas povero e degli alcool; d) i motori Diesel sono alimentabili con oli vegetali.
6. **Svantaggi:** a) necessità di una frequente manutenzione, da parte di personale specializzato; b) l'utilizzo di combustibili rinnovabili aumenta generalmente il fabbisogno di assistenza e riduce la vita dei motori endotermici.
7. **Costi:** indicativamente sono dell'ordine dei 0,1-0,3 Mlit/kW meccanico (valori medi validi per i soli motori, con esclusione di macchine e apparecchi accessori).
8. **Reperibilità della tecnologia:** ampia disponibilità commerciale con esclusione dei motori a vapore e Stirling (prodotti solo su ordinazione e a costi molto elevati).
9. **Impatto ambientale:** motori endotermici presentano il problema del rumore e delle emissioni. Da questo punto di vista risultano preferibili quelli a combustione esterna.

SISTEMI FOTOVOLTAICI

1. **Principio di funzionamento:** dispositivi che trasformano l'energia posseduta dalla radiazione solare direttamente in corrente continua (effetto fotovoltaico). Si basano sulla proprietà posseduta da particolari materiali (semiconduttori) di generare una forza elettromotrice quando colpiti da una fonte luminosa.
2. **Tipologie impiantistiche:** un generico impianto è costituito da:
 - a) uno o più moduli fotovoltaici (insieme di celle collegate fra loro)
 - b) sistema di accumulo (batterie elettriche)
 - c) condizionatore di carica, per evitare il ritorno della corrente ai collettori e la sovraccarica delle batterie.

La corrente prodotta può essere usata tal quale (utenze con motori a corrente continua) oppure trasformata in corrente alternata a mezzo di inverter.

3. **Efficienza di conversione:** è data dal rapporto tra energia elettrica prodotta e radiazione solare incidente: raggiunge valori massimi del 8-12% (media: 10%). È influenzata dall'intensità di radiazione e dalla temperatura ambiente. I costruttori dichiarano le prestazioni in corrispondenza di una radiazione di 1 kW/m² (potenza di picco, Wp).
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:**
 - 2 moduli da 40 Wp: piccolo impianto per usi domestici con frigorifero da 50 L, 4 lampade da 12 V, accumulo da 150 Ah;
 - oppure: sistema di pompaggio da 8,5 m³/giorno, con pompa sommersa da 24 V, accumulo da 50 Ah;
 - 4 moduli da 40 Wp: abitazione rurale con accumulo da 300 Ah, inverter da 250 V, utenze per consumo max di 0,5 kWh/giorno.

Energia resa in 1 giorno da un impianto di 1 m² (120 Wp): estate 0,4-0,5 kWh/giorno; inverno 0,25-0,30 kWh/giorno. Totale annuo: 120-140 kWh/m².
5. **Vantaggi:** a) tecnologia di facile applicazione e gestibile anche da personale non specializzato; b) preferibile il funzionamento integrato con altri tipi di generatori; c) per utenze complesse è d'obbligo l'impiego di un inverter; d) costi di installazione molto elevati.
6. **Svantaggi:** a) bassa flessibilità operativa; b) preferibile il funzionamento integrato con altri tipi di generatori; c) per utenze complesse è d'obbligo l'impiego di un inverter; d) costi di installazione molto elevati.
7. **Costi:** dell'ordine dei 12-16 Mlit/kWp.
8. **Reperibilità della tecnologia:** a livello commerciale sono disponibili moduli da 20-40-80 Wp.
9. **Impatto ambientale:** limitato a problemi di tipo estetico.

POMPE DI CALORE

1. **Principio di funzionamento:** sono macchine che, operando in base a un ciclo frigorifero, prelevano calore da un ambiente a temperatura T1 (ambiente freddo) e lo trasferiscono a un secondo ambiente a temperatura T2 (ambiente caldo), con T1 < T2. Gli estremi dell'intervallo di temperature adatte a queste macchine sono: T1 = -15 + -20°C; T2 = 60 + 65°C.
2. **Tipologie impiantistiche:** il ciclo frigorifero è realizzato attraverso i seguenti componenti: a) compressore; b) condensatore (cede calore all'ambiente caldo); c) valvola di laminazione; d) evaporatore (assorbe calore dall'ambiente freddo). La tipologia delle macchine si differenzia in base al tipo di fluido presente nell'ambiente freddo e in quello caldo: aria-aria; aria-acqua; acqua-aria; acqua-acqua. In alcune versioni (reversibili) la funzione dell'evaporatore e del condensatore possono essere scambiate.
3. **Efficienza di conversione:** indicata come rapporto tra potenza termica trasferita e potenza meccanica assorbita dal sistema (lavoro del compressore). Tale rapporto è denominato COP (Coefficiente di prestazione). Valori indicativi sono: aria-aria: 1,5-2,5; aria-acqua: 2,0-2,5; acqua-aria: 2,5-3,5; acqua-acqua: 3,5-4,5.
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** produzione di acqua sanitaria, di aria calda (riscaldamento ambiente) e acqua refrigerata (condizionamento ambiente); il dimensionamento dipende dal modello impiegato.

5. **Vantaggi:** a) alta efficienza della conversione dell'energia elettrica in energia termica; b) discreta flessibilità operativa; c) assenza di emissioni.
6. **Svantaggi:** a) applicazione limitata alla produzione di acqua calda a bassa temperatura (<60°C); b) nel caso di riscaldamento degli ambienti, non sono utilizzabili i comuni radiatori murali (da prevedere l'installazione di ventilconvettori o pannelli radianti); c) guasti frequenti nel caso di incostanti condizioni di funzionamento; d) costi elevati.
7. **Costi:** variabili a seconda dei fluidi usati negli ambienti a caldo e freddo. Indicativamente: 1-1,5 Mlit/kW elettrico (potenza compressore).
8. **Reperibilità della tecnologia:** a livello commerciale.
9. **Impatto ambientale:** limitato.

SISTEMI DI COMBUSTIONE

1. **Principio di funzionamento:** dispositivi che trasformano l'energia chimica dei combustibili in energia termica e che successivamente trasferiscono parte del calore sviluppato a un fluido (vapore, acqua, olio o aria). La trasformazione «energia chimica / calore» è detta combustione.
2. **Tipologie impiantistiche:** vengono classificate in base allo stato fisico del combustibile: gas, liquido o solido. Le soluzioni più semplici ed economiche sono disponibili per i gas. I combustibili solidi di tipo ligneo-cellulosico richiedono sistemi di alimentazione a volte complessi e studiati per determinate caratteristiche dimensionali dei materiali. In generale, sono consigliabili le seguenti versioni:
- a) per i combustibili liquidi e gassosi modelli ad alto rendimento (nel caso di gas di rete, interessanti le caldaie a condensazione). Con gas povero o biogas scegliere i modelli più affidabili, con possibilità di regolazione del rapporto aria/combustibile, prive di elementi in rame (o sue leghe) e facilmente ispezionabili.
- b) Per combustibili solidi: sistemi dotati di alimentazione automatica solo per potenze > 150 kW. Per potenze inferiori, sono interessanti le caldaie «a gassificazione» (es: quelle a doppia camera con tiraggio inverso per legna in tronchi caricata manualmente) che consentono una autonomia di carico fino a 12 ore.
3. **Efficienza di conversione:** è data dal rapporto tra l'energia termica prodotta e l'energia chimica del combustibile bruciato.
- caldaie per combustibili gassosi standard: 70-80%; ad alto rendimento: 85-95%; a condensazione: 95-98% (con parziale raffreddamento dei fumi);
 - caldaie per combustibili liquidi: standard: 70-75%; pressurizzate: 85-90%; per liquidi densi con bruciatori ad emulsione: 75-80%;
 - caldaie per combustibili solidi (<15-20% umidità): a caricamento manuale: 35-45% (50-65% se gassificatrici); a caricamento automatico: 60-80%.
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:**
- riscaldamento edifici: 3-4 W/m³ di abit.
 - produzione acqua calda sanitaria: 6-8 kW per 100 l/giorno (60°C)
5. **Vantaggi:** a) massima flessibilità operativa; b) nel caso di materiali ligneo-cellulosici reperibili in circuito corto può essere conseguita l'autonomia energetica da fonti fossili; c) possibilità di utilizzare il gas povero e il biogas.
6. **Svantaggi:** sono evidenti con le caldaie per biomasse: a) costi elevati (soprattutto in presenza di sistemi di alimentazione automatica); b) necessità di raccolta, trasporto e immagazzinamento (elevati volumi) del combustibile; c) richiesta di assistenza di manutenzione degli impianti; d) possibile

necessità di trattamenti del combustibile (addensamento, sminuzzatura, essiccazione).

7. Costi:

- caldaie per combustibili gassosi:	0,04-0,10 Mlit/kW
- caldaie per combustibili liquidi:	0,06-0,10 Mlit/kW
- caldaie per combustibili solidi:	0,10-0,20 Mlit/kW

(sono esclusi i costi dei sistemi di stoccaggio e degli edifici)

8. **Reperibilità della tecnologia:** per i modelli a gas e a combustibile liquido vi è un'ampia disponibilità commerciale che copre tutte le fasce di potenza. Disponibilità per i generatori a biomasse: a) buona per piccole potenze (10-80 kW) a caricamento manuale; b) scarsa per medie potenze (100-800 kW), soprattutto per quelle a caricamento automatico; c) discreta per le elevate potenze (800-10.000 kW), per lo più ad alimentazione automatica.
9. **Impatto ambientale:** legato soprattutto all'emissione di polveri, monossido di carbonio e sostanze condensabili. Il problema viene evitato con un corretto controllo del processo di combustione e con dispositivi di filtraggio dei gas. Altri problemi possono essere legati all'accumulo del combustibile e allo smaltimento delle ceneri.

DIGESTIONE ANAEROBICA

1. **Principio di funzionamento:** processo biochimico svolto da appositi batteri all'interno di reattori in assenza di ossigeno. Attua la demolizione della sostanza organica contenuta nei reflui zootecnici. Come prodotti finali si ottengono: a) miscela di gas (costituita per il 45-55% da metano) denominata biogas; b) biomassa con contenuto di sostanze volatili (SV) inferiore a quello iniziale. Sul processo influiscono diversi fattori:
- temperatura (ottimale: 25-35°C);
 - tipo di biomassa (contenuto in ST è SV; sua diluizione);
 - rapporto Carbonio / Azoto (ottimale: 20-30);
 - tempo di ritenzione (TR, durata del processo: 10-30 giorni).
2. **Tipologie impiantistiche:** si distinguono: a) impianti a caricamento ciclico totale (discontinuo); per letami. b) impianti a caricamento continuo. Tra le soluzioni più sperimentate si hanno:
- teli galleggianti per lagune: utilizzati per recupero del gas che si forma naturalmente sul fondo delle medesime; senza riscaldamento artificiale (costruzione e gestione: semplice);
 - digestori mono o multistadi: costituiti da uno o più reattori con agitazione delle deiezioni (costruzione e gestione: impegnative);
 - digestione per contatto: ottenuta con due reattori in serie (per la digestione e la decantazione dei fanghi da riciclare nel primo reattore) con agitazione delle deiezioni (costruzione e gestione: impegnative);
 - filtro anaerobico: i batteri si sviluppano e rimangono fissi sulla superficie di un supporto inerte; essi, quindi, non vengono eliminati con l'uscita dei reflui, consentendo di accelerare il processo. Adatto per liquami molto diluiti (costruzione e gestione: impegnative).
3. **Efficienza di conversione:** viene definita dal rapporto tra la produzione effettiva di gas e quella teorica (pari a 0,8 m³ di biogas per kg di SV integralmente degradata).
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** indicativamente si ottengono 10-20 m³/giorno di biogas per t di deiezioni tali quali (non diluite). Sono necessari circa 2 m³ di biogas per ottenere l'equivalente energetico di 1 kg di gasolio. Il gas può alimentare caldaie, motori endotermici, gruppi elet-

trogeni.

5. **Vantaggi:** la produzione della fonte energetica viene accoppiata ai normali processi per il trattamento dei reflui zootecnici (talvolta il biogas è semplicemente visto come sottoprodotto).
6. **Svantaggi:** a) il processo va mantenuto in continua attività (il suo avvio richiede anche mesi); b) flessibilità operativa mediamente bassa; c) produzioni elevate possono essere garantite solo con la termostatazione del substrato; d) stoccaggio del gas non conveniente; e) necessità di manodopera specializzata.
7. **Costi:**
 - digestori termostati: 1,5-3 Mlit/t di peso vivo
 - teli galleggianti (generatori esclusi): 0,12-0,15 Mlit/m² di area coperta coi teli (= 15-20% della superficie totale della laguna)
8. **Reperibilità della tecnologia:** presso ditte specializzate nel settore della depurazione.
9. **Impatto ambientale:** i reflui in uscita dal digestore devono subire un ulteriore trattamento aerobico.

SISTEMI DI GASSIFICAZIONE

1. **Principio di funzionamento:** trasformazione di un combustibile liquido o solido in un combustibile gassoso (denominato gas povero per il suo basso potere calorifico). Per le applicazioni agricole o rurali risulta interessante la gassificazione dei combustibili solidi. Si attua con una ossidazione incompleta (impiego di aria comburente in quantità pari al 10-15% di quella stechiometrica) ad elevate temperature (900-1500°C).
2. **Tipologie impiantistiche:** il processo avviene all'interno di dispositivi denominati gassificatori, che possono essere:
 - a) a letto fisso: semplici e adatti per impianti di piccola potenza. A loro volta distinguibili in equi- e controcorrente, a seconda del movimento reciproco tra combustibile e gas prodotto;
 - b) a letto fluido: adatti solo per medie ed elevate potenze: richiedono combustibile affinato in modo tale da rimanere in sospensione durante il processo.
3. **Efficienza di conversione:** nelle soluzioni a letto fisso il gas prodotto contiene circa il 60-75% dell'energia chimica del materiale di partenza (con una umidità del combustibile del 10-15%).
4. **Applicazioni / prestazioni e dimensioni:** si attua quando sono necessarie le caratteristiche operative dei gas (es.: alimentazione di motori endotermici) a fronte della disponibilità di combustibili di scarso pregio (residui vegetali secchi). Il gas prodotto può alimentare caldaie, motori endotermici, gruppi elettrogeni.
5. **Vantaggi:** a) accettabile flessibilità operativa; b) possibilità di produrre energia elettrica in zone isolate.
6. **Svantaggi:** a) difficoltà di automazione; b) il combustibile deve avere caratteristiche, dimensioni e umidità costanti; c) sensibile richiesta di manodopera: 0,5 ore per accensione + 1-2 ore/giorno per controlli e manutenzione; d) scarsa adattabilità per utenze discontinue; e) per applicazioni motoristiche è necessario depurare il gas; f) stoccaggio del gas non conveniente.
7. **Costi:** ampiamente variabili a causa delle scarse applicazioni. Indicativamente: 0,8-3,0 Mlit/kW elettrico (nel caso di abbinamento del sistema ad un gruppo elettrogeno).
8. **Reperibilità della tecnologia:** dispositivi realizzati solo su ordinazione di ditte specializzate.
9. **Impatto ambientale:** problemi legati alla presenza delle emissioni tipiche dei motori endotermici e allo smaltimento delle acque di lavaggio del gas. Funzionamento rumoroso.