

Francesco Carraro



Dario Flaccovio Editore

# Geologia del Quaternario

L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali

[Scheda sul sito >](#)



- Corsi d'acqua, ghiacciai, laghi, sistemi carsici, ruscellamento diffuso ✓
- Fenomeni gravitativi, terrazzi marini ✓
- Cronologia, tettonica di superficie, ✓
- Rilevamento e cartografia ✓

Francesco Carraro

# **GEOLOGIA DEL QUATERNARIO**

**L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali**



Dario Flaccovio Editore

Francesco Carraro  
GEOLOGIA DEL QUATERNARIO  
L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali

ISBN 978-88-579-0110-7

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686  
[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it)    [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: febbraio 2012

Carraro, Francesco <1935->

Geologia del Quaternario : l'evoluzione geologica degli ambienti superficiali / Francesco Carraro. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0110-7

I. Geologia.

551 CDD-22

SBN PAL0239364

*CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana “Alberto Bombace”*

Stampa: Tipografia Officine Grafiche Riunite, Palermo, febbraio 2012

#### RINGRAZIAMENTI

Tutte le fotografie aeree sono state fornite dalla società BLOM CGR SpA, che qui si ringrazia per l'autorizzazione concessa. Un grazie ai Servizi Tecnici delle Regioni Friuli Venezia Giulia, Piemonte e Veneto e della Provincia Autonoma di Bolzano per le elaborazioni di alcune fotografie aeree che mi hanno fornito. Alcune immagini inedite sono state fornite o realizzate appositamente per questo testo da colleghi e amici ai quali desidero esprimere il mio più vivo ringraziamento. Altre sono state riprese da siti internet, previa autorizzazione degli autori, che ringrazio cordialmente. Ove non diversamente indicato, fotografie e disegni sono dell'autore.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

# INDICE

## *Premessa*

<b>1. Introduzione</b> .....	»	1
------------------------------	---	---

## **2. Concetti di base**

2.1. Geodinamica “sinmorfogenetica” .....	»	5
2.2. Rapporti “sequenziali” e “interrelazionali” .....	»	9
2.3. Rimodellamento.....	»	9
2.4. Ruolo prevalente dell’erosione nel tempo.....	»	13
2.5. Dorsali residue.....	»	17
2.6. Terrazzi .....	»	22
2.7. Prodotti colluviali .....	»	33

## Appendice

E1 – Dissezione.....	»	38
A1 – Elementi per una valutazione delle velocità di evoluzione del paesaggio.....	»	40
A2 – Carte morfostratigrafiche .....	»	46
A3 – Prevalenza dell’erosione nel tempo .....	»	51
A4 – Sedimenti di suolo.....	»	52
A5 – Superfici iniziali diverse di un unico corso d’acqua .....	»	53
E2 – Dorsali residue.....	»	54
E3 – Superficie di Cascina Viarengo .....	»	57
A6 – Evoluzione del reticolato idrografico della pianura piemontese.....	»	58
A7 – La Valsalice .....	»	74
E4 – Terrazzi fluviali.....	»	76
A8 – Superficie di appoggio basale .....	»	77
A9 – Affioramenti e lembi .....	»	79
A10 – Rielaborazione .....	»	79
E5 – Forme non direttamente interpretabili.....	»	80
A11 – Lacuna morfostratigrafica .....	»	82

## **3. Corsi d’acqua**

3.1. Scomposizione in segmenti dei corsi d’acqua maggiori .....	»	85
3.2. Impostazione dei corsi d’acqua (superficie iniziale) .....	»	85
3.3. Evoluzione.....	»	90
3.3.1. Corsi d’acqua delle aree montuose (corsi d’acqua vincolati) .....	»	90
3.3.1.1. Approfondimento erosivo.....	»	91
3.3.1.2. Migrazione laterale.....	»	92
3.3.1.3. Allungamento a ritroso .....	»	99
3.3.1.4. Proliferazione degli affluenti .....	»	105
3.3.2. Corsi d’acqua delle aree di pianura (corsi d’acqua liberi) .....	»	107

### Appendice

E6 – Tratti rettilinei di corsi d’acqua in pianura .....	»	111
A12 – “Regola della sovrainposizione” .....	»	112
A13 – Percepibilità .....	»	114
E7 – Irregolarità della superficie iniziale .....	»	114
E8 – La Val Roya .....	»	115
E9 – Deviazioni fluviali .....	»	117
A14 – Erosione regressiva .....	»	117
A15 – Migrazione degli spartiacque .....	»	121
A16 – Direttrici a doppio deflusso .....	»	126
A17 – Catture sistematiche .....	»	128
E10 – Altre catture .....	»	133
H1 – Calanchi .....	»	133

### 4. Ghiacciai

4.1. Specificità dei ghiacciai nei confronti dei corsi d’acqua .....	»	137
4.1.1. Erosione in contropendenza .....	»	137
4.1.2. Sovraescavazione .....	»	137
4.1.3. Approfondimento erosivo .....	»	138
4.2. Evoluzione di una valle glaciale .....	»	146
4.2.1. Glaciazioni, pulsazioni, fasi e episodi .....	»	149
4.2.2. Proliferazione degli affluenti .....	»	150
4.2.3. Migrazione laterale .....	»	150
4.2.4. Erosione regressiva .....	»	150
4.3. Rimodellamento e rielaborazione .....	»	151
4.3.1. Rimodellamento delle forme .....	»	151
4.3.2. Rielaborazione dei depositi .....	»	154
4.4. Riutilizzazione delle valli glaciali da parte del reticolato idrografico postglaciale .....	»	158
4.5. Glaciotettonica .....	»	160

### Appendice

A18 – Soglie glaciali .....	»	163
A19 – Convergenza di facies .....	»	164
A20 – Glacial erosion .....	»	164
A21 – Approfondimento erosivo .....	»	166
A22 – Correlazione tra glacialismo vallivo e anfiteatri morenici .....	»	167
A23 – Spillways channels .....	»	168
A24 – Saw-theet .....	»	169
A25 – Valli sospese .....	»	169
A26 – Il vallone di La Thuile .....	»	170
A27 – L’LGM nelle Dolomiti .....	»	172
A28 – Il rimodellamento dei paesaggi glaciali .....	»	180
A29 – Il rimodellamento dei paesaggi modellati in rocce carbonatiche .....	»	181
A30 – Valli abbandonate .....	»	183
A31 – Riutilizzazione delle valli glaciali da parte del reticolato idrografico postglaciale .....	»	184

### 5. Laghi

5.1. Definizione .....	»	185
------------------------	---	-----

5.2. Evoluzione.....	»	185
5.3. Criptodepressioni .....	»	188

#### Appendice

A32 – Ricostruzione del livello di massimo invaso di un ex-lago .....	»	191
---	---	-----

### 6. Sistemi carsici

6.1. Forme epigee .....	»	193
6.2. Rapporti con il reticolato idrografico.....	»	195
6.3. Forme ipogee .....	»	197
6.4. Zone di aerazione, transizione, imbibizione.....	»	198
6.5. Sinkholes .....	»	199
6.6. Evoluzione dei sistemi carsici .....	»	202
6.7. Cronologia .....	»	204
6.8. Rapporti con l'attività geodinamica .....	»	205
6.9. Depositi legati al carsismo.....	»	206
6.10. Le pseudocarniole.....	»	207

#### Appendice

E11 – Forme ipogee esumate .....	»	211
A33 – Plitvice .....	»	212
A34 – Livello di base.....	»	214
A35 – Sinkholes.....	»	214
A36 – Giacimenti archeologici in paesaggi carsici.....	»	216
H2 – Interazione tra carsismo e deformazione .....	»	217

### 7. Ruscellamento diffuso

7.1. Introduzione.....	»	219
7.2. Prodotti colluviali .....	»	219
7.3. Ruscellamento e pedogenesi.....	»	224
7.4. Prodotti eluvio-colluviali e detritico-colluviali .....	»	225
7.5. Significato dei prodotti colluviali .....	»	226
7.6. Glacis.....	»	227
7.7. Cronologia .....	»	229

#### Appendice

E12 – Altri esempi di prodotti colluviali.....	»	230
A37 – Sequenza sommitale.....	»	232

### 8. Fenomeni gravitativi

8.1. Introduzione.....	»	235
8.2. “Frane”.....	»	235
8.2.1. Limiti nella valutazione del rischio di frana .....	»	236
8.2.2. Frane attive, quiescenti, stabilizzate e relitte .....	»	237
8.3. Deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV) .....	»	239

## Appendice

E13 – Trenches.....	»	247
A38 – Grandi frane recenti delle Alpi.....	»	248

**9. Terrazzi marini**

9.1. Introduzione.....	»	251
9.2. Origine.....	»	251
9.3. Terminologia.....	»	252
9.4. Composizione tra eustatismo e mobilità.....	»	253
9.5. Correlabilità.....	»	259
9.6. Meccanismi genetici.....	»	262
9.7. Variazioni della linea di costa.....	»	268

## Appendice

E14 – Terrazzi marini di accumulo.....	»	270
A39 – Correlazione tra terrazzi fluviali e terrazzi marini.....	»	271
A40 – Terrazzi marini della Puglia.....	»	271
E15 – Terrazzi marini di erosione.....	»	272

**10. Cronologia**

10.1. Età relativa, età geologica, età assoluta.....	»	273
10.2. Scale cronologiche di riferimento.....	»	274
10.3. Metodi di datazione.....	»	282
10.3.1. Metodi “siderali”.....	»	284
10.3.2. Metodi basati sugli elementi isotopici e su quelli radiogenici.....	»	286
10.3.3. Metodi chimici e biologici.....	»	291
10.3.4. Metodi geomorfologici.....	»	293
10.3.5. Metodi basati sulle correlazioni.....	»	298

## Appendice

A41 – Distribuzione dell’“Ignimbrite campana”.....	»	304
--	---	-----

**11. Tettonica di superficie**

11.1. Neotettonica e tettonica di superficie.....	»	305
11.2. Evoluzione superficiale di megastrutture.....	»	308
11.2.1. Interrelazioni tra evoluzione di megastrutture e superficie topografica.....	»	308
11.2.2. Interrelazioni tra evoluzione di megastrutture e corsi d’acqua.....	»	316
11.2.3. Interrelazioni tra evoluzione di megastrutture e distribuzione delle formazioni superficiali.....	»	319
11.3. Deformazioni discontinue.....	»	320
11.3.1. Verifica dell’evoluzione recente di strutture discontinue.....	»	323
11.3.1.1. Espressione morfologica.....	»	324
11.3.1.2. Rapporti con i corpi sedimentari.....	»	326
11.3.1.3. Rapporti con le superfici di appoggio basale.....	»	326
11.3.1.4. Rapporti tra strutture discontinue e forme legate ai corsi d’acqua.....	»	328
11.3.1.5. Rapporti diretti tra strutture discontinue e corsi d’acqua.....	»	330

11.3.1.6. Evoluzione recente di thrust .....	»	332
11.3.1.7. Cenni di sismotettonica .....	»	336
11.3.2. Aspetti applicativi problemi aperti.....	»	337
<b>Appendice</b>		
A42 – Ciottoli “improntati” .....	»	338
E16 – Soft sediments deformations .....	»	338
A43 – Tettonica di superficie dell’Italia nordoccidentale .....	»	339
A44 – Evidenze di mobilità in atto in alcuni settori della Pianura Padana.....	»	340
A45 – Strutture “riattivate” .....	»	341
H3 – Faglie di neoformazione.....	»	341
A46 – Faglie con evidenza morfologica .....	»	342
A47 – Altre strutture “attive” .....	»	344
A48 – Surface faults.....	»	344
E17 – Thrust “attivo” .....	»	451
<b>12. Rilevamento e cartografia</b>		
12.1. La cartografia del Quaternario in Italia.....	»	353
12.2. L’allostratigrafia.....	»	354
12.3. Importanza delle discontinuità.....	»	361
12.4. Coltri eluvio-colluviali e detritico-colluviali.....	»	361
12.5. Cronologia .....	»	362
12.6. Alcuni suggerimenti pratici .....	»	364
12.7. Commenti conclusivi.....	»	368
12.8. Schede per la raccolta e l’organizzazione dei dati nel rilevamento delle formazioni superficiali .....	»	369
<b>Appendice</b>		
A49 – Campi di applicazione della geologia delle formazioni superficiali .....	»	374
<b>Glossario</b> .....	»	375
<b>Bibliografia</b> .....	»	381

## PREMESSA

Lo scopo di questo testo è quello di mettere a punto, per quanto possibile, i modelli evolutivi dei principali ambienti continentali in contesti morfo-climatici assimilabili a quello alpino-padano, argomento non sviluppato in genere nei testi di geologia del Quaternario. Il suo contenuto è stato progressivamente messo a punto essenzialmente sulla base di esperienze dirette di terreno e conseguenti riflessioni, con l'aiuto degli studenti che hanno effettuato tesi di laurea o di dottorato in Geologia del Quaternario dal 1984 al 2001<sup>1</sup>. È opportuno sottolineare che l'obiettivo che si è cercato di raggiungere è quello di ricostruire soprattutto il ruolo che in questa evoluzione hanno avuto i processi di erosione, della cui importanza fondamentale mi sono andando convincendo sempre di più e sulla funzione dei quali, invece, ben poco si trova in letteratura.

Altri aspetti che si sono voluti approfondire sono il ruolo dell'attività tettonica intercorsa durante l'evoluzione morfologica e l'interpretazione di forme del terreno che hanno subito un forte rimodellamento, tanto da non essere direttamente interpretabili, le cui implicazioni mostrano notevole rilevanza nella ricostruzione della evoluzione stessa.

<sup>1</sup> È con molto piacere e con nostalgia che riporto i nomi dei tesisti che hanno attivamente partecipato alla messa a punto delle riflessioni sull'evoluzione dei principali ambienti continentali in ambito alpino-padano, indicando inoltre l'area in cui hanno lavorato e l'anno di laurea: Walter Alberto (Valle di Susa, 2000), Anastassia Athanassiou (Viotia meridionale, Grecia 1986), Elena Antonucci (Valle di Susa, 1990), Paolo Baggio (Valle di Susa, 1992), Ira Baster (Valle d'Aosta, 1994), Davide Bertolo (Valle d'Aosta, 1991), Paola Boano (Astigiano, 1993), Gianluca Bullani (Valsessera, 1982), Chiara Cabiale (Riviera Ligure, 2002), Alfredina Canevari (Anfiteatro Morenico d'Ivrea, 1979), Roberto Cassulo (Anfiteatro Morenico d'Ivrea, 1999), Eliana Cerchio (Anfiteatro Morenico d'Ivrea, 1982), Giovanni Collo (Pinerolese, 1983), Paola Cortassa (Val Roya, 1998), Paolo Danasio (Valsesia e Valle Agogna, 1986), Giacomo Devecchia (Valle Orco, 1892), Maurizio Enrietti (Anfiteatro Morenico d'Ivrea, 1996), Giovanna Ferrarino (Valle d'Aosta, 1979), Gianfranco Fioraso (Valle di Susa, 1994), Barbara Florian (Val Sangone, 1995), Maria Gabriella Forno (Collina di Torino, 1977), Ermes Fusetti (Valle d'Ossola, 1997), Enrico Gandino (Fossano, 1976), Maria Luisa Garofalo (Valle del Torre, Friùli, 1985), Marco Giardino (Campo Imperatore, Abruzzo 1990), Franco Gianotti (Anfiteatro Morenico d'Ivrea, 1992), Vittorio Giraud (Val Chisone, 1985), Silvia Josa (Valle di Susa, 1999), Stefania Lucchesi (Pianura Piemontese settentrionale, 2000), Giovanni Monegato (Valle d'Aosta, 1997), Andrea Moscariello (Valle di Zoldo, 1990), Andrea Mozzetti (Valle di Susa, 1995), Nicoletta Nicolussi-Rossi (Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana, 1993), Barbara Nervo (Anfiteatro Cusio, 2000), Sandro Olivero (Valle di Susa, 1993), Luca Paro (Valle di Susa, 1997), Mara Perardi (Anfiteatro Cusio, 2000), Riccardo Perlo (Valle di Susa, 1997), Daniele Pesce (Pianura Padana, 1995), Davide Pesce (Valle di Susa), Maria Beatrice Pinciaroli (Valle Stura di Viù, 1994), Giacomo Re Fiorentin (Valle di Lanzo, 1999), Luciana Revello (Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana, 1978), Rossella Righi (Valle di Susa, 1980), Marcello Robberto (Astigiano, 1989), Lucio Russo Cirillo (alta Valle del Piave, 1987), Antonella Sacco (Valle Pesio, 2001), Paolo Sassone (Val Tanaro, 1999), Marco Sereno Regis (Valle Chisone, 1985), Giovanna Sette (Calabria, 2000), Giorgio Sola (Val Pellice, 1985) Paolo Terzano (Astigiano, 1985), Davide Tiranti (Valle di Susa, 1999), Edi Valpreda (Astigiano, 1981) e Marco Zantonelli (Val Sesia, 1985).

Non vengono invece descritti i depositi (salvo qualche accenno a quelli che saranno indicati come *prodotti colluviali*, sui quali non esiste praticamente letteratura), perché i testi sull'argomento sono molti e aggiornati (si veda ad esempio M.E. Tucker, *Geologia del sedimentario – Rocce, strutture sedimentarie, ambienti deposizionali*, trad. D. Tosoni, Dario Flaccovio Editore, Palermo).

# 1. INTRODUZIONE

La ricostruzione dei processi geologici ai quali sono legate geneticamente le formazioni superficiali verrà effettuata seguendo una prospettiva geologica, cioè su tempi molto lunghi (ad esempio la ricostruzione dell'evoluzione del reticolato idrografico verrà affrontata a partire dall'emersione della catena alpina): ciò fa sì che questo non sia un testo di geomorfologia.

Al di là infatti delle collocazioni delle diverse discipline nei vari “settori scientifico-disciplinari” dell'università italiana e dei campi di studio dei singoli ricercatori (molti geomorfologi si occupano di geologia del Quaternario), mentre la geomorfologia “ha per fine lo studio e l'interpretazione del rilievo terrestre” (Castiglioni, 1979) – con riferimento, anche se non espressamente esplicitato, alla parte affiorante e quindi più recente dello stesso, la geologia del Quaternario si occupa invece “dell'ultimo periodo della storia della Terra in cui è ancora possibile riconoscere gli eventi e gli ambienti che via via si sono succeduti, mediante l'analisi diretta di forme e depositi in gran parte continentali; questi sono destinati a essere distrutti dall'alterazione e dall'erosione, ma anche a rinnovarsi continuamente nel tempo futuro, sotto l'azione di nuovi eventi e processi” (Carobene, 2008). Poiché tale ricostruzione – effettuata, soprattutto per il passato remoto, sulla base di tracce spesso minime – riguarda gli ambienti superficiali con un approccio che prescinde dalla loro età, sarebbe forse più opportuno indicare l'argomento come **Geologia delle formazioni superficiali**: l'evoluzione del reticolato idrografico del Cretacico continentale della Spagna oppure quella degli apparati glaciali ai quali sono legate geneticamente le tilliti precambriche dell'Australia e del Brasile, al di là dei fattori locali, si sono svolte secondo modalità confrontabili con quelle con cui è avvenuta rispettivamente l'evoluzione del reticolato idrografico postoligocenico o quello delle fasi glaciali pleistoceniche nelle Alpi. Si può affermare che con i geomorfologi puri non c'è nessun, per così dire, “conflitto di competenze”, nel senso che il quaternarista inizia a occuparsi dell'evoluzione del paesaggio, andando indietro nel tempo, quando gli strumenti di indagine dei geomorfologi dispongono di dati troppo carenti e, viceversa, si ferma, andando verso il recente, quando la mole di dati disponibile è tale da consentire una ricostruzione dettagliata che esula dalle proprie competenze.

Come si avrà più volte occasione di ricordare, scopo prioritario della geologia delle formazioni superficiali è quello di ricostruire il tessuto che connette tra loro le diverse unità stratigrafiche (deposizionali ed erosive) a formare i pezzi del puzzle costituito dalla storia geologica: in questa operazione obiettivo principale è quello di definire l'**età relativa** di ognuna di queste unità e, solo in subordine, qualora i dati lo consentano, quella geologica.

In letteratura non si trova molto sull'argomento che ci si è riproposti di sviluppare, ma quello che manca, soprattutto, è un approccio unitario e omogeneo che tenga conto contemporaneamente delle diverse componenti, in particolare, dell'attività geodinamica (intesa nella sola componente endogena, accezione con la quale questo termine verrà utilizzato in tutto il testo) che si esplica durante l'evoluzione recente (alias *neotettonica*) ed è quello che, con estrema presunzione, si è cercato di fare.

Si è preferito dedicare il tempo necessario a un adeguato esame della bibliografia al lavoro sul terreno. Tuttavia i ripetuti confronti con gli amici e colleghi (desidero ringraziare a questo punto, in rigoroso ordine alfabetico – sottolineando il fatto che, anche se li ringrazio di cuore, non significa che condividano le mie idee – C. Bartolini, A. Bini, C. Bosi, A. Carton, G. B. Castiglioni e F. Dramis) che hanno confortato l'autore sull'opportunità della scelta fatta, che indiscutibilmente può essere considerata immodesta. Ci si scusa quindi se, nell'esposizione che segue, si troveranno mescolati concetti consolidati ad altri frutto di speculazioni personali, senza che venga fatta distinzione alcuna.

Si sottolinea infatti che quanto si andrà esponendo, pur essendo frutto di ripetute osservazioni e impegnative riflessioni, è tutt'altro che assodato: accanto a considerazioni ripetutamente collaudate, che abbiamo avuto modo di discutere con diversi colleghi e che costituiscono la parte principale del testo, si è ritenuto opportuno riportare, sottoforma di approfondimenti ed estensioni, anche riflessioni che in molti casi sono poco più che ipotesi di lavoro. Oltre quindi a un'inevitabile provvisorietà e discutibilità di quanto segue, vengono suggeriti temi sui quali, chi condivide l'approccio con cui è stato affrontato il tema di questo testo, potrà sbizzarrirsi.

In questa stessa ottica, si è considerato utile anche evidenziare alcuni tra i molti problemi che restano aperti.

Dato il contenuto empirico del testo, si è ritenuto importante corredarlo con un grande numero di illustrazioni. Per rendere più comprensibili i fenomeni descritti, è stata talora fornita una documentazione iconografica supplementare, raccolta in appendice alla fine di ogni capitolo: ai diversi, ulteriori esempi viene fatto rinvio indicando il numero del sottoparagrafo in cui sono contenuti.

Nel campo specifico oggetto del testo, così come in molti campi delle Scienze della Terra, non esiste una terminologia codificata<sup>1</sup>. Per superare questo grave scoglio, si è fatto uso di una serie di termini per i quali è stata assunta un'accezione univoca che viene definita in genere la prima volta che ogni singolo termine viene introdotto e comunque riportata, assieme a tutte le altre, nel glossario alla fine del testo (si veda il capitolo 13).

Molti di questi termini sono stati ripresi dal linguaggio corrente, precisando il significato con cui vengono utilizzati; in altri casi sono stati coniat *ad hoc*: per ricordare al lettore che il termine viene usato con un'accezione specifica, ogni volta che vi si fa ricorso, lo stesso viene riportato in colore **blu**.

Nei casi in cui, invece, è apparso utile sottolineare alcuni termini per seguire meglio l'articolazione del discorso, questi sono stati indicati **in grassetto**.

In questo lavoro, nonostante ci si sia riproposti di seguire un filo logico, nello sviluppare

<sup>1</sup> Basti riflettere sull'abusato termine *terrazzo* che trova mille definizioni, a seconda dell'autore che lo usa. A proposito di terminologia, visto che nella maggior parte dei casi le forme e i depositi sono spesso ben altro che di univoca interpretazione, sembrerebbe molto opportuno poter disporre separatamente di una terminologia descrittiva (per esempio *faccetta triangolare*) da una interpretativa (per esempio *flatiron*).

alcuni argomenti, è apparso spesso inevitabile anticipare alcuni concetti; di questi sono state riportate unicamente le informazioni funzionali al contesto nel quale il concetto è stato richiamato, indicando la parte del testo in cui questo è stato sviluppato compiutamente.

Sempre per evitare digressioni che squilibrerebbero il contenuto del testo, nel caso di informazioni, osservazioni, citazioni ritenute utili alla completezza dell'esposizione, ma che esulano dal processo logico generale, queste sono state riportate in note a piè di pagina.

Approfondimenti, ulteriori esempi e ipotesi di lavoro sono citati nel testo con la sigla e il numero del paragrafo che li contiene in coda al capitolo cui si riferiscono: "A" sta per approfondimento; "E" per altri esempi e "H" per ipotesi di lavoro.

Poiché questo testo rappresenta il consuntivo di un'attività pluridecennale nel corso della quale, in occasioni diverse, le idee esposte sono state maturate, è risultato inevitabile ricorrere all'antipatico ricorso all'autocitazione di lavori nei quali sono stati sviluppati i singoli argomenti.

Nella stesura, si è cercato di privilegiare la chiarezza alla forma: si è rifuggiti, quindi, solo per fare un esempio, all'utilizzazione dei sinonimi i quali non contribuiscono certamente alla sua comprensione.

Ci si rende conto che, data la sua natura anticonformista, questo testo può apparire provocatorio: certamente alcune idee presentate come nuove possono corrispondere, per alcuni versi, ad acquisizioni scontate; altre, invece, possono essere sbagliate.

Carlo Bartolini e Carlo Bosi si sono fatti carico della lettura critica del testo prima che fosse presentato all'editore, e di questo voglio veramente ringraziarli cordialmente; ovviamente, mi sono ben guardato dal tener conto di tutte le loro osservazioni. Un ricordo riconoscente, infine, al mio maestro Roberto Malaroda, dal quale ho imparato che l'eterodossia non è un peccato, e all'amico Giorgio Magri, che, dando credito alle mie farneticazioni, mi ha indotto a continuare a elucubrarle.

Un grazie di cuore anche a suor M. Stefania Lucchesi o.p. che con "domenicana" pazienza ha riletto il tutto prima che fosse consegnato alla casa editrice. Grazie anche all'amico Dario Tosoni per la efficace collaborazione nella fase conclusiva della realizzazione di questo testo.

## 2. CONCETTI DI BASE

### 2.1. Geodinamica “sinmorfogenetica”

Nel proporre i modelli interpretativi dell'evoluzione geologica dei principali ambienti superficiali appare opportuno sviluppare alcuni concetti di carattere generale e introdurre i termini ai quali si farà più comunemente ricorso nel seguito.

I fenomeni geologici possono essere raggruppati, in ultima analisi, in tre categorie principali:

- quelli che riguardano la formazione delle rocce (che sono oggetto di discipline quali la mineralogia, la petrografia, la sedimentologia, ecc.) e che possono essere riuniti sotto la denominazione di **processi litogenetici**;
- quelli che riguardano la deformazione delle rocce (oggetto della tettonica<sup>1</sup>, della geologia strutturale, ecc.), che si indicheranno come **processi tettogenetici**;
- quelli, infine, i cui effetti vengono di regola sottovalutati, quando non dimenticati, dai geologi ma che, come si vedrà, sono altrettanto importanti quanto i precedenti (oggetto della geografia fisica, della geomorfologia, ecc.), che sono all'origine della demolizione fisica e chimica delle rocce e della rimozione dei prodotti derivati, che verranno raggruppati sotto la denominazione di **processi morfogenetici** (intesi nella sola accezione di processi erosivi).

Nei modelli interpretativi dei primordi delle Scienze della Terra si assumeva implicitamente che questi tre fenomeni si succedessero nel tempo: prima si formano le rocce, poi intervengono i processi di deformazione e infine agisce l'erosione. In seguito, si è preso coscienza che i fenomeni tettogenetici hanno interagito e interagiscono continuamente con quelli litogenetici, anzi sono i primi che controllano costantemente, in maniera determinante, i secondi, essendone a loro volta condizionati: è nato così, tra gli altri, il concetto di **attività geodinamica** (ovviamente con riferimento alla sola componente endogena) **sinsedimentaria**.

Solo da alcuni decenni, con l'approccio sistematico alla neotettonica, oltre a rilevare che le velocità con cui si manifestano i processi deformativi, pur essendo estremamente diverse caso per caso, rientrano in un campo di variabilità confrontabile con quello delle

<sup>1</sup> Nell'ambito di questo testo, per poter disporre di termini descrittivi oltre che interpretativi, il termine tettonica (e derivati) verrà utilizzato nella sua accezione più ampia, cioè con riferimento all'assetto strutturale di un ammasso roccioso indipendentemente dal tipo di processo che ne è all'origine: passando invece alla terminologia interpretativa, si parlerà di glaciottettonica, di tettonica indotta da attività geodinamica, di tettonica gravitativa, ecc.

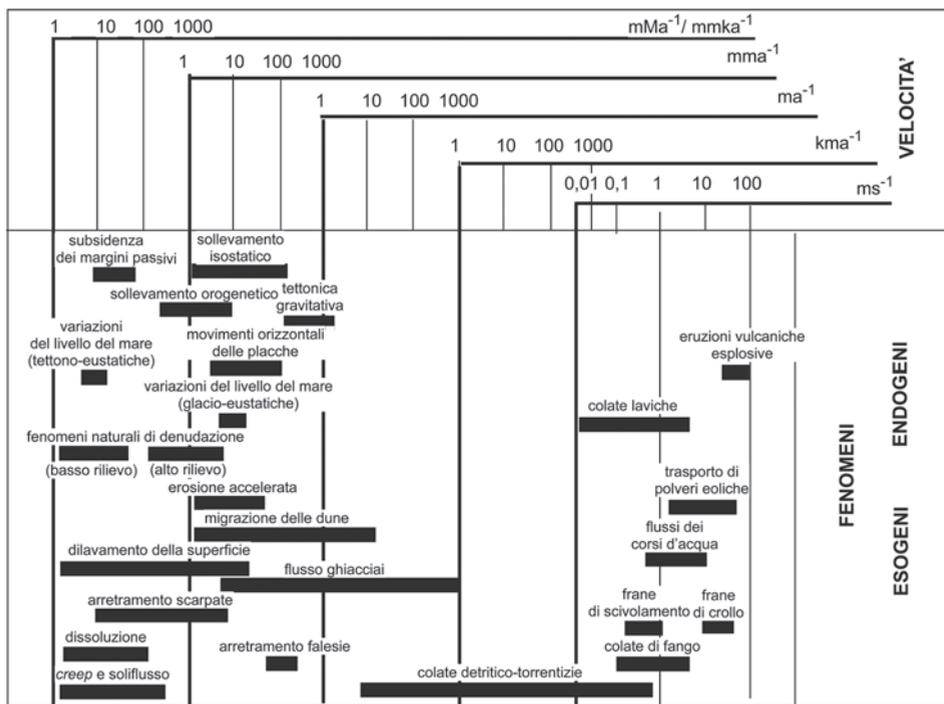


Figura 2.1. Confronto tra i range di velocità di alcuni processi geologici (fonte: Summerfield, 1991, modificato)

velocità degli altri due gruppi di fenomeni (figura 2.1)<sup>2</sup>, si è compreso che intercorre un rapporto di interazione anche tra processi litogenetici e tettogenetici, da un lato, e processi morfogenetici dall'altro.

Analogamente all'attività geodinamica sinsedimentaria, è perciò necessario prendere coscienza dell'interazione anche con un'attività geodinamica sinmorfogenetica (intesa nella sola componente endogena).

Secondo un modello interpretativo che si trova ancora accreditato in alcuni libri di testo per le scuole secondarie, l'immaginaria superficie di involuppo delle cime più alte delle Alpi (ted. *Gipfelflur*) corrisponderebbe alla superficie di emersione della catena: le più alte cime ne rappresenterebbero i resti conservati; è invece palese che la configurazione virtuale di quest'ultima (si approfitta di questa sede per introdurre un termine che troverà largo uso nell'ambito di questo testo: con **configurazione virtuale** verrà indicata la **configurazione** che una determinata superficie avrebbe attualmente se non fosse intercorsa l'erosione che ne ha cancellato ogni traccia, mentre la **configurazione** della stessa si andava evolvendo; si tratta quindi di una **configurazione** che non ha mai avuto un riscontro reale nel paesaggio o, se si preferisce, che non è mai esistita) si svilupperebbe a quote più alte di queste cime di diverse migliaia di metri (figura 2.3): l'erosione, esplicitasi

<sup>2</sup> Si osserva, per inciso, che il fatto che le relativamente elevate velocità con cui può cambiare il trend di alcuni processi geologici, come ad esempio il clima o l'intensità e l'orientazione del campo di stress, mette in crisi il concetto di "tempo di ritorno" di fenomeni geologici.

contestualmente e conseguentemente alla deformazione intercorsa (soprattutto al sollevamento), ha infatti demolito e asportato la parte più alta dell'ammasso roccioso coinvolto nell'orogenesi.

A riprova della validità di questa affermazione, se ce ne fosse bisogno, sta, solo per fare un esempio, il fatto che alcuni ricoprimenti sono conservati in lembi relitti dall'erosione (*lembi di ricoprimento* come il Cervino e la Dent Blanche); anche i cosiddetti *sovrascorimenti di vetta* (*Gipfelfaltungen*) delle Dolomiti, che hanno costituito per lungo tempo un dilemma interpretativo (figura 2.2), sono illuminanti al riguardo. Il "riempimento" (sindeformativo) della fossa padana, costituito dai cosiddetti "depositi correlativi", ne rappresenta un riscontro per così dire positivo.

Un discorso non molto diverso può valere per i **terrazzi** che articolano a quote differenti i versanti di una valle fluviale: in passato, si riteneva fossero stati modellati dal corso d'acqua durante il suo progressivo approfondimento nel rilievo già completamente realizzato; in altre parole, in questa prospettiva, un terrazzo che si sviluppa, ad esempio, 100 m più in alto dell'attuale fondovalle rappresenterebbe una traccia lasciata dal corso d'acqua quando questo aveva il proprio letto 100 m più in alto dell'attuale.

Come si vedrà, invece, ammettendo un'interazione continua tra sollevamento e approfondimento erosivo (ingl. *downcutting*), si può immaginare che il corso d'acqua (si fa rife-



Figura 2.2. Il versante occidentale del Piz Boè (Gruppo del Sella, Dolomiti): nella parte più alta del rilievo, oltre la fascia detritica, sono riconoscibili una serie di *thrust* sovrapposti, variamente deformati, che separano rocce delle formazioni della Dolomia Principale e dei Calcarei di Dachstein (Trias sup.), del Rosso ammonitico (Giurassico) e delle Marne del Pùez (Cretacico) sovrapposti alla formazione della Dolomia Principale (Trias superiore)

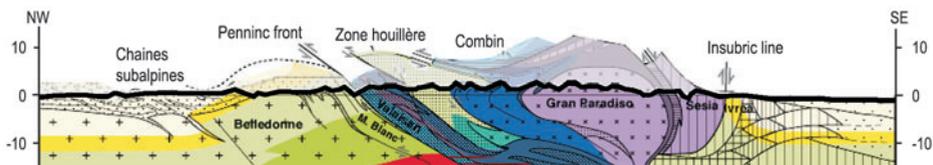


Figura 2.3. Profilo geologico attraverso le Alpi occidentali (fonte: Bousquet et al., 2008). La traccia nera rappresenta il profilo topografico reale, mentre la parte della sezione geologica al di sopra di quest'ultima rappresenta la porzione ricostruibile, completamente demolita, sottostante la [superficie virtuale](#)

rimento a un corso d'acqua molto evoluto, di impostazione di poco successiva all'emersione del rilievo) abbia avuto il proprio alveo a una [quota assoluta](#) più o meno costante. Con il termine [quota assoluta](#) ci si intende riferire alla posizione altimetrica, non riferita al livello del mare, ma, appunto, assoluta, di un determinato punto, come risultante della storia deformativa ed erosiva in un determinato momento di un ammasso roccioso. Come tale, è rilevabile solo da una postazione esterna alla superficie terrestre, come ad esempio da satellite (si veda il capitolo 11): i 100 m di dislivello corrispondono quindi alla differenza tra il sollevamento e l'approfondimento erosivo intercorsi nel frattempo<sup>3</sup>.

Alla base del modello interpretativo secondo il quale, invece, il corso d'acqua si sarebbe venuto a trovare progressivamente a una [quota assoluta](#) più bassa, sta lo stesso tipo di errore concettuale che commette la persona digiuna di geologia, la quale, trovando il fossile di un organismo di natura marina in montagna, ne deduce che "una volta il mare arrivava lì": sono invece evidentemente le rocce che contengono il fossile, le quali si trovavano inizialmente sul fondo del mare, a essere state sollevate in seguito fino alla quota attuale.

Il modello evolutivo che allora può sembrare più reali-



Figura 2.4  
Veduta aerea della [dissezione](#) dei conoidi coalescenti pleistocenici inferiori del torrente Elvo e Cervo (Biellesse) da parte del [reticolato idrografico epigenetico](#) ("nato" cioè sulla [superficie di accumulo](#) originaria) [E1]

<sup>3</sup> In molti casi, i tassi di sollevamento che si ricavano applicando questo tipo di approccio possono apparire eccessivi; questa sensazione è però una conseguenza della non ancora completa presa di coscienza della portata della neotettonica: i valori che si ricavano sono infatti confrontabili, come ordine di grandezza, con i tassi di [esumazione](#) ottenuti con le tracce di fissione dell'apatite (si veda ad esempio Balestrieri et al., 2004) o con la ripetizione a distanza di decine di anni di misure geodetiche di precisione (si veda il capitolo 11).

stico è quello di un rilievo nel quale cambiano progressivamente i litotipi che vengono alla luce, a seconda dei livelli strutturali raggiunti dall'erosione, ma che comunque si evolve sia planimetricamente sia altimetricamente. L'affioramento di litologie molto erodibili operato da agenti particolarmente attivi in condizioni climatiche favorevoli può comportare, invece, la temporanea riduzione sia dell'estensione sia dello sviluppo altimetrico del rilievo. Come, in maniera lungimirante, ha scritto Trümpy (1964), *“from late Oligocene to middle Miocene, the Alps formed a chain of high mountains, but they were not more than a hilly tract of country by the beginning of the Pliocene. The present morphology, especially of the western Alps, is the product of Pleistocene uplift and erosion”*. Questo vale anche per i “rilievi isolati”, che rappresentano elementi embrionali dell'ampliamento del rilievo [A6]: nel caso del Montarolo di Trino Vercellese, l'estensione planimetrica è cambiata continuamente, ora ampliandosi ora riducendosi in relazione alla migrazione laterale dei corsi d'acqua (fiumi Po e Dora Baltea, torrente Marcova) che lo lambiscono, non ricalcando perciò in superficie il settore di maggior sollevamento; non è improbabile che in qualche momento del periodo iniziale della sua evoluzione, in occasione dell'affioramento di litotipi particolarmente erodibili, il rilievo isolato abbia perso per qualche tempo la propria espressione morfologica. Considerazioni analoghe possono essere fatte per il rilievo isolato di Novara, caso nel quale i corsi d'acqua sono rappresentati dai torrenti Agogna e Terdoppio.

## 2.2. Rapporti “sequenziali” e “interrelazionali”

Gran parte della terminologia che riguarda i processi morfologici, e non solo, risente ancora di questo modello interpretativo che si potrebbe indicare come “sequenziale”, contrapposto a quello “interrelazionale”, illustrato finora, nel quale i tre diversi tipi di processi agiscono contemporaneamente.

A titolo di esempio di seguito si riportano alcuni di questi termini, di uso corrente nelle interpretazioni che utilizzano il primo modello, i quali riguardano soprattutto i rapporti tra corsi d'acqua e strutture: “antecedenza” (prima si imposta il corso d'acqua e poi si evolve la struttura), “sovraimposizione” (caso contrario), “superficie iniziale” (prima si realizza una superficie e poi su questa “nasce” e si evolve il corso d'acqua), e analogamente “adattamento di un corso d'acqua alla struttura” (prima si evolve completamente la struttura e poi il corso d'acqua vi si adatta), ma anche “lembo di terrazzo” come se il terrazzamento avvenisse prima della **dissezione** del corpo (o della superficie) terrazzato (si veda il capitolo 3) e non contestualmente a essa, “bacino riempito”, come se la depressione preesistesse all'apporto del materiale di riempimento mentre la subsidenza che determina la formazione del bacino si esplica contemporaneamente alla sedimentazione, e anche “suolo decapitato” o “suolo troncato”, come se l'erosione non interagisse con la pedogenesi (si veda il capitolo 10).

## 2.3. Rimodellamento

Assumendo come presupposto che l'evoluzione di un rilievo tuttora soggetto all'attività geodinamica come le Alpi avvenga attraverso l'ininterrotta composizione dinamica tra deformazione ed erosione (con estemporanea e localizzata interposizione di episodi de-

posizionali), ne deriva che tale evoluzione consiste nella sovraimpressione continua di **forme** (intese come superfici, prive cioè di spessore) di erosione nell'ammasso roccioso il cui assetto strutturale è a sua volta in continua evoluzione.

In questo processo, può intervenire però una successione di episodi erosivi che conservano gli aspetti più caratteristici delle **forme** precedenti e sono quelli in cui l'erosione agisce arealmente (si fa riferimento essenzialmente all'azione del ruscellamento diffuso), altri invece che, quando si impostano, obliterano completamente la morfologia precedente e sono quelli connessi con l'acqua incanalata nelle sue diverse manifestazioni (corsi d'acqua e ghiacciai). Si può quindi affermare che se sotto il profilo strettamente cronologico le **forme** (sia di erosione sia di accumulo) sono tutte praticamente attuali, perché comunque ritoccate dall'erosione del ruscellamento diffuso, paradossalmente sono anche di età diversa, perché in molti casi conservano configurazioni precedenti, che consentono di identificarle e interpretarle geneticamente e stabilire una collocazione cronologica della loro realizzazione relativa rispetto ad altre **forme** (si veda *infra morfostratigrafia* [A2]).

Si userà nel seguito il termine **rimodellamento** per indicare complessivamente la sovraimpressione continua di **forme** di erosione, fenomeno del quale le formazioni superficiali rappresentano contestualmente, per usare un termine tecnico, lo "sfrido", cioè il prodotto della demolizione<sup>4,5</sup>.

Il **rimodellamento** assume aspetti particolari quando a produrlo non è il ruscellamento diffuso, ma l'acqua incanalata. Per fare un esempio, sui versanti della bassa Valle Pesio (Sacco, 2001), interamente modellati in porfiroidi, è stata cancellata

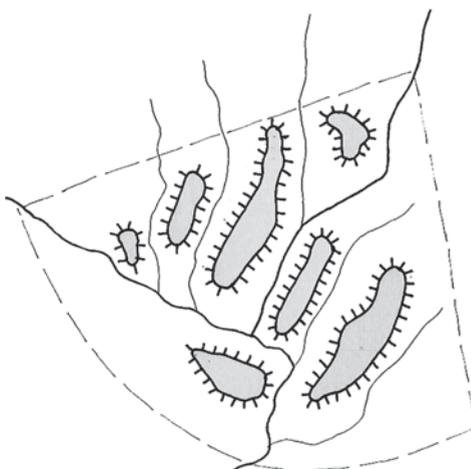


Figura 2.5. **Dissezione** di un conoide alluvionale da parte del corso d'acqua al quale è legato geneticamente il conoide stesso e del **reticolato idrografico epigenetico** suo tributario

<sup>4</sup> Il fenomeno interessa evidentemente anche le cosiddette *paleosuperfici*: è scontato che nessuno crede che questi importanti relitti morfologici, diffusi in Appennino come nei rilievi carbonatici delle Prealpi, conservino attualmente la **configurazione** originaria: a eccezione dei rarissimi punti in cui su di esse sono tutt'ora conservati aderenti i depositi formatisi durante o subito dopo il loro modellamento (per esempio, i depositi torbosi con *Mastodon* e un'associazione pollinica pliocenica rinvenuti sull'Altopiano di Asiago da Bartolomei e Cattani (comunicazione personale) (si veda la nota 1 nel capitolo 6 [A29]): la loro **configurazione** attuale si discosta da quella originaria tanto più quanto più antica è la **forma** originaria e tanto meno conservativo è il litotipo in cui sono modellate. Tuttavia, nel suo insieme, il settore di paesaggio corrispondente conserva caratteri tali da potervi identificare appunto una *paleosuperficie*. Ma quello delle paleosuperfici non è che un caso particolare, particolarmente conservativo, di tutte le superfici interessate dal **rimodellamento**, cioè di tutte le **forme**.

<sup>5</sup> Nella ricostruzione dell'evoluzione dei rilievi di tipo appenninico, si pone spesso il problema dell'analisi del significato dei **lembi** di superfici di spianamento. Nei tentativi di correlazione tra questi, proposti dai diversi autori, si dà in genere per scontato che, tenuto conto delle eventuali deformazioni intercorse, il termine più alto conservato sia anche il primo in assoluto tra quelli modellati nel rilievo in sollevamento: solo la ricostruzione accurata della successione di **forme** di erosione e di depositi potrà escludere che in passato fossero presenti superfici di spianamento più antiche, in seguito completamente cancellate dall'erosione.

ogni traccia del modellamento legato al ghiacciaio vallivo principale. Tuttavia nei depositi alluvionali dei bacini secondari che vi sono impostati, si rinvengono numerosi massi di calcari, dolomie e quarziti che, per la natura litologica e per la forma, mostrano di derivare dalla **rielaborazione** (cioè dal rimaneggiamento) di depositi legati al ghiacciaio vallivo principale, testimoniandone in maniera incontrovertibile l'originaria estensione. Nel caso particolare in cui il **rimodellamento** a opera dell'acqua incanalata interessa un corpo sedimentario a partire dalla sua espressione morfologica originaria, si può parlare di **dissezione**: un esempio generalizzato di questo processo è fornito dal **rimodellamento** subito dai corpi deltizi pliocenici della costa ligure occidentale che, a seguito del sollevamento intercorso dopo la loro formazione, sono stati appunto smembrati in una serie di lembi (figura 2.6). L'evoluzione dei singoli lembi in cui è stato scomposto l'originario corpo sedimentario può proseguire fino a trasformarli in **dorsali residue** (si veda *infra*), nel caso specifico costituite interamente da depositi deltizi.

I fattori che regolano i tre tipi di processi (litogenesi, tetto-genesi e morfogenesi) sono controllati, a loro volta, ognuno da variabili indipendenti da quelle che controllano un altro: se in un determinato intervallo di tempo in un'area le precipitazioni sono più frequenti, prolungate e intense che in un altro (e quindi i processi morfogenetici sono caratterizzati da maggiore capacità erosiva), non esiste alcuna relazione con il fatto che in quella stessa area e in quello stesso intervallo di tempo sia in atto o meno una variazione nella velocità di sollevamento oppure che il substrato su cui agiscono in quel momento gli agenti morfogenetici sia più o meno erodibile.

La successione dei processi di **rimodellamento** determina l'affioramento, in ogni istante geologico, di livelli (strutturali o stratigrafici, in relazione ai diversi tipi di orogeni) progressivamente più profondi dell'ammasso roccioso in cui è modellato il rilievo stesso. Si indicherà con il termine **esumazione**, nella sua accezione etimologica, il "portar fuori dalla terra", cioè far affiorare, determinato dall'erosione, rocce che in precedenza, nella storia del rilievo (e non evidentemente in quella del bacino sedimentario da cui derivano le



Figura 2.6. **Dissezione** dell'ala sinistra del delta pliocenico (P) della Valle di Taggia (Ponente ligure). Si noti il sistematico cambiamento di direzione dei corsi d'acqua che hanno operato la **dissezione**, al passaggio tra substrato prepliocenico (*Flysch* ad Elmintoidi = S) e il corpo sedimentario pliocenico (P), cambiamento legato alla diversa età delle rispettive **superfici iniziali** (fonte: Immagine Terraltaly™ – © Blom CGR)



Figura 2.7. Gli stessi relitti del delta pliocenico nella Riviera ligure di Ponente di figura 2.6, ripresi da terra: si osservi il caratteristico profilo longitudinale degli "spicchi" in cui è stato disseccato il corpo deltizio, delimitato verso valle dalla scarpata di erosione marina e interrotto verso monte dal maggior grado di **rimodellamento** che ha cancellato la **superficie di accumulo** originaria

rocce che eventualmente lo costituiscono), non avevano mai visto la luce. Verrà utilizzata invece l'espressione **riesumazione** per indicare il processo di riportare alla luce, sempre ad opera dell'erosione, di formazioni rocciose che nella storia del rilievo erano già affiorate in precedenza, e che successivamente sono state sepolte e in seguito, appunto, riesumate. Inoltre, la **resistenza all'erosione** dei diversi tipi di rocce (parametro opposto dell'erodibilità, che meglio si presta al ragionamento che si sta svolgendo), determina un ritardo più o meno sensibile nella risposta al cambiamento di "comportamento" degli altri fattori che controllano l'evoluzione: il sistema è cioè condizionato da una notevole inerzia<sup>6</sup>.

Ne consegue che la variazione del *trend* evolutivo (il passaggio da prevalente erosione a prevalente sedimentazione) che si riscontra in un'area in un determinato momento non può essere ricondotta direttamente al cambiamento di "comportamento" di uno dei tre gruppi di fattori perché questo *trend* rappresenta sempre il prodotto della loro composizione. Detto in altri termini, risulta artificioso, oltre che difficile e per non dire impossibile, discriminare la componente litologica, climatica o geodinamica (ed è quello che invece si fa spesso nei lavori di geologia del Quaternario) nella variazione del *trend* evolutivo di un determinato ambiente geologico.

Alla prevalente evoluzione a opera dell'erosione possono però intercalarsi localmente ed estemporaneamente episodi deposizionali. Nei rilievi, la maggior parte di questi ha carattere temporaneo, nel senso che sono destinati a essere asportati dal procedere del **rimodellamento** (si veda *infra*): l'allontanamento avviene in maniera differenziale, così come agisce il sollevamento che tra i processi geodinamici è certamente quello che assume il ruolo di protagonista nell'innescare e nel controllare l'erosione. Proprio per questo motivo in un rilievo come le Alpi i depositi e le **forme** quaternari più antichi sono conservati nelle fasce marginali, mentre nella parte restante sono presenti solo **forme** e depositi molto recenti (figura 2.10). In altre pa-

<sup>6</sup> Nel processo di interazione tra attività geodinamica ed erosione, ci sono altri fattori che possono interagire, tra questi si cita l'esposizione, che, tra l'altro, è l'unico che rimane costante durante tutta l'evoluzione.

role, le formazioni superficiali nei rilievi possono essere considerate, per così dire, “in transit”; sono rari i settori interni della catena alpina, legati a particolari condizioni strutturali relativamente stabili quanto a posizione verticale, come fronti di *thrust* oppure grandi strutture trascorrenti, in cui i depositi si conservano relativamente più a lungo (si vedano ad esempio i sedimenti lacustri eemiani della Val Vigizzo (Verbania) conservati in una depressione che rappresenta l’espressione morfologica della Linea delle Centovalli, appunto importante struttura trascorrente).

L’evoluzione geologica degli ambienti continentali consiste dunque nella successione e nell’interazione di episodi di sedimentazione, di erosione e di deformazione. I riscontri dei primi sono rappresentati da corpi sedimentari, mentre i secondi sono testimoniati da superfici, cioè da *forme*. Si conviene di indicare con il termine *geometria* (tabulare, lenticolare, ecc.) la figura geometrica alla quale sono riconducibili i corpi sedimentari; si parlerà invece di *configurazione* per riferirci all’aspetto delle *forme* (che si è visto essere superfici, prive cioè di spessore).

#### 2.4. Ruolo prevalente dell’erosione nel tempo

Va a questo punto sottolineato che una successione costituita, ad esempio, da superficie di erosione – corpo sedimentario – superficie di erosione, non corrisponde necessariamente e neanche probabilmente alla semplice successione di un episodio di erosione, seguito da uno di sedimentazione e ancora da uno di erosione: sia le superfici sia i corpi costituiscono la risultante (finale, complessiva) dell’episodio che rappresentano; durante l’episodio con risultante erosiva possono essere intercorsi uno o



Figura 2.8. Esempio di **rimodellamento** di forme di esarazione, prodotto dall’azione del gelo-disgelo (Lago Boccutto, Valle dell’Orco)



Figura 2.9. Il circo glaciale olocenico del Monte Rocciamelone è stato in gran parte cancellato dai processi di **rimodellamento**

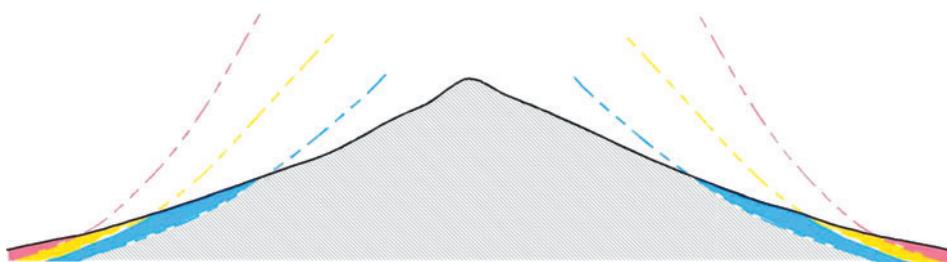


Figura 2.10. Le diverse **unità di modellamento** (si veda *infra*) costituenti una successione terrazzata (quindi con i termini più antichi a quota più elevata e quelli più recenti a quota progressivamente più bassa) sono state obliterate dall'erosione a seguito del sollevamento del rilievo. Il carattere differenziale del sollevamento ha fatto sì che i termini più antichi della successione si siano conservati solo nei settori marginali, interno ed esterno, del rilievo stesso

più eventi deposizionali completamente oblitterati dal procedere dell'erosione. Analogamente, durante un episodio a risultante deposizionale, possono essersi verificati più eventi erosivi di modesta portata, in genere difficilmente riscontrabili: questi, oltre a interrompere la continuità della sedimentazione (continuità che, come si vedrà, costituisce un mito da sfatare), hanno asportato parte dei sedimenti già depositi; in altre parole, possono essersi verificati episodi erosivi o sedimentari i cui prodotti sono stati completamente cancellati dagli eventi successivi. È quello il fenomeno illustrato nella figura 2.11, la cui funzione principale è però di dimostrare che in ambiente continentale (come si vedrà, anche nelle pianure alluvionali) il tipo di processo che comunque prevale nel tempo è quello erosivo<sup>7</sup> [A3].

Accanto alle **forme** che rappresentano l'espressione morfologica di processi di erosione e che si indicheranno quindi come **forme** di erosione, esistono ovviamente anche **forme** di accumulo, intese come espressione morfologica dell'accumulo stesso. Nella ricostruzione dell'evoluzione geologica, le **forme** di accumulo assumono però un significato profondamente diverso dalle prime: più in particolare, sotto il profilo cronologico, esse non rappresentano un intero episodio, ma solo l'**istante conclusivo** dell'intervallo di tempo in cui ha preso origine il corpo sedimentario di cui raffigurano l'espressione morfologica<sup>8</sup>: esse costituiscono infatti, in ogni caso, il solo momento di chiusura dell'episodio sedimentario. In quanto tali, verranno indicate come **superfici di accumulo** o espressioni morfologiche dei singoli corpi sedimentari.

Alla luce anche di quanto si vedrà nelle figure 2.11 e 2.12, questa constatazione deve far riflettere sul significato paleoclimatico, cronologico o paleoambientale di eventuali resti fossili contenuti nel deposito (si veda il capitolo 10).

In figura 2.14 viene riportata la situazione che si riscontra diffusamente su estese superfici terrazzate anche debolmente inclinate (per esempio conoidi pleistocenici) dopo un signi-

<sup>7</sup> Si vedrà nel capitolo 10 che anche nei settori di fulcro tra la parte in sollevamento e quella in (relativa) subsidenza, nei quali si esprime più tipicamente la pedogenesi, quest'ultima interagisce con l'erosione.

<sup>8</sup> Ciò vale evidentemente per **superfici di accumulo** appena formate, non per quelle, esposte, che hanno subito un minore o maggiore **rimodellamento** dopo la loro formazione, fatto questo che trasforma anch'esse progressivamente in vere e proprie **forme** di erosione, di significato però anche in questo caso completamente diverso da quello delle **forme** di erosione che rappresentano il prodotto finale di un episodio erosivo più o meno lungo, ma di questo si avrà occasione di parlare più avanti.

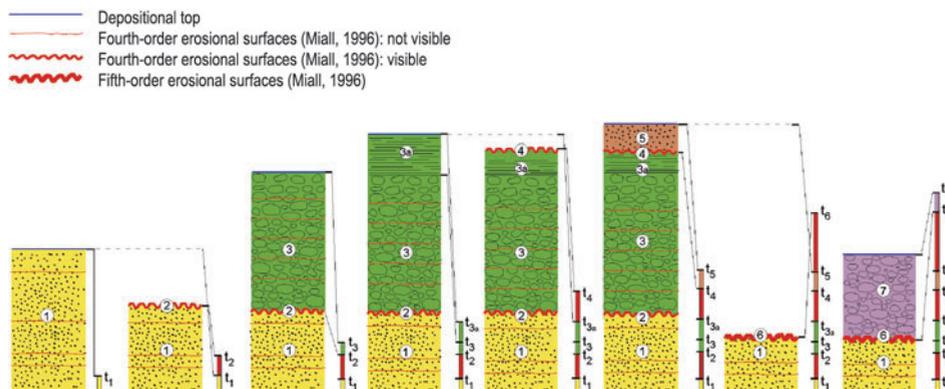


Figura 2.11. Fasi cronologiche (da sinistra a destra) della costruzione di una successione stratigrafica (immagineria) derivante dalla composizione di episodi deposizionali ed erosivi. I numeri indicano i singoli episodi e il loro corrispondente “riscontro” geologico (corpo sedimentario o superficie di erosione);  $t_1, t_2, \dots, t_7$ , gli intervalli di tempo corrispettivi. Si osservi che non c'è alcuna relazione tra lo spessore dei corpi sedimentari e i corrispondenti intervalli di tempo; la completa obliterazione dei corpi 3, 3a, 4 e 5 conseguente all'episodio erosivo 6 dimostra che, anche non prendendo in considerazione le altre motivazioni indicate nel testo, non c'è alcuna correlabilità diretta tra la successione stratigrafica conservata (1, 6 e 7) e la successione di eventi (1 ... 7) (fonte: Carraro e Lucchesi, 2004). Si veda anche la figura 2.12

ficativo intervallo di tempo durante il quale ha agito il **rimodellamento**: nella parte prossimale affiora il sedimento alluvionale praticamente inalterato; qui i processi di erosione hanno finito per prevalere su quelli pedogenetici, non consentendo lo sviluppo di un suolo con un grado di evoluzione che rispecchi l'intervallo di tempo durante il quale ha agito la pedogenesi; in quella distale è presente invece un suolo molto evoluto, coperto da *sedimenti di suolo* colluviati dal settore a monte; in quella intermedia si osserva spesso il sedimento di suolo poggiare sul deposito alluvionale poco alterato.

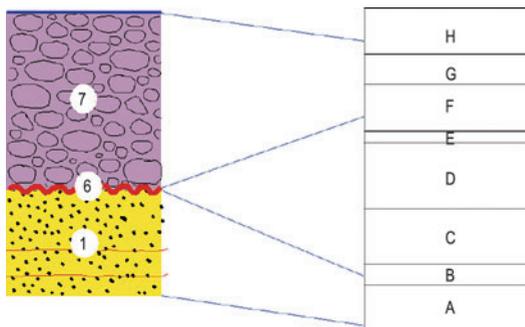


Figura 2.12. Possibile correlazione tra la successione stratigrafica finale di figura 2.11 e la corrispondente successione di eventi. Si notino la non precisa coincidenza cronologica tra le due e la mancata rappresentazione di alcuni episodi (fonte: Carraro e Lucchesi, 2004)

Nel caso di terrazzi vallivi (v. *infra*), è invece interessante seguire l'evoluzione dei singoli **lembi** nei quali l'originario fondovalle ha cominciato a essere smembrato fin dall'inizio del processo di terrazzamento: con il tempo le incisioni del **reticolato idrografico epigenetico**, oltre che ramificarsi e approfondirsi, si sono andate allargando: ne è conseguita una progressiva riduzione delle superfici dei **lembi**<sup>9</sup> e il sempre maggior smussamento dei loro margini, associati al **rimodellamento** dei settori di superficie originaria.

<sup>9</sup> È interessante osservare che questo processo avviene molto lentamente, perché con la **dissezione** viene a ridursi drasticamente l'alimentazione del ruscellamento diffuso.

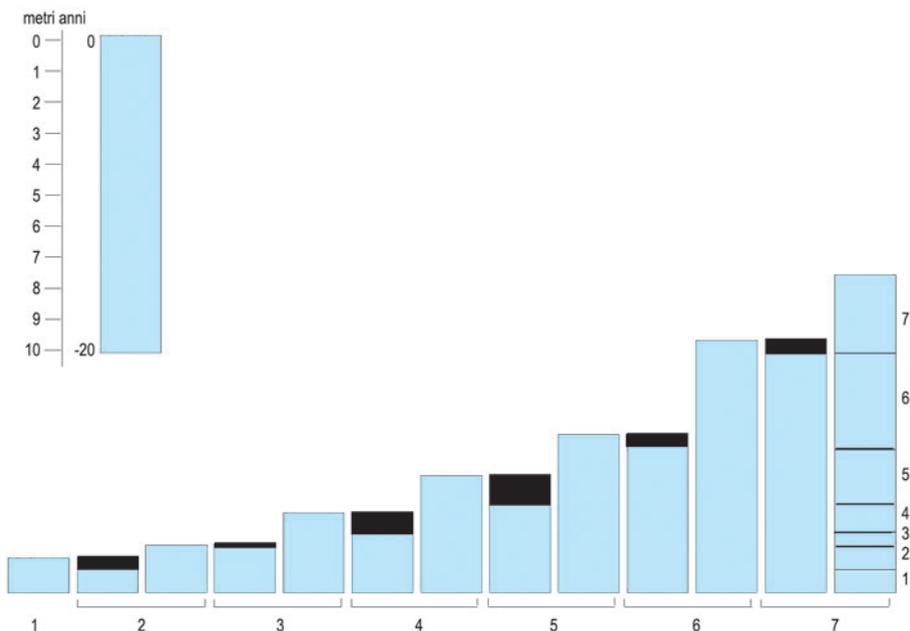


Figura 2.13. Il corpo ghiaioso potente 10 m, depositosi nell'arco di 20 anni (esempio immaginario), corrisponde alla somma dello spessore di sette livelli depositisi in occasione di altrettanti eventi alluvionali estremi, meno la parte di ognuno di questi asportata all'inizio di ogni episodio successivo (evidenziata in nero). Poiché la durata di ciascun evento alluvionale è stata di alcune ore, si può valutare che dei 20 anni teoricamente corrispondenti al corpo ghiaioso sono direttamente rappresentate solo alcune decine di ore, quindi una frazione di tempo inferiore di quattro ordini di grandezza all'intervallo di tempo complessivo. Si può assumere che questo modello valga anche per intervalli di tempo più lunghi: quindi si può stimare che in una formazione ghiaiosa, la cui deposizione sia avvenuta nell'arco di 100.000 anni siano rappresentate direttamente solo alcune decine di anni

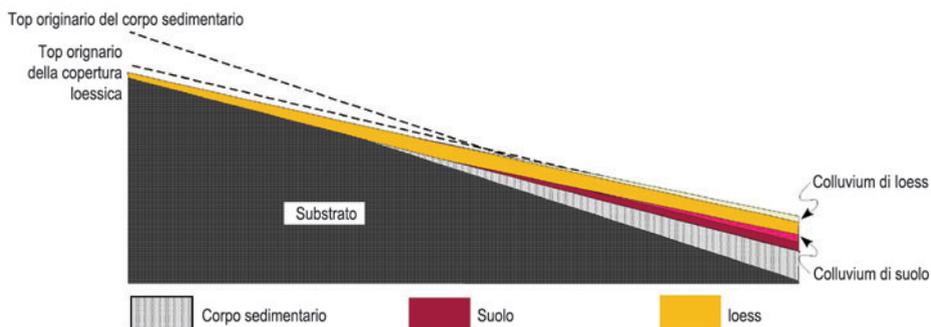


Figura 2.14. Profilo geologico longitudinale illustrante il rimodellamento della superficie di accumulo del conoide alluvionale del torrente Strona di Mosso (Biella) (fonte: GSQP, Gruppo di Studio del Quaternario Padano, 1978)

L'elemento discriminante tra un sedimento di suolo e un suolo è la natura netta della base del primo (riconoscibile nella figura 2.15 [A4]).

Figura 2.15

Esempio di sovrapposizione di una coltre colluviale, costituita da sedimenti di un suolo molto evoluto, sulla **superficie di accumulo** rimodellata di depositi eolici (*loess*). L'assenza di affioramenti adeguati avrebbe potuto portare a una non corretta valutazione del grado di evoluzione del suolo, e quindi dell'età, del corpo sedimentario coperto dalla coltre colluviale: sul sedimento di suolo, una volta messo in posto, tende a svilupparsi una **pedogenesi secondaria** che può trarre in inganno circa la vera origine del prodotto



## 2.5. Dorsali residue

I terrazzi fluviali sono generalmente conservati nei tratti distali delle valli, sul prolungamento verso monte (con riferimento all'asse vallivo principale) della fascia altimetrica in cui è presente un determinato ordine di terrazzi, si rinvengono, spesso, dorsali che si protendono a mezza costa dal versante stesso. Queste si caratterizzano per i seguenti motivi:

- si sviluppano tutte al di sotto del prolungamento **virtuale** verso monte (sempre con riferimento all'asse vallivo principale) dell'allineamento altimetrico dei terrazzi conservati in prossimità dello sbocco vallivo;
- il punto di flesso con il quale si raccordano al versante da cui si protendono (freccie rosse in figura 2.16) è conservato a quote diverse, caso per caso, sempre però più basse (a volte anche di molto) di quella della continuazione **virtuale** del margine interno del terrazzo stesso;
- i principali corsi d'acqua dei bacini secondari mostrano talora un brusco cambiamento di direzione nel tratto in cui attraversano la fascia altimetrica sulla quale ricade il prolungamento **virtuale** dei terrazzi conservati [A5];
- sulle dorsali più prossime ai terrazzi conservati, si rinvengono talora ciottoli sparsi che documentano l'originaria presenza di depositi (si veda la figura 2.19).

Situazioni analoghe si ripetono frequentemente anche in corrispondenza a fasce altimetriche più alte, dove non sono più conservati terrazzi neanche in prossimità allo sbocco vallivo.

La serie di elementi elencati fa presumere che gli stadi successivi dell'evoluzione dei terrazzi consistano nella progressiva riduzione della superficie nella quale dapprima sono conservate ancora testimonianze del deposito, fino alla fase finale, nella quale il sedimento è stato completamente asportato e l'ultima traccia è rappresentata da una rottura di pendenza, modellata interamente nel substrato, presente sul versante, che si innesta in quest'ultimo sul prolungamento ideale verso monte (sempre con riferimento all'asse vallivo principale) dei terrazzi conservati.

Si indicheranno in seguito queste **forme** in roccia, molto diffuse, con la denominazione di **dorsali residue**<sup>10</sup> [E2].

Per la ricostruzione delle diverse fasi del processo di **rimodellamento** di un terrazzo si rinvia alla figura 2.23.

Lo sviluppo altimetrico di una **dorsale residua** non consente però di stabilire la quota **virtuale** del terrazzo: il punto di flesso verso monte (freccette rosse in figura 2.16) di queste dorsali è situato sempre a quota più bassa (a volte anche di molto) di quella **virtuale** del margine interno del terrazzo stesso.

L'utilizzazione delle **dorsali residue** come testimonianza delle diverse fasi di terrazzamento di una valle fluviale consente di ricostruire un numero molto maggiore di episodi rispetto a quelli che si riconoscono sulla sola base dei terrazzi conservati. In particolare, si ritrovano le tracce di quelli più alti e più antichi, non raramente fino in prossimità dello spartiacque (potendo un corso d'acqua alternativamente approfondire il proprio alveo, migrare lateralmente o sedimentare, dalla combinazione di questi processi possono prendere origine unicamente terrazzi: a questo proposito si vedano i profili allostratigrafici nel capitolo 12). In figura 2.20 è rappresentata la sezione della valle del fiume Reno in Emilia, costruita utilizzando le **dorsali residue**: è stato riconosciuto in questo modo un numero molto elevato di unità a fronte delle due rappresentate nella cartografia geologica ufficiale (F 87, "Bologna", Serv. Geol. It., 1963). Come si vedrà più avanti, il ricorso alle **dorsali residue** rappresenta uno degli elementi basilari nella costruzione dei profili allostratigrafici (si veda il capitolo 12); si consideri inoltre che il riconoscimento delle **dorsali residue** risulta particolarmente utile nella ricostruzione dei terrazzi marini.

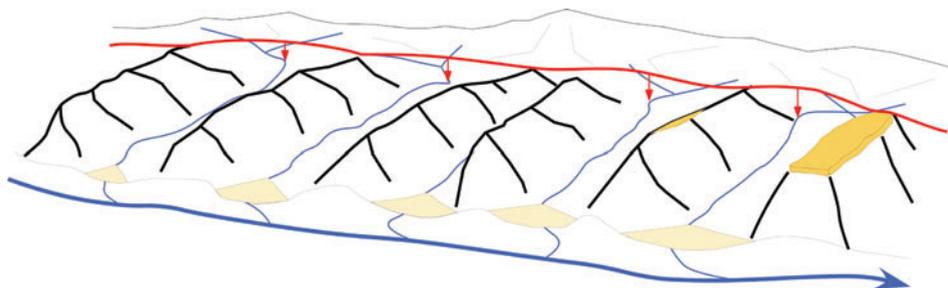


Figura 2.16. L'allineamento altimetrico delle dorsali che si protendono dal versante di una valle fluviale, tra loro e con un terrazzo in cui sono ancora conservati i depositi, è uno degli elementi che documentano che le dorsali rappresentano i relitti di un'unica superficie terrazzata, sono cioè delle **dorsali residue**. La linea rossa riproduce il margine **virtuale** dell'originario fondovalle, successivamente disseccato con il terrazzamento. Le piccole freccette rosse indicano l'originaria posizione del gomito presente nei corsi d'acqua che hanno operato la **dissezione**: questo segna il passaggio dal tratto del corso d'acqua coerente con la direzione di massima pendenza del versante, al di sopra del fondovalle, a quello corrispondente alla direzione di massima pendenza dell'originaria **superficie di accumulo** del corpo sedimentario, assunto dopo la deposizione di quest'ultimo. Entrambi gli andamenti si sono mantenuti durante l'approfondimento erosivo del corso d'acqua conseguente al sollevamento, approfondimento che si è verificato contemporaneamente alla riduzione dei terrazzi in una serie di **dorsali residue**. Questa caratteristica non è presente nei corsi d'acqua che hanno raggiunto con la propria testata, per erosione regressiva, la fascia altimetrica in cui si sviluppava il terrazzo dopo la **dissezione** di quest'ultimo [E2]

<sup>10</sup> Ci si rende conto che qualsiasi dorsale che non sia stata appena modellata o costruita e che abbia subito anche un minimo **rimodellamento**, può essere considerata come **dorsale residua**. Non si è trovata tuttavia una denominazione migliore per l'ultima testimonianza di un terrazzo.

Figura 2.17

Lo schizzo illustra la causa della presenza di un brusco cambio di direzione in un corso d'acqua che, dopo un tratto sviluppato sul versante, si è impostato sulla **superficie di accumulo** di un corpo sedimentario, seguendone la direzione di massima pendenza e mantenendola anche dopo il forte approfondimento erosivo e la completa obliterazione del terrazzo

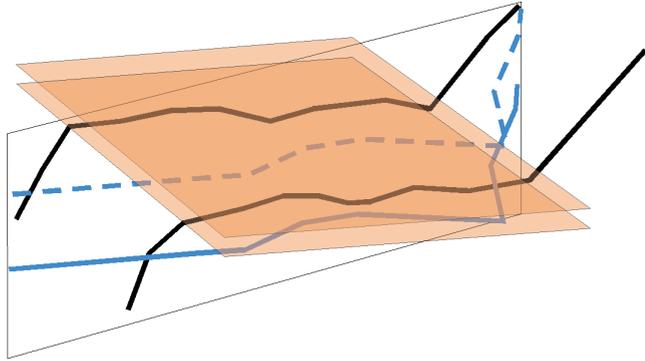


Figura 2.18

**Dorsali residue**, nella fattispecie di terrazzi glaciali, sul versante destro della Val Grande di Lanzo (Torino) (foto: G. Re Fiorentin)



Figura 2.19

La locale conservazione di alcuni massi di trasporto glaciale su una **dorsale residua**, presente sul versante sinistro della Val Grande di Lanzo, presso l'abitato di Chialamberto (Torino), conferma il suo significato di testimonianza ultima di un terrazzo: non sembra infatti possibile immaginare alcun altro tipo di meccanismo genetico di una situazione di questo tipo (foto: G. Re Fiorentin)



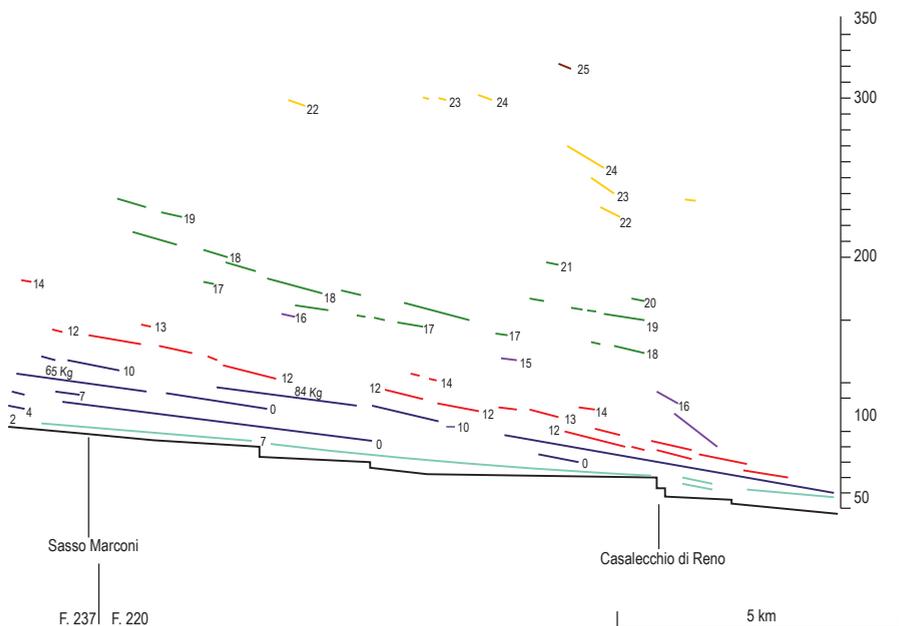


Figura 2.20. Profilo **morfostratigrafico** (si veda *infra*) della Valle del fiume Reno (Emilia); scala delle altezze esagerata (fonte: Amorosi et al., 1996)

Naturalmente, questo tipo di interpretazione non si riferisce a tutte le discontinuità nel profilo dei versanti: alcune **forme** simili possono essere il prodotto dell'erosione differenziale durante il modellamento o il **rimodellamento** o avere altra origine.

Lo studio delle **superfici di accumulo** è importante tanto quanto quello delle superfici di erosione. Come si vedrà sviluppando i criteri per ricostruire l'evoluzione geologica nei diversi ambienti continentali, si utilizzerà come filo conduttore il cambiamento di posizione nello spazio e nel tempo dell'attore principale del modellamento (corso d'acqua o ghiacciaio); l'evoluzione delle **superfici di accumulo** avviene contemporaneamente e indipendentemente da questo processo: le stesse vengono quindi a trovarsi, per così dire, "fuori sequenza" e come tali verranno analizzate; le informazioni che verranno ricavate dalle **superfici di accumulo** saranno utilizzate prevalentemente per calibrare cronologicamente l'evoluzione legata all'attore principale. Questo tipo di approccio è rappresentato graficamente nel diagramma di figura 2.22, nel quale le frecce inclinate, rivolte verso il basso, rappresentano i cambiamenti di posizione di un punto di un corso d'acqua, relativa al substrato in cui si sta approfondendo, corrispondenti a episodi di erosione; quelle verticali rivolte verso l'alto indicano il cambiamento di posizione, sempre relativa al substrato, conseguente a episodi deposizionali, generalmente più rapidi.

È appena il caso di ricordare che le **forme** di accumulo non sono necessariamente positive cioè a profilo convesso (valga per tutte l'esempio di uno scaricatore fluvio-glaciale individuato spesso dall'accostamento di due morene) e che, analogamente, le **forme** di erosione non sono necessariamente negative cioè a profilo concavo (si pensi ad esempio a un **dorso di cetaceo**).