

# IL PIANO ENERGETICO-AMBIENTALE PER LA PROVINCIA DI GROSSETO

---

Allegato A2.11 ANALISI DELLE POTENZIALITA' DI SVILUPPO DI PRODUZIONE EOLICA

Riferimento al capitolo 3.3 della Relazione di sintesi PEAP GR



A cura di CO.SVI.G., PIN SCRL.

## **1.1 *Analisi della potenzialità di sviluppo di produzione eolica***

### **1.1.1 Metodologia d'indagine**

Per quanto riguarda il settore eolico, la presente sezione del piano è specificamente orientata a tracciare un quadro del potenziale delle risorse eoliche sfruttabili sul territorio provinciale. In quest'analisi assume particolare rilevanza la valutazione dell'effettivo potenziale eolico e della sua distribuzione sul territorio rispetto ai vincoli imposti dagli strumenti di pianificazione locali. A tali informazioni sono sicuramente interessati gli organi pubblici nel loro ruolo di programmatori del territorio, così come i responsabili dello sviluppo della rete elettrica ed i singoli operatori industriali che valutano, in prospettiva strategica, opportunità e rischi associati ad iniziative eoliche più o meno importanti nello specifico ambito territoriale all'interno della provincia di Grosseto.

Ai fini energetici interessa in prima istanza la producibilità complessiva annua e questo delinea l'obiettivo perseguito dalla presente sezione del piano: rappresentare le caratteristiche medie annue del regime di vento complessivo nei diversi punti del territorio, in termini interessanti per lo sfruttamento energetico; tali caratteristiche sono state individuate tramite il seguente parametro: disponibilità di risorsa eolica in termini di percentili orari nell'arco di un anno per cui si manifestano velocità del vento comprese nel range di funzionamento degli aerogeneratori. Tale parametro è stato valutato a differenti quote per tener conto delle diverse taglie funzionali delle macchine eoliche potenzialmente installabili. In tutto ciò, particolare attenzione deve essere ed è stata rivolta, alla corretta valutazione del contributo dei regimi di vento che concorrono maggiormente dal punto di vista energetico.

Pur con questi obiettivi apparentemente limitati, nel caso della provincia di Grosseto la composizione di un quadro anemologico medio complessivo che possa rappresentare anche solo indicativamente lo stato delle conoscenze generali richiede di affrontare parecchie difficoltà. La presenza di un territorio ad orografia complessa rende per la provincia di Grosseto il compito più impegnativo rispetto a zone che sono caratterizzati in generale da territorio pianeggiante.

Per superare queste difficoltà, lo studio in questione, sostanzialmente di modellistica numerica, si è incentrato sulla simulazione dei campi di vento tridimensionali di un anno di riferimento (scelto in modo che fosse rappresentativo delle condizioni medie locali), attuata mediante l'applicazione di modelli matematici che tengono conto degli effetti prodotti da rilievi montuosi oltre che della rugosità superficiale del terreno legata all'uso del suolo locale.

La simulazione suddetta è stata sviluppata dall'Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Energetica, che ha utilizzato il modello CALMET.

### **1.1.2 Il modello meteorologico CALMET**

CALMET è un modello meteorologico che si compone di un modulo per il calcolo del campo di vento (modello di tipo diagnostico) e di un modulo per il calcolo dei parametri micrometeorologici dello strato limite atmosferico.

Il modello diagnostico per il calcolo dei campi di vento utilizza un algoritmo in due fasi. Nella prima fase una stima iniziale del campo di vento su una griglia di calcolo tridimensionale viene modificata in base agli effetti cinematici del terreno, dei pendii presenti, degli effetti di bloccaggio. Successivamente, nella seconda fase, mediante una procedura analitica oggettiva, vengono introdotti i dati osservati di input all'interno del campo prodotto dalla fase 1, ottenendo così il

campo di vento finale. Esiste, comunque, la possibilità di utilizzare come input campi di vento (generalmente a maglie più larghe) prodotti da modelli meteorologici di tipo prognostico, come ad esempio MM4-MM5.

Di seguito si analizzano nel dettaglio le caratteristiche dell'approccio modellistico di CALMET.

Nella fase 1, gli effetti cinematici del terreno vengono considerati mediante l'approccio di Liu e Yocke (1980). Il campo di vento iniziale viene modificato tramite l'aggiunta di componenti verticali indotte dall'orografia complessa, utilizzando una funzione di decadimento di tipo esponenziale, dipendente dalla stabilità atmosferica. Gli effetti del terreno sulle componenti orizzontali del vento sono invece valutati applicando uno schema di minimizzazione della divergenza al campo di vento iniziale stimato. L'algoritmo viene applicato iterativamente fino a che la divergenza tridimensionale risulta al di sotto di una certa soglia.

Il flusso sui pendii viene calcolato in base alla parametrizzazione di Mahrt (1982), mentre gli effetti termodinamici di bloccaggio del terreno sul flusso di vento sono parametrizzati in termini di numero di Froud locale.

Nella fase 2 di calcolo la procedura prevede l'introduzione dei dati di input osservati. Viene effettuata un'interpolazione pesando maggiormente i punti nelle vicinanze del dato osservato, mentre il campo di vento risultante dalla fase 1 risulta dominante nelle regioni del dominio più lontane.

Come già accennato in precedenza, in alternativa ai dati osservati, possono essere utilizzati i risultati derivanti da modelli di tipo prognostico a larga scala.

Per il calcolo dei parametri micrometeorologici CALMET utilizza due differenti modelli a seconda della tipologia di superficie planetaria coinvolta (terreno o acqua).

Al di sopra della terraferma, viene applicato il bilancio energetico di Holtslag e Van Ulden (1983) per il calcolo dei valori bidimensionali orari di flusso di calore sensibile, velocità di attrito, lunghezza di Monin-Obukhov e velocità convettiva di scala. Le altezze di mescolamento sono determinate a partire dai valori calcolati di flusso superficiale di calore e dai valori osservati dei profili verticali di temperatura.

Il codice CALMET necessita dei seguenti dati di input:

- dati meteorologici al suolo;
- profili verticali di pressione, temperatura, velocità e direzione del vento;
- campo bidimensionale di orografia del territorio;
- campo bidimensionale di lunghezza di rugosità del terreno, albedo, flusso di calore superficiale, flusso di calore antropogenico e indice di vegetazione, valutati a partire da informazioni relative alla copertura del suolo del territorio in esame.

Per quanto riguarda la discretizzazione del dominio di calcolo, il modello fa uso delle tradizionali coordinate cartesiane (a spaziatura costante) per le due coordinate orizzontali, mentre per la direzione verticale utilizza una coordinata conforme: si tratta di superfici terrain following, che seguono l'andamento del terreno con un elevato grado di dettaglio in prossimità del suolo, per diventare piane alla sommità del dominio di simulazione.

Utilizzando questa discretizzazione verticale si ottiene, a parità di numero di livelli rispetto ad una discretizzazione gaussiana, una migliore descrizione dei campi di vento in prossimità del suolo; in secondo luogo l'utilizzo delle coordinate conformi consente di trattare in una forma semplificata le condizioni al contorno da imporre in prossimità suolo.

### 1.1.3 Domini di simulazione

Per la realizzazione delle simulazioni dei campi di vento caratteristici della zona oggetto di studio sono stati scelti due differenti approcci d'indagine:

- **Analisi d'insieme del territorio della provincia di Grosseto.**

Tale indagine è stata effettuata prendendo in considerazione un'area di dimensioni pari a circa  $100 \times 100$  km<sup>2</sup>, includendo l'intero territorio della provincia di Grosseto ed evitando eccessive discontinuità sui confini delle aree geografiche confinanti. Tale dominio è stato discretizzato con una risoluzione di 2 km e consente quindi di avere un quadro complessivo delle potenzialità di sfruttamento eolico sull'intero territorio grossetano.

- **Analisi di dettaglio di sottoaree della provincia di Grosseto.**

Tale indagine è stata realizzata suddividendo il territorio della provincia di Grosseto in 10 "aree geografiche" di area pari a circa  $25 \times 25$  km<sup>2</sup> (vedi figura 1). Tale suddivisione è stata scelta sulla base dei dati meteorologici disponibile e in modo da poter disporre di una miglior risoluzione orografica (griglia discreta a 500m) ed avere di conseguenza informazioni più dettagliate relativamente alle diverse realtà locali del territorio oggetto di studio.

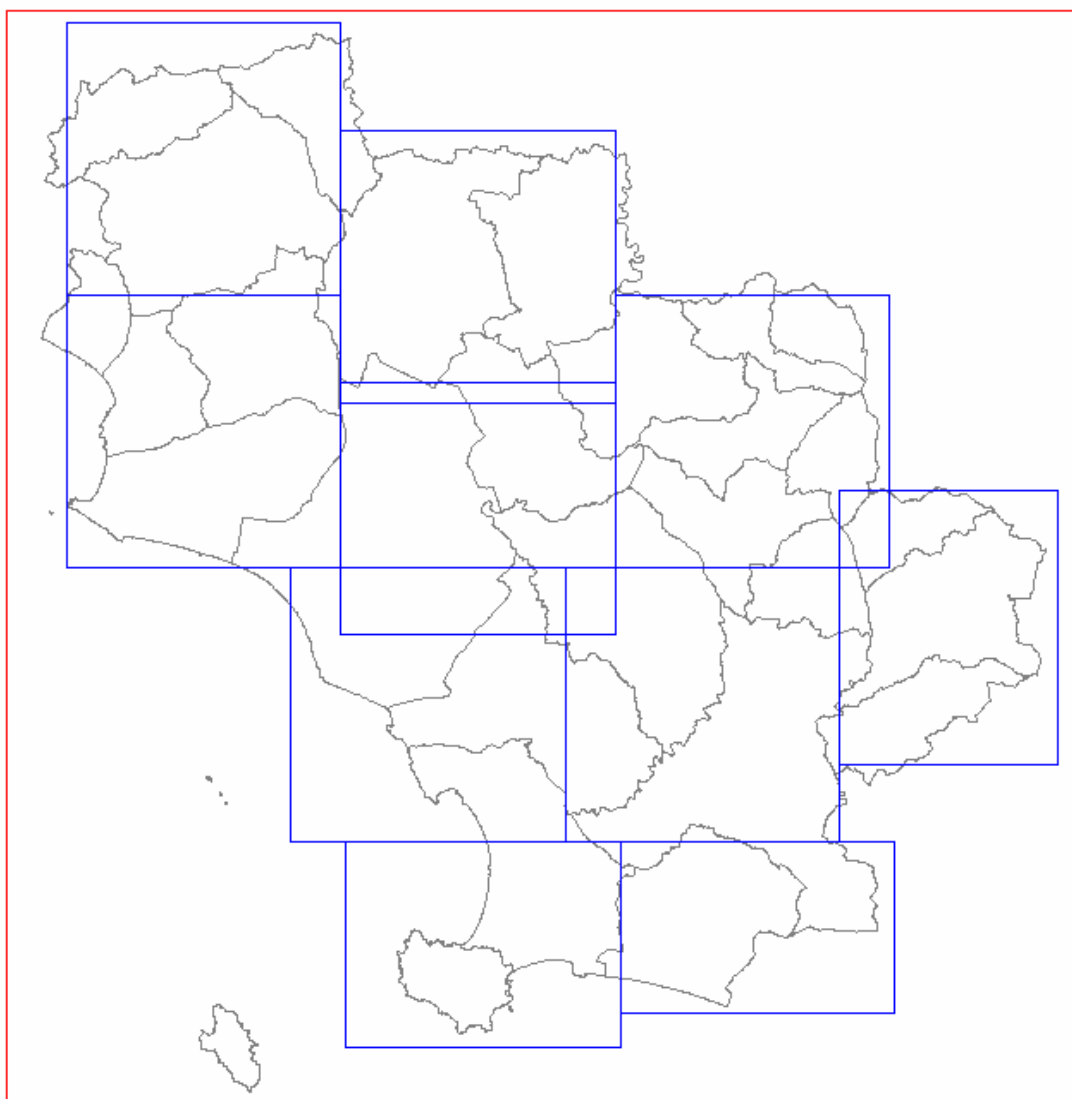


Figura 5.1: Suddivisione aree geografiche d'indagine per l'analisi di dettaglio (in blu) e dominio di simulazione per l'analisi d'insieme (in rosso).

La dimensione verticale del dominio di calcolo, per entrambi gli approcci, si estende dal suolo fino a 2500 m s.l.m. La griglia, rispetto alla direzione verticale, è stata infittita in prossimità del terreno per meglio rappresentare lo strato limite superficiale dell'atmosfera e per poter disporre dei campi di vento relativi alle altezze tipiche di funzionamento delle diverse taglie funzionali degli aerogeneratori. In questo studio in particolar modo sono stati valutati i regimi di vento alle seguenti quote:

- 10 metri di altezza dal suolo (altezza media del mozzo degli impianti minieolici di piccola taglia)
- 35 metri di altezza dal suolo (altezza media del mozzo degli impianti minieolici di media taglia)
- 60 metri di altezza dal suolo (altezza media del mozzo degli impianti eolici da 850 Kw e 1 Mw)
- 80 metri di altezza dal suolo (altezza media del mozzo degli impianti eolici da 2 Mw)
- 100 metri di altezza dal suolo (altezza media del mozzo degli impianti eolici da 2 Mw)

#### 1.1.4 Input geofisici

Per costruire le mappe di orografia relativamente alle aree geografiche facenti parte dei domini di simulazione è stato utilizzato il modello digitale di elevazione del terreno (DEM) elaborato dal NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) e distribuito dallo United States Geological Survey (USGS). Tale modello digitale di elevazione del terreno SRTM ricopre l'intera superficie terrestre ed è disponibile con una risoluzione di 3" di arco (~90 m di risoluzione), sia in longitudine che in latitudine.

Per quanto riguarda invece le griglie di uso del suolo sono stati utilizzati i dati di copertura del terreno relativi al database Corine Landcover della Regione Toscana e della Regione Lazio.

Gli input relativi all'orografia e alla copertura del terreno sono stati costruiti utilizzando i database elencati precedentemente, opportunamente rigrigliati sia in latitudine che in longitudine con un passo di 2 km per l'analisi d'insieme sul territorio della provincia di Grosseto e con un passo di 500 metri per le analisi sulle sottoaree geografiche. E' da rimarcare che il valore puntuale di elevazione del terreno attribuito ad ogni nodo del grigliato rappresenta il valore medio dell'elevazione sul livello del mare (s.l.m.) della cella di territorio circostante al nodo. Si tratta quindi di una rappresentazione smussata del territorio, particolarità di cui si deve tener conto nell'interpretazione delle mappe finali.

#### 1.1.5 Base dati meteorologici

Il data base meteorologico necessario per la ricostruzione delle mappe eoliche generate dal modello matematico CALMET è stato costruito utilizzando:

- dati meteorologici al suolo (velocità e direzione del vento a 10 m dal suolo, temperatura e pressione atmosferica, radiazione globale e netta) delle stazioni meteo della rete ARSIA; nella figura seguente è riportata la dislocazione delle stazioni meteo considerate.

- profili verticali di temperatura, pressione, velocità e direzione del vento estratti tramite il modello RAMS elaborati dal CNR – IBIMET / LaMMA, di cui si riporta la ubicazione dei siti in figura.

I dati utilizzati fanno riferimento alla sequenza storica su base oraria di un intero anno solare; in particolare nel presente studio si è fatto riferimento all'anno 2002; tale scelta è stata effettuata in modo che fossero verificati i seguenti criteri:

- completezza delle sequenze di dati storici dell'archivio meteo al suolo e dei profili verticali in quota
- scelta di un anno rappresentativo delle condizioni medie locali, non caratterizzato da andamenti anomali delle caratteristiche meteorologiche.

La ricostruzione di una serie storica annuale dei campi di vento completa e rappresentativa dei regimi medi dell'area di indagine tramite il modello CALMET è indispensabile per l'ottenimento di mappe eoliche affidabili nella definizione delle potenzialità di sviluppo eolico del territorio della provincia di Grosseto.

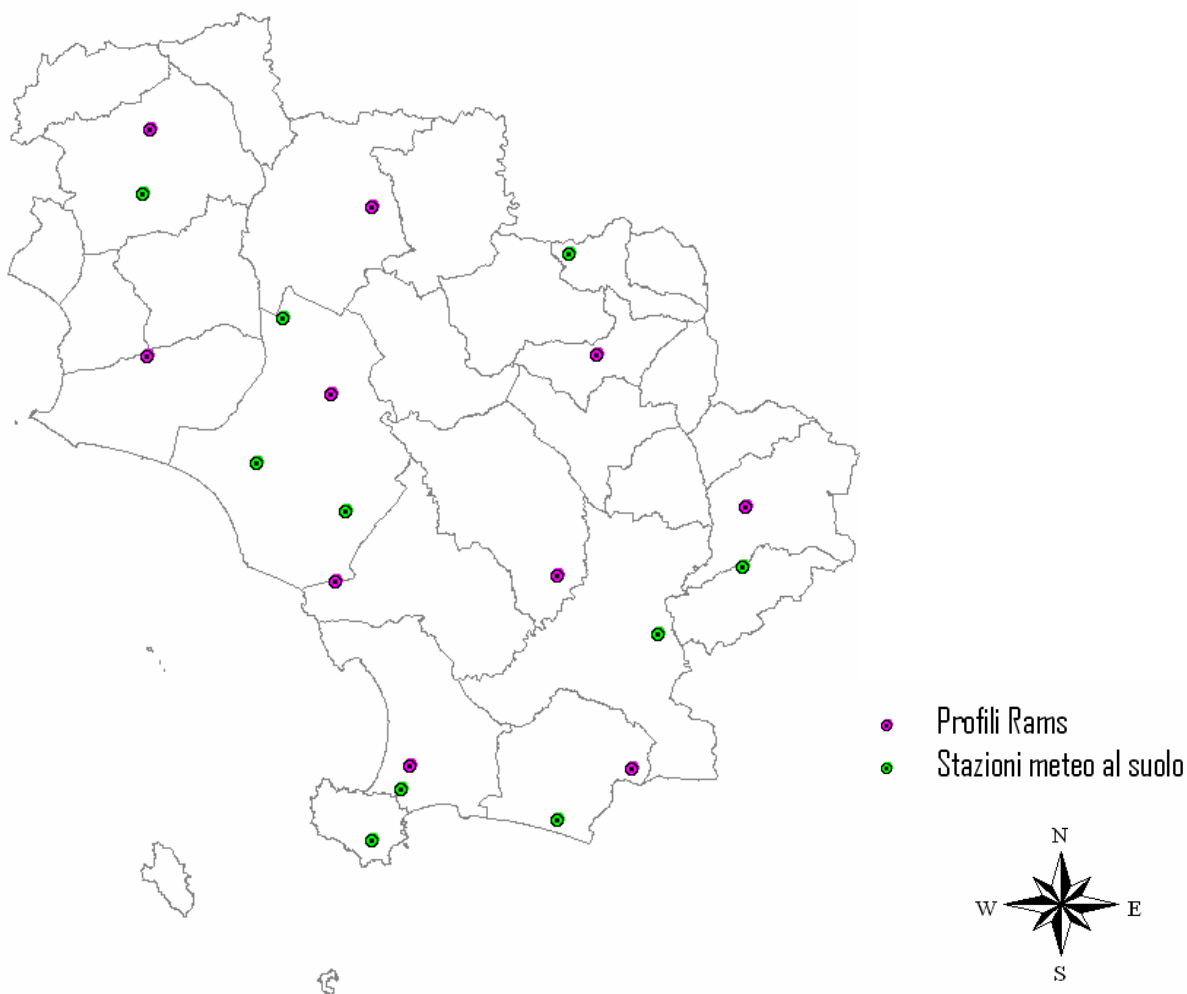


Figura 5.2: Ubicazione delle stazioni meteo al suolo e dei profili verticali di temperatura, pressione, velocità e direzione del vento estratti tramite il modello RAMS

### 1.1.6 Costruzione delle mappe eoliche

Per la valutazione del potenziale eolico del territorio in termini interessanti per lo sfruttamento energetico nella presente fase di lavoro è stata valutata la seguente grandezza: disponibilità di risorsa eolica in termini di percentili orari nell'arco di un anno per cui si manifestano velocità del vento comprese nel range di funzionamento degli aerogeneratori. Questo parametro è stato definito tenendo conto delle seguenti considerazioni:

- Le macchine eoliche definite “minieolico di piccola taglia” possono essere caratterizzate da un range di funzionamento compreso tra 2.5 e 50 m/s ed un'altezza media del mozzo di circa 10 metri;
- Le macchine eoliche definite “minieolico di media taglia” possono essere caratterizzate da un range di funzionamento compreso tra 2.5 e 50 m/s ed un'altezza media del mozzo di circa 35 metri;
- Gli aerogeneratori con potenza nominale di 850 kW e 1 MW possono essere caratterizzate da un range di funzionamento compreso tra 3.5 e 25 m/s ed un'altezza media del mozzo di circa 60 metri;
- Gli aerogeneratori con potenza nominale di 2 MW possono essere caratterizzate da un range di funzionamento compreso tra 3.5 e 25 m/s ed un'altezza media del mozzo di circa 80 metri;
- Gli aerogeneratori con potenza nominale di 3 MW possono essere caratterizzate da un range di funzionamento compreso tra 3.5 e 25 m/s ed un'altezza media del mozzo di circa 100 metri.

Sulla base di tali indicazioni sono state ricostruite mappe di disponibilità eolica per ognuna delle categorie di macchina eolica considerata, a cui corrisponde una diversa quota di interesse del campo di vento (10, 35, 60, 80 e 100 metri). Tali mappe sono state ricostruite a partire dalla griglia di calcolo tramite adeguati algoritmi di interpolazione, strumenti che consentono di visualizzare le grandezze desiderate su tutta l'area di indagine considerata.

L'analisi statistica dei campi di vento in quota che ha consentito di ricavare i parametri desiderati nei diversi punti del territorio, invece, è stata realizzata tramite l'applicazione del postprocessore PRTMET e tramite la realizzazione di un apposito algoritmo in MATLAB.

Alle mappe di disponibilità eolica così ottenute sono stati sovrapposti tramite elaborazione con Arcview i vincoli imposti dagli strumenti di pianificazione territoriali (quali ad esempio i Siti di Interesse Comunitario e Regionale), in modo da poter definire le aree vocate a sfruttamento eolico realmente sfruttabili per la produzione di energia elettrica.

Si riportano qui di seguito i risultati dell'analisi d'insieme sull'intera provincia di Grosseto.

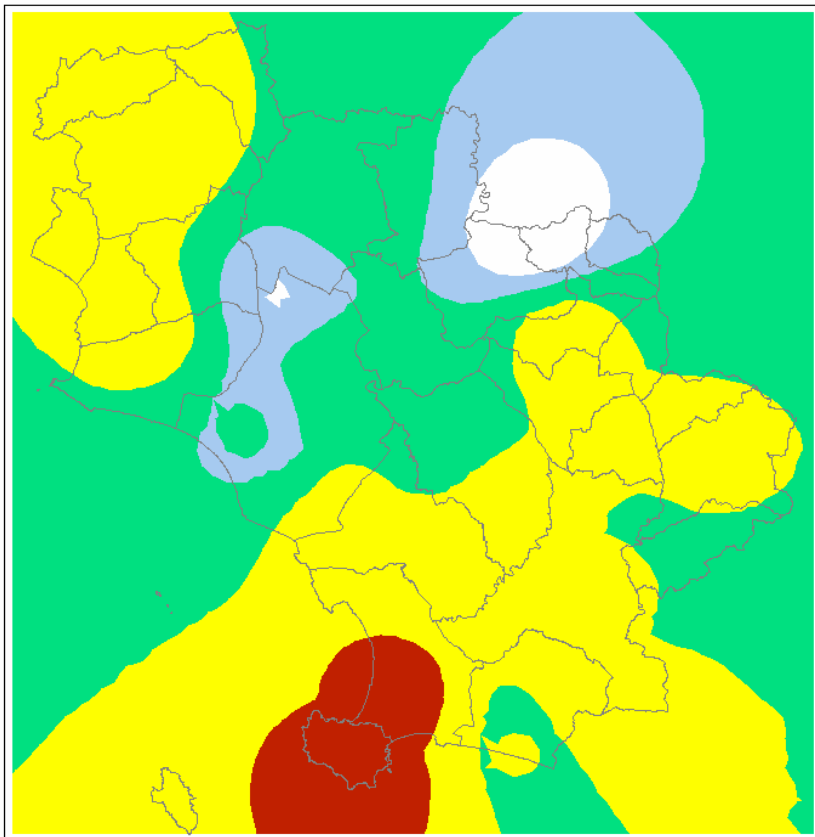
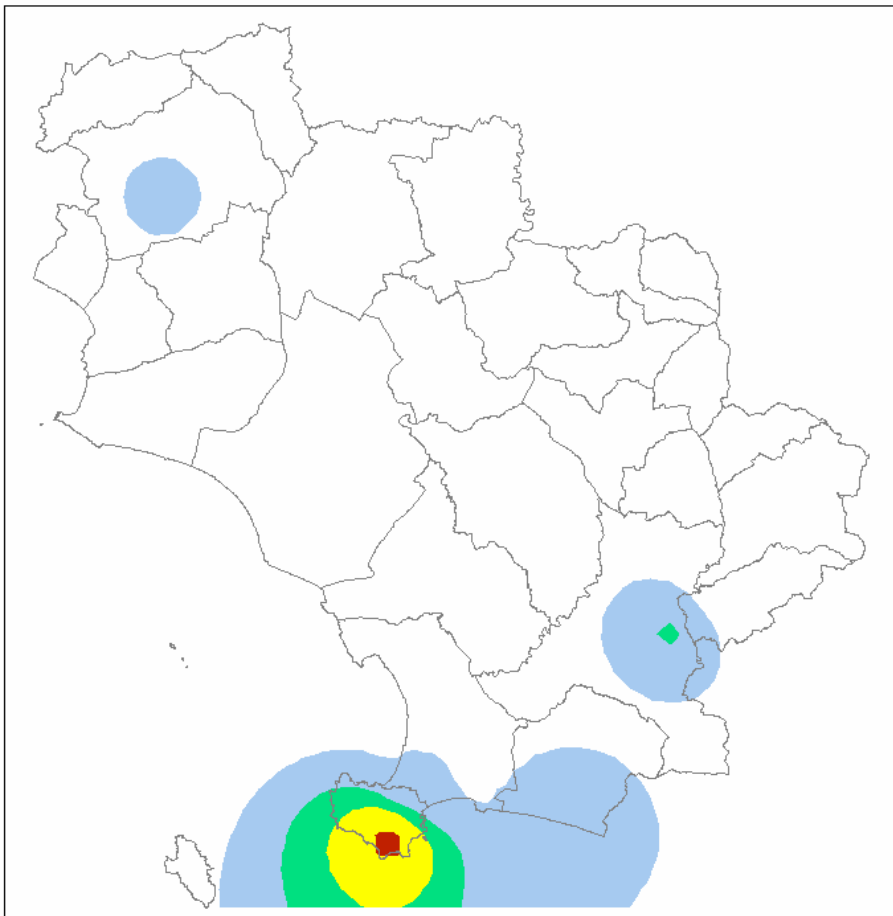
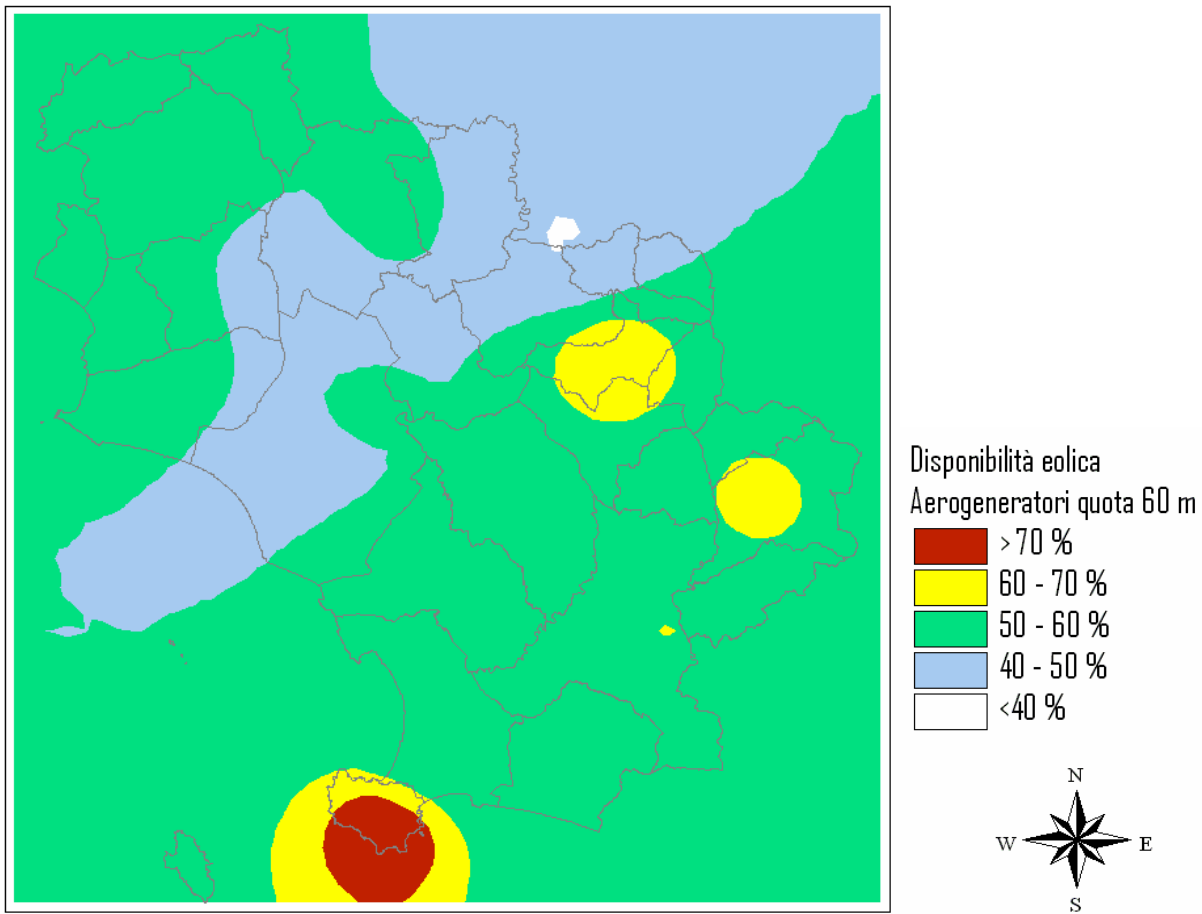




Figura 5.3: Disponibilità di risorsa eolica alla quota di 10 m per minieolico di piccola taglia (in alto) e alla quota di 35 m per "minieolico di taglia medio-grande"



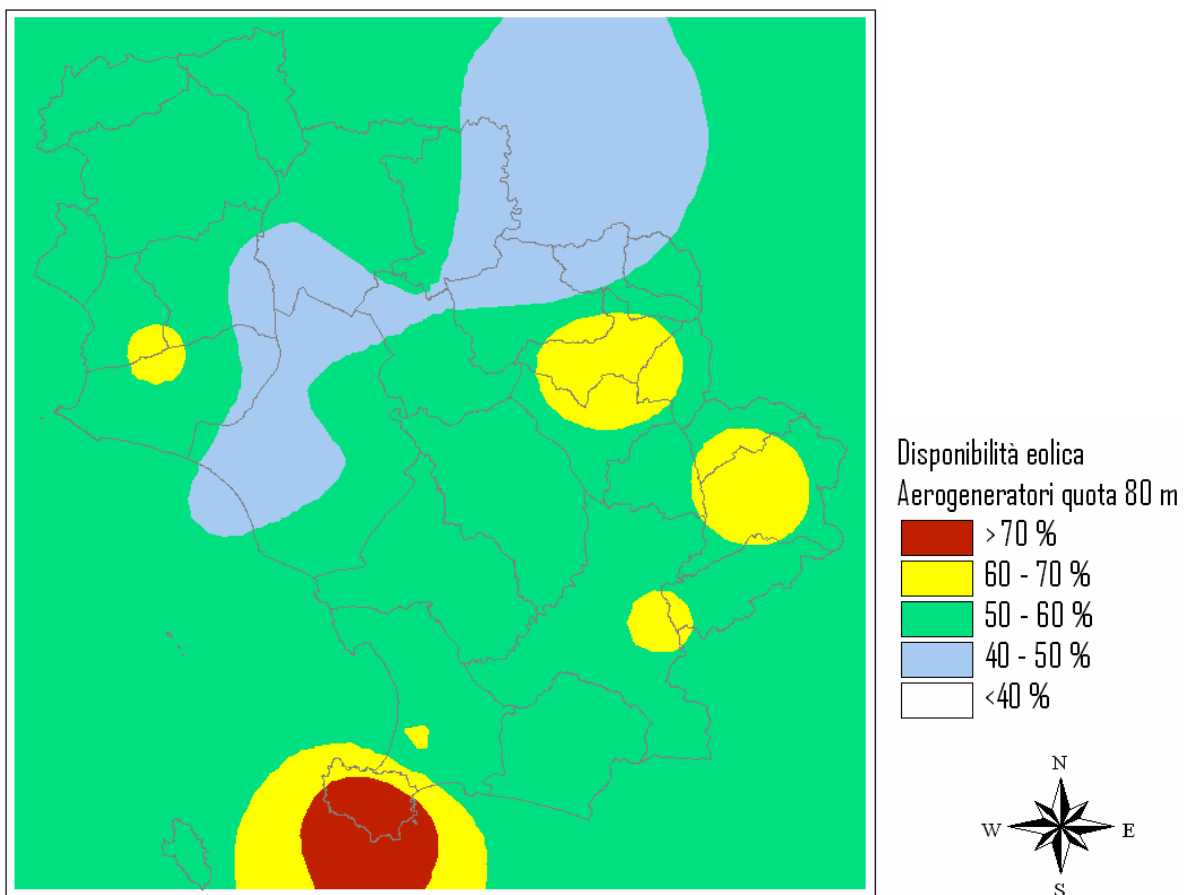


Figura 5.4: Disponibilità di risorsa eolica alla quota di 60 m per aerogeneratori da 1 MW (in alto) e alla quota di 80 m per aerogeneratori da 2 MW (in basso)

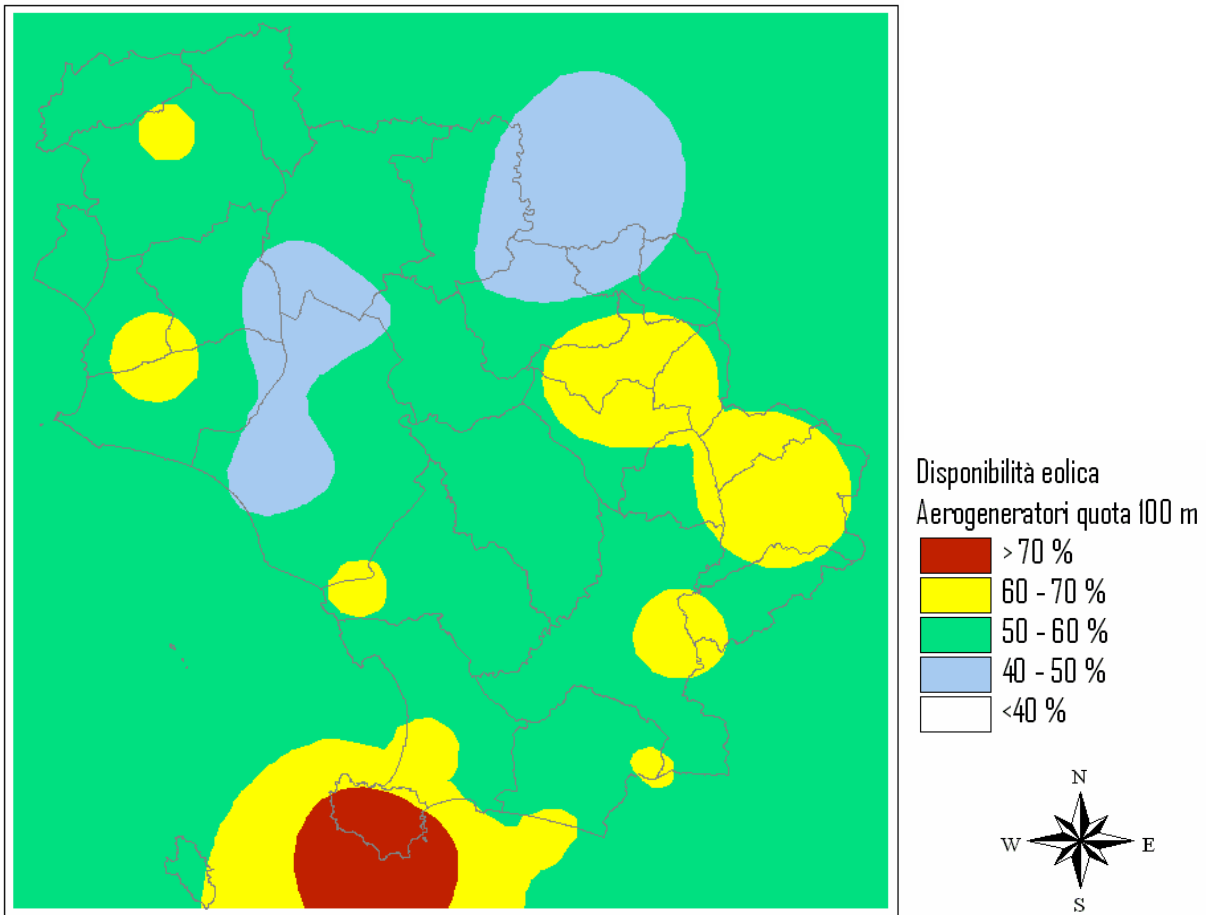


Figura 5.5: Disponibilità di risorsa eolica alla quota di 100 m per aerogeneratori da 3 MW