POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria
per l'Ambiente e il Territorio

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Analisi su base morfologica della variabilità spaziale degli estremi pluviometrici in Italia

Relatori:
Prof. Ing. Pierluigi Claps
Ing. Ph.D. Andrea Libertino

Candidato:
Alessandro Degioanni S219855

Anno Accademico 2017/2018

Desidero innanzitutto ringraziare sentitamente il Prof. Pierluigi Claps, relatore di questa Tesi, per avermi concesso la possibilità di realizzare questo studio e per avermi trasmesso parte della Sua conoscenza, frutto di ricca esperienza e approfonditi studi.

Proseguo ringraziando il Dott. Andrea Libertino, co-relatore del presente elaborato, per la grande disponibilità e professionalità dimostratemi e per il supporto fornitomi durante tutte le fasi di ricerca e stesura.

Uno speciale ringraziamento è rivolto ad Arianna, mia compagna di vita, da molti anni al mio fianco e che sempre ha creduto in me, sostenendomi con immenso amore sia nei momenti tristi che nei momenti felici.

Per ultimo, ma non in ordine di importanza, rivolgo un immenso ringraziamento alla mia famiglia, che sempre mi ha spronato e supportato permettendomi di raggiungere questo incredibile traguardo.

Ad essi dedico questo lavoro.

INDICE

1. TERRAIN ANALYSIS A SUPPORTO DELLA REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE.....9

1.1. INTRODUZIONE 9

2. FORMAZIONE E MISURA DELLE PRECIPITAZIONI 11

2.1. RILEVAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI MEDIANTE PLUVIOMETRI 12

2.2. RILEVAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI MEDIANTE RADAR METEOROLOGICO 15

2.3. RILEVAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI MEDIANTE SATELLITE 17

2.4. CONSIDERAZIONI 22

3. IL DATABASE DEGLI ESTREMI ITALIANI (I-RED) 24

4. DESCRITTORI GEO-MORFOLOGICI SIGNIFICATIVI PER LA DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME.....28

4.1. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E STATO DELL'ARTE 28

4.2. DESCRITTORI GEO-MORFO-CLIMATICI SIGNIFICATIVI PER LA DISTRIBUZIONE DEI FENOMENI INTENSI.....34

5. ANALISI GIS-BASED DELLA DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN ITALIA ..51

5.1. METODOLOGIE UTILIZZATE 52

5.2. STRUTTURA DELL'ANALISI 55

5.3. APPLICAZIONE ALLA SCALA ITALIA 57

5.4. APPLICAZIONE ALLA SCALA COSTIERA.....59

5.5. APPLICAZIONE ALLA SCALA REGIONE CAMPANIA.....62

6. DISCUSSIONE.....66

7. CONCLUSIONI.....73

8. BIBLIOGRAFIA 75

9. ALLEGATI.....79

ALLEGATO 1 – FONTI BIBLIOGRAFICHE DI RICERCA CORRELAZIONI TRA OROGRAFIA E PIOGGE 79

ALLEGATO 2 – SCRIPT PYTHON PER CALCOLO VARIABILI BARR E OBST.....82

ALLEGATO 3 – SCRIPT PYTHON PER CALCOLO VARIABILI MAXSLOPE ANGOLO E DISTANZA 84

ALLEGATO 4 – SCRIPT MATLAB PER MODELLI LINEARI DI REGRESSIONE 86

ALLEGATO 5 – REGRESSIONI MULTIPLE LINEARI: ITALIA.....87

ALLEGATO 6 - REGRESSIONI MULTIPLE LINEARI: FASCIA COSTIERA 93

ALLEGATO 7 – REGRESSIONI MULTIPLE LINEARI: REGIONE CAMPANIA 98

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 - Meccanismi di formazione delle precipitazioni..... 12

Figura 2.2 - Schema pluviometro a tazza basculante..... 14

Figura 2.3 - Rete Radar Italiana (Feb 2018), Radar in rosso non operativi al momento (Protezione Civile Italiana)..... 16

Figura 2.4 - Effetto schermatura (shielding) del raggio radar 17

Figura 2.5 - Infrastruttura dei satelliti GPM (https://pmm.nasa.gov/gpm) 19

Figura 2.6 - GPM Core Observatoy (https://pmm.nasa.gov/gpm) 20

Figura 2.7 - Funzionamento DPR (Kojima, M., et Al., 2012. DPR development on the GPM core observatory. International Society for Optics and Photonics.) 21

Figura 2.8 - Esempio di rilevazione radar satellitare in zona con orografia complessa. 22

Figura 3.1 - Suddivisione territoriale SIMN secondo il D.P.R. 85/1991 (Fonte: ISPRA Inquadramento storico del monitoraggio idro-meteografico e delle relative competenze.) 25

Figura 3.2 – Numero di stazioni per anno (database I-RED)..... 27

Figura 3.3 - Lunghezza delle serie temporali dei massimi annuali per durata catalogate da ogni stazione..... 27

Figura 4.1 – Mappa di concentrazione delle stazioni pluviometriche (Database I-RED) 36

Figura 4.2 - Digital Elevation model (DEM) italiano. Risoluzione 30m (USGS, 2018) 38

Figura 4.3 - Quota stazioni pluviometriche..... 39

Figura 4.4 - Distribuzione delle quote dei pluviometri rapportata all'andamento altimetrico del DTM (linea rossa)..... 40

Figura 4.5 - Metodo di calcolo della pendenza di una cella..... 41

Figura 4.6 - Mappa delle pendenze medie 42

Figura 4.7 - Raster delle distanze dal Mar Mediterraneo 43

Figura 4.8 - Raffigurazione parametri BARR e OBST..... 44

Figura 4.9 - Esempio determinazione parametri BARR e OBST 46

Figura 4.10 - Differenza tra picchi OBST e MAXSLOPE..... 47

Figura 4.11 - Pioggia media annua (Fonte: Crespi et al., 2018)..... 50

Figura 5.1 - Matrice di autocorrelazione di Pearson, Area: ITALIA 58

Figura 5.2 – Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la zona ITALIA 59

Figura 5.3 - Matrice di autocorrelazione di Pearson, Area: FASCIA COSTIERA..... 61

Figura 5.4 – Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la zona FASCIA COSTIERA..... 62

Figura 5.5 - Matrice di autocorrelazione di Pearson, Area: REGIONE CAMPANIA 63

Figura 5.6 – Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la zona CAMPANIA 65

Figura 6.1 - Andamento dei massimi R2 per regressione a 2 variabili..... 66

Figura 6.2 - Andamento dei massimi R2 per regressione a 3 variabili..... 67

Figura 6.3 - Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la TUTTI I 3 CASI STUDIO ILLUSTRATI..... 69

Figura 6.4 – Mappe delle precipitazioni estreme per scala ITALIA, risultanti dalla regressione con miglior R2 (Variabili: Minima distanza dal Mare & Pioggia Media)..... 71

Figura 6.5 - Mappe delle precipitazioni estreme per scala Regione CAMPANIA, risultanti dalla regressione con miglior R^2 (Variabili: Minima distanza dal Mare & Pioggia Media) 72

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 9-1 - Studi correlati e relativi parametri orografici adottati..... 79

Tabella 9-2: Regressione 1h, 2 variabili, area ITALIA 87

Tabella 9-3: Regressione 3h, 2 variabili, area ITALIA 88

Tabella 9-4: Regressione 6h, 2 variabili, area ITALIA 88

Tabella 9-5: Regressione 12h, 2 variabili, area ITALIA 89

Tabella 9-6: Regressione 24h, 2 variabili, area ITALIA 89

Tabella 9-7: Regressione 1h, 3 variabili, area ITALIA 90

Tabella 9-8: Regressione 3h, 3 variabili, area ITALIA 90

Tabella 9-9: Regressione 6h, 3 variabili, area ITALIA 91

Tabella 9-10: Regressione 12h, 3 variabili, area ITALIA 91

Tabella 9-11: Regressione 24h, 3 variabili, area ITALIA 92

Tabella 9-12: Regressione 1h, 2 variabili, area COSTIERA 93

Tabella 9-13: Regressione 3h, 2 variabili, area COSTIERA 93

Tabella 9-14: Regressione 6h, 2 variabili, area COSTIERA 94

Tabella 9-15: Regressione 12h, 2 variabili, area COSTIERA 94

Tabella 9-16: Regressione 24h, 2 variabili, area COSTIERA 95

Tabella 9-17: Regressione 1h, 3 variabili, area COSTIERA 95

Tabella 9-18: Regressione 3h, 3 variabili, area COSTIERA 96

Tabella 9-19: Regressione 6h, 3 variabili, area COSTIERA 96

Tabella 9-20: Regressione 12h, 3 variabili, area COSTIERA 97

Tabella 9-21: Regressione 24h, 3 variabili, area COSTIERA 97

Tabella 9-22: Regressione 1h, 2 variabili, area CAMPANIA 98

Tabella 9-23: Regressione 3h, 2 variabili, area CAMPANIA 98

Tabella 9-24: Regressione 6h, 2 variabili, area CAMPANIA 99

Tabella 9-25: Regressione 12h, 2 variabili, area CAMPANIA 99

Tabella 9-26: Regressione 24h, 2 variabili, area CAMPANIA 100

Tabella 9-27: Regressione 1h, 3 variabili, area CAMPANIA 100

Tabella 9-28: Regressione 3h, 3 variabili, area CAMPANIA 101

Tabella 9-29: Regressione 6h, 3 variabili, area CAMPANIA 101

Tabella 9-30: Regressione 12h, 3 variabili, area CAMPANIA 102

Tabella 9-31: Regressione 24h, 3 variabili, area CAMPANIA 102

1. TERRAIN ANALYSIS A SUPPORTO DELLA REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE

1.1. Introduzione

Le precipitazioni intense o estreme sono tra le principali cause di innesco di fenomeni naturali disastrosi quali piene improvvise, frane, esondazioni e allagamenti, che comportano gravi conseguenze per le zone coinvolte ed elevati pericoli per le popolazioni interessate (Bacchini et al., 2003; Fiorillo et al., 2004).

Dai continui aggiornamenti della cronaca sembra emergere come il territorio italiano sia soggetto ad un incremento delle precipitazioni estreme (Brunetti et al., 2001), con conseguenti fenomeni sempre più numerosi di dissesto idrogeologico.

In passato, a causa della mancanza di informazioni storicizzate e di soluzioni tecnologiche adeguatamente sviluppate e accessibili, risultava assai difficoltoso studiare la distribuzione e la causa di questi eventi. Attualmente, invece, sono disponibili strumenti sempre più avanzati e database assai evoluti che permettono di caratterizzare i fenomeni piovosi su vaste aree in modo molto dettagliato e consentono dunque all'uomo di conoscere meglio le criticità del territorio e di mettere in atto azioni e opere volte a ridurre gli impatti negativi dei fenomeni piovosi estremi.

A livello globale, molti ricercatori e studiosi si sono posti il problema di indagare a fondo la regionalizzazione delle precipitazioni e le correlazioni di quest'ultime con le caratteristiche del territorio studiato. Il presente lavoro si muove in questa direzione, ponendosi l'obiettivo di valutare la correlazione tra i più importanti indici orografici ricavati con metodi GIS-based e l'andamento delle piogge estreme negli ultimi decenni su tutto il territorio italiano.

Nel dettaglio, in prima istanza vengono introdotti i principi di formazione, sviluppo e misurazione delle precipitazioni, al fine di individuare la fonte dati più completa e confacente agli obbiettivi dello studio. Particolare attenzione verrà posta al database I-RED, contenente le informazioni storiche delle piogge massime estreme a diversi intervalli orari a scala nazionale, utilizzato nelle fasi successive dello studio.

Viene quindi presentata un'approfondita analisi bibliografica circa la mappatura dei massimi estremi, la regionalizzazione delle piogge e gli elementi topografici impattanti sulla creazione e distribuzione dei fenomeni precipitativi intensi ed estremi. L'analisi si sofferma principalmente sui metodi applicativi adottati dai diversi autori e sulle variabili orografiche e geografiche ritenute più performanti per i vari contesti studiati.

Infine, viene illustrato il caso studio oggetto dell'elaborato, con un primo focus sull'intero territorio italiano, per poi concentrare l'attenzione su due aree più ristrette, la sola fascia costiera e la Regione Campania. Tale applicazione, improntata su aree di estensione differente, con scale molto diversificate, mira ad individuare eventuali similitudini ed elementi geomorfologici costanti alla base della formazione dei fenomeni piovosi intensi, e si pone dunque come punto di partenza per lo sviluppo, in futuro, di applicazioni in ambiti orografici complessi ed eterogenei.

2. FORMAZIONE E MISURA DELLE PRECIPITAZIONI

La precipitazione è un fenomeno meteorologico di trasferimento di acqua per gravità dalla troposfera inferiore al suolo. La creazione di acqua in atmosfera è dovuta principalmente alla condensazione del vapore acqueo in corpi nuvolosi, che poi si riversano al suolo sotto forma di acqua liquida, solida o mista secondo la combinazione di svariate caratteristiche fisiche quali temperatura, pressione e umidità delle masse d'aria.

Per innescare il meccanismo di precipitazione delle masse d'acqua è necessario che si verifichino tre fenomeni: una variazione di fase, dallo stato solido o gassoso a quello liquido; il raggiungimento della condizione di saturazione nei corpi nuvolosi; il raggiungimento, da parte delle gocce di pioggia o dei cristalli di ghiaccio, di una dimensione e di un peso tali da permettere il superamento delle forze di attrito e innescare la caduta.

Sono state identificate tre tipologie di meccanismi di sollevamento delle masse di aria, responsabili della condensazione di vapore acqueo e del conseguente innesco di precipitazioni (Figura 2.1) (Whiteman, 2000):

- Meccanismo frontizio: salita delle masse di aria umida e calda dovute all'incontro con un fronte di aria fredda.
- Meccanismo convettivo: presenza di forti movimenti verticali d'aria, indotti dal gradiente di temperatura tra la superficie del suolo calda e le masse d'aria stessa.
- Meccanismo orografico: si verifica quando le masse d'aria umida sono costrette a salire su barriere orografiche, inducendo un raffreddamento adiabatico dell'aria e la conseguente condensazione e precipitazione. Nelle aree del mondo caratterizzate da venti costanti, si verifica una netta separazione dei due fronti delle barriere; si avrà dunque un lato sopravento caratterizzato da un clima più umido e piovoso e un lato sottovento percorso da venti più secchi contraddistinti dal fenomeno dell'ombra pluviometrica.

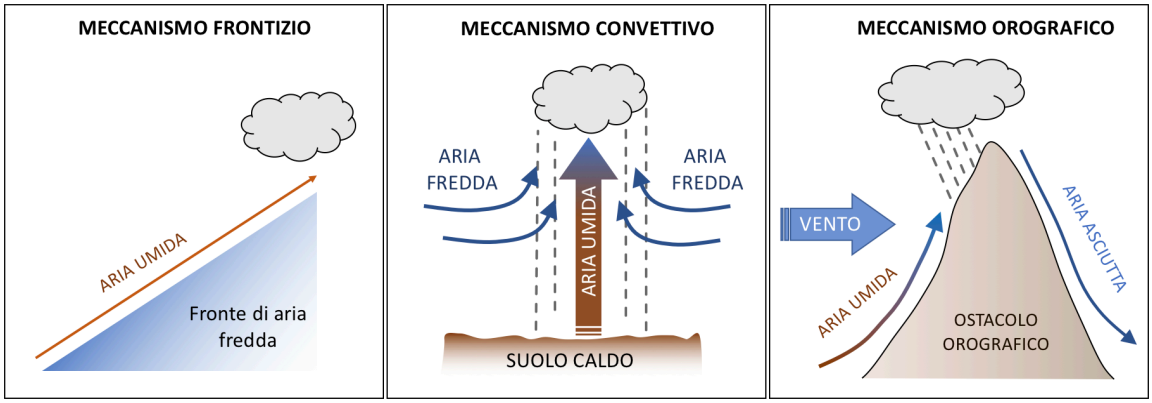

Figura 2.1 - Meccanismi di formazione delle precipitazioni

Le tecniche di monitoraggio delle precipitazioni più comuni ed utilizzate sono i pluviometri, i radar meteorologici ed i satelliti. Ciascuna di queste tre tipologie di rilevamento presenta vantaggi e limiti, che verranno illustrati nei paragrafi seguenti.

Tendenzialmente, la scelta di quale sistema adottare dipende dal tipo di applicazione, dalle caratteristiche topografiche dell'area oggetto di studio, dalla copertura spaziale disponibile nei luoghi di interesse, dalle performance richieste, dai budget a disposizione e da altri fattori. Ove sono disponibili reti pluviometriche estese o osservazioni radar, queste vengono preferite rispetto alle stime satellitari, poiché consentono risoluzioni spaziali e temporali più elevate. D'altro canto, le osservazioni mediante satellite sono di fondamentale utilizzo nelle aree impervie, dove risulterebbe assai difficile, se non impossibile, realizzare installazioni fisse di monitoraggio via terra. Le informazioni ricavate dai pluviometri sono indispensabili, inoltre, in fase di calibrazione e validazione delle misure ottenute mediante radar e satellite.

2.1. Rilevazione delle precipitazioni mediante pluviometri

Il pluviometro è uno strumento che consente di raccogliere e misurare la quantità di precipitazione caduta al suolo sotto forma liquida in un determinato periodo di tempo.

La misurazione della pioggia mediante pluviometro è una delle soluzioni maggiormente diffuse in tutto il mondo, poiché garantisce semplicità ed efficacia mantenendo tuttavia dei costi contenuti.

Le prime informazioni in merito alle misurazioni della quantità di pioggia al suolo furono rinvenute in India già a partire dal IV secolo a.C.; in seguito, intorno al 1200 d.C., sempre in Oriente vennero ritrovate evidenze di misurazioni con pluviometri semplici. Nonostante queste prime misurazioni antiche, fu il XVII secolo il periodo in cui in Europa si verificò un notevole incremento di interesse nei confronti di questo strumento, con la conseguente nascita di molte versioni differenti dello stesso, che consentirono il successivo sviluppo dei pluviometri moderni tutt'ora in funzione.

I pluviometri moderni si possono raggruppare in base al loro principio di funzionamento: esistono pluviometri manuali, meccanici, elettronici, ottici, adibiti alle misurazioni della neve o a quelle in mare aperto (Strangeways 2010). Il pluviometro maggiormente diffuso ad oggi è quello elettrico a tazza basculante (Figura 2.2), il quale è costituito da un cilindro in rame sormontato da un imbuto che raccoglie e incanala le gocce d'acqua precipitate. Al suo interno vi è una leva basculante, posta in equilibrio su un perno e costituita da due piccoli contenitori i quali, uno alla volta, vengono riempiti dall'acqua raccolta andando così ad innescare il meccanismo di ribaltamento della leva. Ad ogni ribaltamento della leva, un magnete provvede a chiudere il circuito elettrico, mediante interruttore Reed, permettendo così di registrare i cicli completati e di conseguenza ricavare l'intensità della pioggia in atto.

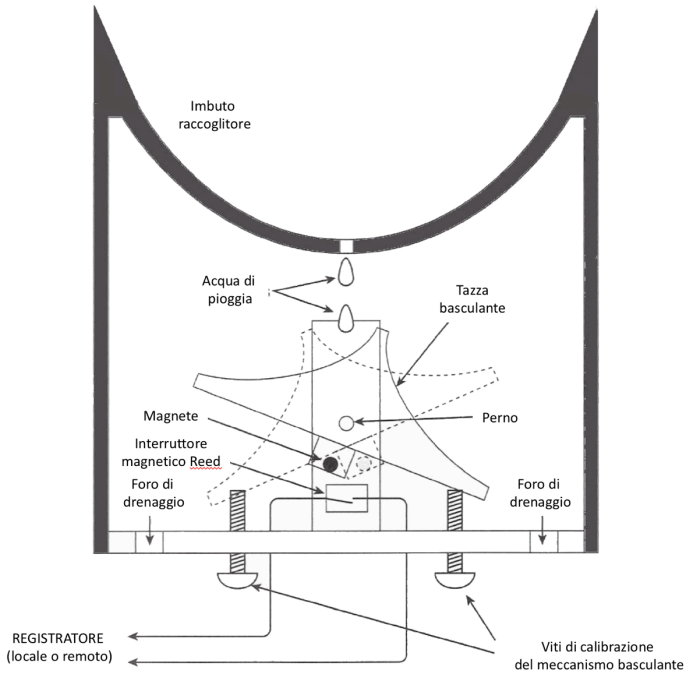

Figura 2.2 - Schema pluviometro a tazza basculante

Uno dei principali limiti dei pluviometri riguarda la possibilità di misurare soltanto le precipitazioni in un'area localizzata, senza dare informazioni in merito allo sviluppo areale della perturbazione. A tal fine, quando si vogliono ottenere informazioni sulla distribuzione delle precipitazioni su aree estese, è necessaria la progettazione e installazione di una rete composta da più pluviometri distribuiti sul territorio. Secondo la *World Metereological Organization* (WMO) la densità dei pluviometri raccomandata varia in base al clima e all'orografia dell'area oggetto di indagine. Ad esempio, per piccole regioni montuose con precipitazioni irregolari si consiglia una stazione ogni 25 km^2; tale densità scende a 10 - 20 km^2 per stazione nelle aree urbane e sale fino a 600-1000 km^2 per pluviometro nelle aree pianeggianti e con piogge regolari (WMO 1994).

Dal momento che questo documento si focalizza sugli eventi estremi di precipitazione, causa di danni e pericoli per le popolazioni non è necessario avere informazioni circa ogni giorno o ogni ora per ogni stazione. In seguito a questo ragionamento, il lavoro principale viene effettuato con valori massimi annui di pioggia tra 1 ora e 24 ore di durata.

2.2. Rilevazione delle precipitazioni mediante radar meteorologico

L'uso del radar meteorologico per stimare i tassi di precipitazione e la loro distribuzione spazio-temporale è una pratica consolidata. Sebbene il radar non fornisca misure dirette dei campi piovosi, permette di stimare i tassi di precipitazioni dalle misure di riflettività radar. Il radar meteorologico fornisce dati spaziali con maggiore risoluzione spazio-temporale e minori costi di manutenzione rispetto alla misurazione delle piogge per via tradizionale con i pluviometri.

I radar meteorologici sono in grado di localizzare le precipitazioni, provare a stimarne il tipo (pioggia, neve, grandine, ecc.), calcolarne il movimento, oltre a prevederne la posizione e l'intensità future.

I radar meteorologici moderni sono per lo più radar ad impulsi Doppler e sono quindi in grado di rilevare il movimento delle gocce di pioggia oltre all'intensità delle precipitazioni.

I radar meteorologici, e in generale tutti i radar, nella loro forma base sono costituiti da un trasmettitore che crea l'impulso di energia, un ricevitore che rileva, amplifica e trasforma i segnali ricevuti, un commutatore di segnale che indica all'antenna quando trasmettere e quando ricevere gli impulsi ed infine da un'antenna che invia gli impulsi e capta quelli in arrivo (Cannì et Al., 2009)

Il principio di funzionamento consiste nell'invio di impulsi di radiazione a microonde, dell'ordine di un microsecondo. Le lunghezze d'onda utilizzate dai radar meteorologici vanno da 1 a 10 cm; la lunghezza d'onda di 10 cm è circa dieci volte il diametro delle goccioline di pioggia o particelle di ghiaccio attraversate e ciò dà origine al fenomeno della diffusione di Rayleigh (o scattering).

Se si utilizzano frequenze più alte, che originano quindi lunghezze d'onda inferiori, si verifica invece lo scattering di Mie. Quando parte dell'energia emessa dal

radar incontra le particelle di acqua tenderà a rimbalzare tornando nella direzione del radar.

Le lunghezze d'onda più corte sono utili per particelle più piccole, ma il segnale viene attenuato più rapidamente. Quindi il radar da 10 cm (banda S) è preferibile, seppure comporti un maggiore costo rispetto al sistema a banda C di 5 cm. Il radar a banda X da 3 cm viene utilizzato solo a brevissima distanza e il radar meteorologico in banda Ka da 1 cm si utilizza soltanto per ricerche su fenomeni di piccole particelle come la pioviggine e la nebbia.

Il territorio Italiano è coperto per quasi la sua totalità da rilevatori Radar delle precipitazioni, principalmente secondo i sistemi a banda C, con una risoluzione spaziale al suolo di circa 1 km e aggiornamenti ogni 10 minuti (Figura 2.3, Protezione Civile, Mappa Radar)

Figura 2.3 - Rete Radar Italiana (Feb 2018), Radar in rosso non operativi al momento (Protezione Civile Italiana)

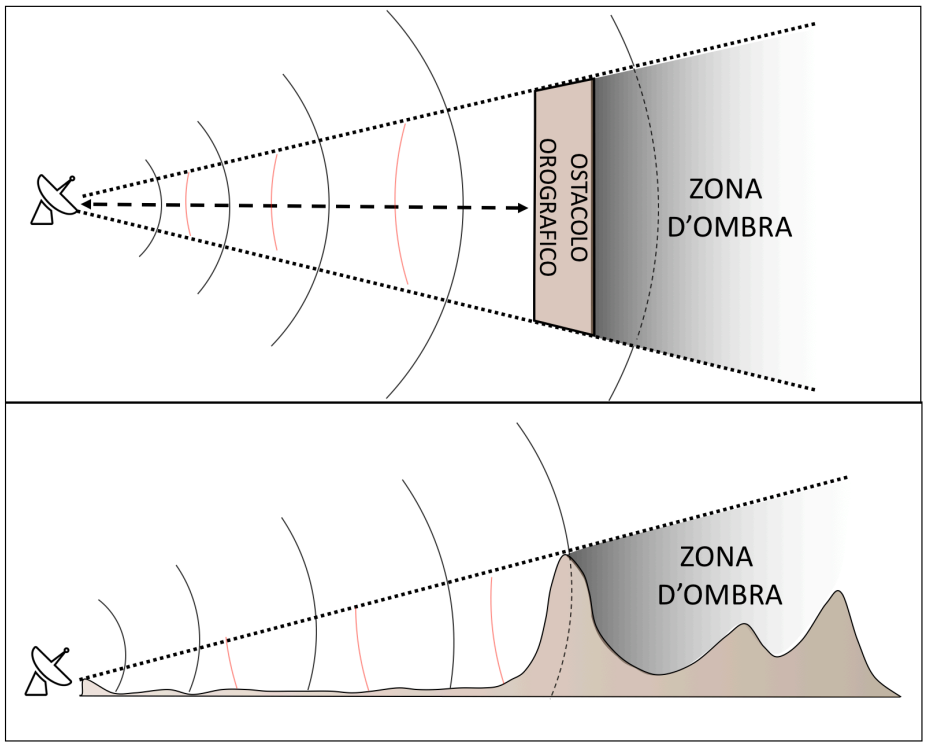

Figura 2.4 - Effetto schermatura (shielding) del raggio radar

2.3. Rilevazione delle precipitazioni mediante satellite

Una metodologia di rilevazione, campionamento e monitoraggio delle precipitazioni alternativa rispetto all'utilizzo dei pluviometri è quella delle analisi radar via satellite. I satelliti in orbita permettono di osservare specifiche caratteristiche atmosferiche, sufficientemente dettagliate da consentire la distinzione tra pioggia, neve e altri tipi di precipitazioni; inoltre consentono di analizzare la struttura, l'intensità e la dinamica delle precipitazioni estreme.

Lo sviluppo del rilevamento delle precipitazioni da remoto nasce e si espande velocemente a partire dagli anni Settanta del Novecento, congiuntamente allo sviluppo di sensori a infrarossi installati su satelliti orbitanti intorno alla Terra. Nei decenni successivi, la continua evoluzione dei sensori radar a microonde, a quote più basse rispetto agli infrarossi, ha permesso l'unione delle due tecnologie contrastanti ma complementari, consentendo, a ridosso del nuovo Millennio, la comparsa dei primi prodotti combinati (Gebremichael, 2010).

Il 27 novembre 1997 è stata lanciata la missione di misurazione delle precipitazioni tropicali (Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM) con il primo radar a microonde attive per la rilevazione delle precipitazioni dallo spazio (Kummerow, et al. 2000). L'importante contributo di TRMM nel migliorare la conoscenza e la comprensione delle distribuzioni delle precipitazioni tropicali e sub-tropicali ha stimolato il lancio di una nuova missione su vasta scala, la Global Precipitation Measurement (GPM), finalizzata allo studio della distribuzione globale delle precipitazioni (GPM Mission Concept, 2011). La GPM prevede la creazione e l'utilizzo di una rete di sensori radar a microonde, lanciati in orbita a partire dal 2014 (Guarnieri, 2017), con lo scopo di migliorare la comprensione del ciclo idrologico ed energetico della Terra, di perfezionare la previsione degli eventi estremi causa di dissesti e disastri ed estendere le attuali capacità nell'uso accurato e tempestivo delle informazioni inerenti le precipitazioni a diretto beneficio della società.

La missione GPM, avviata dalla NASA e dalla Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) è costituita da un consorzio di agenzie spaziali internazionali, tra cui l'European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), l'Indian Space Research Organization (ISRO), il Centre National d'Études Spatiales (CNES), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e altri (Figura 2.5)

Il GPM Microwave Imager (GMI) è un radiometro a microonde multicanale progettato per rilevare la precipitazione totale all'interno di tutti gli strati di nuvole, tra cui pioggia leggera e nevicate (Figura 2.7). Tale analisi è resa possibile dalla misura dell'intensità dell'energia a microonde che viene costantemente emessa dalla Terra, comprese le piogge e le nevicate. Le microonde sono radiazioni appartenenti alla banda dello spettro elettromagnetico, con lunghezza d'onda compresa tra le onde radio e la radiazione infrarossa. Il radiometro a microonde GMI, di cui è dotato il Core Observatory, utilizza 13 canali per misurare l'intensità della radiazione a microonde emessa dalla superficie terrestre e dalla sua atmosfera. I canali a frequenza più bassa (da 10 a 89 gigahertz, simili a quelli analizzati dal precedente satellite TRMM) rilevano le precipitazioni da intense a moderate. Il sensore GMI include inoltre

ulteriori quattro canali ad alta frequenza (da 166 a 183 gigahertz) che misureranno le precipitazioni da moderate a leggere. Gli elementi quali la pioggia, la neve e la superficie terrestre, emettono o disperdono energia in modo diverso in base alla temperatura e alle proprietà fisiche. Si procede pertanto ad analizzare i segnali ricevuti dai diversi canali al fine di discernere tra le varie tipologie di precipitazione, quantificandone l'intensità (Hanson, GPM).

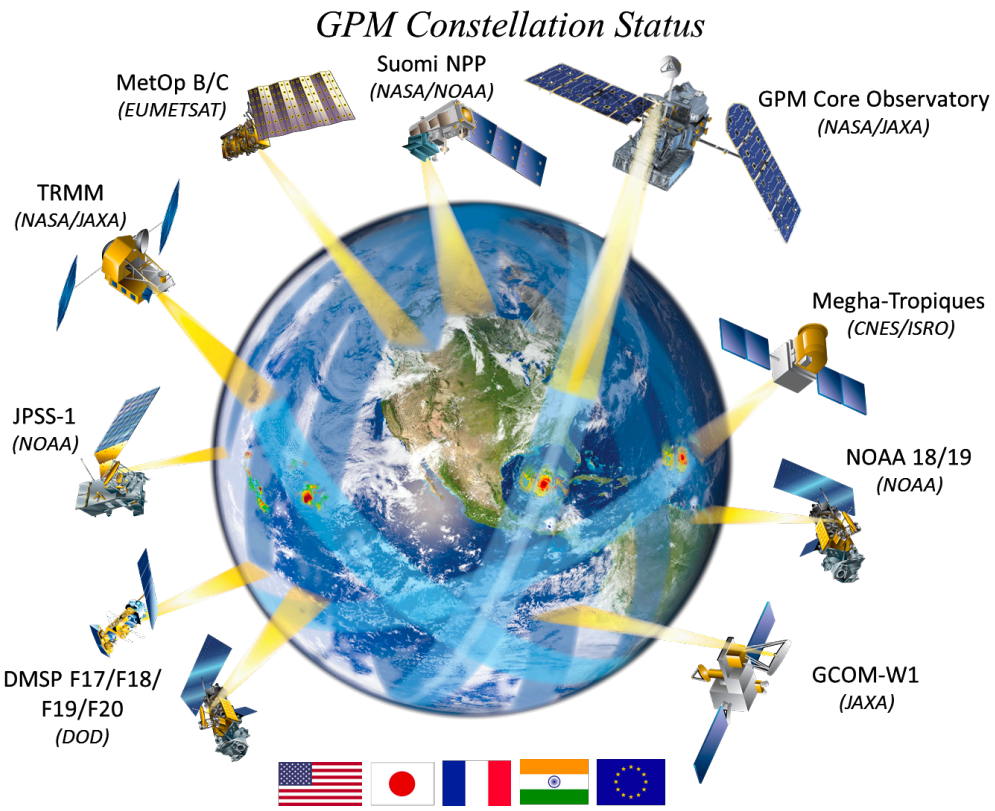

Figura 2.5 - Infrastruttura dei satelliti GPM (https://pmm.nasa.gov/gpm)

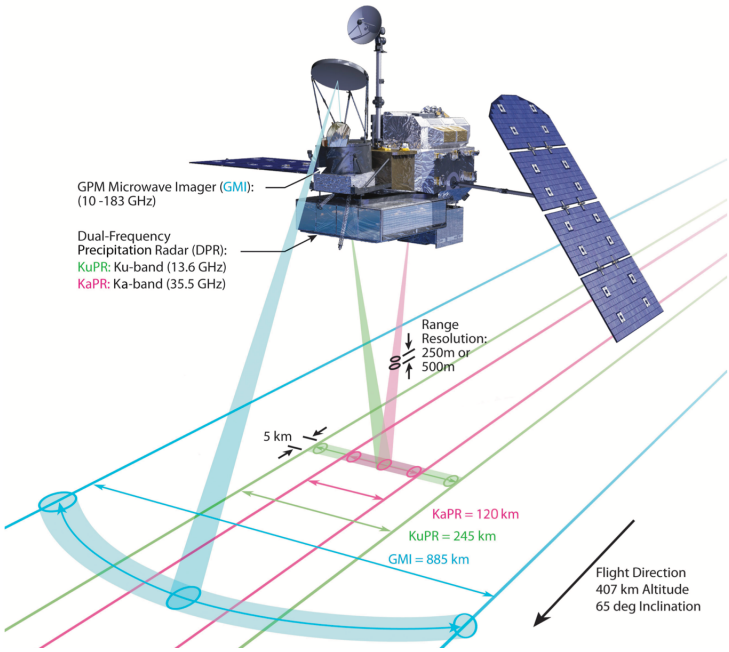

Figura 2.6 - GPM Core Observatoy (https://pmm.nasa.gov/gpm)

L'elemento principale della rete GPM è costituito dal satellite Core Observatory, un dispositivo dotato di doppia tecnologia: GPM Microwave Imager (GMI), in grado di rilevare l'intensità delle precipitazioni nevose e piovose, e il Dual-frequency Precipitation Radar (DPR), adibito all'analisi dei corpi nuvolosi e della loro struttura tridimensionale. Il Core Observatory è in grado di fornire una copertura della superficie terrestre compresa tra 65° di latitudine Nord e 65° di latitudine Sud. Queste misurazioni si combinano con quelle di altri satelliti nella rete GPM, riuscendo così a coprire l'intera superficie terrestre ogni tre ore circa (Figura 2.6) (Smith, 2007).

Il Dual-frequency Precipitation Radar (DPR), a bordo del GPM, consiste in un radar per l'analisi delle precipitazioni, operante su due bande Ku e Ka con una risoluzione massima di 5km. Il KuPR (13,6 GHz) è una versione aggiornata dell'unità di grande successo utilizzata nella missione TRMM, con una maggiore sensibilità rispetto al suo predecessore, in particolar modo per quanto riguarda la misurazione delle piogge leggere e delle nevicate nelle regioni con elevate latitudini. I dati raccolti dalle unità KuPR e KaPR forniscono osservazioni tridimensionali della pioggia, oltre ad una stima accurata del tasso di precipitazioni. (Figura 2.7)

Il DPR ed il GMI sono in grado di rilevare le precipitazioni sia sulla terra ferma che sull'oceano, sia di giorno che di notte. Tuttavia, a causa della risoluzione di 5 km del radar per le precipitazioni, la contaminazione del segnale per il clutter superficiale limita l'utilizzo delle misurazioni mediante GPM in aree non montagnose o con valli molto estese (Gabella 2017).

Le osservazioni satellitari dallo spazio hanno l'evidente vantaggio di poter coprire vaste aree con misurazioni frequenti e a costi relativamente contenuti, soprattutto in zone remote e difficilmente accessibili all'uomo.

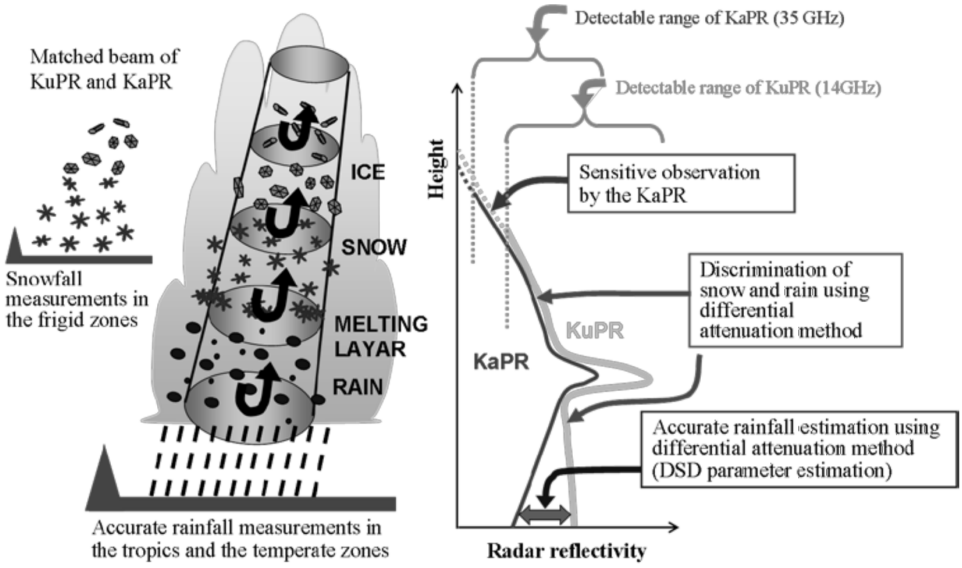

Figura 2.7 - Funzionamento DPR (Kojima, M., et Al., 2012. DPR development on the GPM core observatory. International Society for Optics and Photonics.)

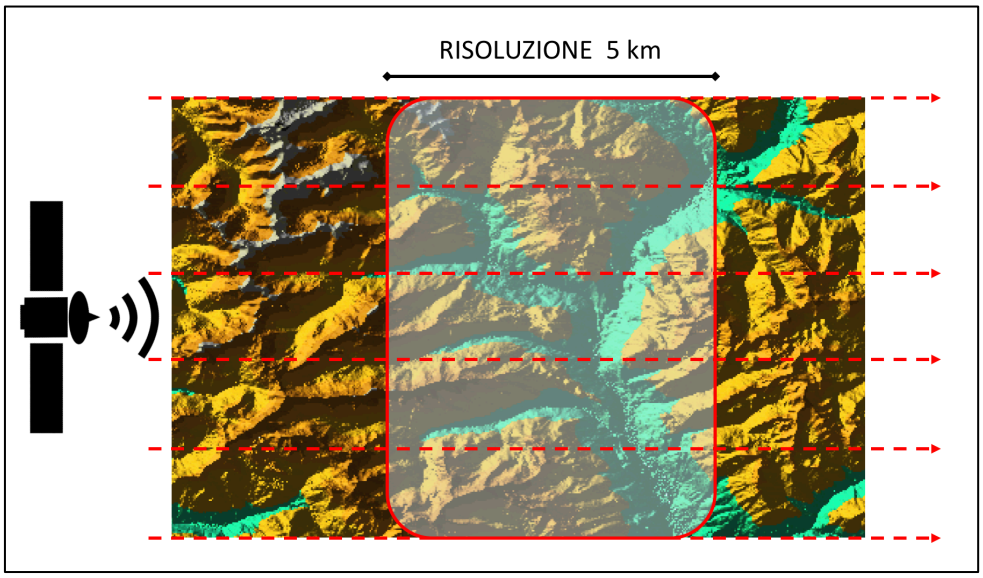

Figura 2.8 - Esempio di rilevazione radar satellitare in zona con orografia complessa.

2.4. Considerazioni

Dei tre sistemi descritti nei precedenti capitoli, la differenza principale è che i pluviometri raccolgono le informazioni delle piogge direttamente dal terreno, in un'area ben localizzata e circoscritta, i radar metereologici e i satelliti invece campionano le informazioni da remoto. Oltre a ciò, solo i pluviometri possono fornire una misura effettiva della precipitazione, mentre gli altri strumenti si limitano ad offrire una stima più o meno accurata della quantità di acqua precipitata. Diverse sono inoltre le disponibilità di dati e la lunghezza delle serie disponibili.

Per ogni soluzione si rende comunque necessaria un'elaborazione dei dati raccolti: per quanto concerne i pluviometri le informazioni richiedono un'interpolazione spaziale al fine di stimare l'intensità delle precipitazioni su tutto il territorio; le osservazioni radar e satellitari necessitano invece di una epurazione da errori di fondo e di una proiezione teorica della quantità di pioggia realmente precipitata al suolo. La natura complementare di queste tecniche ha quindi portato allo sviluppo di sistemi di rilevazione e stima multi-sensore (MPE), che mirano a combinare le migliori caratteristiche di ciascun approccio.

Questo processo di epurazione e rielaborazione dei dati ricavati dalle misure radar e satellitari porta inevitabilmente ad una sottostima dei valori registrati che, nel caso di applicazioni che prevedano l'utilizzo di valori di piogge intense ma di breve durata, comporterebbe gravi alterazioni dei risultati dello studio.

Alla luce di queste informazioni, avendo la necessità di migliorare le conoscenze in merito alla spazializzazione dei fenomeni precipitativi intensi, si è ritenuto che i pluviometri fossero gli strumenti più appropriati per il presente caso-studio.

Inoltre, in Italia si annovera una quantità di stazioni pluviometriche molto elevata (oltre 4500) con una distribuzione capillare su tutto il territorio, che raggiunge anche le aree più impervie e complesse dal punto di vista orografico. Infine, un altro elemento a favore dei pluviometri è l'importante lunghezza delle serie di anni di cui sono presenti registrazioni (quasi 100 anni); attraverso l'utilizzo di radar e satelliti non sarebbe invece possibile reperire la stessa quantità di dati.

3. IL DATABASE DEGLI ESTREMI ITALIANI (I-RED)

L'analisi e lo studio della distribuzione delle piogge e soprattutto degli eventi alluvionali estremi richiede un database completo su scala nazionale, che consenta una copertura spaziale e temporale delle rilevazioni il più possibile accurata e uniformemente distribuita.

Nel XX secolo in Italia, il campionamento e la gestione delle informazioni inerenti le precipitazioni ha subito il passaggio di responsabilità tra vari enti e agenzie locali e ad oggi non è disponibile un database completo e aggiornato su scala nazionale.

Agli inizi del 1900 è stato costituito il Servizio Idrografico Mareografico Nazionale (SIMN), il quale si è occupato di raccogliere, validare e divulgare i valori massimi annuali per il periodo che va dal 1917 al 2002, e per le durate di 1-3-6-12 e 24 ore. Tale servizio era costituito inizialmente da 10 compartimenti, ognuno dei quali aveva aree di competenza ben definite al fine di garantire la copertura dell'intero territorio italiano; col passare degli anni tali compartimenti hanno subito numerose modifiche, separazioni e unificazioni, fino a giungere alla forma definitiva descritta nel D.P.R. 85/1991 (Figura 3.1).

I dati catalogati dai diversi compartimenti locali confluivano poi alla Direzione centrale sita a Roma (ISPRA, Inquadramento storico del monitoraggio idro-meteografico e delle relative competenze).

Con il D.Lgs. n. 112 del 31/03/1998 e successivamente con il DPCM del 24/07/2002, la competenza di gestione dei monitoraggi, della raccolta e dell'archiviazione dei dati pluviometrici e di quelli relativi ai massimi estremi venne demandata alle Regioni e agli Uffici di competenza sul territorio.

Figura 3.1 - Suddivisione territoriale SIMN secondo il D.P.R. 85/1991 (Fonte: ISPRA Inquadramento storico del monitoraggio idro-meteografico e delle relative competenze.)

Al fine di convogliare i dati e le informazioni in un unico database, nel 2006 il Ministero dell'Istruzione e della Ricerca ha istituito il progetto CUBIST, supportato dal Politecnico di Torino, dal Politecnico di Bari, dalle Università degli Studi di Bologna e della Basilicata e dall'ente di ricerca CNR-ISAFoM (CUBIST, 2009). Il progetto CUBIST mirava a creare un sistema informativo idrologico completo su scala nazionale, con un database comprensivo di circa 6000 stazioni pluviometriche, 700 stazioni di temperatura e 400 bacini fluviali. (Claps, 2008). Per quanto riguarda i dati delle piogge massime annue, il progetto CUBIST ha raccolto le informazioni disponibili nell'arco temporale che va dal 1900 al 2001; per i primi 16 anni, dal 1900 al 1916 le informazioni sono state reperite da archivi locali, mentre per il periodo dal 1916 al 2001 le informazioni erano già presenti negli archivi del SIMN.

Per il caso in esame si è scelto di unire le informazioni risultanti dai diversi database disponibili e convogliarle in un unico set di massimi estremi chiamato I–RED (Libertino, 2018). Questa raccolta di dati prende in analisi diverse fonti, al fine di costituire il primo database dei dati di piogge estreme di breve durata su tutto il territorio Italiano. L'archivio risultante comprende oltre 4600 stazioni e copre il periodo dal 1916 al 2014, con registrazione delle piogge massime annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive.

Nella Figura 3.2 è riportato il numero complessivo di dati disponibili per anno per le 5 durate fruibili; tale valore non è costante per tutti gli anni analizzati ma aumenta con l'espandersi e l'intensificarsi della rete di pluviometri installata sul territorio nazionale, subendo una notevole diminuzione nel periodo della Seconda Guerra Mondiale, durante il quale il monitoraggio delle piogge è andato perso. Un'ulteriore flessione della quantità di stazioni attive e dei relativi dati raccolti si rileva dopo il 1980, a seguito della dismissione del SIMN e del passaggio di incarico alle autorità idrografiche locali, operazione ultimata a cavallo del XXI secolo con il conseguente aumento esponenziale delle rilevazioni. Per quanto riguarda infine la repentina diminuzione dei dati disponibili dopo il 2010, questa può essere attribuita al fatto che non tutte le regioni e gli enti locali abbiano ancora fornito i dati più recenti.

Nella Figura 3.3 sono riportate le stazioni che fanno parte del database I-RED e il rispettivo valore minimo di dati (espresso in anni) disponibile per ognuna di queste. Analizzando le serie in base alla loro durata, si evince un'importante presenza di stazioni con serie temporali comprese tra 10 – 20 anni e 20 – 30 anni; queste risultano pertanto essere consistenti e adatte alle analisi statistiche e di caratterizzazione degli eventi alluvionali estremi.

Dalla distribuzione spaziale delle stazioni si può chiaramente distinguere una copertura piuttosto capillare dell'intero territorio italiano; si evidenzia inoltre l'abbondanza di stazioni recenti, nate negli ultimi decenni a seguito del passaggio di consegne dal SIMN alle Regioni.

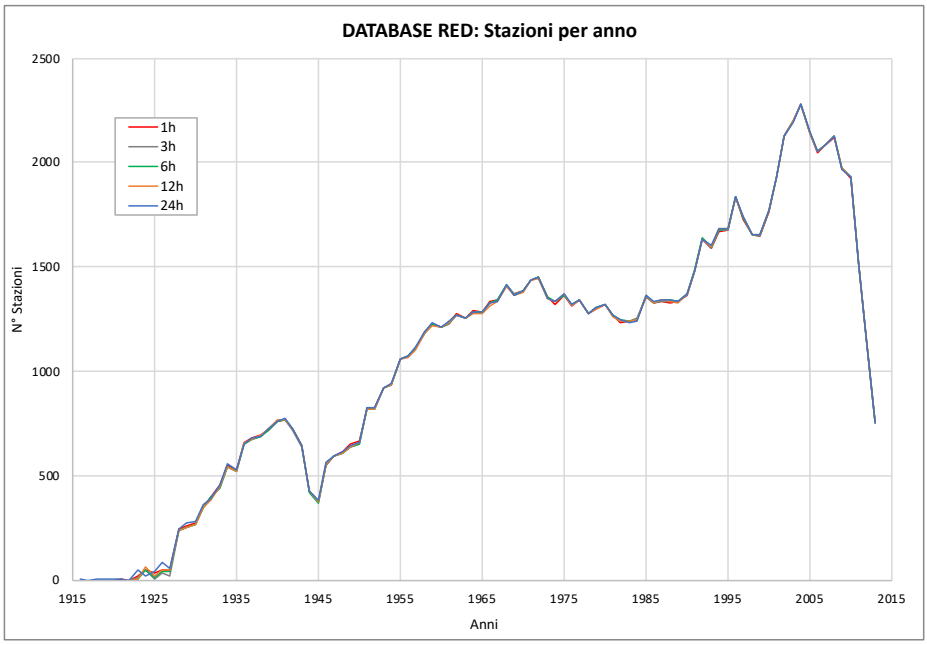

Figura 3.2 – Numero di stazioni per anno (database I-RED)

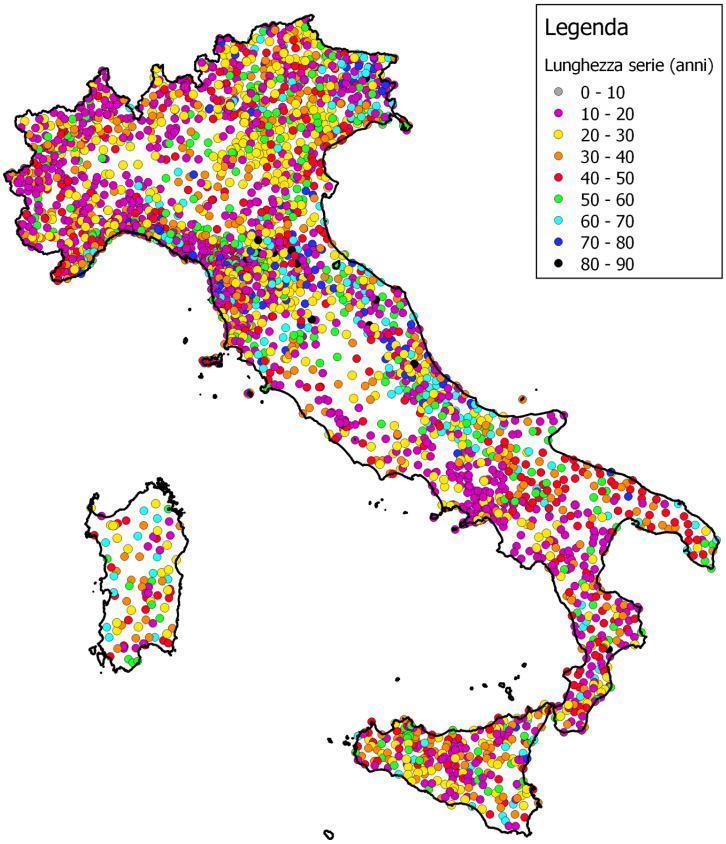

Figura 3.3 - Lunghezza delle serie temporali dei massimi annuali per durata catalogate da ogni stazione

4. DESCRITTORI GEO-MORFOLOGICI SIGNIFICATIVI PER LA DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

Gli studi della distribuzione spaziale delle piogge estreme e del rapporto con la morfologia del territorio sono da decenni elemento di grande interesse per la comunità scientifica internazionale. Per tale ragione, si è resa necessaria un'approfondita analisi bibliografica per determinare lo stato dell'arte, al fine di individuare i diversi approcci metodologici adottati dai vari ricercatori, le criticità riscontrate, i risultati attesi o raggiunti e gli ambiti in cui risulta necessario implementare la ricerca. Buona parte degli studi disponibili è focalizzata su aree di medie dimensioni e regioni con conformazione morfologica piuttosto omogenea e uniforme.

Il presente elaborato si pone l'obiettivo di riprendere i concetti e i risultati ottenuti in passato dai vari ricercatori ed estendere il campo di analisi a tutta la penisola italiana (particolarmente interessante poiché caratterizzata da una topografia molto complessa e da un'elevata eterogeneità dei fenomeni alluvionali), analizzando la correlazione tra i massimi estremi su scala italiana e le caratteristiche del territorio nazionale. Nel presente capitolo verranno in primo luogo descritti i principali riferimenti bibliografici, finalizzati a rappresentare lo stato dell'arte, per poi focalizzarsi, nella seconda parte, su alcuni descrittori geo-morfo-climatici "ricorrenti" o particolarmente significativi per la distribuzione di fenomeni convettivi, che verranno considerati nell'ambito del presente lavoro.

4.1. Riferimenti bibliografici e stato dell'arte

I primi studi inerenti il tema in questione sono riconducibili alla metà del secolo scorso; inizialmente si riteneva che l'elevazione avesse un impatto preponderante sulle precipitazioni estreme rispetto alle altre variabili topografiche e geografiche del territorio, sebbene gli stessi autori riconoscessero un'importanza non trascurabile di queste ultime (Spreen, 1947; Smith et al., 1979).

A partire dagli anni Novanta, molti ricercatori hanno improntato i propri studi sulla valutazione dell'influenza di una moltitudine di variabili topografiche sulla distribuzione dei fenomeni piovosi di notevole entità. L'esito delle ricerche più recenti ha portato a soluzioni eterogenee; gli autori che si sono interessati all'argomento hanno adottato differenti metodi di ricerca, tenendo conto del contesto di lavoro e adattando i criteri in base all'area di interesse e alle relative peculiarità orografiche caratterizzanti il territorio.

Da una parte, dunque, alcuni studi risultano mirati ad individuare una correlazione tra le caratteristiche topografiche e le precipitazioni medie annue (Basist et al., 1994; Kornad 1996), dall'altra altri autori hanno messo a confronto le variabili topografiche con le precipitazioni intense (Prudhomme e Reed, 1998; Kieffer et al., 2000; Borga et al., 2004; Begueria et al., 2005; Allamano et al., 2009; Caracciolo et al., 2013; Pelosi e Furcolo, 2015).

I suddetti studi hanno la caratteristica comune di focalizzare l'attenzione e l'analisi su aree di medie dimensioni e regioni con conformazione morfologica piuttosto omogenea e uniforme.

Al fine di improntare la presente ricerca su basi solide e scientifiche, verranno di seguito approfondite le peculiarità dei vari studi attualmente disponibili in letteratura.

Gli elaborati di Prudhomme e Reed, messi a punto a cavallo tra il XIX ed il XX secolo, spiccano nel panorama degli studi inerenti le relazioni tra eventi alluvionali estremi e topografia del territorio. Alla fine degli anni '90, i due ricercatori inglesi, Christel Prudhomme e Duncan Reed, esaminarono approfonditamente i fenomeni alluvionali nelle aree montuose della Scozia, elaborando una serie di ricerche che ottennero innumerevoli riscontri positivi negli anni a seguire e costituiscono ancora oggi la base di partenza per molte ricerche del settore a livello globale.

I suddetti elaborati risultano un riferimento fondamentale in letteratura per quanto concerne l'analisi delle precipitazioni estreme e gli studi di mappatura delle stesse, dal momento che in passato tali argomenti non sono stati indagati in modo

rigoroso e attraverso un approccio statistico, soprattutto in aree montuose e con orografie complesse.

Nel 1998, i due autori inglesi hanno ricercato in prima battuta una correlazione tra gli indici topografici e i valori di piogge intense registrati da 1003 stazioni site su tutto il territorio scozzese. Successivamente, nel 1999, essi hanno sviluppato ulteriormente il proprio studio cercando di formulare una mappatura affidabile delle precipitazioni, nella stessa area di pertinenza del precedente elaborato, attraverso l'utilizzo di tecniche geostatistiche.

L'indagine di Prudhomme e Reed si basa sui dati di precipitazione massima annua giornaliera raccolti da 1003 misuratori in Scozia, la regione più montuosa del Regno Unito, e analizza le relazioni tra la mediana del massimo annuale di pioggia giornaliera, definito RMED, e la complessa orografia del territorio. Sono state così individuate 14 variabili topografiche, ricavate da un modello di terreno digitale (DTM) con risoluzione di 1000m.

Le variabili topografiche utilizzate prendono spunto da precedenti studi presenti in letteratura; alcune, come l'elevazione e la pendenza, sono risultate insoddisfacenti per le aree con una complessa morfologia e caratterizzate dalla presenza di ostacoli orografici, mentre altre sono state considerate non sufficientemente precise e quindi necessitanti di modifiche o affinamenti. Infine, sono state introdotte delle variabili completamente nuove, come la distanza media dal mare in settori di 90°, l'indice "BARRIER" riportante la distanza dalla barriera orografica più prossima alla stazione, l'ostruzione, definita "OBST", intesa come l'angolo sotteso tra la stazione e la maggior vetta nell'intorno. Tali indici, modificati e rielaborati, sembrerebbero aver dato esiti notevolmente più rappresentativi del valore RMED rispetto a quelli trovati in letteratura.

La suddetta ricerca, applicata al territorio scozzese, ha dimostrato che la distribuzione spaziale della mediana RMED non risulterebbe dipendere in modo semplice e lineare dalla quota della stazione, bensì da una più articolata relazione tra i

rilievi montuosi e la variegata provenienza e natura delle fonti di umidità e di innesco dei fenomeni alluvionali.

Per quanto riguarda invece la distribuzione spaziale delle forti piogge nella regione montuosa della Scozia, attraverso RMED è stata studiata la mediana delle piogge annuali massime giornaliere. In questo secondo studio del 1999, gli autori hanno analizzato diverse tecniche disponibili per mappare RMED. Sono stati confrontati due metodi geostatistici, kriging ordinario e kriging residuo modificato. Test statistici delle prestazioni dei metodi di kriging, così come il confronto diretto tra le stime finali e le osservazioni, hanno mostrato che la tecnica di kriging residua modificata è la più adatta per mappare la mediana delle precipitazioni massime giornaliere annuali in Scozia. In particolare, incorporare indirettamente le informazioni topografiche nella procedura di kriging aiuta a produrre una mappa di RMED che riflette la topografia in modo più efficace rispetto a quando è calcolata con un semplice metodo di interpolazione spaziale.

Al fine di individuare gli indici morfologici e topografici più pertinenti e caratterizzanti la variabilità spaziale degli estremi pluviometrici, verranno ora approfonditi gli approcci metodologici adottati in altri studi, anch'essi molto rilevanti all'interno del panorama bibliografico attuale.

Di notevole interesse è la ricerca svolta nel 2000 dai francesi Kieffer Weisse e Bois, i quali, nell'elaborato "*Topographic Effects on Statistical Characteristics of Heavy Rainfall and Mapping in French Alps*", illustrano un'analisi regionale delle Alpi francesi, studiando la correlazione tra le precipitazioni intense e le variabili morfologiche. Queste ultime vengono suddivise in variabili locali, definite dalla topografia dell'area che circonda il punto di interesse (ossia esposizione, quota, azimut, pendenza, curvatura della superficie), e variabili regionali, per lo studio delle quali è necessario conoscere tutto il territorio circostante (latitudine e longitudine, distanza dal Mar Mediterraneo e dal fiume Rodano, presenza di barriere orografiche e morfologia delle Alpi). Per lo studio delle possibili correlazioni esistenti, i ricercatori si sono avvalsi di un'analisi regressiva multivariata, che ha permesso di individuare i parametri che influiscono in maggior misura sulla variabilità della precipitazione. Tali parametri sono

la quota, la pendenza, l'esposizione e la prossimità al Mar Mediterraneo. Nello specifico, è emerso che le precipitazioni con tempo di ritorno uguale a 10 e 100 anni sono maggiormente legate alle variabili regionali rispetto a quelle locali, e che il modello di regressione risulta più significativo per le precipitazioni con durate brevi (inferiori o uguali a 3 ore) rispetto a quelle più lunghe.

Per quanto riguarda invece il territorio nazionale, nel 2009 Allamano, Claps, Laio e Thea hanno condotto una ricerca focalizzata sul Nord Italia, volta ad esaminare come le precipitazioni intense varino rispetto ad alcune variabili geografiche, quali altitudine, latitudine e longitudine. A tal proposito, sviscerando i dati ottenuti da 567 stazioni pluviometriche presenti sull'intero arco alpino e funzionanti da almeno 10 anni, gli autori hanno analizzato l'andamento delle piogge estreme di breve durata (da 1h a 24h) avvalendosi del metodo di regressione Kriging ordinario. Come variabili descrittive delle piogge intense, sono stati individuati gli indici *a* e *n* della Curva di Probabilità Pluviometrica (CPP), da interpolare con le caratteristiche morfologiche dell'area alpina. Dallo studio è emerso che il coefficiente *a* risulta essere univocamente correlato al parametro altitudine e inversamente proporzionale rispetto alla quota, mentre il coefficiente *n* è condizionato in ugual modo da tutte le variabili e nello specifico è direttamente proporzionale alla quota.

Combinando poi i risultati conseguiti, i ricercatori hanno ottenuto delle Curve di Probabilità Pluviometrica sulla base della sola longitudine e della quota. A differenza di quanto ci si aspettasse, è emerso che, con il diminuire dell'altitudine, diminuiscono anche le precipitazioni massime annue. Questa tendenza sembra inoltre avere una deriva geografica che varia dal lato occidentale a quello orientale della catena alpina.

Un altro rilevante studio effettuato sul territorio italiano, ed in particolare nella Regione Sicilia, è quello di Caracciolo et al. (2012). Analogamente a quanto illustrato nella ricerca di Allamano et. al., anche in ambito siciliano sono state ricercate le correlazioni tra la morfologia dell'Isola e i parametri *a* ed *n* caratterizzanti la Curva di Probabilità Pluviometrica.

I dati sono stati ricavati da 267 pluviometri presenti sul territorio e funzionanti da almeno 8 anni. L'individuazione delle variabili morfologiche da parte di Caracciolo et. al. è stata eseguita mediante software GIS, attraverso l'utilizzo di un DTM con griglia a risoluzione di 1000m. Sono state così scelte 12 variabili indipendenti che permettessero di delineare al meglio le caratteristiche topografiche della Sicilia e dei pluviometri presenti; queste sono la localizzazione (individuata con longitudine e latitudine), la quota, la pendenza, l'esposizione, la curvatura (intesa come variazione di pendenza della superficie), la presenza di barriere orografiche, l'indice di concavità per ogni stazione, la distanza dal mare di ogni cella e la relativa direzione azimutale e infine due variabili indipendenti legate alla pendenza, atte a identificare la convergenza topografica e la variazione di pendenza lungo le direttrici più inclinate.

È stata infine eseguita una regressione lineare bivariata e multivariata, che ha consentito di analizzare il territorio siciliano sia nella sua interezza, sia suddiviso in zone omogenee; tale analisi ha evidenziato un'interessante correlazione tra il parametro *n* della CPP e la quota, mentre non è risultato altrettanto efficace per il parametro *a*. Inoltre, anche le variabili quali la localizzazione, la concavità e la distanza dal Mar Mediterraneo sembrano avere buone performance, soprattutto per la stima della variabile *n*.

Un ultimo studio, di recente pubblicazione (2015) e applicato alla Regione Campania, è quello di Furcolo, Pelosi e Rossi, dal titolo "*Statistical identification of orographic effects in the regional analysis of extreme rainfall*". In questo elaborato, i tre ricercatori si soffermano principalmente sul legame tra morfologia complessa, dovuta alla presenza di numerose barriere orografiche nella Regione, e l'interazione tra la circolazione atmosferica e le piogge estreme, cercando di sviluppare un nuovo metodo per identificare e caratterizzare gli effetti dell'orografia sulla variabilità spaziale delle precipitazioni estreme su scala regionale, contemplando anche i casi in cui si registra una mancanza di dati sulle precipitazioni o quelli in cui non è possibile descrivere in modo dettagliato le caratteristiche delle piogge.

Gli autori hanno analizzato i massimi annuali dei dati sulle precipitazioni giornaliere nella Regione Campania, notoriamente complessa dal punto di vista

orografico, introducendo una procedura statistica volta ad identificare i valori anomali spaziali in una statistica di basso ordine. Le posizioni di questi valori anomali sono state quindi confrontate con la distribuzione sul territorio delle barriere orografiche presenti, e ciò ha evidenziato un chiaro collegamento tra una serie di elementi orografici e un aumento locale della variabilità spaziale delle precipitazioni estreme. Sono state così identificate oggettivamente le aree in cui l'orografia produce una maggiore variabilità nelle precipitazioni estreme.

Nell'ALLEGATO 1 viene riportata una tabella riepilogativa dei principali elaborati tecnici, con informazioni relative agli indici utilizzati in ognuno di essi.

4.2. Descrittori geo-morfo-climatici significativi per la distribuzione dei fenomeni intensi

In questa sezione verranno illustrati gli indici topografici scelti per essere successivamente impiegati nei passaggi applicativi del presente caso-studio. Tali indici sono stati individuati sulla base delle indicazioni presenti in letteratura, ponendo particolare attenzione a quelli che gli studi pregressi ritenevano avere migliori performance e impatti sulle piogge intense.

Le variabili sono state ricavate mediante l'ausilio di software GIS, che ha permesso una agevole visualizzazione spaziale dei risultati e un comodo confronto con il modello digitale del terreno. Gli indici individuati e ritenuti utili ai fini dello studio sono nove: alcuni di questi sono stati estratti da funzioni intrinseche al software GIS, mentre altri hanno richiesto la creazione di specifici script, formulati attraverso l'utilizzo del linguaggio di programmazione Python, che ha consentito di personalizzare i calcoli e le parametrizzazioni al fine di ottenere un risultato adeguato alle richieste di partenza.

Le variabili ricavate sono:

1. Coordinate geografiche (Latitudine, Longitudine)

La localizzazione delle stazioni pluviometriche è un'informazione elementare ma altresì indispensabile per la collocazione spaziale dei pluviometri sul territorio italiano. L'archivio contenente le informazioni relative ai massimi pluviometrici estremi per ogni stazione è strutturato in modo tale da riportare, per ognuna di esse, oltre al valore di pioggia massima per anno con durate da 1 ora a 24 ore, anche il codice univoco identificativo della stazione (ID), un nome comune distintivo della stazione (solitamente preso dal nome del Paese/area in cui il pluviometro è ubicato) e le coordinate spaziali (Longitudine e Latitudine) della stazione stessa, espresse secondo il sistema di riferimento WGS84 UTM 32 Nord (EPSG 32632).

In molti studi le coordinate geografiche hanno dimostrato un'interessante correlazione con la distribuzione spaziale delle piogge intense e ciò emerge in modo ancor più spiccato nelle applicazioni che prevedono aree di studio estese, in cui vi è grande variabilità dei valori di Longitudine e Latitudine (Allamano et al., 2009; Caracciolo et al., 2012).

Riportando le stazioni del Database I-RED sul piano cartografico nazionale, mediante l'ausilio di software GIS, e creando una mappa di concentrazione sulla base della densità delle stazioni (figura 4.1), si evince la presenza di una copertura capillare di tutto il territorio nazionale, con una densità crescente soprattutto per le aree ad orografia complessa come la Liguria, la Campania e tutto l'arco Alpino.

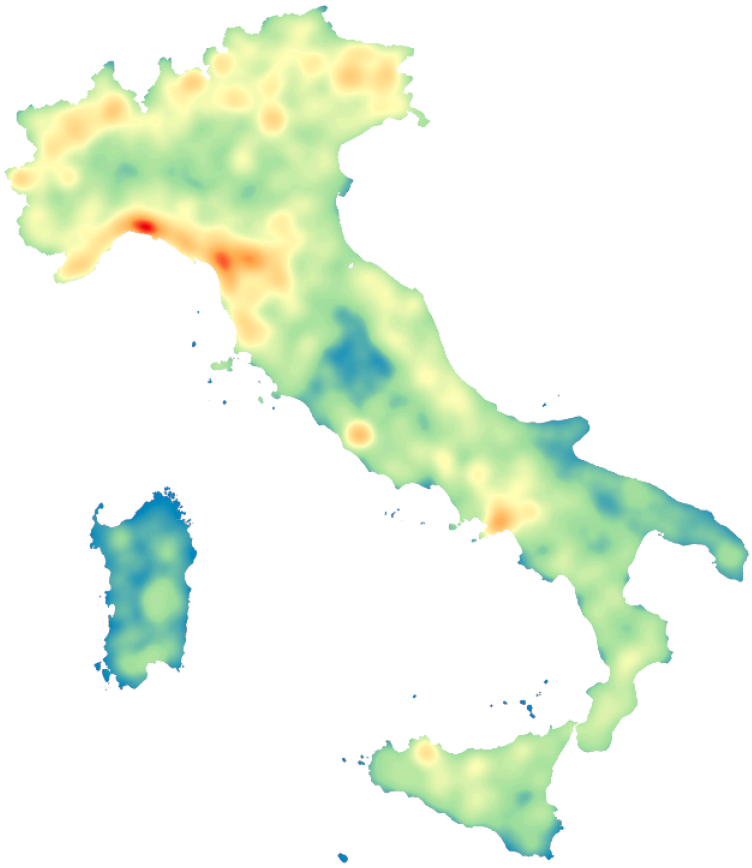

Figura 4.1 – Mappa di concentrazione delle stazioni pluviometriche (Database I-RED)

2. Quota

Come illustrato in precedenza, molti elaborati scientifici negli ultimi decenni hanno identificato come variabile topografica maggiormente correlata alla distribuzione delle piogge estreme la Quota (Spreen, 1947; Smith et al., 1979), portando all'evidenza il suo importante ruolo nella determinazione delle aree influenzate da fenomeni precipitativi intensi soprattutto in aree caratterizzate da una considerevole presenza di rilievi.

L'utilizzo delle rappresentazioni digitali del terreno e dei profili di elevazione mediante strumenti GIS è oggigiorno elemento cardine per una sconfinata varietà

di applicazioni, dagli ambiti di ricerca più evoluti alla pianificazione di interventi e la gestione delle risorse (Cagnoli et Al., 2013).

Tali strumenti digitali hanno subìto negli ultimi anni una crescita e una diffusione esponenziale, coadiuvate sia dalle capacità computazionali in rapida ascesa, sia dalla parallela diffusione di sistemi satellitari per il telerilevamento con risoluzioni sempre maggiori e di facile accessibilità.

Questa vasta offerta di dataset da cui attingere le informazioni sulle caratteristiche dei terreni analizzati richiede tuttavia una riflessione relativa al tipo di modello digitale da utilizzare e soprattutto sulla risoluzione più idonea per il caso studio in esame.

Come illustrato da Vaze, & Teng (2007, 2010) l'accuratezza e la precisione del modello digitale di elevazione (DEM) utilizzato dipendono molto dal tipo di applicazione e da quali informazioni si vogliono ottenere. La risoluzione del modello digitale di elevazione deve essere tale da permettere una corretta estrazione delle informazioni topografiche necessarie per l'applicazione oggetto di studio, senza incorrere in alterazioni o compromissioni dei dati stessi dovute a una scarsa definizione del modello e a una conseguente approssimazione del dato. D'altro canto, una elevata precisione del modello digitale comporta inevitabilmente un'onerosa richiesta computazionale per l'elaborazione dello stesso, rendendo talvolta impossibile la lavorazione. Nello specifico, in Vaze & Teng (2007) è stato illustrato come, per un'area di circa 300km^2, l'utilizzo di un DEM a risoluzioni di 25x25m rispetto a 1x1m comporta un elevato beneficio in termini di tempo di calcolo a fronte di una perdita di informazioni molto contenuta per la risoluzione più grossolana.

Per il caso studio illustrato nel presente elaborato, l'area oggetto di analisi è l'intero il territorio italiano, che ha un'estensione di circa 301.000 km^2. Essendo necessarie numerose estrazioni ed elaborazioni, sono stati eseguiti dei test di performance andando ad individuare una risoluzione quanto più precisa possibile, senza però compromettere eccessivamente le tempistiche. Ci si è potuti così spingere fino a

una risoluzione di 30x30m (1 arcseg), potendo innanzitutto attingere i dati direttamente dai siti di distribuzione del U.S. Geological Survey (USGS, 2018), e in secondo luogo mantenere un livello di dettaglio tale da poter permettere focalizzazioni anche su aree molto ristrette del territorio. (Figura 4.2)

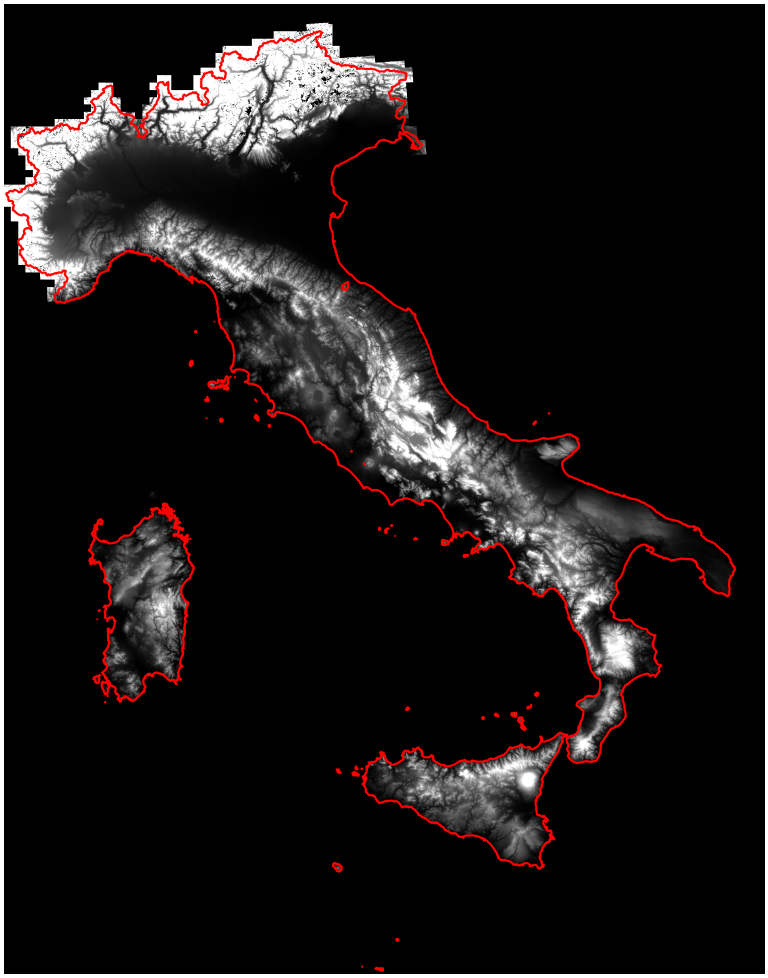

Figura 4.2 - Digital Elevation model (DEM) italiano. Risoluzione 30m (USGS, 2018)

Il valore di elevazione riportato nel suddetto DEM è stato quindi associato a ogni stazione presente sul territorio, mediante un processo di interpolazione automatico.

Questa attribuzione rispecchia il naturale andamento orografico della superficie italiana, ed è oggettivamente riscontrabile per mezzo di una colorazione

opportuna delle stazioni (Figura 4.3) la copertura capillare del territorio nazionale per l'interezza delle altitudini presenti, dalle catene montuose principali (Alpi e dorsale Appenninica) alle zone di pianura e costiere.

Figura 4.3 - Quota stazioni pluviometriche

Al fine di avvalorare tale aspetto sono stati riportati su un istogramma i valori della distribuzione delle quote dei pluviometri (espressi con cinque classi di colori in riferimento ai punti rappresentati in Figura 4.4) e l'andamento dei valori dell'intero DEM italiano (linea rossa), emerge una similitudine spiccata tra le due distribuzioni. Questa valutazione serve a comprovare il fatto che i pluviometri utilizzati per la costruzione del Database I-RED e per il presente studio risultano uniformemente distribuiti dal punto di vista altimetrico, coprendo in modo omogeneo la variabilità altimetrica del territorio nazionale. La distribuzione delle stazioni varia infatti da una quota di circa 0 metri sul livello del mare in prossimità

della linea di costa o in zone di pianura, fino ad arrivare a cime molto elevate, come nel caso del Monviso (pluviometro ubicato a 3230 m.s.l.m) o del Passo del Moro, al confine con la Svizzera (pluviometro a 2875 m.s.l.m.).

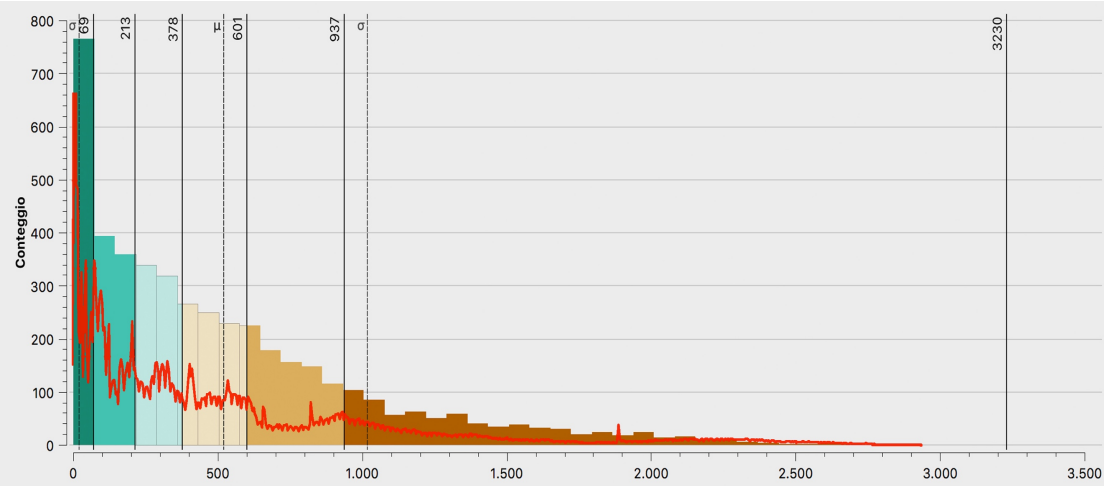

Figura 4.4 - Distribuzione delle quote dei pluviometri rapportata all'andamento altimetrico del DTM (linea rossa)

3. <u>Pendenza (%)</u>

Mediante il calcolo della pendenza, è possibile ottenere il valore, espresso in percentuale, raffigurante l'acclività media del terreno su cui è ubicato il pluviometro. Tale variabile è stata ottenuta attraverso un'analisi iterativa applicata cella per cella sull'intero raster DTM italiano, andando a calcolare nell'intorno della cella analizzata l'andamento delle pendenze espresso in percentuale.

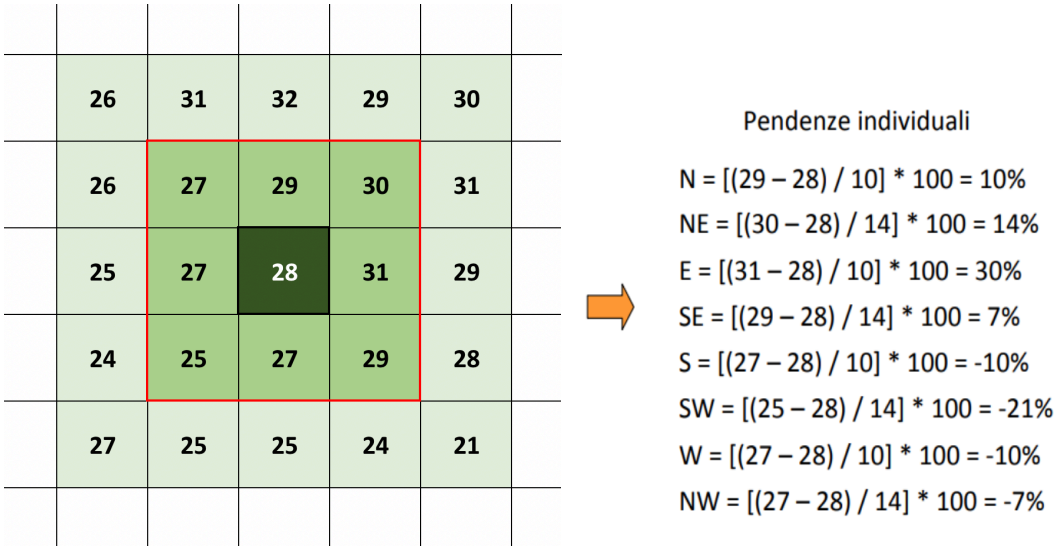

Figura 4.5 - Metodo di calcolo della pendenza di una cella

Come rappresentato in Figura 4.5 il procedimento prevede il calcolo della pendenza intesa come angolo della tangente data dal rapporto tra la differenza di quota Δh tra due celle contigue e la distanza dei relativi centroidi:

$$\text{pendenza (\%)} = \frac{\Delta h}{distanza} * 100$$

Il valore di pendenza di ogni singola cella del DTM viene quindi ricavato valutando la differenza di quota tra la cella "principale" e le 8 circostanti, in una griglia mobile 3x3. Infine, alla cella oggetto del calcolo viene attribuito il valore medio di tutte le pendenze rilevate nelle 8 direzioni cardinali. Applicando tale procedura automatizzata a tutto il territorio italiano, è stata ottenuta la mappa delle pendenze (riportata in Figura 4.6) che evidenzia pendenze che coprono dallo 0% nelle zone di pianura, a picchi del 40% in zone caratterizzate da importanti rilievi.

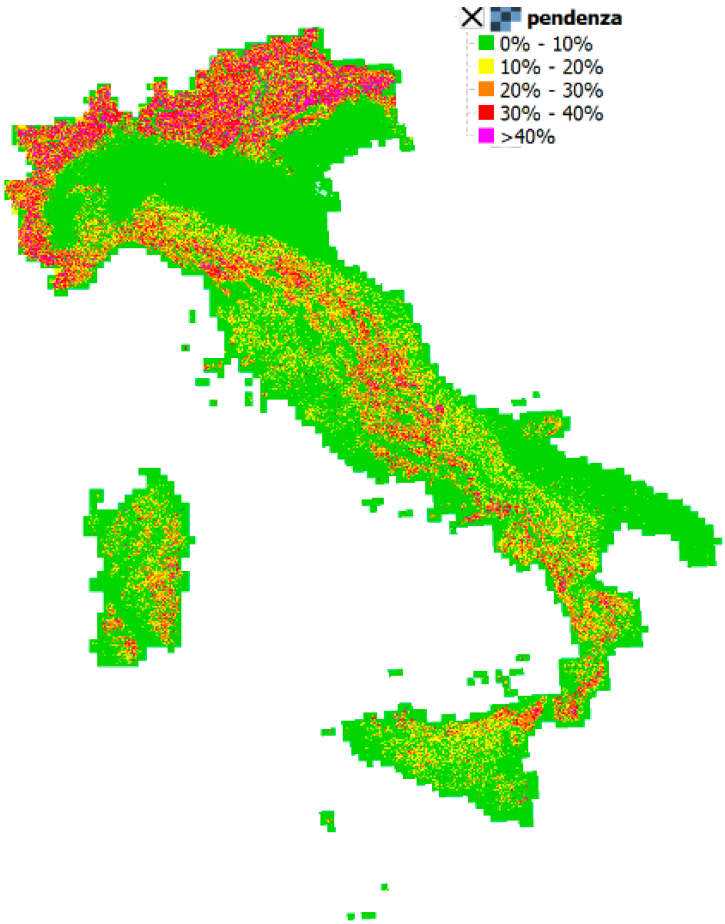

Figura 4.6 - Mappa delle pendenze medie

4. Distanza minima dal mare (m)

La distanza minima dal mare o dall'oceano è una variabile presente in molti studi scientifici focalizzati su territori posti nelle vicinanze di importanti distese d'acqua (Prudhomme e Reed, 1998; Weisse e Bois, 2000).

Vista la natura peninsulare dell'Italia e la presenza di due grandi Isole (Sicilia e Sardegna), la distanza dei pluviometri dal Mar Mediterraneo riveste un ruolo fondamentale per quanto riguarda l'impatto sulle condizioni atmosferiche e sullle piogge che ne conseguono, soprattutto nelle aree costiere fortemente influenzate dalle correnti marittime.

È stata pertanto calcolata la mappa delle distanze dalla linea di costa mediante la funzione di calcolo della distanza euclidea; ne è scaturita la creazione del raster riportato in Figura 4.7, interpolato poi con le singole stazioni a cui si è assegnato il relativo valore di lontananza minima in metri.

Le distanze minime delle stazioni pluviometriche dalla linea di costa variano da pochi metri per le località di mare, a oltre 200km per le zone situate al confine con la Svizzera, in Valle Spluga (provincia di Sondrio) o a Nord del Verbano-Cusio-Ossola.

Figura 4.7 - Raster delle distanze dal Mar Mediterraneo

5. Barriera Orografica e Ostruzione

Un ulteriore indice evidenziato da molti studi come elemento a notevole impatto sulla genesi dei fenomeni precipitativi intensi è la presenza di barriere orografiche (Prudhomme e Reed, 1998; Caracciolo et al., 2012; Furcolo et al., 2015).

Tra le interpretazioni e i metodi di stima degli ostacoli orografici, illustrati nei diversi studi annoverati, si è deciso di adottare una procedura di calcolo similare a quella introdotta da Prudhomme e Reed. Tale procedimento consiste nell'individuare le due variabili Obstruction (OBST), inteso come l'angolo di pendenza della direttrice congiungente la stazione pluviometrica con il picco orografico più elevato nella direzione studiata, e la variabile Barrier (BARR), rappresentata dalla distanza lineare tra la stazione ed il picco più elevato (Figura 4.8)

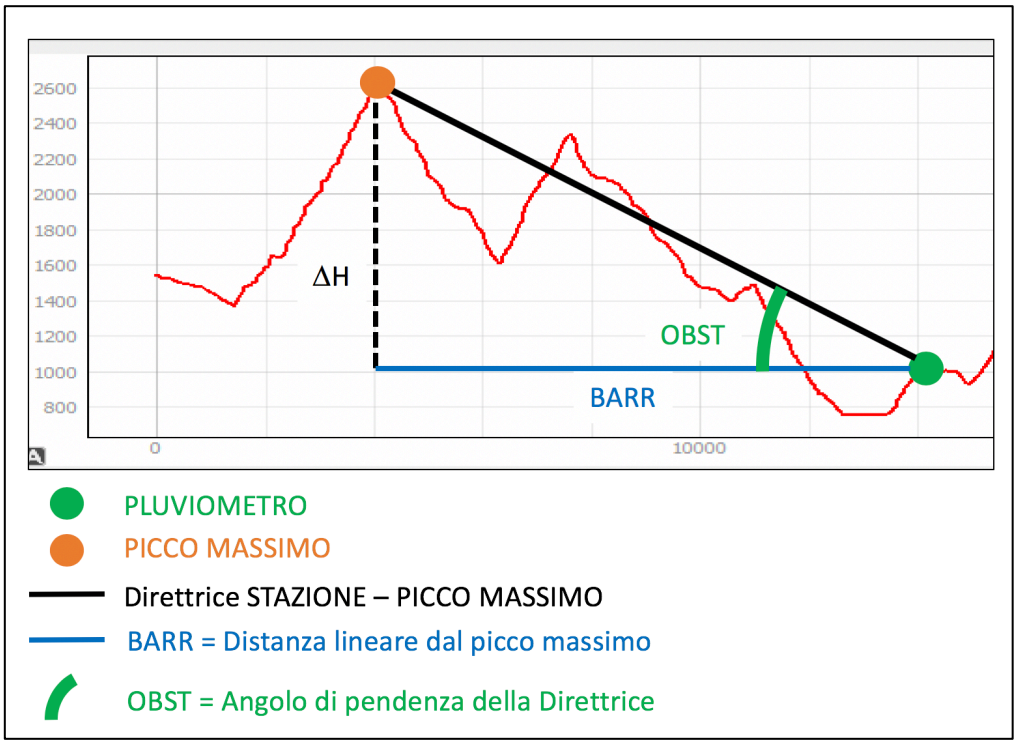

Figura 4.8 - Raffigurazione parametri BARR e OBST

Per estrapolare questi due indicatori abbiamo creato appositamente uno script in linguaggio di programmazione Python, adibito all'iterazione della procedura di calcolo per tutti i pluviometri italiani (Allegato 2). Nella fattispecie la procedura analitica consiste nello studio, per ogni pluviometro, dell'area circostante per un massimo di 15km dalla stazione stessa, distanza riportata da Barry (1992) come

intervallo ottimale per l'individuazione di eventuali correlazioni tra le caratteristiche topografiche e le precipitazioni.

Successivamente lo script individua le relative 8 direzioni cardinali e per ognuna di esse calcola in modo iterativo la differenza di quota tra la cella del pluviometro e tutte le celle lungo la direzione in esame (d), prendendo in considerazione soltanto quella con maggiore differenza di quota (ΔH):

$$\Delta H_d = h_{Picco_d} - h_{Pluviometro}$$

Dove h_{Picco_d} rappresenta la quota sul livello del mare della sommità della barriera orografica lungo la direzione d, mentre $h_{Pluviometro}$ la quota a cui si trova la stazione.

Nel caso in cui lungo i 15km della direttrice non fossero individuate celle con elevazione maggiore di quella del Pluviometro, il valore OBST è stato posto pari a 0° e BARR uguale a 0 metri.

Una volta determinato il picco più elevato lungo la direzione cardinale, l'algoritmo procede con l'estrapolazione della distanza in linea d'aria a cui è posta la vetta rispetto al pluviometro ottenendo il valore $BARR_d$ e con il calcolo dell'angolo di pendenza $(OBST_d)$ della suddetta direttrice mediante le formule:

$$tan\ \theta = \frac{\Delta H_d}{BARR_d}$$

$$OBST_d = arctan\ \theta$$

Per comodità interpretativa il valore dell'angolo è stato convertito in gradi sessadecimali. La procedura è stata reiterata per tutte le 8 direzioni cardinali nell'intorno di ogni pluviometro e per tutti e le stazioni presenti nel Database

I–RED (Figura 4.9). Tuttavia, al fine di individuare un univoco valore da attribuire ad ogni stazione, è stato preso in considerazione per i calcoli soltanto il valore di OBST massimo per le 8 direzioni e la sia relativa distanza pluviometro-picco denominata BARR.

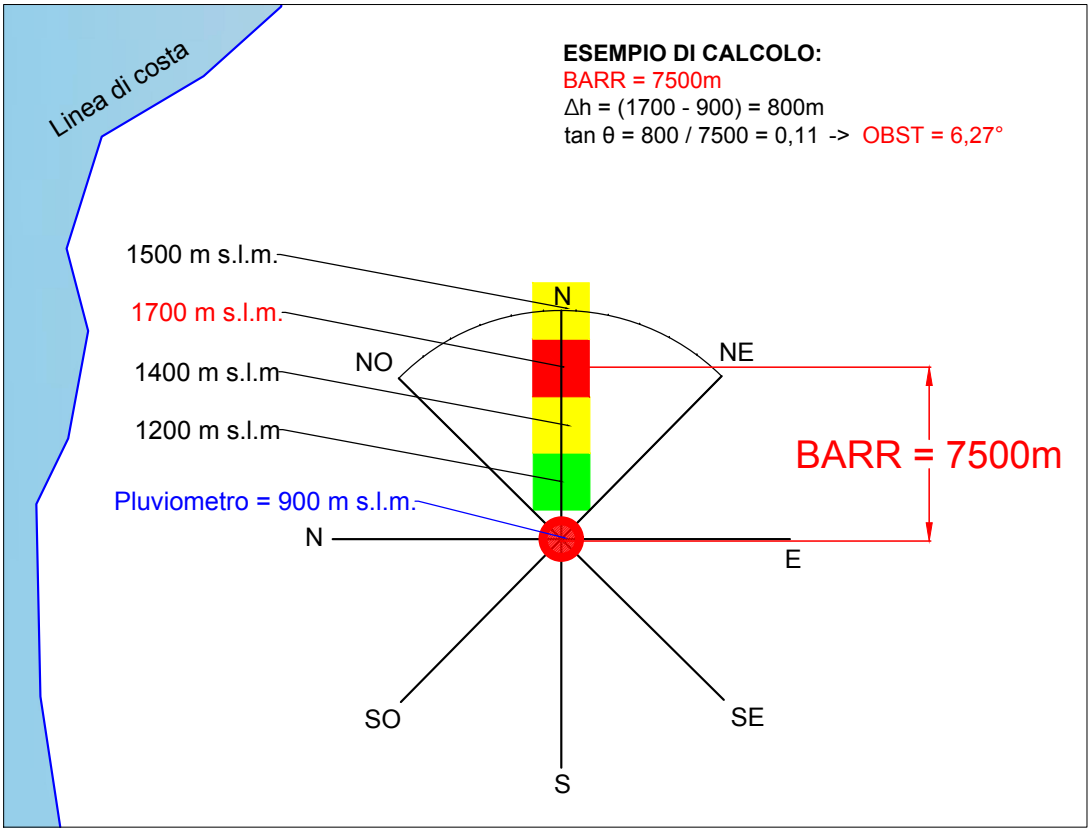

Figura 4.9 - Esempio determinazione parametri BARR e OBST

6. <u>Picco con maggior pendenza e relativa distanza dal pluviometro</u>

Da una prima analisi speditiva in merito alla conformazione e agli esiti dello script precedentemente illustrato ed ispirato agli studi di Prudhomme e Reed, è emerso come in alcuni contesti ad orografia complessa, le variabili OBST e BARR identifichino correttamente il picco più elevato lungo le rispettive direzioni cardinali, sebbene le stesse siano precedute, rispetto alla posizione della stazione pluviometrica, da altre vette più basse della principale. Tale vicinanza maggiore

rispetto al picco più elevato comporta di conseguenza la creazione di una direttrice con pendenza più accentuata rispetto al parametro OBST precedentemente identificato (Figura 4.10). L'individuazione di questa parete con una maggiore pendenza e a ridosso del pluviometro, nonostante l'elevazione minore rispetto al picco individuato da OBST, comporta un'influenza più importante sul fenomeno di risalita delle correnti di aria umida che caratterizzano il meccanismo orografico di innesco dei fenomeni piovosi (Barry, 1992; Whiteman, 2000).

Per le suddette ragioni, è stata quindi introdotta una coppia di parametri innovativi (MAXSLOPE ANGOLO e MAXSLOPE DISTANZA), i quali ripercorrono la teoria di individuazione degli ostacoli orografici illustrata da Prudhomme e Reed (1998), ma con la sostanziale differenza di ricercare la direttrice con maggior pendenza rispetto a quella con maggior elevazione assoluta.

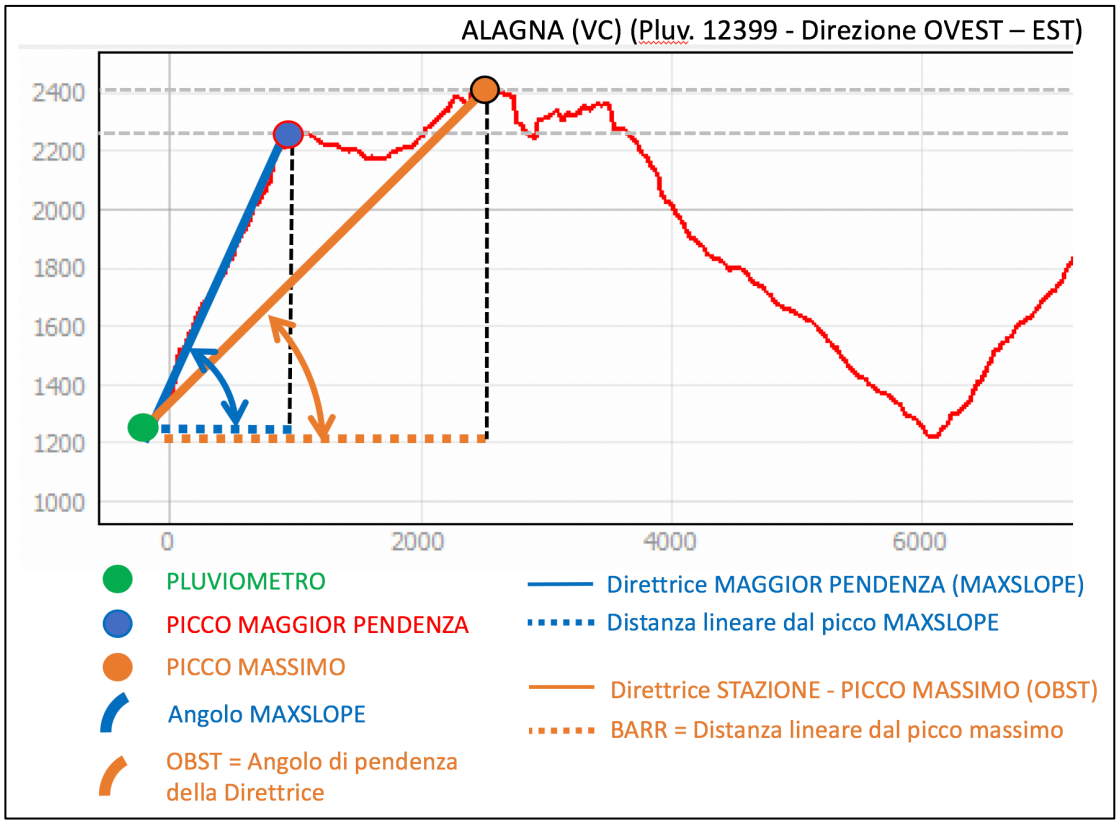

Figura 4.10 - Differenza tra picchi OBST e MAXSLOPE

Dal punto di vista computazionale, anche in questo caso è stato necessario adottare il linguaggio di programmazione Python (Allegato 3), analizzando nuovamente le 8 direzioni cardinali associate ad ogni pluviometro per un'estensione massima di 15km dallo stesso.

L'algoritmo prende in considerazione tutte le quote delle celle collocate lungo la direzione studiata, dopodiché procede a calcolare in maniera iterativa, per ogni pluviometro e per ognuna delle 8 direzioni cardinali ad esso associate, la maggiore tangente $tan\,\theta$, ottenendo di conseguenza le informazioni della direttrice con maggior inclinazione. Al fine di evitare l'individuazione di "false vette", intese come elementi orografici con limitata differenza di quota rispetto alla stazione ma posti nelle immediate vicinanze del pluviometro (dune, sporgenze, colline prossime alla stazione) e aventi quindi un elevato angolo di pendenza ma nessuna rilevanza dal punto di vista climatologico, è stato fissato un limite di 200m, al di sotto dei quali la differenza ΔH tra stazione e vetta non venisse presa in considerazione. In questo modo l'analisi si è focalizzata soltanto sui picchi più elevati e con conseguente potenziale impatto sulla genesi delle piogge estreme.

Le due nuove variabili ottenute sono MAXSLOPE ANGOLO, che identifica i gradi sessadecimali della direttrice congiungente la stazione e la vetta, e MAXSLOPE DISTANZA, riportante l'informazione (in metri) della distanza lineare tra il pluviometro e la vetta identificata. Come per BARR e OBST, anche in questo caso, per ogni stazione pluviometrica sono stati presi in considerazione soltanto i valori massimi di MAXSLOPE ANGOLO e la relativa distanza picco-pluviometro MAXSLOPER DISTANZA, ottenendo così 2 variabili per stazione.

7. <u>Pioggia media</u>

Un ultimo indice preso in considerazione per il territorio italiano, nonostante non possa essere annoverato tra le variabili topografiche o morfologiche di cui si è trattato fin ora, è la pioggia media annua. Tale indice climatologico è stato scelto

al fine di valutare le eventuali dipendenze e correlazioni tra le piogge estreme orarie e le precipitazioni totali su base annua. Si è deciso di adottare il valore della precipitazione totale perché, a differenza dei set contenenti le informazioni delle precipitazioni medie giornaliere, quelle annuali risultano più stabili e hanno un andamento relativamente costante negli anni. (Crespi et al., 2018)

Riportando quindi in GIS la mappa delle piogge medie totali annue per il territorio italiano, emerge una chiara prevalenza delle precipitazioni nelle zone montuose. I pluviometri che hanno registrato mediamente valori elevati, oltre i 2000mm, sono situati a Nord Est della Penisola, nelle Alpi Giulie e Carniche; nella Liguria Orientale e a ridosso delle Alpi Apuane a Nord-Ovest della Toscana, con picchi che superano anche i 2800mm annui. Risultano degni di nota anche i valori registrati su alcune cime più elevate della Campania, in prossimità del Lago Laceno, e a Nord della Calabria. Il resto delle regioni Alpine e gran parte della dorsale Appenninica è caratterizzata, invece, da valori compresi tra il 1300 e il 2000 mm annui.

La situazione è invece diversa in pianura: ad esempio nella la Pianura Padana si registrano valori compresi tra i 700 e i 900 mm annui, con valori più elevati nell'Alta Pianura e nella zona delle risorgive Piemontesi e Lombarde, fino a toccare valori inferiori ai 700mm nella Bassa Pianura Emiliana e sulla fascia costiera affacciata sul Mar Adriatico.

Una situazione analoga si presenta per gran parte del territorio Laziale e a Sud della Toscana, con precipitazioni comprese tra i 600 e gli 800 mm cumulativi annui, oltre che sulla costiera adriatica, dall'Emilia Romagna al Molise, con piogge medie costanti dell'ordine di 700mm.

Infine, i valori minimi di precipitazioni, inferiori cioè ai 600mm annui, si registrano in molte parti del territorio Sardo (specialmente nella zona del Cagliaritano) e nel Sud della Sicilia (a ridosso del Golfo di Gela e nel basso Catanese, in cui le medie si aggirano attorno ai 350mm annui). Anche la Puglia è caratterizzata da piogge

esigue, intorno ai 400mm annui, con particolare scarsità a ridosso dell'Arco Ionico Tarantino e nella zona del Tavoliere delle Puglie.

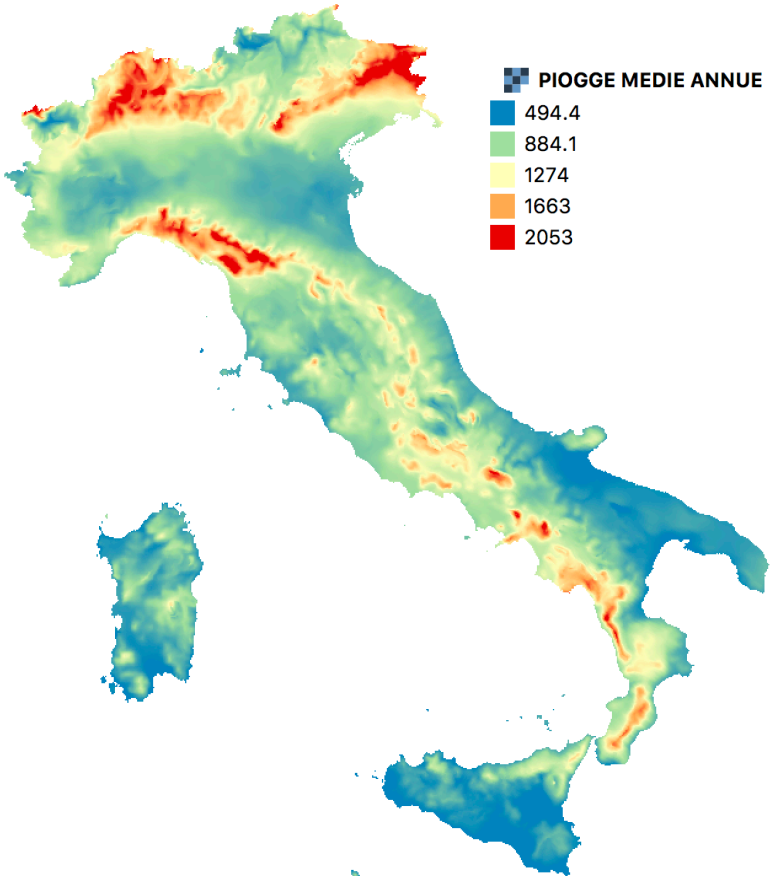

Figura 4.11 - Pioggia media annua (Fonte: Crespi et al., 2018)

5. ANALISI GIS-BASED DELLA DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN ITALIA

Questo capitolo rappresenta il cuore dello studio, focalizzandosi sulle metodologie e i risultati ottenuti nell'analisi della correlazione tra descrittori geo-morfo-climatici con potenziale influenza sulla variabilità spaziale degli estremi pluviometrici e le misure delle precipitazioni intense per il territorio Italiano.

L'individuazione dei legami tra elementi topografici e alluvioni di grande entità permetterebbe innanzitutto di conoscere in modo più approfondito la genesi di questi fenomeni atmosferici, spesso causa di danni devastanti per i territori e le popolazioni coinvolti; in secondo luogo vi sarebbe la possibilità di migliorare i modelli predittivi già esistenti, individuando eventuali variabili non indagate fino ad ora, che potrebbero avere un'importante influenza per la determinazione delle aree di rischio, a supporto dell'operato dei gestori territoriali locali e degli enti decisori in materia urbanistica e infrastrutturale.

Alla luce delle frequenti notizie di cronaca riguardanti alluvioni ed effetti derivati, riportate da numerose agenzie di stampa, si ritiene impellente la necessità di agire al fine di sviluppare una maggiore attenzione per la prevenzione e la gestione dei rischi alluvionali e migliorare la pianificazione degli interventi e delle infrastrutture a protezione idraulica del territorio.

Come illustrato in precedenza, l'idea di eseguire delle interpolazioni che tenessero conto di molteplici variabili geografiche e delle precipitazioni intense annesse, è stata sperimentata da diversi autori in passato; tuttavia questi studi, oltre a concentrare le analisi su scale ridotte, in ambito regionale, molto raramente sono ricorsi all'utilizzo del GIS per l'estrazione delle variabili e delle mappe finali.

Questo modello mira quindi all'identificazione delle correlazioni in modo analitico e oggettivo, cercando di limitare, ove possibile, le influenze decisionali soggettive dei ricercatori, ad esclusione della necessaria calibrazione delle variabili indipendenti e dei parametri di regressione.

5.1. Metodologie utilizzate

Dal punto di vista applicativo, è stata sviluppata una procedura empirica per la costruzione e validazione di un modello statistico, ricorrendo ad un pool di dati relativi alle piogge estreme reali (ricavati dalle stazioni pluviometriche presenti sul territorio italiano) e a una serie di variabili indipendenti (estratte da caratteristiche proprie dell'area oggetto di indagine).

Per quanto concerne invece l'aspetto statistico, in prima istanza è stata valutata la mutua correlazione tra le variabili studiate, mediante il calcolo dell'*indice r di Pearson*. La stima della reciproca covarianza tra gli indici adottati mira non solo ad effettuare un'eventuale selezione ed epurazione delle variabili con possibili dipendenze, ma anche ad esprimere in maniera quantitativa l'intensità del legame tra coppie di indici. Tale informazione risulta infatti molto utile ai decisori nella successiva fase di creazione del modello lineare di regressione, supportandoli per la convalida dei risultati ottenuti e per le ottimizzazioni da attuare.

Una volta perfezionata la base dei dati pluviometrici di partenza e delle variabili da utilizzare per ogni specifica applicazione, si è scelto di eseguire diverse analisi di regressione lineare in serie, prendendo in considerazione le molteplici combinazioni di indici geografici esistenti e combinandoli con i valori di piogge estreme.

Una volta perfezionata la base di dati pluviometrici di partenza e delle variabili da utilizzare per ogni specifica applicazione, si è scelto di eseguire diverse analisi di regressione lineare in serie, prendendo in considerazione le molteplici combinazioni di indici geografici esistenti e combinandoli con i valori di piogge estreme.

Per fare questo, la procedura di regressione è stata preceduta dal calcolo del coefficiente binomiale "*n su k*" estrapolando tutte le combinazioni semplici delle *n* variabili congiunte in classi composte da *k* elementi:

$$\binom{n}{k} = C(n;k) = \frac{n!}{k! \cdot (n-k)!} \qquad 0 \leq k \leq n$$

Essendo lo scopo del presente studio quello di indagare il comportamento congiunto di più indici topografici rispetto alla variabilità spaziale degli estremi pluviometrici, si è reso necessario l'utilizzo di una procedura di calcolo stabile, diffusa e soprattutto trasparente agli occhi dell'utilizzatore. La regressione lineare multipla si presta bene per il suddetto scopo, dal momento che mira a ricavare la relazione tra una variabile dipendente di risposta Y e due o più variabili esplicative indipendenti X, riportando i dati osservati in un'equazione lineare di semplice interpretazione. La differenza principale con le altre tipologie di regressioni più evolute e automatizzate comunemente utilizzate in questo ambito di indagine (Forward Selection, Backward elimination, Stepwise regression analysis), consiste nel fatto che la regressione lineare multipla dà immediata evidenza di tutti gli esiti ottenuti, includendo sia quelli con buone prestazioni, sia quelli più scadenti, permettendo così al valutatore di avere una visione d'insieme di tutto il panorama conoscitivo e di operare di conseguenza con la selezione manuale del modello più performante.

Attraverso tale procedura si ottengono una moltitudine di modelli, di pari quantità rispetto ai coefficienti binomiali calcolati in precedenza. Le equazioni risultanti sono strutturate come segue:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots + \beta_k X_{ki} + u_i$$

Dove:

- *i* è l'indice corrispondente all'i-esima combinazione semplice di variabili messe in regressione;
- Y_i rappresenta la i-esima variabile dipendente;
- X_{1i}, X_{2i}, X_{ki} rappresentano le i-esime variabili indipendenti adottate;
- β_0 è l'intercetta;
- $\beta_1, \beta_2, \beta_k$ sono i coefficienti angolari delle rispettive X_{ki};
- u_i è l'errore statistico;

Per tutte le regressioni lineari di seguito illustrate, la variabile dipendente Y raffigura il valore della pioggia massima registrata a intervalli di 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.

Il Database I-RED, tuttavia, include le serie storiche dei dati campionati dal 1916 al 2014, ma essendo impossibile, oltre che poco sensato, utilizzare i singoli valori registrati per anno, si è deciso di adottare una metodologia analoga a quella illustrata da Prudhomme e Reed (1998), utilizzando cioè come variabile dipendente il valore Mediano delle 5 serie storiche per ogni pluviometro.

I suddetti modelli sono stati tabellati includendo anche i corrispettivi indici di bontà e significatività; nello specifico, sono riportati il coefficiente di determinazione R2, valore compreso tra 0 e 1, dato dal rapporto:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT}$$

in cui SQR rappresenta la somma dei quadrati della regressione, e SQT la somma totale dei quadrati. Questo coefficiente misura il grado di *fitting* della regressione, ossia la capacità del modello di approssimare la realtà dei dati registrati. Tanto più R^2 è elevato e prossimo all'unità, tanto migliore sarà la bontà del fitting del modello ottenuto.

Essendo il numero di regressori consistente, è stato anche raccolto il coefficiente R^2adjusted, ritenuto da alcuni ricercatori più adatto nel caso delle regressioni multiple (Levine, 2002). Quest'ultimo parametro, a differenza dell'R^2 ordinario, tiene conto anche dell'ampiezza totale del campione utilizzato e del numero di variabili indipendenti adottate.

Infine, per completezza di informazione, sono stati riportati anche gli indici di significatività statistica *p-value*, adottando come limite di accettabilità il valore soglia $\alpha = 0{,}05$ (pertanto *p-value* < 5%), percentuale convenzionalmente adottata in letteratura (Ninyerola, 2000).

5.2. Struttura dell'analisi

Per procedere con la parte applicativa del presente studio, si è resa necessaria una prima fase propedeutica di estrapolazione delle 9 variabili illustrate in precedenza e la preparazione delle stesse per le successive elaborazioni analitiche. L'estrazione dei dati è avvenuta per mezzo del software QGis, un sistema informativo geografico open source protagonista negli ultimi anni di un intenso sviluppo e una correzione di errori tali da permettere alle ultime versioni rilasciate di colmare il divario prestazionale rispetto alle alternative commerciali. Le 9 variabili puntuali, ricavate dai diversi algoritmi e script, sono state associate a ogni stazione presente sul Layer dei pluviometri e a quest'ultimo è stato aggiunto anche il valore riguardante le Piogge Medie registrate dalle stesse su base annua, ottenendo così una matrice composta da oltre 4600 righe e 10 colonne. A conclusione di questa prima fase è stato necessario verificare la validità delle celle eliminando eventuali campi nulli o vuoti, al fine di escludere possibili alterazioni dei risultati dello studio.

L'analisi è stata quindi portata avanti secondo i seguenti step:

- Validazione degli indici ottenuti, verificando la presenza di eventuali correlazioni lineari tra gli stessi; mediante l'apposita funzione in MATLAB, ed elaborazione della matrice di autocorrelazione di Pearson. Questa matrice ha permesso l'individuazione, in fase di definizione delle variabili, di alcune ridondanze tra gli indici inizialmente ipotizzati; si è così deciso di procedere con la loro eliminazione, al fine di evitare distorsioni della regressione finale. Tra le numerose variabili inizialmente prese in analisi, si è giunti quindi alla determinazione dei 9 indici morfologici descritti in precedenza, oltre alla Pioggia Media annuale.
- Procedura di regressione lineare multipla. Dal momento che la ricerca assume carattere empirico ed esplorativo, si è deciso di adottare una procedura di regressione trasparente e quanto più possibile completa, valutando le prestazioni con classi formate sia da 2 che da 3 variabili indipendenti X_{ki}. Per quanto riguarda invece la variabile dipendente Y_i, la regressione è stata

eseguita distintamente per tutte le 5 durate di piogge estreme disponibili (1h, 3h, 6h, 12h e 24h) considerando la mediana dei massimi annui, così da fornire un quadro completo ed esaustivo nell'ottica dell'analisi dei risultati. Le equazioni risultanti sono equivalenti alla quantità di combinazioni semplici esistenti per i valori utilizzati; essi corrispondono a 36 equazioni nel caso di 9 variabili topografiche raccolte in classi da 2 valori, 84 equazioni per le stesse variabili ma raccolte in classi con 3 indici; includendo invece anche la Pioggia Media, le variabili indipendenti diventano 10 e di conseguenza le equazioni risultanti sono 45 per la classe 2 e 120 per la classe 3.

L'analisi è stata effettuata a diverse scale spaziali: oltre alla precedentemente citata scala nazionale ci si è focalizzati su aree via via più dettagliate e internamente omogenee. La presenza di analogie e differenze tra le analisi portate avanti a diverse scale spaziali può offrire un importante spunto di riflessione non solo sulle performance della metodologia stessa, ma anche sulle caratteristiche dei fenomeni che favoriscono lo sviluppo di precipitazioni intense nelle diverse aree del Paese. Nel dettaglio le scale spaziali considerate sono:

- Scala ITALIA: la prima applicazione riguarda tutto il territorio italiano, prendendo in considerazione i 4600 pluviometri del Database I-RED;
- Scala COSTIERA: include la fascia costiera posta entro il raggio di 20 km dal Mar Mediterraneo; tale area di indagine è certamente importante al fine di validare l'influenza dei parametri per le zone costiere, caratterizzate da precipitazioni estreme influenzate dalle correnti umide provenienti dal mare.
- Scala REGIONE CAMPANIA: include il territorio amministrativo della Regione Campania (caratterizzato da una particolare orografia complessa) sul quale si basano recenti studi (Pelosi e Furcolo, 2015) che offrono un interessante elemento di confronto con le evidenze portate alla luce dalla presente applicazione.

Ognuno dei modelli sopra descritti è stato reiterato contemplando anche la presenza della Pioggia Media, come variabile indipendente; nonostante questa non sia un elemento responsabile della genesi delle piogge estreme, risulta interessante valutare la coerenza dei valori massimi registrati con l'andamento medio su base annua.

5.3. Applicazione alla scala ITALIA

Nell'ALLEGATO 5 si riportano le tabelle contenenti le prime 10 equazioni, poste in ordine decrescente di R^2, risultanti dalle regressioni operate per tutto il territorio italiano.

Da una prima analisi della bontà del fitting, per mezzo della valutazione dei valori dei coefficienti di determinazione, si evince una forte correlazione tra i massimi estremi per tutte le 5 durate e la pioggia media. Questo elemento è ancora più accentuato per le piogge intense registrate per le durate di 12h e 24h: i risultati massimi di R^2 ottenuti si attestano intorno a 0,17 per le regressioni senza l'utilizzo della Pioggia Media, mentre salgono oltre valori di 0,4 contemplando i dati di Pioggia Media.

Un altro elemento evidente è il fatto che considerare 3 variabili invece che 2 non sembra portare benefici alla regressione tali da giustificare l'aumento di incertezza nelle stime, dovuta proprio all'inserimento di ulteriori descrittori.

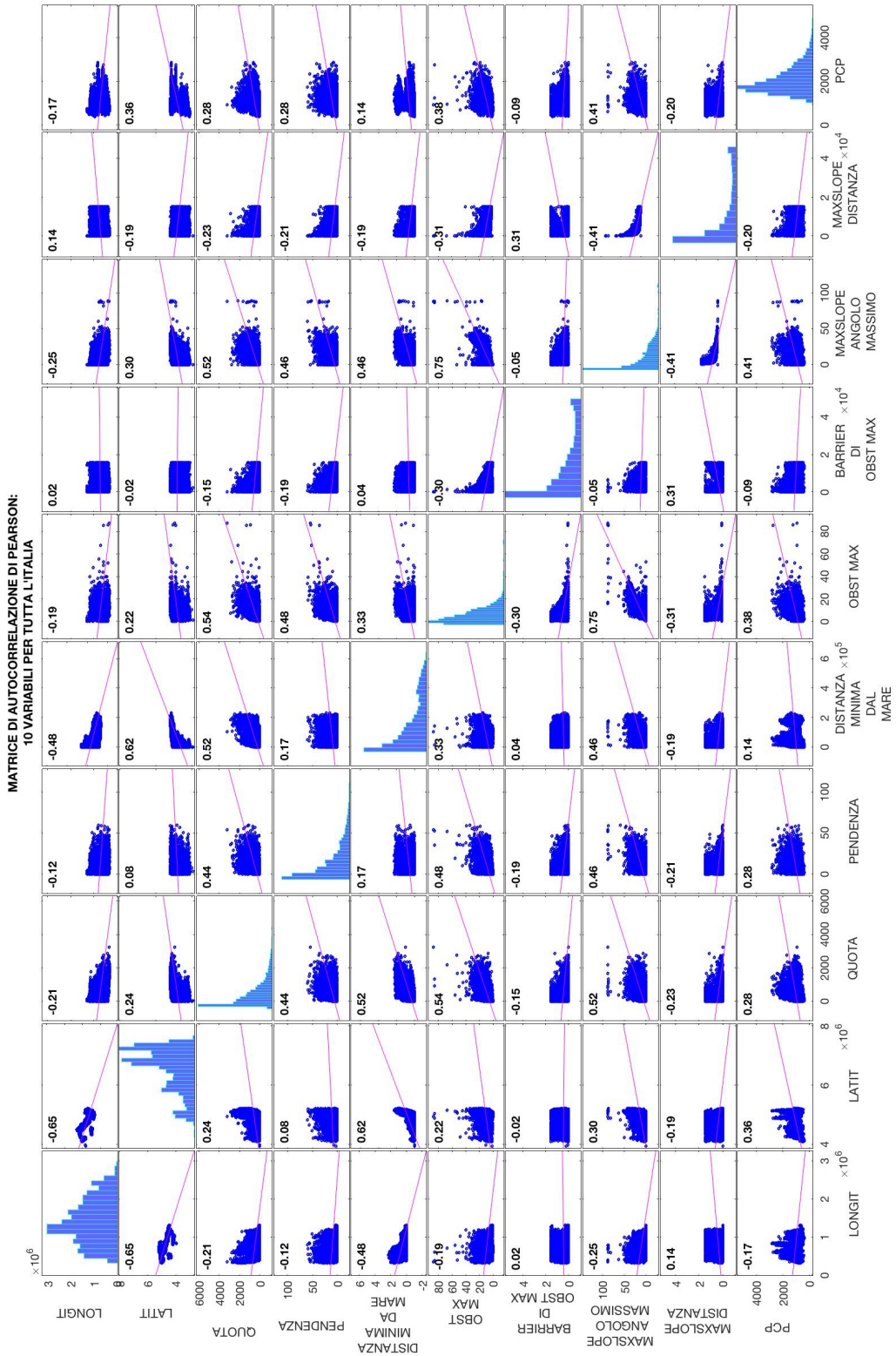

Figura 5.1 - Matrice di autocorrelazione di Pearson, Area: ITALIA

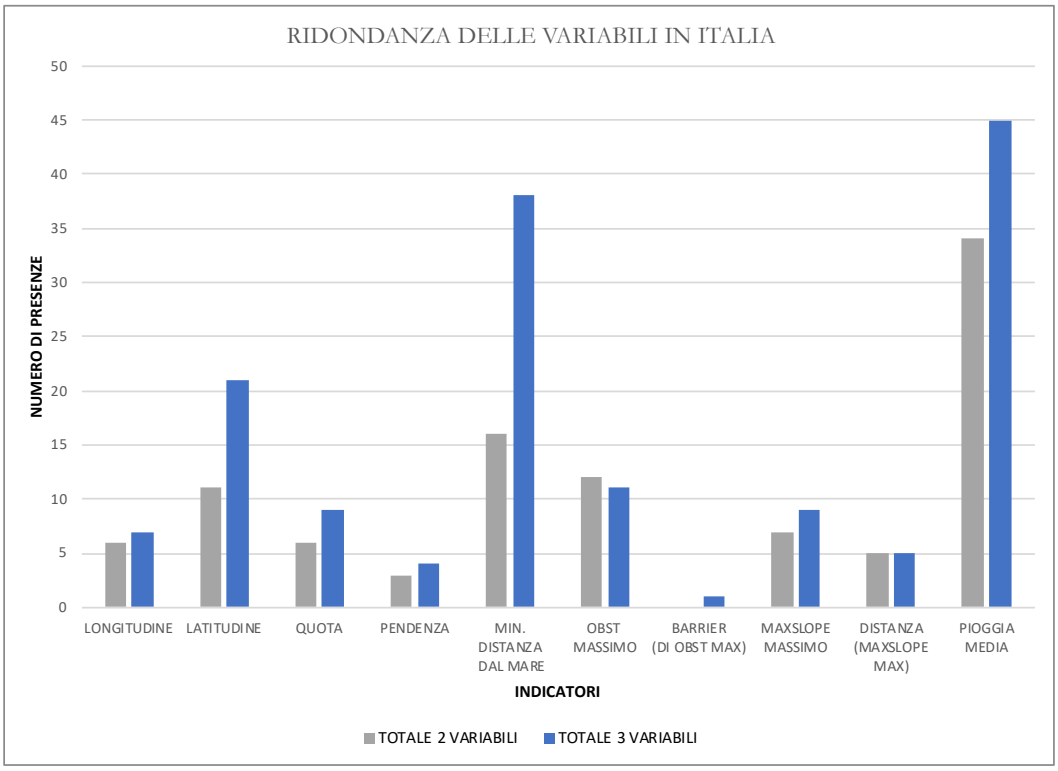

Figura 5.2 – Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la zona ITALIA

5.4. Applicazione alla scala COSTIERA

Dagli esiti delle regressioni eseguite per tutto il territorio italiano, è emersa una notevole rilevanza dell'indice "Minima distanza dal Mare". Per questa ragione si è deciso di restringere il campo di indagine alla fascia costiera italiana, così da valutare la presenza di indici con chiara influenza sulla genesi dei fenomeni precipitativi intensi in prossimità del Mar Mediterraneo.

La penisola italiana, com'è risaputo, ha una conformazione territoriale molto eterogenea, e anche distribuzione delle piogge estreme ha una variabilità molto spiccata se si confrontano le zone situate sulla fascia costiera rispetto a quelle poste in prossimità dell'arco Alpino, dell'entroterra e della dorsale Appenninica.

Per condurre la presente analisi, sono state prese in considerazione le 880 stazioni collocate ad una distanza massima di 20 chilometri dalla linea di costa e per queste è

stata nuovamente estratta la matrice di autocorrelazione, al fine di valutare eventuali covarianze per le 10 variabili prese in considerazione.

Come si evince dalla Figura 5.3, si registra un miglioramento generale delle performance di autocorrelazione, con una riduzione dell'indice r di Pearson rispetto alla precedente matrice ricavata per il caso italiano; nonostante ciò, a livello macroscopico gli andamenti delle varianze tra i diversi indicatori si mantengono allineati ai precedenti valori.

Procedendo dunque con l'elaborazione delle regressioni per le stazioni facenti parte del presente dominio, utilizzando nuovamente classi di 2 e 3 variabili per volta, si rileva un interessante miglioramento dei valori di R^2, come riportato nell'ALLEGATO 6. Tale miglioramento di performance risulta contenuto e simile al contesto nazionale per i valori per 1 e 3 ore, mentre diventa molto più evidente se non si tiene conto della variabile Pioggia Media, raggiungendo valori di R^2 pari a 0,35 per le 12 e 24 ore.

Sono presenti notevoli differenze anche tra le tipologie di parametri che più influiscono sulla distribuzione delle piogge intense nella fascia costiera; come si può rilevare dalla Figura 5.4, la prevalenza della Pioggia Media rimane elevata, tuttavia in questo caso studio assumono maggior rilievo la quota sul livello del mare e la distribuzione geografica rappresentata dalla longitudine e latitudine.

Una importante crescita si registra anche per la variabile MAXSLOPE MASSIMO e la relativa MAXSLOPE DISTANZA, e ciò denota una notevole influenza delle barriere orografiche poste a ridosso del mare sulla genesi delle precipitazioni estreme. Tuttavia, i risultati in termini di R^2 sono ancora poco efficaci e questo è dovuto principalmente al fatto che l'Italia, come già ribadito in precedenza, è caratterizzata da un'orografia molto eterogenea e la fascia costiera che si sviluppa per gran parte del territorio include due coste con orientamenti contrapposti e una variabilità spaziale da Nord a Sud molto estesa.

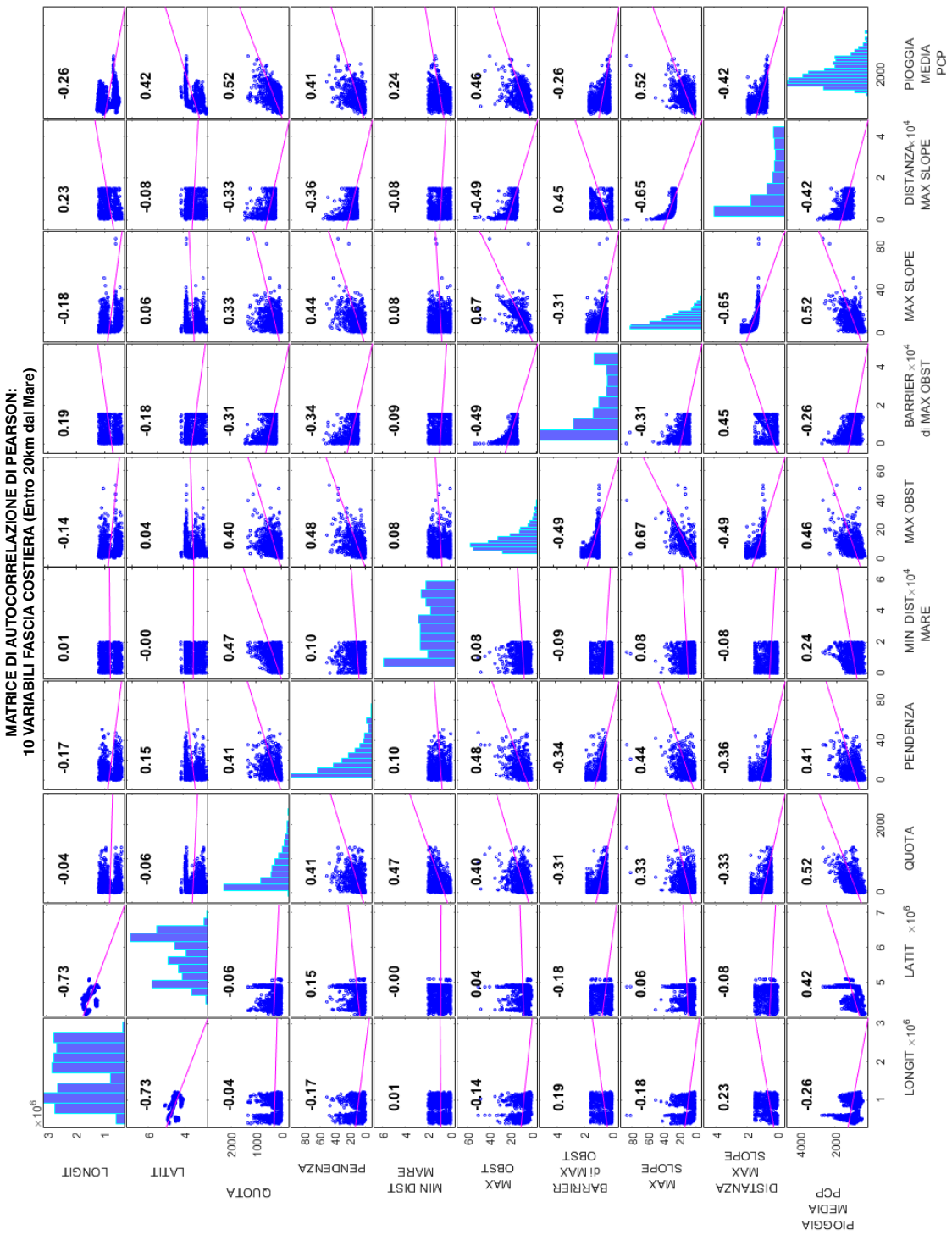

Figura 5.3 - Matrice di autocorrelazione di Pearson, Area: FASCIA COSTIERA

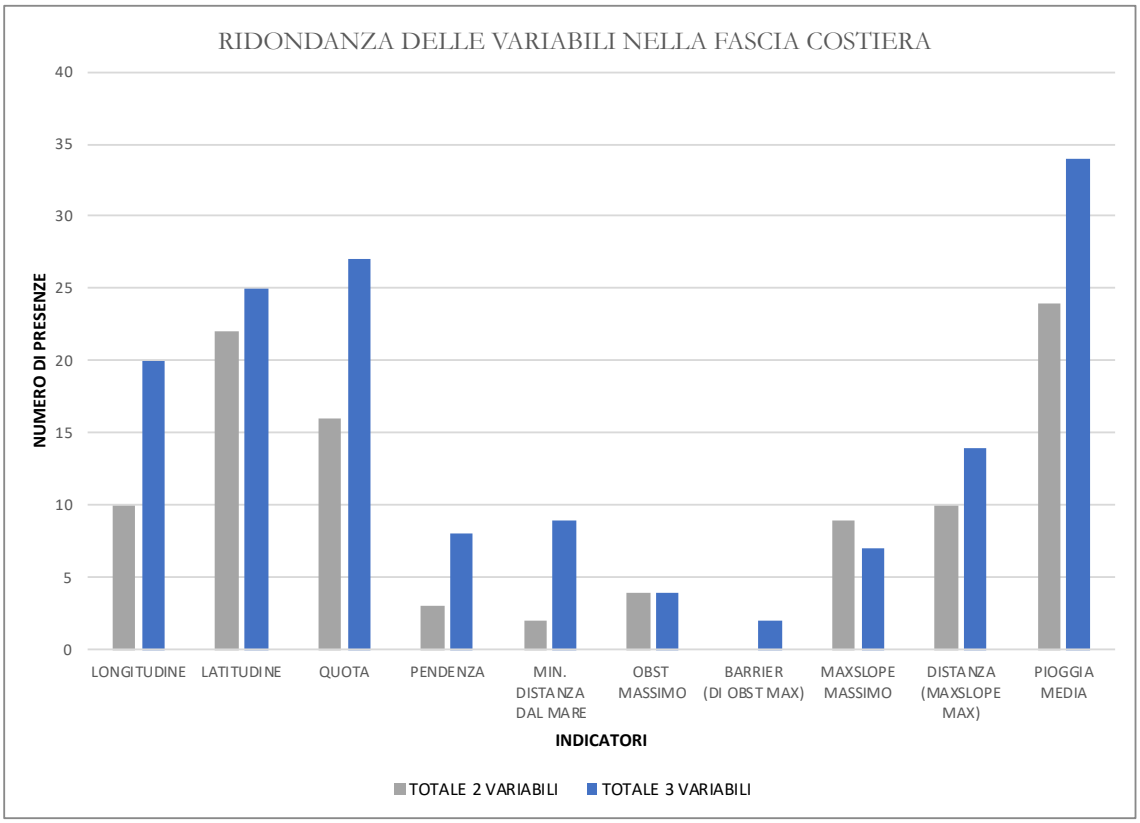

Figura 5.4 – Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la zona FASCIA COSTIERA

5.5. Applicazione alla scala REGIONE CAMPANIA

Si è voluta infine effettuare una prova del modello di regressione e delle variabili topografiche utilizzate restringendo ulteriormente l'area di studio in analisi. Tale decisione fa seguito ai risultati delle precedenti regressioni ancora poco performanti, dando così adito a una ulteriore valutazione del comportamento del modello per aree più contenute e geograficamente omogenee.

È stata presa in considerazione la Campania, una regione caratterizzata da una superficie limitata poco oltre i 13000km^2 ma con una conformazione orografica articolata. Essa presenta infatti una rilevante porzione di fascia costiera affacciata sul Mar Tirreno e un territorio mediamente collinare, con un'area montuosa facente parte dell'Appennino meridionale.

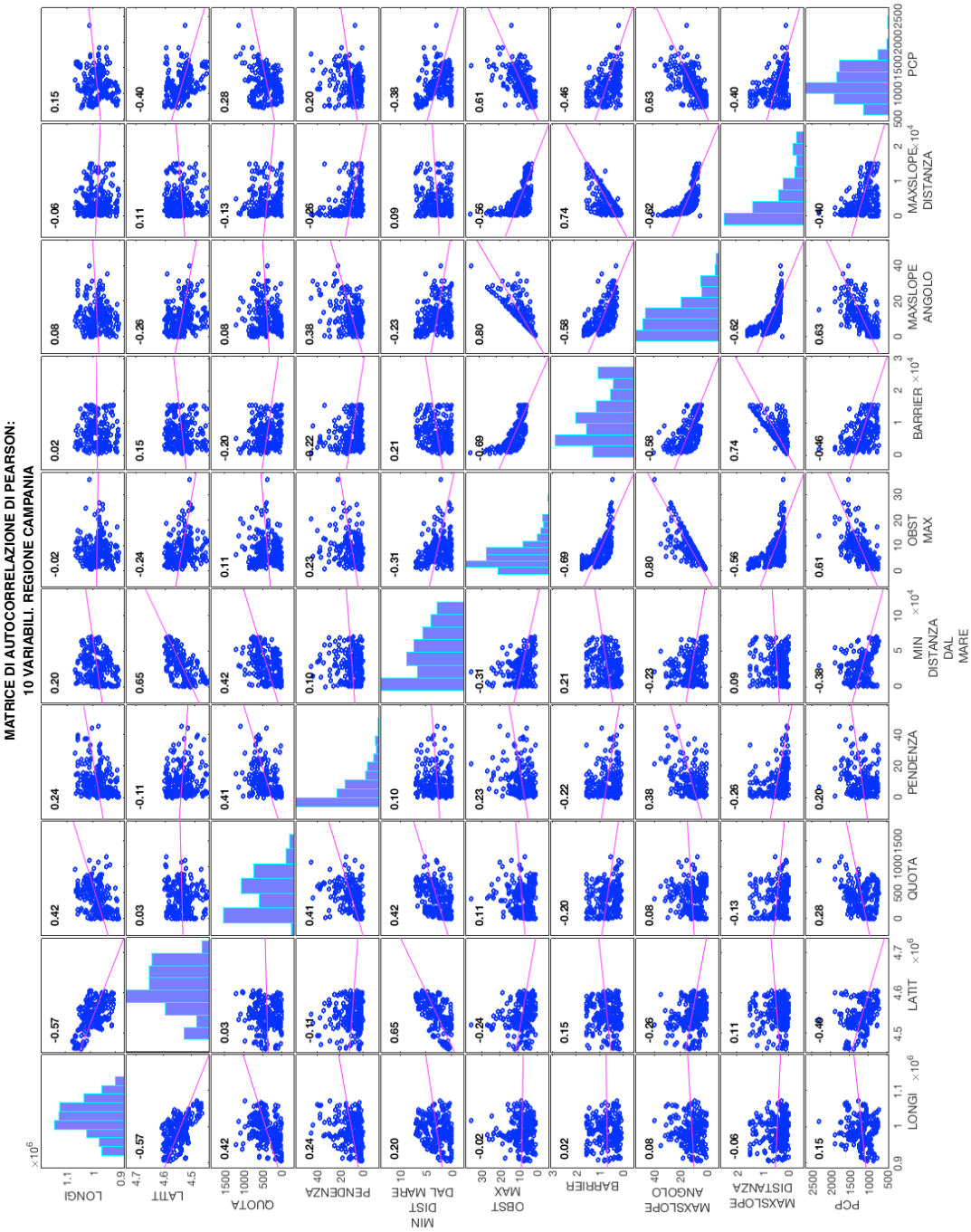

Figura 5.5 - Matrice di autocorrelazione di Pearson, Area: REGIONE CAMPANIA

I pluviometri utilizzati per la presente elaborazione ammontano a circa 250, uniformemente distribuiti su tutto il territorio campano. Per le 10 variabili è stata nuovamente eseguita una matrice di autocorrelazione riportata in Figura 5.5. In questo caso i valori registrati dell'indice r di Pearson sono in linea generale aumentati,

attestandosi in molti casi su valori di circa 0,20. Ciò è imputabile al fatto che l'area di studio oggetto di osservazione è decisamente più limitata rispetto alle precedenti e ha caratteristiche morfologiche nettamente più omogenee. Nonostante ciò, si è deciso di non intervenire modificando la scelta delle variabili, al fine di offrire un confronto valido con i risultati dei due studi precedenti.

Applicando la metodologia di regressione lineare multipla già esposta in precedenza, per quanto riguarda il fitting sono stati ottenuti dei risultati di gran lunga migliori rispetto a quelli precedenti (ALLEGATO 7).

In questo caso il coefficiente di determinazione assume valori che oscillano da minimi intorno a 0,30 per regressioni con piogge estreme misurate a 1 ora, fino a massimi di 0,75 e 0,37 per le durate di 24 ore. Il miglioramento di R^2 dovuto all'utilizzo di combinazioni di 3 variabili è minimo rispetto alla soluzione con 2 variabili.

Infine, per quanto concerne la ridondanza delle variabili presenti tra le prime 10 equazioni in ordine di coefficiente di determinazione, si registra una netta prevalenza della Distanza minima dal mare (Figura 5.6). Tale indice, in questo caso supera anche la frequenza con cui compare la Pioggia Media. Altri due indici che si presentano in più regressioni sono inoltre la Quota e l'angolo massimo Maxslope. La presenza reiterata di questi indici trova un netto parallelismo con quanto osservato da Pelosi e Furcolo nel loro recente studio (Pelosi e Furcolo, 2015), i quali avevano già individuato la presenza di quote elevate e di importanti barriere orografiche come elementi topografici responsabili dello sviluppo di precipitazioni estreme.

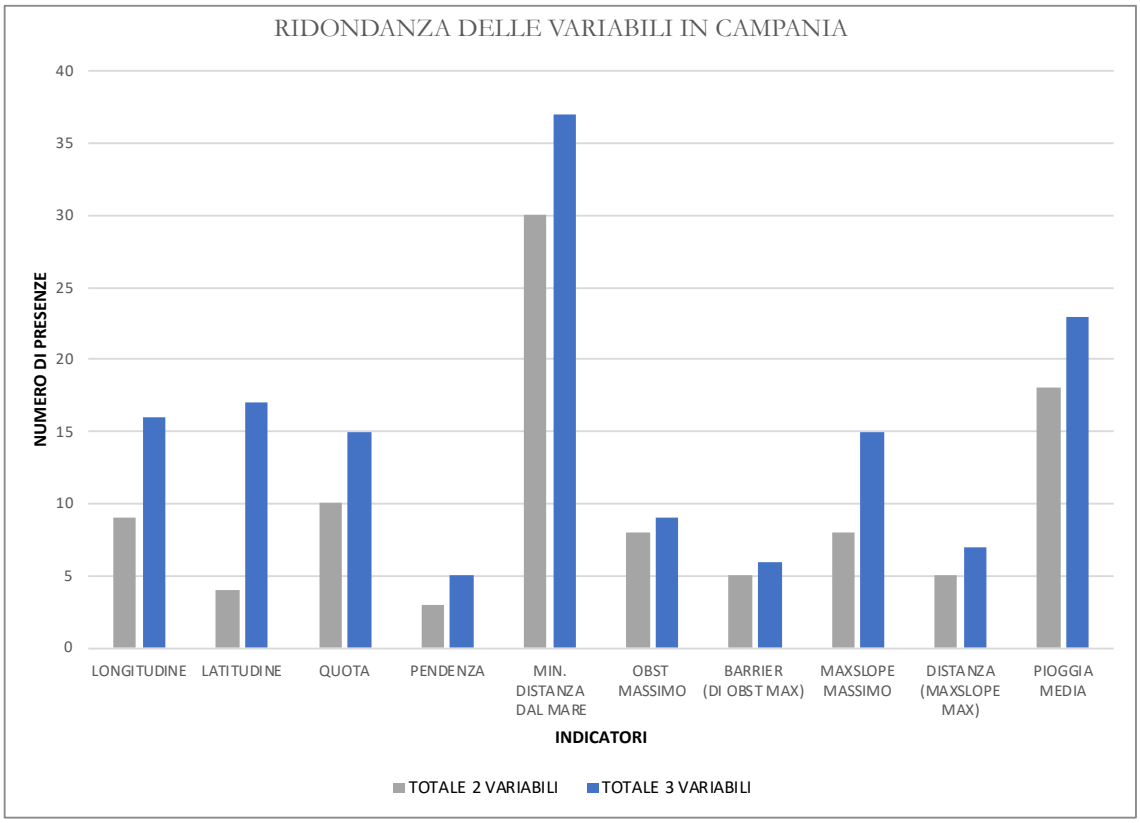

Figura 5.6 – Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la zona CAMPANIA

6. DISCUSSIONE

Alla luce dei risultati ottenuti nei tre casi-studio precedentemente illustrati, emergono alcune evidenze di rimarcabile interesse. Innanzitutto, da un'analisi delle performance delle regressioni sviluppate con classi contenenti 2 e 3 variabili per volta, si nota come i benefici ottenuti a seguito dell'aggiunta del terzo indice siano visibilmente contenuti e limitati a pochi centesimi di punto (Figura 6.1 e 6.2); per tale ragione si può asserire che il modello a 2 variabili indipendenti risulta essere il più robusto e al contempo agevole da applicare per eventuali ulteriori sviluppi in materia.

Analizzando invece gli andamenti delle regressioni alle 5 diverse distribuzioni orarie utilizzate, si evidenzia una spiccata variabilità dei valori di R^2. Tale fenomeno si riscontra per tutti e tre i casi studio, in cui il coefficiente di determinazione subisce incrementi rilevanti con l'aumentare delle ore di piogge estreme utilizzate.

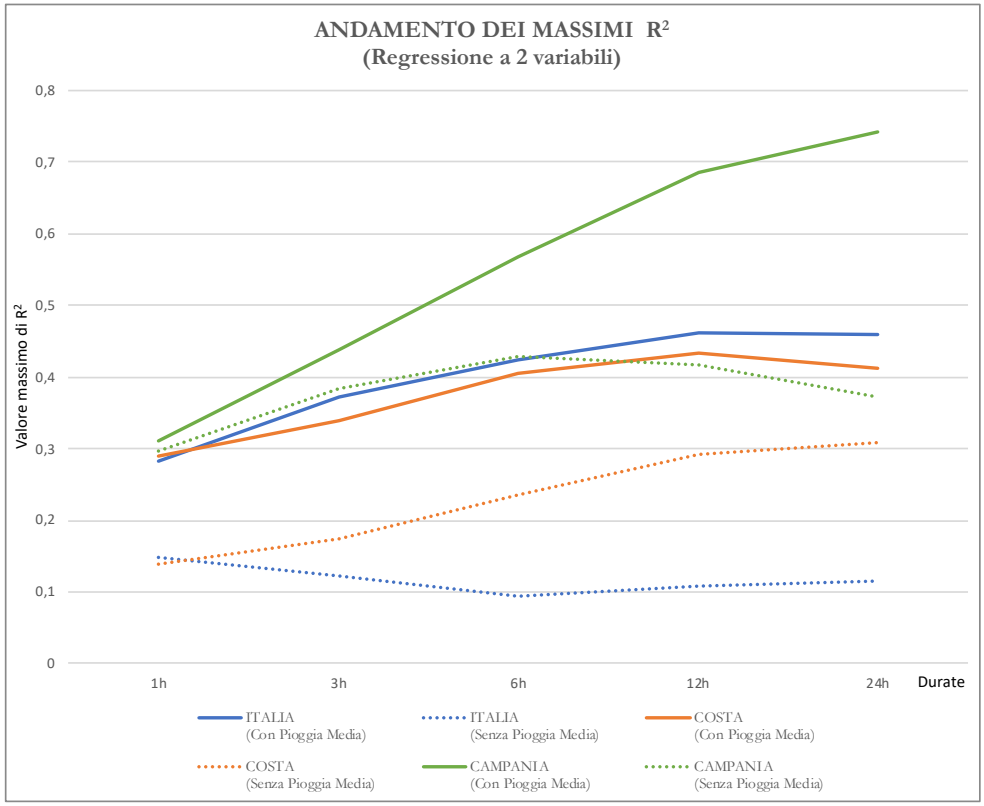

Figura 6.1 - Andamento dei massimi R2 per regressione a 2 variabili

Come si può notare osservando le Figure 6.1 e 6.2, le regressioni sviluppate per il caso italiano e per la fascia costiera hanno un valore di partenza intorno allo 0,15 per le regressioni a due e tre variabili, senza tener conto della Pioggia media. Tale valore aumenta notevolmente per la fascia costiera, superando lo 0,3 per la durata 24h e avvicinandosi molto ai risultati ottenuti con la presenza della Pioggia media. Questi ultimi, infatti, coprono la fascia di variazione che parte da valori minimi di R^2 di poco superiori allo 0,3 per la regressione a 1 ora e aumentano avvicinandosi a picchi di 0,5 per le 12 e 24 ore.

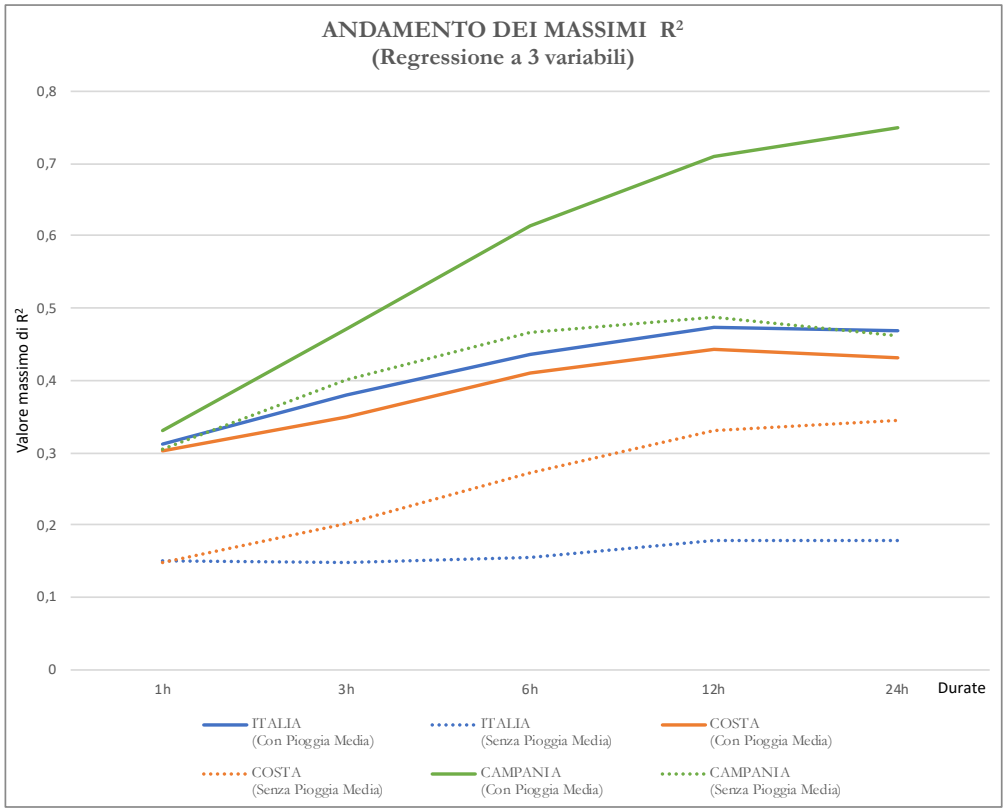

Figura 6.2 - Andamento dei massimi R2 per regressione a 3 variabili

Per quanto riguarda lo studio limitato alla Campania, l'andamento prestazionale delle regressioni elaborate ha invece un comportamento diverso. Infatti, in quest'area più contenuta e omogenea si registra un impatto lievemente inferiore della variabile Pioggia media. Tale aspetto risulta evidente dal fatto che il discostamento tra gli studi

con e senza l'utilizzo delle precipitazioni medie annue sia piuttosto limitato nella fascia compresa tra 1 e 6 ore, mentre aumenti notevolmente, fino a superare il valore di 0,74, nella regressione con Precipitazione media per le 24h. Questo potrebbe anche essere legato a una maggiore significatività degli altri descrittori analizzati a scala regionale, informazione che si perde se si utilizza una scala più ampia e meno uniforme.

Procedendo infine con la raccolta della frequenza in cui compaiono le variabili per le prime 10 equazioni di ogni regressione (Figura 6.3), emerge in modo piuttosto chiaro la limitata differenza che sussiste tra gli esiti delle regressioni sviluppate con l'utilizzo si 2 e di 3 variabili; i due andamenti risultano pertanto direttamente proporzionali.

A livello generale, è palese la presenza reiterata della Pioggia media come variabile di maggior spicco, seguita poi dalla Distanza minima dal mare, la quale, come esposto in precedenza, assume un ruolo di rilievo sia per l'applicazione su scala nazionale sia per quella campana.

Molto interessante è anche la frequenza con cui compaiono le nuove variabili di ostruzione orografica rappresentate da OBST e da MAXSLOPE, le quali hanno valori similari in ambito italiano, mentre si verifica una prevalenza di MAXSLOPE in ambito costiero ed una prevalenza di OBST su aree più ampie con presenza di rilievi montuosi diffusi.

Inoltre, anche il parametro Quota risulta meritevole di attenzione, dal momento che i risultati ottenuti si discostano in parte da quelli riportati in bibliografia. Infatti, nonostante esso compaia spesso tra le prime 10 equazioni per ogni regressione, non risulta essere un indice di primaria importanza; ciò è in contraddizione con quanto emergeva nei numerosi studi del passato, che lo indicavano invece come principale elemento geografico alla base della genesi dei fenomeni atmosferici. (Spreen, 1947; Smith et al., 1979).

Particolarmente problematica risulta la presenza, tra le variabili più significative, dei descrittori latitudine e longitudine. L'influenza degli stessi sulla distribuzione dei fenomeni precipitativi non può essere giustificata dal punto di vista fenomenologico

e può essere indicatore della presenza di altri descrittori geo-morfo-climatici con andamento analogo che non sono stati analizzati e che potrebbero incrementare le performance del modello.

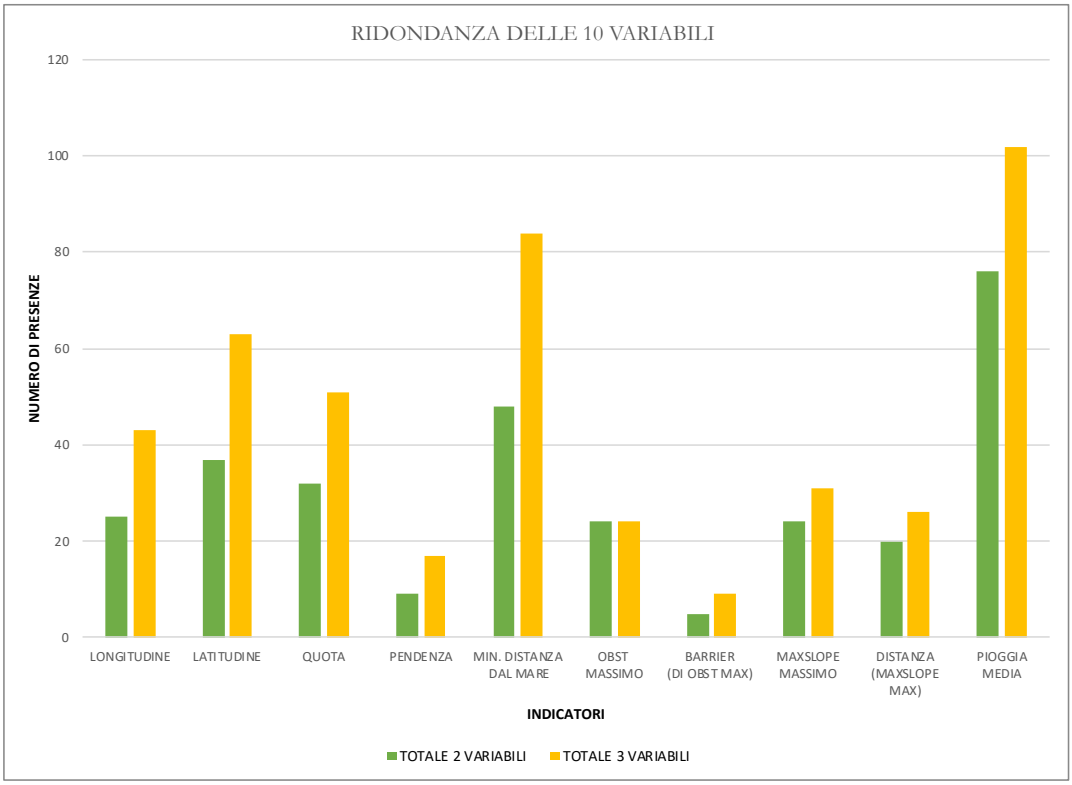

Figura 6.3 - Conteggio del numero di presenze delle variabili nelle prime 10 regressioni per la TUTTI I 3 CASI STUDIO ILLUSTRATI

Come ultimo elemento di analisi, a titolo esemplificativo, sono state elaborate le mappe risultanti dall'applicazione delle regressioni sia per il territorio italiano sia per la Regione Campania (Figure 6.4 e 6.5). Per tale scopo si è deciso di adottare le equazioni aventi il coefficiente di determinazione più prestante. Come si può rilevare dalle regressioni riportate nelle tabelle degli ALLEGATI 5 e 7, gli indici con miglior livello di fitting, per tutte le 5 durate orarie studiate, sono la Pioggia Media e la Minima distanza dal Mare. Questi sono dunque i due indici utilizzati per l'estrazione delle mappe finali, riportanti la variabilità spaziale delle piogge estreme desunta dal processo di regressione precedentemente illustrato.

Da un'analisi delle principali differenze emergenti dalle 5 mappe ottenute per ogni area di studio, si nota una marcata relazione tra l'andamento delle Piogge Medie annuali e la durata delle piogge estreme. Appare così evidente come, nelle mappe a 1 ora, la gradazione di colore vari notevolmente man mano che ci si allontana dalla linea di costa; questo indica che la Distanza dal mare influenza considerevolmente la genesi dei fenomeni precipitativi intensi di brevissima durata. All'aumentare delle ore, invece, la suddetta sfumatura cromatica tende a svanire, lasciando il passo ad un notevole aumento della prevalenza delle Piogge Medie annue; da ciò scaturisce la netta somiglianza tra la mappa delle precipitazioni estreme a 24 ore e la mappa delle Piogge medie annue (Figura 4.11).

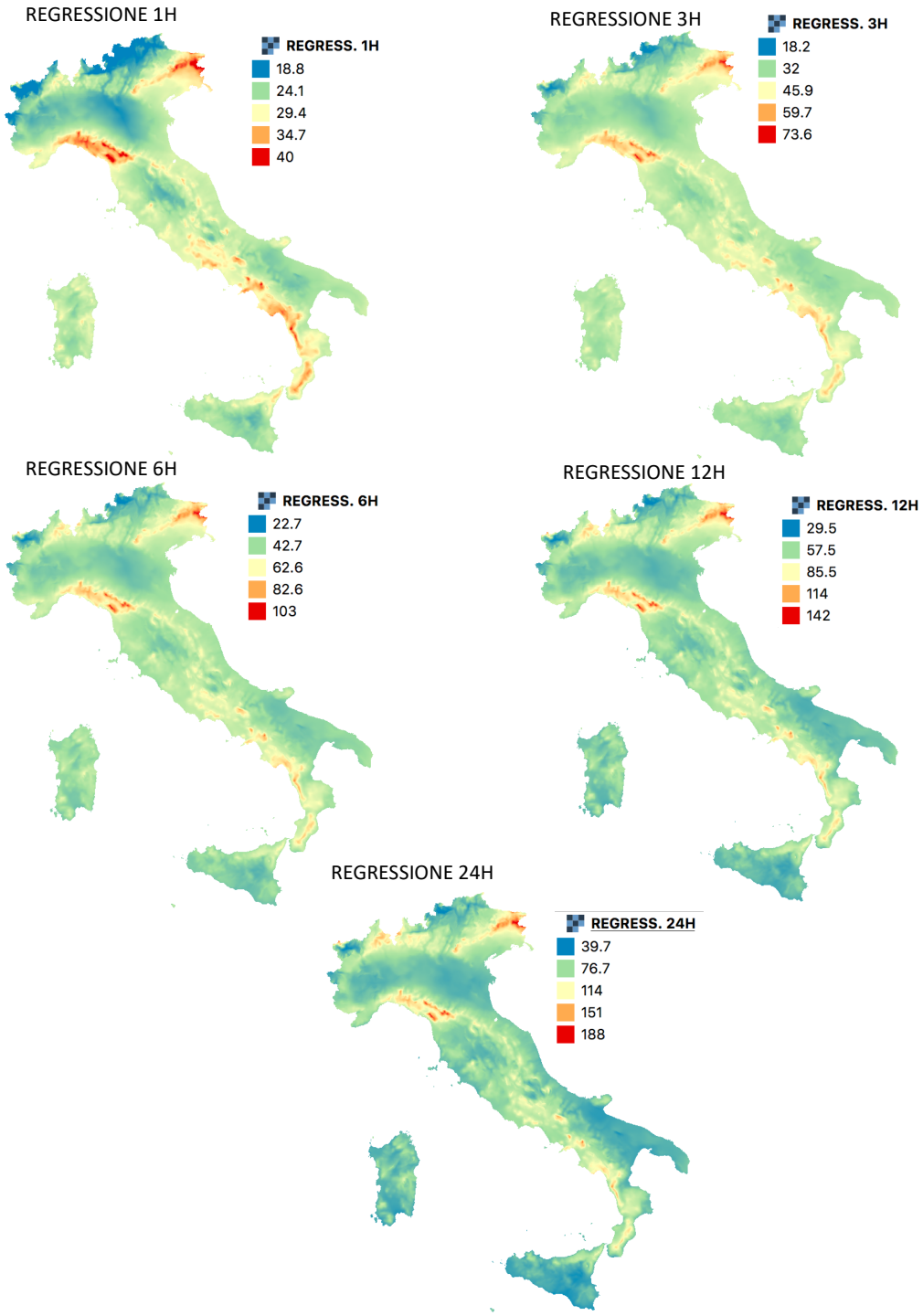

Figura 6.4 – Mappe delle precipitazioni estreme per scala ITALIA, risultanti dalla regressione con miglior R2 (Variabili: Minima distanza dal Mare & Pioggia Media)

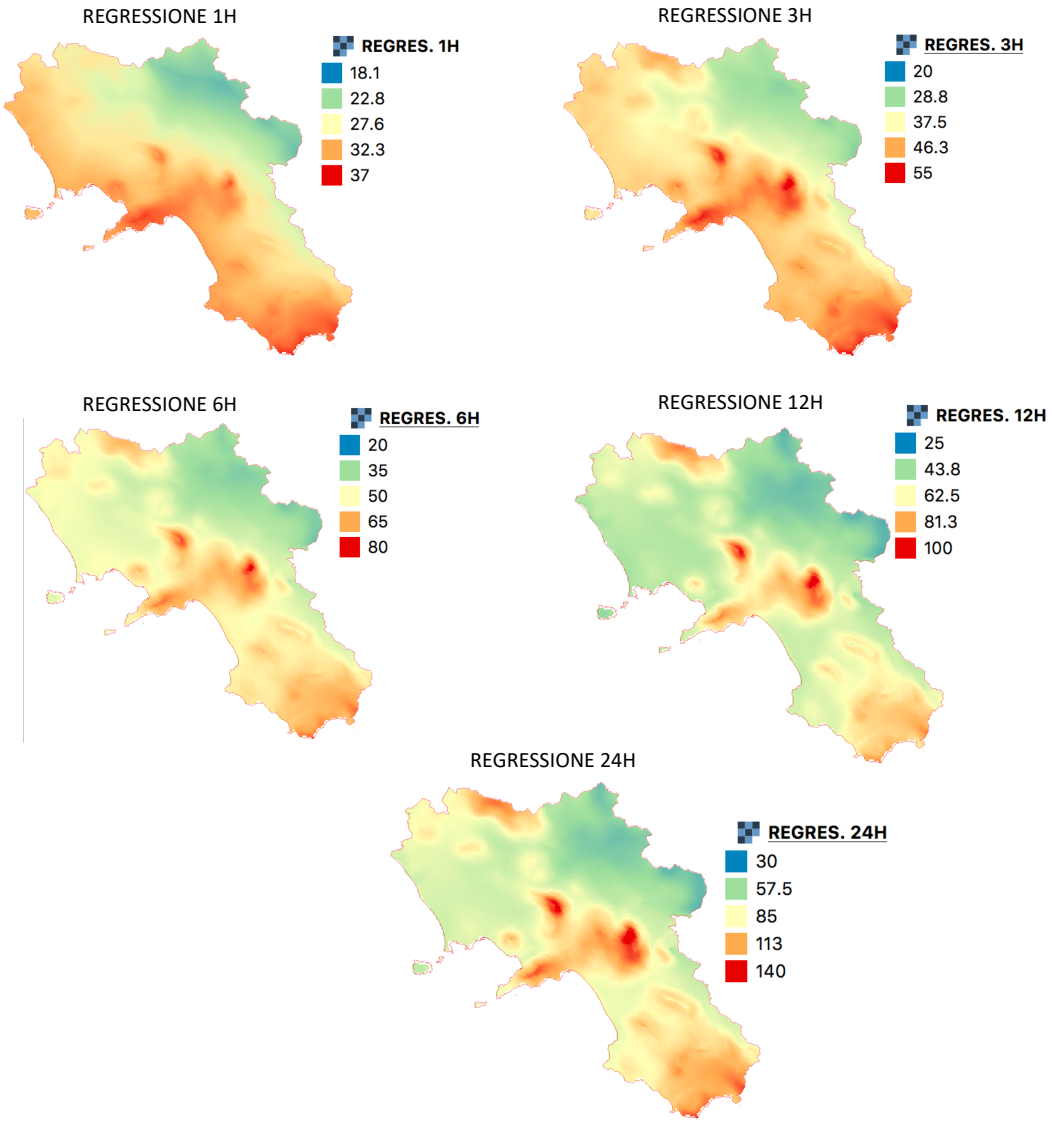

Figura 6.5 - Mappe delle precipitazioni estreme per scala Regione CAMPANIA, risultanti dalla regressione con miglior R^2 (Variabili: Minima distanza dal Mare & Pioggia Media)

7. CONCLUSIONI

Le analisi condotte in questo elaborato hanno coinvolto tutto il territorio italiano e le 4600 stazioni pluviometriche omogeneamente distribuite sull'intera area, con lo scopo di evidenziare le relazioni tra i principali fattori geomorfologici e la variabilità spaziale degli estremi pluviometrici.

Tale obiettivo è stato perseguito analizzando separatamente il territorio nazionale su tre diversi livelli di indagine (Penisola italiana, fascia costiera a 20 chilometri dal Mar Mediterraneo e Regione Campania) al fine di valutare la variazione dei parametri statistici e l'influenza delle relative variabili individuate.

A tal proposito, è stata condotta un'indagine di natura empirica e sperimentale, validando in prima istanza le variabili sul piano della covarianza con una matrice di autocorrelazione di Pearson, dalla quale è emersa una buona indipendenza lineare tra gli indici. Dopodiché sono state elaborate, per ogni area di studio, alcune regressioni multiple lineari, andando così a ricercare le combinazioni di 2 e 3 variabili per identificare i migliori coefficienti di determinazione R^2.

L'individuazione degli indici topografici e morfologici attraverso l'utilizzo di metodi GIS-based, mai utilizzati in passato, risulta del tutto innovativa nello scenario globale e si è dimostrata molto efficace sia perché consente eccellenti prestazioni computazionali su aree di vasta scala, sia perché offre la possibilità di mostrare agli esperti coinvolti i risultati delle elaborazioni applicati direttamente sull'area di studio analizzata, con estrema flessibilità grafica visiva. L'approccio metodologico adottato ha quindi dimostrato ottime potenzialità.

Gli esiti hanno mostrato un'omogeneità nei risultati ottenuti adottando 2 o 3 variabili indipendenti in regressione; si è registrato, invece, un importante miglioramento del fitting delle regressioni prendendo in considerazione una maggior durata delle precipitazioni estreme, da 1 ora a 24 ore.

Un altro risultato di fondamentale importanza è il fatto che si osserva un notevole miglioramento delle regressioni scendendo di livello nell'indagine, focalizzando cioè

l'attenzione su aree di dimensioni più contenute e con maggiore uniformità geomorfologica. Per la regione Campania, nello specifico, lo studio si è dimostrato particolarmente efficace, portando all'evidenza il parametro Minima distanza dal Mare come principale elemento alla base dei fenomeni precipitativi intensi.

In conclusione, si può dunque asserire che il presente metodo di ricerca si è dimostrato valido e realistico ai fini delle analisi su base morfologica della variabilità spaziale delle piogge per aree di studio anche piuttosto estese.

L'elaborato in questione si pone dunque come punto di partenza per successivi studi volti ad approfondire l'argomento basandosi su aree estese che tuttavia presentino al contempo caratteristiche omogenee per l'elaborazione delle regressioni, in modo da non dover limitare le applicazioni ad aree ristrette a carattere locale e regionale.

Come spunto per le indagini future potrebbe rendersi utile valutare l'applicabilità di metodi avanzati e automatici per la selezione e il raggruppamento delle aree geomorfologicamente omogenee, a titolo puramente esemplificativo si riportano interessanti sviluppi rilevati dai procedure di *clusterizzazione* (Ramos, 2001; Pinto et al., 2013) o dal metodo PRISM (Daly et al., 1994).

8. BIBLIOGRAFIA

Allamano, P., Claps, P., Laio, F., & Thea, C. (2009). A data-based assessment of the dependence of short-duration precipitation on elevation. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 34(10-12), 635-641.

Cannì, A., L'Abbate, I., Pascale, A., (2009) AMuPreMo - Advanced Multisensor Precipitation Monitoring. Multidisciplinary Project Final Report.

Bacchini, M., & Zannoni, A. (2003). Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). Natural Hazards and Earth System Science, 3(1/2), 71-79.

Barry, R. G. (1992). Mountain weather and climate. Psychology Press.

Basist, A., Bell, G. D., & Meentemeyer, V. (1994). Statistical relationships between topography and precipitation patterns. Journal of climate, 7(9), 1305-1315.

Begueria, S., Vicente-Serrano, S.M., 2005. Mapping the Hazard of Extreme Rainfall by Peaks over Threshold Extreme Value Analysis and Spatial Regression Techniques. Journal of applied meteorology and climatology, 45, 108-124.

Borga, M., Vezzani, C., & Dalla Fontana, G. (2005). Regional rainfall depth–duration–frequency equations for an alpine region. Natural Hazards, 36(1-2), 221-235.

Brunetti, M., Colacino, M., Maugeri, M., & Nanni, T. (2001). Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. International Journal of Climatology, 21(3), 299-316.

Cagnoli, P., Riberti, R., (2013). L'evoluzione dei GIS per la gestione del territorio. ECOSCIENZA Numero 2

Caracciolo, D., Lo Conti, F., Francipane, A., Cannarozzo, M., & La Loggia, G. (2012). L'INFLUENZA DELLA MORFOLOGIA SULLA DISTRIBUZIONE DELLE PIOGGE INTENSE. In XXXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. EdiBios.

Claps, P., C. Barberis, M. D. Agostino, E. Gallo, G. Laguardia, F. Laio, F. Miotto, F. Plebani, G. Vezzù, A. Viglione, and M. Zanetta. (2008) "Development of an Information System of the Italian basins for the CUBIST project". In: EGU General Assembly 2008.

Crespi, A., Brunetti, M., Lentini, G., & Maugeri, M. (2018). 1961–1990 high-resolution monthly precipitation climatologies for Italy. International Journal of Climatology, 38(2), 878-895.

CUBIST Team, (2009) - http://www.cubist.polito.it.

Daly, C., Neilson, R. P., & Phillips, D. L. (1994). A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. Journal of applied meteorology, 33(2), 140-158.

Fiorillo, F., & Wilson, R. C. (2004). Rainfall induced debris flows in pyroclastic deposits, Campania (southern Italy). Engineering Geology, 75(3-4), 263-289.

Gabella, M., et Al., (2017). Measurement of Precipitation in the Alps Using Dual-Polarization C-Band Ground-Based Radars, the GPM Spaceborne Ku-Band Radar, and Rain Gauges. Remote Sensing, 9(11), 1147.

Gebremichael, M., & Hossain, F. (2010). Satellite rainfall applications for surface hydrology. Netherlands: Springer

GPM Mission Concept (2011) - https://pmm.nasa.gov/gpm (U.C. 27/02/2018)

Guarnieri, V., (2017) Pioggia sotto controllo con GPM - https://www.asi.it/it/news/pioggia-sotto-controllo-con-gpm (U.C. 27/02/2018)

Hanson, H., Gray, E., Global Precipitation Measurement - Core Observatory Brochure, National Aeronautics and Space Administration

ISPRA. Progetto annali. URL: http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/acque-interne-e-marino-costiere-1/progetto-annali?set_language=it (U.C. 09/07/2018)

ISPRA. Inquadramento storico del monitoraggio idro-meteografico e delle relative competenze. URL: http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/acque-interne-e-marino-costiere-1/progetto-annali/inquadramento-storico-del-monitoraggio-idro-meteografico-e-delle-relative-competenze (U.C. 09/07/2018)

Konrad II, C. E. (1996). Relationships between precipitation event types and topography in the Southern Blue Ridge mountains of the southeastern USA. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 16(1), 49-62.

Kummerow, et al. (2000). The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. Journal of Applied meteorology, 39(12), 1965-1982.

Levine, D. M., Krehbiel, T. C., & Berenson, M. L. (2002). Statistica. Apogeo Editore.

Libertino A., S. Macchia, and P. Claps (2016). Nubifragi eccezionali in Italia: analisi preliminare di rilevanza sugli eventi 1920-2000 [Poster]. XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – IDRA16, Bologna, Italy.

Libertino A., D.Ganora and P. Claps. Technical note: Space-time analysis of rainfall extremes in Italy: clues from a reconciled dataset. Hydrology and Earth System Sciences 2018, 22, 2705-2715, doi: 10.5194/hess-22-2705-2018

Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J. M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 20(14), 1823-1841.

Pelosi, A., & Furcolo, P. (2015). An amplification model for the regional estimation of extreme rainfall within orographic areas in Campania region (Italy). Water, 7(12), 6877-6891.

Pinto, J. G., Ulbrich, S., Parodi, A., Rudari, R., Boni, G., & Ulbrich, U. (2013). Identification and ranking of extraordinary rainfall events over Northwest Italy: The role of Atlantic moisture. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(5), 2085-2097.

Protezione Civile Italiana (2018), Mappa radar in tempo reale http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/mappa_radar.wp (U.C. 09/07/2018)

Prudhomme, C., & Reed, D. W. (1999). Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. International Journal of Climatology, 19(12), 1337-1356.

Prudhomme, C., & Reed, D. W. (1998). Relationships between extreme daily precipitation and topography in a mountainous region: a case study in Scotland. International Journal of Climatology, 18(13), 1439-1453.

Qgis Software (2018). V.2.18 https://www.qgis.org/it/site/ (U.C. 09/07/2018)

Ramos, M. C. (2001). Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. Atmospheric Research, 57(2), 123-138.

Smith, R. B. (1979). The influence of mountains on the atmosphere. In Advances in geophysics (Vol. 21, pp. 87-230). Elsevier.

Smith et Al. (2007). International global precipitation measurement (GPM) program and mission: An overview. In Measuring precipitation from space (pp. 611-653). Springer, Dordrecht.

Spreen, W. C. (1947). A determination of the effect of topography upon precipitation. Eos, Transactions American Geophysical Union, 28(2), 285-290.

Strangeways, I. (2010). A history of rain gauges. Weather, 65(5), 133-138.

USGS. (2018). U.S. Geological Survey. Retrieved from U.S. Geological Survey: http://earthexplorer.usgs.gov/

Vaze, J., & Teng, J. (2007). Impact of DEM Resolution on Topographic Indices and Hydrological Modelling Results. International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07), (pp. 706-712). Christchurch, NEW ZEALAND.

Vaze, J., Teng, J., & Spencer, G. (2010). Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE, 1086- 1098.

Weisse, A. K., & Bois, P. (2001). Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps. Journal of Applied Meteorology, 40(4), 720-740.

Whiteman, C. D. (2000). Mountain meteorology: fundamentals and applications. Oxford University Press.

World Meteorological Organization, (1994) Guide to Hydrological Practices, WMO-164. WMO: Geneva.

9. ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Fonti bibliografiche di ricerca correlazioni tra orografia e piogge

In Tabella 9-1 vengono riportati, in modo schematico, gli studi pregressi focalizzati sulla ricerca di interferenze e relazioni tra la variabilità spaziale delle piogge (sia medie che estreme) e la conformazione topografica del suolo.

Gli elaborati elencati sono stati descritti in dettaglio nel Capitolo 4, tuttavia nel seguente schema vengono in aggiunta riportati gli approcci di calcolo utilizzati dagli autori e l'elenco completo dei parametri morfologici/topografici individuati e adottati per i relativi casi studio.

Tabella 9-1 - Studi correlati e relativi parametri orografici adottati

AUTORE	TITOLO	ANNO	APPROCCIO DI CALCOLO	PARAMETRI MORFOLOGICI
Charles E. Konrad	*Relationships between precipitation event types and topography in the southern blue ridge mountains of the southeastern USA*	1996	Modello di regressione multivariata	30 Parametri: - Elevation - Mean elevation - Distance to Gulf - Distance to Atlantic - Mountainous Distance to Gulf - Mountainous distance to Atlantic - 6 x Slope (E, SE, S, SO, O, NO, N) - 6 x Exposure - 6 x Valley orientation - 6 x Exposure x elevation
Prudhomme C Reed D.W.	*Relationships between extreme daily precipitation and topography in a mountainous region. A case study in Scotland'*	1998	Regressione singola e multipla	- Altitudine (ELEV) - Altitudine median (ELEV4, ELEV10) - Posizione geografica (EASTING, NORTHING in km dal ggp) - Distanza dal mare (SEA nelle 8 direzioni - MINISEA, MAXISEA) - Pendenza (SLOPEi -> SLOPE2, SLOPE5, SLOPE10) - Media pendenze (ASLOPE= (SLOPE2+SLOPE5+SLOPE10)/3; WSLOPE=(2 SLOPE2+5 SLOPE5+10 SLOPE10)/17) - Esposizione EXPO - Rigonfiamento terreno (BUMP) differenza assoluta di altitudine tra celle - ELEV10 * EXPO = ELEVEXPO

				- WSLOPE * EXPO = SLOWESPO (i) AVSEA is the average distance from the sea; (ii) OBST is the angle subtended by the highest barrier; (iii) BARRIER is the distance to that barrier; (iv) SHIELD is a distance-weighted version of the BUMP variable.
Faulkner D.S. Prudhomme C.,	*Mapping an Index of extreme rainfall across the UK*	1999	Georegressione composta da regressione lineare e metodo Kriging)	- ELEV, ELEV4, ELEV10 - EASTING, NORTHING - SLOPE2, SLOPE5, SLOPE10, ASLOPE, WSLOPE - SEA - OBST - BARRIER - SHIELD
Prudhomme C Reed D.W.	*Mapping extreme rainfall in a mountain region using geostatistical techniques: a case study in Scotland*	1999	-Metodo Kriging, Residual Kriging modificato	IRMED - AVSEA SW, - OBST NE - SHIELD SW
A. Kieffer Weisse Ph. Bois	*Topographic Effects on Statistical Characteristics of Heavy Rainfall and Mapping in the French Alps*	2000	Analisi regressiva multivariata	VARIABILI LOCALI: - Height - Exposure - Characterization of steep-sidedness of a site: tangents - Slope and azimuth - Radii of principal curvature VARIABILI REGIONALI - The X and Y coordinates - Distance to the Mediterranean Sea - Distance to the Rhone - Characterization of the general shape of the Alps - barrier effect
Allamano P, Claps, P, Laio F Thea C	*A data-based assessment of the dependence of short-duration precipitation on elevation.*	2009	Combinazione di metodologia Kriging e regressione semlice	- Longitudine - Latitudine - Altitudine

D. Caracciolo F. Lo Conti A. Francipane M. Cannarozzo G. La Loggia	*L'influenza della morfologia sulla distribuzione delle piogge intense"*	2012	Regressione Stepwise Geographically Weighted Regression (GWR)	12 VARIABILI INDIPENDENTI: - quota - longitudine, - latitudine, - pendenza - esposizione, - curvatura, - effetto barriera, - concavity-index, - distanza dalla linea di costa - perpendicular slope, - direction slope, - direzione azimutale
De Lia Gouveia-Reis Luiz Guerreiro Lopes Sandra Mendonça	*A dependence modelling study of extreme rainfall in madeira island*	2015	Copula	- altitude, - slope orientation, - distance between rain gauge stations, - distance from the stations to the sea,
Pierluigi Furcolo, Anna Pelosi Fabio Rossi	*Statistical identification of orographic effects in the regional analysis of extreme rainfall*	2015	Statistica a basso ordine (media)	Barriera orografica (da DEM 20m) in 1° 2° 3° ordine di rilievo (classificazione di Cuomo)

ALLEGATO 2 – Script Python per calcolo variabili BARR e OBST

Di seguito si riporta la trascrizione dello SCRIPT, in linguaggio Python, creato per la ricerca e il calcolo delle variabili indipendenti BARR e OBST.

```
1 import numpy as np
2
3 print "Elaborazione in corso..."
4
5 RaggioDistanza = 15000  # DEFINIRE distanza in m da analizzare (30km)
6 numeroDirezioni = 8  # DEFINIRE n di direzioni da studiare (8 dir cardinali)
7 registry = QgsMapLayerRegistry.instance()
8 # DEFINIRE Nome layer pluviometri (max 1 regione per volta)
9 layer = registry.mapLayersByName('NOME_SHAPEFILE_PLUVIOMETRI')
10 # DEFINIRE Nome DTM raster da utilizzare
11 raster = registry.mapLayersByName('NOME_DTM')
12 lunghezzax = raster[0].rasterUnitsPerPixelX()
13 prov_raster = raster[0].dataProvider()
14 feat_points = [feat for feat in layer[0].getFeatures()]
15 points = [feat.geometry().asPoint() for feat in layer[0].getFeatures()]
16
17 epsg = layer[0].crs().postgisSrid()
18 uri = "Point?crs=epsg:" + str(epsg) + "&field=id:integer""&index=yes"
19 mem_layer = QgsVectorLayer(uri,
20                            'Estremi',
21                            'memory')
22 prov = mem_layer.dataProvider()
23 group_points = []
24
25 for i, point in enumerate(points):
26     int_points = [QgsPoint(point[0] + np.sin(angle)
27         * RaggioDistanza, point[1] + np.cos(angle) * RaggioDistanza)
28                   for angle in np.linspace(0, 2 * np.pi, numeroDirezioni, endpoint=False)]
29     group_points.append(int_points)
30
31 lines = []
32 idx_lines = []
33 for i, group in enumerate(group_points):
34     for point in group:
35         lines.append([points[i], point])
36         idx_lines.append(i)
37
38 # Assegno i nomi corrispondenti dei pluviometri di partenza
39     Pluviometro = {0: 10000, 1: 10001, 2: 10002}
40
41 for group in group_points:
42     feats = [QgsFeature() for i in range(len(group))]
43
44     for i, feat in enumerate(feats):
45         feat.setAttributes([i])
46         feat.setGeometry(QgsGeometry.fromPoint(group[i]))
47
48     prov.addFeatures(feats)
49
50 QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(mem_layer)
51
52 uri = "LineString?crs=epsg:" + str(epsg) + \
53       "&field=id:integer&field=dif_elev:double&field=BARRIERd:double&field=tan_a:double
54       &field=angolo:double&field=Pluviometro:integer&field=direzione:string""&index=yes"
55
56 mem_layer = QgsVectorLayer(uri,
57                            'direz_cardinali',
58                            'memory')
59
60 prov = mem_layer.dataProvider()
61
62 feats = [QgsFeature() for i in range(len(lines))]
63 dif_elev = []
64 distanze = []
65 ang_OBSTd = []
66 direzioni = ['N', 'NE', 'E', 'SE', 'S', 'SW', 'W', 'NW']
67
68 for i, feat in enumerate(feats): #i e' l'ID del pluviometro in analisi iterativa
69     geom = QgsGeometry.fromPolyline(lines[i])
70     int_points = []
```

```
71
72      #distanza e' la distanza multipli della dimensione raster della cella in analisi
73      for distanza in range(0, int(geom.length()), int(lunghezzax)):
74          valori= []
75          point = geom.interpolate(distanza)
76          pt = point.asPoint()
77          int_points.append(pt)
78
79          for p in int_points: #p sono le coordinate di tutte le celle lungo le 8 direttrici
80              #valore sono tutte le altezze di tutte le celle lungo le 8 direttrici
81              valore = prov_raster.identify(p,QgsRaster.IdentifyFormatvalore).results()[1]
82              valoritotali.append(valore)
83      valore_iniz = prov_raster.identify(points[idx_lines[i]],QgsRaster.IdentifyFormatValue).results()[1]
84
85  # Calcola differenza elevazione tra Max Elev lungo la direttrice - la quota del pluviometro
86      elev = np.subtract(np.max(valoritotali), valore_iniz)
87
88  # Calcola la distanza a cui si trova il punto con massima elevazione
89  # rispetto al Pluviometro NB valueindex sono il num di pixel di distanza.
90      distanza = np.multiply(valoritotali.index(np.max(valoritotali)), lunghezzax)
91
92  # Calcola OBST_I = tanQ = la differenza tra elev/distanza
93      if distanza != 0:
94          tan_a = np.divide(elev, distanza)
95      else:
96          tan_a = -0
97
98  # Calcolo e attribuzione dell'indice K per associare la direzione cardinale
99      if i % 8 == 0:
100         k = 0
101
102 # Calcolo angolo OBST in gradi
103     angobst = np.degrees(np.arctan(tan_a))
104
105 # Scrivo output
106     ang_OBSTd.append(angobst)
107     dif_elev.append(elev)
108     distanze.append(distanza)
109     feat.setAttributes([i, float(elev), float(distanza), float(tan_a),
110         float(ang_OBSTd), Pluviometro[idx_lines[i]], direzioni[k]])
111     feat.setGeometry(geom)
112     k += 1
113
114 prov.addFeatures(feats)
115 QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(mem_layer)
116
117 print "Elaborazione completata!"
```

ALLEGATO 3 – Script Python per calcolo variabili MAXSLOPE ANGOLO e DISTANZA

Anche per quanto concerne l'individuazione delle variabili MAXSLOPE (ANGOLO e DISTANZA) si è resa necessaria la creazione di un apposito script Python trascritto di seguito:

```
1 import numpy as np
2
3 print "Elaborazione in corso..."
4
5 bufferDist = 15000  # DEFINIRE distanza in m da pluviometro da analizzare (15km)
6 numeroDirezioni = 8  # DEFINIRE n di direzioni da studiare (8 dir cardinali)
7
8 registry = QgsMapLayerRegistry.instance()
9
10 layer = registry.mapLayersByName('SHAPEFILE_PLUVIOMETRI')[0] #DEFINIRE Nome layer pluviometri
11 raster = registry.mapLayersByName('DTM_RIFERIMENTO')[0] #DEFINIRE Nome DTM raster da utilizzare (SRTM30m)
12
13 lunghezzax = raster.rasterUnitsPerPixelX() #leggo e memorizzo dimensione in m del raster
14 prov_raster = raster.dataProvider()
15 feat_points = [feat for feat in layer.getFeatures()]
16 points = [feat.geometry().asPoint() for feat in layer.getFeatures()]
17
18 epsg = layer.crs().postgisSrid()
19
20 # -----------------------
21 # TRACCIO 8 PUNTI AGLI ESTREMI DI OGNI DIREZIONE CARDINALE
22
23 uri = "Point?crs=epsg:" + str(epsg) + "&field=id:integer""&index=yes"
24
25 #mem_layer = QgsVectorLayer(uri,'Estremi')
26 mem_layer = QgsVectorLayer(uri, 'Estremi', 'memory')
27
28 prov = mem_layer.dataProvider()
29
30 group_points = []
31
32 for i, point in enumerate(points):
33     #trova e assegna a int_points le 8 coordinate degli ESTREMI delle direttrici
34     estremi_pt = [QgsPoint(point[0] + np.sin(angle) * bufferDist, point[1] + np.cos(angle) * bufferDist)
35     for angle in np.linspace(0, 2 * np.pi, 8, endpoint=False)]
36
37     #trova e assegna alla stringa group_points le 8 coordinate degli estremi delle direttrici
38     group_points.append(estremi_pt)
39
40 lines = []
41 idx_lines = []
42
43 for i, group in enumerate(group_points):
44    for point in group:
45            lines.append([points[i], point]) #stringa con coordinate x,y degli estremi delle 8 direzioni
46            idx_lines.append(i) #stringa con indici i
47
48 Pluviometro = {0 : 10001 , 1 : 10002 , 2 : 10003 , 3 : 10004 , 4 : 10005 , 5 : 10006}
49
50 for group in group_points:
51     feats = [QgsFeature() for i in range(len(group))]
52     for i, feat in enumerate(feats):
53         feat.setAttributes([i])
54         feat.setGeometry(QgsGeometry.fromPoint(group[i]))
55     prov.addFeatures(feats)
56
57 QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(mem_layer)
58
59 # -----------------------
60 # TRACCIO LE 8 LINEE PER OGNI DIREZIONE CARDINALE
61 # CERCO MASSIMA PENDENZA PER OGNUNA DI QUESTE
62
63 uri = "LineString?crs=epsg:" + str(epsg) + \
64       "&field=id:integer&field=Pluviometro:integer&field=dif_elev:double
65       &field=distanza:double&field=angolo:double&field=direzione:string""&index=yes"
66
67 mem_layer = QgsVectorLayer(uri, 'direz_maxslope', 'memory')
68 prov = mem_layer.dataProvider()
```

```
73 feats = [QgsFeature() for i in range(len(lines))]
74 direz = ['N', 'NE', 'E', 'SE', 'S', 'SW', 'W', 'NW']
75
76 for i, feat in enumerate(feats): #numera le feats secondo "i" a partire da 0
77     #coordinate degli delle 8 direttrici da pluv a ogni estremo
78     geom = QgsGeometry.fromPolyline(lines[i])
79
80     #Ciclo for PER LE 8 DIREZIONI
81     for j in range (0,8):
82         #calcola la quota del pluviometro
83         quota_pluv = prov_raster.identify(points[idx_lines[i]],
84             QgsRaster.IdentifyFormatValue).results()[1]
85
86         ext_points = []
87         lines_list = []
88         dif_elev_list = []
89         distanza_list = []
90         tan_a_list = []
91         difelev = []
92
93         for distanza in range(0, int(geom.length()), int(lunghezzax)):
94             valorevetta = []
95             point = geom.interpolate(distanza)
96             pt = point.asPoint()
97             ext_points.append(pt)
98
99             #quota delle vette di tutte le celle
100            valorevetta = prov_raster.identify(pt,QgsRaster.IdentifyFormatValue).results()[1]
101
102            if (valorevetta) > 0:
103                difelev = (valorevetta - quota_pluv)
104
105            if (difelev) > 200:
106                dif_elev_list.append(difelev)
107                distanza_list.append(distanza)
108                tana = (difelev / distanza)
109                tan_a_list.append(tana)
110            else:
111                dif_elev_list.append(0)
112                distanza_list.append(0)
113                tana = 0
114                tan_a_list.append(tana)
115
116     max = np.max(tan_a_list) #ricava il massimo delle tangenti
117     index_max = tan_a_list.index(max) #crea lista con i massimi di tutte le tangenti
118     distanza_finale = distanza_list[index_max]
119     dif_elev_finale = dif_elev_list[index_max]
120     ang_OBSTd = np.degrees(np.arctan(max)) #converte la massima tangente in massimo angolo
121
122     if i % 8 == 0:
123         k = 0
124
125     feat.setAttributes([i, Pluviometro[idx_lines[i]], float(dif_elev_finale),
126         float(distanza_finale), float(ang_OBSTd), direz[k]])
127     feat.setGeometry(geom)
128     k += 1
129
130 prov.addFeatures(feats)
131
132 QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(mem_layer)
133
134 print "Elaborazione completata!"
```

ALLEGATO 4 – Script MATLAB per modelli lineari di regressione

Al fine di calcolare il coefficiente binomiale e la creazione dei modelli lineari di regressione è stato utilizzato il software MATLAB. Mediante il codice sotto riportato è stato possibile rendere agevole tale operazione reiterandola per le diverse aree di analisi e le differenti durate orarie delle registrazioni. I comandi principali dello script utilizzato sono *p = nchoosek(v,k),* il quale ha lo scopo di fornire, come output, la matrice contenente tutte le combinazioni semplici esistenti degli elementi appartenenti al vettore v, in classi di dimensioni k. La matrice *p* è quindi composta da *k* colonne e da *n!/((n–k)! k!)* righe, dove *n* è la lunghezza del vettore *(v)* che per il caso in esame corrisponde al numero di variabili indipendenti adottate per la definizione dei modelli di regressione.

La creazione dei modelli di regressione fa seguito, invece, all'istruzione:

mdl{k} = fitlm(x,y).

Tale commando permette la creazione di uno o più modelli lineari di regressione e dei relativi parametri caratterizzanti. In questo caso studio sono stati estrapolati i valori R^2, R^2corretto, i p-value, l'intercetta β_0 e i coefficienti angolari β_k.

```
%SCRIPT MATLAB per calcolo combinazione semplice di n elementi in classe k
%e la costruzione di un modello di regressione lineare mediante FITLM

v = [1 2 3 4 5 6 7 8 9]; %Specificare numero di variabili da combinare
p = nchoosek(v,2);
Nr = size(p,1);
mdl = cell(Nr, 1);
for K = 1 : Nr
   colonne = p(K,:);
   pred = PREDITTIVEITALIA1(:,colonne);
   mdl{K} = fitlm(pred,RISPOSTAITAMEDIANA24h)
end

%Estrazione delle variabili di regressione
   Rsquared = cellfun(@(M) M.Rsquared.Ordinary, mdl);
   Radjusted = cellfun(@(M) M.Rsquared.Adjusted, mdl);
   Statistiche = cellfun(@anova, mdl, 'Uniform', 0 );
   pValues_cell = cellfun(@(T) T.pValue(1:end-1), Statistiche,'Uniform', 0 );
   Pvalue = horzcat(pValues_cell{:});
   stats = cellfun(@(Mdl) Mdl.Coefficients, mdl, 'uniform', 0);
   stats_cell = cellfun(@(T) T.Estimate(1:end), stats,'Uniform', 0 );
   Estimate = horzcat(stats_cell{:});
```

ALLEGATO 5 – Regressioni multiple lineari: ITALIA

Vengono di seguito riportate, per ognuna delle 5 durate oraria di precipitazione estrema, gli esiti delle regressioni multiple lineari per l'intero territorio italiano.

Per ogni regressione, vengono trascritte in seguito le prime 10 equazioni di regressione per ogni tipologia, ordinate in secondo la grandezza decrescente del coefficiente di determinazione R^2.

Tabella 9-2: Regressione 1h, 2 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 1h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,282	0,282	1,82E-184	2,09E-234	20,503	-5,66E-05	9,09E-03
2	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,239	0,239	3,50E-126	2,26E-256	18,381	-2,48E-01	1,06E-02
3	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,224	0,224	2,93E-106	2,02E-243	18,409	-3,59E-01	1,05E-02
4	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,168	0,168	5,77E-37	9,00E-182	19,027	-1,46E-01	8,66E-03
5	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,163	0,163	1,62E-30	7,81E-180	40,799	-4,90E-06	8,93E-03
6	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,158	0,158	2,09E-24	1,92E-172	18,325	-4,40E-03	8,45E-03
7	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,1508	0,1504	5,91E-16	1,68E-163	15,033206	4,23E-06	0,0080842
8	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,1471	0,1467	9,11E-62	5,17E-161	-10,40571	8,59E-06	-7,19E-05
9	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,1451	0,1447	4,15E-09	1,10E-158	18,799141	-2,40E-03	0,0081005
10	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,1082	0,1079	5,31E-17	1,45E-114	33,490838	-5,05E-06	-5,46E-05

Tabella 9-3: Regressione 3h, 2 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 3h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,371	3,70E-01	1,82E-184	0,000	2,44E+01	-7,89E-05	1,79E-02
2	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,295	2,94E-01	3,50E-126	0,000	2,15E+01	-2,47E-01	1,89E-02
3	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,286	2,86E-01	2,93E-106	0,000	2,15E+01	-3,45E-01	1,86E-02
4	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,277	2,77E-01	1,62E-30	0,000	5,59E+01	-7,54E-06	1,79E-02
5	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,266	2,66E-01	5,77E-37	0,000	2,21E+01	-1,52E-01	1,70E-02
6	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,259	2,59E-01	2,09E-24	0,000	2,14E+01	-3,92E-03	1,67E-02
7	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,2580	2,58E-01	5,91E-16	1,68E-163	1,80E+01	4,321E-06	1,64E-02
8	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,2575	2,57E-01	4,15E-09	1,1E-158	2,20E+01	-0,003235	1,65E-02
9	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,1215	1,21E-01	9,11E-62	5,17E-161	-2,31E+01	1,402E-05	-1,00E-04
10	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,0856	8,52E-02	5,31E-17	1,45E-114	50,117674	-1,01E-05	-7,54E-05

Tabella 9-4: Regressione 6h, 2 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 6h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4251	0,4249	4,05E-126	0,00E+00	2,54E+01	-8,68E-05	2,79E-02
2	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3658	0,3655	1,35E-27	0,00E+00	6,11E+01	-8,53E-06	2,79E-02
3	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3616	0,3613	5,30E-21	0,00E+00	2,23E+01	-1,84E-01	2,79E-02
4	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3575	0,3572	1,76E-14	0,00E+00	2,23E+01	-2,36E-01	2,76E-02
5	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3531	0,3529	1,31E-07	0,00E+00	2,27E+01	-1,12E-01	2,65E-02
6	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3515	0,3512	6,73E-05	0,00E+00	2,27E+01	-2,99E-03	2,63E-02
7	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3505	0,3503	2,06E-03	0,00E+00	1,99E+01	2,97E-06	2,60E-02
8	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3505	0,3502	2,58E-03	0,00E+00	2,23E+01	-2,40E-03	2,62E-02
9	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,0938	0,0934	4,40E-73	3,97E-72	4,93E+01	-8,80E-05	6,64E-01
10	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,0908	0,0904	7,94E-69	1,21E-88	-3,93E+01	1,98E-05	-1,14E-04

Tabella 9-5: Regressione 12h, 2 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 12h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4614	4,61E-01	6,91E-72	0,00E+00	2,53E+01	-8,72E-05	0,0418504
2	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4288	4,29E-01	6,43E-13	0,00E+00	5,62E+01	-7,47E-06	0,0415819
3	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4236	4,23E-01	2,01E-03	0,00E+00	2,26E+01	-3,06E-03	0,0402161
4	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4234	4,23E-01	4,54E-03	0,00E+00	2,22E+01	-7,35E-02	0,0405608
5	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,1084	1,08E-01	5,79E-48	2,49E-110	6,05E+01	-9,78E-05	1,1574239
6	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,1013	1,01E-01	3,28E-51	2,08E-102	6,12E+01	-1,04E-04	0,7327676
7	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,0771	7,67E-02	7,30E-76	8,99E-57	-7,05E+01	2,95E-05	-0,000127
8	LATITUDINE	OBST MASSIMO	0,0752	7,48E-02	3,41E-11	1,03E-54	1,69E+01	8,47E-06	0,7653006
9	QUOTA	OBST MASSIMO	0,0736	7,32E-02	2,42E-09	3,54E-63	5,51E+01	7,37E-03	0,807048
10	OBST MASSIMO	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,0705	7,01E-02	1,07E-47	6,00E-06	5,68E+01	7,54E-01	0,0064019

Tabella 9-6: Regressione 24h, 2 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 24h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4590	0,4587	5,13E-25	0,00E+00	2,44E+01	-6,93E-05	0,05852
2	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4478	0,4476	3,03E-04	0,00E+00	4,53E+01	-5,13E-06	0,0581022
3	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4476	0,4473	1,04E-03	0,00E+00	2,67E+01	-5,68E-06	0,0562753
4	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4475	0,4473	1,46E-03	0,00E+00	2,20E+01	0,176409	0,0554404
5	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4469	0,4467	2,02E-02	0,00E+00	2,20E+01	0,082009	0,0558358
6	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4468	0,4465	4,15E-02	0,00E+00	2,21E+01	0,0029216	0,0562986
7	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,1146	0,1142	7,37E-22	1,05E-123	7,32E+01	-8,91E-05	1,7078492
8	LATITUDINE	OBST MASSIMO	0,1125	0,1121	1,86E-19	3,24E-79	-4,57E+00	1,576E-05	1,2705886
9	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,1091	0,1087	1,35E-25	1,56E-117	7,42E+01	-9,99E-05	1,0937444
10	QUOTA	OBST MASSIMO	0,1057	0,1054	8,58E-12	1,32E-93	6,71E+01	0,0115478	1,3608425

Tabella 9-7: Regressione 1h, 3 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 1h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3110	0,3106	3,63E-101	8,683E-43	3,46E-275	19,993922	-4,44E-05	-0,147094	0,0105271
2	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3078	0,3073	2,11E-116	4,35E-38	4E-270	20,093497	-4,68E-05	-0,212124	0,0104879
3	PENDENZA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,2975	0,2970	3,386E-23	9,4E-171	1,71E-255	20,783557	-0,105349	-5,41E-05	0,0097325
4	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,2912	0,2907	3,313E-14	2E-189	1,18E-246	20,85081	-0,002829	-5,71E-05	0,009587
5	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,2911	0,2906	4,689E-14	3,96E-168	6,04E-187	3,9823039	3,719E-06	-6,73E-05	0,0084151
6	MIN. DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,2887	0,2882	8,05E-171	1,281E-10	8,41E-243	20,322735	-5,47E-05	-0,002574	0,0094891
7	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,2878	0,2873	2,523E-09	6,43E-178	8,09E-227	23,35978	-3,22E-06	-6,24E-05	0,0089338
8	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,2491	0,2486	9,174E-15	1,51E-110	2,29E-268	32,825159	-3,18E-06	-0,233343	0,0112513
9	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,2425	0,2420	7,091E-06	5E-123	1,7E-259	18,58396	-0,001731	-0,24464	0,0108772
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
29	LATITUDINE	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,1501	0,1496	3,963E-65	4,994E-05	1,88E-164	-1,26E+01	8,961E-06	0,0016285	-7,32E-05

Tabella 9-8: Regressione 3h, 3 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 3h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3802	0,3798	5,11E-17	5,19E-182	0,00E+00	3,01E+01	-6,52E-06	-9,07E-05	0,01761
2	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3776	0,3771	1,05E-12	2,53E-178	0,00E+00	2,48E+01	-0,003829	-7,96E-05	0,0185989
3	PENDENZA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3758	0,3754	7,78E-10	8,77E-164	0,00E+00	2,46E+01	-0,094407	-7,67E-05	0,0185017
4	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3751	0,3747	1,03E-08	5,72E-148	0,00E+00	6,27E+00	4,075E-06	-9,07E-05	0,0171866
5	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3746	0,3741	4,26E-122	8,60E-08	0,00E+00	2,41E+01	-7,2E-05	-0,083483	0,0187416
6	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3738	0,3734	2,82E-133	1,62E-06	0,00E+00	2,41E+01	-7,36E-05	-0,114516	0,0186806
7	MIN. DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3714	0,3709	2,31E-166	2,24E-02	0,00E+00	2,43E+01	-7,79E-05	-0,001321	0,0181307
8	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3092	0,3088	1,71E-22	1,34E-47	0,00E+00	4,84E+01	-5,92E-06	-0,219898	0,0200678
9	LATITUDINE	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3036	0,3032	7,19E-27	1,67E-39	0,00E+00	5,10E+01	-6,49E-06	-0,311448	0,0200221
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
25	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,1472	0,1466	2,02E-68	1,10E-158	1,48E-31	-2,42E+01	1,40E-05	-1,16E-04	3,02E-01

Tabella 9-9: Regressione 6h, 3 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 6h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4358	0,4354	1,69E-20	9,24E-143	0,00E+00	3,38E+01	-9,45E-06	-0,000104	0,0274446
2	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4285	0,4281	2,39E-07	1,92E-128	0,00E+00	2,59E+01	-0,003644	-8,75E-05	0,0285429
3	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4276	0,4272	1,09E-05	1,59E-104	0,00E+00	7,17E+00	4,105E-06	-9,87E-05	0,0271577
4	PENDENZA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4258	0,4255	1,79E-02	2,96E-121	0,00E+00	2,55E+01	-0,047743	-8,57E-05	0,0281937
5	MIN. DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4258	0,4254	4,25E-127	2,44E-02	0,00E+00	2,61E+01	-8,73E-05	-9,06E-05	0,0277772
6	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3737	0,3733	6,28E-21	2,61E-14	0,00E+00	5,60E+01	-7,43E-06	-0,149649	0,029401
7	LATITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3723	0,3719	1,28E-34	4,23E-12	0,00E+00	6,79E+01	-9,89E-06	-0,005284	0,0291587
8	LATITUDINE	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3713	0,3709	1,43E-23	2,04E-10	0,00E+00	5,81E+01	-7,87E-06	-0,194797	0,029252
9	LATITUDINE	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3699	0,3695	3,79E-28	3,54E-08	0,00E+00	6,18E+01	-8,6E-06	-0,115546	0,0287
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
22	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,1557	0,1552	8,50E-73	2,90E-141	4,26E-76	-4,15E+01	1,97E-05	-1,49E-04	6,59E-01

Tabella 9-10: Regressione 12h, 3 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 12h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4742	0,4739	5,67E-26	6,28E-96	0,00E+00	3,82E+01	-1,45E-05	-0,000113	0,0411459
2	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4655	0,4652	2,92E-79	2,17E-09	0,00E+00	2,58E+01	-9,89E-05	0,2538675	0,0401774
3	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4649	0,4646	8,98E-77	3,24E-08	0,00E+00	2,59E+01	-9,99E-05	0,153234	0,0403533
4	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4639	0,4635	3,56E-06	2,73E-65	0,00E+00	-7,41E-01	5,869E-06	-0,000104	0,0407855
5	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4631	0,4628	1,03E-04	4,46E-73	0,00E+00	2,58E+01	-0,003718	-8,79E-05	0,0425038
6	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4622	0,4619	5,57E-73	6,49E-03	0,00E+00	2,65E+01	-8,8E-05	-0,000149	0,0416449
7	MIN DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4622	0,4618	2,40E-73	8,88E-03	0,00E+00	2,55E+01	-8,92E-05	0,0026896	0,0414334
8	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4351	0,4347	1,11E-12	6,28E-24	0,00E+00	9,41E+01	-1,17E-05	-1,37E-05	0,0420565
9	LATITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4319	0,4316	2,27E-16	5,19E-07	0,00E+00	6,27E+01	-8,78E-06	-0,005097	0,0427842
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,1779	0,1774	3,13E-83	9,70E-120	1,10E-117	-7,44E+01	2,92E-05	-1,89E-04	1,15E+00

Tabella 9-11: Regressione 24h, 3 variabili, area ITALIA

AREA DI STUDIO: TUTTA ITALIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 24h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4689	0,4686	2,45E-20	2,48E-41	0,00E+00	4,02E+01	-1,78E-05	-0,000101	0,0576568
2	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4660	0,4657	4,82E-36	7,19E-15	0,00E+00	2,53E+01	-9,05E-05	0,4599521	0,0554888
3	MIN DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MAX	PIOGGIA MEDIA	0,4658	0,4654	1,45E-36	2,36E-14	0,00E+00	2,54E+01	-9,37E-05	0,2946547	0,0556411
4	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MASSIMO)	PIOGGIA MEDIA	0,4606	0,4603	3,58E-27	1,81E-04	0,00E+00	2,48E+01	-7,32E-05	0,0053687	0,0576876
5	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4603	0,4600	7,69E-04	1,25E-24	0,00E+00	-1,99E+00	5,947E-06	-8,64E-05	0,057441
6	MIN DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI MAX OBST)	PIOGGIA MEDIA	0,4596	0,4593	1,32E-25	1,88E-02	0,00E+00	2,58E+01	-7,02E-05	-0,000179	0,0582724
7	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4596	0,4592	2,56E-02	2,24E-25	0,00E+00	2,48E+01	-0,002985	-6,98E-05	0,0590446
8	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4543	0,4540	1,74E-13	5,40E-14	0,00E+00	9,89E+01	-1,66E-05	-1,39E-05	0,0587747
9	LATITUDINE	ANGOLO OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,4495	0,4491	4,59E-05	2,17E-04	0,00E+00	4,85E+01	-5,83E-06	0,206595	0,0566813
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,178	0,177	3,321E-76	1,38E-78	3,39E-131	-1,06E+02	3,883E-05	-0,00021	1,6989909

ALLEGATO 6 - Regressioni multiple lineari: FASCIA COSTIERA

Tabella 9-12: Regressione 1h, 2 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 1h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,2898	0,2881	3,089E-08	2,148E-65	19,251261	-0,000244	0,0125891
2	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,2897	0,2880	3,346E-08	2,448E-62	17,286744	-0,006024	0,0139447
3	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,2803	0,2786	1,109E-05	1,842E-50	22,565365	-4,81E-06	0,010921
4	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,2797	0,2781	1,59E-05	1,233E-41	-1,424249	4,499E-06	0,0103831
5	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,2786	0,2769	3,324E-05	6,673E-61	17,933569	-0,13004	0,0129293
6	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,2748	0,2731	0,0003567	1,388E-55	17,721116	-0,124789	0,0131626
7	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,2685	0,2667	0,021124	3,456E-54	17,981083	-0,10628	0,0125008
8	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,1380	0,1361	2,529E-22	1,934E-08	-15,33626	1,02E-05	-0,00035
9	LATITUDINE	OBST MASSIMO	0,1330	0,1311	4,743E-23	2,66E-07	-19,77273	1,039E-05	0,225008
10	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,1326	0,1307	1,256E-22	3,297E-07	-19,19273	1,03E-05	0,1634055

Tabella 9-13: Regressione 3h, 2 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 3h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3395	0,3380	3,997E-08	2,527E-62	31,572633	-9,64E-06	0,0198205
2	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3294	0,3278	3,497E-05	2,951E-76	23,884806	-0,000295	0,0224594
3	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3279	0,3263	9,755E-05	8,728E-54	-5,888106	6,549E-06	0,0194674
4	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3228	0,3212	0,003084	3,886E-70	22,292943	-0,149713	0,0228002
5	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3219	0,3203	0,0056707	2,227E-64	21,772325	-0,004892	0,0232086
6	LATITUDINE	QUOTA	0,1744	0,1725	5,927E-28	4,33E-16	-46,48531	1,89E-05	0,0135583
7	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,1693	0,1674	4,246E-23	6,682E-15	-30,30626	1,702E-05	-0,000802
8	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,1651	0,1632	1,757E-23	6,402E-14	-39,15748	1,721E-05	0,3962661
9	LATITUDINE	OBST MASSIMO	0,1497	0,1478	6,397E-24	2,362E-10	-40,28625	1,754E-05	0,4594797
10	LONGITUDINE	QUOTA	0,1334	0,1314	1,365E-18	3,332E-12	54,560022	-1,7E-05	0,0118225

Tabella 9-14: Regressione 6h, 2 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 6h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4057	0,4043	6,256E-10	6,064E-79	37,816305	-1,38E-05	0,0290196
2	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3874	0,3860	0,0004473	6,521E-70	-7,776357	7,513E-06	0,0290569
3	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3827	0,3813	0,0159919	4,974E-72	27,681044	-0,000316	0,0297366
4	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3814	0,3799	0,0481801	1,234E-83	24,559432	-0,127366	0,0324614
5	LATITUDINE	QUOTA	0,2355	0,2337	4,168E-32	1,004E-29	-71,1785	2,629E-05	0,0247167
6	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,2040	0,2022	4,188E-25	6,157E-22	-57,7738	2,332E-05	0,6704446
7	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2039	0,2021	1,404E-24	6,673E-22	-43,32908	2,306E-05	-0,001306
8	LONGITUDINE	QUOTA	0,1977	0,1959	8,403E-23	8,911E-24	70,082214	-2,45E-05	0,022273
9	LATITUDINE	OBST MASSIMO	0,1804	0,1785	1,61E-25	2,882E-16	-59,70427	2,386E-05	0,7838181
10	LONGITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,1707	0,1689	3,542E-17	2,259E-17	67,445974	-2,15E-05	0,6078597

Tabella 9-15: Regressione 12h, 2 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 12h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4334	0,4321	1,676E-11	9,676E-86	45,820006	-2,03E-05	0,0412702
2	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4094	0,4080	0,0016815	4,548E-77	-12,95454	9,12E-06	0,041895
3	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4089	0,4075	0,0025762	3,626E-77	31,583094	-0,000535	0,0419883
4	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4079	0,4065	0,0055744	4,307E-68	27,243906	0,0084556	0,0414206
5	LATITUDINE	QUOTA	0,2922	0,2906	5,255E-35	1,099E-44	-108,5405	3,675E-05	0,0415553
6	LONGITUDINE	QUOTA	0,2612	0,2595	9,807E-27	4,046E-37	90,003086	-3,56E-05	0,0380952
7	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,2204	0,2186	3,237E-25	4,449E-26	-85,90141	3,199E-05	1,0121751
8	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2155	0,2138	1,385E-24	7,149E-25	-64,56854	3,166E-05	-0,001927
9	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,2105	0,2087	9,223E-23	7,08E-14	55,788887	0,0315127	0,7501936
10	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2088	0,2070	6,313E-23	1,836E-13	70,466347	0,0316645	-0,001437

Tabella 9-16: Regressione 24h, 2 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 24h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4122	0,4108276	2,648E-10	1,755E-80	54,08162	-2,68E-05	0,055824
2	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3982	0,3968164	8,545E-06	2,455E-59	30,435488	0,0189877	0,0531061
3	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3945	0,3930795	0,0001381	1,276E-70	37,684038	-0,000948	0,0556035
4	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3893	0,3879045	0,007033	4,888E-73	-18,9677	1,099E-05	0,0569536
5	LATITUDINE	QUOTA	0,3086	0,3070092	2,271E-33	1,747E-51	-151,7095	4,884E-05	0,061653
6	LONGITUDINE	QUOTA	0,2798	0,2781299	1,708E-25	1,245E-43	112,12552	-4,73E-05	0,0570557
7	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2360	0,2342857	7,541E-28	4,536E-14	86,765075	0,0480213	-0,002002
8	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,2309	0,2291662	3,442E-28	9,016E-13	66,84588	0,0485327	0,9751123
9	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2136	0,2117678	2,996E-22	1,097E-26	-87,36011	4,14E-05	-0,002775
10	LATITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,2089	0,207138	9,532E-23	1,483E-25	-118,0246	4,201E-05	1,3929126

Tabella 9-17: Regressione 1h, 3 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 1h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	PENDENZA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3035	0,3011	4,5E-05	4,189E-08	5,873E-67	19,213666	-0,125716	-0,00024	0,0137592
2	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3032	0,3007	5,525E-05	1,505E-07	3,245E-56	23,357465	-4,35E-06	-0,00023	0,0118309
3	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3020	0,2995	1,09E-08	0,0001201	4,114E-62	19,044892	-0,00025	-0,132127	0,0141582
4	LONGITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3017	0,2993	0,0001293	3,745E-07	4,937E-53	21,327901	-4,15E-06	-0,005531	0,0130868
5	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3015	0,2991	0,0001627	3,032E-07	4,641E-47	2,3852212	3,894E-06	-0,000225	0,0113792
6	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3008	0,2983	0,0002647	0,0002438	5,318E-63	18,408668	-0,004291	-0,000175	0,0139336
7	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,2979	0,2955	1,396E-07	0,0015662	1,834E-60	17,121023	-0,00573	-0,109125	0,0151126
8	LONGITUDINE	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,2977	0,2953	1,62E-06	4,809E-06	2,178E-54	22,935138	-5,21E-06	-0,142078	0,0121968
9	QUOTA	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,2961	0,2936	4,541E-06	0,0053292	1,501E-63	17,37129	-0,005166	-0,089489	0,0144699
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	LATITUDINE	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,1491	0,1462	1,205E-23	7,23E-04	2,321E-05	-18,14257	1,052E-05	3,58E-03	-0,000277

Tabella 9-18: Regressione 3h, 3 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 3h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3504	0,3482	1,786E-07	0,0001607	3,014E-65	32,487102	-9,12E-06	-0,000266	0,0208709
2	LONGITUDINE	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3488	0,3465	7,386E-09	0,0005148	9,426E-63	32,023229	-1,01E-05	-0,173132	0,0213751
3	LONGITUDINE	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3452	0,3429	5,764E-09	0,0068558	1,521E-63	30,116857	-1,03E-05	0,000236	0,0204927
4	LONGITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3432	0,3408	1,86E-07	0,0301539	1,796E-53	30,722434	-9,19E-06	-0,0038	0,0213084
5	LONGITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3429	0,3406	2,093E-08	0,0365887	1,162E-54	31,551705	-9,84E-06	-0,11614	0,0211477
6	LONGITUDINE	OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,3427	0,3404	2,747E-08	0,0423024	5,403E-57	31,719708	-9,75E-06	-0,14831	0,0209182
7	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3388	0,3365	0,0005073	0,00018	1,059E-56	-1,375852	5,832E-06	-0,000267	0,0206472
8	PENDENZA	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3359	0,3336	0,003957	4,464E-05	1,096E-73	23,8416	-0,144481	-0,00029	0,0238041
9	LATITUDINE	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3344	0,3321	0,0001228	0,0038985	2,781E-53	-5,383865	6,428E-06	-0,144878	0,0208702
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	LATITUDINE	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2028	0,2001	4,36E-26	1,703E-09	2,713E-08	-3,84E+01	1,796E-05	0,0103829	-0,000589

Tabella 9-19: Regressione 6h, 3 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 6h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,4102	0,4081	1,757E-10	0,0112579	1,109E-75	38,233445	-1,42E-05	-0,160277	0,0304588
2	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3934	0,3912	0,0001191	0,0039768	1,13E-52	-7,311575	8,268E-06	-0,000378	0,0270148
3	PENDENZA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3875	0,3854	0,0098664	0,0034425	1,673E-71	28,414644	-0,169946	-0,000392	0,0309722
4	BARRIER (DI OBST MAX)	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,3857	0,3835	0,0437348	0,0025402	8,193E-73	26,649268	0,0002461	-0,000432	0,0299882
5	LATITUDINE	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,2728	0,2703	1,566E-30	4,646E-19	3,169E-11	-68,83905	2,503E-05	0,0198614	0,4622181
6	LATITUDINE	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2727	0,2702	4,354E-30	4,577E-19	3,386E-11	-58,88953	2,485E-05	0,0198673	-0,0009
7	LATITUDINE	QUOTA	OBST MASSIMO	0,2510	0,2485	5,543E-31	5,108E-19	2,077E-05	-70,29886	2,559E-05	0,0207693	0,4208264
8	LATITUDINE	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,2392	0,2366	1,862E-32	4,821E-28	0,0392181	-70,42792	2,641E-05	0,027015	-0,000221
9	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA	0,2389	0,2363	0,0460922	9,543E-12	2,355E-28	-44,34985	-6,94E-06	2,169E-05	0,0242022
10	LONGITUDINE	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,2278	0,2251	0,0000	0,0000	0,0000	64,9020	0,0000	0,0180179	0,4197273

Tabella 9-20: Regressione 12h, 3 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 12h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4423	0,4404	8,356E-13	0,0002253	2,965E-55	48,286706	-2,16E-05	0,0110243	0,0369531
2	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4369	0,4349	1,745E-10	0,021005	1,439E-82	92,41293	-2,72E-05	-9,28E-06	0,0428676
3	LONGITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4366	0,4346	1,475E-10	0,0272834	1,024E-70	48,776303	-1,94E-05	-0,000386	0,0395523
4	LATITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4217	0,4196	7,335E-06	2,303E-05	2,882E-40	-31,92291	1,388E-05	0,0137478	0,0353825
5	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4176	0,4155	0,0003763	0,0005721	1,44E-57	-12,20068	1,035E-05	-0,000612	0,0385828
6	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4127	0,4107	0,0179293	0,0081325	1,474E-58	31,77251	0,007269	-0,000473	0,0395799
7	LATITUDINE	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,3305	0,3282	1,886E-33	5,264E-31	2,506E-12	-105,2615	3,498E-05	0,03475	0,6478567
8	LATITUDINE	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3274	0,3251	5,726E-33	2,573E-31	2,006E-11	-92,00481	3,482E-05	0,0350301	-0,001211
9	LATITUDINE	QUOTA	OBST MASSIMO	0,3067	0,3044	7,341E-34	1,058E-30	1,9E-05	-107,3647	3,581E-05	0,0362788	0,5625214
10	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA	0,2981	0,2957	0,0065	0,0000	0,0000	-59,85746	-1,26E-05	2,841E-05	0,0406218

Tabella 9-21: Regressione 24h, 3 variabili, area COSTIERA

AREA DI STUDIO: FASCIA COSTIERA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 24h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LONGITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4317	0,4297	2,682E-12	7,923E-08	2,963E-47	59,113435	-2,95E-05	0,0224884	0,0470176
2	LONGITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4187	0,4166	3,627E-09	0,0021077	2,033E-64	59,870632	-2,51E-05	-0,000755	0,05246
3	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4166	0,4146	4,156E-10	0,0112717	3,269E-78	126,08193	-3,75E-05	-1,43E-05	0,0582925
4	LATITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,4135	0,4115	2,692E-06	4,14E-09	1,669E-33	-55,80934	2,023E-05	0,0267019	0,0443046
5	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4055	0,4034	7,414E-05	0,0012435	9,078E-50	38,126308	0,0169726	-0,000804	0,04998
6	LATITUDINE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,4018	0,3997	0,0013167	2,763E-05	9,985E-53	-17,68033	1,308E-05	-0,001046	0,0512972
7	LATITUDINE	QUOTA	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3450	0,3428	2,469E-31	6,514E-37	4,944E-12	-128,4633	4,612E-05	0,0524797	-0,001702
8	LATITUDINE	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,3422	0,3400	8,514E-32	3,215E-37	3,359E-11	-147,4633	4,655E-05	0,0528407	0,8389328
9	LATITUDINE	QUOTA	OBST MASSIMO	0,3210	0,3187	2,93E-32	1,167E-36	6,335E-05	-150,2063	4,764E-05	0,0549075	0,7191215
10	LONGITUDINE	LATITUDINE	QUOTA	0,3140	0,3117	0,0083	5,733E-11	2,185E-49	-87,27516	-1,67E-05	3,78E-05	0,0604174

ALLEGATO 7 – Regressioni multiple lineari: REGIONE CAMPANIA

Tabella 9-22: Regressione 1h, 2 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 1h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3114	0,3059	3,23E-14	5,96E-04	27,832672	-0,000142	0,0044772
2	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,2963	0,2907	2,28E-17	1,20E-02	32,242683	-0,000155	0,1089047
3	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,2953	0,2896	2,24E-14	1,15E-03	31,471519	-0,000145	0,206774
4	MIN. DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2932	0,2876	3,50E-19	2,23E-02	34,453346	-0,000162	-0,00019
5	LATITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,2922	0,2866	2,73E-02	5,22E-17	-90,55749	2,754E-05	-0,000196
6	LONGITUDINE	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,2897	0,2841	4,60E-02	5,68E-18	50,734291	-1,74E-05	-0,000158
7	MIN. DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	0,2781	0,2722	2,71E-16	3,11E-02	34,597537	-0,000155	-0,000172
8	LONGITUDINE	LATITUDINE	0,2519	0,2459	6,20E-14	4,27E-15	561,92831	-8,48E-05	-9,89E-05
9	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,2171	0,2108	4,94E-07	2,10E-13	19,630918	-0,006871	0,0102942
10	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,2055	0,1992	3,37E-06	9,42E-12	60,925022	-4,33E-05	0,0092645

Tabella 9-23: Regressione 3h, 2 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 3h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4388	4,34E-01	1,96E-13	7,492E-14	30,324526	-0,000175	0,0130609
2	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,3829	3,78E-01	3,38E-18	1,518E-08	42,962709	-0,000212	0,3343755
3	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3692	3,64E-01	7,03E-07	2,217E-25	76,113875	-5,86E-05	0,0190837
4	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3650	3,60E-01	1,65E-06	2,664E-26	20,178744	-0,008346	0,0202095
5	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,3569	3,52E-01	1,53E-15	1,282E-06	43,128541	-0,000207	0,4251408
6	MIN. DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3439	3,39E-01	4,85E-21	4,542E-05	49,3088	-0,000234	-0,000468
7	MIN. DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	0,3307	3,25E-01	8,03E-18	0,0002145	49,858727	-0,000225	-0,000408
8	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,3251	3,20E-01	2,06E-03	6,186E-23	46,228497	0,0057605	-0,000275
9	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,3242	3,19E-01	6,97E-03	3,486E-23	19,954883	-0,141329	0,0188012
10	LONGITUDINE	LATITUDINE	0,2494	2,43E-01	1,15E-12	8,851E-16	808,84801	-0,000114	-0,000144

Tabella 9-24: Regressione 6h, 2 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 6h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,5669	0,5635	6,749E-13	4,367E-28	28,110442	-0,000196	0,0235102
2	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,5424	0,5388	7,979E-10	4,509E-43	94,838277	-8,17E-05	0,0305673
3	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,5050	0,5011	2,18E-05	2,34E-40	16,745262	-0,008462	0,0312471
4	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,4285	0,4239	2,328E-18	9,365E-13	51,711864	-0,000267	0,5391678
5	MIN. DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3809	0,3760	1,163E-21	2,75E-08	62,191505	-0,000302	-0,000819
6	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,3804	0,3754	5,092E-15	6,805E-09	52,223198	-0,000259	0,6560158
7	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,3679	0,3628	4,163E-07	6,639E-27	56,350116	0,0121212	-0,000385
8	MIN. DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	0,3619	0,3566	2,044E-17	2,819E-07	63,146496	-0,000281	-0,000729
9	PENDENZA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,3128	0,3074	0,0315503	3,904E-22	57,868477	0,1453222	-0,000323
10	LONGITUDINE	MAXSLOPE MASSIMO	0,2682	0,2624	0,0001626	3,205E-17	102,70014	-6,14E-05	0,7186202

Tabella 9-25: Regressione 12h, 2 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 12h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,6861	0,6836	1,681E-11	2,128E-64	105,44895	-9,96E-05	0,0465242
2	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,6642	0,6615	1,021E-07	3,707E-47	19,713304	-0,000166	0,0399006
3	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,6370	0,6341	0,0030403	1,138E-56	10,028116	-0,006684	0,0463329
4	PENDENZA	PIOGGIA MEDIA	0,6314	0,6285	0,0263502	3,104E-56	9,9066947	-0,148927	0,0454414
5	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,6238	0,6207	0,0450133	3,92E-43	14,351133	-0,000313	0,0422693
6	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,4179	0,4133	3,406E-13	7,047E-17	60,449118	-0,000292	0,8649581
7	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,3934	0,3885	3,188E-10	9,888E-15	59,850449	-0,000269	1,1925326
8	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,3514	0,3463	7,188E-11	8,886E-25	67,446198	0,0214483	-0,000493
9	MIN. DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	0,3368	0,3314	9,456E-13	6,701E-10	79,077436	-0,000315	-0,001209
10	MIN. DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3353	0,3300	2,228E-16	1,692E-09	76,953494	-0,000349	-0,001234

Tabella 9-26: Regressione 24h, 2 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 24h X = 2 variabili									
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**		**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**
1	LONGITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,7426	0,7405279	2,936E-08	4,926E-76	96,401315	-9,46E-05	0,0631888
2	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,7180	0,715811	0,0050407	1,103E-67	-264,1174	5,854E-05	0,0642309
3	MIN. DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,7170	0,7147968	0,0082941	1,465E-61	11,222864	-9,57E-05	0,0586023
4	MIN. DISTANZA DAL MARE	MAXSLOPE MASSIMO	0,3730	0,3680165	4,744E-08	8,113E-18	72,005963	-0,000287	1,2001442
5	MIN. DISTANZA DAL MARE	OBST MASSIMO	0,3455	0,3401125	8,353E-06	1,508E-15	71,042988	-0,000251	1,6558269
6	OBST MASSIMO	MAXSLOPE MASSIMO	0,3182	0,3126112	0,0003253	0,0016782	60,22518	1,1367385	0,7102462
7	QUOTA	OBST MASSIMO	0,3145	0,308946	0,0034143	2,792E-19	57,984018	0,0115799	1,8614042
8	QUOTA	MAXSLOPE MASSIMO	0,3142	0,3087212	0,0070366	1,796E-20	58,356661	0,0103774	1,3386331
9	OBST MASSIMO	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3118	0,3062283	4,556E-11	0,0057981	68,653023	1,5723041	-0,000882
10	QUOTA	MIN. DISTANZA DAL MARE	0,3084	0,3028719	2,254E-12	5,245E-20	81,432552	0,0310323	-0,000573

Tabella 9-27: Regressione 1h, 3 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: REGIONE CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 1h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3298	0,3377	0,0017918	1,898E-15	4,512E-05	-149,0399	3,894E-05	-0,000182	0,0053881
2	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,3277	0,3356	0,0027665	2,177E-11	4,3E-05	52,193626	-2,63E-05	-0,000127	0,005441
3	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,3073	0,3154	0,0085007	1,525E-16	0,0038322	-115,8681	3,278E-05	-0,000191	0,1254398
4	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,3048	0,3132	0,0123705	5,504E-14	0,0005997	-108,8083	3,107E-05	-0,000181	0,2166974
5	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,3036	0,3118	0,0179664	2,564E-15	0,0048788	52,165278	-2,06E-05	-0,000146	0,1221056
6	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,3026	0,3108	3,007E-13	2,378E-09	5,749E-06	448,04174	-7,95E-05	-7,65E-05	0,0060879
7	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3008	0,3091	0,0170001	4,283E-17	0,0139323	-98,95422	2,958E-05	-0,000195	-0,000203
8	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,3002	0,3087	0,0306517	3,572E-13	0,0008318	49,834375	-1,88E-05	-0,000138	0,2112778
9	PENDENZA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,2987	0,3070	0,0497839	1,218E-15	0,0018996	32,350177	-0,079533	-0,000148	0,1480339
10	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,2985	0,3068	0,0272745	2,451E-17	0,0134323	53,222606	-1,92E-05	-0,000154	-0,000205

Tabella 9-28: Regressione 3h, 3 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: REGIONE CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 3h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4704	0,4641	0,000141	3,587E-16	2,343E-16	-244,4658	6,049E-05	-0,000237	0,0144761
2	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,4640	0,4576	0,0007071	1,691E-10	5,028E-16	65,541826	-3,8E-05	-0,000153	0,0144541
3	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,4380	0,4313	6,869E-13	7,449E-08	1,688E-17	519,98602	-0,0001	-8,77E-05	0,0154413
4	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4007	0,3935	0,0067815	2,38E-17	1,673E-09	-159,3701	4,478E-05	-0,000261	0,356964
5	LONGITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,3940	0,3867	0,0006304	0,001521	1,751E-27	61,161377	-4,27E-05	-0,005824	0,0203893
6	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,3939	0,3867	0,0335703	3,034E-18	2,08E-07	42,452617	0,0038313	-0,000236	0,3094267
7	PENDENZA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,3933	0,3860	0,0392059	2,186E-16	2,135E-09	43,112731	-0,110998	-0,000202	0,3889852
8	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,3930	0,3858	0,0417941	3,027E-16	3,949E-09	65,760723	-2,36E-05	-0,000201	0,3494817
9	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,3705	0,3627	0,0226767	1,894E-14	5,529E-07	-131,0835	3,859E-05	-0,000252	0,4374645
10	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3678	0,3601	4,76E-16	0,0026316	0,041051	45,412293	-0,000211	0,3097663	-0,000279

Tabella 9-29: Regressione 6h, 3 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: REGIONE CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 6h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,6137	0,6091	8,718E-08	3,728E-19	1,606E-33	-407,9388	9,599E-05	-0,000294	0,0257559
2	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,6038	0,5991	2,295E-06	1,849E-09	1,395E-32	83,749304	-6E-05	-0,000161	0,0257114
3	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,5820	0,5770	8,464E-15	1,941E-06	3,252E-34	533,23033	-0,000123	-8,66E-05	0,0269699
4	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,5742	0,5691	2,146E-13	0,0386549	3,536E-22	31,373153	-0,0002	-0,000269	0,0218173
5	LONGITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,5505	0,5451	8,907E-07	0,0340965	1,909E-43	83,689301	-6,98E-05	-0,004343	0,0315408
6	QUOTA	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,5046	0,4985	1,739E-05	0,0455467	9,009E-31	20,613901	-0,008894	-0,000269	0,0296105
7	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4654	0,4590	4,337E-05	6,708E-22	9,256E-11	50,496267	0,0091304	-0,000325	0,4797124
8	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4508	0,4443	0,001563	1,723E-18	3,463E-14	-243,8344	6,54E-05	-0,000339	0,5721626
9	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4400	0,4333	0,0238084	2,674E-16	1,498E-13	83,418059	-3,28E-05	-0,000253	0,5601766
10	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,4258	0,4189	0,0000	1,23E-25	9,302E-07	59,530395	0,010028	-0,000361	-0,000705

Tabella 9-30: Regressione 12h, 3 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: REGIONE CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 12h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,7108	0,7073	9,406E-10	1,612E-15	7,516E-55	-560,8606	0,0001278	-0,000297	0,0428905
2	LONGITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,7046	0,7010	1,45E-08	9,617E-05	6,714E-54	97,335687	-8,37E-05	-0,000118	0,0429714
3	LONGITUDINE	LATITUDINE	PIOGGIA MEDIA	0,6965	0,6928	7,601E-13	0,0036944	1,435E-55	405,02789	-0,000128	-5,92E-05	0,0440659
4	LATITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,6430	0,6387	0,0416862	0,0010603	3,174E-53	-162,5871	3,75E-05	-0,007458	0,0484758
5	QUOTA	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,6386	0,6341	0,001785	0,0255096	7,139E-45	14,8202	-0,007325	-0,000344	0,0443918
6	PENDENZA	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,6342	0,6297	0,009048	0,0185571	1,893E-44	15,28361	-0,180786	-0,000367	0,0432094
7	PENDENZA	ANGOLO OBST MASSIMO	PIOGGIA MEDIA	0,6333	0,6288	0,0101679	0,026099	5,36E-37	11,590085	-0,177936	0,3039895	0,0420997
8	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4876	0,4814	1,591E-08	8,349E-20	1,559E-14	58,221066	0,016735	-0,000397	0,7559831
9	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,4588	0,4521	1,37E-07	8,093E-16	3,123E-11	58,295932	0,0163937	-0,000375	0,9879217
10	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4343	0,4276	0,0074	0,0000	0,0000	-277,4692	7,478E-05	-0,000374	0,9026834

Tabella 9-31: Regressione 24h, 3 variabili, area CAMPANIA

AREA DI STUDIO: REGIONE CAMPANIA Y = MEDIANA PIOGGE ESTREME 24h X = 3 variabili												
ID	**COMBINAZIONE DI VARIABILI**			**Rsquared**	**Radjusted**	**P-Value1°**	**P-Value2°**	**P-Value3°**	**Intercetta (β0)**	**β1**	**β2**	**β3**
1	LATITUDINE	MIN DISTANZA DAL MARE	PIOGGIA MEDIA	0,7501	0,7471	2,44E-08	3,86E-08	4,264E-68	-620,2806	0,000139	-0,000238	0,0618546
2	LATITUDINE	QUOTA	PIOGGIA MEDIA	0,7230	0,7197	1,75E-03	3,50E-02	3,905E-66	-297,9976	6,597E-05	-0,00543	0,0661367
3	PENDENZA	BARRIER (DI OBST MAX)	PIOGGIA MEDIA	0,7150	0,7115	3,43E-02	3,03E-02	6,099E-57	11,026362	-0,166779	-0,000385	0,0599513
4	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO MAXSLOPE	0,4628	0,4564	4,88E-10	5,18E-15	1,774E-15	68,737918	0,0245464	-0,000441	1,0403026
5	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	0,4313	0,4244	4,83E-09	1,53E-11	7,61E-12	68,740562	0,0242811	-0,000408	1,3527737
6	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3894	0,3821	1,83E-10	1,05E-18	2,328E-08	87,913954	0,0267663	-0,000523	-0,001437
7	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	ANGOLO MAXSLOPE	0,3777	0,3701	2,39E-06	9,69E-03	0,0004512	69,674718	-0,00026	0,7991699	0,7620632
8	MIN DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	ANGOLO MAXSLOPE	0,3774	0,3697	3,32E-07	1,04E-02	6,321E-09	79,360387	-0,000277	-0,000738	0,9669683
9	QUOTA	MIN DISTANZA DAL MARE	BARRIER (DI OBST MAX)	0,3748	0,3671	1,07E-08	5,46E-14	1,092E-06	89,648612	0,0252253	-0,000471	-0,001246
10	MIN DISTANZA DAL MARE	ANGOLO OBST MASSIMO	DISTANZA (MAXSLOPE MAX)	0,3724	0,3647	0,0000	0,0000	0,0014	79,0998	-0,0003	1,248797	-0,000983