



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

Dipartimento di Georisorse e Territorio

Tesi di Laurea

LE VALANGHE :
OPERE DI DIFESA E CRITERI PER LA
PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO.

Relatrice:

Prof.ssa Grazia MARTELLI

Laureando:

Simone DRIUTTI

ANNO ACCADEMICO 2003-2004

SOMMARIO

L'ambito riguardante le problematiche connesse alla difesa del territorio montano dal distacco delle valanghe di neve fa parte di un settore tecnico-scientifico che fino a pochi decenni fa era ancora latente e poco conosciuto. Anche se la maggior parte della copertura nevosa interessa il territorio per un numero limitato di mesi all'anno, non vanno assolutamente sottovalutate le potenzialità distruttive degli eventi valanghivi, la cui attività di prevenzione dipende da un elevatissimo numero di parametri, spesso di difficile valutazione. Lo stesso arco alpino italiano denota da sempre una rilevante presenza di fenomeni valanghivi che, nel corso degli anni, hanno indotto la Pubblica Amministrazione a farsi carico della predisposizione di validi strumenti di pianificazione e difesa del territorio. È nata così nel 1983 l'A.I.NE.VA (Associazione Interregionale Neve e Valanghe), allo scopo di garantire il coordinamento dell'attività autonoma regionale e provinciale rivolta alla gestione del pericolo valanghe.

La stesura del seguente documento vede la sua motivazione principale nella necessità di produrre "un'istantanea" di carattere generale sull'attuale stato delle conoscenze teorico-tecniche relative al fenomeno nevoso e valanghivo e alle modalità di gestione del rischio e della progettazione delle opere di difesa, con una particolare attenzione all'ambito territoriale nazionale.

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 1 |
| 2 | ASPETTI METEO - CLIMATICI | 5 |
| 2.1 | TIPI DI CLIMA | 5 |
| 2.2 | IL VENTO | 6 |
| 2.2.1 | Componente orizzontale | 6 |
| 2.2.2 | Componente verticale | 6 |
| 2.2.3 | La convezione ciclonica | 7 |
| 2.2.4 | Innalzamento frontale | 8 |
| 2.2.5 | Innalzamento orografico | 10 |
| 2.2.6 | Convezione | 10 |
| 2.2.7 | Direzione e velocità del vento | 10 |
| 2.2.8 | Profili verticali del vento | 13 |
| 2.3 | LE PRECIPITAZIONI | 16 |
| 2.4 | TRASPORTO DELLA NEVE DA PARTE DEL VENTO | 16 |
| 2.4.1 | Sistemi di trasporto eolico | 17 |
| 2.4.2 | Deposito della neve sul pendio sottovento | 17 |
| 2.5 | SCAMBIO TERMICO | 19 |
| 2.5.1 | Irraggiamento | 20 |
| 3 | FORMAZIONE DELLA NEVE E DEL MANTO NEVOSO | 23 |
| 3.1 | FORMAZIONE DEI CRISTALLI DI NEVE NELL'ATMOSFERA | 23 |
| 3.2 | CLASSIFICAZIONE DEI CRISTALLI DI NEVE FRESCA | 26 |
| 3.3 | BRINA DI SUPERFICIE | 26 |
| 3.4 | CONDIZIONI DEL MANTO NEVOSO | 29 |
| 3.5 | TIPI DI METAMORFISMO DELLA NEVE | 30 |
| 3.6 | NEVE ASCIUTTA | 31 |
| 3.6.1 | Metamorfismo | 31 |
| 3.6.2 | La forma di cristalli | 32 |
| 3.6.3 | Formazione dei legami | 36 |
| 3.7 | NEVE BAGNATA | 38 |
| 3.7.1 | Metamorfismo | 38 |
| 3.7.2 | Formazione dei legami | 41 |
| 3.8 | CLASSIFICAZIONE INTERNAZIONALE DELLA NEVE STAGIONALE PRESENTE AL SUOLO | 42 |
| 3.8.1 | Caratteristiche della neve al suolo | 43 |
| 3.8.1.1 | Densità. Simbolo generale: ρ | 43 |
| 3.8.1.2 | Forma dei grani. Simbolo generale: F | 44 |
| 3.8.1.3 | Dimensione dei grani. Simbolo generale: E | 44 |
| 3.8.1.4 | Contenuto in acqua liquida. Simbolo generale: θ | 44 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.8.1.5 | <i>Impurità. Simbolo generale: J</i> | 45 |
| 3.8.1.6 | <i>Resistenza della neve. Simbolo generale: Σ</i> | 46 |
| 3.8.1.7 | <i>Durezza della neve. Simbolo generale: R</i> | 46 |
| 3.8.1.8 | <i>Temperatura della neve. Simbolo generale: T</i> | 47 |
| 3.8.1.9 | <i>Spessore degli strati. Simbolo generale: L</i> | 47 |
| 3.8.2 | Altre misurazioni sulla neve al suolo | 47 |
| 3.8.2.1 | <i>Rugosità superficiale. Simbolo generale: S</i> | 48 |
| 3.8.2.2 | <i>Penetrabilità (Capacità della superficie nevosa di sopportare compressioni). Simbolo generale: P</i> | 48 |
| 3.8.2.3 | <i>Equivalente in acqua. Simbolo generale: HW</i> | 49 |
| 3.8.2.4 | <i>Esposizione. Simbolo generale: AS</i> | 49 |
| 3.8.3 | Lista dei simboli | 49 |
| 4 | TIPOLOGIA E FORMAZIONE DELLE VALANGHE | 51 |
| 4.1 | CLASSIFICAZIONE DELLE VALANGHE E STATI DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE | 51 |
| 4.1.1 | Sollecitazioni e deformazioni all'interno del manto nevoso | 52 |
| 4.1.2 | Resistenza al taglio della neve | 59 |
| 4.1.3 | Principali proprietà che determinano la resistenza al taglio della neve | 60 |
| 4.2 | VALANGHE DI NEVE A SCARSA COESIONE | 61 |
| 4.3 | VALANGHE DI LASTRONI | 64 |
| 4.3.1 | Nomenclatura del lastrone e del percorso della valanga | 66 |
| 4.3.1.1 | <i>Lastrone</i> | 66 |
| 4.3.1.2 | <i>Percorso della valanga</i> | 67 |
| 4.3.2 | Valanghe di lastroni di neve asciutta | 68 |
| 4.3.3 | Formazione delle valanghe di lastroni | 72 |
| 4.3.4 | Valanghe di lastroni di neve bagnata | 76 |
| 4.3.4.1 | <i>Valanghe di neve fradicia</i> | 77 |
| 4.4 | VALANGHE DI GHIACCIO | 78 |
| 5 | DINAMICA DEGLI EVENTI VALANGHIVI | 79 |
| 5.1 | ZONE CARATTERISTICHE DEL PERCORSO DI UNA VALANGA | 79 |
| 5.1.1 | La zona di distacco | 80 |
| 5.1.2 | La zona di scorrimento | 83 |
| 5.1.3 | La zona di accumulo | 86 |
| 5.2 | LA DINAMICA DEL FENOMENO VALANGHIVO | 86 |
| 5.2.1 | Il movimento delle valanghe di neve a scarsa coesione | 86 |
| 5.2.2 | Il movimento delle valanghe di neve bagnata | 89 |
| 5.2.3 | Dimensioni del fenomeno | 90 |
| 5.2.4 | Dinamica: analogie con il moto dei fluidi | 93 |
| 5.2.5 | Velocità | 96 |
| 5.2.5.1 | <i>Distribuzione della velocità</i> | 100 |
| 5.2.6 | Altezza dello strato di neve in movimento | 101 |
| 5.2.7 | Variazioni di inclinazione | 104 |
| 5.2.8 | Onda di propagazione dell'aria | 105 |
| 5.2.9 | Valutazione della distanza di arresto | 108 |
| 5.2.9.1 | <i>Stima analitica della distanza di arresto</i> | 110 |
| 5.2.10 | <i>Conseguenze del deposito e sue caratteristiche</i> | 112 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.2.11 | Effetti della pressione e della spinta..... | 115 |
| 5.2.12 | Bilancio delle forze in gioco in funzione del tipo di neve..... | 124 |
| 5.2.13 | Effetto della valanga sugli oggetti..... | 127 |
| 5.2.14 | Fenomeno del risucchio..... | 128 |
| 5.3 | INTEGRAZIONE DI SALM ALLA MODELLISTICA DI VOELLMY..... | 129 |
| 5.3.1 | Variazione dei parametri in gioco..... | 130 |
| 5.4 | MODELLO ALTERNATIVO A QUELLO DI VOELLMY..... | 131 |
| 5.4.1 | Modello del profilo..... | 131 |
| 5.4.2 | Equazioni del moto..... | 132 |
| 5.4.3 | Soluzione numerica..... | 133 |
| 5.5 | ESEMPI DI CALCOLO..... | 135 |
| 5.5.1 | Studio della valanga di Battleship: Strada 550, a sud del Passo di Red Mountain, Colorado..... | 135 |
| 5.5.2 | Calcolo della distanza di arresto in funzione dei parametri topografici del pendio: applicazione al territorio montano della Regione Veneto..... | 140 |
| 5.5.2.1 | <i>Ambito dell'indagine, scelta dei dati e descrizione dei parametri di calcolo</i> | 140 |
| 5.5.2.2 | <i>Elaborazioni e risultati</i> | 143 |
| 5.5.2.3 | <i>Utilizzo delle relazioni</i> | 150 |
| 5.5.3 | Esempi reali di analisi valanghiva nella Regione Friuli Venezia Giulia..... | 151 |
| 5.5.3.1 | <i>Valanga Baita Winkel - Comune di Pontebba (UD)</i> | 151 |
| 5.5.3.1.1 | Analisi del terreno..... | 151 |
| 5.5.3.1.2 | Analisi della valanga..... | 152 |
| 5.5.3.1.3 | Analisi dell'altezza della neve..... | 153 |
| 5.5.3.2 | <i>Valanga Rio Tschopfen - Comune di Tarvisio (UD)</i> | 159 |
| 5.5.3.2.1 | Analisi del terreno..... | 159 |
| 5.5.3.2.2 | Analisi della valanga..... | 159 |
| 5.5.3.2.3 | Definizione dell'altezza di neve..... | 161 |
| 6 | VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEL MANTO NEVOSO E MISURAZIONI IN SITO..... | 165 |
| 6.1 | IL MANTO NEVOSO: LE SOLLECITAZIONI, LA STABILITÀ, I METODI DI VALUTAZIONE..... | 165 |
| 6.2 | NATURA DEGLI ELEMENTI DI VALUTAZIONE DISPONIBILI..... | 167 |
| 6.3 | RACCOLTA DEI DATI..... | 168 |
| 6.4 | ANALISI DEI DATI..... | 169 |
| 6.4.1 | Tecniche di ausilio..... | 169 |
| 6.5 | CLASSE I: FATTORI DI STABILITÀ..... | 170 |
| 6.5.1 | Test di stabilità..... | 172 |
| 6.5.1.1 | <i>Test semplici di scialpinismo</i> | 175 |
| 6.5.1.1.1 | Test del sondaggio (Probing test)..... | 175 |
| 6.5.1.2 | <i>Test con gli sci</i> | 175 |
| 6.5.1.3 | <i>Test con gli esplosivi</i> | 176 |
| 6.5.1.4 | <i>Test del blocco di slittamento</i> | 177 |
| 6.5.1.5 | <i>Test del blocco di "riempimento" (Stuffblock test)</i> | 178 |
| 6.5.1.6 | <i>Test di compressione per la stabilità della neve</i> | 182 |
| 6.5.1.7 | <i>Test di cedimento</i> | 186 |
| 6.5.1.8 | <i>Test della tavola inclinata</i> | 186 |
| 6.5.1.9 | <i>Test del telaio</i> | 187 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.5.1.10 | <i>Test con la pala</i> | 188 |
| 6.5.1.11 | <i>Indice svizzero per il distacco causato dal passaggio di sciatori</i> | 191 |
| 6.5.1.12 | <i>Esempi di scale di classificazione della stabilità del manto nevoso</i> | 194 |
| 6.6 | CLASSE II: FATTORI LEGATI AL MANTO NEVOSO | 196 |
| 6.6.1 | Valanghe cadute in passato | 196 |
| 6.6.2 | Spessore del manto nevoso | 196 |
| 6.6.3 | Penetrabilità della superficie | 198 |
| 6.6.4 | Temperatura della neve | 199 |
| 6.6.5 | Emissioni acustiche | 200 |
| 6.6.6 | Movimenti lenti del manto nevoso | 201 |
| 6.6.7 | Struttura del manto nevoso | 201 |
| 6.6.7.1 | <i>Profilo stratigrafico formale</i> | 201 |
| 6.6.7.2 | <i>Profilo penetrometrico</i> | 205 |
| 6.6.8 | Sondaggio empirico | 208 |
| 6.6.8.1 | <i>Test del bastoncino</i> | 208 |
| 6.6.8.2 | <i>Radar</i> | 209 |
| 6.6.9 | Interpretazione della struttura del manto | 209 |
| 6.6.9.1 | <i>Presenza di strati deboli</i> | 209 |
| 6.6.9.2 | <i>Resistenza degli strati deboli</i> | 209 |
| 6.6.9.3 | <i>Carico sugli strati deboli e durezza della neve sopra di essi</i> | 211 |
| 6.6.10 | Esempi di interpretazione della struttura della neve | 211 |
| 6.7 | CLASSE III: FATTORI METEOROLOGICI | 214 |
| 6.7.1 | Condizione della superficie | 214 |
| 6.7.2 | Spessore ed equivalente in acqua della neve fresca | 214 |
| 6.7.2.1 | <i>Raccolta dei dati</i> | 215 |
| 6.7.2.2 | <i>Interpretazione dei dati</i> | 215 |
| 6.7.3 | Tipo di neve fresca | 215 |
| 6.7.4 | Densità della neve fresca | 217 |
| 6.7.5 | Intensità delle nevicate e delle precipitazioni | 218 |
| 6.7.6 | Assestamento della neve fresca | 219 |
| 6.7.7 | Velocità e direzione del vento | 220 |
| 6.7.8 | Temperatura dell'aria | 221 |
| 6.7.9 | Altri parametri | 222 |
| 6.8 | NATURA DEI DATI | 223 |
| 6.9 | MISURE DI PRESSIONE DELLA NEVE E CONFRONTO CON I MODELLI TEORICI | 223 |
| 6.9.1 | Metodi sperimentali | 223 |
| 6.9.2 | Risultati e modelli teorici | 224 |
| 6.9.3 | Confronto con le previsioni teoriche | 227 |
| 7 | RISCHIO, PREVISIONE E ZONIZZAZIONE | 231 |
| 7.1 | FREQUENZA E TEMPO DI RITORNO DELLE VALANGHE | 231 |
| 7.1.1 | Frequenza delle valanghe in base alla vegetazione | 235 |
| 7.1.2 | Influenze climatiche e morfologiche | 237 |
| 7.2 | CONCETTO DI RISCHIO | 239 |
| 7.3 | CONCETTO E SCALA DI PERICOLO | 241 |
| 7.3.1 | La scala europea del pericolo di valanghe | 242 |

| | |
|--|------------|
| 7.4 LA CARTOGRAFIA DELLE VALANGHE | 246 |
| 7.4.1 La Cartografia delle valanghe: le origini | 246 |
| 7.4.2 Metodologia | 247 |
| 7.4.3 La veste grafica | 248 |
| 7.4.4 Impiego e aggiornamenti | 249 |
| 7.5 LA NUOVA CARTA DI LOCAZIONE PROBABILE DELLE VALANGHE | 250 |
| 7.5.1 Fasi di realizzazione della C.L.P.V. | 252 |
| 7.5.1.1 Fase preliminare | 253 |
| 7.5.1.2 Prima fase: la fotointerpretazione | 253 |
| 7.5.1.3 Preparazione dell'inchiesta sul terreno | 254 |
| 7.5.1.4 Seconda fase: inchiesta sul terreno | 255 |
| 7.5.1.5 Fase finale | 257 |
| 7.5.2 Legenda e scala della carta | 257 |
| 7.5.3 Significato ed utilizzazione | 261 |
| 7.5.4 Sviluppi dell'attività cartografica | 262 |
| 7.5.4.1 Informatizzazione delle C.L.P.V. | 262 |
| 7.5.5 Il significato e i limiti della Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe | 263 |
| 7.6 ZONIZZAZIONE: STRUMENTI DI GESTIONE URBANISTICA DEGLI INSEDIAMENTI | 264 |
| 7.6.1 Il caso del Veneto | 265 |
| 7.6.1.1 Assunzione delle zone a rischio | 265 |
| 7.6.1.2 Applicazione della metodologia | 267 |
| 7.7 UN CASO PRATICO: DESCRIZIONE DELL'INTERA PROCEDURA DI ZONIZZAZIONE | 270 |
| 7.7.1 Archiviazione dei dati disponibili sulle valanghe relative al sito | 271 |
| 7.7.2 Realizzazione di un Piano delle Zone Esposte alle Valanghe (P.Z.E.V.) mediante l'uso di un GIS | 272 |
| 7.7.2.1 Studio della dinamica delle valanghe mediante metodo deterministico | 274 |
| 7.7.2.2 Calcolo della distanza d'arresto delle valanghe mediante metodo statistico | 277 |
| 7.7.2.3 Stima della distanza di arresto mediante metodo empirico | 279 |
| 7.7.2.4 Piano delle Zone Esposte al Pericolo di Valanga | 281 |
| 7.7.2.5 Valutazioni conclusive | 283 |
| 7.8 ELEMENTI DI PREVISIONE DELLE VALANGHE | 283 |
| 7.8.1 Previsione tradizionale | 284 |
| 7.8.2 Previsione numerica | 285 |
| 7.8.3 I GIS nel contesto della previsione valanghe | 286 |
| 7.8.3.1 Esempio: area di studio e dati utilizzati | 288 |
| 7.8.3.2 Modellazione del rischio con riferimento alle condizioni del manto nevoso | 290 |
| 7.8.3.3 Modellazione del fattore di rischio legato all'inclinazione | 292 |
| 7.8.3.4 Modellazione del fattore di rischio legato alle condizioni del terreno | 292 |
| 7.8.3.5 Previsione spaziale del rischio | 293 |
| 7.8.4 I bollettini di previsione del pericolo di valanghe | 296 |
| 7.8.4.1 Formazione dei bollettini | 298 |
| 7.8.4.2 L'utenza | 300 |
| 7.8.4.3 Utilità e limiti dei bollettini | 301 |
| 7.8.4.4 Relazione fra il grado di pericolo dei bollettini valanghe e gli incidenti | 301 |
| 8 LA PREVENZIONE E LE OPERE DI DIFESA DALLE VALANGHE | 305 |
| 8.1 DIFESA CONTRO LE VALANGHE | 305 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 8.1.1 | Assunzione della decisione e del rischio accettabile | 306 |
| 8.2 | LA DIFESA PREVENTIVA | 307 |
| 8.2.1 | Sistemi di rilevamento delle valanghe | 308 |
| 8.2.2 | Evacuazione | 309 |
| 8.2.3 | Restrizioni nell'uso del territorio | 311 |
| 8.2.4 | Stabilizzazione del manto per compattamento | 311 |
| 8.2.5 | Distacco artificiale mediante esplosivi | 311 |
| 8.2.5.1 | <i>Sistemi di piazzamento degli esplosivi con cariche a mano</i> | 315 |
| 8.2.5.1.1 | Distacco controllato di una cornice di neve | 316 |
| 8.2.5.1.2 | Uso delle teleferiche | 317 |
| 8.2.5.1.3 | Cariche prepiazzate | 318 |
| 8.2.5.2 | <i>Uso degli esplosivi in Italia</i> | 319 |
| 8.2.5.3 | <i>Gaz-ex: detonatori a gas</i> | 319 |
| 8.2.5.4 | <i>Distacco artificiale mediante il sistema AVALHEX</i> | 321 |
| 8.2.5.4.1 | La centrale dei gas del sistema AVALHEX | 323 |
| 8.2.5.4.2 | Connessione tra la centrale dei gas e l'esplosore del sistema AVALHEX | 324 |
| 8.2.5.4.3 | La stazione meteo del sistema AVALHEX | 325 |
| 8.2.5.4.4 | Organizzazione generale | 326 |
| 8.3 | LE OPERE DI DIFESA | 327 |
| 8.3.1 | La difesa attiva | 328 |
| 8.3.1.1 | <i>Opere di stabilizzazione del manto nevoso nella zona di distacco</i> | 330 |
| 8.3.1.1.1 | Considerazioni generali sul calcolo delle sollecitazioni | 332 |
| 8.3.1.1.2 | Aspetti normativi riguardanti la pressione sulle opere | 335 |
| 8.3.1.1.3 | Sollecitazioni dinamiche e statiche | 336 |
| 8.3.1.1.4 | Altezza delle strutture | 338 |
| 8.3.1.1.5 | Distanziamento tra le strutture | 338 |
| 8.3.1.1.6 | Reti da neve | 339 |
| 8.3.1.1.7 | Ponti da neve | 344 |
| 8.3.1.1.8 | Terrazzamenti nelle zone di distacco | 350 |
| 8.3.1.2 | <i>Opere per il controllo della neve trasportata dal vento</i> | 351 |
| 8.3.1.2.1 | Barriere da neve | 352 |
| 8.3.1.2.2 | I deflettori del vento | 355 |
| 8.3.1.3 | <i>Funzione di controllo del bosco</i> | 359 |
| 8.3.1.4 | <i>Un sistema innovativo: gli Snowgripper</i> | 361 |
| 8.3.1.4.1 | Tecnica e montaggio | 361 |
| 8.3.2 | La difesa passiva | 364 |
| 8.3.2.1 | <i>Opere di deviazione</i> | 364 |
| 8.3.2.1.1 | Muri dritti di deviazione | 367 |
| 8.3.2.1.2 | Muri di deviazione curvi | 372 |
| 8.3.2.1.3 | Volume e costo dei muri di deviazione in terra | 375 |
| 8.3.2.1.4 | Opere di guida: esempio numerico | 375 |
| 8.3.2.2 | <i>Opere di rallentamento e di arresto</i> | 377 |
| 8.3.2.2.1 | Progettazione delle opere di rallentamento | 380 |
| 8.3.2.3 | <i>Opere di intercettazione</i> | 382 |
| 8.3.2.3.1 | Volume di invaso per l'accumulo di neve | 383 |
| 8.3.2.3.2 | Riduzione della velocità e della lunghezza della zona di accumulo | 385 |
| 8.3.2.4 | <i>Opere di protezione diretta</i> | 385 |
| 8.3.2.4.1 | Progettazione delle opere di protezione diretta | 386 |
| 8.3.2.5 | <i>Uso integrato di categorie diverse di opere di difesa</i> | 401 |
| 8.3.3 | Considerazioni sull'attività di progettazione delle opere di difesa dalle valanghe | 402 |
| 8.3.3.1 | <i>Scelta del tipo di opera e dei materiali da costruzione</i> | 405 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 9 | ESEMPI DI OPERE DI DIFESA DALLE VALANGHE | 409 |
| 9.1 | OPERE DI DIFESA NELL'AREA VALANGHIVA DI STANLEY, COLORADO | 409 |
| 9.1.1 | Strisciamento e slittamento del manto nevoso | 410 |
| 9.1.2 | Considerazioni nivo-geologiche | 411 |
| 9.1.3 | Tipi di opere consigliate nel progetto di difesa dalla valanga di Stanley | 414 |
| 9.1.4 | Disposizione delle opere per la difesa dalla Valanga di Stanley | 415 |
| 9.1.5 | Progettazione delle opere nel Progetto di Stanley | 418 |
| 9.1.5.1 | <i>Calcolo delle pressioni della neve nel caso di struttura integrata muro-barriera da neve</i> | 420 |
| 9.1.5.2 | <i>Calcolo delle pressioni della neve nel caso del ponte da neve</i> | 422 |
| 9.1.5.2.1 | Pressione della neve per la prima ipotesi di carico (Direttive, artt. 47-50, Appendice B) | 422 |
| 9.1.5.2.2 | Pressione della neve per la seconda ipotesi di carico (Direttive, artt. 47-50, Appendice B) | 425 |
| 9.2 | BARRIERE A FUNI PARALLELE: ESEMPIO DI UTILIZZO NELLA REGIONE LOMBARDA | 429 |
| 9.2.1 | Misurazione del valore di spinta | 436 |
| 9.2.2 | Modello analitico: cenni | 436 |
| 9.2.3 | Risultati sperimentali | 443 |
| 9.2.4 | Comparazione dei costi | 448 |
| 9.3 | ASPETTI TECNICO-ECONOMICI RELATIVI ALL'IMPIEGO DELLE RETI DA NEVE NELLA REGIONE VENETO | 449 |
| 9.3.1 | Caratteristiche delle reti da neve | 449 |
| 9.3.2 | Il tracciamento delle file | 450 |
| 9.3.3 | Tipologia e modalità esecutive delle fondazioni e degli ancoraggi | 450 |
| 9.3.4 | Aspetti economici | 451 |
| 9.4 | OPERE FRANGIVENTO INTERVENTO SPERIMENTALE A PROTEZIONE DELLA S.S. 638 DEL PASSO GIAU | 453 |
| 9.4.1 | FASE A | 453 |
| 9.4.2 | FASE B | 454 |
| 9.4.3 | FASE C | 455 |
| 9.5 | OPERE TEMPORANEE DI STABILIZZAZIONE DEL MANTO NEVOSO: RASTRELLIERE DA NEVE SUL MONTE SPINALE IN PROVINCIA DI TRENTO | 456 |
| 9.5.1 | Descrizione dell'intervento | 456 |
| 9.5.2 | Descrizione di una singola rastrelliera | 459 |
| 9.6 | BREVE RECENSIONE DELLE OPERE DI DIFESA DALLE VALANGHE NELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA | 462 |
| 9.6.1 | Casera Pramodio – Paluzza, Udine: cuneo spartivalanga | 462 |
| 9.6.2 | Casera Tarondut – Ravascletto, Udine: cuneo deviatore | 463 |
| 9.6.3 | Cleulis - Paluzza, Udine: ponti da neve in ferro | 463 |
| 9.6.4 | Casera Morareto - Forni Avoltri, Udine: ponti da neve in ferro | 463 |
| 9.6.5 | Casera Auernig - Passo Pramollo, Pontebba, Udine: cumuli dissipatori | 467 |
| 9.6.6 | Tamaroz - Chiusaforte, Udine: argine deviatore | 468 |
| 9.6.7 | Drenchia, Udine: reti da neve | 470 |
| 9.6.8 | Chiusaforte, Udine: galleria paravalanghe chiusa | 472 |
| 9.6.9 | Sauris di sopra, Udine | 473 |
| 9.6.10 | Timau, Paluzza – Udine: diga di contenimento | 475 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 10 CONCLUSIONI | 479 |
| RINGRAZIAMENTI | 480 |
| BIBLIOGRAFIA | 481 |
| APPENDICE A | 485 |
| APPENDICE B | 489 |

1 INTRODUZIONE

Il problema fondamentale di cui deve farsi carico ogni ente pubblico preposto, è quello della tutela e pianificazione delle attività che si sviluppano all'interno di un determinato ambito territoriale. Qualora questo ambito risulti soggetto con una certa frequenza agli effetti indotti da particolari calamità naturali, vige l'obbligo di portare a livelli minimi le condizioni di rischio affinché le attività sopra citate non subiscano danni permanenti, con conseguenze gravose per l'intero tessuto socio-economico. Come in moltissimi altri campi, anche nel caso specifico degli eventi valanghivi ci si trova a dover intervenire con i mezzi disponibili per cercare di prevenire, monitorare o annullare gli effetti devastanti di forze naturali molto spesso ingestibili. Le soluzioni atte ad ottenere un certo grado di rischio definito come "accettabile" sono molteplici, in quanto alla base di qualsiasi intervento è sempre presente una specifica scelta che conduce ad un ben definito risultato; solo l'insieme e l'efficacia di tutte le scelte motivate porta poi alla più o meno valida soluzione del problema generale. È per questo che anche nel campo nivologico-valanghivo, non è attuabile una politica unidirezionale che preveda la "semplice" protezione diretta delle infrastrutture a rischio, ma sono necessarie numerosissime tecniche che permettano la prevenzione degli effetti, annullando o minimizzando le cause scatenanti del fenomeno calamitoso.

La tesi in oggetto ha voluto riportare, allora, una quanto più ampia descrizione di tutte le principali sfaccettature inerenti la problematica delle valanghe, partendo dal fenomeno fisico della precipitazione nevosa e della formazione del manto, seguito da una recensione sulle confermate conoscenze di carattere generale inerenti la dinamica del moto valanghivo, per poi concentrarsi sugli aspetti più tecnici e meno teorici di gestione del pericolo e del rischio indotti dal fenomeno e di progettazione dei sistemi di difesa.

Per quanto concerne gli aspetti di carattere generale, la letteratura tecnico-scientifica presenta un gran numero di nozioni avvalorate da consistenti verifiche sperimentali. Il più rilevante apporto proviene indubbiamente dalla ricerca americana e canadese, ma non va assolutamente dimenticata l'insostituibile conoscenza derivata dagli studi svizzeri. A tal proposito si possono citare alcuni testi che sono divenuti ormai un riferimento in materia, come ad esempio le sempre aggiornate edizioni dell' "*Avalanche Handbook*" (McClung e Schaerer, 1993, ultima edizione), oppure l' "*Avalanche dynamics: Engineering applications for land use planning*" (Charles e Martinelli, 1982) inerente gli aspetti di dinamica del moto e ancora le normative di riferimento elvetiche dell'Istituto Federale per lo studio della Neve e delle Valanghe di Davos in Svizzera, (UFAFP-FNP, 1990), di attuale riferimento anche per la progettazione delle opere paravalanghe in tutto l'arco alpino italiano. Per quanto concerne invece gli aspetti specifici in termini di pianificazione del rischio e gestione del territorio, alcune nozioni del tutto generali sono ancora reperibili da testi di tiratura internazionale, ma qualora ci si voglia concentrare su una determinata area territoriale è necessario assumere le più specifiche informazioni a livello amministrativo locale. Tale strategia è stata adottata anche per la stesura di questo documento, richiedendo ed ottenendo con particolare disponibilità agli enti competenti delle Regioni Friuli Venezia Giulia e Veneto svariata

documentazione inerente il loro ambito. Inoltre, moltissime notizie di carattere specifico e sperimentale sono state desunte dalla rivista “*Neve e Valanghe*” edita periodicamente dall’A.I.NE.VA., in cui vengono riunite le varie esperienze regionali inerenti l’argomento. Ulteriori argomenti di discussione sono stati recensiti in alcuni siti web di consultazione diretta, che sono stati riportati in bibliografia.

La tesi in oggetto offre una carrellata generale riguardo a tutti i principali aspetti inerenti i fenomeni di formazione ed evoluzione delle valanghe, ed è così strutturata:

- *Capitolo 2: Aspetti meteo e climatici.*
In questo capitolo vengono descritte le più caratteristiche condizioni climatiche e atmosferiche che permettono la formazione delle precipitazioni nevose e consentono lo sviluppo del manto al suolo.
- *Capitolo 3: Formazione della neve e del manto nevoso.*
Qui vengono descritte le modalità di formazione ed evoluzione morfologica dei cristalli di neve e del manto nevoso al suolo nel suo complesso, riportando i vari sistemi di classificazione più invalsi.
- *Capitolo 4: Tipologia e formazione delle valanghe.*
In questo capitolo sono descritti i criteri di classificazione delle valanghe, le caratteristiche generali del tipo di movimento e la terminologia usata per caratterizzare gli elementi distinti dell’ammasso nevoso in movimento e il suo percorso lungo il versante.
- *Capitolo 5: Dinamica degli eventi valanghivi.*
Qui viene riportato quanto noto a livello generale nella letteratura scientifica relativamente alle caratteristiche del moto valanghivo e alla sua modellazione matematica, con l’aggiunta di qualche elemento integrativo di analisi più recente e alcune esemplificazioni numeriche.
- *Capitolo 6: Valutazione della stabilità del manto nevoso e misurazioni in sito.*
In questa sezione sono descritte le modalità di classificazione dei fattori legati alla stabilità del manto, all’assunzione dei relativi dati utili e alla loro analisi, riportando anche i diversi sistemi di misurazione in campo dei parametri caratteristici per le valutazioni di stabilità delle masse nevose al suolo.
- *Capitolo 7: Rischio, previsione e zonizzazione.*
Questo capitolo è inerente le definizioni generali di rischio e pericolo derivanti da un certo fenomeno calamitoso e le seguenti estensioni al caso particolare delle valanghe di neve. Nello specifico si è poi descritto l’insieme degli strumenti di pianificazione assunti a tale riguardo per le valutazioni relative al nostro ambito nazionale, con particolare interesse per la cartografia tematica in uso nelle varie Regioni alpine e le modalità correlate di assunzione delle informazioni utili alla definizione del rischio da valanga.
- *Capitolo 8: La prevenzione e le opere di difesa dalle valanghe.*
In questa parte si è provveduto a descrivere le più usuali metodologie e i più invalsi sistemi tecnologici atti a prevenire il distacco delle masse nevose nelle zone ad elevato grado di instabilità o necessari per la protezione degli oggetti e strutture antropiche, nonché alla tutela delle vite umane, qualora sia stata inevitabile la mobilitazione della valanga. Vengono quindi descritti le varie

tipologie di opere di difesa attiva e passiva e i criteri di progettazione relativi con riferimento alle normative elvetiche (e riportate per completezza in appendice) adottate anche per la progettazione all'interno del nostro territorio nazionale, il tutto integrato da alcuni esempi di calcolo.

- *Capitolo 9: Esempi di opere di difesa dalle valanghe.*

Per completezza, vengono in quest'ultimo capitolo descritti alcuni esempi reali di intervento per la protezione di aree esposte al pericolo valanghe. Inoltre viene fornita una rapida recensione sullo stato dell'arte nella Regione Friuli Venezia Giulia, con l'ausilio visivo di alcune fotografie.

