

Soluzioni analitiche dipendenti dal tempo per i venti di pendio in funzione del bilancio energetico superficiale

Mattia Marchio^{1,2}, Sofia Farina^{1,2}, Dino Zardi^{1,2}

1: Gruppo di Fisica dell'Atmosfera, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, Università degli studi di Trento

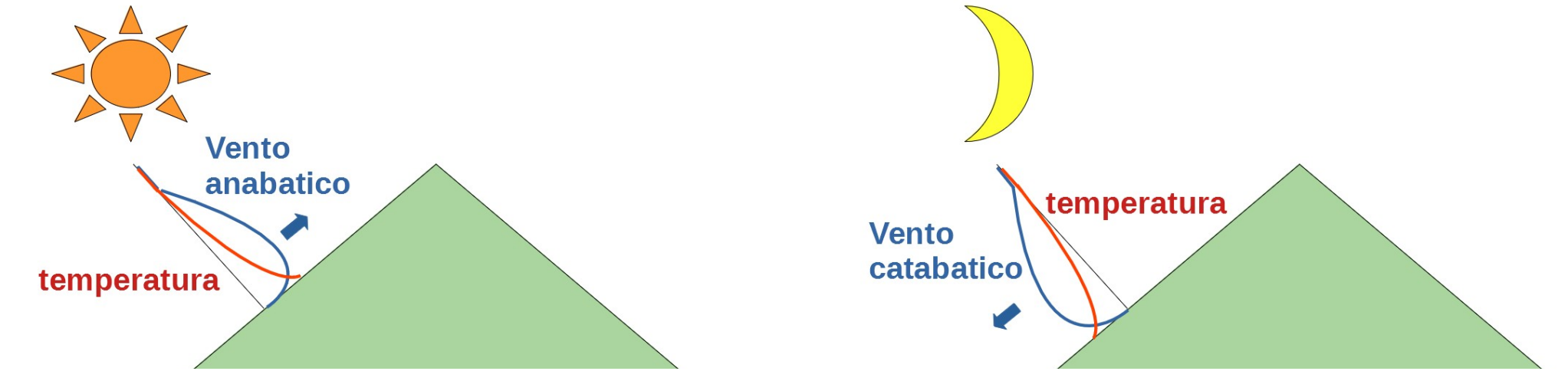
2: C3A – Centro Agricoltura Alimenti Ambiente, Università degli studi di Trento

1. STATO dell'ARTE ed OBIETTIVI

Migliorare la comprensione dei meccanismi che portano allo sviluppo di venti di pendio aiuta a comprendere meglio le caratteristiche di questi venti per applicazioni in molteplici campi di studio, come la dispersione di inquinanti, gli scambi suolo atmosfera o l'innescò della convezione.

Lo sviluppo delle correnti di versante è governata da:

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} = -\bar{u}\gamma \sin \alpha + K_h \frac{\partial^2 \bar{\theta}}{\partial n^2} \quad \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \bar{\theta} \frac{N^2}{\gamma} \sin \alpha + K_m \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial n^2}$$



Nel modello con soluzioni dipendenti dal tempo di Zardi e Serafin (2015), i profili di vento e temperatura sono calcolati in risposta ad una forzante sinusoidale, rappresentativa del ciclo giornaliero di temperatura. I profili di vento risultano simmetrici nei regimi diurno e notturno, il che non trova conferma nelle osservazioni.

➔ Nuova condizione al contorno alla superficie più realistica:

$$\bar{\theta}(0, t) = \Theta \sin(\omega t + \phi) \quad \Rightarrow \quad \bar{\theta}(0, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \Theta_m \sin(m\omega t + \phi_m)$$

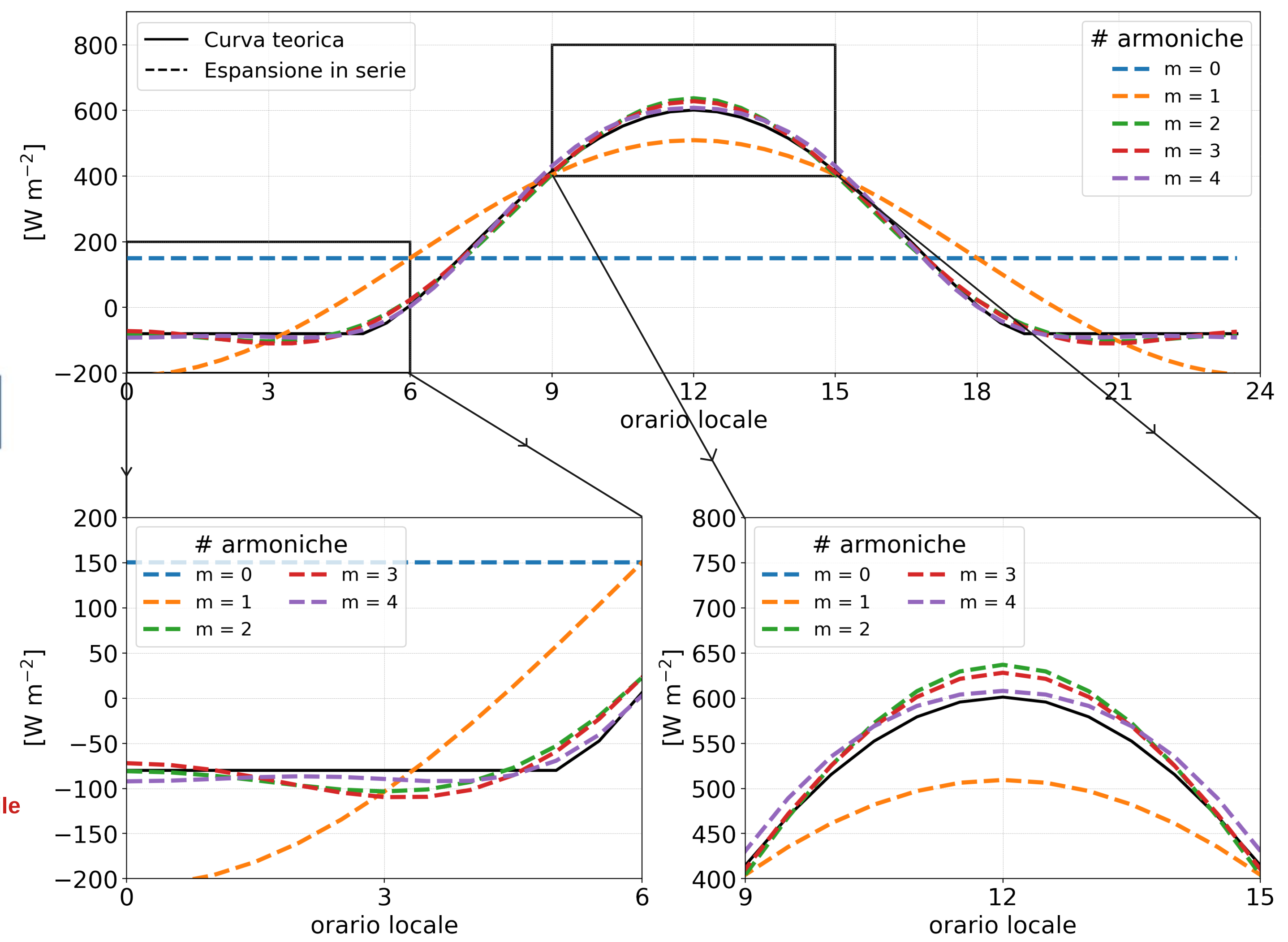
2. BILANCIO RADIATIVO alla SUPERFICIE

Il bilancio energetico alla superficie ($H+G$) è condizione al contorno per determinare i Θ_m . Il bilancio radiativo va scritto quindi come somma di funzioni sinusoidali (+ un termine costante).

$$R_{net} = (1-A)K_0^* + \epsilon_a \sigma \bar{\theta}_a^4 - \epsilon_s \sigma \bar{\theta}_s^4 + (1-A) \sum_{m=1}^{\infty} [K_{mC}^* \cos(m\omega t) + K_{mS}^* \sin(m\omega t)]$$

$$= \Theta_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \Theta_m \sqrt{a_m^2 + b_m^2} \sin(m\omega t + \sigma_m + \phi_m) = -K \left. \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial n} \right|_{n=0} - K_G \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{n=0} = H + G$$

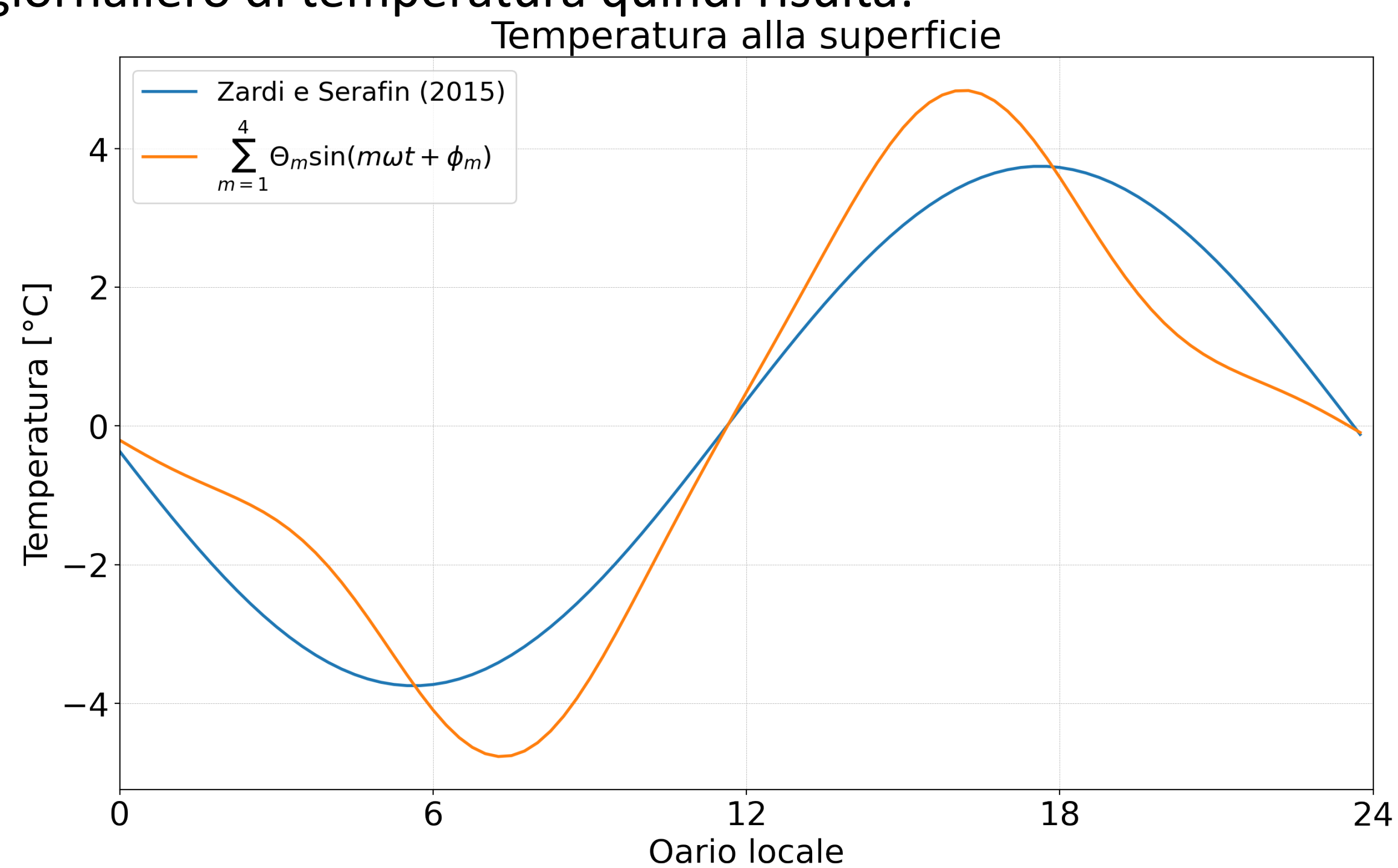
Valori adottati per il caso di studio: latitudine=40°, pendenza=30°, orientamento pendio=sud, quota =1500m, $K=3 \text{ m}^2/\text{s}$, $K_G=3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, giorno=Solstizio d'estate, $N=0.01 \text{ s}^{-1}$, $A=0.3$, $\epsilon_a=0.8$, $\epsilon_s=0.9$, $\bar{\theta}_a=-3^\circ\text{C}$, $\bar{\theta}_s=9^\circ\text{C}$



➔ 4 armoniche descrivono bene il ciclo giornaliero di radiazione netta!

3. ARMONICHE

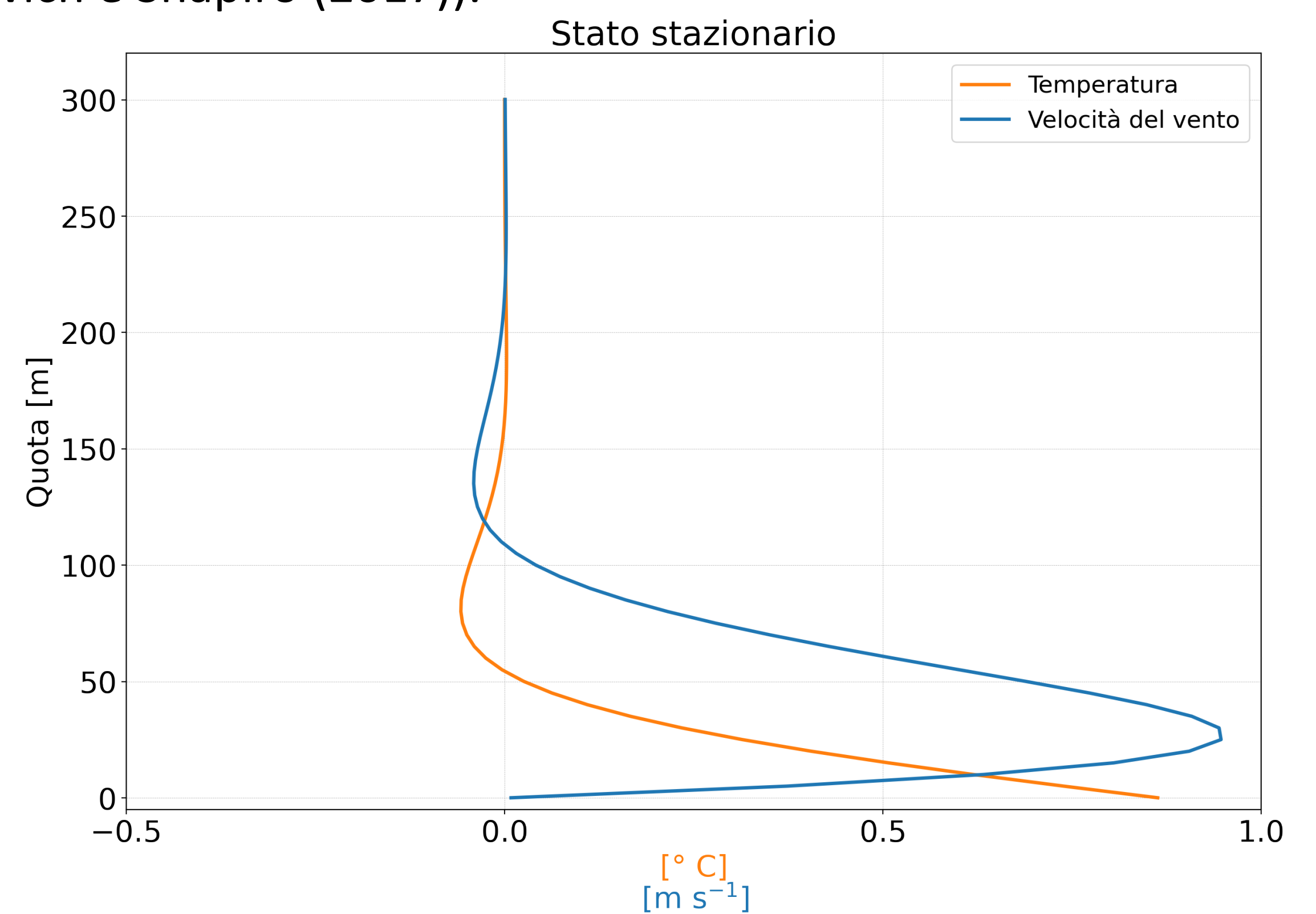
4 armoniche sono sufficienti nel descrivere il bilancio radiativo alla superficie. Il ciclo giornaliero di temperatura quindi risulta:



➔ L'aumento di temperatura durante il giorno è più marcato rispetto al raffreddamento notturno

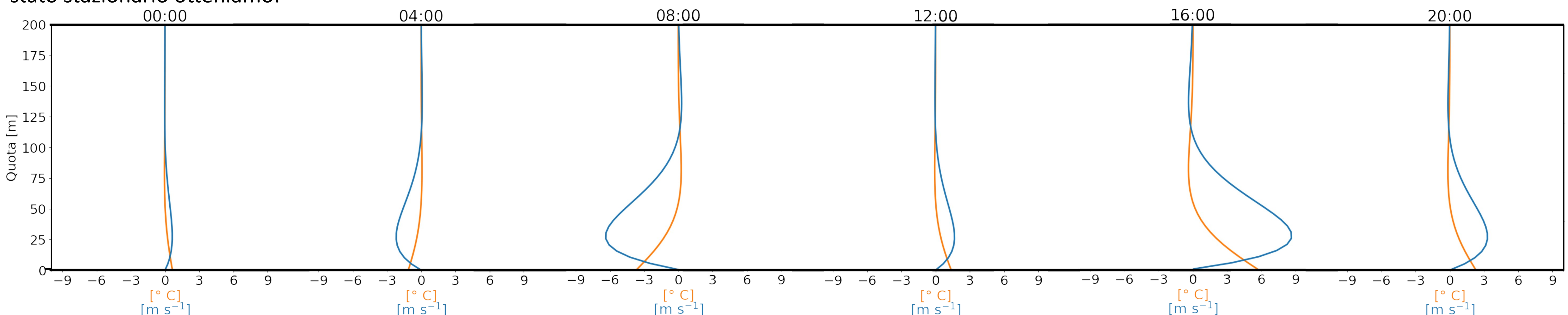
4. TERMINE COSTANTE

Il termine di flusso costante ha l'effetto di generare uno stato stazionario (Fedorovich e Shapiro (2017)).



5. PROFILI di VENTO RISULTANTI

Ogni armonica dà origine ad un profilo di vento, che a seconda del valore della disuguaglianza ($N \sin \alpha \gg m\omega$) può rientrare nel caso supercritico ($>$) o subcritico ($<$), con formulazione leggermente differenti. Nel caso attuale, tutte le armoniche considerate sono supercritiche. Sommando il risultato delle armoniche con lo stato stazionario otteniamo:



➔ I profili di vento risultanti sono asimmetrici. Il profilo diurno raggiunge picchi di velocità maggiori rispetto a quello notturno, in accordo con le osservazioni

Bibliografia

- Prandtl L. 1942. Führer durch die Strömungslehre, Chapter 5. Vieweg und Sohn: Braunschweig, Germany. [English translation: Prandtl L. 1952. Mountain and valley winds in stratified air, in Essentials of Fluid Dynamics: 422–425. Hafner Publishing Company: New York, NY]
- Zardi D., Serafin S. 2015. An analytic solution for time-periodic thermally driven slope flows. Q. J. R. Meteorol. Soc., 141, 1968–1974
- Fedorovich E., Shapiro A. 2017. Oscillations in Prandtl slope flow started from rest. Q J R Meteorol Soc 143:670–677