

# "PARCO EOLICO SENNORI (SS)"

Progetto per la realizzazione di un parco eolico con potenza pari a 42 MW sito nel Comune di Sennori (SS) con opere di connessione alla RTN nel Comune di Tergu (SS)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

**Hydro Engineering s.s.**  
di Damiano e Mariano Galbo  
via Rossotti, 39  
91011 Alcamo (TP) Italy



TITOLO ELABORATO

STUDIO ANEMOLOGICO  
E ANALISI DI PRODUCIBILITA'

SCALA

COMMESSA

**SVIL- 1000190562**

CODIFICA DOCUMENTO

SEN-SA-R05\_00

4					
3					
2					
1					
0	PRIMA EMISSIONE	Luglio 2024	-	-	-
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

Questo disegno non può essere riprodotto, nè utilizzato altrove, nè ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori

# PROGETTO DI PARCO EOLICO DI SENNORI COMUNE DI SENNORI (SS)

---

## ***VALUTAZIONE DELLA RISORSA VENTO E DELLA PRODUZIONE ATTESA***

Rev.	Descrizione e motivazioni della revisione	Emesso	Approvato
0	Prima Emissione 29/07/2024	<i>Tecnologie Eoliche</i>	<i>Tecnologie Eoliche</i>

## INDICE

<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>1. MATERIALE UTILIZZATO</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 Dati di vento</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2 Layout d’impianto</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3 Aerogeneratori</b> .....	<b>7</b>
<b>2 TRATTAMENTO DEI DATI ANEMOMETRICI</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Dati anemometrici in input al modello</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Impostazione del modello</b> .....	<b>11</b>
<b>3 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE NETTA ATTESA</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Produzione attesa al netto delle perdite</b> .....	<b>12</b>
<b>4 CONCLUSIONI</b> .....	<b>15</b>

## PREMESSA

---

Il Progetto eolico di Sennori è situato nel comune di Sennori, in provincia di Sassari, in una regione a forte vocazione eolica.

Il nuovo impianto sarà composto da 6 aerogeneratori di potenza nominale unitaria fino a 7 MW per una potenza complessiva di 42 MW. A titolo esemplificativo, perché dipendente dalle condizioni di mercato, è stato considerato un modello di aerogeneratore caratterizzato da un diametro di rotore fino a 163 m e un'altezza al mozzo fino a 119 m, per un'altezza massima al tip (mozzo + pala) di 200 m.

Il gruppo Edison ha già realizzato parchi eolici in regione Sardegna e ha effettuato analisi anche della zona del progetto di Sennori e delle zone circostanti, sviluppando una conoscenza approfondita dell'area, che si conferma essere caratterizzata da buona ventosità.

## 1. MATERIALE UTILIZZATO

---

Il materiale utilizzato ai fini della presente valutazione di produzione attesa si compone dei seguenti elementi:

- dati di vento da rete satellitare rielaborati con modello LES (Large Eddy Simulation) della società Vortex. La proponente ha intenzione di effettuare una campagna di misura tramite stazione anemometrica tralicciata o mediante strumento LIDAR (disponibile anche di proprietà)
- layout d'impianto composto da n. 6 posizioni
- modelli di aerogeneratore di grande taglia con i quali realizzare la stima di produzione, ovvero, a titolo esemplificativo, i modelli Nordex N163 da 7 MW con altezza mozzo pari a 118m e Vestas V162 da 6,8 MW con altezza mozzo pari a 119m (nella posizione SEN-01 potrà essere installato un aerogeneratore con altezza mozzo pari a 98,5m)
- modello tridimensionale del terreno con curve di livello equidistanti 10m e rugosità del terreno.

## 1.1 DATI DI VENTO

I dati di vento in possesso e utili per la valutazione della produzione attesa dell'impianto sono serie temporali della rete satellitare ERA5 portate nel punto di progetto sottoindicato tramite modello fluidodinamico LES (Large Eddy Simulation). Questi dati sono riferiti a un punto virtuale a una distanza tra 0,2 e 1,6 km dalle posizioni previste per gli aerogeneratori del layout di impianto.

Di seguito la denominazione dei punti di misura, con codice e posizione:

Nome Punto di misura	Codice Punto di Misura	H Punto di Misura m s.l.s.	Coordinate UTM-WGS84- Fuso 33		Altitudine
			Longitudine E	Latitudine N	s.l.m.
LES Sennori (dati satellitari)	LES	100	468560	4515619	381

I dati di vento sopra indicati sono già intrinsecamente storicizzati, in quanto derivati da serie di dati pluriennali.

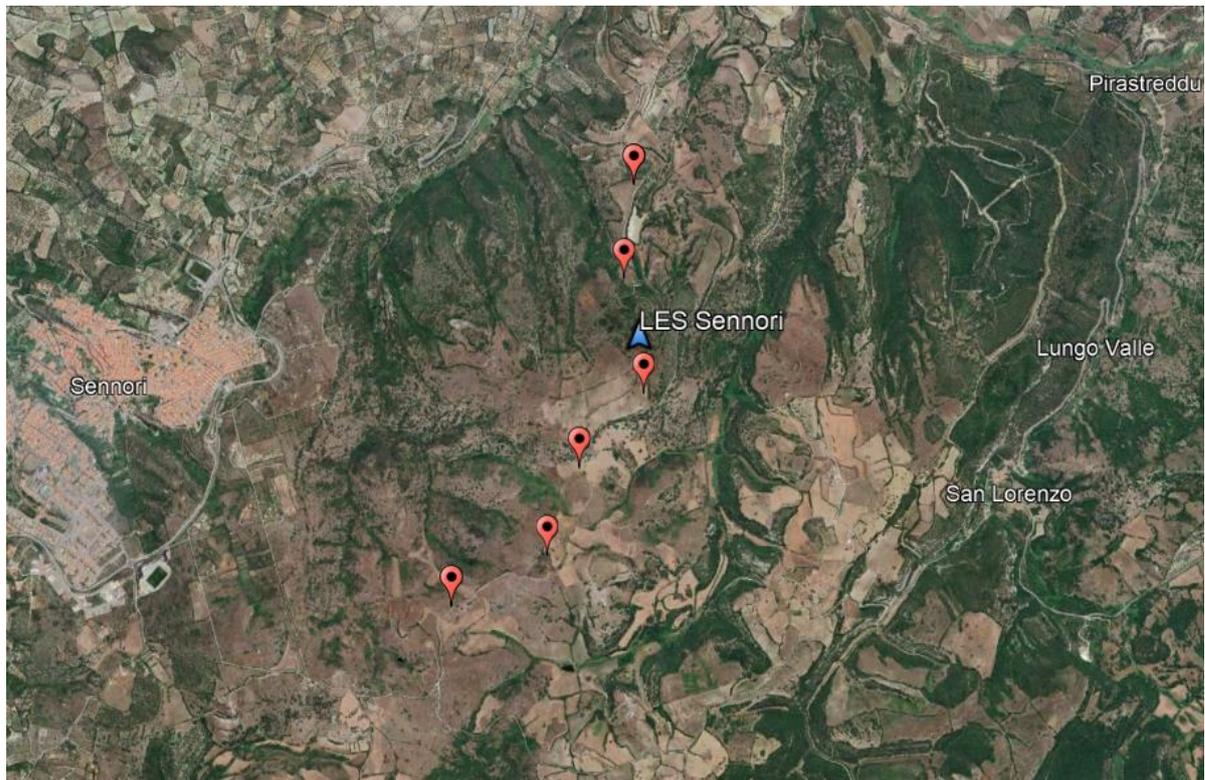
Qui sotto sono presentate le velocità medie delle fonti di dati considerate per l'analisi e per definire la climatologia nel modello.

**La proponente ha intenzione di effettuare una campagna di misura tramite stazione anemometrica tralicciata o mediante strumento ottico LIDAR (disponibile anche di proprietà). Potranno essere quindi disponibili ulteriori dati misurati in sito.**

**Al momento, dall'analisi dei dati satellitari, la velocità media nelle posizioni degli aerogeneratori ad altezza mozzo risulta pari a ca. 6,1 m/s.**

## 1.2 LAYOUT D'IMPIANTO

Nella figura seguente sono riportati su ortofoto il layout d'impianto in progetto (Sennori, in rosso le posizioni degli aerogeneratori previsti) e il punto di misura indicato nel paragrafo precedente.



Al momento, non ci sono aerogeneratori di terzi di dimensione rilevante in esercizio entro la distanza di 1,5-2 km dalle posizioni del layout di Sennori oggetto della presente relazione. Oltre una distanza maggiore di 10 diametri di rotore, eventuali effetti di scia sono considerati trascurabili.

### 1.3 AEROGENERATORI

A titolo esemplificativo, i modelli di aerogeneratore utilizzati per la valutazione della produzione attesa dell'impianto sono i seguenti:

Costruttore	Modello	Diametro rotore (m)	Potenza nominale (MW)	H di mozzo (m)	Classe IEC
Nordex	N163	163	7	118/98,5*	N.D.
Vestas	V162	162	6,8	119/98,5*	S

\* Nella posizione SEN-01 è prevista l'installazione di un aerogeneratore con altezza mozzo pari a 98,5m

È stata stimata la produzione dell'impianto in progetto con ciascuno dei modelli sopra in tabella.

Nelle figure sottostanti sono rappresentate nel loro sviluppo sia la curva di potenza (P) che la curva di spinta (Ct) per la determinazione delle perdite per effetto scia al variare della velocità del vento.

Per l'aerogeneratore N163 da 7 MW:

Velocità (m/s)	Potenza (MW)	Ct
3	0,038	0,892
4	0,269	0,845
5	0,629	0,820
6	1,137	0,809
7	1,837	0,806
8	2,762	0,787
9	3,876	0,730
10	4,983	0,655
11	5,952	0,565
12	6,572	0,472
13	6,892	0,386
14	6,996	0,316
15	7,000	0,259
16	7,000	0,213
17	7,000	0,177
18	7,000	0,151
19	7,000	0,133
20	6,882	0,119
21	6,331	0,097
22	5,794	0,078
23	5,270	0,063
24	4,760	0,051
25	4,264	0,041
26	3,774	0,035

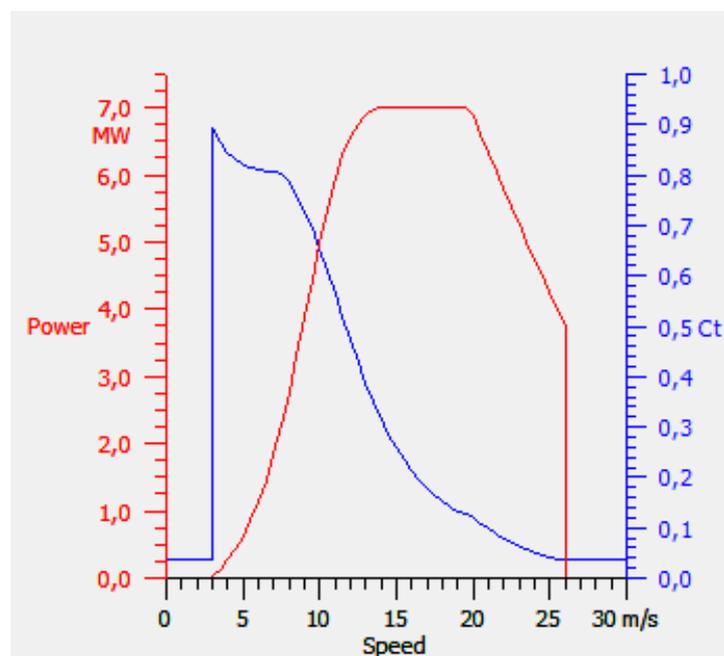
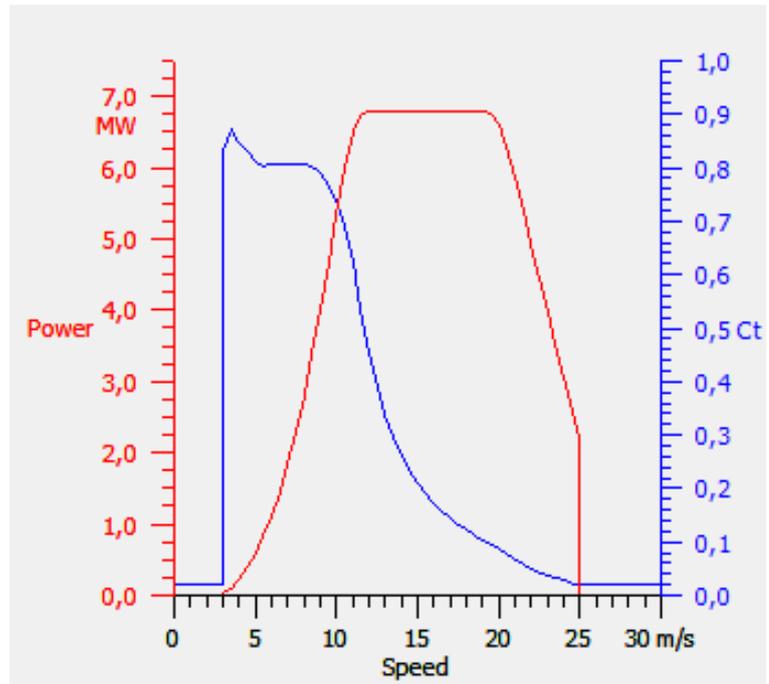


Figura I - Curva di potenza e Ct dell'aerogeneratore Nordex N163 7MW

Per l'aerogeneratore V162 da 6,8 MW:

Velocità (m/s)	Potenza (MW)	Ct
3	0,039	0,832
4	0,231	0,847
5	0,588	0,812
6	1,108	0,806
7	1,842	0,808
8	2,806	0,806
9	4,011	0,789
10	5,353	0,740
11	6,507	0,626
12	6,780	0,453
13	6,798	0,338
14	6,800	0,263
15	6,800	0,211
16	6,800	0,172
17	6,800	0,143
18	6,800	0,122
19	6,800	0,103
20	6,595	0,087
21	5,863	0,067
22	4,928	0,050
23	3,983	0,037
24	3,049	0,027
25	2,202	0,019



**Figura 2 - Curva di potenza e Ct dell'aerogeneratore Vestas V162 6,8MW**

Le curve di potenza utilizzate sono relative alla densità dell'aria di 1.15 Kg/m<sup>3</sup>. Il codice di calcolo WAsP calcola la curva per l'esatta densità dell'aria nelle posizioni del layout di impianto

## **2 TRATTAMENTO DEI DATI ANEMOMETRICI**

---

I dati anemometrici disponibili per la valutazione della produzione attesa per il progetto eolico sono quelli del punto di misura virtuale LES nella zona dell'impianto.

Per l'analisi del gradiente del vento con l'altezza dal suolo si sono potuti analizzare i valori di misura a varie altezze delle serie di dati LES. I dati LES forniscono valori fino ad altezze superiori all'altezza di punta pala.

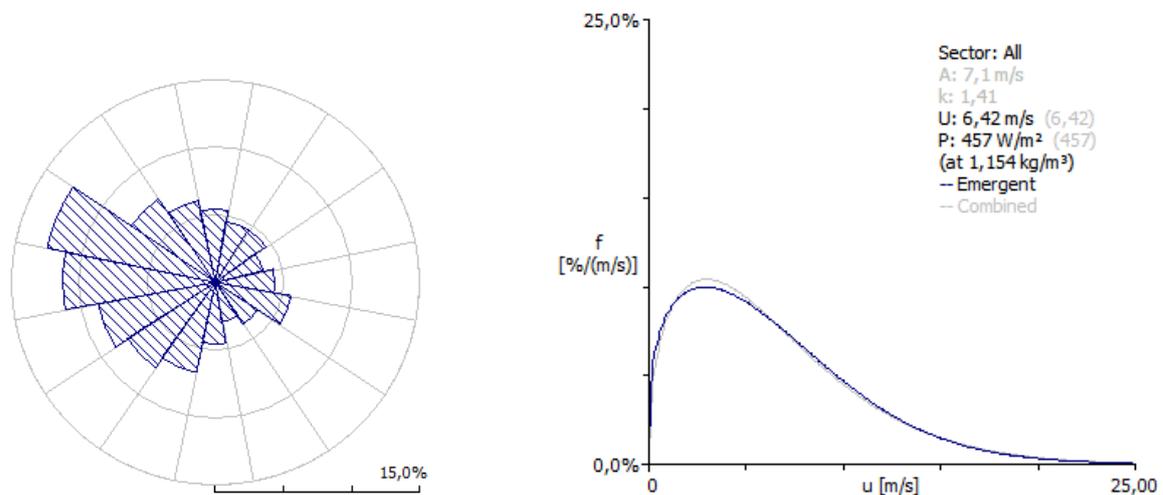
Inoltre, il modello di calcolo tiene conto dei parametri atmosferici locali e di rugosità del terreno per la stima del profilo verticale.

## 2.1 DATI ANEMOMETRICI IN INPUT AL MODELLO

La valutazione di produzione attesa è stata effettuata sulla base del punto virtuale (LES), riportati all'altezza di mozzo dell'aerogeneratore considerato per la stima della produzione energetica.

I dati LES utilizzati come climatologia principale del modello sono intrinsecamente storicizzati; pertanto, non è necessario eseguire una correlazione di lungo periodo.

Sotto è rappresentata la rosa del vento in termini di distribuzione di frequenza a 118 metri dal suolo nella posizione del punto di misura virtuale "LES Sennori", come rappresentata nel modello di calcolo.



## **2.2 IMPOSTAZIONE DEL MODELLO**

È stato considerato un valore di densità dell'aria pari a  $1,16 \text{ kg/m}^3$ , sulla base dei dati LES e di modelli di calcolo basati sui parametri atmosferici del sito.

È stato usato un modello per l'estrapolazione orizzontale dei valori di ventosità a partire dai punti di misura, che considera l'orografia e la rugosità del terreno.

La stima della produzione è stata effettuata utilizzando le curve di potenza degli aerogeneratori di riferimento di cui al paragrafo 1.3.

Sono stati stimati gli effetti di scia e gli altri parametri di simulazione utilizzando valori standard secondo lo stato dell'arte del settore eolico.

Non sono stati considerati effetti di scia dovuti ad aerogeneratori vicini esistenti di terzi.

### 3 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE NETTA ATTESA

La produzione attesa per l'impianto in oggetto è stata valutata in rapporto ai modelli di aerogeneratori indicati nel paragrafo 1.3.

La produzione attesa tiene conto delle perdite per la densità dell'aria alla quota del sito, delle perdite per effetto scia che si genera internamente tra gli aerogeneratori dell'impianto.

#### 3.1 PRODUZIONE ATTESA AL NETTO DELLE PERDITE

Il valore di produzione netta attesa viene ottenuto dal processo di calcolo illustrato nei paragrafi precedenti e tiene conto, oltre alle perdite dovute alla scia degli aerogeneratori e alla densità dell'aria alla quota del sito, (i) delle perdite elettriche, (ii) delle perdite di performance degli aerogeneratori (ad esempio per effetti ambientali, quali la temperatura), (iii) della disponibilità di rete, (iv) delle perdite per *noise and wind sector management* e (v) della disponibilità di aerogeneratori e Balance of Plant (BoP).

Costruttore e modello	Potenza AG	Numero AG	Potenza impianto	H mozzo	Perdite medie scia	Produzione netta (incl. WTG/BoP Av.)		Incertezza - periodo 10 anni
	(MW)	(N)	(MW)	(m)	%	(GWh/y)	(ore/y)	%
Nordex N163	7	6	42	118/98,5*	4,0%	86,7	2064	17
Vestas V162	6,8	6	40,8	119/98,5*	4,3%	87,5	2144	17
Riferimento modello Atlante Eolico V136	3,45	6	20,7	100	3,1%	51,4	2485	15

\* Nella posizione SEN-01 è prevista l'installazione di un aerogeneratore con altezza mozzo pari a 98,5m

Nella tabella sopra è presentata anche la stima di produzione - nelle medesime posizioni di progetto e con la stessa base di dati di vento - ipotizzando il modello di aerogeneratore Vestas V136 da 3,45MW, il quale è tra i modelli teorici di riferimento, utilizzati dall'Atlante Eolico RSE per la stima delle ore equivalenti indicative di un'area geografica (ore equivalenti net P50). Le ore equivalenti non sono un valore misurato ma rappresentano un parametro dipendente dal modello di aerogeneratore considerato, dalla sua curva di potenza e dal rapporto tra il suo diametro e il valore di potenza nominale. Il progetto di Sennori si attesta su valori di ore equivalenti net P50 superiori a 2150 utilizzando nel calcolo il modello di aerogeneratore V136 3,45MW con riferimento all'Atlante Eolico RSE.

I valori delle perdite elettriche, di performance degli aerogeneratori e delle altre perdite sono basati su valori medi relativi a impianti in esercizio della proponente di simile potenza elettrica complessiva.

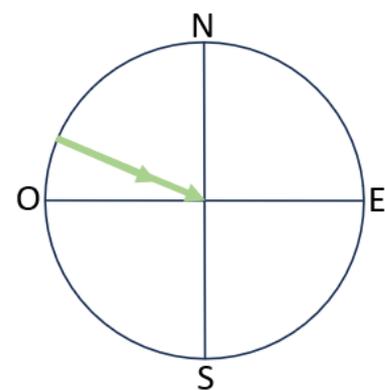
**La valutazione nella presente relazione è soggetta a significativa incertezza in quanto al momento è basata su dati satellitari in un'area caratterizzata da orografia complessa.** Una campagna di misura strumentale in sito vicina alle posizioni degli aerogeneratori tramite una stazione anemometrica o stazione LIDAR potrà fornire dati per affinare l'analisi e ridurre l'incertezza.

Nella tabella sotto sono indicate le stime di produzione annua lorda di ogni singolo aerogeneratore del progetto di Sennori e i medesimi valori decurtati delle perdite di scia, interne al layout di progetto, considerando il modello di aerogeneratore Nordex N163 di cui al paragrafo 1.3.

Aerogeneratore	Produzione annua lorda [GWh]	Produzione annua lorda - scie [GWh]	Perdite di scia [%]
SEN-01	14,8	14,6	1,5
SEN-02	17,7	16,9	4,5
SEN-03	17,8	17,0	4,9
SEN-04	18,4	17,4	5,7
SEN-05	16,5	15,9	3,8
SEN-06	16,2	15,7	3,1
<b>Parco eolico</b>	<b>101,5</b>	<b>97,4</b>	<b>4,0%</b>

Nella seguente tabella è indicata la **direzione prevalente per il layout di progetto, 292,5°**, in termini di **rilevanza energetica complessiva** sulle posizioni del layout, stimata nel modello di calcolo utilizzato per la presente relazione. Nella tabella è anche indicata la distribuzione di frequenza della direzione di provenienza del vento, in percentuale. Dalla tabella alla pagina precedente emerge un valore percentuale di perdite per effetto scia contenuto, che evidenzia un layout con interdistanze interne tra gli aerogeneratori adeguate.

Settore	Direzione [°]	Energia [GWh]	Frequenza [%]
1	0	0,8	5,2
2	22,5	0,9	4,5
3	45	1,8	4,6
4	67,5	2,4	3,8
5	90	6,1	4,5
6	112,5	8,0	5,6
7	135	4,6	3,5
8	157,5	3,1	2,8
9	180	4,8	4,3
10	202,5	7,7	6,8
11	225	9,1	7,8
12	247,5	9,3	9,2
13	270	14,7	11,8
14	292,5	17,6	12,5
15	315	4,6	7,0
16	337,5	2,1	6,0
<b>Somma:</b>		<b>97,4</b>	<b>100,0</b>



## 4 CONCLUSIONI

---

Con il presente rapporto sono stati determinati i risultati di stima della produzione attesa del progetto di parco eolico di Sennori, ubicato in Sardegna, in Provincia di Sassari, nel territorio comunale di Sennori.

L'attività è iniziata con la validazione e l'analisi statistica dei dati disponibili di origine satellitare. È stata stimata in tal modo la ventosità di lungo periodo, nonché messo a punto un modello di calcolo.

Il calcolo della produzione attesa media ( $P_{50\%}$ ) è stato effettuato sulla base di tutti i dati disponibili, utilizzando al meglio il codice di calcolo numerico e, nel caso in cui il processo offriva la possibilità di più scelte alternative, adottando i criteri di calcolo ritenuti più verosimili per le caratteristiche specifiche del sito e/o maggiormente conservativi, allo scopo di ridurre il rischio di sopravvalutazione della produzione.