

# Orographic forcing, the key for heuristic nowcasting of rainfall in the Alps

A dissertation submitted to the  
EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE  
ZÜRICH

for the degree of  
Doctor of Science

presented by  
LUCA PANZIERA  
Dipl. Meteor., University of Reading  
born 25 August 1982  
citizen of Italy

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Ulrike Lohmann, examiner  
Prof. Dr. Paolo Burlando, co-examiner  
Prof. Dr. Christian Mätzler, co-examiner  
Dr. Urs Germann, co-examiner

December, 2010

# Abstract

**Nowcasting of rainfall in the Alps** is a very challenging task. In fact, the mountains strongly modify the mechanisms which produce precipitation, leading to an enhancement of rainfall on the windward slopes, and to a reduction on the lee-side. This process influences the spatial distribution of rainfall from mountain peak to mountain chain scales. As a consequence, strong gradients of rainfall are typically observed in the Alpine region. The large spatial variability of precipitation requires monitoring systems capable to measure rainfall with high spatial and temporal resolution, if the observations are to be used for nowcasting applications. Rain gauges networks are typically not dense enough to reproduce such high spatial variability, whereas **weather radar** is designed for this scope. In this thesis weather radar data are extensively used to create an heuristic tool for nowcasting precipitation in mountainous regions. The system takes advantage of the orographic forcing, which determines a strong relation between mesoscale flows, air-mass stability and rainfall patterns. The thesis consists of two articles.

The **first paper** builds the scientific framework necessary to develop the heuristic system. The relative importance of various environmental parameters in determining orographic precipitation patterns in the Lago Maggiore region in the southern part of the European Alps is investigated. Fifty-eight long-lasting and widespread orographic precipitation events corresponding in total to 106 days of rainfall are examined. The mesoscale winds are estimated by means of Doppler velocity radar measurements, within the layers whose mean wind velocity correlates best with rainfall in the mountains; air mass stability is computed from both radiosoundings and pairs of ground stations located at different heights. High-quality radar-derived rain rates at the ground are used to characterize the precipitation field.

The paper shows that upstream wind velocity has the largest impact on the intensity and frequency of precipitation over the orography, while the direction of the wind determines the spatial distribution of rainfall. Unstable conditions cause more precipitation over the mountains as compared to stable cases; however, differences in air mass stability have a minor impact on the precipitation intensity as compared to wind speed and direction. These findings show that the orographic forcing gives repeatability to the rainfall patterns typically observed in the region given particular environmental conditions.

The **second paper** describes how the findings of the first paper are used for nowcasting of rainfall in the mountains. The past situations with mesoscale flows, air-mass stability and rainfall patterns most similar to those observed at the current instant are identified by searching in a large historical data set; deterministic and probabilistic forecasts are then based on the rainfall observed by radar immediately after the analogous situations. Forecasts are updated every five minutes as new observations are available. The analog method used by the nowcasting system provides a natural way to incorporate into the prediction the evolution of precipitation and to express forecast uncertainty by means of ensembles.

A detailed evaluation of the skill of the system is also presented in the paper, and it shows that the heuristic tool performs better than Eulerian persistence for predictions with lead time larger than one hour, and better than numerical model COSMO2 for forecasts with lead time smaller than 4-5 hours.

# Compendio

Il **nowcasting della pioggia nelle Alpi** è un obiettivo ambizioso. Infatti, le montagne influenzano i meccanismi che producono la precipitazione, causando un aumento della pioggia sui versanti sopravvento ed una riduzione sui versanti sottovento. Questo processo domina la distribuzione spaziale della pioggia su scale spaziali diverse, da quella della singola cima a quella della catena montuosa. Di conseguenza nella regione alpina si osservano spesso gradienti di precipitazione molto marcati. La grande variabilità spaziale della precipitazione richiede sistemi di monitoraggio capaci di misurare la pioggia con un'alta risoluzione spaziale e temporale, specialmente se le misure sono utilizzate da applicazioni di nowcasting. Di solito le reti dei pluviometri non sono abbastanza dense da riprodurre questa grande variabilità spaziale, mentre il **radar meteorologico** è concepito proprio per questo scopo. In questa tesi i dati radar sono utilizzati per creare un sistema euristico di previsione a corta scadenza della pioggia orografica. Il sistema trae vantaggio dal forcing orografico, che determina una forte relazione tra i venti a mesoscala, la stabilità atmosferica e i pattern di pioggia. La tesi è composta da due articoli.

Il **primo articolo** costituisce il fondamento scientifico del sistema euristico. In esso viene analizzata l'importanza relativa di vari fattori ambientali nel determinare i pattern della precipitazione orografica nella regione del Lago Maggiore nella Alpi meridionali. Cinquantotto eventi di precipitazione orografica duratura ed estesa, per un totale di 106 giorni di pioggia, sono esaminati. I venti a mesoscala sono stimati per mezzo di misure radar di velocità Doppler negli strati verticali la cui velocità media si correla al meglio con la pioggia nelle montagne; la stabilità della massa d'aria è calcolata da radiosondaggi e da coppie di stazioni ubicate ad altezze diverse. Il campo di pioggia è caratterizzato da stime radar di alta qualità.

L'articolo mostra che la velocità del vento che va verso l'ostacolo orografico ha l'impatto maggiore sulla frequenza ed intensità della pioggia sulle montagne, mentre la sua direzione determina la distribuzione spaziale della pioggia. Condizioni atmosferiche instabili causano precipitazioni maggiori rispetto ai casi stabili; tuttavia, le differenze in stabilità atmosferica hanno un impatto minore sull'intensità della precipitazione sulle montagne rispetto alla direzione e all'intensità del vento. Questi risultati mostrano che il forcing orografico determina una certa ripetibilità nei pattern di pioggia osservati con particolari condizioni ambientali.

Il **secondo articolo** descrive come i risultati del primo articolo sono usati per produrre previsioni di pioggia a corta scadenza per aree montuose. Le situazioni passate con i venti a mesoscala, stabilità atmosferica e pattern di pioggia più simili a quelli osservati al momento attuale vengono identificate in un vasto archivio storico; le previsioni deterministiche e probabilistiche di pioggia sono quindi basate sulla pioggia osservata da radar subito dopo queste situazioni analoghe. Le previsioni sono aggiornate ogni 5 minuti, non appena nuove osservazioni sono disponibili. Il metodo degli analoghi usato dal sistema di nowcasting costituisce un modo naturale di incorporare nella previsione l'evoluzione della pioggia e di esprimere l'incertezza della previsione con un approccio ensembles. Una verifica dettagliata delle previsioni fornite dal sistema euristico mostra che esso produce previsioni di pioggia

migliori rispetto alla persistenza Euleriana se il lead time é piú lungo di un'ora, e migliori rispetto al modello numerico COSMO2 se il lead time é inferiore a 4-5 ore.