

# ENERGIE RINNOVABILI: IL CASO DELL'EOLICO

C.d.L. in Ingegneria per l'ambiente e il territorio – a.a. 2018/19

**Candidato:**

Simone Carfora – N49/758

**Relatore:**

Prof. Ing. Bruno de Gennaro

# FONTI DI ENERGIA

- **Rinnovabili**

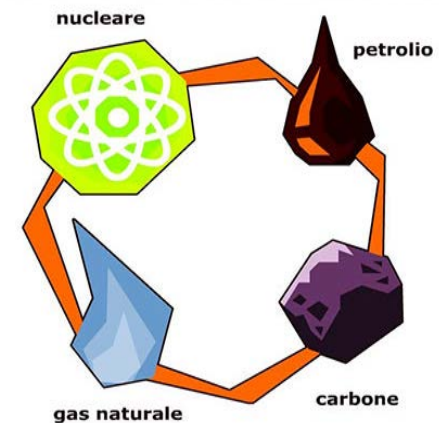
*si rigenerano alla stessa velocità con la quale si utilizzano*

- esauribili
- non esauribili

- **Non rinnovabili**

*tendono ad esaurirsi senza poter essere reintegrate*

- esauribili



# FONTI DI ENERGIA – NON RINNOVABILI

Parte integrante delle energie non rinnovabili sono i **processi di combustione**, responsabili di circa il 70% del surriscaldamento globale e delle sue conseguenze, quali:

**b. Peggioramento della qualità dell'aria**

Tab. 2 – Evoluzione della concentrazione dei gas a effetto serra in atmosfera (in ppm di CO<sub>2</sub>-eq)

	CO <sub>2</sub>	Altri GES	Tot CO <sub>2</sub> -eq
2000	369	72	441
2001	370	73	443
2002	372	74	446
2003	375	74	449
2004	377	75	452
2005	379	75	454
2006	381	76	457
2007	383	77	460
2008	385	78	463
2009	386	79	465
2010	389	80	468
2011	390	81	471
2012	393	82	474
2013	395	83	478
2014	397	84	481
2015	399	86	485
2016	403	87	490
2017	405	88	493

Fonte: NOAA, Earth System Research Laboratory, Spring 2018

**a. Scioglimento dei ghiacciai**



**c. Fenomeni meteorologici estremi**



**d. Carestie e siccità**



# POLITICA VERDE

Rappresenta la migliore soluzione al surriscaldamento globale, prevedendo l'utilizzo di **fonti energetiche che non pregiudichino le risorse naturali delle generazioni future**, quali:

a. Energia solare



b. Energia eolica



c. Energia idrica



d. Biomasse



# ENERGIA DEL VENTO

## GENERAZIONE DEL VENTO

Il vento è il *risultato del moto convettivo dell'aria*, causato dal riscaldamento irregolare della superficie terrestre, da zone ad alta pressione a zone a bassa pressione.

Esso è influenzato da:

- orografia
- vicinanza al mare
- Forza di Coriolis
- topografia
- Altitudine

Analizzando tutti questi fattori, si possono individuare i **siti a vocazione eolica**.



## SFRUTTAMENTO TRAMITE TURBINE

### TEORIA DI BETZ

Potenza estraibile da una turbina:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * v_1^3 * 4a * (1 - a)^2$$

$A$  = area spazzata

$v_1$  = velocità del vento indisturbato

$a$  = fattore di interferenza

Rapportando la potenza con la potenza assoluta, si ottiene il *coefficiente di potenza*, che diventa massimo quando  $a = 1/3$  :

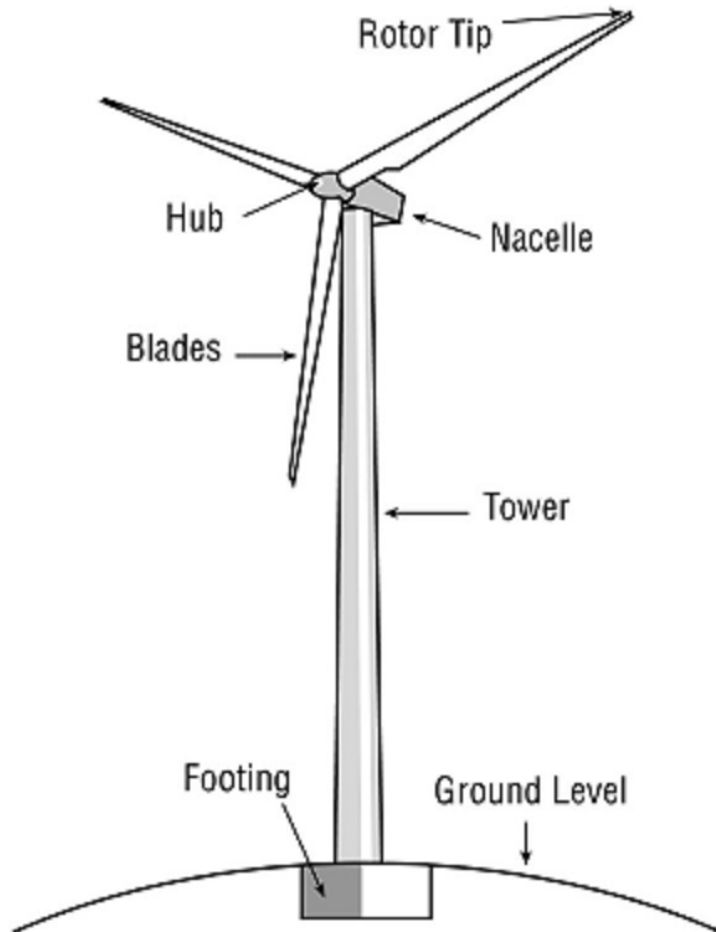
$$c_p = \frac{16}{27} \cong 0,593$$

**59,3%** è il **massimo rendimento energetico in una turbina**.

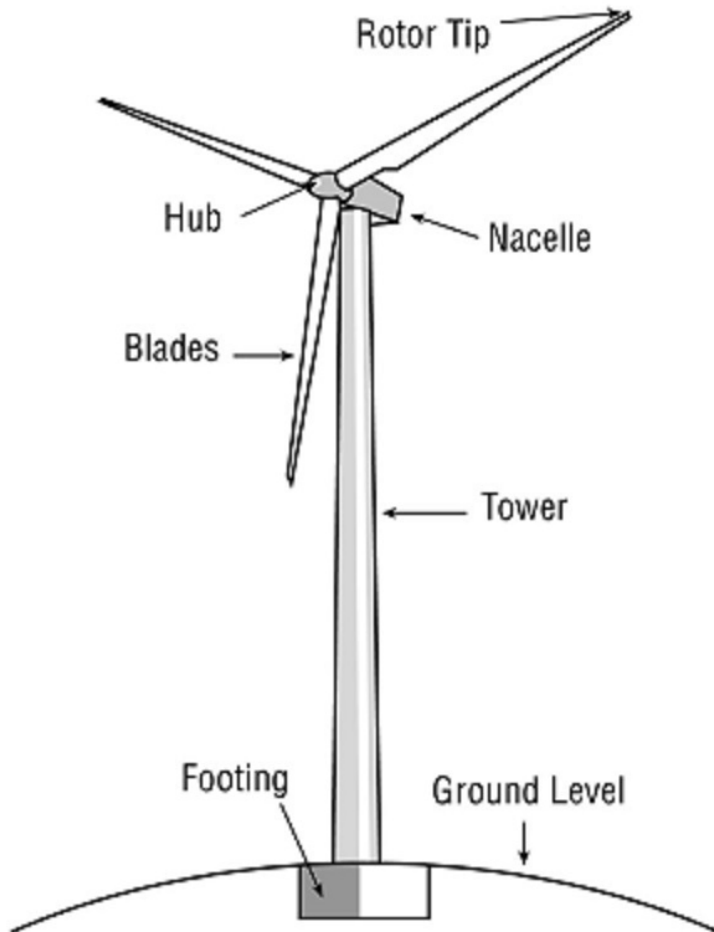
# ANALISI DEI CARICHI sull'IMPIANTO

- **Carichi stazionari:** invarianti nel tempo, possono essere *statici* o *rotanti*
- **Carichi transitori:** variabili in base alla risposta ad eventi temporanei
- **Carichi impulsivi:** transitori, ma di grande intensità
- **Carichi ciclici:** varianti secondo schemi regolari o periodici (es. Yaw)
- **Carichi indotti:** ciclici, derivanti dalla risposta di una parte che lavora a frequenze maggiori di quelle progettate

# COMPONENTI dell'IMPIANTO



# COMPONENTI dell'IMPIANTO - FONDAZIONI



## FONDAZIONI

Elemento di unione tra torre e terreno, che scarica tutti i carichi statici e dinamici dell'aerogeneratore. Deve sopportare elevati momenti e permettere il lavoro della turbina in qualsiasi condizione di progetto.

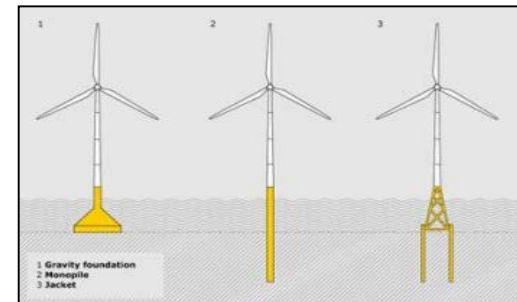
### ▪ On-shore

Basamenti in calcestruzzo armato, solitamente circolari, che permettono una riduzione del volume ed una migliore distribuzione dei carichi.



### ▪ Off-shore

Tre configurazioni possibili: *monopile*, *gravity foundation* e *tripod jacket*





# COMPONENTI dell'IMPIANTO - TORRE



a. Tubolare freestanding



b. Traliccio freestanding



a. Tubolare guyed



a. Traliccio guyed

## TORRE

Supporto per innalzare il rotore rispetto al suolo, dove l'intensità del vento è maggiore. Essa deve inoltre resistere al peso della pala e della gondola, oltre che ai carichi del vento.

### Classificazione per tipologie

- **Freestanding:** torri autoportanti, molto resistenti e poco ingombranti; vengono utilizzate generalmente per grandi impianti, dato che necessitano di fondazioni molto onerose
- **Guyed:** presentano cavi di supporto, sono facili da installare ed hanno costi bassi; gli svantaggi sono legati allo spazio occupato e al pericolo di cedimento dei cavi di supporto, per cui sono ideali per aerogeneratori di piccola taglia

### Classificazione per forma

- Tubolari
- A traliccio

# COMPONENTI dell'IMPIANTO - TORRE



a. Tubolare freestanding



b. Traliccio freestanding



a. Tubolare guyed



a. Traliccio guyed

## TORRE

### Focus materiali

Il materiale più utilizzato è di certo l'**acciaio**, verniciato o galvanizzato per evitare i problemi legati alla corrosione: è sicuramente il materiale più adatto, sotto il punto di vista di rigidità e resistenza, a sopportare i carichi gravanti sulla torre; tutto ciò insieme alla sua economicità, che lo rende molto appetibile per le torri degli aerogeneratori.

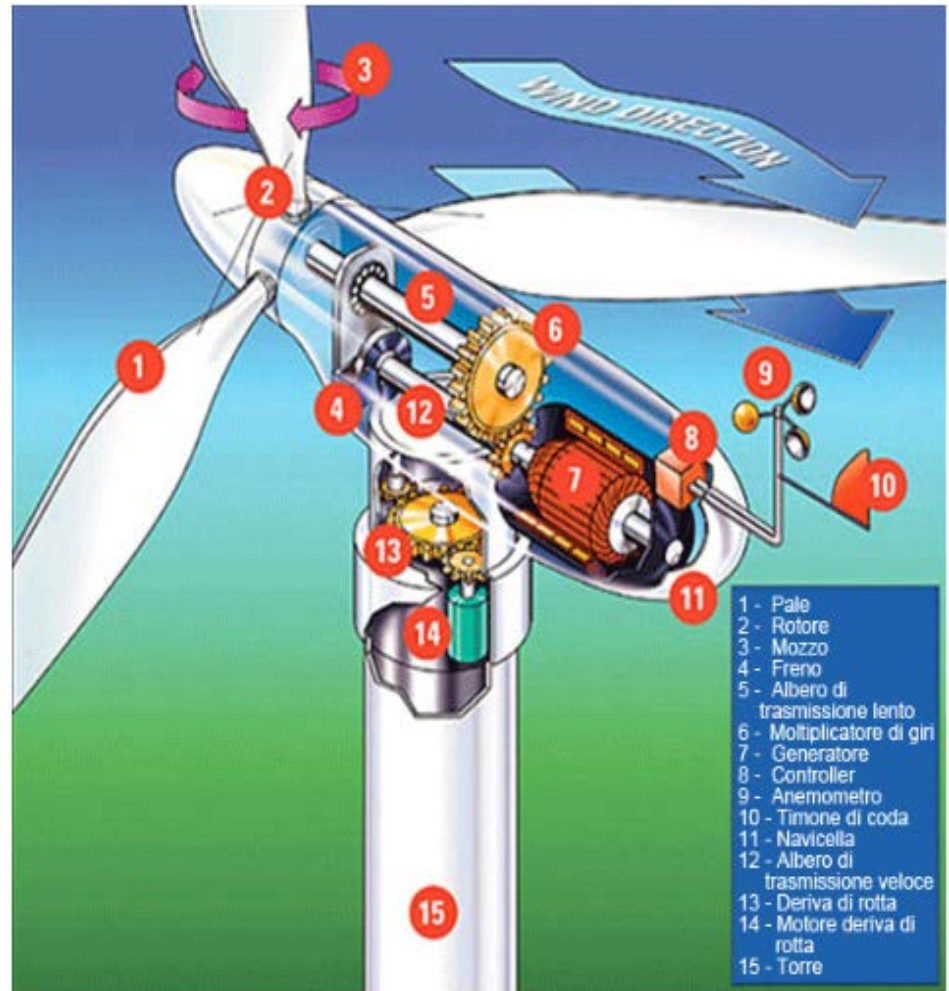
Uno degli svantaggi principali è il suo enorme peso, problematica sempre maggiore a causa del continuo aumento della grandezza degli impianti eolici; di conseguenza, anche il trasporto delle torri in acciaio è particolarmente problematico. Per queste motivazioni, in certe situazioni si è passati al **calcestruzzo rinforzato**, che è più leggero e riesce comunque ad assolvere alle funzioni richieste.

# COMPONENTI dell'IMPIANTO - GONDOLA

## GONDOLA

La gondola è il guscio metallico che contiene tutti gli **apparati meccanici e di controllo** dell'aerogeneratore. È montato sopra la torre e ruota su di essa per seguire la direzione del vento, attraverso un meccanismo a ruote dentate detto deriva di rotta. Nella gondola sono contenuti *l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri l'albero veloce, il generatore elettrico e i dispositivi ausiliari.*

Essa è normalmente costituita da un materiale leggero, un requisito fondamentale per la gondola, al di là del tipo di materiale, per evidenti ragioni: tipicamente compositi con fibre di vetro che sono facili da stampare, leggeri, resistenti alla corrosione.



# COMPONENTI dell'IMPIANTO - PALE



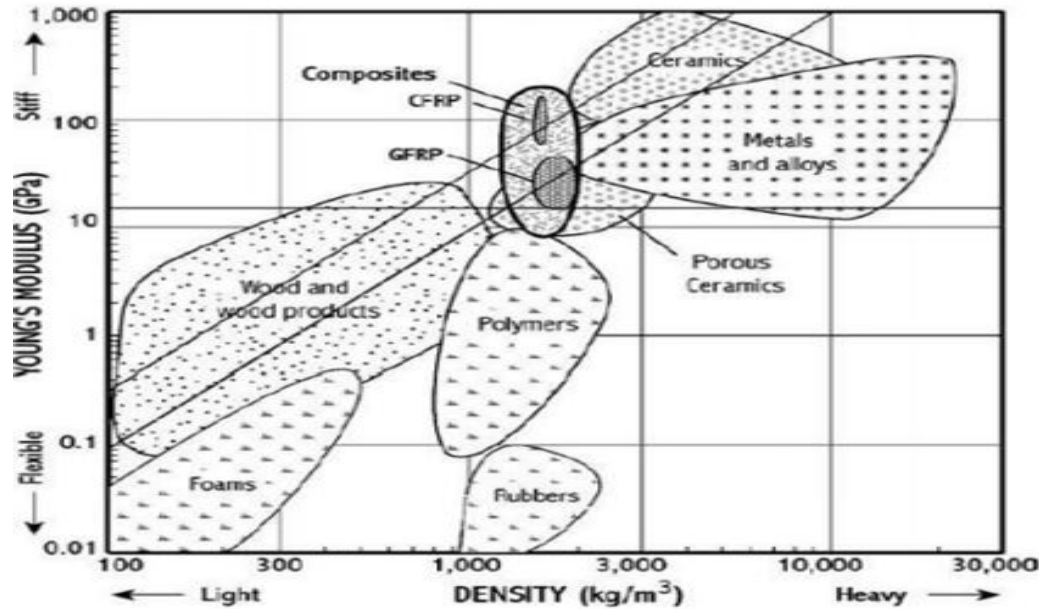
## PALE

Componenti fondamentali, sono il mezzo attraverso cui viene **catturata** l'energia del vento. Le dimensioni e il peso delle pale comportano sollecitazioni molto intense, sopportate garantendo rigidità e resistenza al rotore stesso, tutto ciò assicurando comunque l'efficienza aerodinamica desiderata. Il momento flettente risulta essere massimo alla radice della pala, ed è per questo che essa è più larga, assottigliandosi man mano verso l'estremità. La parte interna della pala è cava, dato che non ricopre obblighi strutturali.

## NUMERO

Solitamente si utilizzano 3 pale, che rappresentano la configurazione migliore sotto il punto di vista del momento d'inerzia; utilizzarne di più comporterebbe un aumento dei costi, mentre è invece possibile trovare rotor monopala o bipala.

# COMPONENTI dell'IMPIANTO - PALE



## PALE

### FOCUS MATERIALI

Il materiale per una pala eolica deve avere i seguenti requisiti:

- **Rigidezza**, necessaria per una buona performance aerodinamica, abbinata a deformazioni limitate;
- **Bassa densità**, per ridurre carichi inerziali e gravitazionali;
- **Lunga vita a fatica**, per ridurre il degrado dell'opera nel corso della vita utile.

La scelta del miglior materiale viene fatta valutando il **coefficiente di merito**  $M_b$  oppure considerando la rigidezza su scala assoluta.

### Legno

Primo materiale utilizzato, fin dall'800', attualmente utilizzato per piccoli impianti. E' resistente, disponibile e ha buone capacità a fatica, ma il problema è la bassa rigidezza, che lo rende un materiale superato.

### Metalli

Utilizzati da fine '800, per primo l'acciaio, il cui problema è stato da sempre il peso, motivo per cui si è passati all'alluminio, che comunque ha costi elevati ed è soggetto a fatica nel tempo. Anche questi materiali risultano oramai superati.





# COMPONENTI dell'IMPIANTO - PALE



## PALE FOCUS MATERIALI

### MATERIALI COMPOSITI

Attualmente largamente utilizzati, sono costituiti da **fibre** che danno rigidità e resistenza, e da una **matrice** di resina responsabile della tenacità a frattura.

### FIBRE

Le **fibre di vetro** sono il rinforzo per antonomasia, con i seguenti vantaggi: costo basso, alta resistenza a rottura e a compressione, buona tenacità e resistenza chimica. Lo svantaggio principale è legato alla bassa rigidità, per cui nell'ultimo decennio hanno attirato molto interesse le **fibre di carbonio**, che permettono di produrre pale più rigide e leggere a parità di peso.

### MATRICI

A causa dei requisiti di basso peso, i polimeri sono la scelta principale. Le catene più utilizzate sono la **poliesteri** e l'**epossidica**. Inoltre, ultime ricerche hanno portato all'utilizzo di **matrici biodegradabili**, a base di amido, acido lattico o zuccheri.

# RICERCA ED INNOVAZIONE

## I GIGANTI DEL VENTO

Le future centrali eoliche avranno dimensioni enormi, per soddisfare fabbisogni energetici sempre maggiori.

Probabilmente, questi enormi impianti saranno off-shore, per evitare l'inquinamento visivo di panorami, coste e pianure.



## LE TURBINE CHE IMITANO I COLIBRI

Questa turbina si basa su due pale che oscillano simulando il movimento delle ali dei colibrì. Descrivendo questo moto, si cattura energia sia in moto ascendente che in moto discendente. La sua conformazione permetterebbe una maggiore densità di elementi-turbina, riducendo inoltre la rumorosità dell'impianto e il disturbo verso gli uccelli.



## TURBINE SENZA PALE

Il *palo-generatore* sfrutta la vorticità ,effetto aerodinamico che produce piccoli vortici vibranti; i materiali costituenti devono essere leggeri e permettere ampie oscillazioni. Alla base ci sono due anelli con magneti che si respingono, per rilanciare il movimento oscillatorio. La resa energetica è minore, così come lo spazio occupato.

