

# UNIVERSITA' DELLE TRE ETA' GIAVENO

## CORSO D'IMPIANTI ELETTRICI .

*Produzione domestica di elettricità . Energia EOLICA e Eolica domestica .*

LEZIONE 1 . Come funziona e perché. *Premessa.*

Dopo aver trattato la produzione di energia elettrica da fotovoltaico in questo nuovo incontro ci occuperemo della produzione elettrica mediante sistemi diversi ugualmente considerati ad energia pulita.

### **Energia dal vento o eolica**

Il vento è uno spostamento di una massa di aria da una zona di alta pressione verso una zona di bassa pressione ed essendo un movimento di una massa di aria esso possiede una energia di movimento ,detta



cinetica. Questa energia permette al vento di sviluppare una forza sugli oggetti che incontra sul suo percorso . Tale forza si manifesta in spostamento degli oggetti liberi nella direzione di movimento dell'aria . Questa proprietà fu da tempi remoti utilizzata per gonfiare le vele delle navi e permettere la navigazione sul mare in

alternativa ai remi mossi dal lavoro umano degli schiavi . Già nel secondo



millennio avanti Cristo nella civiltà cretese veniva usato il mulino a vento formato da una ruota sulla quale venivano poste delle vele triangolari e la spinta del vento metteva in rotazione la ruota intorno al proprio asse . Su tale asse la forza di spostamento della massa d'aria veniva trasformata in forza e quindi potenza meccanica di rotazione e trasmessa mediante organi meccanici per mettere in

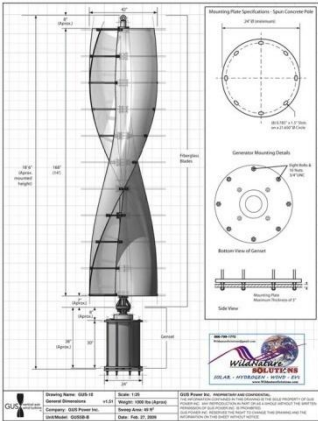
movimento ruote di pietra per macinare i cereali, le olive , frantumare il sale , pompare acqua dai pozzi . Il vento era, ed è tutt'ora, una fonte di energia . L'utilizzo della forza del vento come fonte di energia nei secoli ha permesso all'uomo di migliorare sempre più l'efficienza dei mulini secondo le varie esigenze , dalla ruota cretese ai mulini olandesi usati per pompare acqua di mare dalle terre sommerse .



In tutto il vento nei secoli è stato utilizzato per fornire potenza meccanica alle macchine costruite ed utilizzate dall'uomo . E la configurazione dei rotori era per lo più identica e denominata ad asse di rotazione orizzontale ,mentre il piano di rotazione delle pale era mantenuto perpendicolare alla direzione del vento mediante delle banderuole di dimensioni opportune . Fino al 1925 i rotori a vento erano tutti ad asse orizzontale , in quest'anno un inventore finlandese di nome Savonius brevettò un rotore a vento ad asse verticale .

Successivamente anche un inventore francese di nome Darrieus brevettò un rotore , d'ora in poi useremo la parola eolico dal dio greco del vento Eolo , ad asse verticale . La differenza tra le due turbine è che quella Savonius presenta una buona meccanica anche a bassi numeri di giri , è auto rotante e non necessita di orientamento alla direzione del vento. Invece la turbina Darrieus è una turbina veloce con un'alta velocità di rotazione alla quale raggiunge la potenza

meccanica di funzionamento . Non si attiva autonomamente ma ha bisogno di essere innescata . Normalmente nei piccoli impianto viene abbinata ad una turbina Savonius che ha funzione di avviamento ,per poi girare autonomamente quando prende velocità .

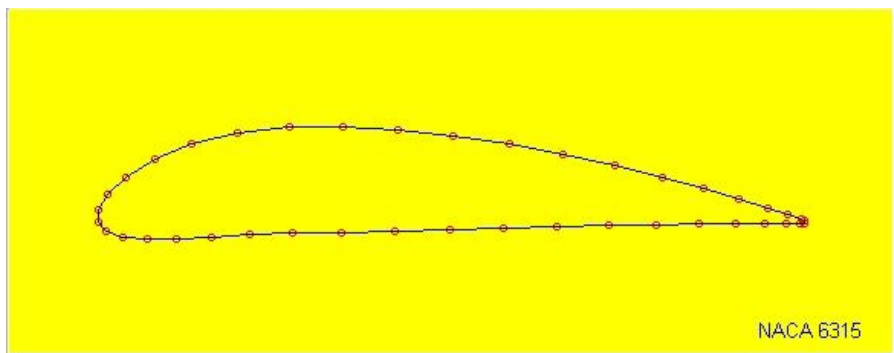


La turbina Savonius è essenzialmente formata da due semi cilindri fissati in contrapposizione ad un albero meccanico di rotazione . I modelli costruttivi sono molto vari ma si basano tutti sullo stesso principio di funzionamento . Abbiamo

configurazioni a semi cilindri , a calotta sferica , a doppia elica verticale ,ecc... Le turbine Darrieus presentano due ,tre o quattro lamine piane o ad



elica avente un profilo simile alle ali di aeroplano che permette di trasformare l'energia cinetica del vento in energia meccanica sull'albero sfruttando la portanza aerodinamica come quella che fa volare gli aerei .

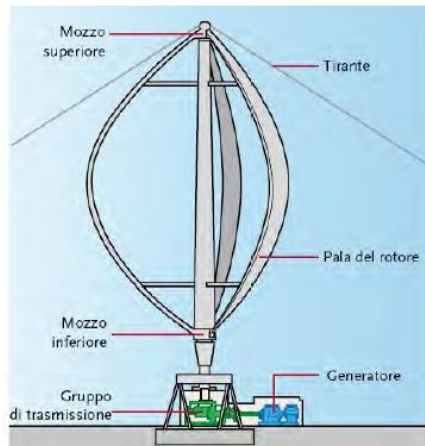


La potenza posseduta dal vento che si presenta come una forza di spinta su una superficie ,sia piana che cilindrica dipende dalla massa dell'aria e dalla sua velocità .

Le tipologie di costruzione dei rotori eolici attuali sono principalmente ad asse orizzontale seguita da quella ad asse verticale tipo Darrieus e Savonius .



*Rotore asse orizzontale*



*Rotore asse verticale Darrieus*



*Rotore asse verticale Savonius*

Gli studi di riferimento per determinare quanta potenza si può ricavare si riferiscono ai risultati di due scienziati tedeschi Grashoff e Betz . Gli studi di Grashoff si applicano per determinare la forza che agisce sulle superfici piane per ogni  $m^2$  secondo la relazione  $P = 0,122 * v^2$  .

Prendendo in esame un metro cubo di aria , esso ha la massa di 1,22 kg e la velocità del vento espressa in metri al secondo **ms** elevata al quadrato. Se la velocità è di 1 ms rapportata alle unità di misura usuali avremo 3,6 kmh , essendo 1 ora formata da 3600 sec. , 10 ms corrispondono quindi a 36 kmh e così via. Per esempio un vento di 36 kmh eserciterà una forza di spinta su una superficie piana di  $12,2 \text{ kg}/m^2$ , mentre un vento a 72 kmh eserciterà una forza di spinta di  $48,8 \text{ kg}/m^2$  . Questi valori sono solitamente applicate nello studio delle costruzioni di edifici, ponti, tralicci di linee elettriche . Nelle applicazioni delle costruzioni dei rotori eolici si fa riferimento alla teoria di Betz . Applicando la formula dell'energia cinetica

$$P = \frac{1}{2} A * d * C_p * v^3$$

La A è la superficie di un rotore eolico ad asse orizzontale o ad asse



verticale ,  $d$  è la densità dell'aria mediamente  $1,23 \text{ kg/m}^3$  , ma varia se è secca o umida ,  $C_p$  è il coefficiente di Betz costante che vale  $0,59$  ,  $v$  è la velocità del vento in  $\text{ms}$  . La costante di Betz indica che solo il 59% di tutta l'energia posseduta dal vento viene convertita in energia meccanica sull'albero del rotore. Se così non fosse il flusso d'aria che attraversa il



rotore cedendo tutta la sua energia al rotore stesso si fermerebbe appena dopo creando un muro d'aria che impedirebbe al flusso successivo di passare ;quindi non passando non spingerebbe il rotore e questo si fermerebbe di colpo. Conservando il 41% dell'energia il flusso d'aria continuerà a scorrere attraverso il rotore consentendo il continuo funzionamento . l' area  $A$  per un rotore ad asse orizzontale è data da  $R^2 * \pi$  ; mentre per un rotore Savonius o Darrieus è data da  $2H \pi R$  dove  $H$  è l'altezza del rotore .

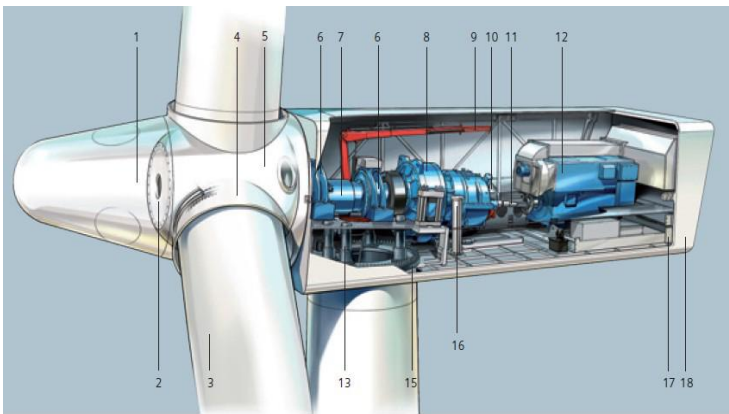
Tra le due forme attribuite ai rotori eolici quella ad asse orizzontale è



risultata la più efficiente in termini di potenza convertita e pertanto presenta la configurazione della maggior parte degli impianti di grosse dimensioni , mentre le turbine ad asse verticale vengono usate per rotori di piccola potenza non superiore ai  $100\text{kW}$ .

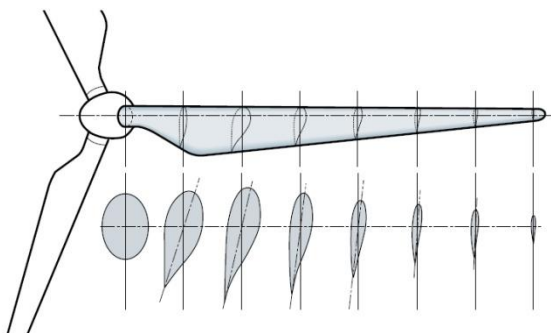
I rotori ad asse orizzontale si presentano in conformazione ad elica con un albero motore centrale sul quale sono ancorate

le pale dell'elica , da una a 6 pale solitamente , ma nella maggior parte degli impianti viene adottata l'elica a tre pale , avente un buon rapporto tra il peso stesso e l'efficienza di conversione fornita . La tipica conformazione si presenta con un traliccio o una torre cilindrica sulla cui sommità è alloggiato il generatore di corrente elettrica all'interno del contenitore detto **navicella** .

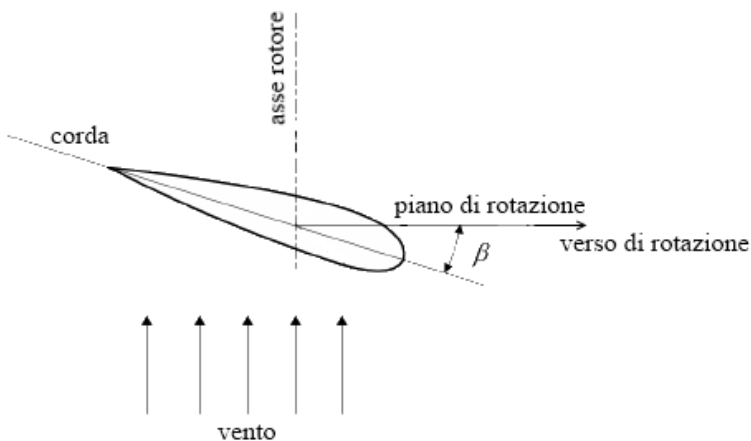


La navicella può assumere piccole dimensioni per impianti di piccola taglia oppure grandi dimensioni , abitabili , per impianti di grossa taglia .

La navicella posta sulla sommità della torre portante ospita gli organi meccanici del moltiplicatore di giri , orientamento dell'inclinazione delle pale , generatore elettrico e regolatore di fase e frequenza. All'interno della navicella si accede dall'interno della torre mediante scala o montacarichi . Alla base della torre trova alloggio il quadro elettrico di misura , protezione e connessione alla rete .



A prescindere dalle dimensioni, da 1 metro a 115 metri , la pala dell'elica è costruita facendo assumere un profilo aerodinamico con larghezza e spessore variabile . All'attacco sul mozzo è a sezione cilindrica , si allarga notevolmente per poi assottigliarsi via via sull'estremità. Normalmente la pala è vuota all'interno per contenere al minimo possibile il suo peso , per forma e robustezza , il materiale utilizzato è il vetroresina come gli scafi delle imbarcazioni .



Il profilo aerodinamico delle pale permette la più elevata efficienza possibile di conversione la spinta di rotazione è sempre trasversale alla direzione di spostamento del vento . Ciò vale per le tre tipologie di costruzione dei rotori . La

larghezza e spessore delle pale è determinata dal fatto che essendo tutto il rotore interessato dal medesimo flusso d'aria dal centro di rotazione alla estremità del cerchio la forza di spinta è la medesima ma il momento che determina la conversione da spinta lineare a rotazione dell'albero motore dipende dalla distanza del punto dal centro di rotazione , per cui se la larghezza della pala fosse identica per tutta la lunghezza l'estremità svilupperebbe un momento maggiore ,cioè una coppia meccanica , rispetto al centro ,attacco della pala sull'albero , e questo comporterebbe una forza di flessione anomala che distruggerebbe la pala . Per questo fenomeno la larghezza e spessore della pala è via via sempre più piccola in modo che il momento meccanico risulti identico per tutta la lunghezza della pala e la forza di flessione risulti nulla .

Gli impianti di grossa taglia possono essere situati sia sulla terra ferma che in mare aperto . La scelta del sito dipende dalla presenza di vento più o meno costante per tutto l'anno . Un rotore inizia a entrare in rotazione per venti superiori a 3,9 m/s , cioè 14 km/h e viene mantenuto in produzione fino a 16 m/s, cioè 57,6 km/h , oltre questa velocità del vento la rotazione fa sorgere delle sollecitazioni dannose sugli organi di rotazione che distruggerebbero l'intero impianto , tipo oscillazioni delle torre di sostegno e comunque la potenza elettrica convertita non varia . Per questo le navicelle sono dotate di strumenti di misura della velocità

del vento detti ***anemometri***.



Quando la velocità è inferiore a 3,9 ms l'impianto viene sconnesso dalla rete di trasporto , quando invece la velocità è superiore a 16 ms l'impianto viene sconnesso ed i morsetti di connessione vengono chiusi in corto circuito per cui il rotore viene bloccato ed impedito di ruotare. Per la scelta del sito ci si avvale delle cartine topografiche della ventosità della regione interessata , ecco

alcuni esempi , [carta ventosità del Piemonte](#) , [carta ventosità della Puglia](#),  
[Atlante eolico Puglia pag.145](#) .

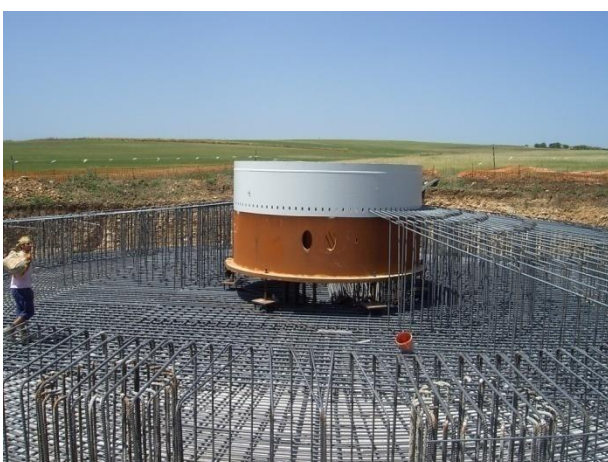
Per motivi di sicurezza la parte inferiore del rotore non deve trovarsi a distanza inferiore di 20 m dal suolo , anche perché la forza del vento varia in altezza 0 a livello del suolo e grande a quote alte . Le carte topografiche di riferimento vengono disegnate per altezze da 25 ,50, 75,100 metri.

[EOLICO DOMESTICO ASSE ORIZZONTALE 20kW IMMAGINE](#)

[EOLICO DOMESTICO ASSE ORIZZONTALE 20kW DATI TECNICI](#)

[EOLICO DOMESTICO ASSE VERTICALE 2 kW IMMAGINE](#)

[EOLICO DOMESTICO ASSE VERTICALE 2 kW DATI TECNICI](#)



Attualmente sulla terra ferma la massima lunghezza del raggio di un rotore è di 115 m ,per cui la navicella si troverà a 135 metri di altezza sulla sommità della torre di sostegno interessando l'area in altezza di 250 metri dal suolo ed in larghezza di 230



metri orizzontali per una potenza elettrica di 20 MW. Dopo gli studi di fattibilità ,progetto e autorizzazioni concesse si passa alla fase costruttiva. In base alle dimensioni il basamento di appoggio riveste un'importanza basilare come si evidenzia nelle seguenti immagini riferite ad un impianto di 2,5 MW .





### Montaggio di una torre eolica

### Fasi di montaggio di un rotore di grandi dimensioni

### Interno di una torre di sostegno



### Rotore il movimento

### Parco eolico ed impatto ambientale

La dimensione delle torri eoliche dipende dal tipo di generatore che viene scelto di installare e relativa potenza elettrica massima ottenibile .

### *Rotore terrestre (On Shore)*





*Rotore in mare aperto (off shore)*



*Sostegno sottomarino*

I generatori per grossi impianti sono per lo più macchine a lenta rotazione per cui il numero di giri al minuto determina la scelta costruttiva in numeri di coppie di poli magnetici per mantenere costante la frequenza della corrente elettrica che nel sistema elettrico non deve discostarsi dal

valore di 50 Hz . La relazione  $N = 50 \cdot 60 / p$  indica la velocità di rotazione da attribuire al rotore del generatore , 50 è la frequenza in Hz , 60 è il numero di secondi in un minuto , p il numero di coppie polari . Da ciò si ricava che un generatore con una sola coppia di poli ( nord e sud) deve girare a 3000 giri al minuto per ottenere la frequenza di 50 Hz . Con 24 coppie di poli la velocità si riduce a 125 giri/min , mentre con 48 coppie di poli risulta di 62,5 giri/min, se le coppie di poli sono 96 la velocità di rotazione risulta di 31,25 giri/min.



Per ottenere questi valori ci si avvale di ingranaggi meccanici moltiplicatori di giri . Anche la regolazione dell'inclinazione delle pale rispetto alla direzione del vento ed alla sua velocità contribuisce ad ottenere il massimo della potenza elettrica a quelle condizioni . Negli impianti di piccola taglia molto spesso è utilizzato un generatore di corrente continua e la conversione in corrente alternata è eseguita

mediante inverter . Questa soluzione semplifica di molto la costruzione del generatore eolico in quanto non necessita di regolazione meccanica del numero di giri /min, ed il rotore non necessita di variare l'inclinazione delle pale .

Gli impianti di piccola taglia si prestano ad essere installati sui tetti delle



abitazioni o sul piano del terreno , sono indicate le configurazioni semplici tipo Savonius o Darrieus che come si è detto non necessitano di sistemi di orientamento . Si stanno affermando installazioni lungo le strade urbane ed autostrade





,dove lo spostamento dell'aria causato dal traffico veicolare può essere sfruttato per alimentare rotori ad asse verticale ed alimentare così gli impianti di segnalazione in alternativa o in abbinamento agli impianti fotovoltaici .

Per impianti domestici i generatori possono essere a corrente continua o in corrente alternata oltre i 500 W , sia in monofase che in trifase. Per i grandi impianti i generatori possono essere alternatori sincroni o generatori asincroni secondo la tecnologia adottata dal costruttore. I generatori asincroni sono più semplici da costruire ma più complicati da gestire in quanto per generare corrente hanno bisogno di essere portati a velocità superiori alla velocità di sincronismo secondo il numero di coppie polari con cui sono costruite. Gli alternatori sincroni invece hanno bisogno di un generatore di eccitazione per creare il campo magnetico necessario. I piccoli alternatori sincroni di solito a magneti permanenti . Il rendimento globale di un impianto eolico risulta dal prodotto del rendimento del rotore ,rendimento meccanico ,rendimento elettrico .

## **Premessa.**

### ***L'energia dal mare***

Convertibile in energia elettrica grazie alla forza prodotta dai movimenti dell'acqua generati dalle maree, l'energia del mare si presenta sotto varie forme. Le più diffuse sono:

Energia delle correnti marine: viene prodotta meccanicamente grazie alle pale azionate dalla forza delle correnti oceaniche, come avviene per l'energia eolica;

Energia **cimoelettrica** (o energia delle onde): è quella prodotta dal moto ondoso e consiste nella conversione dell'energia cinetica delle onde in corrente elettrica;

Energia **talassotermica**: è l'energia prodotta dalla variazione di temperatura tra la superficie marina e l'acqua in profondità;

Energia **osmotica**: nota anche come energia a gradiente salino, viene ricavata dalla differenza nella concentrazione del sale fra l'acqua marina e l'acqua dolce;  
ENERGIA cinetica delle Correnti marine e maree.

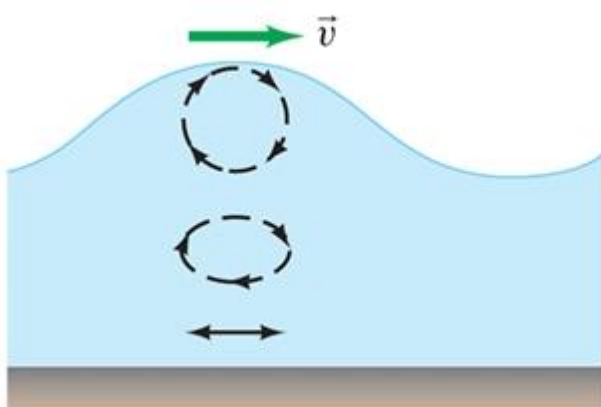
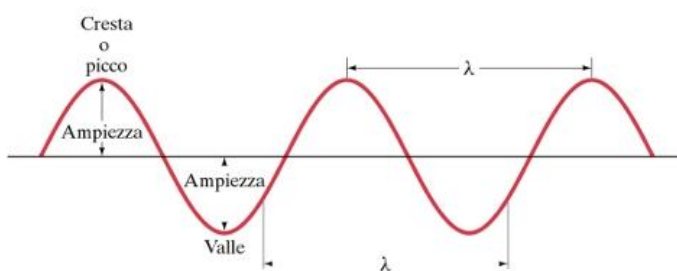
## LEZIONE 2 –

- *Produzione elettrica dal moto ondoso .*

Il pianeta Terra è coperto in superficie per i due terzi dal mare e per un terzo dalle terre emerse . Dal mare provengono tutti i fenomeni meteorologici che interessano le attività degli esseri viventi sulle terre emerse a causa del riscaldamento proveniente dal Sole . La superficie del

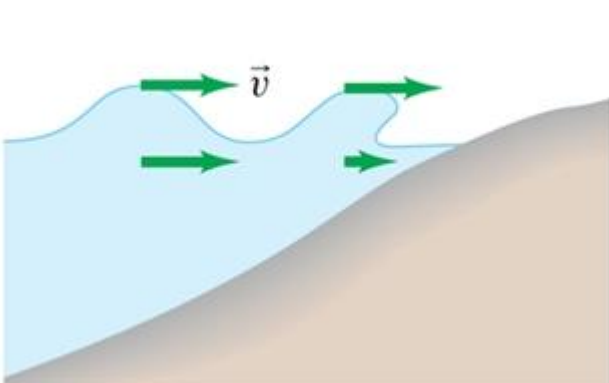
mare e dei grandi laghi è interessata dall'azione del vento che ne increspa la superficie generando il movimento a onda . Le particelle di acqua subiscono

un movimento rotatorio sullo stesso punto ,ma non si spostano orizzontalmente . Si spostano invece le onde d'urto tra le particelle nella direzione del vento che le ha provocate .





In mare aperto la forma dell'onda è pressoché regolare con increspatura superficiale . In prossimità delle coste a causa dell'attrito del fondo marino le onde subiscono una deformazione tumultuosa . Queste onde scaricano la loro energia sulla costa



provocandone l'erosione.

Questa energia di movimento verticale dal basso verso l'alto e viceversa può essere sfruttata in vario modo per generare potenza meccanica e da essa generare corrente elettrica muovendo dei generatori . I sistemi di generazione dal moto ondoso sono molteplici . Molti in fase concettuale ed altri in fase di sperimentazione .

Nell'immagine vediamo un dispositivo oscillante spinto dalle onde nei due

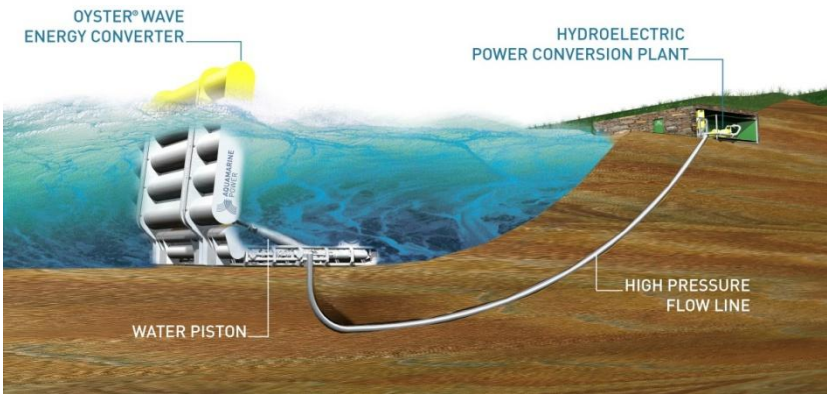


sensi al quale è fissato un sistema di pompe a pistoni che spinge l'acqua ad una pressione alta all'interno di una condotta idraulica alla cui terminazione viene posizionata una turbina che mette in movimento un generatore , analogamente alle centrali idroelettriche posizionate in



prossimità delle dighe nelle valli alpine.

Un sistema in fase di elaborazione si avvale di una piattaforma che ospita



il generatore . Una serie di galleggianti ancorati a dei bracci basculanti sono mossi in senso verticale dal basso verso l'alto e questo movimento mette in rotazione un albero motore collegato al rotore di un alternatore convertendo l'energia del moto ondoso in energia elettrica .



Sistema Pelamis a galleggianti . Su strutture galleggianti vengono posizionati dei contenitori stagni

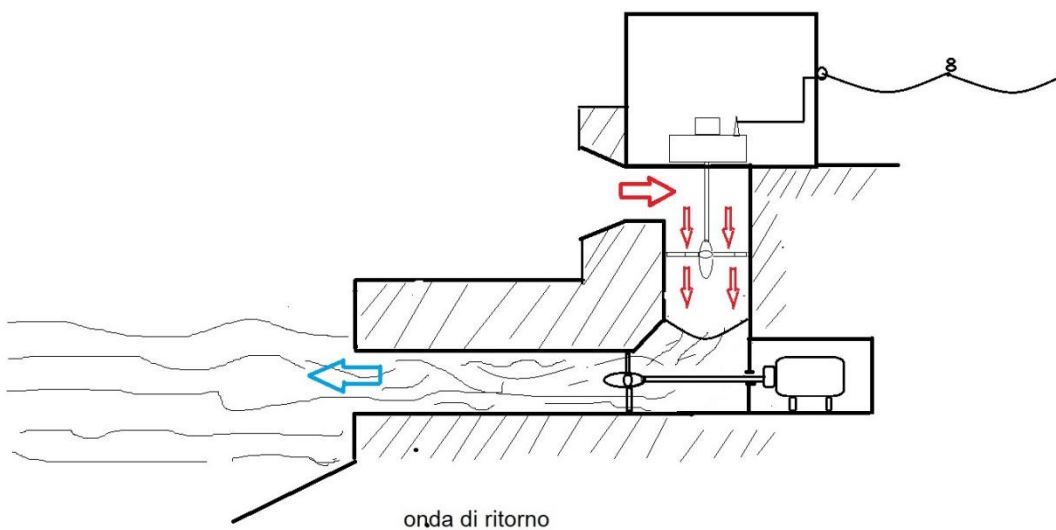
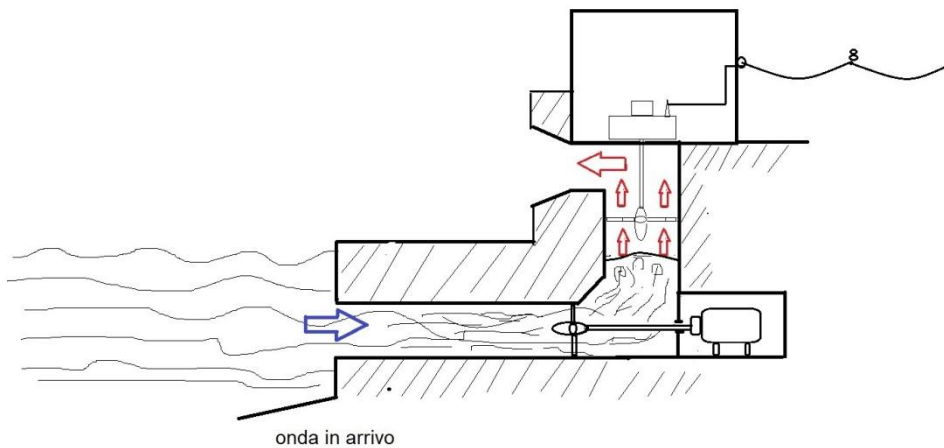


ancorati a dei bracci al corpo principale ed ad un sistema di biella che cambia il movimento alternato in movimento rotante trasmesso ad un albero motore connesso ad un generatore elettrico . Altri sistemi hanno il contenitore galleggiante in movimento verticale ed attraverso

delle guide dentate trasmettono il movimenti oscillante in movimento

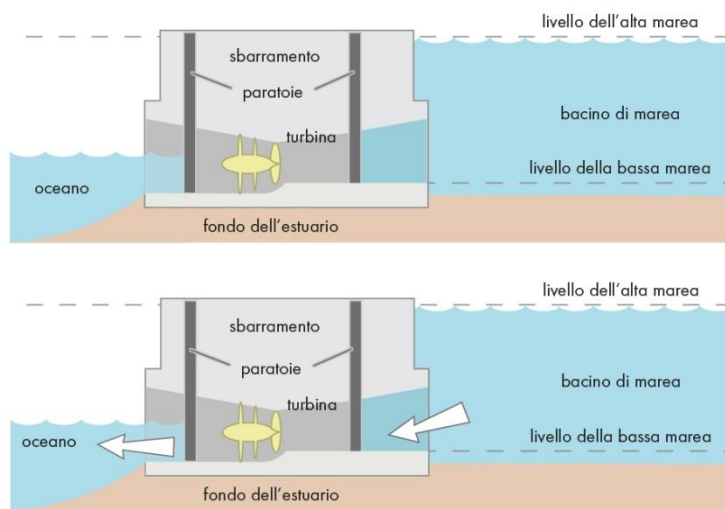


rotatorio di un albero motore . Sulle coste particolarmente interessate da onde marine di notevole persistenza e dimensioni sono state costruite strutture con gallerie appena sfioranti il livello del mare alla cui terminazione sono installate turbine idrauliche tipo Wells o ad aria funzionanti con lo stesso principio. Le turbine Wells hanno la caratteristica di mantenere lo stesso verso di rotazione dell'albero motore sia se il flusso di acqua o aria è in entrata dal mare e sia se è in uscita verso il mare .



## LEZIONE 3 . Energia dalle maree

Il fenomeno delle maree consiste nell'innalzamento o abbassamento del livello del mare a causa dell'attrazione gravitazionale che Luna esercita verso la Terra e che si manifesta visivamente con l'innalzamento del livello del mare in quelle aree geografiche di fronte alla posizione della Luna, ed abbassamento corrispondente dalla parte opposta . Per l'effetto

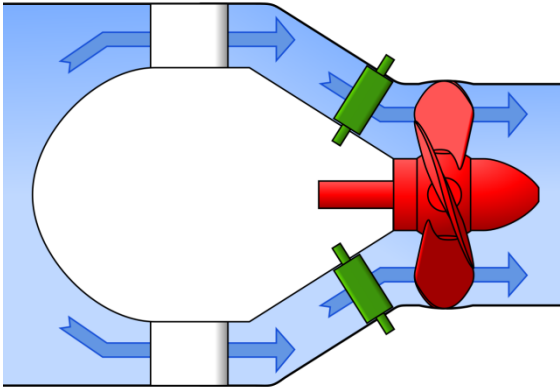


Schema di funzionamento di un generatore mareomotrice

della rotazione della Terra sul proprio asse le aree geografiche esposte cambiano di continuo . In alcune aree come nel nord Europa il fenomeno dell'alta e bassa marea si presenta ogni 6 ore ,nelle 24 ore avremo due alte maree e due

basse maree a determinate ore precise . La differenza di livello del mare tra il punto di bassa ed il punto di alta può raggiungere i 7metri ,come avviene in Normandia ,Mont Saint Michel, Saint Malò. In corrispondenza di aree di costa molto basse o foci di fiumi a estuario l'acqua del mare può penetrare all'interno del terreno per diversi chilometri in fase di alta marea ,mentre ritorna al mare in fase di bassa marea. Questo fenomeno viene sfruttato per produrre energia elettrica dal flusso di spostamento dell'acqua nei due sensi. A volte si costruiscono veri e propri bacini artificiali che si riempiono e si svuotano con l'alta e la bassa marea , ma è più vantaggioso e rispettoso per l'ambiente l'utilizzo di aree lagunari naturali ,dove sul canale di collegamento con il mare si posiziona lo sbarramento che contiene le turbine, in questo caso tipo Wells oppure tipo Kaplan . La turbina Kaplan dovrà essere del tipo ad eliche orientabili

secondo la direzione del flusso della corrente marina .



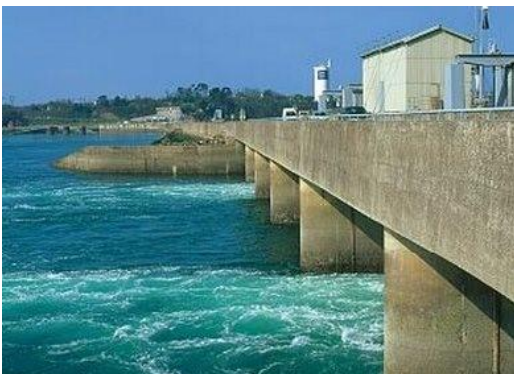
Turbina Kaplan a bulbo



*Sbarramento sul canale di collegamento della laguna*

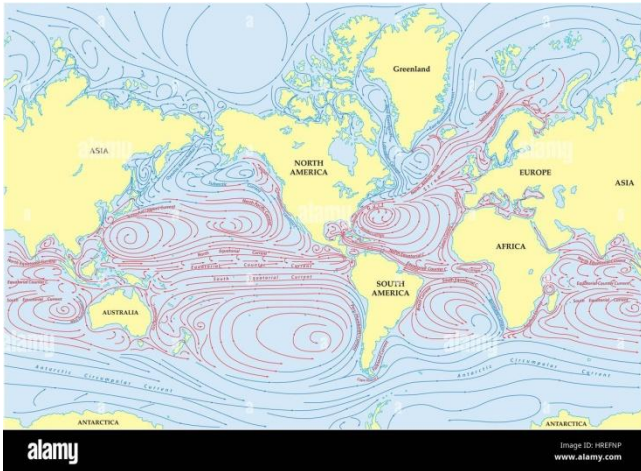


*Sbarramento sui fiumi*



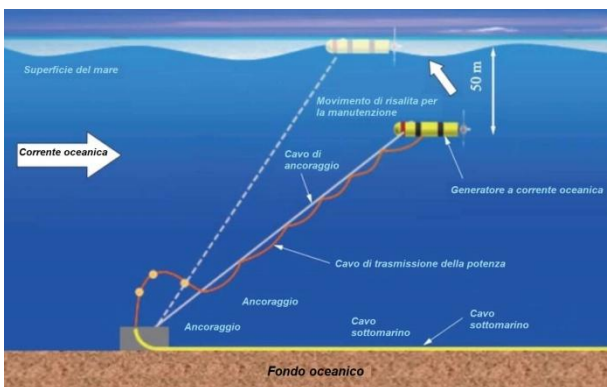
*Esempio di sbarramento*

## Energia delle correnti marine

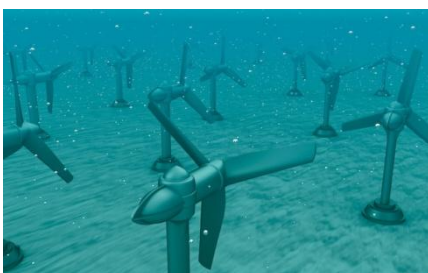


Gli oceani ed i mari interni in tutto il mondo sono interessati da spostamenti di masse d'acqua analogamente all'aria nell'atmosfera. Sono le così dette correnti marine, che quasi sempre influenzano il clima dei paesi costieri che vengono toccati da tale correnti. Esse possono avere

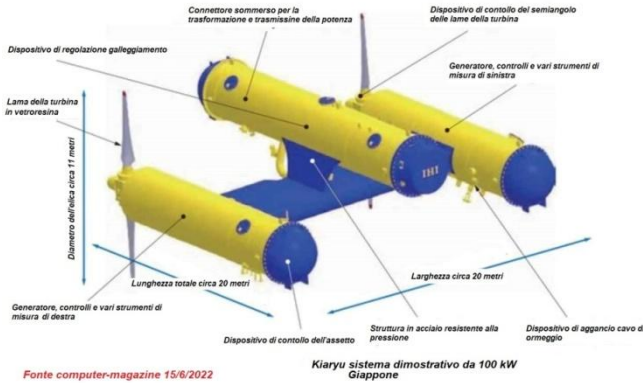
diverse temperature dell'acqua che nei grossi sistemi oceanici solitamente si vogliono distinti in correnti calde e correnti fredde. E' nota la corrente calda del Golfo, che partendo dal golfo del Messico attraversa l'Oceano atlantico e tocca le coste dal Portogallo alla Gran Bretagna e Norvegia, mitigando il clima dei paesi del Nord Europa che per la latitudine dovrebbe essere più freddo, Al contrario la corrente fredda del Labrador scende lungo le coste del Nord America raffreddando il clima che per la latitudine dovrebbe essere più mite. Nell'Oceano Pacifico per la



sua vastità si presentano numerose correnti. Il Nino (nigno) che dall'Australia va a lambire le coste dell'Alaska e la Nina (nigna) che sempre dall'Australia lambisce le coste





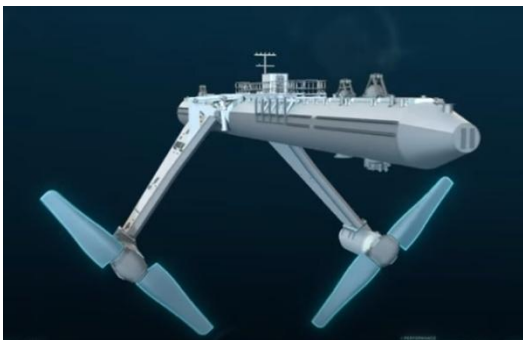


Fonte computer-magazine 15/6/2022

Kiaryu sistema dimostrativo da 100 kW Giappone

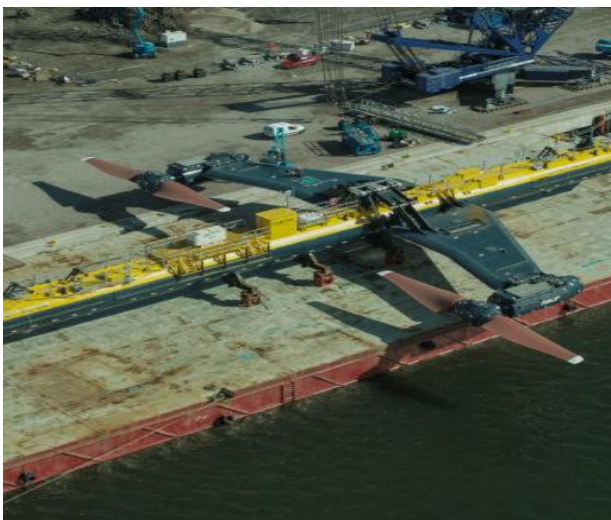
dell’America del sud fino alla Terra del fuoco , la più imponente corrente oceanica è il Kuroshio che passa vicino al Giappone . Queste imponenti correnti oceaniche offrono grandi possibilità di sfruttamento per

produrre energia elettrica praticamente in modo inesauribile a costo 0 di combustibile e 0 emissioni . L’impianto galleggiante Kiaryu è un prototipo



di piccole dimensioni da 100kW che offre l’opportunità di studiare le potenzialità di queste correnti per installare grandi generatori .

La Orbital in Inghilterra costruisce e installa sistemi galleggianti con due turbine a elica bipala dalle ottime prestazioni . In Brasile la TidalWatt installa turbine sottomarine simili alle turbine eoliche .



Orbital



TidalWatt

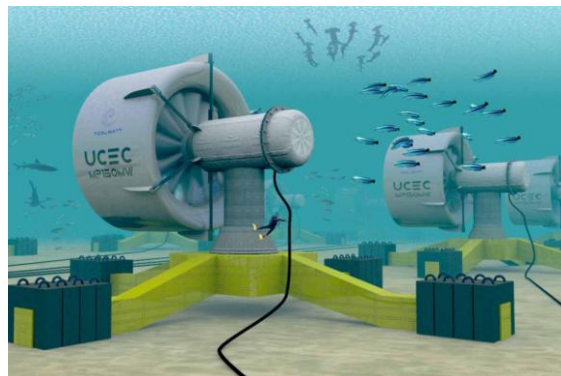
**LEZIONE 4 *Impianti di produzione costieri e previsioni future.***

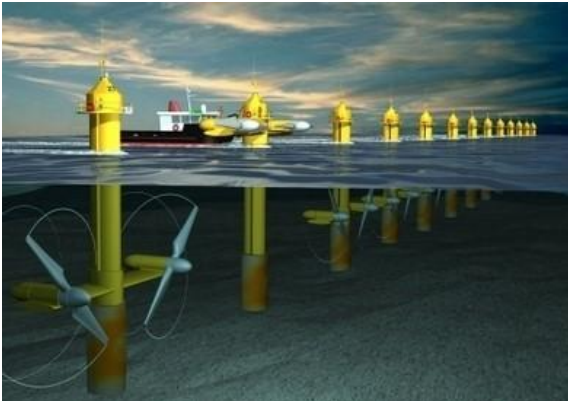
Nel Mediterraneo ugualmente è possibile installare impianti simili di minore potenza tenuto conto della minore imponenza delle correnti marine rispetto a quelle oceaniche .



Con lo sviluppo degli impianti di produzione elettrica che utilizzano le diverse potenzialità del mare si sono studiate le diverse soluzioni .

Abbiamo già visto i generatori [Orbital](#) ed i generatori [TidalWatt](#) che con un rotore di 3 metri di diametro possono produrre potenze di 5 MW ,alla velocità di una corrente marina di 1,87 nodi ,pari a turbine eoliche alte 185 metri .



***Vediamo altre soluzioni proposte .***

In figura vediamo una serie di piloni poggianti sul fondale marino e sotto la superficie ogni pilone sostiene due turbine ad elica connesse ad un bulbo cilindrico contenente i generatori . Questi piloni possono essere

posizionati in file trasversali alla direzione della corrente marina .

A differenza dell'Orbital e del Kiaryu giapponese le operazioni di manutenzione richiedono il sollevamento in superficie lungo l'asse del pilone munito di guida . I bulbi contenenti i generatori sono ancorati ad un anello di sostegno scorrevole lungo il pilone .

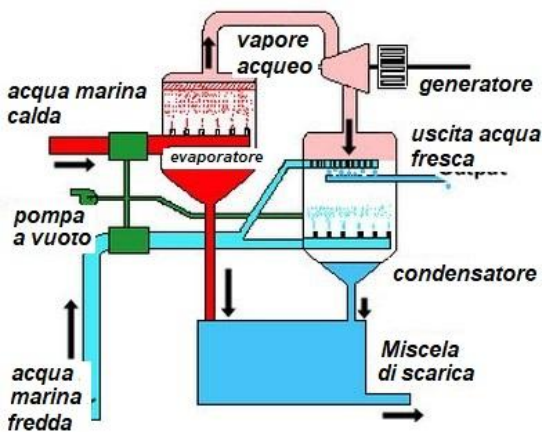


Per lo sfruttamento del moto ondoso le proposte sono molteplici ,ne vediamo alcune. Dei cilindri snodati galleggianti spinti dal moto ondoso mettono in movimento i generatori racchiusi all'interno.



Sotto la superficie e soprattutto in zone con fondali poco profondi vengono posizionati dei cilindri imperniati sul fondo entro i quali ci sono dei generatori elettrico . Il moto ondoso fa oscillare i cilindri mettendo in movimento i generatori. Anche la differenza di temperatura tra l'acqua di superficie e l'acqua in profondità

contiene energia utilizzabile per generare corrente elettrica .



Con impianti di evaporazione dell'acqua calda mediante pompe a vuoto si produce vapore che viene inviato ad una turbina che mette in rotazione un generatore elettrico, l'acqua marina fredda condensa il vapore in uscita dalla turbina e che viene restituita al mare.

### **La termoconversione in elettricità**

La termoconversione di energia elettrica è un fenomeno di recente applicazione, consiste nel generare corrente elettrica direttamente dalla differenza di temperatura in cui un apposito dispositivo viene ad avere una parte calda ed una parte fredda. La scoperta di un legame tra calore ed elettricità risale alla fine del 1700 con Alessandro Volta, Seebeck, Kelvin. Fu il fisico Seebeck che ne descrisse il fenomeno in cui in due conduttori diversi saldati ad un estremo e gli altri due lasciati liberi se il punto di saldatura veniva posto a temperatura diversa dagli estremi liberi si rilevava una tensione elettrica continua tra gli estremi liberi che in questo caso fungevano da poli elettrici + e -. Questo dispositivo chiamato coppia termo elettrica è usato per misurare alte temperature. L'effetto viene chiamato effetto Seebeck ed il dispositivo è un vero e proprio generatore elettrico. I piccoli valori di tensione ottenibili non hanno trovato applicazione pratica di produzione elettrica. Simile effetto è l'effetto Thomson che si manifesta con un solo tipo di materiale e non necessita di giunzione tra materiali diversi. Tra gli anni 1950 e 1970 nuovi materiali hanno dato risultati interessanti per alimentare sonde spaziali. Attualmente sono in commercio termopile utilizzate per alimentare dispositivi portatili indossabili che utilizzano il calore del corpo umano per

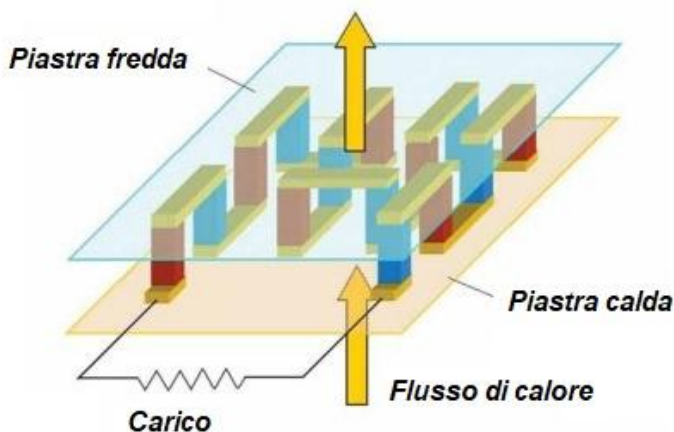


ottenere la differenza di temperatura tra il corpo a 37°C e l'ambiente esterno ed alimentare apparecchi medicali , telefoni cellulari, localizzatori GPS ecc...



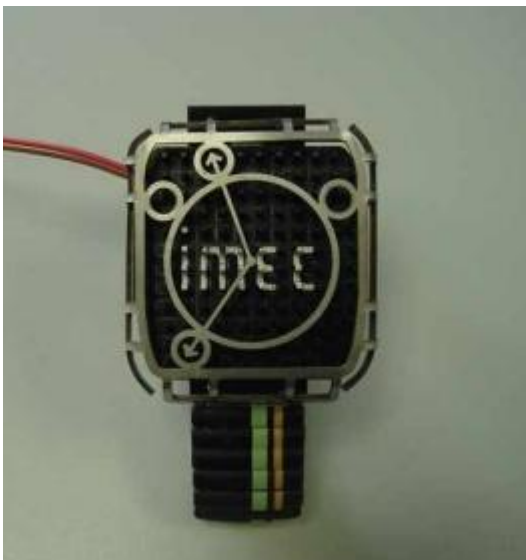
L'effetto contrario fu scoperto da Peltier nel 1834 in cui un dispositivo fatto di due metalli diversi se percorso da corrente elettrica sottraeva calore dal punto di giunzione e lo trasferiva agli estremi . Le celle Peltier sono

applicate in piccoli frigoriferi portatili .



Attualmente si parla di TEG (generatori termoelettrici) ,dispositivi che danno ottime prospettive per la generazione elettrica da calore di scarto di attività industriali . Attualmente sono già in commercio termopile per applicazioni più disparate ma nel prossimo

futuro sicuramente in questo settore ci saranno ottime prospettive di sviluppo tecnologico per la produzione elettrica economicamente conveniente .



*Termo pile indossabili*

Questi dispositivi indossabili forniscono tensioni da 1 a 15 V ma le potenze elettriche sono dell'ordine del  $\mu\text{W}$  sufficienti ad alimentare piccoli dispositivi a basso assorbimento . Le nuove aspettative future sono dispositivi capaci di produrre potenze di  $30 \mu\text{W}$  per  $\text{cm}^2$  di pelle .

GRAZIE PER L' ATTENZIONE.