

## ASPETTI METODOLOGICI E PROBLEMI CARTOGRAFICI DELLO STUDIO DI DEFORMAZIONI SUPERFICIALI NELLA MEDIA VALLE D'AOSTA

M. Giardino

C.N.R.-C.S. Geodinamica delle Catene Collisionali  
c/o Dip.to di Scienze della Terra, Università di Torino

**ABSTRACT** - *Methodological aspects and mapping problems in studying superficial deformations in the central Aosta Valley* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9(1), 1996, 227-232 - Highly deformed sediments on the floor of the central Aosta Valley (NW Italian Alps) and evidence of gravity tectonics on the slopes of the valley were studied as part of a doctorate thesis in Earth Sciences (Universities of Cagliari, Genova and Torino). This paper describes the methodologies which can be applied to the study of deformations that affect bedrock, superficial sedimentary formations and landforms (considered as morphological surfaces). The various research phases are illustrated and the results obtained are analysed in order to highlight their regional significance. The reconstruction of a reference stratigraphy of superficial formations (based on allostratigraphic criteria) and its comparison with geo-structural data suggest that superficial deformations occurred owing to the recent evolution of an important local fault (the Aosta-Ranzola fault).

**RIASSUNTO** - *Aspetti metodologici e problemi cartografici dello studio di deformazioni superficiali nella Media Valle d'Aosta* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9(1), 1996, 227-232 - Nell'intento di individuare le metodologie di studio più adatte per un progetto di ricerca sulle deformazioni superficiali, realizzato nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra (Consorzio Universitario Cagliari-Genova-Torino), sono stati passati in rassegna diversi tipi di approccio, applicabili nel caso di deformazioni che interessino rispettivamente il substrato roccioso, i sedimenti delle formazioni superficiali e le forme, intese come superfici morfologiche. In questo lavoro, sono in primo luogo presentate e commentate le indicazioni ricavate dall'analisi metodologica sopra indicata, con particolare riguardo agli aspetti geomorfologici; successivamente vengono illustrate le varie fasi del lavoro svolto; infine sono discussi i risultati ed il loro significato regionale. Nel caso specifico della Media Valle d'Aosta, la costruzione di un quadro stratigrafico di riferimento per le formazioni superficiali (utilizzando i criteri dell'Allostratigrafia) ed il suo confronto con i dati provenienti dall'analisi strutturale della stessa area, permettono di avanzare l'ipotesi che i fenomeni deformativi superficiali studiati si siano realizzati in relazione ad una evoluzione recente della faglia Aosta-Ranzola.

**Parole chiave:** Neotettonica, formazioni superficiali, analisi della deformazione, Valle d'Aosta  
**Keywords:** Neotectonics, superficial formations, deformation analysis, Aosta Valley, NW Italy

### 1. PREMESSA

Il ritrovamento di depositi molto deformati entro a formazioni superficiali nella Media Valle d'Aosta e la presenza di numerosi fenomeni di instabilità gravitativa nello stesso tratto vallivo sono stati gli spunti per lo sviluppo di un progetto di ricerca (Giardino, 1995) nell'ambito del Dottorato in Scienze della Terra - VII ciclo, Consorzio Universitario Torino Genova Cagliari. Nella presente nota vengono illustrati i caratteri metodologici di tale ricerca e brevemente sintetizzati i risultati raggiunti.

### 2. INQUADRAMENTO DELL'AREA ANALIZZATA

Dal punto di vista geologico la Valle d'Aosta fa parte del settore di catena alpina denominato Alpi Occidentali. Essa taglia i maggiori sistemi strutturali in cui è suddiviso il lato interno della catena a vergenza europea: Australpino, Pennidico ed unità ofiolitiche associate (Fig. 1).

Un importante elemento tettonico in quest'area è rappresentato dalla faglia Aosta-Ranzola, una struttura tradizionalmente indicata in letteratura come una faglia normale oligocenica, successivamente reinterpretata (Dal Piaz *et al.*, 1991; Mori, 1991) come elemento strutturale ad evoluzione più complessa (estensione/transtensione oligocenica, transpressione neogenica), responsabile

della presenza di una serie di scaglie tettoniche minori (AB, CH in Fig. 1) nella Media Valle d'Aosta.

Dal punto di vista morfologico l'incisione valliva della Dora Baltea mostra, nell'area analizzata, un brusco cambiamento di percorso: dalla direzione E-W del segmento compreso tra Aosta e St. Vincent, passa improvvisamente ad una direzione NNW-SSE (cfr. Fig. 1) che mantiene fino allo sbocco nell'alta pianura. Entrambi i tratti mostrano i segni evidenti del modellamento glaciale ed i relativi depositi, ma conservano pure tracce di altri importanti fenomeni, questi ultimi verificatisi dopo il ritiro del ghiacciaio balteo. Si tratta di una serie di fenomeni gravitativi, fra i quali la "Frana del Monte Avi" (Grasso, 1968), che ha ostruito la valle, con la conseguente formazione di un bacino lacustre a monte dello sbarramento, nel quale si è avviata la sedimentazione di un complesso di depositi che verrà qui indicato con il nome di Complesso di Saint Vincent; i sedimenti di tale complesso, conservati in alcuni lembi sul fondovalle (Fig. 2), risultano intensamente deformati.

Per valutare l'eventuale connessione tra le deformazioni del Complesso di Saint Vincent e la faglia Aosta Ranzola appare perciò necessario analizzare in parallelo le deformazioni rilevabili nei depositi e nelle forme recenti e quelle che interessano il substrato roccioso; questo presuppone l'elaborazione di un metodo per l'analisi delle deformazioni superficiali.

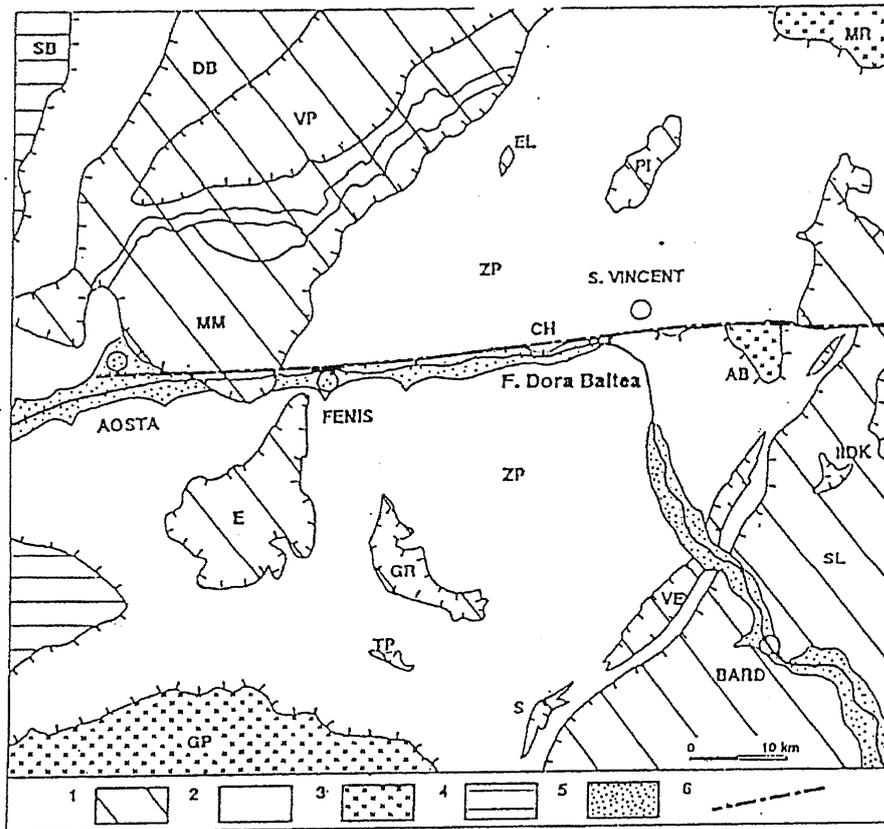


Fig. 1 - Inquadramento geologico-strutturale dell'area analizzata. 1: Australpino: Zona Sesia Lanzo interna (SL) e vari klippen della Media Valle d'Aosta. 2: Unità ofiolitiche della Zona piemontese (ZP), indifferenziate. 3: Falde penniniche superiori del Monte Rosa (MR), Arcesa-Brusson (AB) e Gran Paradiso (GP). 4: Sistema medio-pennidico del Gran San Bernardo, indifferenziato (SB). 5: Depositi di fondovalle indifferenziati. 6: faglia Aosta-Ranzola.

*Geological and structural setting of the studied area. 1: Australpine system: internal Sesia-Lanzo Zone (SL) and klippens of the central Aosta Valley. 2: undefined ofiolitic units of Piedmont Zone (ZP). 3: Upper Penninic Monte Rosa (MR), Arcesa-Brusson (AB) and Gran Paradiso (GP) nappes. 4: Middle-penninic Gr. St. Bernard nappe (SB). 5: valley bottom undefined deposits. 6: Aosta-Ranzola fault.*

### 3. PRESUPPOSTI TEORICI E CARATTERI METODOLOGICI DELLO STUDIO DI DEFORMAZIONI SUPERFICIALI

Le deformazioni che si esplicano nella parte più superficiale della crosta terrestre, in rapporto diretto con la superficie topografica, si differenziano nelle loro manifestazioni dalla tettonica che agisce in profondità, per tutta una serie di caratteri, tanto da configurarsi come espressioni di un vero e proprio ulteriore "livello strutturale" autonomo, nel quale gli effetti deformativi sono la conseguenza della composizione di fattori endogeni ed esogeni (Summerfield, 1993).

I motivi di questa differenziazione sono rappresentati dal fatto che la deformazione interessa:

1) masse rocciose non contrastate uniformemente, ma delimitate più o meno parzialmente da una superficie con andamento irregolare, per cui può variare da punto a punto il grado di vincolo laterale dei volumi rocciosi;

2) formazioni superficiali a carattere incoerente o semicoerente, nelle quali la risposta alle sollecitazioni dello *stress* avviene in maniera diversa che nelle rocce lapidee;

3) superfici, siano esse di erosione o di accumulo, soggette ad evoluzione continua ad opera degli agenti esogeni: si tratta delle "forme" legate al modellamento erosionale o ai processi di accumulo superficiale, le quali vengono deformate dai processi endogeni in composizione costante con i processi di rimodellamento indotti da-gli agenti esogeni.

Lo studio della deformazione superficiale in formazioni lapidee si avvale dei metodi classici della geologia

strutturale. L'analisi geologico-strutturale, attraverso la descrizione delle caratteristiche geometriche delle strutture e l'individuazione degli indicatori di movimento, ha come finalità

la ricostruzione dei campi di sforzi che le hanno generate e ne hanno indotto l'evoluzione. Questa metodologia generale di analisi comprende procedimenti di indagine distinti in base al tipo di materiale considerato, soprattutto se si vogliono comprendere i meccanismi delle deformazioni studiate. Nel caso delle deformazioni che interessano il substrato roccioso l'utilizzo dei principi della meccanica delle rocce (teoria dell'elasticità, della fratturazione, ecc.; Jaeger & Cook, 1969) può portare alla comprensione di meccanismi e tipo di ambiente d'origine delle strutture deformative.

Nell'analisi di masse lapidee sottoposte a deformazione superficiale, occorre porre molta attenzione sia alle caratteristiche meccaniche intrinseche della roccia considerata, sia alle caratteristiche delle discontinuità che interessano l'ammasso roccioso. I parametri della caratterizzazione geomeccanica in uso nelle classificazioni geotecniche dell'ammasso roccioso (es. Bieniawski, 1989) possono talvolta fornire, oltre ad una stima della deformabilità e della resistenza di ammassi rocciosi diversi, una suddivisione all'interno dell'ammasso secondo stili di comportamento deformativo, suggerendo quindi importanti indicazioni sui meccanismi che hanno guidato la deformazione. In questo caso i valori di carattere quantitativo rilevati secondo i criteri geotecnici conducono evidentemente a valutazioni di ordine qualitativo per quel che concerne le modalità della deformazione. Queste indicazioni rappresentano uno degli strumenti attraverso i quali si può arrivare a distinguere le diverse cause della deformazione.

Lo studio delle deformazioni in formazioni incoerenti o semicoerenti è un campo di indagine sviluppatosi di recente e tuttora in corso di rapida evoluzione. Allo stato attuale

delle conoscenze viene ritenuto efficace un approccio di tipo integrato (Jones & Preston, 1987) che si avvale, oltre che dell'analisi geologico-strutturale, delle metodologie e dei presupposti teorici propri della meccanica delle terre (Terzaghi, 1943; Terzaghi & Peck, 1967). Un ruolo fondamentale nella deformazione gioca, in questo secondo caso, lo *stress* effettivo, controllato dalla pressione dei pori, quindi dal contenuto d'acqua. Il prodotto della deformazione superficiale di sedimenti inconsolidati è nella maggior parte dei casi rappresentato da manifestazioni specifiche che vanno sotto il nome di *soft-sediment deformations* (Maltman, 1984); esse si realizzano attraverso diversi tipi di meccanismi deformativi (flussi coesivi, fenomeni di sfuggita d'acqua, ma anche per fratturazione di tipo fragile) che vengono innescati da fattori esterni (movimenti di acque sotterranee, moto ondoso, scosse sismiche, ecc.) e guidati da un sistema di forze (forze gravitative, distribuzioni ineguali di carichi, gradienti di densità instabili, sforzi di taglio; Owen, 1987). Dal punto di vista geologico, l'elemento determinante per poter ricavare indicazioni sui cinematismi e sulla dinamica delle deformazioni in materiali non consolidati è quindi rappresentato dalla possibilità di interpretare le loro caratteristiche geometriche, individuando i processi deformativi che hanno agito, attraverso l'analisi dello "stile" della deformazione.

Sempre nel caso specifico delle formazioni superficiali, che in una regione a rapida evoluzione morfologica sono anche tutte di origine relativamente recente, va aggiunta la considerazione che i processi deformativi possono essere da pre- a sin- a post-genetici (mentre, nel caso delle formazioni lapidee la "tettonica di superficie" può essere invece solo post-genetica). Poichè il campo di variabilità delle velocità dei processi deformativi e quello delle velocità degli altri processi evolutivi (erosionale e deposizionale) di superficie appaiono confrontabili, il tipo di rapporto altamente più probabile e quindi più comune è quello dell'interazione dinamica continua tra deformazione da un lato, ed erosione e sedimentazione dell'altro.

La deformazione delle superfici di erosione o di accumulo in evoluzione può essere anche in questo caso da pre- a sin- a post-genetica. Nel campo dei rapporti di interazione tra tettonica e morfogenesi, che, per i motivi visti in precedenza, è probabilisticamente il più comune, non si hanno per ora elementi certi per discriminare a priori una scarpata che si evolva come espressione morfologica di una faglia inattiva da quella che si evolva invece come espressione morfologica di una faglia attiva. Praticamente impossibile appare poi, nella maggior parte dei casi, riconoscere, senza l'ausilio di altre indicazioni geologiche, le tracce della deformazione post-morfogenetica: queste sono presenti infatti solo nei casi in cui la deformazione ha interessato formazioni particolarmente resistenti all'erosione; ed in questi casi, risulta talora difficile discriminare, fra le strutture con evidenza morfologica, quelle legate effettivamente alla tettonica post-morfogenetica (ad esempio rocce montonate fagliate) da quelle che rappresentano fenomeni di semplice erosione selettiva (Bartolini, 1992).

Relativamente più semplice appare invece riconoscere la deformazione post-morfogenetica nel caso di una superficie di appoggio basale in roccia di una formazione superficiale (Carraro, 1993): risulta infatti piuttosto agevole distinguere in questa ad esempio un gradino

che rappresenti l'eredità morfologica del movimento di una faglia precedente la sedimentazione da uno prodotto invece durante o dopo la sedimentazione; in altre parole questa superficie sepolta, protetta dal rimodellamento, appare come l'elemento legato all'evoluzione geologica recente, che si presta meglio come *marker* per evidenziare la "tettonica di superficie".

#### 4. FASI DELLA RICERCA E RISULTATI OTTENUTI

Nell'area di studio si è adottata una metodologia integrata dei diversi tipi di approccio precedentemente indicati, seguendo un programma di lavoro articolato in quattro fasi.

Nella prima fase si è analizzata la situazione stratigrafico-strutturale del fondovalle, che nel tratto in esame si sviluppa unicamente in formazioni superficiali (essenzialmente sedimenti olocenici del Complesso di Saint Vincent): si è avuta così l'opportunità di mettere in evidenza un quadro deformativo che:

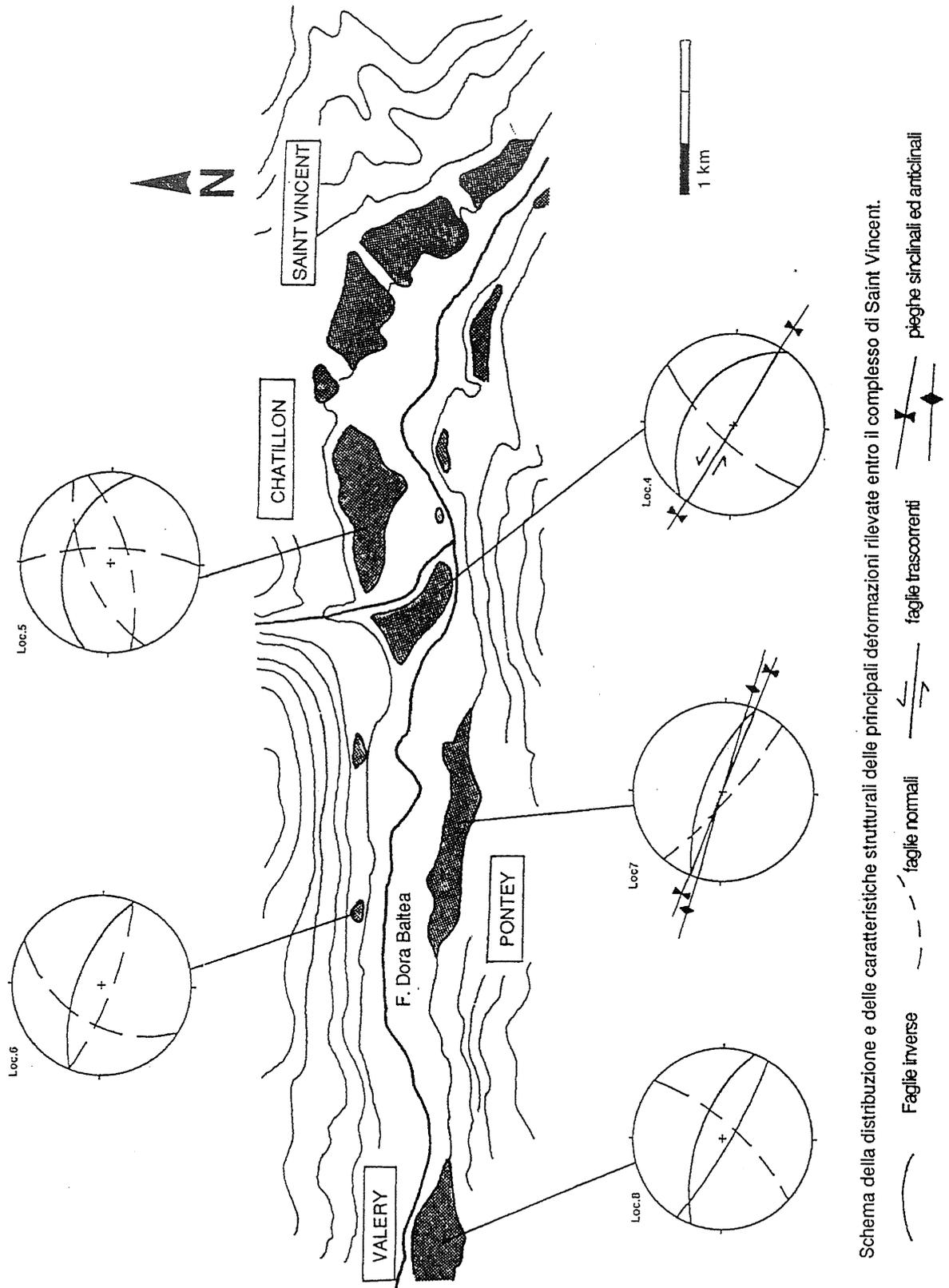
1) è stato ed è controllato nel suo complesso sicuramente in maniera uniforme dalla forza di gravità, non registrandosi componenti differenziali del vincolo laterale delle masse di sedimenti che agiscono alla scala dell'intero fondovalle;

2) è altrettanto sicuramente "recente".

La complessità di questo quadro ha reso necessarie considerazioni distinte, da un lato sulla tipologia delle singole strutture, dall'altro sul loro assetto geometrico globale. In primo luogo sono stati separati gli elementi deformativi di chiara origine sinsedimentaria, cioè quelli intraformazionali; quindi sono state considerate tutte le deformazioni posteriori al deposito, cioè quelle coinvolgenti più livelli sedimentari. Fra le deformazioni intraformazionali si sono riconosciute numerose tipologie di *soft-sediment deformations* (laminazioni convolute, strutture a fiamma, pseudonoduli, strutture da sfuggita d'acqua, *slumps*). Alcune di esse sono chiaramente dislocate da strutture di taglio. Le principali deformazioni post-sedimentarie sono invece rappresentate da faglie e da strutture di tipo plicativo, di dimensioni decametriche, e coinvolgenti tutto lo spessore visibile della successione. Esse presentano una marcata orientazione preferenziale secondo le direzioni comprese fra N105°E e N120°E; in questo gruppo si concentrano soprattutto le faglie inverse, le "pieghe" ed una importante faglia trascorrente (Loc. 4 in Fig. 2); le faglie normali sono distribuite secondo diversi sistemi, ma quello prevalente è diretto NNE-SSW.

Nella seconda fase si è passati all'analisi della situazione deformativa dei versanti, che risultano modellati in roccia o formazioni superficiali; nel caso del substrato roccioso si è proceduto ad una raccolta e ad un'analisi dei dati strutturali secondo l'approccio descritto in precedenza, utilizzando quindi anche i metodi analitici propri della meccanica delle rocce. In questa fase ci si è astenuti, temporaneamente, da qualsiasi ipotesi interpretativa, poichè le manifestazioni rilevate ed analizzate rappresentano il frutto della composizione di una (possibile) tettonica endogena con una (certa) tettonica gravitativa.

L'elemento deformativo più evidente, a livello morfologico, per quanto riguarda le possibili deformazioni superficiali del substrato prequaternario, è rappresentato, alla scala dell'intera area esaminata, da una serie di



Schema della distribuzione e delle caratteristiche strutturali delle principali deformazioni rilevate entro il complesso di Saint Vincent.

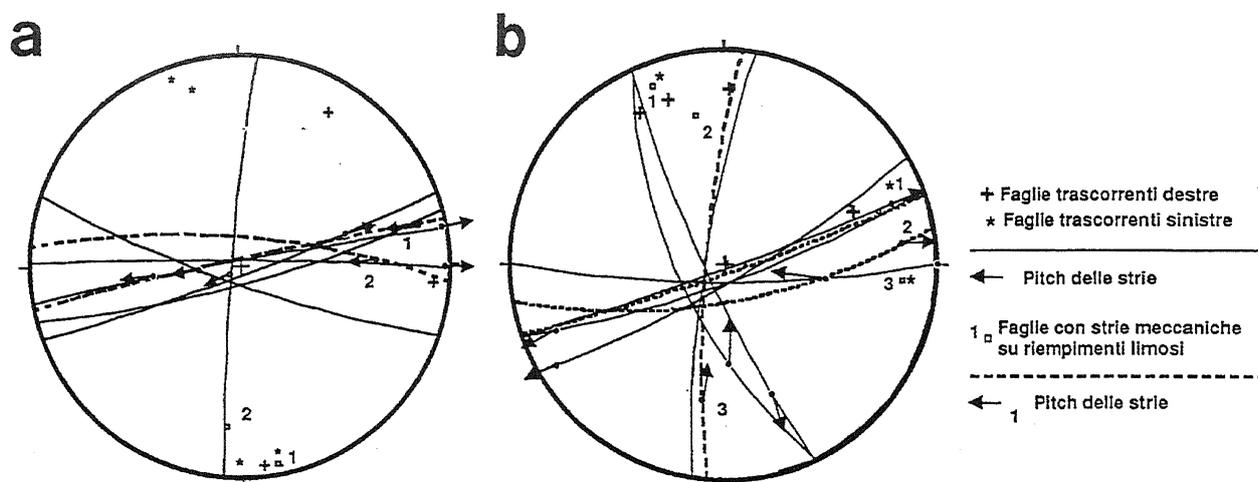


Fig. 3 - Proiezione stereografica delle principali superfici di faglia con riempimenti limosi rilevate sui versanti della Media Valle d'Aosta. a): settore di Chatillon; b): settore di Quart.

*Stereographic projection (Schmidt net, lower hemisphere) of main fault-surfaces with silt infillings found on the slopes of the central Aosta Valley*

lineamenti strutturali a direzione E-W. Questi, individuabili mediante fotointerpretazione, corrispondono sul terreno a linee di frattura e di faglia anche di lunghezza ettometrica. L'analisi mesostrutturale effettuata in alcuni affioramenti e tagli artificiali presso Chatillon, ha evidenziato, per alcune di queste (Fig. 3a), indicatori cinematici di *strike* tipici di faglie trascorrenti; sulle superfici corrispondenti sono state rilevate fibre e gradini in calcite, solchi e strie meccaniche, alcune delle quali impostate su riempimenti limoso-sabbiosi visibili sulle pareti delle faglie.

La situazione strutturale descritta è risultata comune in altre località del versante sinistro della Media Valle d'Aosta (Fig. 3b); in particolare, nell'area di Quart, il sistema di discontinuità strutturali E-W origina una serie di contropendenze in roccia, alcune delle quali formano trincee aperte qualche metro e profonde decine di metri; anche gli indicatori cinematici rilevati sono analoghi per tipo e significato, a quelli dell'area di Chatillon. Numerosi altri fenomeni di deformazione superficiale sono riconoscibili nell'area di Quart; essi sono rappresentati, in primo luogo, dalle riattivazioni di piani di taglio a basso angolo (preesistenti in larga parte nel substrato roccioso, con caratteri deformativi sia di tipo duttile che di tipo fragile), che hanno determinato la ripetuta sovrapposizione di masse rocciose sulle formazioni quaternarie; una serie di associazioni strutturali caratterizzate dalla presenza di fratture di estensione e di taglio, faglie normali a basso ed alto angolo, pieghe di stile fragile, che definiscono situazioni in cui la massa rocciosa mostra di essere collassata su sé stessa, per effetto di richiamo verso il basso.

Nella terza fase si è passati all'analisi delle formazioni superficiali e delle forme (superfici di appoggio basale, superfici di appoggio laterale, top deposizionali) a queste

connesse. Nel rilevamento dei depositi e delle forme quaternarie si è adottato il criterio allostratigrafico (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983).

I risultati di questa analisi, confrontati con quelli prodotti per l'intero asse vallivo da Carraro & Perotto (in Dal Piaz, 1992), hanno permesso di stabilire una cronologia relativa nella successione e differenziare, dal punto di vista cartografico, i vari complessi di depositi glaciali attribuibili a diverse fasi deposizionali comprese fra episodi di approfondimento erosionale del fondovalle. Dal punto di vista cronologico i suddetti complessi sono tutti collocabili all'interno di un intervallo di tempo compreso nella parte alta del Pleistocene superiore ma risultano differenziabili, oltre che per i rapporti geometrici reciproci e per il grado di rimodellamento, in parte anche sulla base dei dati pedostratigrafici; gli indici di colore secondo le notazioni delle *Munsell Soil Color Charts* sono, rispettivamente, 5÷7,5 YR per il complesso di Pont St. Martin, 7,5÷10 YR per il Complesso di Bard e 7,5÷10 YR per il Complesso di Fenis, il più recente dei tre.

Attraverso la costruzione di un profilo rettificato della Media valle d'Aosta si è verificata una buona correlabilità fra i punti che rappresentano le tracce delle superfici di appoggio basale dei depositi glaciali, ad esclusione del settore di Quart. In quest'area tali superfici risultano deformate per fenomeni di collasso, sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale alla valle principale, in modo analogo a quanto rilevabile sulla superficie topografica attuale, caratterizzata da numerose depressioni chiuse di dimensioni da decametriche ad ettometriche. Gli stessi depositi glaciali si presentano deformati, sia per flusso di sedimenti incoerenti, sia per dislocazioni di stile fragile che dimostrano di aver agito a sedimento consolidato.

La quarta fase è consistita nell'analisi di tutti i dati raccolti nelle fasi precedenti ed in un loro confronto integrato fino alla costruzione di un modello interpretativo della situazione strutturale locale nel quale, pur nei limiti dei dati disponibili, trovano la loro collocazione la componente endogena e quella gravitativa.

Fig. 2 - Schema della distribuzione dei sedimenti e delle principali deformazioni rilevate entro il Complesso di Saint Vincent.

*Sketch-map showing distribution of deposits and main deformational features of the St. Vincent Complex.*

Per quanto riguarda il fondovalle, dopo aver analizzato ed escluso la possibilità che le deformazioni rilevate abbiano un'origine non endogena (ad esempio per glacio-tettonica), si è valutato il quadro neotettonico, ricavato in termini di orientazione del campo di stress che lo ha determinato. I caratteri cinematici delle strutture evidenziano fenomeni di raccorciamento secondo direzioni NNE-SSW e di spostamento laterale realizzatisi, entro il complesso fluvio-lacustre, secondo direzioni compatibili con l'evoluzione di una zona di taglio estesa a tutto il settore intravallivo, guidata da un regime tettonico transpressivo sinistro.

Dall'analisi dei settori di versante si ricava una evoluzione cinematica complessa. Gli effetti di collasso registrati nelle formazioni superficiali e nelle relative superfici di appoggio basale sono in gran parte il prodotto del collasso della massa rocciosa in seguito a fenomeni di dissoluzione profonda. I livelli solubili sarebbero rappresentati da rocce carbonatiche, anidriti e gessi poste a poca profondità rispetto alla superficie. Sia nel substrato che nelle formazioni superficiali sono state però rinvenute anche evidenze di deformazioni di taglio che non si inquadrano da un punto di vista geometrico e cinematico con il meccanismo genetico precedentemente descritto. Gli indicatori cinematici consentono, in questo caso, di riferire l'intera situazione deformativa ad un campo di sforzi di natura endogena connesso con l'attività di un sistema di taglio diretto E-W. Le componenti di movimento trascorrente sinistro rilevate sui riempimenti limosi sembrano rappresentare le testimonianze locali delle più recenti fasi di questa evoluzione, che può essere riferita all'intervallo Pleistocene Superiore-Olocene.

Sia nel fondovalle che nei settori di versante analizzati, la distinzione effettuata fra deformazioni sinsedimentarie gravitative e da carico, e deformazioni postsedimentarie che mostrano buona coerenza geometrica e cinematica con una attività tettonica transpressiva, permette quindi di porre queste ultime in relazione con l'evoluzione recente della faglia Aosta-Ranzola.

#### 4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'applicazione di una metodologia di studio "integrata", caratterizzata da un confronto di elementi tratti da diversi tipi di analisi (geomeccanica, geologico-stratigrafica e strutturale, geomorfologica), permette di ricavare utili informazioni per quanto riguarda la geometria, la cinematica e la dinamica delle deformazioni superficiali.

Nel caso specifico la metodologia è stata applicata allo studio delle strutture deformative che interessano il substrato roccioso, le formazioni superficiali e le forme (intese come superfici morfologiche) nella Media Valle d'Aosta. In tale studio, la costruzione di un quadro stratigrafico di riferimento per le formazioni superficiali (utilizzando i criteri dell'Allostratigrafia) ed il suo confronto con i dati provenienti dall'analisi strutturale nella stessa area, hanno permesso di avanzare l'ipotesi che i fenomeni deformativi superficiali si siano realizzati in relazione ad una evoluzione recente della faglia Aosta-Ranzola. Il ritrovamento dei *marker* della deformazione entro le formazioni superficiali permette un'interpretazione in chiave di tettonica endogena degli elementi morfologici "anoma-

li" segnalati sui versanti vallivi; lo studio di deformazioni superficiali secondo l'approccio metodologico "integrato" ha fornito la conferma, dal punto di vista geologico, dell'effettiva estensione verso Ovest della struttura sopra indicata, e della sua evoluzione recente.

#### BIBLIOGRAFIA

- Bartolini C., 1992 - *I fattori geologici delle forme del rilievo*. Pitagora, Bologna, 193 pp.
- Bieniawski, Z. T., 1989 - *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, petroleum engineering*. John Wiley & Sons, Inc., 251 pp.
- Carraro F., 1993 - *Criteri per evidenziare l'evoluzione recente di faglie*. Il Quaternario, 6(1), 15-26.
- Dal Piaz G.V., 1992 - *Le Alpi dal M. Bianco al Lago Maggiore*. Soc. Geol. It., Guide Geologiche Regionali, 3, 311 pp.
- Dal Piaz G.V., Gosso G., Lardeaux J.M., Pennacchioni G. & Spalla M.I., 1991 - *Guide book for the excursion to the Central & Western Alps: Orobic Alps, Mt. Mucrone area and Aosta Valley*. 5th Summer School on: "Geologia e petrologia dei basamenti cristallini", Università degli Studi di Siena, 201 pp.
- Giardino M., 1995 - *Analisi di deformazioni superficiali: metodologie di ricerca ed esempi di studio nella media Valle d'Aosta*. Tesi di Dottorato (inedita), Consorzio universitario Cagliari-Genova-Torino, 236 pp.
- Grasso F., 1968 - *La frana del Monte Avi*. Boll. Soc. Geol. It., 87, 109-131.
- Jaeger J.C. & Cook N.G.W., 1969 - *Fundamentals of Rock Mechanics*. Methuen, London.
- Jones M.E. & Preston M.F., 1987 - *Deformation of Sediments and of Sedimentary Rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., 29, 350 pp.
- Maltman A., 1984 - *On the term 'soft-sediment' deformation*. J. Struct. Geol., 6, 589-92.
- Mori D., 1991 - *Geologia e struttura dell'area Arcesaz-Brusson*. Tesi di laurea inedita, Università di Torino.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983 - *North American stratigraphic code*. Am. Ass. Petroleum Geologists Bull., 67(5), 841-875.
- Owen G., 1987 - *Deformation processes in unconsolidated sands*. In: Jones M.E. & Preston R.M.F. (Ed.), "Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks", Geol. Soc. of Amer. Special Publ., 29, 11-24.
- Summerfield M.A., 1993 - *Global Geomorphology*. Longman Scientific & Technical Publ., 537 pp.
- Terzaghi K., 1943 - *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley & Sons, New York.
- Terzaghi K. & Peck R.B., 1967 - *Soil Mechanics in Engineering Practice*. (2nd ed). Wiley & Sons, New York, 729 pp.

Ms. ricevuto : 25 maggio 1996  
 Inviato all'A. per la revisione: 4 giugno 1996  
 Testo definitivo ricevuto : 24 giugno 1996

Ms received: May 25, 1996  
 Sent to the A. for a revision: June 4, 1996  
 Final text received: June 24, 1996