



AGENZIA PROVINCIALE  
PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE



UNIVERSITY OF TRENTO - Italy

Department of Civil, Environmental  
and Mechanical Engineering

# Atlante solare ed eolico e loro impieghi

## Il clima in Trentino

Dalle temperature ai ghiacciai: la ricerca racconta la storia di un  
clima che cambia

L. Laiti, L. Giovannini, D. Zardi

[lavinia.laiti@provincia.tn.it](mailto:lavinia.laiti@provincia.tn.it)

[lorenzo.giovannini@unitn.it](mailto:lorenzo.giovannini@unitn.it)

# Atlante solare del Trentino

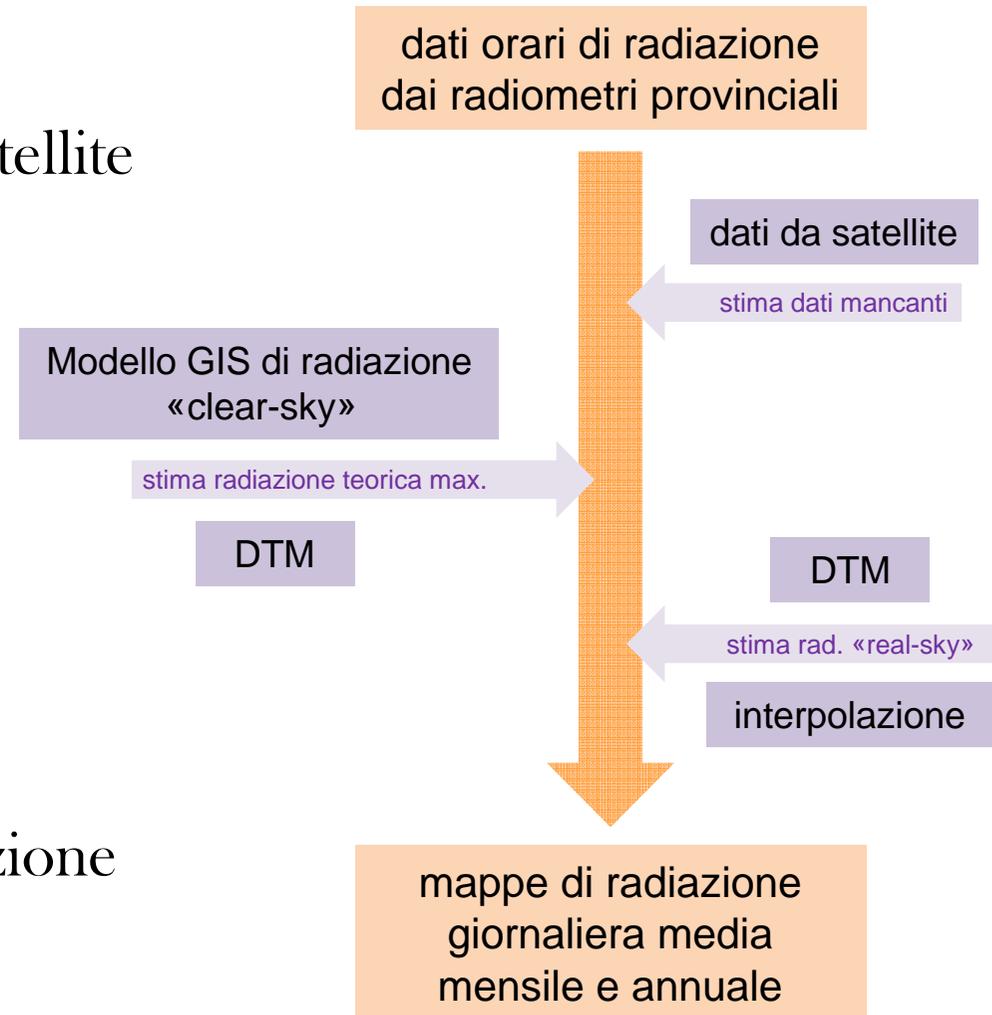
Dati di radiazione al suolo e da satellite  
per il periodo 2004-2012



Modello di radiazione “clear-sky”  
basato su strumento GIS



Ricostruzione del campo di radiazione  
nella Provincia di Trento con  
risoluzione di 200 m

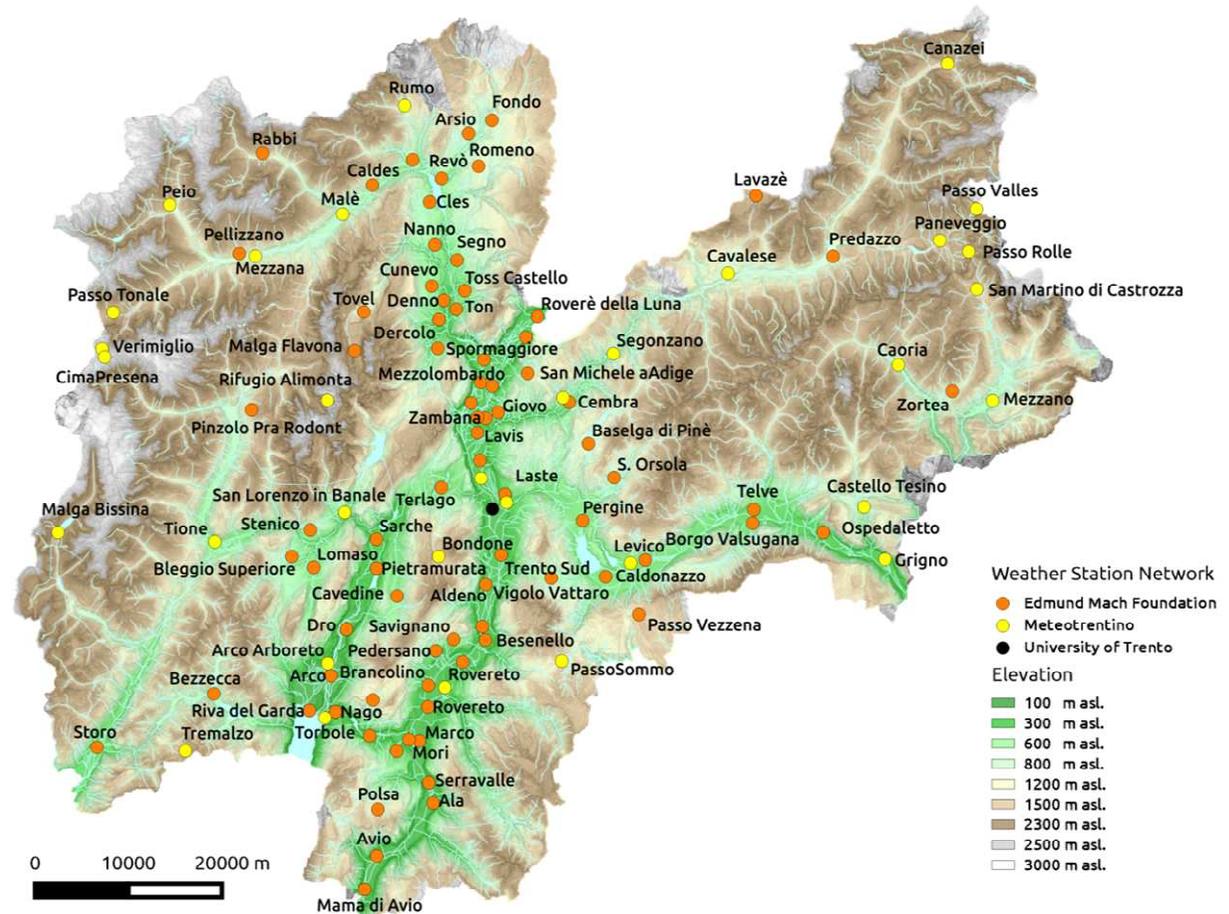


# Misure di radiazione al suolo

Misure di radiazione globale al suolo da stazioni meteorologiche e agro-meteorologiche in Trentino

> 100 stazioni

Ricognizione e analisi in collaborazione con FEM (D. Andreis, F. Zottele, G. Toller)



# Controllo di qualità dei dati

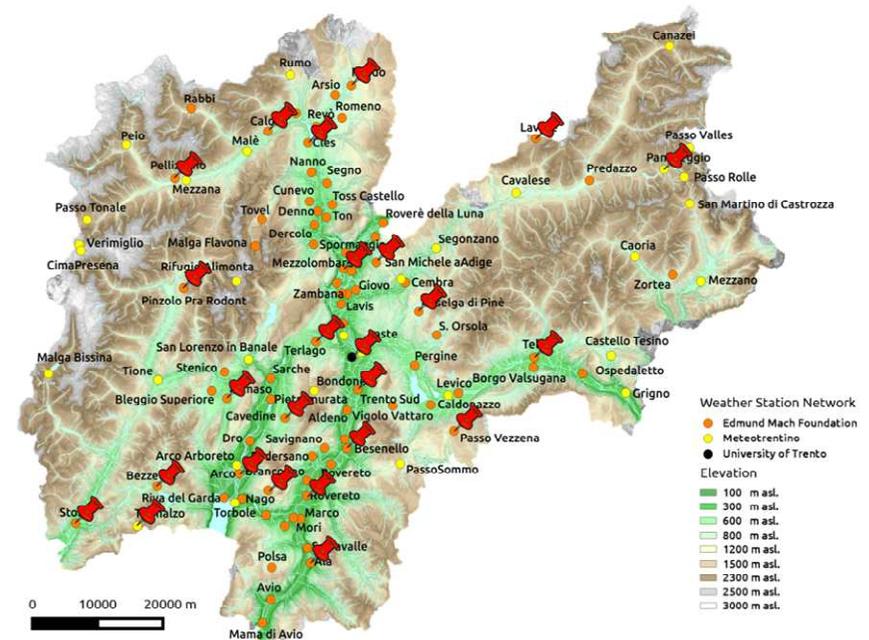
- valori fisicamente plausibili di radiazione solare;
- step test: controllo di “salti” fisicamente non plausibili;
- controllo di persistenza temporale, per identificare sospetti malfunzionamenti;
- controllo di consistenza spaziale, per valutare la coerenza con le misure delle stazioni vicine.

+ Controlli di omogeneità

25 stazioni

84-1561 m s.l.m.

periodo 2004-2012

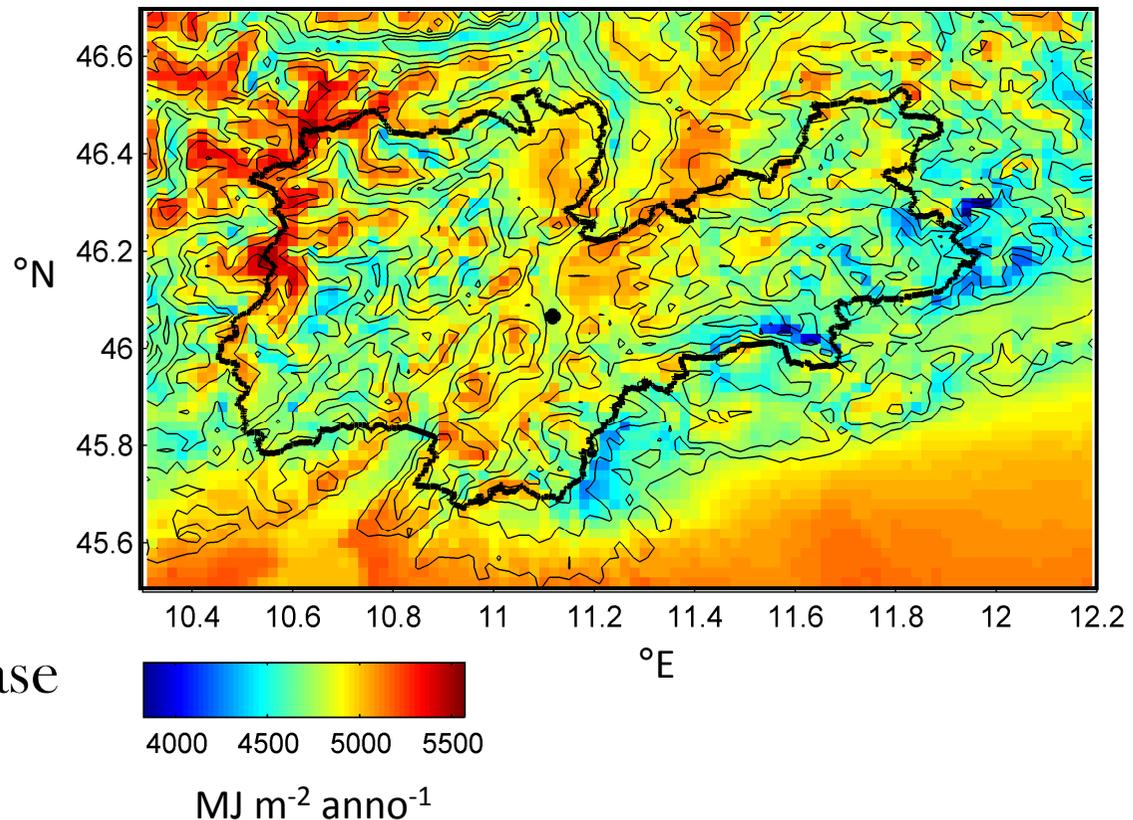


# Misure di radiazione da satellite

Database Heliomont  
(MeteoSvizzera):

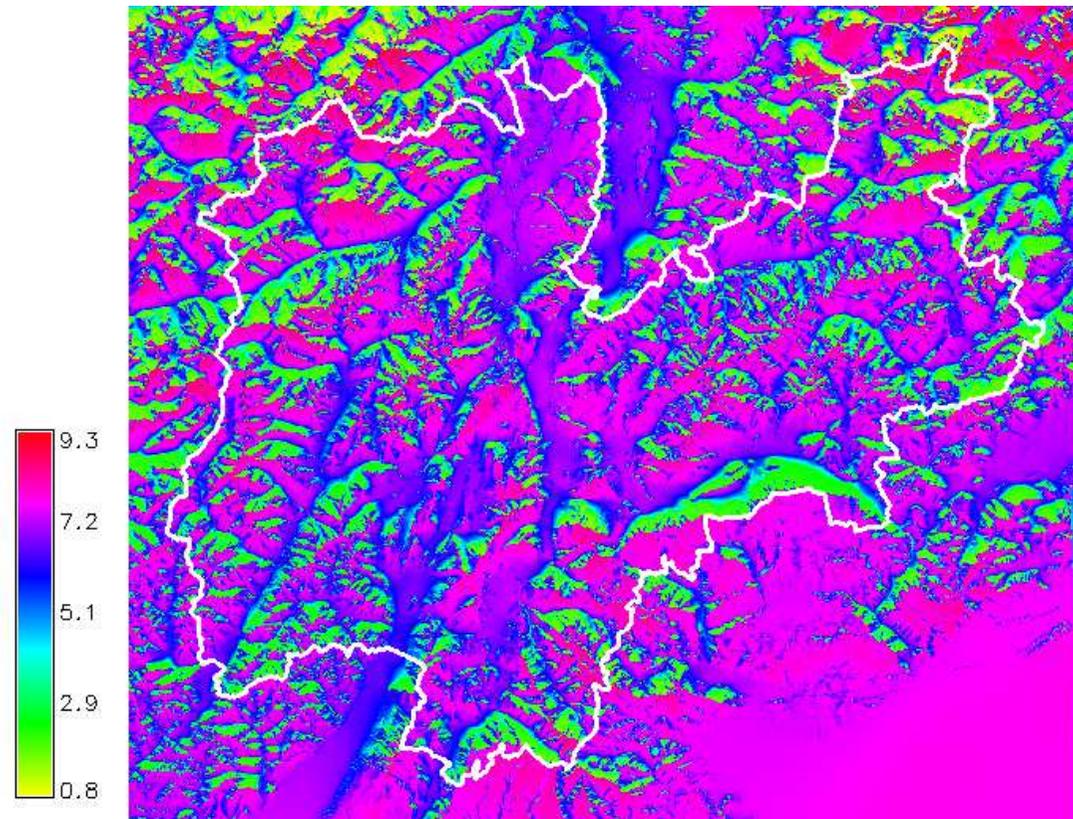
- anni 2004-2012
- $\Delta x \approx 1.5-2$  km
- $\Delta t = 15$  min

Stima dei dati al suolo  
mancanti tramite  
regressione lineare su base  
giornaliera



# Modello di radiazione “clear-sky”

Utilizzo del modello di radiazione “clear-sky”  
r.sun di **GRASS GIS**, con  
risoluzione di 200 m sulla  
Provincia di Trento



MJ m<sup>-2</sup> giorno<sup>-1</sup>

mese di gennaio

## Stima della radiazione “real-sky”

Correzione delle stime di radiazione “clear-sky” sulla base delle medie mensili 2004-2012 delle misure al suolo:

- indici adimensionali ( $k_c$ ) @ stazioni
- interpolazione spaziale @ 200 m (3 algoritmi → Residual Kriging)

	<i>ass(MBE) - <math>K_c</math></i>			<i>MAE - <math>K_c</math></i>			<i>RMSE - <math>K_c</math></i>		
	<i>ISD</i>	<i>OK</i>	<i>RK</i>	<i>ISD</i>	<i>OK</i>	<i>RK</i>	<i>ISD</i>	<i>OK</i>	<i>RK</i>
<i>GEN</i>	1.42E-03	2.47E-04	1.72E-04	4.77E-02	4.60E-02	4.58E-02	5.52E-02	5.57E-02	5.52E-02
<i>FEB</i>	2.92E-04	4.35E-05	2.16E-05	4.50E-02	4.50E-02	4.43E-02	5.43E-02	5.54E-02	5.49E-02
<i>MAR</i>	9.91E-04	5.55E-11	1.37E-11	3.96E-02	3.63E-02	3.50E-02	4.97E-02	4.62E-02	4.46E-02
<i>APR</i>	3.72E-03	2.94E-04	3.16E-04	3.66E-02	3.71E-02	2.99E-02	5.12E-02	5.07E-02	4.02E-02
<i>MAG</i>	8.28E-03	1.23E-03	4.74E-08	3.77E-02	3.80E-02	2.56E-02	5.24E-02	5.15E-02	3.30E-02
<i>GIU</i>	9.94E-03	2.36E-03	1.13E-06	3.84E-02	3.78E-02	2.73E-02	5.58E-02	5.48E-02	3.71E-02
<i>LUG</i>	1.08E-02	2.22E-03	1.87E-05	3.87E-02	3.81E-02	2.72E-02	5.53E-02	5.40E-02	3.67E-02
<i>AGO</i>	7.18E-03	5.23E-04	8.16E-07	4.07E-02	3.89E-02	2.80E-02	5.42E-02	5.22E-02	3.55E-02
<i>SET</i>	5.55E-03	1.02E-03	5.10E-04	3.50E-02	3.41E-02	2.97E-02	4.48E-02	4.37E-02	3.62E-02
<i>OTT</i>	2.36E-03	6.83E-11	1.82E-04	3.77E-02	3.48E-02	3.43E-02	4.41E-02	4.23E-02	4.18E-02
<i>NOV</i>	1.55E-03	2.11E-04	1.65E-04	4.24E-02	4.05E-02	4.01E-02	4.94E-02	4.91E-02	4.89E-02
<i>DIC</i>	1.35E-03	7.12E-11	4.00E-11	5.04E-02	4.68E-02	4.55E-02	5.64E-02	5.52E-02	5.44E-02

## Mappe finali

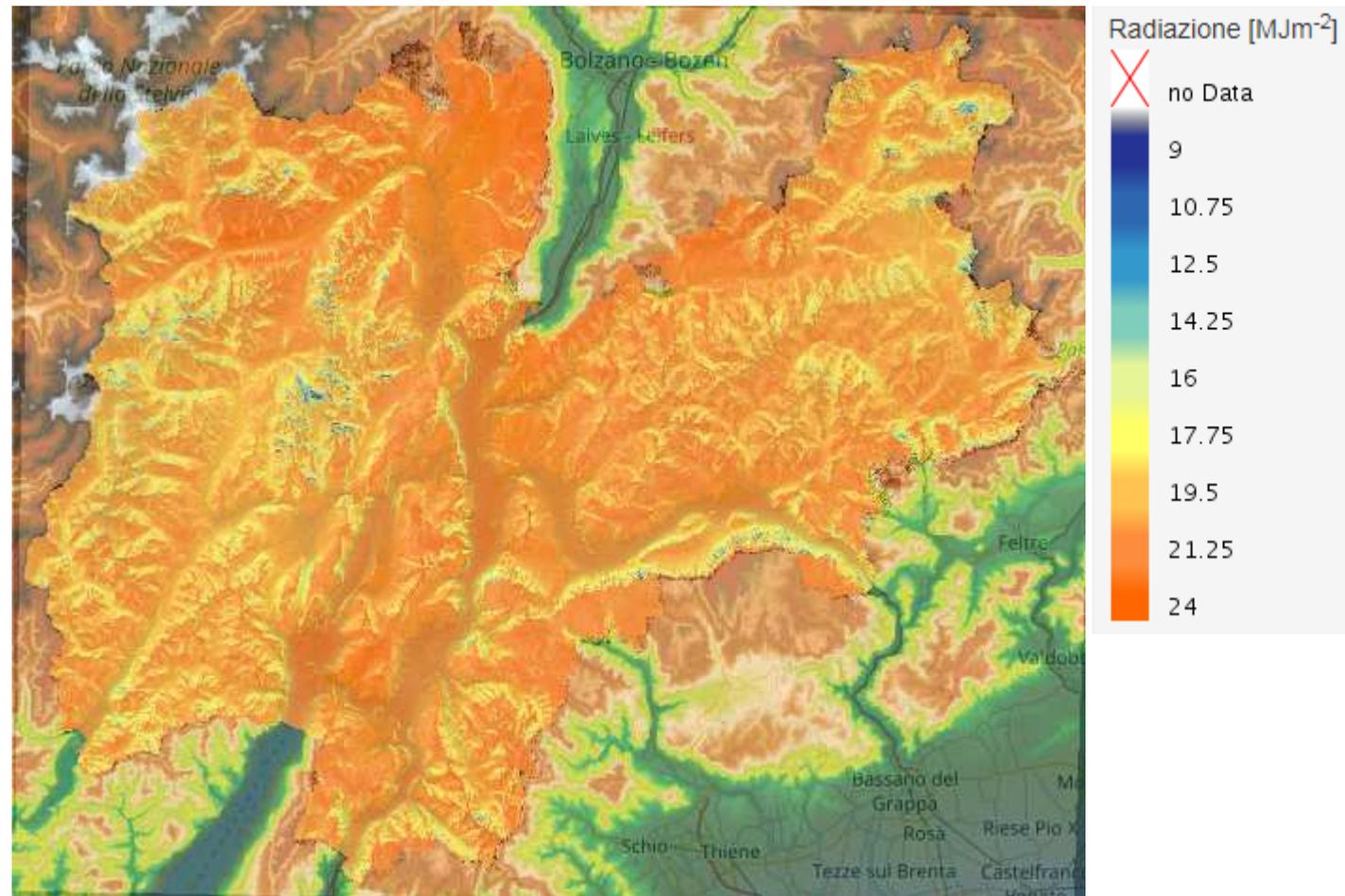
- Mappe mensili e annuali di radiazione globale orizzontale media al suolo in condizioni «clear-sky»  $GHI_{cs}$  ( $MJ\ m^{-2}\ giorno^{-1}$ )
- Mappe mensili e annuali di  $k_c$  (indice “clear-sky”) medio giornaliero

$$k_c = \frac{GHI_{mis}}{GHI_{cs}} \quad 0 \leq k_c \leq 1$$

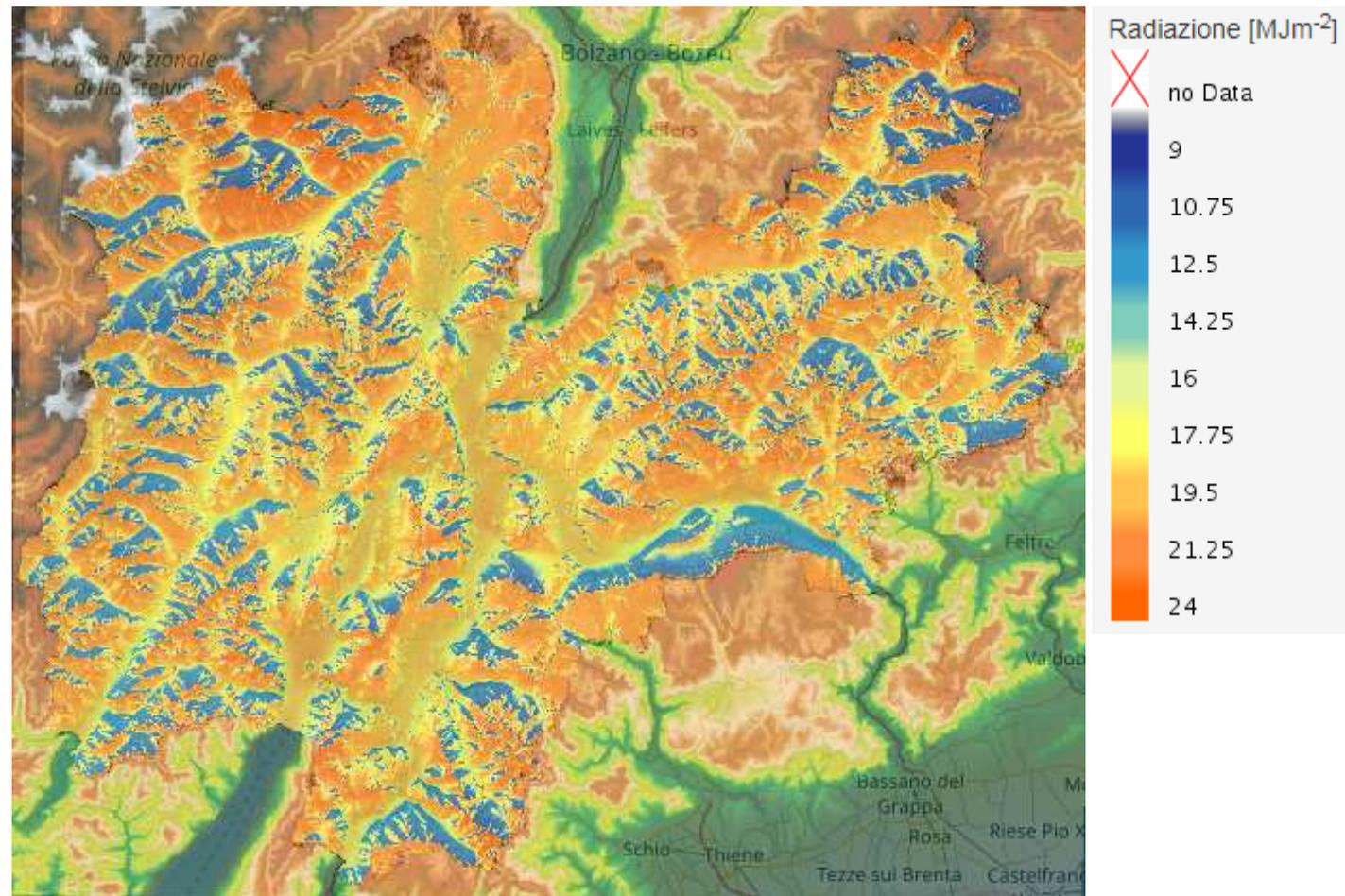
- Mappe mensili e annuali di radiazione globale orizzontale media al suolo in condizioni «real-sky»  $GHI$  ( $MJ\ m^{-2}\ giorno^{-1}$ )

accuratezza: 3-7 % (MAE)

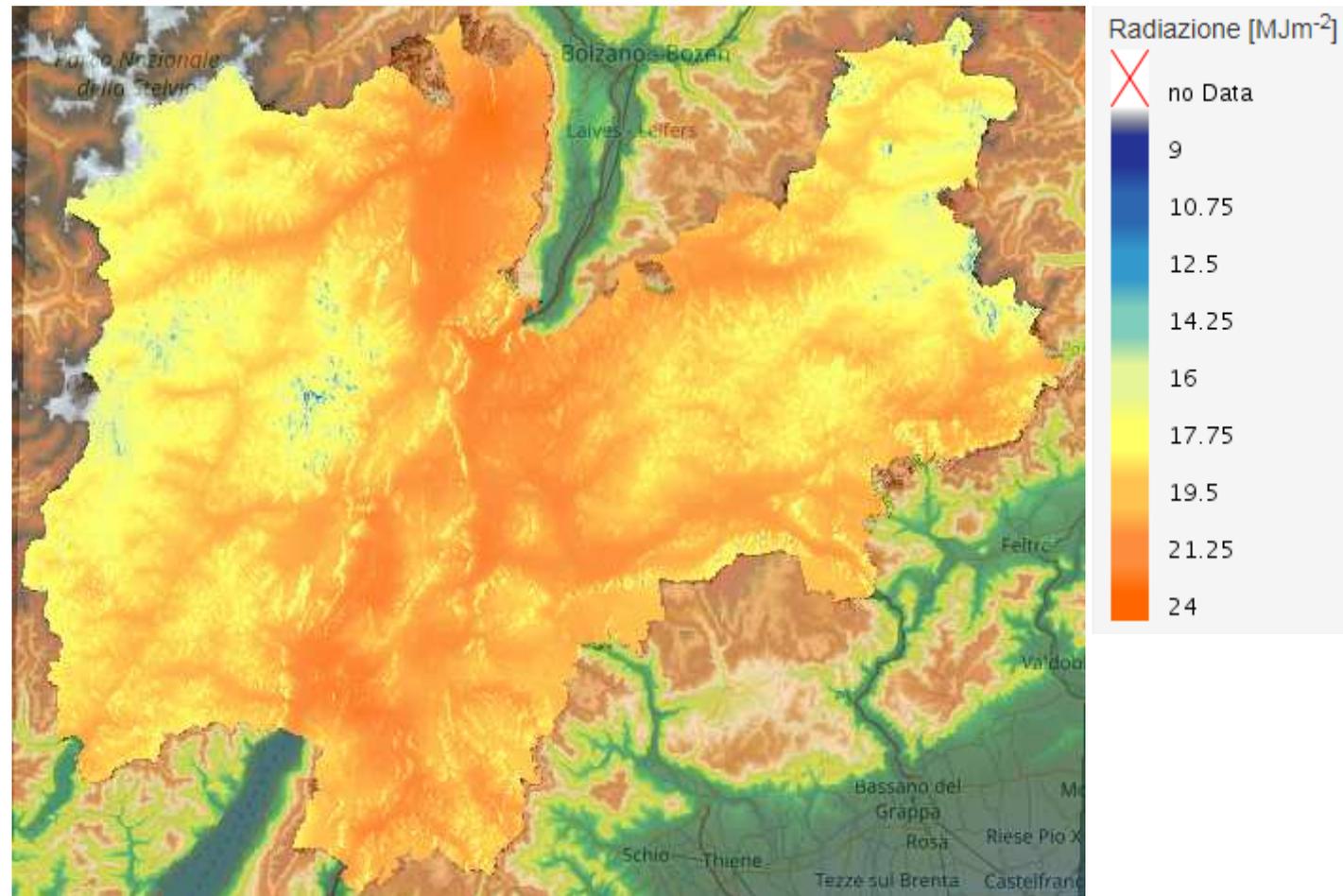
# Radiazione globale media - anno



# Radiazione globale media - dicembre



# Radiazione globale media - giugno

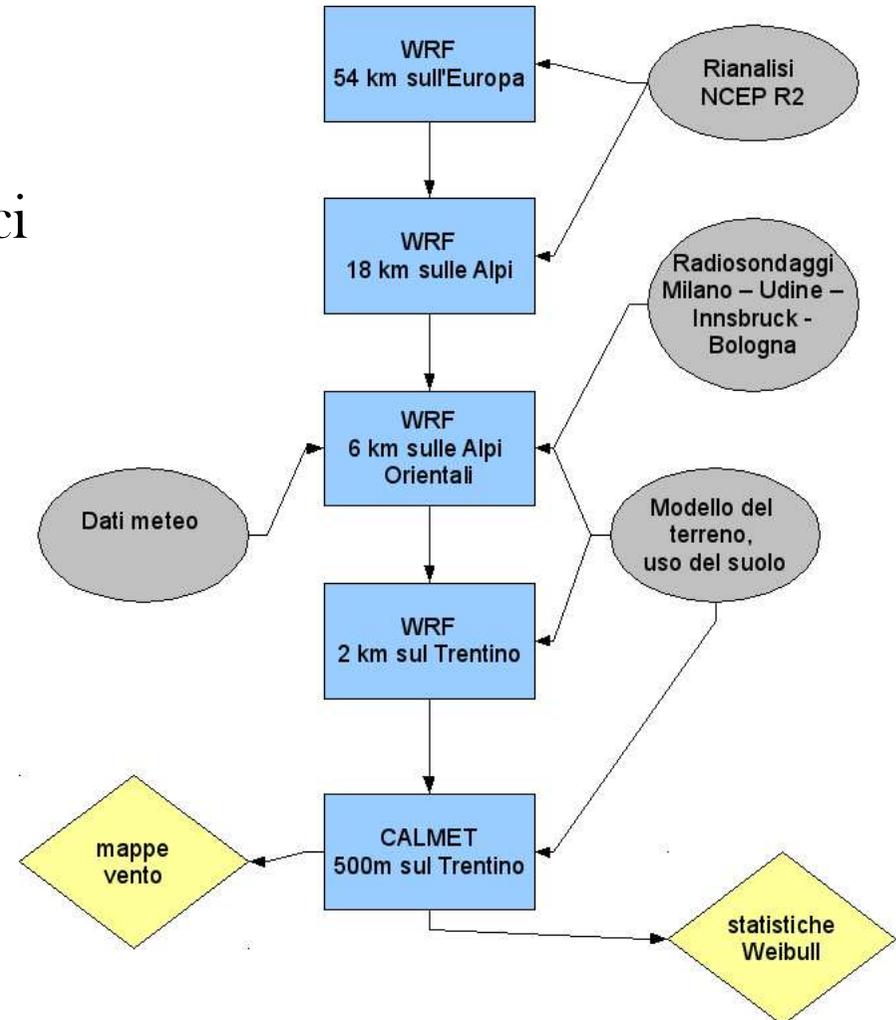


# Atlante eolico del Trentino

Simulazioni con modelli meteorologici per il periodo 2004-2013

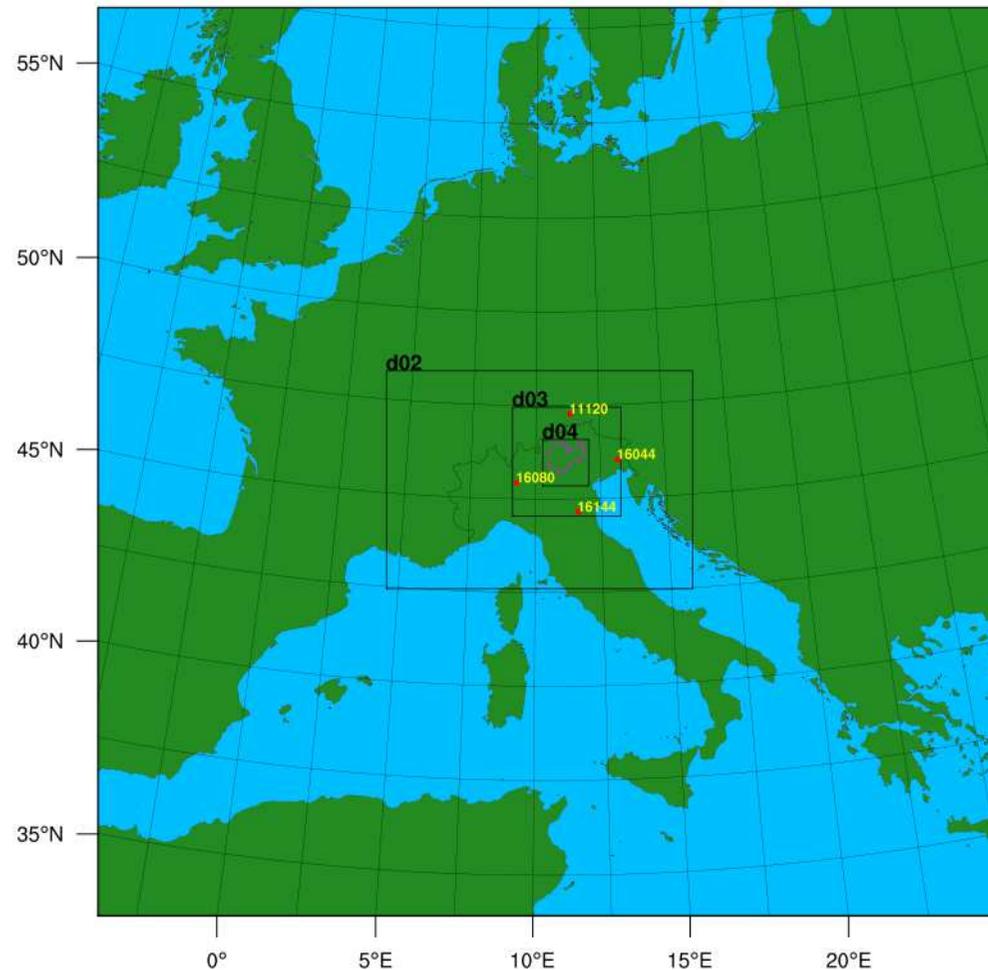


Ricostruzione del campo di vento nella Provincia di Trento con risoluzione di 500 m



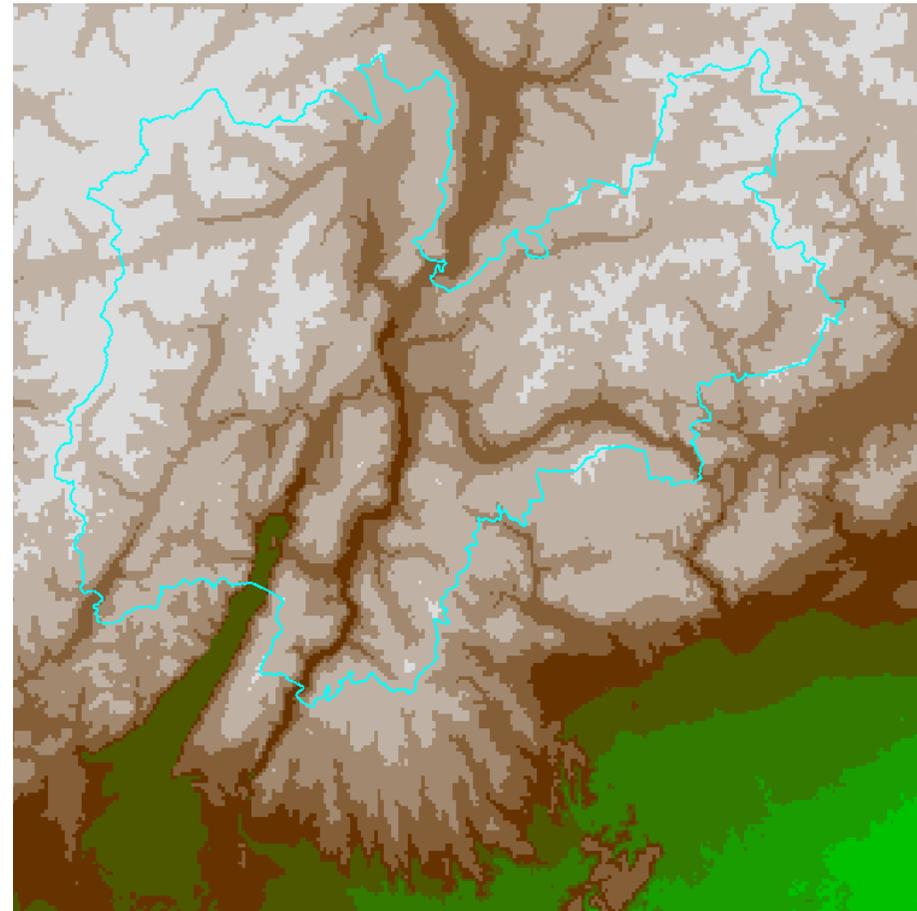
# Simulazioni con il modello WRF

Simulazioni con il modello meteorologico **WRF** con 4 domini innestati fino ad una risoluzione di 2 km sulla Provincia di Trento



# Simulazioni con il modello CALMET

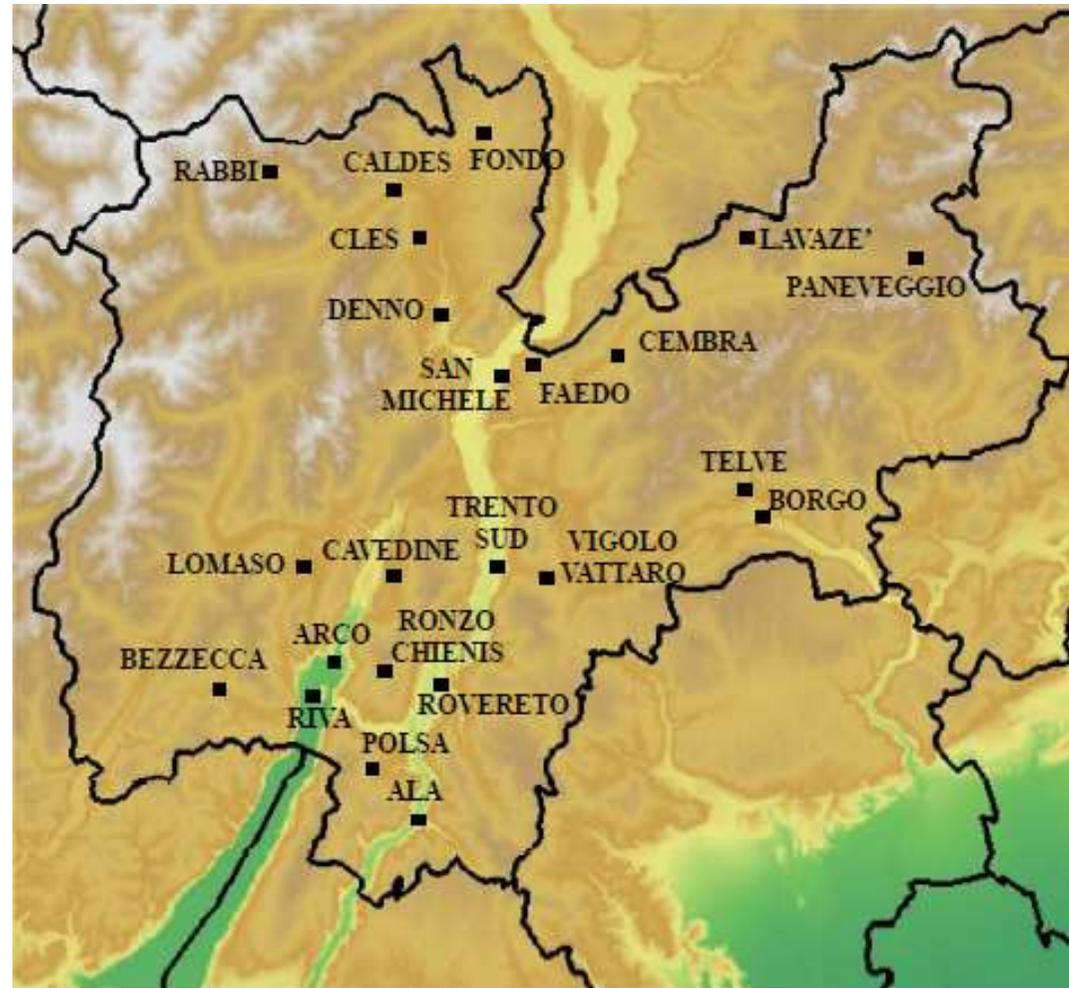
Simulazioni con il modello diagnostico **CALMET** per raggiungere una risoluzione finale di 500 m



## Assimilazione dati da stazioni meteorologiche

Assimilazione di misure per migliorare gli output delle simulazioni numeriche:

- radiosondaggi
- stazioni al suolo (FEM e Meteotrentino)



## Controllo di qualità dei dati

- valori fisicamente plausibili della velocità del vento;
- controllo della frequenza delle calme di vento, per identificare periodi sospetti con lunghe condizioni di calma;
- step test: controllo di salti non fisicamente plausibili;
- controllo di media e varianza della velocità del vento, allo scopo di identificare errori sistematici.



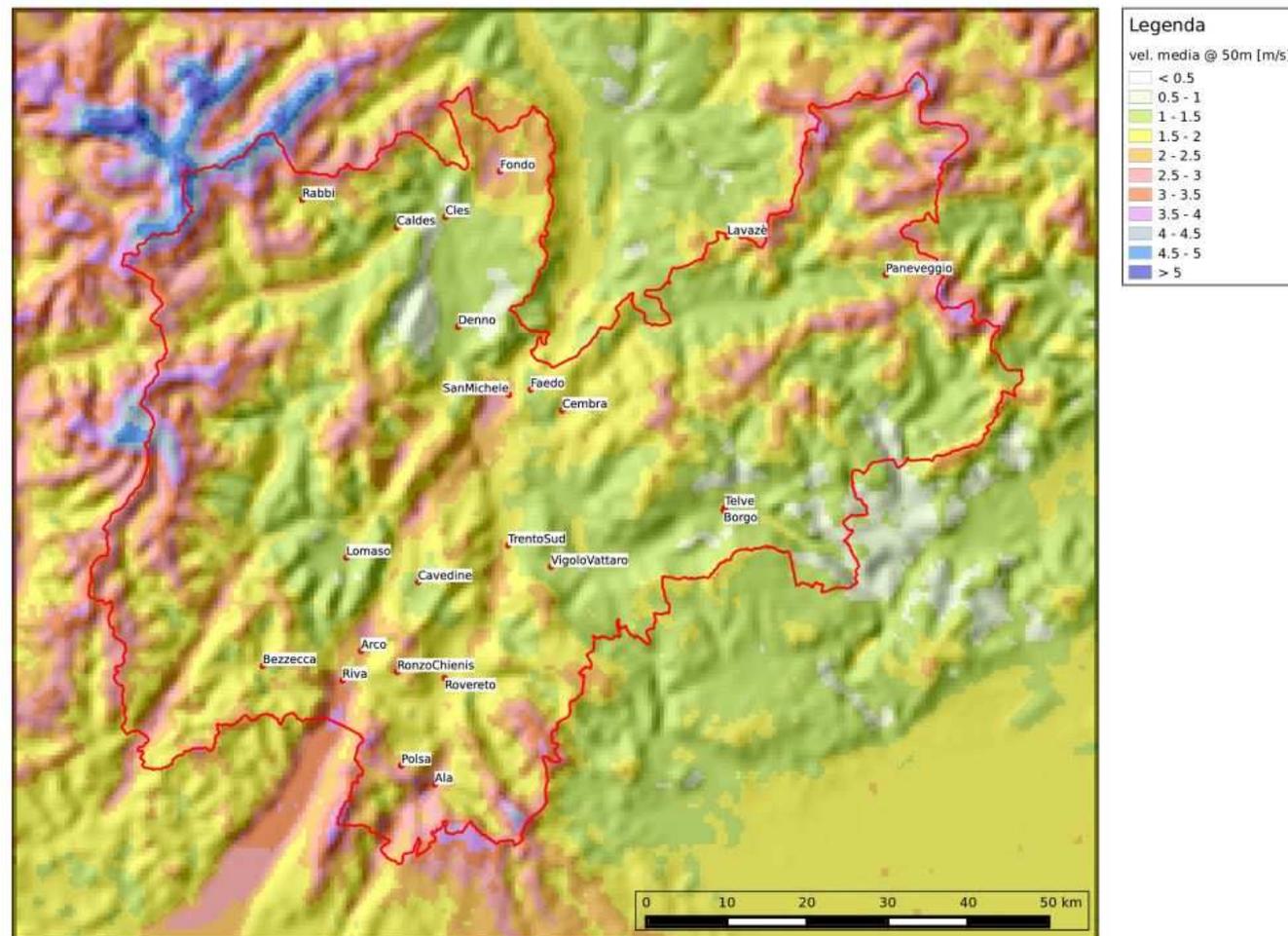
# Mappe finali

- Mappe di velocità del vento
- Mappe dei parametri  $c$  e  $k$  della distribuzione di Weibull

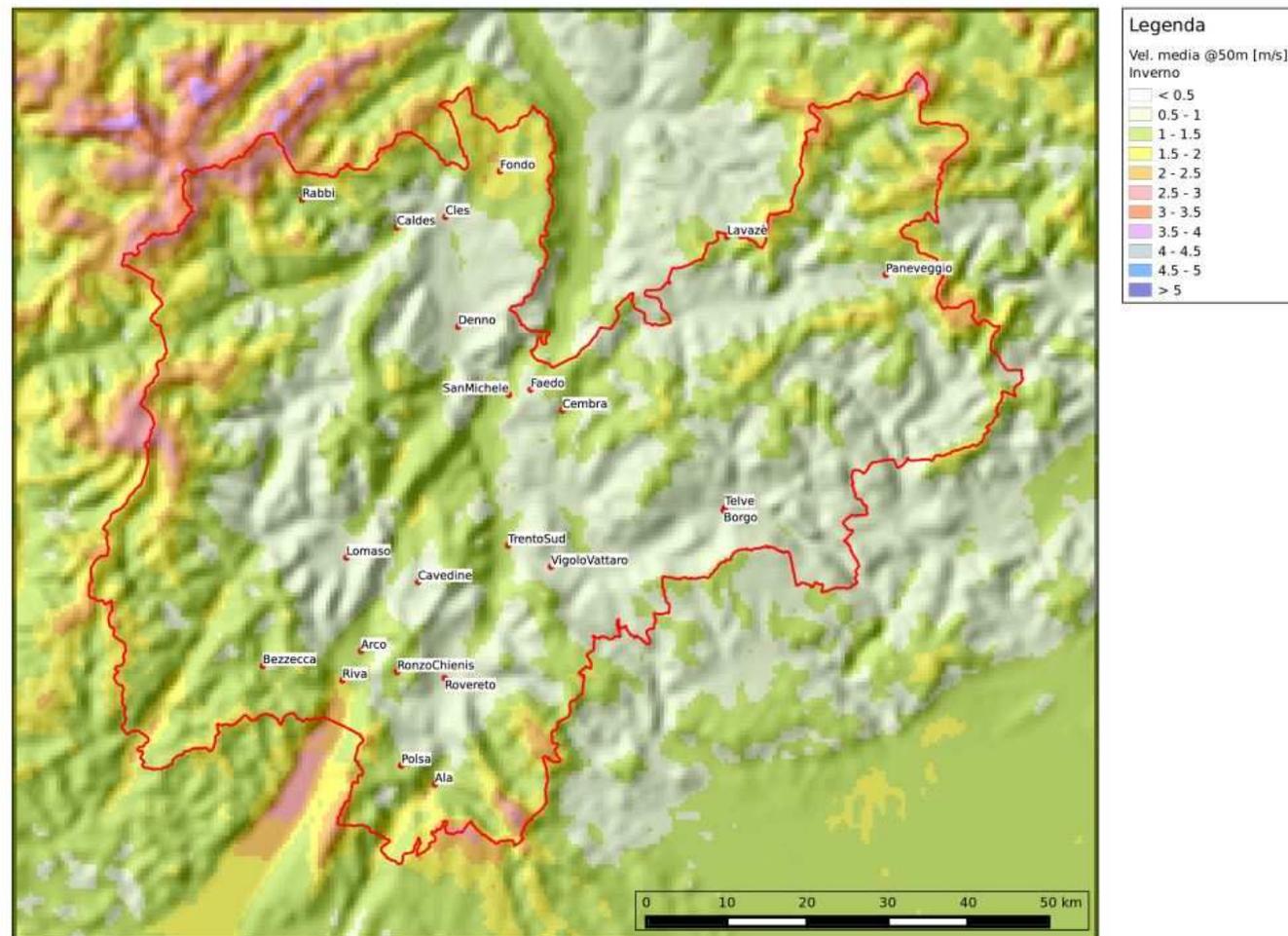
$$p(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]$$

- Medie annuali e medie stagionali
- Mappe a 10, 25, 50 e 75 m al di sopra del suolo

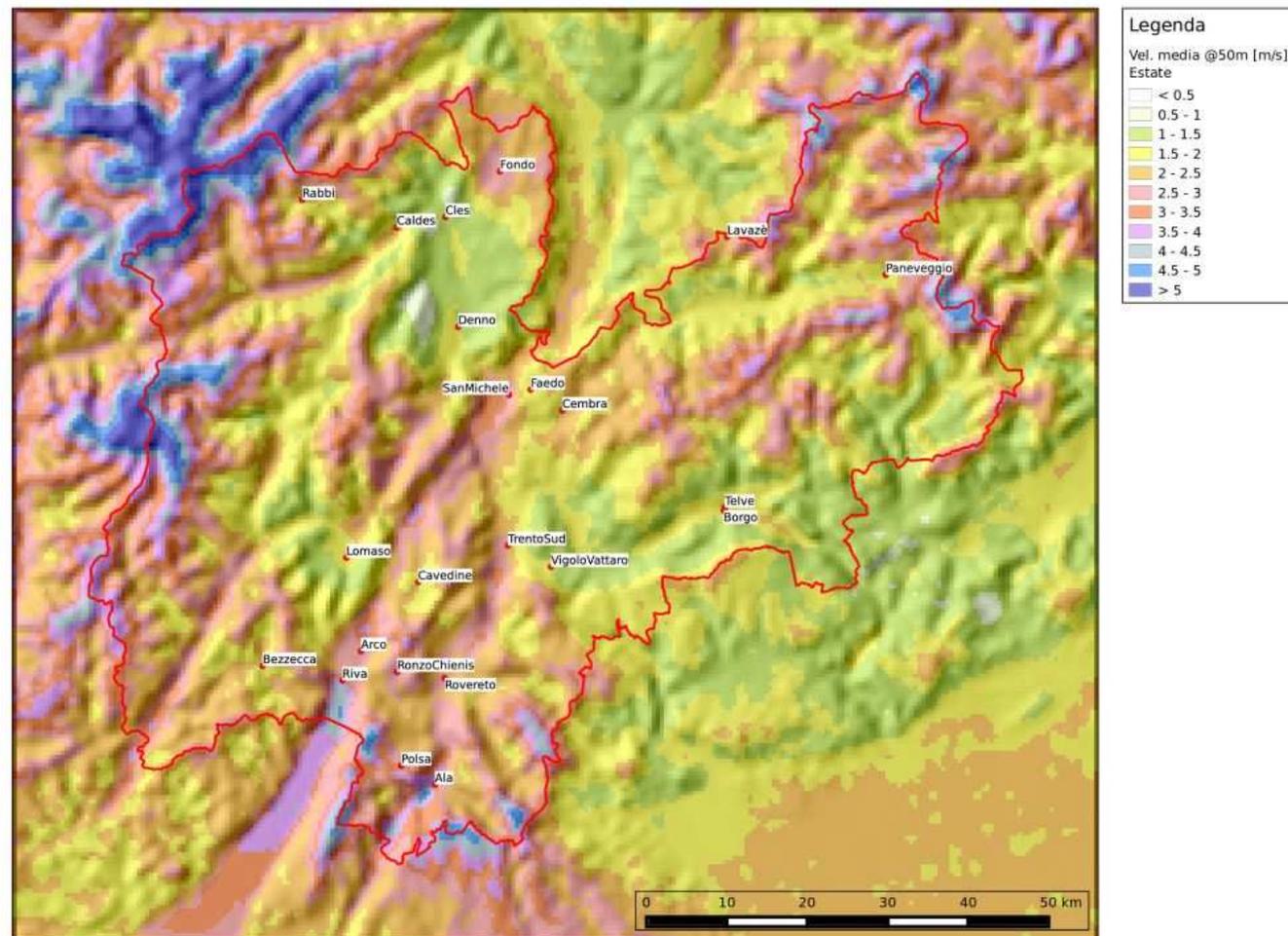
# Velocità del vento a 50 m dal suolo - anno



# Velocità del vento a 50 m dal suolo - inverno



# Velocità del vento a 50 m dal suolo - estate



# Impiego dell'Atlante solare ed eolico

- Energie rinnovabili: valutazione del potenziale solare/eolico in fase di «siting» e stima della produttività dell'impianto
- Efficienza e consumi energetici degli edifici
- Agricoltura
- Ecologia
- Idrologia
- ...



Maggiori informazioni:

[climatlas.fbk.eu/atlantesolare](http://climatlas.fbk.eu/atlantesolare)

[climatlas.fbk.eu/atlanteeolico](http://climatlas.fbk.eu/atlanteeolico)

Dati liberamente scaricabili:

[dati.trentino.it/dataset/atlante-solare-del-trentino-2004-2012](http://dati.trentino.it/dataset/atlante-solare-del-trentino-2004-2012)

[dati.trentino.it/dataset/atlante-eolico-del-trentino-2004-2013](http://dati.trentino.it/dataset/atlante-eolico-del-trentino-2004-2013)

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE !**

