**Manuale per l’utente**

[Script principale 2](#_Toc96273301)

[Funzioni script principale 3](#_Toc96273305)

[- STL reader 2](#_Toc96273303)

[- Control values 3](#_Toc96273304)

[Creare nuovo file del vento 3](#_Toc96273306)

[Inserimento dati meteorologici di un sito particolare 3](#_Toc96273307)

[Utilizzo di Turbsim 4](#_Toc96273308)

[Inserire una nuova turbina 4](#_Toc96273309)

[Sottosezione: Inserire controllo pitch della nuova turbina 5](#_Toc96273310)

[Modello Simscape 6](#_Toc96273311)

[Blocco CONTROL BLOCK 6](#_Toc96273312)

[ BLADE PITCH CONTROL block 7](#_Toc96273313)

[ SIMPLIFIED TORQUE CONTROL SYSTEM block 7](#_Toc96273314)

[Blocchi BLADE 8](#_Toc96273315)

**Introduzione**

‘Simulazioni vento variabile’è il folder dentro il quale sono presenti tutte le cartelle necessarie al funzionamento del SimScape, ad eccezione del programma QBLADE che è scaricabile a parte. Contiene diverse cartelle, all’interno delle quali sono contenute strutture dati, files, funzioni e modelli simscape veri e propri per le simulazioni, compresi di script secondari:

* Immagine che contiene testo

  Descrizione generata automaticamente**Wind resource assessment**: contiene serie temporali del vento, creati con turbsim, insieme a dati di ERA5 e script per ottenere distribuzione di Weibull della località considerata.
* **Calcolo sollecitazioni:** contiene script per calcolo delle forze e coppie che agiscono sulla turbina. Sono presenti dati nominali di turbina ottenuti da QBLADE e dati geometrici e di inerzia delle pale.
* **STL**: contiene files CAD delle turbine.
* **Dati\_modello**: contiene il file *Simulink* per la simulazione, insieme allo script per la creazione delle strutture dati per le turbine ed inserimento automatico files STL in simscape.
* **Figure risultati:** contiene i risultati delle simulazioni passate.

Infine ‘scriptmodello.m’ è lo script principale, attraverso il quale si impostano i parametri del test: è sufficiente lanciarlo per avviare la simulazione.

In questo manuale viene innanzitutto esposto l’utilizzo dello script principale, attraverso il quale è possibile effettuare una varietà di simulazioni con la stessa turbina e piattaforma.

Per modificare le caratteristiche di turbina e/o piattaforma, è necessario modificare le variabili di nome ‘data’ e le variabili di nome ‘blades’.

Per qualsiasi informazione chiedere a:

* Simone Peyrot, peyrot.simo@gmail.com, 3383472660

Script principale

Nello script principale è possibile impostare i vari parametri di simulazione, tra cui le caratteristiche delle onde e del vento, e scegliere la turbina da impiegare. Per modificare le caratteristiche della turbina o cambiare input di vento bisogna agire nelle singole cartelle separate con gli script apposta.

Lo script principale, infatti, richiama files .mat creati in precedenza attraverso gli script secondari, così da rendere il procedimento più compatto e veloce.

Di seguito vengono analizzate le righe di codice dello script principale.

Immagine che contiene testo

Descrizione generata automaticamente

Per prima cosa, vengono caricate le strutture dati relative alle turbine. “…-turbine” contiene i dati geometrici e di inerzia dei singoli componenti, “…-AeroData” contiene le sollecitazioni sulle pale (forza tangenziale, forza normale e torsione data da pitching moment). Per ora inserite solo le 2 turbine analizzate.

In seguito, sono inseriti i dati relativi al vento che agirà nella simulazione. Viene inserita da tastiera la velocità del vento che si vuole utilizzare, che corrisponderà alla velocità di riferimento del file di TurbSim.

Immagine che contiene testo

Descrizione generata automaticamente

La variabile VV fa da funzione obiettivo nel revolution joint: è circa pari al valore medio previsto di velocità del vento in presenza di vento turbolento.

Lo script, a questo punto, lancia il modello in Simscape. Nello script sono presenti 2 funzioni, il cui script si trova nella sottocartella “Modello”:

* STL reader
* Control values

Funzioni script principale

* **STL\_reader (blades,nacelle,tower)**Questa funzione permette di impostare in maniera automatica nome e percorso dei files STL dei componenti nei blocchi “File solid” di Simscape Multibody, collegandoli direttamente alla turbina di riferimento. In output dà percorso files come verifica. L’obiettivo è evitare di dover manualmente modificare tutte le volte i componenti all’interno del modello Simscape.
* **Control\_values (windspeed range, nominal windspeed, cut-in windspeed, average radius, rotational speed, average torque)**

Questa funzione crea la curva di coppia per la turbina in questione, secondo questa equazione:

Procedimento svolto con un semplice algoritmo per la ricerca della massima efficienza. Vengono quindi restituiti come risultati la curva di coppia, la curva di potenza del generatore, la velocità nominale di rotazione e la potenza nominale come valore di verifica.

Creare nuovo file del vento

Se si desidera effettuare simulazioni in un particolare sito geografico, è utile ottenere le serie storiche delle velocità più probabili in modo da ottenere i dati più rappresentativi. Questo passaggio serve se si vuole fare l’analisi di producibilità, dove serve avere la ricorrenza delle singole velocità.

Se si desidera invece effettuare una prova non collegata ad un particolare sito geografico, si può lanciare direttamente Turbsim.

Inserimento dati meteorologici di un sito particolare

A questo fine, il primo passo è quello di scaricare dal sito di ECMWF ERA5 i dati orari di U e V (componenti rispettivamente della velocità del vento in direzione Est-Ovest e Nord-Sud) in una determinata area ad una quota utile (di solito 100m da terra dà buoni risultati), con la minima area possibile. I dati vanno scaricati in formato .nc, e salvati nella cartella “Wind resource assessment”.

I dati così estratti vengono successivamente post-processati per mezzo del codice Matlab “studySite.m” in grado di leggere questo tipo di files e generare la distribuzione di Weibull del sito considerato. Il codice è stato ottenuto modificando un preesistente per processare dati relativi alle onde, quindi altezza e periodo. Si è considerato proprietà (es. windshear) omogenee nel punto considerato, che è uno solo dei quadranti nella griglia considerata su ERA5, e si sono svolte operazioni necessarie ad ottenere dati in formato di serie temporale. Lo script impiegato svolge queste operazioni:

1. Legge i file .nc e “spacchetta” le strutture dati complesse, in modo da ottenere singole serie di dati della velocità del vento.
2. Scelto, partendo dalla mappa dell’area il quadrante. La scelta avviene per mezzo di osservazioni svolte su google maps o su global wind atlas. Scopo è prevalentemente dettata dalla necessità di ridurre le dimensioni della matrice scaricata (avente di base 4 dimensioni).
3. Processamento dati del vento: dei dati in ogni matrice, avente dimensioni=(nr ore considerate, 2), la metà sono dei Not a Number (NaN), è quindi necessario depurare le matrici da questi elementi. Questo lavoro viene svolto rimuovendo da ogni matrice l’elemento “Not a Number”, rimanendo quindi con un vettore di lunghezza pari al numero di ore simulate per l’analisi. Questi dati vengono poi corretti e viene calcolato il modulo della velocità (), essendo le turbine omnidirezionali.
4. Calcolo distribuzione di Weibull, dividendo le velocità del vento in classi di ampiezza 1 m/s.

Utilizzo di Turbsim

Una volta creata la distribuzione di Weibull si hanno a disposizione le occorrenze della velocità del vento, per cui è necessario realizzare i files del vento turbolento. Se si desidera effettuare una simulazione con un V0 preciso (es. V0 = 7.64 m/s), è necessario creare con Turbsim il file del vento corrispondente.

All’interno della cartella Wind resource assessment è contenuto l’eseguibile di Turbsim assieme all’input file di TurbSim (files con estensione .inp).

La prima cosa da fare per generare un nuovo file del vento è impostare l’input file in base alla tipologia di prova che si va ad effettuare.

Immagine che contiene tavolo

Descrizione generata automaticamenteL’input file è suddiviso in sezioni, le principali utilizzate nel modello sono:

* **Runtime Options**: dove vengono impostati tutti i formati dei file che verranno restituiti in uscita una volta conclusa la simulazione di TurbSim.

Per il modello è necessario il file in formato .bts, quindi impostare True sui parametri “WrADFF”, “Clockwise”, a tal proposito nel caso in esame la sezione si presenta come in figura:

* **Turbine/Model Specifications**: in questa sezione vengono impostati i parametri della discretizzazione spaziale e temporale.
* **Meteorological Boundary Conditions**: in questa sezione vengono impostate le condizioni meteorologiche, e le leggi di variazione del profilo del vento.

Una volta impostato l’input file è possibile effettuare la simulazione con Turbsim.

Il file input utilizzato ha come parametri:

* turbulence model: Kaimal
* wind class 3
* The turbulence intensity C
* Surface roughness length: 0.03 m.
* Grid size: it corresponds roughly to the rotor dimensions.
* Reference height for wind measurement: altezza hub.
* Average wind speed.

A questo punto non resta che post-processare gli output files .bts delle prove effettuare, in modo tale generare la struttura che verrà poi caricata nei LUT all’interno di Simulink. Per fare ciò si utilizza lo script “Lettura\_file\_mio.m” presente nella cartella “Wind resource assessment”. Questo script ha 2 compiti:

1. Trasformare i files in uscita da TurbSim in variabili .mat utilizzabili in altri script.
2. Compattare le variabili del vento in modo da renderle compatibili con input di Simscape e più semplici da confrontare con calcoli di producibilità. Infatti, in Simscape l’input di velocità è puntiforme.

Lo script salva i files .mat in uscita dal post-processamento nella stessa cartella.

Inserire una nuova turbina

Per creare una nuova turbina è necessario svolgere in ordine alcuni passaggi, utili per definire ed inserire tutti i dati necessari. Serve avere installato QBLADE.

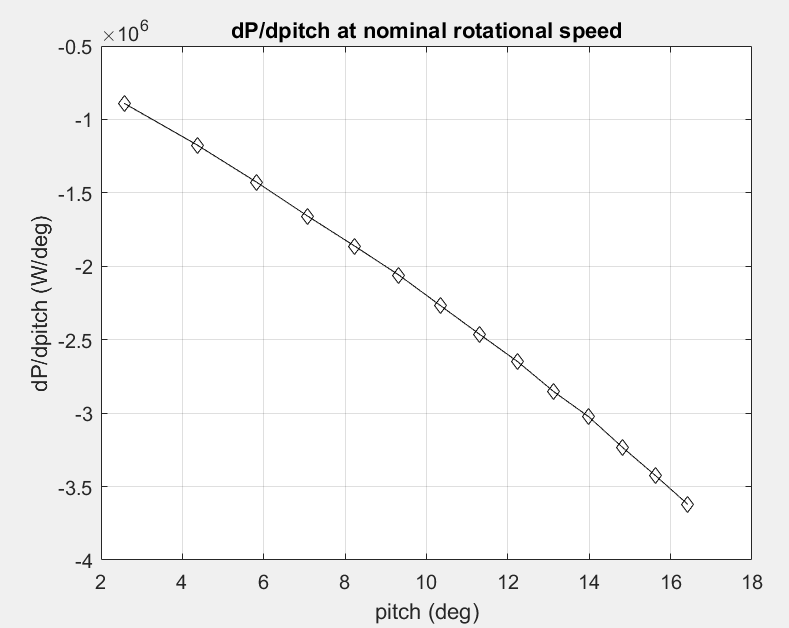
Lista operazioni:

1. Su QBLADE:
2. Scegliere/caricare aerofoil su QBLADE. Il profilo alare è di solito un profilo simmetrico (NACA-00XX), ma possibile caricarne altri se ne si conosce la spline.
3. Estrapolazione curve di drag e lift sul profilo selezionato, che verranno poi usate per il calcolo delle sollecitazioni nello script MATLAB.
4. Disegno della pala vera e propria ed esportazione STL in Solidworks per il calcolo delle proprietà inerziali.
5. Primo calcolo, indicativo, delle prestazioni medie della turbina. Serve per iniziare a trovare zona di operazione della turbina, in termini di velocità angolare e di potenza in uscita.
6. Su SOLIDWORKS (o programma CAD analogo):
7. Ottenimento proprietà inerziali della turbina, imponendo massa/densità di massima per calcolare i momenti d’inerzia per i singoli componenti (pale, sostegni + navicella, albero, torre).
8. Disegno altre parti della turbina (torre, albero, sostegni).
9. Creazione assieme per ottenere dati di proprietà di inerzia del sistema complessivo.
10. Su MATLAB:
11. Creazioni variabili “Nominal” e “geometry”. “Nominal” deve contenere velocità del vento nominale, numero pale, coppia e velocità di rotazione presunte nominali da QBLADE, raggio massimo, altezza turbina ed area spazzata. Blades è una matrice da 5 colonne dove ad ogni riga corrispondono le caratteristiche della sezione di pala considerata ad un certo valore della sua lunghezza.(INSERIRE TABELLE).
12. Calcolo delle sollecitazioni sulla turbina per differenti valori di velocità del vento, velocità nominale ed angolo di pitch con lo script “DMST\_complessivo.m” partendo da dati in variabili Nominal, blades, coefficienti di drag e di lift. Risultati vanno poi spostati nella cartella “Modello”.

Sottosezione: Inserire controllo pitch della nuova turbina

Se si modifica la turbina, è necessario modificare il controllo del pitch. L’unica modifica che va fatta è il calcolo della derivata della potenza rispetto all’angolo di pitch a parità della velocità del vento e della velocità angolare. Per farlo, si inseriscono nome e la velocità del vento nominale della turbina nello script. In output i dati utili per il modello Simscape servono i dati di angolo di pitch alle diverse velocità del vento e derivata alle diverse velocità del vento (variabili chiamate ***pv*** e ***deriv***). I valori vengono quindi appaiati.

Da queste coppie di valori l’obiettivo è arrivare ad una formulazione del tipo , dove in questo caso f(γ) è lineare. L’andamento di f(γ) è stato dedotto per via grafica ed i coefficienti sono stati ricavati con Excel. In questo caso si è ottenuto:



Ottenuti anche questi coefficienti di controllo (m e q), si procede alla creazione delle strutture dati di turbina.

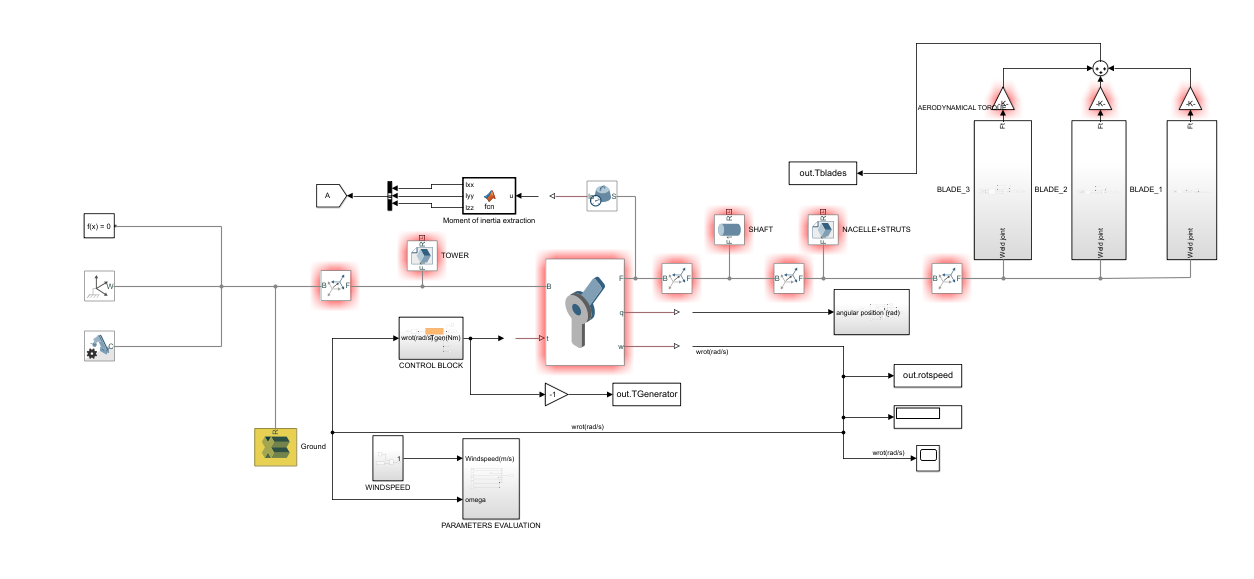
La creazione di strutture dati per i componenti su Simscape viene fatta con script “turbine builder.m”, dove sono impostati manualmente tutti i parametri di turbina. Da questo script sono originate direttamente le strutture dati che saranno chiamate nello script principale. Ogni turbina genera 2 strutture dati: “(nome turbina)\_turbine” e “(nome turbina)\_AeroData”, dove tutte le informazioni ottenute nei punti precedenti sono compattate insieme per non avere troppi documenti sparsi.

Arrivati a questo punto, è possibile lanciare lo script principale completo ed eseguire il modello. E’ possibile, nello script principale, scegliere se si vuole vento costante o turbolento.

N.B.: l’effetto del windshear è contenuto all’interno dello script Matlab, non va quindi aggiunto in Simscape.

Modello *Simscape*

In questa sezione viene illustrata la struttura del SimScape. Tutti i dati aerodinamici vengono passati per mezzo di lookup tables.



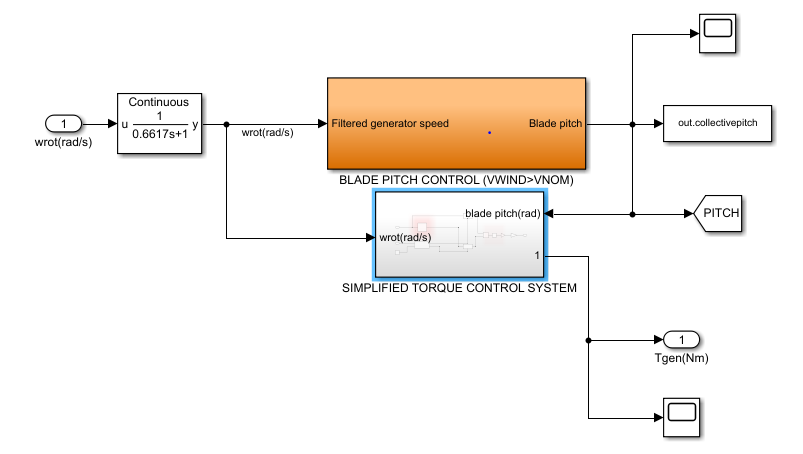
Nei blocchi BLADE\_1, BLADE\_2 e BLADE\_3 agiscono carichi aerodinamici (agenti sullo scafo), passati per mezzo di Lookup tables.

Di seguito sono elencati i due blocchi per cui non è necessario un focus ulteriore

* Il blocco PARAMETERS EVALUATION si limita ad inserire i dati passati dallo script in un vettore.
* Il blocco WINDSPEED contiene solo gli input del vento e l’interruttore per scegliere se il vento è costante o turbolento.
* Il blocco ANGULAR POSITION ricava dalla velocità angolare le posizioni angolari delle singole pale.

Blocco CONTROL BLOCK

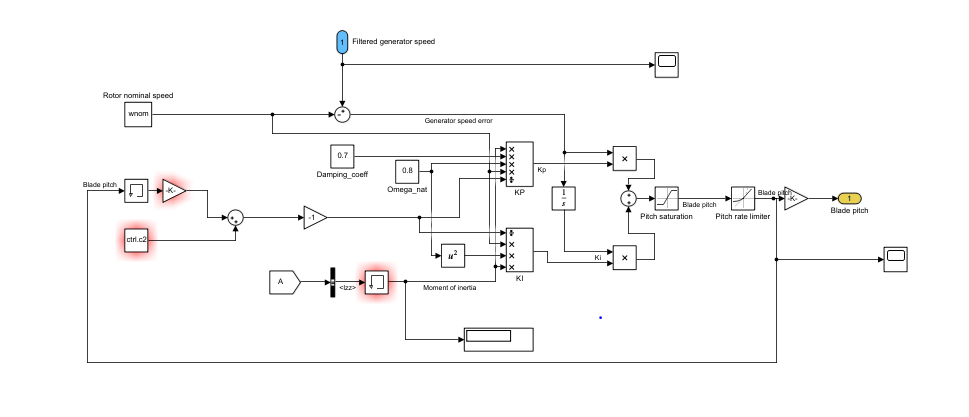
Riceve in input la velocità angolare della turbina e da come output angolo di pitch e coppia ottimale.



Il filtro passa-basso iniziale ha funzione di migliorare la qualità del segnale in ingresso.

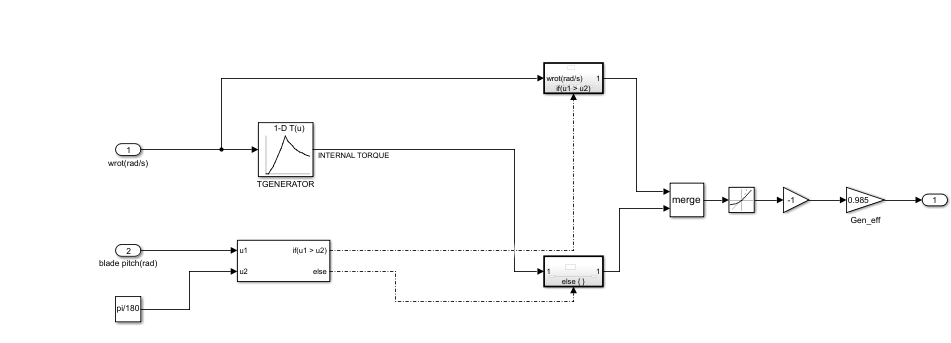
* BLADE PITCH CONTROL block

Effettua regolazione del pitch per ridurre sollecitazioni.



* SIMPLIFIED TORQUE CONTROL SYSTEM block

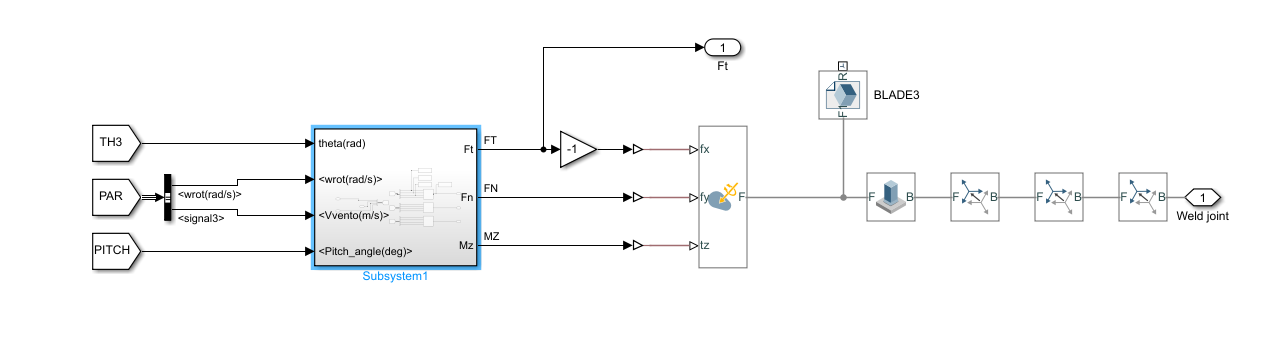
Riceve in input velocità angolare ed angolo di pitch. Lavora su 2 livelli: correla velocità angolare alla coppia secondo lookup table ed impone coppia massima quando il pitch è >0 per rallentare il rotore.



Blocchi BLADE

Riceve in input le posizioni, velocità di rotazione, velocità del vento e calcola sollecitazioni prima sulle pale, poi trasferite all’albero.

All’interno di BLADE sono inserite le lookup tables da cui vengono ricavate le forze aerodinamiche. In questo modo si ottengono i carichi alla base e la coppia al rotore. Queste sollecitazioni fanno da input al blocco centrale di risoluzione (revolution joint) dell’equazione del moto.



Dentro il sottosistema in figura sopra, sono presenti le tabelle per ottenere i carichi aerodinamici nelle condizioni richieste. I carichi sono inseriti nella forma di .

