Modelli road-weather: stato dell'arte e prospettive future

Meeting "Clean Roads" - Trento, 15/01/2014

Ing. Gianluca Antonacci, Ph.D.
CISMA Srl, Bolzano & Trento

Sommario

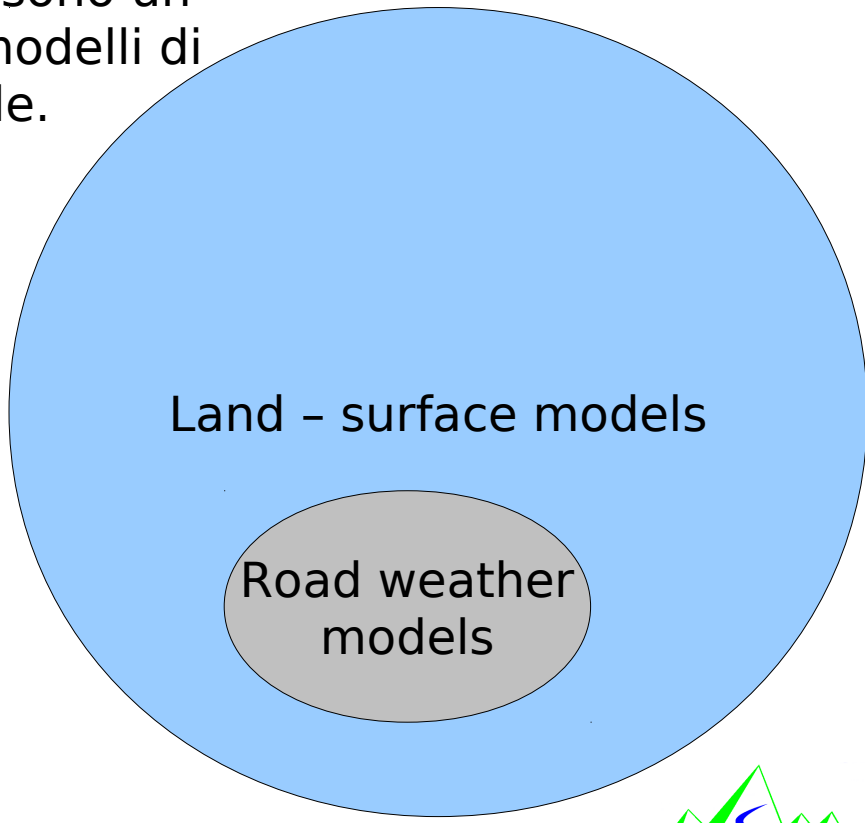
- Cosa sono i modelli di calcolo “road weather”
- Schematizzazione degli scambi di calore al suolo
- Tipologie di modelli “road weather” (e accoppiamento con modelli meteo previsionali)
- Catena modellistica operativa
- Approccio puntuale vs. spazializzato – vantaggi e svantaggi
- Calibrazione dei modelli di calcolo
- Risultati ottenibili (es. mappe e meteogrammi)

Storia dei modelli road-weather

Storicamente in realtà i modelli RW si sono sviluppati separatamente a partire dagli anni '80 nel settore dell'ingegneria trasportistica, con l'idea di trovare metodi di calcolo veloci, quando i modelli meteo erano troppo “pesanti”.

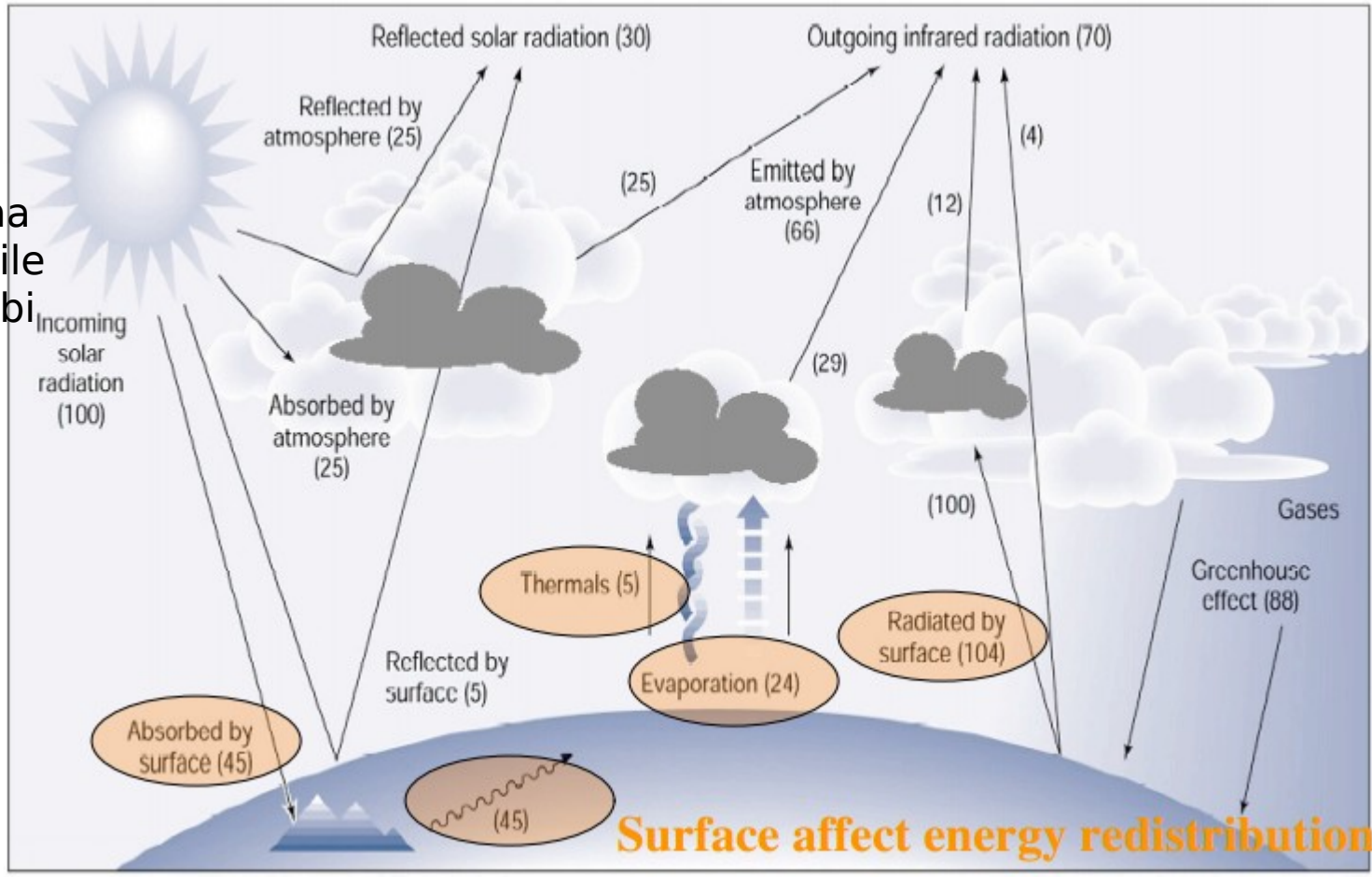
Di fatto I modelli di calcolo road-weather sono un sottoinsieme della più ampia classe dei modelli di calcolo dello scambio di calore superficiale.

I RW sono specializzati ad un tipo di terreno: l'asfalto → qualsiasi modello superficiale, adattando i coefficienti è In sostanza un modello di calcolo RW



Schematizzazione

Tipicamente si modella con schema 1D verticale variabile nel tempo gli scambi per radiazione / convezione / conduzione all'interfaccia suolo / atmosfera

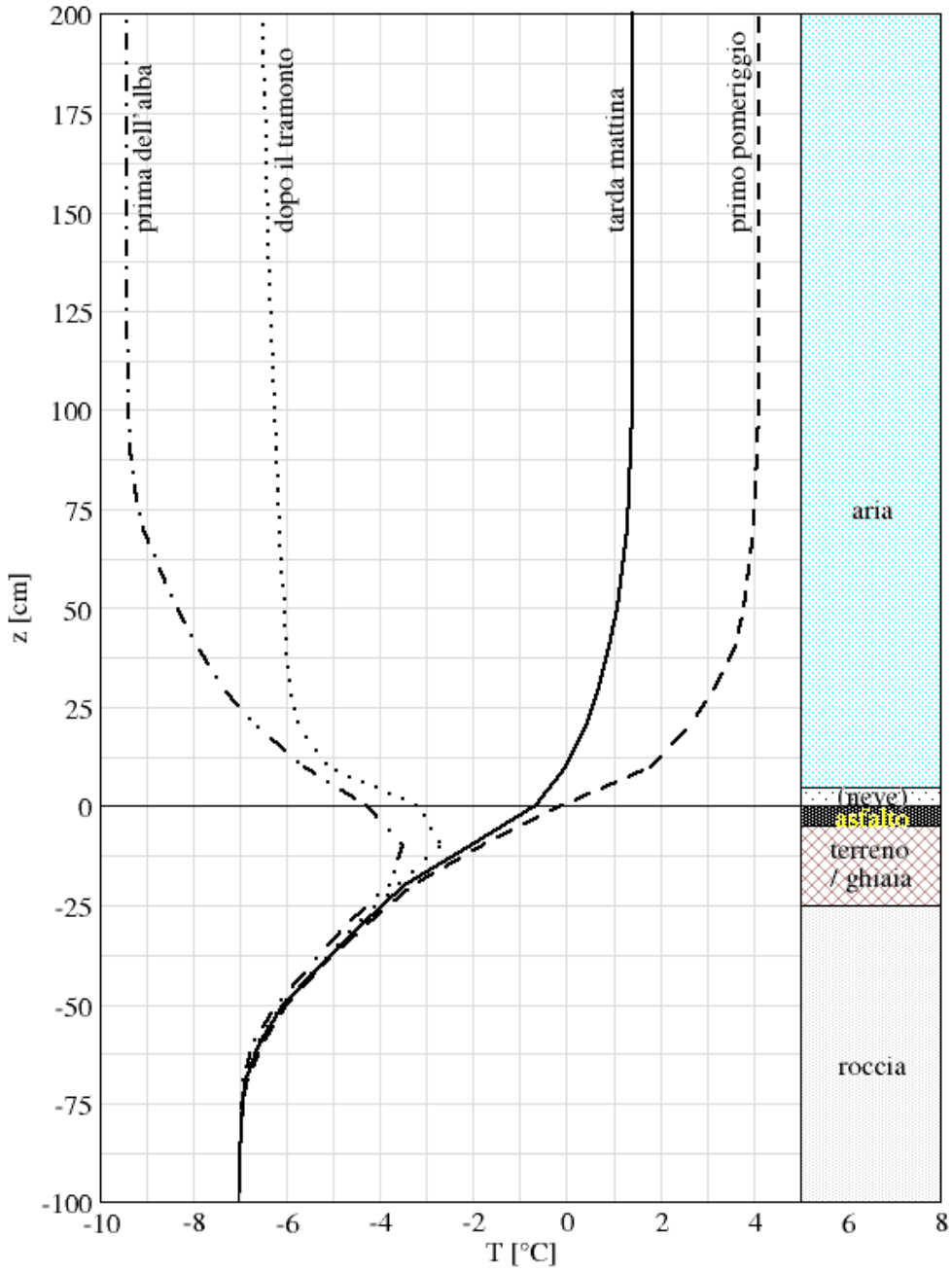


(Fonte: FASST documentation)

$$C_m \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(k A \frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

Cm = capacità termica,
A = area, k = conducibilità termica

Profili di temperatura



Condizioni al contorno:

$T_{inf} = T_{media}$ (1m sotto la sup.)

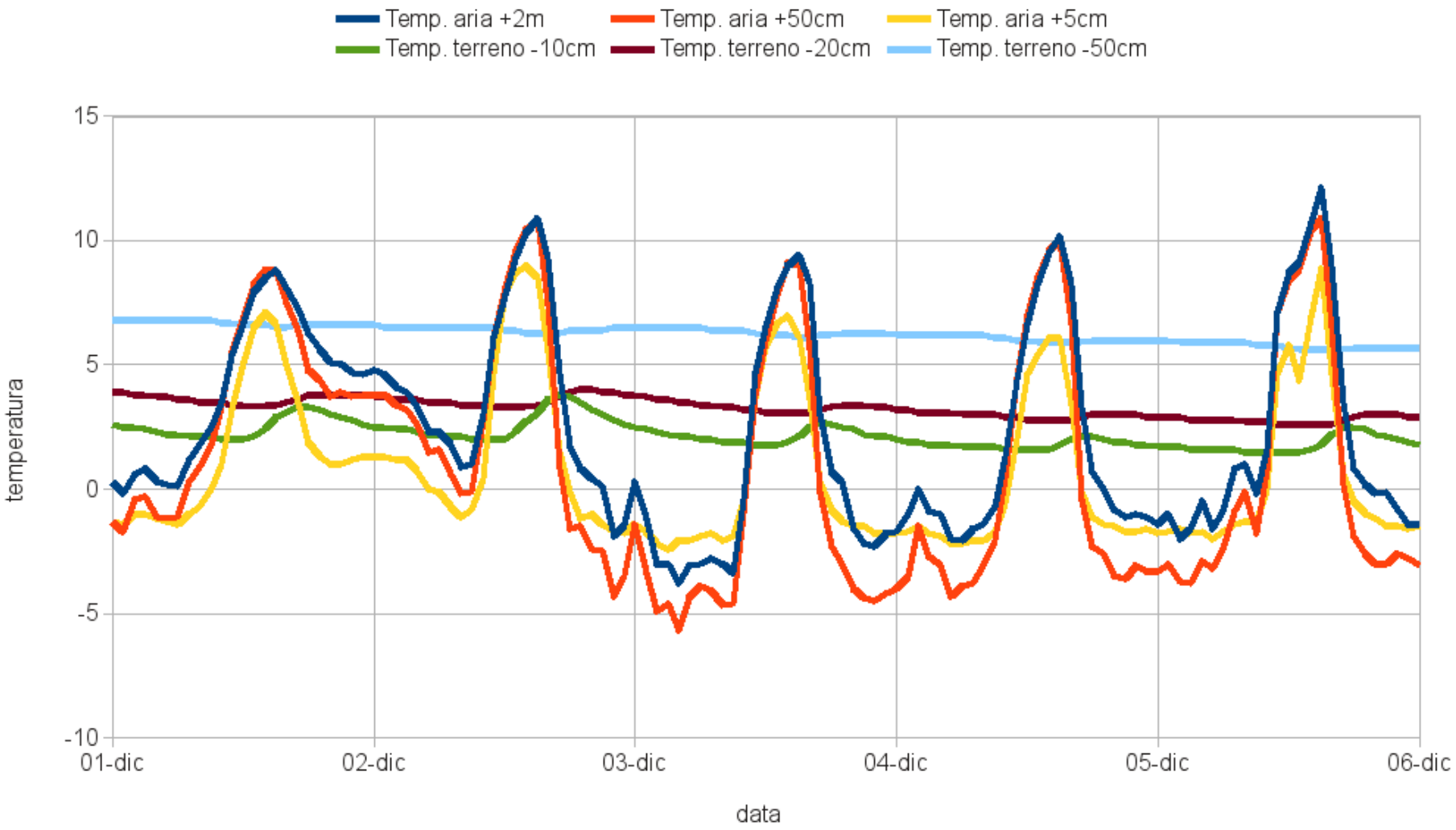
$T_{sup} = f(t)$ (2m sopra la sup.)

Parametri

Sulla verticale cambiano significativamente le caratteristiche termiche delle sostanze → a prescindere dal metodo che si usa per la soluzione dell'equazione queste variabilità vanno considerate. Può esserci anche variabilità nel tempo (es. neve sì/no)

Sostanza	Densità	Conducibilità termica	Calore specifico	Albedo
	kg / m³	W / (m·K)	J / (kg·K)	-
Asfalto	1700	0,5	935	0,05 .. 0,10
Calcestruzzo	2300	0,63	880	0,15 .. 0,22
Aria (standard)	1,29	0,026	1005	
Neve	30 .. 600	0,06 .. 0,8	2215	0,60 .. 0,95
Ghiaccio	917	2,4	2095	0,50 .. 0,75
Terra	1400 .. 2100	0,35 .. 1,15	880	0,1 .. 0,2

Variazione temperatura nel tempo



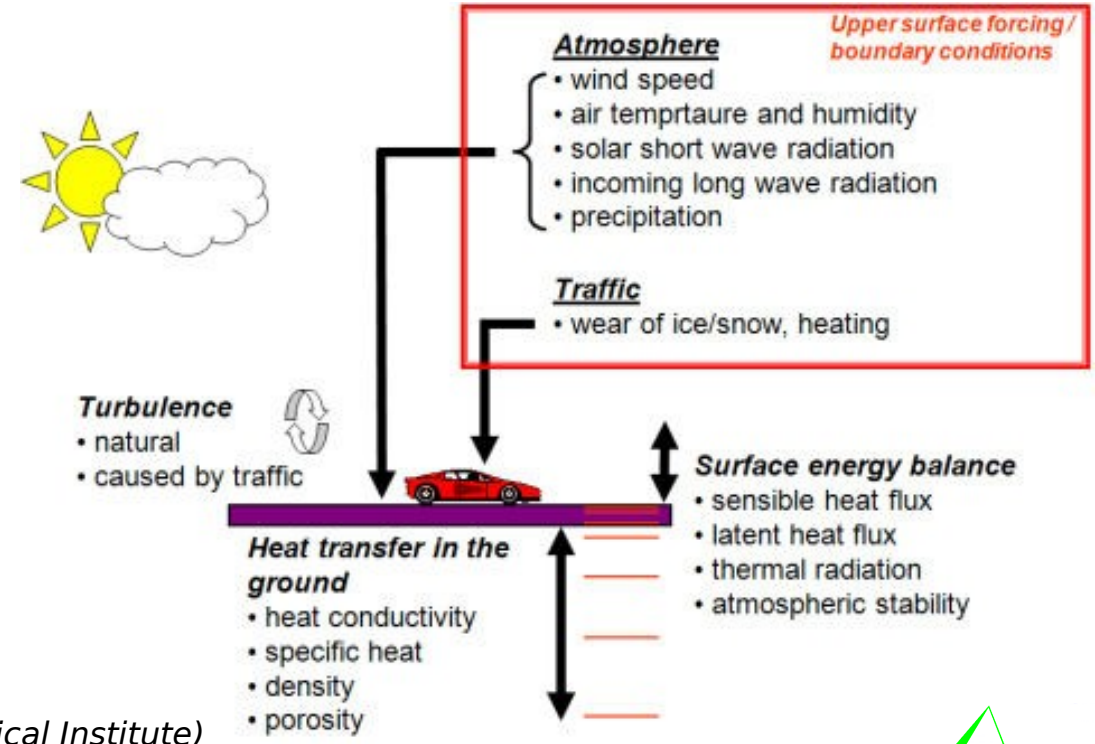
Applicazioni “road weather”

I modelli “road weather” sono tipicamente modelli 1D che rappresentano di bilancio energetico locale sulla direzione verticale, ovvero trasferimento di calore nel terreno e all'interfaccia atmosfera-strada, tenendo conto delle condizioni del fondo stradale e delle variabili meteorologiche.
Nei modelli più complessi si tiene conto anche del **flusso di traffico** (fonte antropica).

Essi sono alimentati con input di fonte diversa:
- osservazioni dirette (misure) in sede stradale o nelle vicinanze per definire le condizioni iniziali

- previsioni meteorologiche

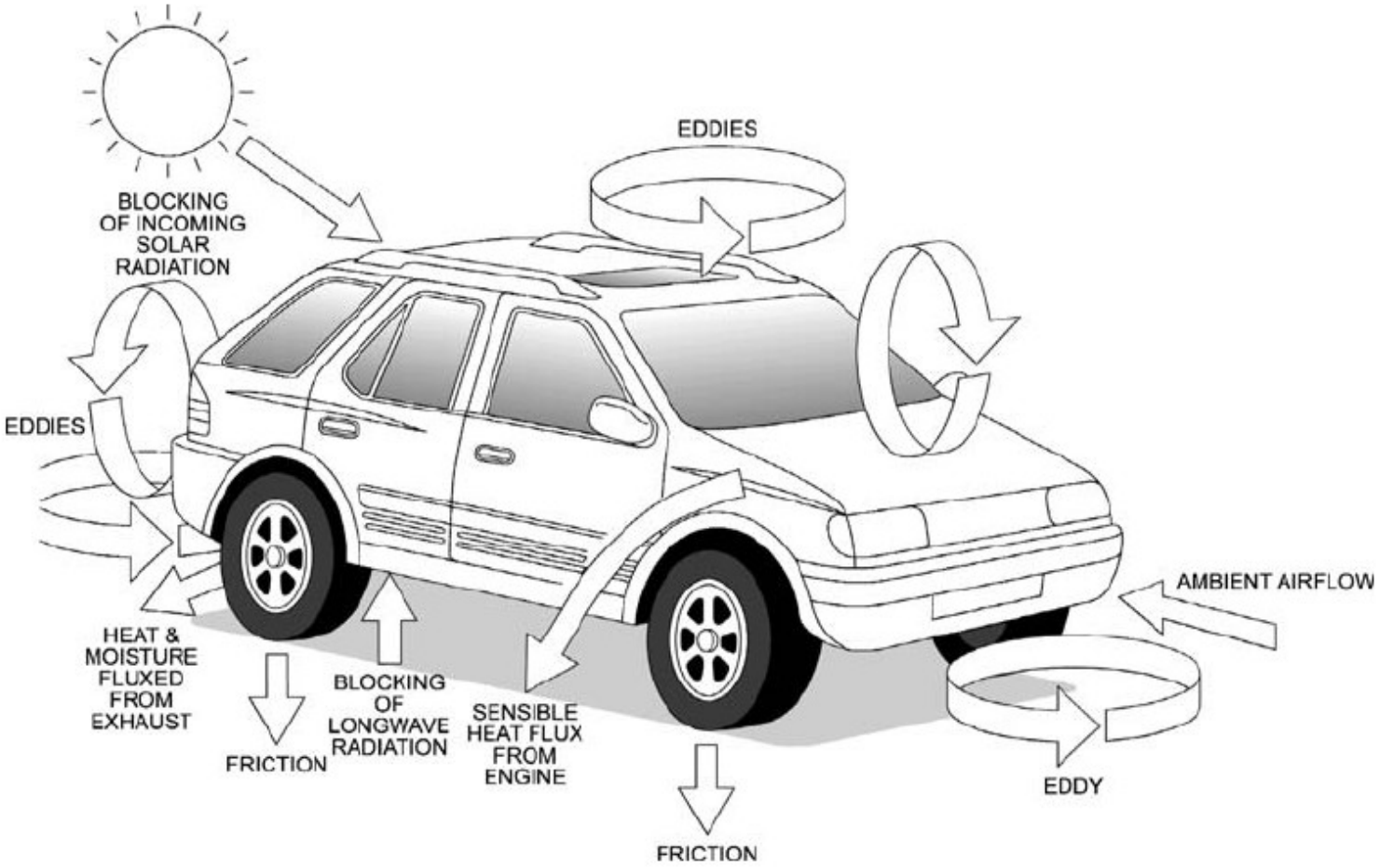
- caratteristiche della strada (asfalto, fondo stradale, eventualmente traffico



(Fonte: Finnish Meteorological Institute)

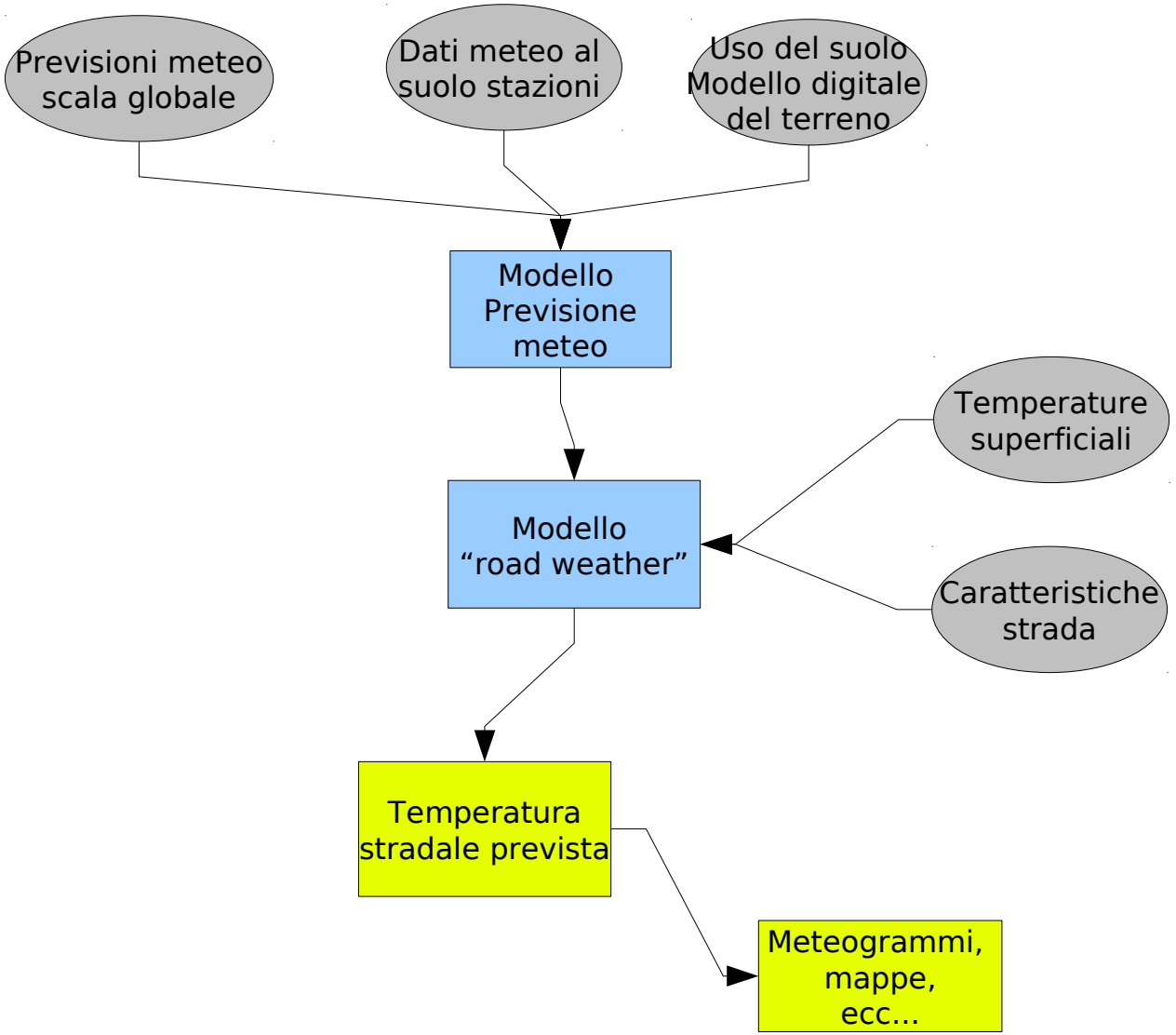
Effetto del traffico

In genere si assume che l'effetto del traffico sia legato alla frizione delle ruote, in realtà questo non è sempre l'effetto dominante...
Conviene comunque parametrizzare l'effetto globale come H=f(n. veicoli)

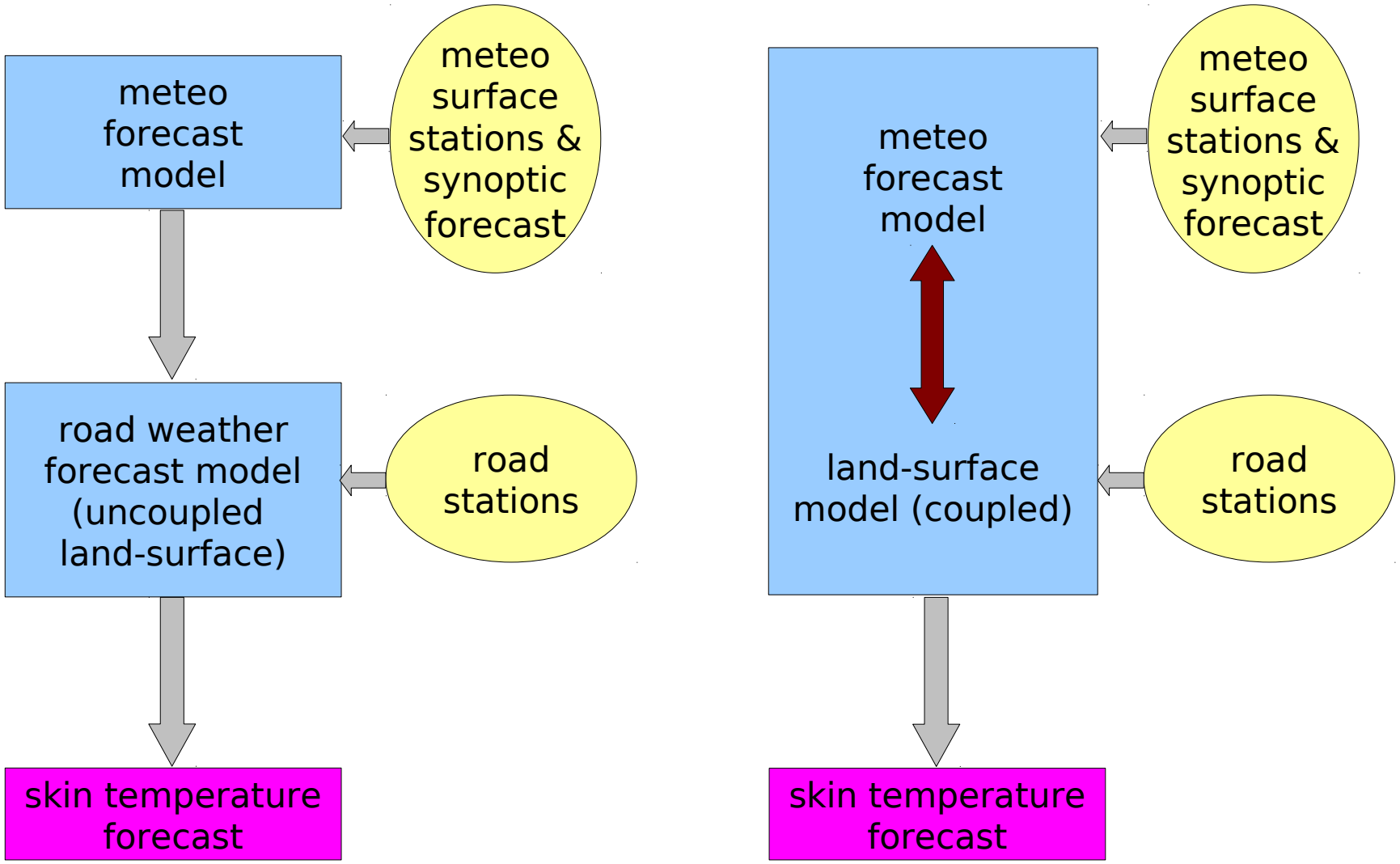


(Fonte: Chapman & Thornes, 2005)

Catena di calcolo operativa



Calcolo disaccoppiato vs. accoppiato



La differenza sostanziale è nel feedback di temperatura suolo -> aria

Esempi “road weather models”

- Clarus (U.S. department of transportation) utilizza WRF + dati da stazioni al suolo +

algoritmo “road weather” ad-hoc, site-dependent

- SNTHERM / FASST: algoritmi evoluti e con buone prestazione, elevata flessibilità dell'I/O

- METRo (Canada) utilizza dati del modello previsionale meteo canadese + dati da stazioni di misura stradali + algoritmo “metro”

- FMI (istituto meteo finlandese) usa un modello “road weather” semi quantitativo sulla base di indici sintetici (derivati da variabili misurate), previsioni da modello meteo HIRLAM e osservazioni triorarie basate sui bollettini SYNOP

- GeoTOP: modello idrologico che calcola in maniera completa flussi di massa (acqua, vapore, neve, ghiaccio) e calore dotato di un sisema evoluto di assimilazione dati misurati. Utilizzabile in modalità diagnostica o prognostica, alimentato da previsioni meteorologiche del modello WRF

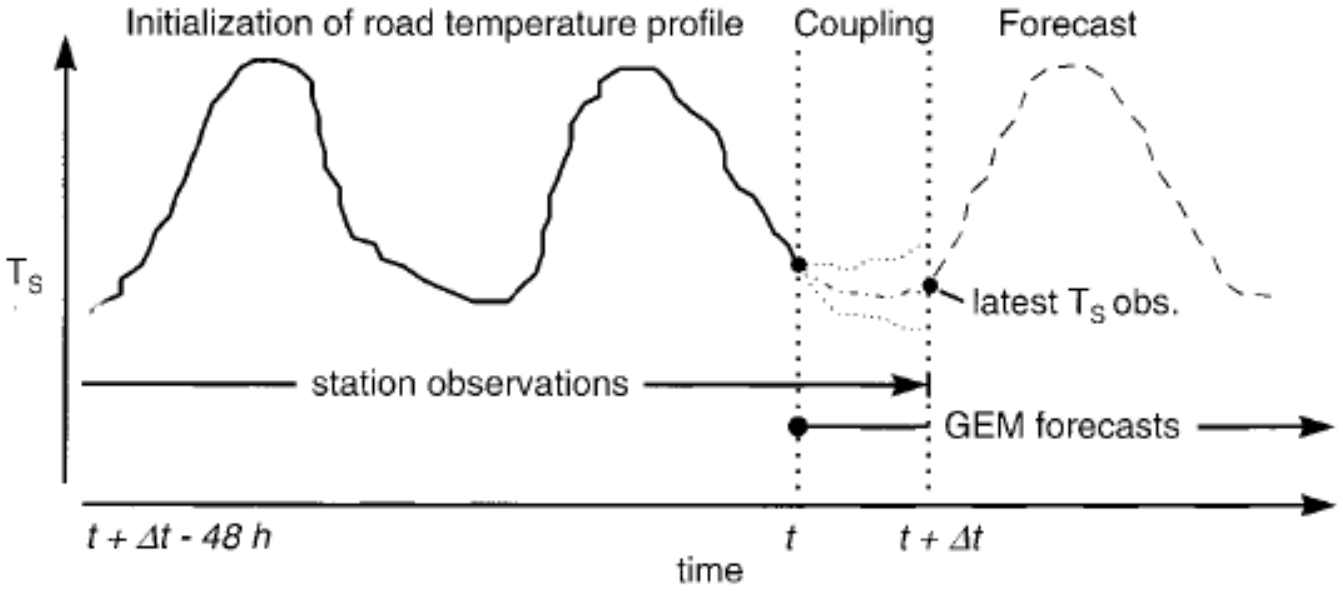
Alimentazione previsione

L'alimentazione della previsione meteorologica può essere fatta con vari metodi:

- Modello deterministico: previsione a qualche giorno (1 .. 5)
- Modello statistico: previsione a 1-2 giorni, richiede solida base dati locale dello storico
- Nowcasting con sole misure (stazioni meteo, radar o telerilevate): previsione a poche ore

Calibrazione del modello (1/2)

Puntuale
- dati meteo → “on-the-fly” tramite nudging dati misurati all'intero del modello RW (es. METRo)
- dati del sito → si misura la caratteristica di uno strato di terreno rappresentativo sul luogo; i risultati sono estendibili solo a luoghi analoghi per condizioni meteo e morfologiche



(Fonte: Crevier & Delage, 2001)

Calibrazione del modello (2/2)

Distribuita:

- parte online (dati variabili) → tramite nudging dati misurati (road + meteo) all'intero del modello meteo accoppiato

- parte offline (caratteristiche ~ costanti) → mappatura termica delle strade con sensori IR in maniera da avere le caratteristiche termiche delle strade: si fa una volta e poi si usano sempre gli stessi parametri che non cambiano perché caratteristici della sostanza.

Nota: per la taratura infrarosso, usa la legge di Boltzmann $Q=\varepsilon\cdot\sigma\cdot T^4$. *Attenzione perché l'emissività dell'asfalto varia tra 0,92 e 0,95 che significa un errore di ~2°C nell'intorno alla temperatura di 0°C*

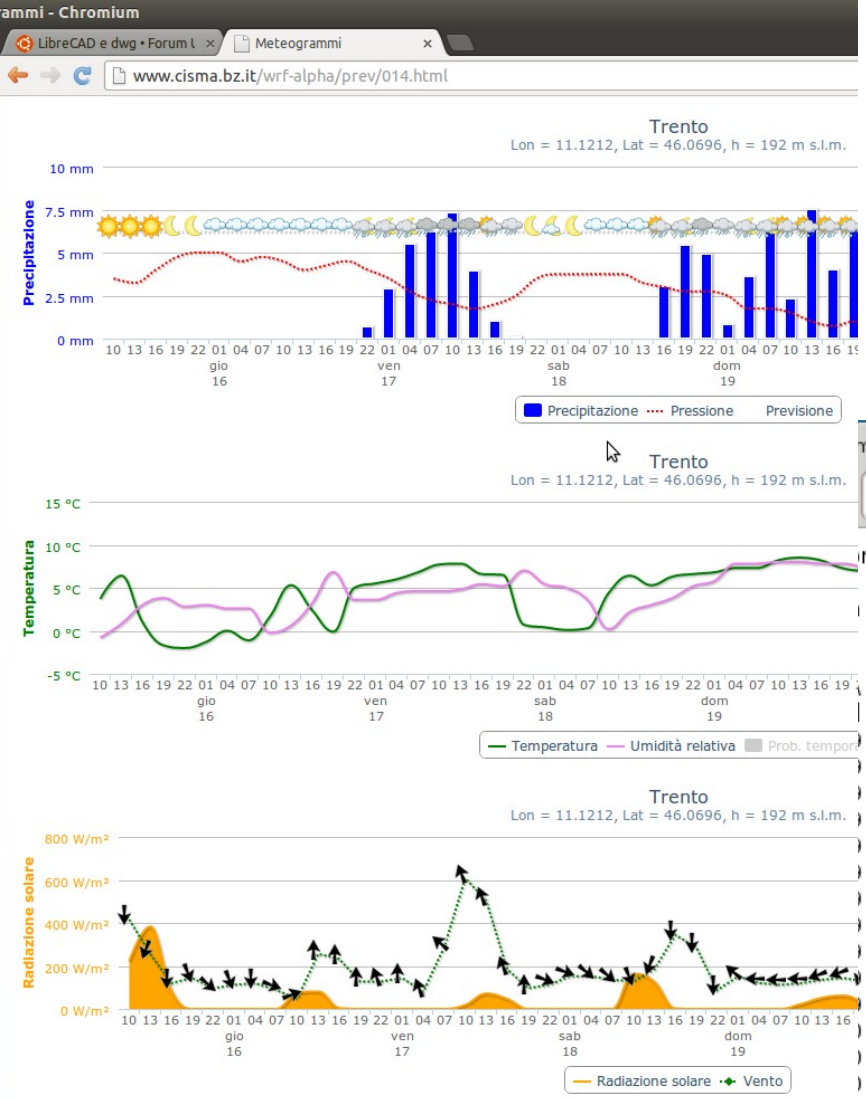
Due esempi di previsione “road weather”

Attualmente CISMA ha due esempi di previsione “road weather” funzionanti nella fase test e ancora da calibrare.
Per entrambi 4 uscite giornaliere (aggiornamento ogni 6 ore della previsione)

- Un modello puntuale semplice “METRo” usato in coda a modello previsionale WRF con assimilazione dati di temperatura dell'aria e del suolo (dati IASMA). In modalità disaccoppiata per la taratura è necessaria proprio sul punto di interesse. L'output è un meteogramma + un file di testo relativo al punto di interesse

- Un modello complesso in cui si usa il modulo “land surface” di WRF per ottenere direttamente la temperatura superficiale della strada con mappatura su tutta la rete stradale della Provincia di Trento. Lo svantaggio sta nella risoluzione spaziale del modello meteo

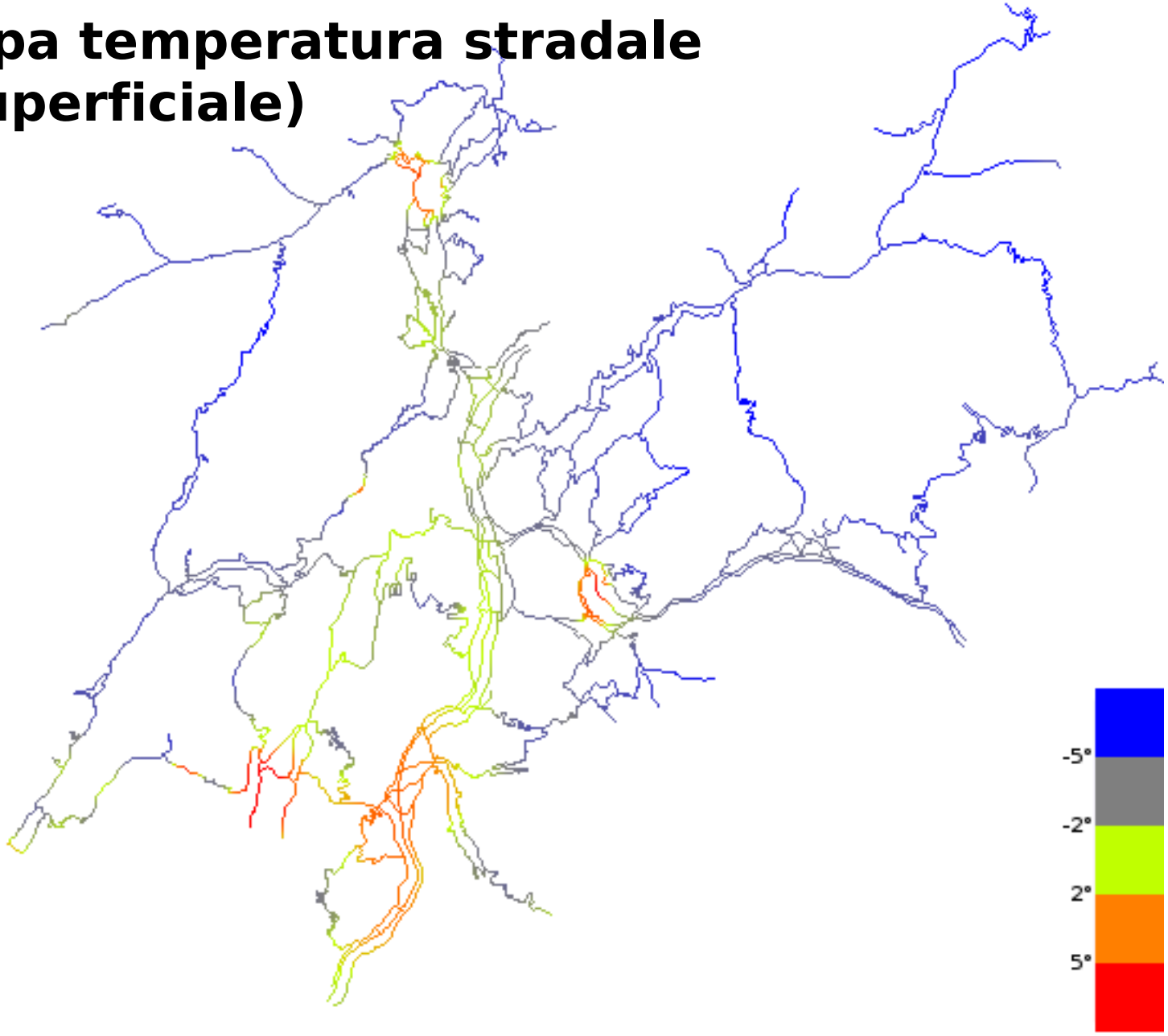
Serie orarie previsionali +36/48h



www.cisma.bz.it/wrf-alpha/CR/001.txt

```
ne      ,2014-01-09 12:06 UTC+00
        ,001
        ,Cadino
        ,11.153436,46.217629
        ,224
  ORA,     T, RH,    DP,    P, VEL,DIR, PREC,SNOW,SWRD,LWRD,CLT,CLH,CLM,CLL
hh:mm,    °C,  %,    °C, hPa, m/s, °N,   mm,   cm,W/m²,W/m²,  %,  %,  %,  %
 13:00,   5.4, 77,   1.7,1021, 2.7,143,  0.0,   0.,  158,  262,  33,  22,  33,   0
 14:00,   4.8, 78,   1.4,1021, 2.0,198,  0.0,   0.,  147,  259,  22,  11,  22,   0
 15:00,   4.7, 75,   0.7,1020, 2.7,177,  0.0,   0.,   25,  258,  33,  11,  33,   0
 16:00,   4.5, 77,   0.9,1020, 2.8,171,  0.0,   0.,    0,  259,  33,  22,  33,   0
 17:00,   3.9, 82,   1.0,1021, 2.3,171,  0.0,   0.,    0,  259,  33,  22,  33,   0
 18:00,   3.3, 83,   0.6,1020, 0.6,158,  0.0,   0.,    0,  259,  33,  22,  33,   0
 19:00,   3.2, 81,   0.3,1021, 0.8,164,  0.0,   0.,    0,  258,  33,  22,  33,   0
 20:00,   3.4, 78,  -0.0,1020, 1.4,168,  0.0,   0.,    0,  258,  33,  22,  33,   0
 21:00,   3.6, 76,  -0.1,1020, 2.0,177,  0.0,   0.,    0,  258,  33,  22,  33,   0
 22:00,   3.4, 75,  -0.5,1019, 1.1,176,  0.0,   0.,    0,  258,  33,  22,  33,   0
 23:00,   3.5, 71,  -1.3,1019, 0.5,145,  0.0,   0.,    0,  258,  33,  22,  33,   0
 00:00,   3.7, 66,  -2.0,1019, 0.6,135,  0.0,   0.,    0,  259,  44,  22,  44,   0
 01:00,   4.1, 65,  -1.9,1018, 1.2,175,  0.0,   0.,    0,  264,  56,  22,  56,   0
 02:00,   5.3, 61,  -1.5,1017, 2.6,172,  0.0,   0.,    0,  268,  67,   0,  67,   0
 03:00,   6.3, 58,  -1.4,1017, 2.9,163,  0.0,   0.,    0,  286,  67,   0,  67,   0
 04:00,   3.8, 76,  -0.1,1018, 2.4,154,  0.0,   0.,    0,  285,  67,   0,  67,   0
2014-01-10 05:00,   5.2, 62,  -1.5,1017, 2.6,158,  0.0,   0.,    0,  262,  44,   0,  44,   0
2014-01-10 06:00,   5.9, 59,  -1.5,1017, 2.8,148,  0.0,   0.,    0,  262,  33,  11,  33,   0
2014-01-10 07:00,   4.8, 63,  -1.6,1017, 1.5,173,  0.0,   0.,    0,  263,  33,  22,  33,   0
2014-01-10 08:00,   5.2, 62,  -1.5,1018, 1.5,177,  0.0,   0.,   32,  261,  33,  33,  22,   0
2014-01-10 09:00,   6.0, 59,  -1.3,1018, 1.2, 97,  0.0,   0.,  140,  260,  33,  33,   0,   0
2014-01-10 10:00,   5.4, 70,   0.5,1019, 1.1,121,  0.0,   0.,  233,  260,  33,  33,   0,   0
2014-01-10 11:00,   6.3,100,   6.3,1018, 0.9, 90,  0.0,   0.,  278,  260,  33,  33,   0,   0
2014-01-10 12:00,   6.2,100,   6.2,1019, 1.0, 91,  0.0,   0.,  289,  260,  33,  33,   0,   0
2014-01-10 13:00,   6.1,100,   6.1,1019, 0.7,164,  0.0,   0.,  252,  259,  33,  33,   0,   0
2014-01-10 14:00,   6.0,100,   6.0,1019, 1.5,163,  0.0,   0.,  169,  260,  33,  33,   0,   0
```

Mappa temperatura stradale (T superficiale)



Temperatura superficie stradale -- t = 2014-01-09_15:00

Scelta del modello

Scegliere un algoritmo BEN documentato: a codice aperto o dotato di descrizione dettagliata degli algoritmi usati. (I sistemi “black-box” sono molto più difficili da calibrare se non si conosce cosa fanno!)

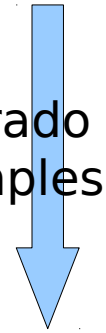
Definire bene i requisiti richiesti e verificare i dati di input a disposizione. A seconda di quello che si ha e si vuole ottenere esistono diversi gradi di complessità e accuratezza possibili.

METRo

SNTHERM

FASST

GeoTOP



Conclusioni

- Un modello meteorologico previsionale hi-res può essere utile come uno degli input di algoritmi dedicati specifici come i RWM
- È assolutamente necessario un post-processing in cui la complessità non è informatica ma concettuale: è il modello che deve adattarsi ai dati esistenti e non viceversa
- Se servono output locali è necessario eseguire una taratura per il corretto funzionamento
- La combinazione ottimale è: dati meteo misurati al suolo + sistema meteo previsionale + modello di scambi di calore evoluto