

## Capitolo 5

# Analisi statistica con i tipi di tempo

Nel *capitolo 1* si è parlato dell'eterogeneità del territorio, ribadendo più volte della vicinanza tra costa adriatica ed i maggiori rilievi appenninici del centro Italia. I risultati statistici prodotti con i metodi più noti marcano la differenza di probabilità di precipitazione nevosa tra le stazioni costiere dell'area Est e quelle montane, oltre all'effetto di *esposizione* per l'area Ovest rispetto alle perturbazioni più frequenti occidentali. Per trovare un netto riscontro riguardo all'ipotesi di divisione della regione nelle tre aree omogenee (*Figura 3.5*), è utile combinare il risultato statistico con uno studio climatico: bisogna capire quanto è consistente l'effetto espositivo e di riparo per una stazione appartenente ad un'area piuttosto che ad un'altra, rispetto alla direzione dei venti a scala sinottica.

### 5.1 Analisi del database

La prima analisi che lega le precipitazioni nevose con le configurazioni a scala sinottica avviene attraverso la divisione nelle tre aree omogenee. Dal database si è in grado di conteggiare il numero di giorni con accumulo  $\Delta H3gg$  superiore ad un limite minimo. La *Figura 5.1* mostra il risultato di questa elaborazione.

Si sceglie un limite minimo di 100 *cm* di accumulo di neve, per trovare una relazione tra le tre aree omogenee con le 8 configurazioni meteorologiche. Si evidenzia come ogni area abbia la stessa frequenza di quella globale mostrata in *Figura 4.3 (a)*, ovvero alta per le configurazioni da 1 a 4 e bassa per quelle codificate da 5 a 8.



Figura 5.1. Confronto dei giorni di manto nevoso  $\Delta H_{3gg} > 100\text{ cm}$  per ogni tipo di tempo.

Sulla base delle serie storiche del *paragrafo 4.3*, si effettua un ulteriore focus della frequenza relativa alle determinate aree, attraverso la somma della neve al suolo per stagione. Nelle *Appendici D* sono consultabili i grafici per ogni area, in cui si trova l'intensità delle precipitazioni correlata con la configurazione dei tipi di tempo.

In particolare, la *Figura D.1* relativa all'area Est registra un accumulo maggiore di neve con le configurazioni del tipo orientale (NE, E e SE), mentre la *Figura D.3* per l'area Ovest è caratterizzata dai dati codificati per le direzioni occidentali (SW, W e NW). Ancor più evidente sono i picchi nell'area Monti (*Figura D.2*) rappresentanti le configurazioni del tipo 6 (est), con una forte riduzione dell'accumulo di neve nell'ultima decade, concorde con la precedente analisi delle serie storiche.

## 5.2 Statistica 'raggruppata' per tipo di tempo

Al fine di combinare l'analisi statistica (*paragrafo 3.4*) con l'analisi climatologica (*paragrafo 4.1*), si propone una ulteriore analisi statistica del tipo GEV caratterizzata dalla suddivisione delle configurazioni meteorologiche.

L'ipotesi principale è quella di raggruppare sotto il nome di *Direzione Occidentale* i tipi di tempo codificati da 1 a 4 e col nome di *Direzione Orientale* i tipi di tempo codificati da 5 a 8. Si sceglie di elaborare il database con la sola grandezza  $\Delta H_{3gg}$ , dato che un singolo evento di nevicata è caratterizzato da una perturbazione persistente per pochi giorni. Contrariamente, il dato di altezza di manto nevoso  $H_S$  sarebbe fuorviante per una statistica di questo tipo, essendo dipendente dalla storia del sito.

Per meglio comprendere come avviene la divisione dei dati in una nuova analisi statistica, viene proposto un esempio del processo di raggruppamento: l'istogramma della *Figura 5.2* riporta un esempio sintetico in cui si graficano i dati  $\Delta H_{3gg}$  di una ipotetica stazione. Sull'asse orizzontale sono visibili i codici delle due direzioni orientale *e* ed occidentale *w*.

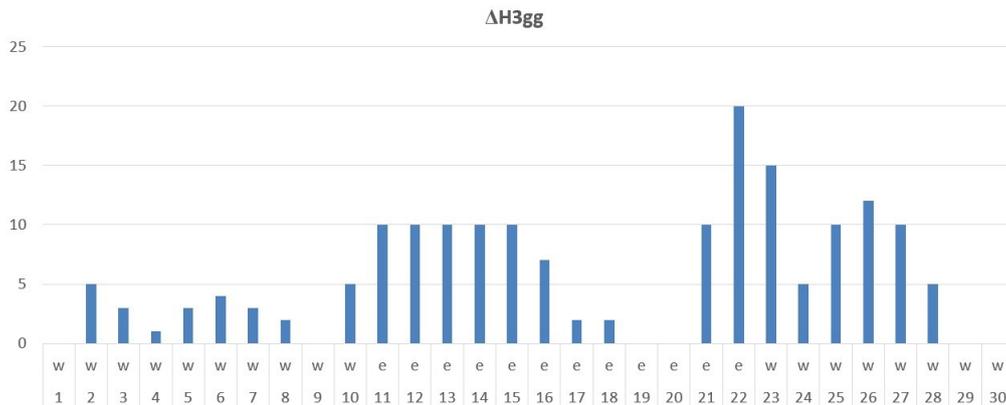


Figura 5.2. Esempio di istogramma della raccolta dati  $\Delta H3gg$  giornalieri in un mese.

L’analisi statistica raggruppata per le due direzioni proposte considera separatamente i dati  $\Delta H3gg$  prima per una direzione e poi per la seconda direzione.

Nell’esempio considerato, la variabile fondamentale del database *completo* è il massimo stagionale corrispondente a 20 cm di neve. Allo stesso modo, la variabile del massimo stagionale nella raccolta *occidentale* è 15 cm, mentre nella direzione *orientale* è 20 cm.

Un aspetto non secondario riguarda la coincidenza del valore di massimo stagionale nella raccolta completa, con uno dei due massimi stagionali nella raccolta raggruppata. Per cui si ha a disposizione lo stesso numero di dati anche per la seconda analisi statistica proposta.

### 5.2.1 Risultati della statistica per tipi di tempo

La ricostruzione della funzione di probabilità cumulata viene riprodotta dai quattro metodi come fatto in precedenza, al fine di ricavare nuovamente i tre parametri della distribuzione GEV per la definizione di nuove curve di neve in funzione del tempo di ritorno.

La nuova fase statistica richiede un nuovo test di Pearson, analogo a quello presentato nel *paragrafo 3.4.1*. Lo scopo è quello di scegliere un metodo adatto al caso specifico, evitando errori grossolani nel confronto delle curve successive. Nell'*Appendice D* vengono raccolti i risultati del test di affidabilità, distinguendo le direzioni occidentali (*Tabelle D.1, D.2 e D.3*) da quelle orientali (*Tabelle D.4, D.5 e D.6*).

Nonostante la *riduzione* dei dati, la tecnica di considerare i massimi stagionali permette di ottenere un dataset sempre ricco di informazioni. La ricostruzione delle curve di probabilità cumulata (*Figura D.4, D.5 e D.6*) conserva un buon adattamento attraverso i metodi illustrati nel *capitolo 2*. Solo il metodo della massima verosimiglianza non garantisce il superamento del test di validità.

Quindi il raggruppamento dei dati giornalieri non va a compromettere il numero di dati su cui operare; trattandosi dei *massimi stagionali*, ogni anno corrisponde ad un dato della raccolta completa. Viene ribadito il fatto di ottenere il massimo di  $\Delta H3gg$  per uno dei due tipi di tempo corrispondente al  $\Delta H3gg$  della raccolta completa.

Quindi si procede con l'esposizione dei tre parametri utili alla ricostruzione statistica secondo i metodi precedentemente descritti. Nella *Tabella D.7* delle *Appendici D* vengono riassunti i valori trovati grazie al software *MatLab*, con cui si sviluppano le curve di altezza neve delle *Figure D.7, D.8 e D.9* per le entrambe le perturbazioni, seguendo gli stessi passaggi analitici della statistica sull'intero set di dati (*paragrafo 3.4*).

Si ottengono i modelli relativi alle tre aree omogenee con le altezze di neve in funzione del tempo di ritorno per ogni sito analizzato. Vengono scelti i metodi di calcolo evitando quelli che non superano il test di validità: per tutti i casi si ha la ricostruzione delle funzioni di  $\Delta H3gg(T_r)$  con il metodo **L-Moments**, ovvero i momenti pesati, esposto nel *capitolo 2*.

Vediamo come questo tipo di analisi ha una stretta relazione con l'orografia del territorio e l'esposizione delle stazioni alle correnti d'aria.

Come previsto, le curve risultano più basse rispetto alla statistica completa (*paragrafo 3.4*), ma si riscontrano casi particolari in cui una direzione prevale notevolmente rispetto all'altra. Quindi è interessante indagare quanto un sito sia influenzato da un tipo di tempo piuttosto che dall'altro.

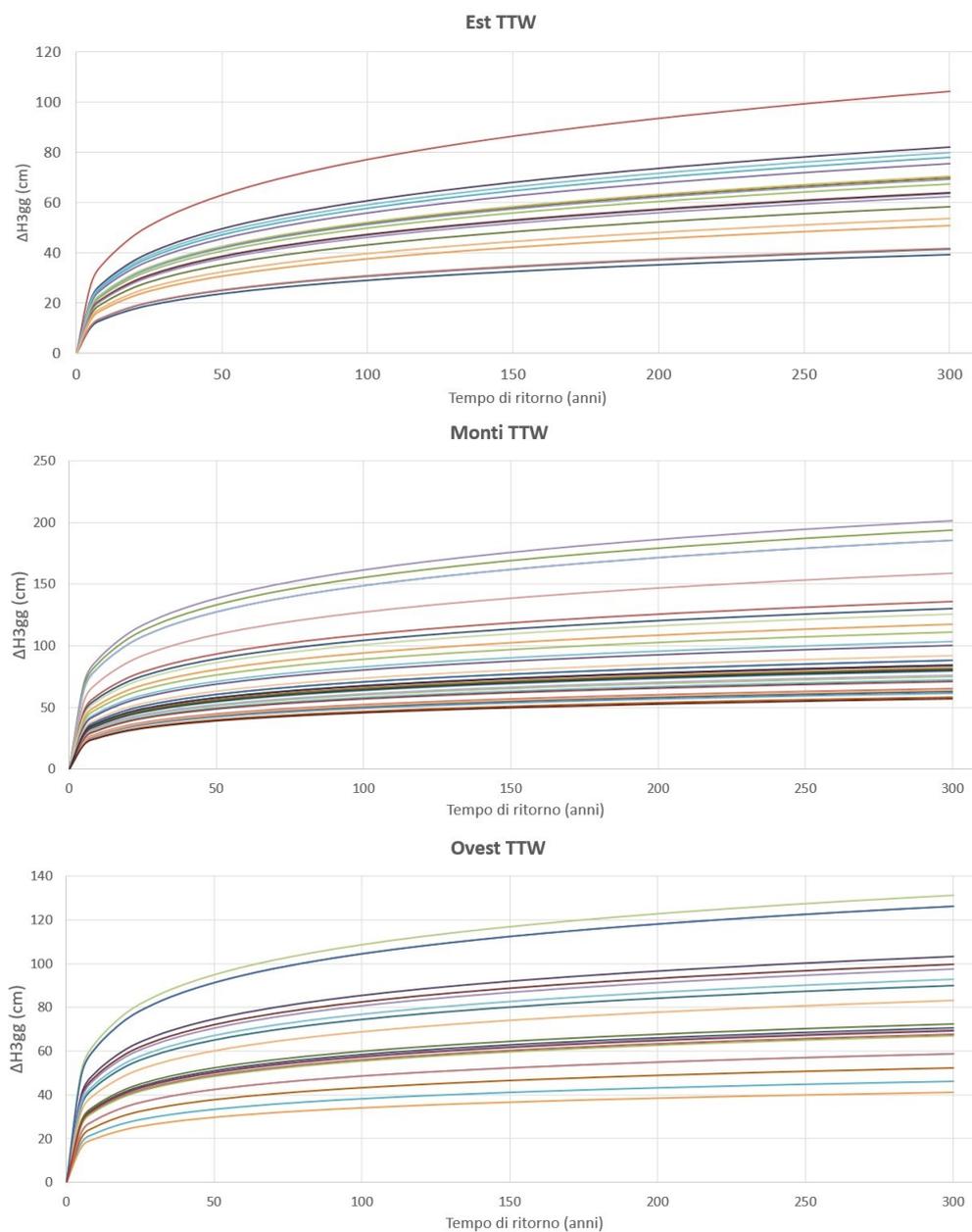


Figura 5.3. Fasci di curve di possibilità nivometrica con tipi di tempo occidentale.

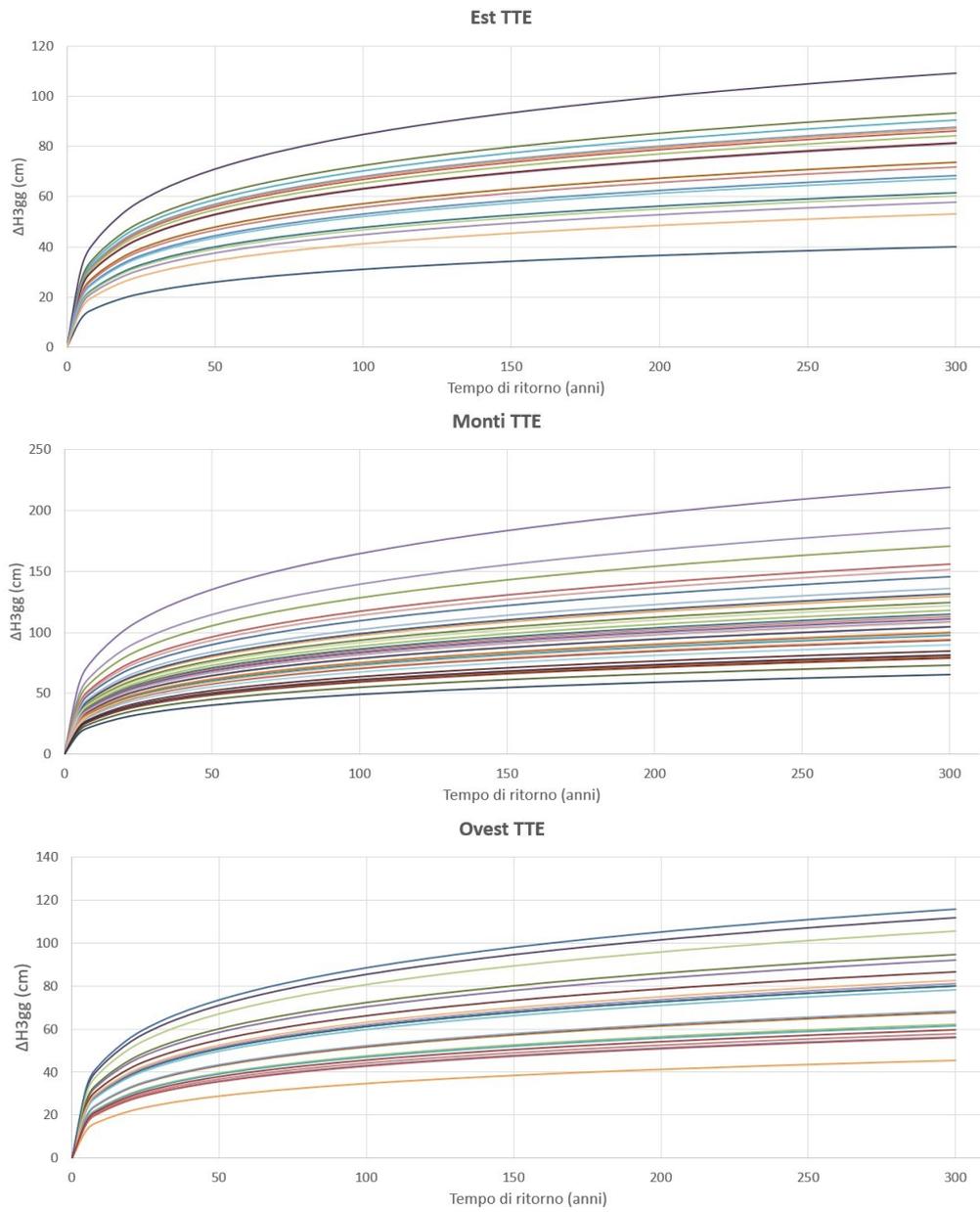


Figura 5.4. Fasci di curve di possibilità nivometrica con tipi di tempo orientale.

## 5.2.2 Confronto dei risultati

Così come fatto in precedenza, vengono esaminate le curve risultanti. Considerando i tipi di tempo occidentali (*Figura 5.3*), l’area Est ha valori mediamente più bassi rispetto alla statistica complessiva, con Civitella del Tronto che si conferma la stazione con maggior accumulo di neve ( $\Delta H_{3gg}$  medio di 20.03 cm) seguita da Penne. Nell’area Monti si notano in ordine le curve di Sant’Eufemia, Passo Lanciano e Pizzoferrato come le maggiori, essendo più in quota rispetto alle altre stazioni. L’area Ovest è soggetta ad un incremento dei valori dovuta all’evidente esposizione occidentale, specialmente per i siti nell’altopiano dell’Aremogna come Pescocostanzo e Roccaraso.

Per quanto riguarda i tipi di tempo orientali (*Figura 5.4*), il fenomeno di esposizione è identificato nella curva di Penne, in questo caso notevolmente superiore alle altre stazioni dell’area Est, seppur distante dalla costa. Pietracamela risulta allo stesso modo il sito più esposto dell’area Monti, superando di gran lunga l’accumulo registrato nei siti più in quota ma più riparati dai versanti. L’effetto di *riparo* è ben evidenziato dall’area Ovest che registra una generale diminuzione delle medie  $\Delta H_{3gg}$ .

Dato che il parametro progettuale di altezza di distacco si basa sui tre valori della variabile  $\Delta H_{3gg}$  corrispondenti ai tempi di ritorno 30, 100 e 300 anni, vengono confrontati tra loro i risultati delle stazioni nelle due direzioni. In questo modo si può interpretare l’influenza maggiore degli eventi estremi.

Il risultato di maggior rilievo ottenuto nel confronto è la grande influenza delle perturbazioni orientali. Alcune stazioni presentano curve simili per le direzioni Est e le direzioni Ovest. La *Figura 5.5 (a)* mostra invece i siti dove le curve filtrate TTW sono maggiori rispetto a quelle TTE. Allo stesso modo, la *Figura 5.5 (b)* evidenzia i siti con le curve TTE maggiori rispetto alle curve TTW.

Si può notare la loro distribuzione relativa ai tipi di tempo, maggiormente per le perturbazioni orientali, così come inizialmente ipotizzato. In *Tabella 5.1* vengono espresse le quantità per area di stazioni con questa caratteristica. L’evidente influenza delle perturbazioni orientali sulla parte costiera e centrale della regione è la conferma dell’ipotesi iniziale di divisione nelle aree omogenee Est, Monti ed Ovest.

Area	totale	influenzate da TTW	influenzate da TTE
Est	18	3 (16.67 %)	9 (50 %)
Monti	35	5 (14.29 %)	21 (60 %)
Ovest	20	8 (40 %)	3 (15 %)

Tabella 5.1. Numero di stazioni per area influenzate dalle due direzioni.

Nelle restanti stazioni non considerate dalle percentuali si ottengono curve dei tipi di tempo simili nelle due direzioni. Nel sito di Castel del Monte, si ha minima differenza tra le due casistiche: questo fenomeno è dovuto all'esposizione sia alle correnti occidentali sia a quelle orientali a causa dell'alta quota. La stazione è posta a 1346 *m s.l.m.* nei pressi dell'altopiano di Campo Imperatore, spesso innevato nella stagione invernale.

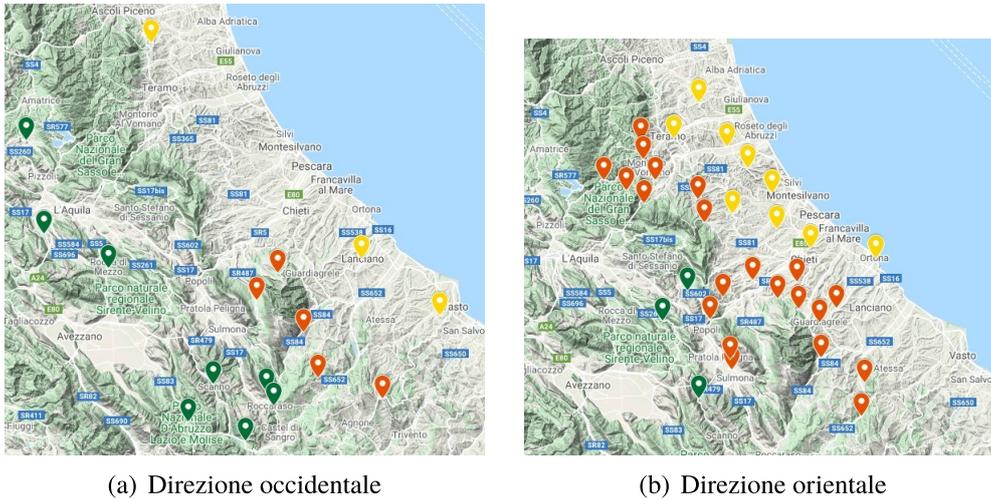


Figura 5.5. Le stazioni divise in aree con forte influenza del tipo di tempo.

Successivamente vengono presentati i risultati ottenuti in quattro siti emblematici dell'influenza dell'esposizione, fortemente condizionati dalla provenienza del tipo di tempo. Per ogni stazione si propone un breve inquadramento territoriale e la descrizione fisica del contesto in cui si trova. Un primo grafico con il raggruppamento dei dati dal database *originale* ed un secondo grafico con il risultato della statistica dei tre casi. In questo modo, si presentano le differenze di influenza dal tipo di tempo per le aree regionali.

## Penne

Situato a nord della provincia di Pescara, il comune di Penne si trova in una zona collinare tra i fiumi Tavo e Fino ed è esattamente equidistante dalla costa adriatica e dal massiccio del Gran Sasso. Risente spesso dell’influenza dei venti che scendono dai versanti orientali dei rilievi maggiori, oltre alle perturbazioni settentrionali a cui è esposta la città. Penne è il centro abitato maggiore che collega le colline del pescarese alle località montane dell’altopiano di Campo Imperatore, attraversando il borgo di Farindola lungo le strade provinciali SP52 e SP72.

La stazione di riferimento è posta a quota 431 *m s.l.m.* ed è parte dell’area Est. Da questo studio, ne risulta che Penne è soggetta alle meno frequenti perturbazioni orientali essendo orograficamente riparata ad ovest dal massiccio del Gran Sasso.

Bisogna tener presente che il centro abitato si sviluppa sui primi colli più alti dell’area pescarese, quindi è esposto interamente alle nevicate provenienti dalla costa.

Le curve della *Figura 5.6* mostrano chiaramente questo comportamento: come detto in precedenza, la curva *originale* è la maggiore avendo l’intero dataset relativo al complessivo studio temporale; la curva TTE è molto vicina alla prima e superiore alla curva TTW, per cui ci si aspettano eventi di nevicata più intensa nelle perturbazioni di carattere orientale.

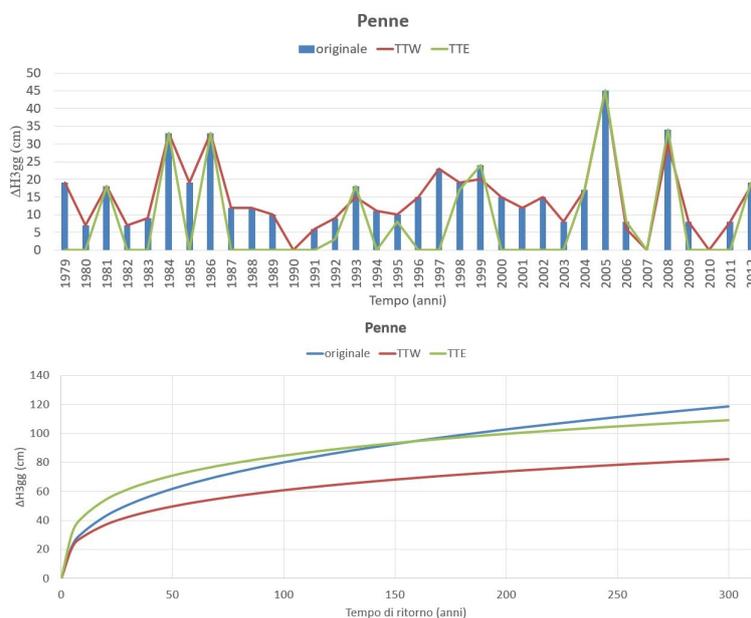


Figura 5.6. Massimi stagionali  $\Delta H_{3gg}$  raggruppati e curve di possibilità nivometrica relative alla stazione di Penne.

## Pietracamela

Il borgo di Pietracamela fa parte della *corona teramana* occidentale, alle pendici delle cime del Gran Sasso, a pochissimi chilometri da Prati di Tivo. Per la posizione geografica, è ben esposto ad est, sia ai venti, che dalle perturbazioni, sia dall'irraggiamento mattutino del sole, nonché fortemente riparato ad ovest. La vicinanza al massiccio principale dà luogo a fenomeni di carattere nevoso più intensi durante la stagione invernale.

Facente parte dell'area Monti, la stazione è situata a quota 1043 *m slm* e registra accumuli di neve considerevoli rispetto alle stazioni geograficamente simili. L'esposizione orientale lascia immaginare quale risultato ne consegue dal presente studio: la *Figura 5.7* mostra chiaramente la vicinanza della curva TTE con quella *originale*, con una scala nettamente superiore a quella precedentemente vista nel caso di Penne.

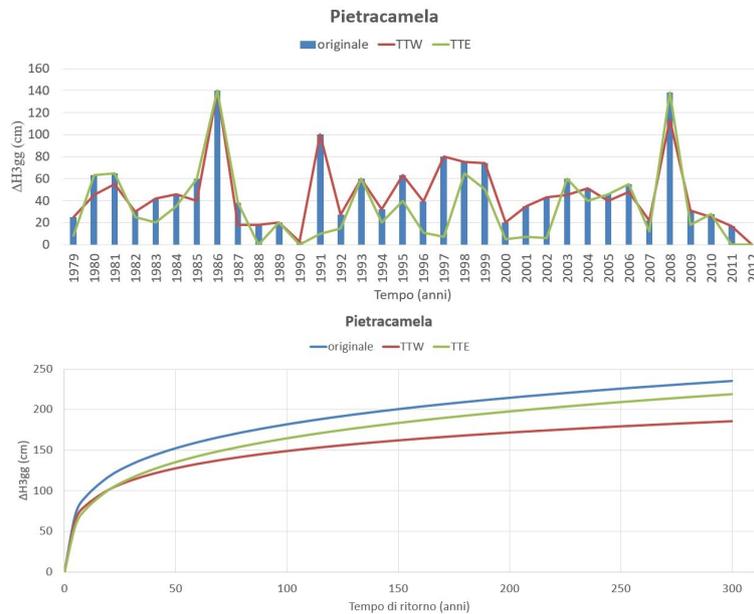


Figura 5.7. Massimi stagionali  $\Delta H_{3gg}$  raggruppati e curve di possibilità nivometrica relative alla stazione di Pietracamela.

### Sant’Eufemia a Maiella

Facente parte della *comunità montana della Majella e del Morrone*, il borgo di Sant’Eufemia sorge lungo la viabilità principale SR487 che collega il comune di Caramanico Terme con il Passo San Leonardo, nei pressi di Roccacaramanico. Posto sul versante occidentale del massiccio della Majella, è anche parte dell’alta Val dell’Orta, immissario del fiume Pescara.

La sua posizione orografica, consente un ottimo riparo dalle perturbazioni orientali, ma è sito a pochi chilometri dal corrispondente massiccio del monte Morrone a ovest.

La sua stazione è a  $888\text{ m s.l.m.}$ , chiaramente caratterizzata dalla presenza dei rilievi limitrofi. Facente parte dell’area Monti, si registrano valori di neve alti rispetto alle altre stazioni in analisi, seppur orograficamente riparata in entrambi i versanti. L’insieme delle curve in *Figura 5.8* evidenzia un comportamento differente rispetto alla stazione di Pietracamela. Sant’Eufemia risente di un’influenza maggiore dalle perturbazioni occidentali, presumibilmente per l’incanalamento delle correnti caratteristiche del Passo San Leonardo e di Campo di Giove.

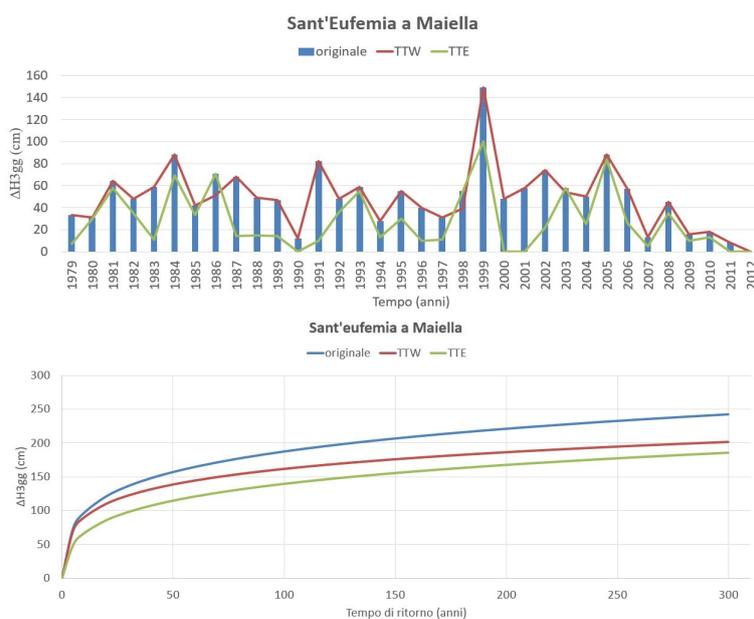


Figura 5.8. Massimi stagionali  $\Delta H_{3gg}$  raggruppati e curve di possibilità nivometrica relative alla stazione di Sant’Eufemia a Maiella.

## Monteale

Nella parte più settentrionale della conca aquilana sorge il centro di Monteale, crocevia lungo la strada statale SS260 nei pressi del lago di Campotosto. Viene considerato il principale centro abitato dell'Alto Aterno, fiume che attraversa la provincia aquilana fino all'immissione nel fiume Pescara.

La relativa stazione meteorologica è situata a 913 m s.l.m. ed è maggiormente esposta ai tipi di tempo occidentali. Contrariamente alle stazioni dell'area Monti, Monteale evidenzia un comportamento tipico delle stazioni dell'area Ovest, con curve più basse principalmente influenzate dalla TTW (Figura 5.9). I valori di progetto sono piuttosto ridotti, probabilmente perché, essendo questa stazione collegata in una conca interna, è parzialmente riparata sia rispetto alle correnti orientali (massiccio del Gran Sasso) sia a quelle occidentali (catena principale appenninica).

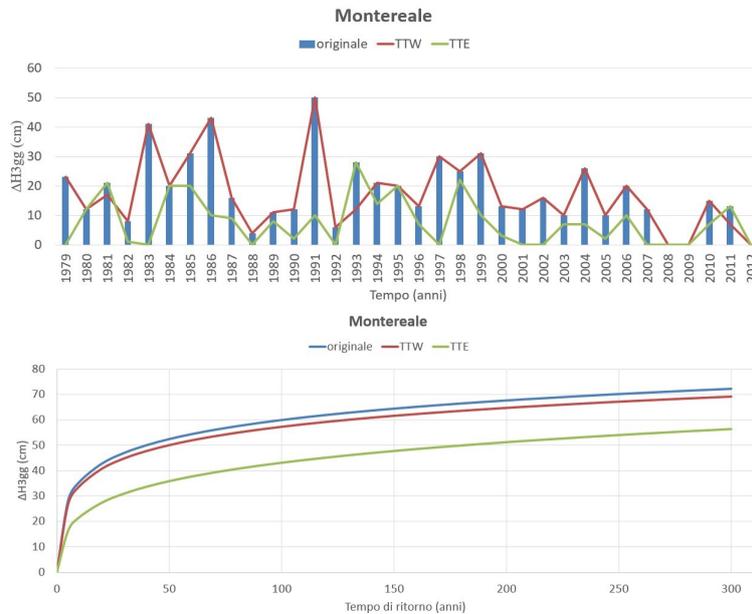


Figura 5.9. Massimi stagionali  $\Delta H_{3gg}$  raggruppati e curve di possibilità nivometrica relative alla stazione di Monteale.

*Vale chiù na tumbire tra magge a april,  
che nu carre d’ore a chi li tire.*



## Capitolo 6

# Mappatura del pericolo per la zona di Villa Santa Lucia

Avendo trovato la relazione statistica tra la distribuzione spaziale del manto nevoso ed il tempo di ritorno di un evento estremo, è utile proporre un'applicazione su un caso reale.

Secondo la procedura AINEVA [9], viene calcolata per ogni sito specifico la matrice di pericolosità tramite il software WEEZARD [28], già sperimentato nelle regioni settentrionali. Inserendo i parametri ambientali e le altezze del manto nevoso nell'innesco, il software fornisce una stima del volume di neve mobilitato. Evidentemente i parametri geometrici sono legati all'esperienza e ad una attenta analisi di sito: è noto che il distacco avviene in condizioni ben specifiche, sia di scabrezza che di pendenza del versante. Questo implica l'integrazione di un'indagine localizzata, grazie alla quale si è in grado di identificare l'area di distacco e la tipologia di terreno del canale di scorrimento (o del versante in cui si sviluppa la valanga).

### 6.0.1 Normativa vigente

Per eseguire una corretta ricostruzione tramite la simulazione dell'avanzamento della valanga, si seguono alcuni passaggi proposti dalla normativa. In questo caso, viene applicato lo stesso metodo della mappatura dei livelli di pericolosità in Trentino, attraverso la matrice di Buwal (*Figura 6.1*) con cui vengono calcolate le zone ad alta, media e bassa pericolosità, mettendo in relazione la magnitudine dell'evento con la probabilità di accadimento.

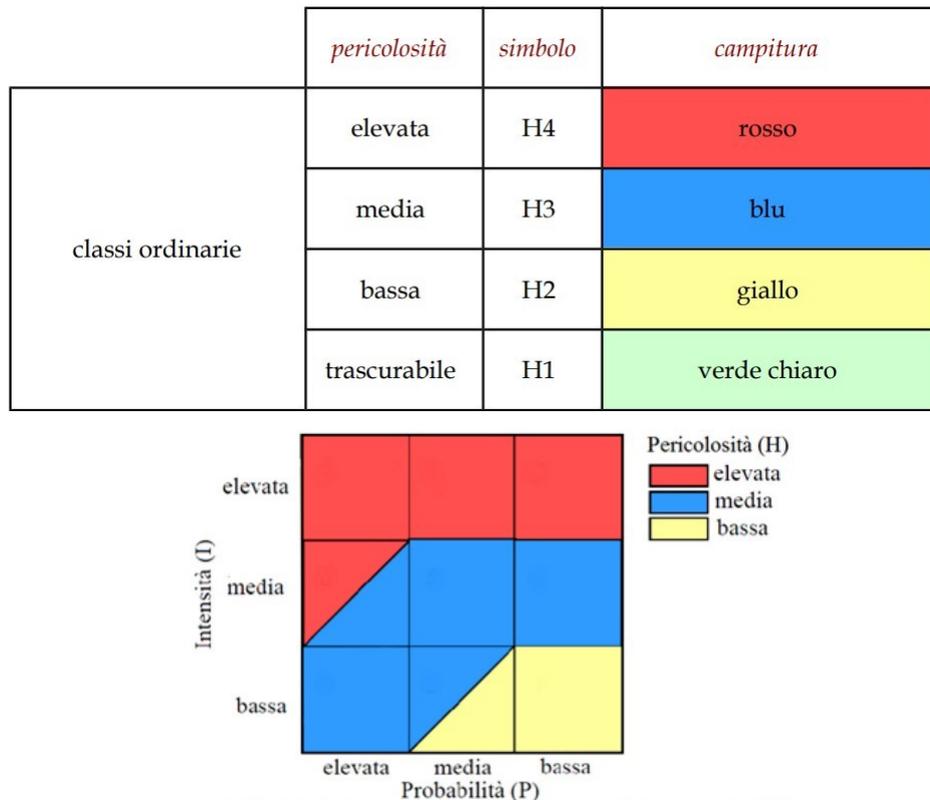


Figura 6.1. Classificazione della pericolosità (*hazard*) e matrice di Buwal.

Si descrive ogni classe di pericolosità per avere una visione pratica della classificazione, omettendo il livello *trascurabile*:

- **H4**: aree in cui l’evento assume intensità elevata, indipendentemente dalla sua probabilità; possono esserci perdite di vite umane, distruzione di strutture, esposizione a grave pericolo delle persone; si tiene conto della difficoltà di attuare efficaci misure di mitigazione;
- **H3**: aree in cui l’evento assume intensità media, o bassa ma con probabilità di accadimento elevata; possono esserci gravi lesioni e disagio per le persone, danni gravi alle strutture, esposizione a grave pericolo all’esterno; si tiene conto della possibilità di attuare efficaci misure di mitigazione;
- **H2**: aree in cui l’evento assume bassa intensità e la cui probabilità di accadimento non supera un valore medio; possono esserci modeste lesioni e disagi per le persone, modesti danni alle strutture, assenza di grave pericolo; si tiene conto della possibilità di attuare efficaci misure di mitigazione del pericolo.

Tramite la procedura vigente si distinguono le tre aree di pericolosità grazie alla pressione calcolata da un modello matematico bidimensionale: la zona ad alta pericolosità (rossa) prevede l'intersezione dell'area che al tempo di ritorno di 30 anni presenta pressioni superiori a  $3 \text{ kPa}$  quella che al tempo di ritorno 100 anni presenta pressioni superiori a  $15 \text{ kPa}$ ; la zona a media pericolosità (blu) si definisce dalla stessa area con pressioni superiori a  $3 \text{ kPa}$  e quella delimitata dal tempo di ritorno di 100 anni con pressioni comprese tra 3 e  $15 \text{ kPa}$ ; infine la zona di bassa pericolosità (gialla) viene definita dall'involuppo della zona di deposito al tempo di ritorno di 300 anni con la pressione inferiore a  $3 \text{ kPa}$  al tempo di ritorno di 100 anni. La *Tabella 6.1* riassume le tre zone in funzione delle aree calcolate nei tempi di ritorno, con i risultati di pressione massima.

Livelli	Tr	intervalli di pressione
ELEVATA	30 anni	$P \geq 3 \text{ kPa}$
(rosso)	100 anni	$P \geq 15 \text{ kPa}$
MEDIA	30 anni	$P > 3 \text{ kPa}$
(blu)	100 anni	$3 \leq P \leq 15 \text{ kPa}$
BASSA	100 anni	$P < 3 \text{ kPa}$
(giallo)	300 anni	<i>deposition</i>

Tabella 6.1. Definizione delle tre zone di pericolosità secondo le linee guida di AINEVA [9].

Le fasi di costruzione della relazione finale sono:

- la relazione tecnica generale, con l'impostazione metodologica e le finalità dello studio;
- la relazione tecnica locale, con l'analisi del sito valanghivo, gli scenari di pericolosità senza effetti delle opere di difesa presenti ed il calcolo delle soglie di allarme per i piani di evacuazione.

Nella descrizione del sito è importante caratterizzare al meglio i parametri ambientali di scabrezza e geometria del suolo, così come la definizione dell'area di distacco e la presunta area di arresto. Quindi vengono identificati dei possibili ostacoli e salti che la valanga potrebbe incontrare lungo il suo canale. Questi parametri ( $\mu$  e  $\xi$ ) vanno a modificare l'evoluzione della velocità e della pressione, definendo una distribuzione puntuale delle pressioni lungo il canale della discesa, fino al deposito nella zona di arresto. L'eq. 6.1 indica la spinta secondo la reologia definita da Voellmy-Salm (1994) col termine di coesione:

$$S = \mu \rho g h \cos \alpha + \frac{\rho g U^2}{\xi} + C(1 - \mu) \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\rho g h \cos \alpha}{C} \right) \right] \quad (6.1)$$

In ultimo, si presenta la mappatura composta dalle tre zone di pericolosità che identificano le classi di pericolosità calcolate con i relativi tempo di ritorno. Il risultato è funzione del

modello utilizzato per la simulazione, che descrive le condizioni al contorno in maniera differente tramite dei parametri di suolo e discretizzazione spaziale.

## 6.0.2 Cenni del software utilizzato

Il sistema Weezard è un modello 2D integrato sulla verticale, bifasico (supponendo isovelocità tra la fase solida e quella liquida) si basa sul modello TRENT2D ponendo le equazioni del bilancio di massa liquida, l'equazione della conservazione della massa solida, l'equazione della conservazione della quantità di moto in direzione  $x$  e  $y$ . Le quattro incognite sono il tirante  $h$ , la quota del fondo  $z_b$  e le velocità  $u$  e  $v$ .

Il recente aggiornamento del software consente la ricostruzione del moto di una massa di neve tramite la definizione delle condizioni al contorno e l'imposizione del fondo fisso (non erodibile). Quindi il sistema di equazioni diventa:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(h + z_b) + \frac{\partial}{\partial x}uh + \frac{\partial}{\partial y}vh = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t}uh + \frac{\partial}{\partial x}\left(u^2h + g(\cos\theta)^2\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}uvh + g(\cos\theta)^2h\frac{\partial}{\partial x}z_b = -\frac{\tau_0^x}{\rho} \\ \frac{\partial}{\partial t}vh + \frac{\partial}{\partial x}uvh + \frac{\partial}{\partial y}\left(v^2h + g(\cos\theta)^2\frac{h^2}{2}\right) + g(\cos\theta)^2h\frac{\partial}{\partial y}z_b = -\frac{\tau_0^y}{\rho} \\ \frac{\partial}{\partial t}z_b = 0 \end{cases} \quad (6.2)$$

Nel caso di valanga le condizioni iniziali sono legate alla definizione delle aree di distacco che sono caratterizzate da un certo *spessore* di neve. Va ricordato che per come è strutturato il modello, lo spessore di neve è valutato lungo la verticale e non lungo la normale al fondo.

Il sistema di equazioni (eq. 6.2) rappresenta il moto 2D su fondo fisso con l'approssimazione di *acqua bassa*. Lo sforzo al fondo è valutato con una reologia di tipo Voellmy-Salm 2D generalizzata (eq. 6.3), proveniente dalla precedente eq. 6.1, ottenendo lo sforzo tangenziale al fondo nelle due direzioni  $\tau_0^x$  e  $\tau_0^y$  [15].

$$\frac{\vec{\tau}_0}{\rho} = \mu hg \frac{\vec{u}}{|\vec{u}|} + g \frac{|\vec{u}|}{\xi} \vec{u} \quad (6.3)$$

Il software Weezard risolve le equazioni del moto con un metodo ai volumi finiti valutando i flussi di entrata e uscita da ogni cella del dominio con l'approccio alla Godunov. Tale teoria consiste nel calcolare i flussi numerici all'interfaccia delle celle considerate risolvendo localmente un problema di Riemann.

L'arresto viene valutato secondo le ipotesi per lo sforzo al fondo nell'equazione della continuità di moto monodimensionale, quindi si ottiene:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(g(\cos\theta)^2\frac{h^2}{2}\right) + gh(\cos\theta)^2\frac{\partial}{\partial x}z_b = -\mu hg \quad (6.4)$$

Tramite la manipolazione della relazione, si arriva a definire la condizione limite per l'instaurarsi del moto, con  $i_n$  pendenza della superficie libera:

$$(\cos \theta)^2 i_n = \mu \quad (6.5)$$

L'eq. 6.5 mette in relazione l'angolo di inclinazione del fondo con le caratteristiche di scabrezza del fondo, definendo la condizione geometrica per cui si ottiene l'arresto della valanga.

## 6.1 Simulazione della valanga di Villa Santa Lucia degli Abruzzi

Il 26 gennaio 2017 il giornale locale *ilCentro* pubblica un titolo sconvolgente date le circostanze di quei giorni:

*Quella slavina che incombe sul borgo di Villa Santa Lucia*

L'articolo di Marianna Gianforte racconta delle difficoltà della cittadinanza di Villa Santa Lucia degli Abruzzi, raggiungibile solo a piedi a causa di una valanga sulla strada SR17bis. Si parla dei tantissimi alberi abbattuti lungo il pendio, chiaro sintomo dell'energia dissipata lungo la discesa della valanga, che ha scongiurato il raggiungimento delle aree residenziali del paese.

*La valanga fa compagnia ad altre 5 slavine, e quasi lambisce il centro abitato*

In queste parole, la giustificazione di evacuare il paese, oltre al bisogno di mettere in sicurezza la zona con opere di difesa dapprima provvisorie, poi definitive grazie all'aiuto della Regione.

### 6.1.1 Breve inquadramento territoriale

La cittadina di Villa Santa Lucia degli Abruzzi è parte della *Comunità montana Campo Imperatore - Piana di Navelli*, nella parte più orientale della provincia de L'Aquila e sorge alle pendici del versante meridionale del Gran Sasso dominando la valle del Tirino. Il centro abitato è circondato da boschi di faggi e querce, ed è attraversato dalla strada regionale SR17bis che collega Ofena a Castel del Monte.

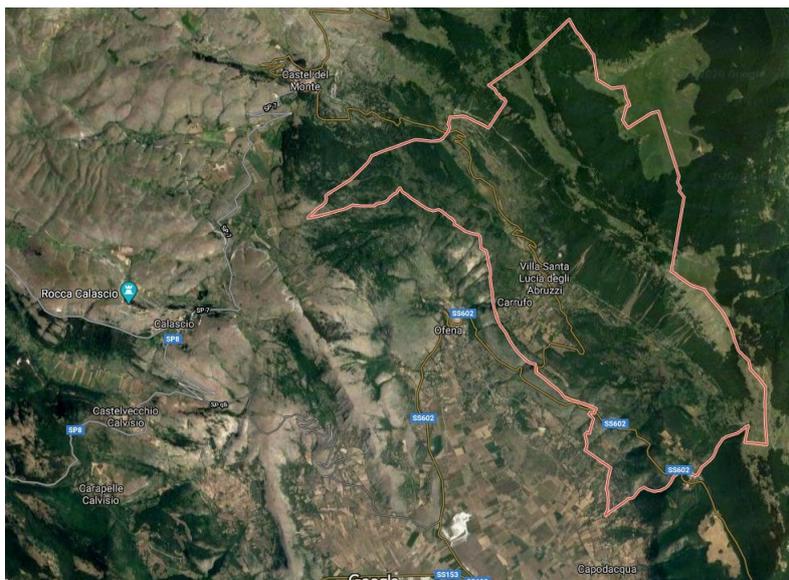


Figura 6.2. Visione satellitare della zona di Villa Santa Lucia degli Abruzzi.

La *Figura 6.2* è un focus sull'area di interesse, in cui si notano i circostanti punti di riferimento come Castel del Monte, Calascio, Ofena e la viabilità locale. Viene delineato il territorio comunale, in cui rientrano i presunti percorsi delle valanghe in esame nella parte orientale.

La raccolta degli eventi storici del corpo nazionale Meteomont [20] non registra alcuna recente valanga nella zona di interesse, essendo limitata al 2013, quindi ci si affida alle testimonianze della popolazione locale ed ai recenti sopralluoghi al fine di definire le carte del pericolo entranti in vigore nell'anno in corso [16].

Grazie alla ricerca dello studio *AIA engineering s.r.l.* dell'ingegner Michele Martinelli, si ipotizzano le aree di distacco della valanga, ovvero uno dei parametri fondamentali per la definizione della simulazione e la costruzione della mappatura del pericolo.

### 6.1.2 Definizione del distacco

La conoscenza dell'area di distacco permette di individuare l'area presumibilmente interessata dalla valanga. Ma per meglio comprendere il fenomeno e delimitare una zona di arresto a valle, è necessario il parametro di altezza di distacco che quantifica il volume di discesa. Questo parametro viene fornito dal modello di calcolo proposto nel *paragrafo 3.5*, in cui si definiscono delle altezze di neve in funzione del tempo di ritorno.

Secondo la normativa svizzera di AINEVA (*paragrafo 6.0.1*) vengono indicati tre valori di altezza di distacco, trovati con la variabile  $\Delta H_{3gg}$  e corrispondenti a un tempo di ritorno di 30, 100 e 300 anni. Nella *Figura 6.3* si presentano le curve relative alla stazione di Villa Santa Lucia, situata a quota  $895 \text{ m s.l.m.}$ : per l'analisi dell'esposizione climatica si evidenzia come la linea rossa TTW sia superiore alla linea verde TTE, classica situazione delle stazioni fortemente influenzate dai tipi di tempo occidentali. Questo perché il sito è ben riparato dal Monte Cappucciata ( $1802 \text{ m s.l.m.}$ ) ad est del centro abitato, mentre esposto alle correnti della valle del Tirino.

Ai fini del calcolo della dimensione del distacco, vengono considerati i valori relativi alla curva azzurra *originale* relativa alla statistica GEV completa ed in favore di sicurezza. Bisogna tener presente che il sito del distacco non è corrispondente alla stazione meteorologica, per cui è necessario un adattamento delle curve come spiegato nel *capitolo 2*, in funzione della differenza di quota e della stima dell'incremento lineare dell'area omogenea Ovest (*Figura B.5*). Quindi si segue l'eq. 2.3, specificandone i termini:

$$\overline{\Delta H_{3gg}_{dist}} = m_{Ovest} \cdot (z_{dist} - z_{staz}) + \overline{\Delta H_{3gg}_{staz}} \quad (6.6)$$



Figura 6.3. Confronto delle tre curve di possibilità, del sito di Villa Santa Lucia.

Dal rilievo effettuato sul campo, si trova che l'area di distacco è posta a circa 1600 *m s.l.m.*, quindi si ha una differenza di quota di 705 *m* rispetto alla stazione di riferimento di Villa Santa Lucia. Nel *paragrafo 3.2* si sono ricavati i coefficienti angolari delle rette di regressione relative all'area Ovest, quindi si è in grado di stimare il valore medio di  $\Delta H_{3gg}$  e le tre curve associate (*Figura 6.4*).

Riprendendo l'eq. 2.3, i valori dei coefficienti derivanti dalla retta di regressione vengono riportati nella *Tabella 6.2*, facendo riferimento alla sola equazione di  $\Delta H_{3gg}$ :

	originale	TTW	TTE
$m_2$	0.0240	0.0236	0.0103
$q_2$	25.0323	24.5806	16.2500

Tabella 6.2. Valori delle medie ( $q_2$ ) e pendenze delle rette ( $m_2$ ) per la stazione di Villa Santa Lucia.

Grazie a questo passaggio, si stimano le medie di altezza neve corrispondenti al sito del distacco:

$$\begin{cases} \overline{\Delta H_{3gg}(orig)} = 41.9523 \text{ cm} \\ \overline{\Delta H_{3gg}(TTW)} = 41.2186 \text{ cm} \\ \overline{\Delta H_{3gg}(TTE)} = 23.5115 \text{ cm} \end{cases} \quad (6.7)$$

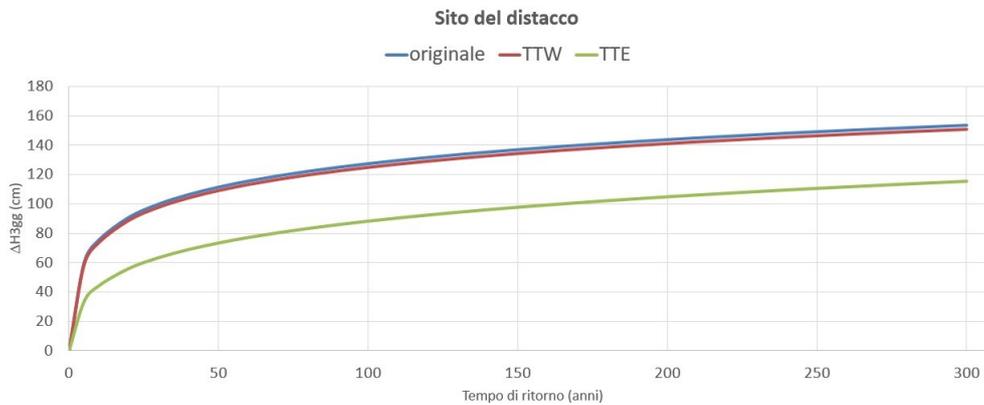


Figura 6.4. Confronto tra le tre curve di possibilità nivometrica, riferite all'area di distacco a quota 1600 *m s.l.m.*

### 6.1.3 Informazioni del Modello Digitale del Terreno

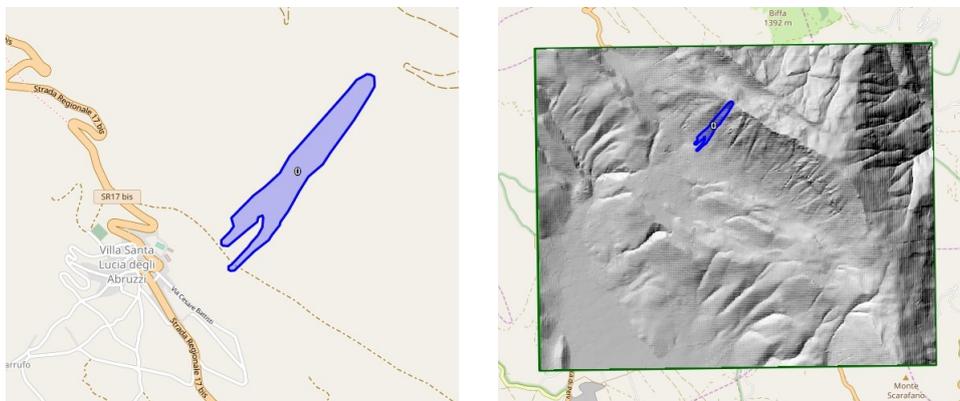
Grazie al portale dei dati aperti della Regione Abruzzo, si accede ai dati geografici del terreno, utilizzabili con un software del tipo ArcGIS [24]. Viene dichiarato che il modello digitale è stato realizzato interpolando i dati altimetrici desunti dalla Carta Tecnica Regionale; la dimensione delle celle è pari a 10 m di lato ed il sistema di riferimento è UTM-WGS84, mentre il formato del file è *GeoTIFF floating point 32bit*.

La Carta Tecnica Regionale di origine ha una scala 1:5000 con un sistema di riferimento *Gauss-Boaga fuso Est*. L'insieme del modello viene creato il 12 dicembre 2007, con una scala equivalente 1:10000 dal sistema di riferimento *ROMA40/EST*. L'accuratezza posizionale è di 3 m; la Carta Tecnica comprende le curve di livello, i punti quotati, le scarpate e l'idrografia.

### 6.1.4 Risultati della simulazione

Le diverse informazioni geografiche utilizzate dal software necessitano di un unico sistema di riferimento compatibile con tutte le mappe e le aree di studio: viene scelto il *WGS84 UTM zone 33N 32633* a cui tutti i file cartografici devono far riferimento.

L'insieme dell'area di studio e delle zone interessate dalla valanga vengono così mappate e riportate in *Figura 6.5*:



(a) Area delimitata del possibile canale di discesa

(b) DTM con il canale di discesa

Figura 6.5. La Carta di *OpenStreetMap* con i file input per il calcolo.

dove il canale in azzurro è lo *shapefile* riguardante l'informazione fornita dal sopralluogo dell'ingegner Martinelli, in cui vengono ipotizzati i canali di discesa della massa dall'area di distacco.

Le informazioni progettuali ricavate dall'elaborato riguardano gli spessori del manto nevoso distaccato per tre livelli di pericolosità. Dalla curva *originale* di *Figura 6.4* si trovano i valori così ordinati:

tempo di ritorno (anni)	$\Delta H_{3gg}$ (cm)
30	100
100	127
300	153

Tabella 6.3. Altezze  $\Delta H_{3gg}$  relative a tre tempi di ritorno secondo le procedure AINEVA.

L'inserimento di tre valori di altezza di distacco comporta il delineamento di tre aree interessate dalla valanga. Così facendo, si ottengono tre simulazioni con intensità differente ma identici condizioni al contorno. La scabrezza del terreno viene ipotizzata ai valori standard, quindi  $\mu = 0.2$ , in assenza di coesione e con densità costante  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ . La pendenza del versante è tenuta in considerazione dal DTM, stimata come  $40^\circ$  per il calcolo dell'altezza di distacco verticale nella definizione del modello matematico.

I dati output della simulazione vengono riportati nel software GIS per essere analizzati: in particolare, si estraggono i punti di pressione massima per le simulazioni al tempo di ritorno 30 e 100 anni, mentre la simulazione con tempo di ritorno 300 anni fornisce il deposito, ovvero il tirante all'ultimo istante di calcolo. Le mappe così ricreate, vengono colorate secondo le norme indicate in *Tabella 6.1* e sovrapposte alla stessa carta in *Open-StreetMap*.

La *Figura 6.6* è il risultato finale della mappatura del pericolo da valanga per la zona di Villa Santa Lucia. Si può notare come i risultati evidenzino una pericolosità, seppur bassa, anche nel centro abitato, contrariamente al canale descritto dai rilievi storici visto nella *Figura 6.5 (a)*.

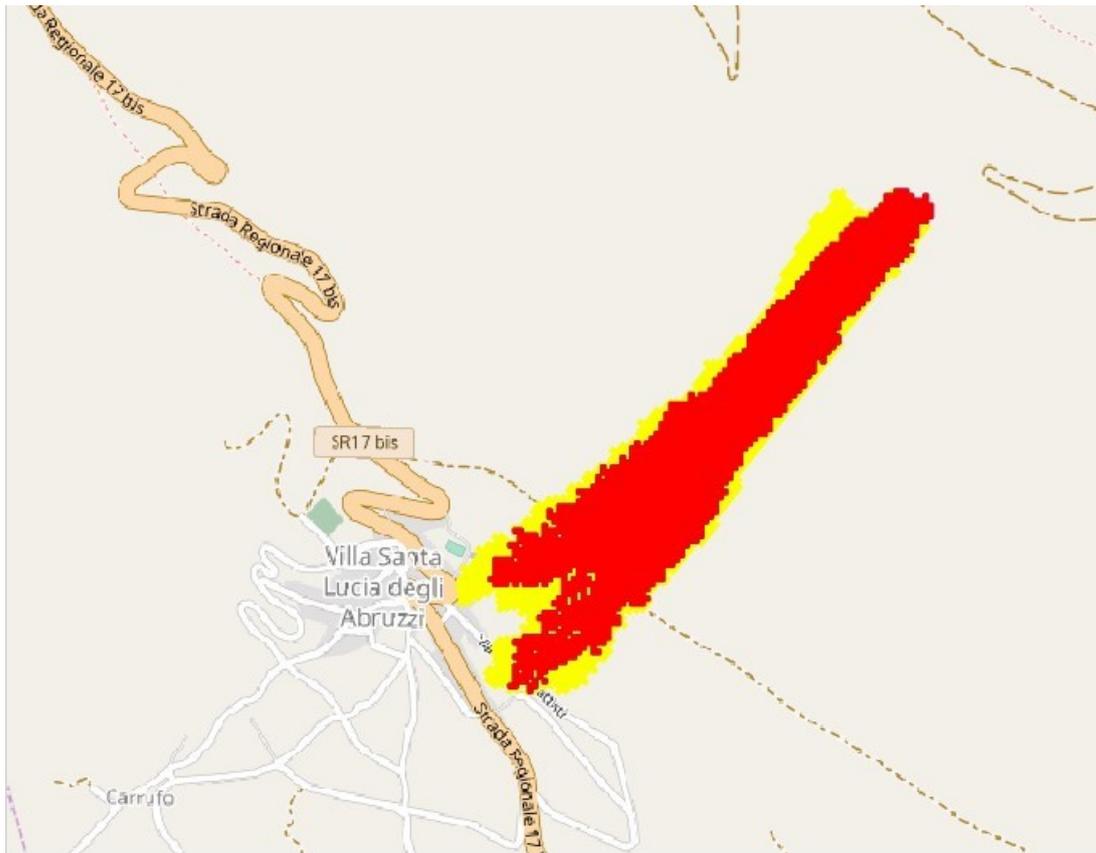


Figura 6.6. Mappatura del pericolo da valanga nella zona di Villa Santa Lucia degli Abruzzi.



## Capitolo 7

# Osservazioni finali e conclusioni

La mappatura del pericolo da valanga in Abruzzo è attualmente assente, ma necessaria per un territorio caratterizzato dalla presenza di numerosi eventi valanghivi. A seguito del disastro di Rigopiano si è attivata una serie di ricerche sul territorio per indagare sui siti più esposti al rischio.

Ormai è noto un effetto del cambiamento climatico, con eventi estremi sempre più frequenti che mettono a dura prova le difese esistenti. Per cui, cresce la necessità di *aggiornare* la tecnica di valutazione del pericolo, affiancando alla statistica matematica un'analisi più fisica del problema.

Tramite l'analisi statistica dei dati di precipitazione nevosa pluriennale, si è raggiunto l'obiettivo principale di determinare l'*altezza di distacco* nell'innesco di valanghe nella regione Abruzzo.

Tramite l'analisi climatologica è stato possibile comprendere l'influenza delle condizioni climatiche sulla distribuzione dei fenomeni di nevicata sul territorio regionale, essendo questo molto eterogeneo. Questo tipo di analisi è caratterizzato dalla determinazione di diverse configurazioni meteorologiche a scala sinottica, al fine di definire la provenienza della perturbazione.

L'elaborato si conclude con un esempio applicativo del risultato ottenuto (*capitolo 6*). La procedura della mappatura del pericolo di valanga consente di definire l'area soggetta a rischio con diversi livelli di pericolosità, facilitando gli interventi con adeguate opere di difesa a monte attraverso le opere di difesa attive. Queste sono progettate in maniera adeguata col parametro di altezza del manto nevoso  $H_S$ . Gli interventi passivi vengono attuati nella zona di arresto grazie alla pianificazione urbanistica e al piano per la gestione dell'emergenza.

La raccolta dati (*paragrafo 3.1*) è un passaggio delicato per un risultato di tale rilievo: l'elaborato proposto ha lo scopo di cercare un metodo applicabile grazie ad un elevato numero di dati, ma attualmente la rete di stazioni meteorologiche ufficiali non è ancora in grado di soddisfare la sufficiente richiesta. In tal proposito, si ribadisce la finalità

accademica e si invita all'accuratezza della raccolta dei dati futuri grazie alle moderne tecnologie di rilevamento.

L'ipotesi iniziale di dividere il territorio nelle tre aree omogenee Est, Monti e Ovest (*Figura 3.5*) è frutto di considerazioni legate all'orografia della regione: una divisione in due zone A e B (*Figura 3.4*) non avrebbe consentito di dividere il territorio in sottoaree omogenee. L'ipotesi dello studio è stata avvalorata dalle risposte differenziate viste nel *capitolo 5* rispetto alla direzione prevalente dei venti.

Nel *capitolo 5* viene mostrato come il risultato della statistica *originale* sia a favore di sicurezza, fornendo dati progettuali sempre più alti rispetto alle analisi con i tipi di tempo. Questo dettaglio può essere visto anche come *ottimizzazione* delle opere di difesa: alcune stazioni sono più soggette a nevicate estreme rispetto ad altre in funzione della direzione della perturbazione. Il trend storico evidenzia come la quota del limite di neve stia aumentando, con una diminuzione della nevosità alle quote medio-basse nell'ultimo decennio.

Nel *paragrafo 5.5* vengono confrontati i risultati di alcuni siti indicativi per i diversi comportamenti delle stazioni. Si ribadisce come la natura fisica spaziale è fortemente correlata alla natura matematica temporale: le curve specifiche per i tipi di tempo dipendono dall'esposizione, nonché dal riparo, del sito in esame agli eventi atmosferici.

Sulla scala a breve termine, un bollettino valanghe più esaustivo potrebbe essere favorito dalla conoscenza della circolazione a scala sinottica. Un sito esposto alla direzione di provenienza del vento, con previsioni di precipitazione nevosa, potrebbe essere soggetto ad una attenzione particolare rispetto ad un sito nel versante opposto. In questo modo la gestione delle emergenze potrebbe essere ottimizzata nel territorio, fornendo ai centri più soggetti a rischio le necessarie misure di sicurezza.