

# PAESAGGI

## \_\_\_Indice\_\_\_

### **Introduzione**

### **Fattori che modellano**

I fattori che modellano

Il fondo degli oceani

I rilievi vulcanici

La formazione dei rilievi

Come si modellano i versanti

L'importanza del clima

### **Le forme del paesaggio**

Il paesaggio fluviale e lacustre

Il paesaggio carsico

Il paesaggio glaciale

Il paesaggio eolico

Il paesaggio costiero

Il paesaggio industriale

Il paesaggio agricolo

### **Alpi e Appennini**

Un'evoluzione continua

Com'è fatta una catena montuosa?

Storia geologica dell'Italia

Breve storia delle Alpi

Breve storia degli Appennini

Orogenesi ed erosione

La Pianura Padana: piatta solo in superficie

### **Frane**

Cause

Tante tipologie

Com'è fatta una frana

Movimenti rapidi e lenti

Il territorio italiano

Rischio o pericolo?

Studiare una frana

Difese

Prevenire

### **Ambiente e territorio**

Costruzioni di grandi opere

Erosione delle acque superficiali

Difendersi dalle frane

Valutazione di impatto ambientale

Le alluvioni

# PAESAGGI

## Introduzione

Il paesaggio naturale è frutto di un delicato equilibrio, che si è instaurato nel tempo geologico tra i diversi agenti naturali, le diverse forze, i diversi processi all'opera sulla superficie e all'interno della crosta terrestre. Non si tratta di un equilibrio statico e immutabile, ma di un equilibrio "dinamico", dove i processi interagiscono tra loro continuamente, limitandosi o amplificandosi a vicenda. Ogni intervento dell'uomo viene a intaccare questo delicato equilibrio, interferendo con i processi naturali fino al punto da modificarli, a volte in modo irreversibile. Queste interferenze possono essere negative, e l'uomo, più o meno inconsapevolmente, finisce per innescare o amplificare processi geologici che possono rivelarsi dannosi. Attraverso l'analisi del territorio, nella maggior parte dei casi, si possono prevedere i possibili effetti degli interventi dell'uomo: l'analisi del paesaggio è uno strumento importantissimo nella difesa del territorio e nel suo sfruttamento razionale e rispettoso dei processi naturali.

## Fattori che modellano

Atmosfera e idrosfera entrano in contatto con le rocce e i minerali sulla superficie terrestre dove avvengono spontaneamente processi di adattamento delle rocce stesse alle condizioni esistenti sul nostro pianeta. La superficie terrestre è in **continua evoluzione** e si modifica sempre nel corso del tempo così da formare i paesaggi. Gli elementi che caratterizzano un paesaggio sono molteplici e vanno dalla conformazione del suolo (distese di prati o montagne) ai corpi idrici (laghi, fiumi e cascate), dagli animali (fauna) alla vegetazione (flora), dal clima alle opere dell'uomo (città, strade, castelli e molte altre infrastrutture). Un paesaggio naturale, in assenza di intervento dell'uomo, spesso è il risultato di due forze opposte, di uno scontro che dura migliaia di anni tra i processi geologici che avvengono all'interno della Terra (il movimento delle placche terrestri, l'attività dei vulcani, i processi che portano alla nascita di nuove montagne) e i processi esterni alla superficie terrestre (l'erosione e il trasporto di materiale da parte del ciclo dell'acqua, i mutamenti dovuti alle particolari condizioni climatiche e altri ancora).

### I fattori che modellano

La crosta terrestre è interessata da movimenti tettonici che spostano continenti, chiudono oceani e costruiscono montagne e rendono la superficie terrestre non uniforme al nostro sguardo. Infatti, esistono regioni con altissime montagne e altre caratterizzate da profonde depressioni, come ad esempio le fosse oceaniche.

La formazione di una montagna o di corrugamenti della superficie terrestre è dovuta a fattori che agiscono dall'interno della terra e si chiamano agenti endogeni. Nel corso del tempo, i rilievi montuosi e le colline vengono erose: diminuisce la pendenza dei versanti mentre i detriti di roccia che si formano vengono depositati nelle aree più depresse (che prendono il nome di bacini sedimentari). Questa azione erosiva avviene continuamente per opera degli agenti esogeni.

La forma e le caratteristiche di un paesaggio risultano dalla sua struttura (rocce e minerali che la compongono), dai processi che modellano questa struttura e dal tempo in cui un determinato processo agisce su di essa. Ma non bisogna infine trascurare l'intervento che nel tempo l'uomo ha operato sul territorio, modificandone la forma e le caratteristiche e contribuendo alla creazione di paesaggi antropici, cioè "umanizzati", che si distinguono da quelli naturali. I paesaggi antropici, infatti, rappresentano il prodotto storico della cultura e del lavoro dell'uomo sulla natura.

### Il fondo degli oceani

Esplorando un fondale oceanico incontriamo imponenti e lunghe catene montuose sottomarine in cui si verificano terremoti e un'intensa attività vulcanica. Queste lunghe catene montuose (dorsali oceaniche) percorrono senza interruzione il fondo degli oceani Atlantico, Indiano, Antartico e Pacifico per una lunghezza totale di 80.000 km; sono rilievi molto grandi e fratturati con un'altezza di circa 3 km dal fondo oceanico e sono larghi circa 1500 km. La parte più alta è chiamata **rift valley**, è formata da una profonda incisione (come una fossa lunga e stretta) circondata da rilievi e altopiani; questa fossa è un vulcano che ha un'attività molto intensa e le rocce che si formano dalla solidificazione della lava formano la crosta oceanica. La nuova crosta oceanica forma il nuovo fondo oceanico e l'oceano aumenta le sue dimensioni. In alcuni casi la dorsale oceanica emerge dalla superficie dell'oceano e forma delle isole vulcaniche come, ad esempio, l'Islanda e le Azzorre.

La Terra non continua ad aumentare di volume perché la crosta oceanica che si forma nelle dorsali viene consumata in un'altra zona caratteristica degli oceani. Questa zona viene chiamata fossa oceanica in cui la crosta oceanica si immerge sotto quella continentale come avviene in corrispondenza della formazione della Cordigliera Andina e di archi vulcanici.

### I rilievi vulcanici

Un vulcano è un'apertura della superficie terrestre dalla quale fuoriescono lava e gas ad alta temperatura. La struttura dell'edificio vulcanico viene prodotta dal continuo accumulo del materiale eruttato e raffreddato e si distinguono:

- **vulcani lineari**, che emettono imponenti quantità di lava molto fluida che riesce a spandersi su aree molto vaste. Un esempio tipico sono i vulcani islandesi: lunghe fratture che si aprono nel terreno;
- **vulcani a cono**, che si sviluppano in prossimità di un condotto circolare dal quale fuoriesce direttamente il materiale eruttato. Essi sono caratterizzati da versanti molto ripidi che si formano successivamente all'accumulo di frammenti di lava, cenere, lapilli, bombe vulcaniche (che costituiscono i cosiddetti materiali piroclastici) espulsi violentemente dalla bocca del vulcano. In alcuni casi, durante l'attività vulcanica, vengono alternativamente eruttati lava e materiali piroclastici, per cui si formano i cosiddetti vulcani a strati come, ad esempio, lo Stromboli e il Vesuvio in Italia;
- **vulcani a scudo**, che hanno edifici molto estesi, come quelli presenti nelle isole Hawaii, con una base larga anche centinaia di chilometri e versanti poco ripidi.

## La formazione dei rilievi

L'origine delle montagne (orogenesi) avviene in seguito a movimenti tettonici che piegano e accavallano fra di loro gli strati rocciosi. Tutta la superficie terrestre, ovvero la litosfera, viene suddivisa in aree rigide chiamate placche continentali e placche oceaniche. Queste placche litosferiche sono in continuo movimento tra di loro e, quando si scontrano, si formano le catene montuose.

**Come nascono le Ande.** La Cordigliera Andina ha iniziato a formarsi 250-200 milioni di anni fa per lo scontro di una placca oceanica (placca di Nazca) e di una placca continentale (placca sudamericana). Nello scontro la placca oceanica si immerge sotto quella continentale; il movimento e l'attrito fra gli strati rocciosi provoca terremoti e la fusione di parte delle rocce stesse. Le rocce fuse, meno dense di quelle circostanti, si muovono verso l'alto, come farebbe una bolla di aria immersa nell'acqua; in questo modo si assiste alla nascita di vulcani attraverso i quali la roccia fusa (magma) raggiunge la superficie terrestre. Le Ande sono costituite da numerosi vulcani che hanno formato due catene montuose parallele, fra loro e alla costa. La catena più interna è più vecchia di quella più vicina all'oceano; esse prendono il nome di Cordigliera Occidentale e Orientale.

**Come nasce l'Himalaya.** Tutte le grandi catene asiatiche, a partire dai rilievi della Turchia, attraverso l'Iran, l'Afghanistan, il Nepal, la Cina per raggiungere Sumatra e Giava, sono il risultato dello scontro tra placche continentali. In particolare, la catena himalayana si forma in seguito allo scontro tra la placca indiana e quella eurasiatica che circa 30 milioni di anni fa erano ancora separate da un oceano chiamato Tetide. La collisione tra le placche, iniziata 45 milioni di anni fa, ha portato alla scomparsa dell'oceano e alla compressione delle rocce, che si sono corruagate e piegate innalzandosi verso l'alto. Lo scontro tra le placche continentali non è ancora terminato e le montagne himalayane continuano a innalzarsi con una velocità di 5 centimetri all'anno.

Il Mar Nero, il Mar Caspio e il Lago d'Aral sono i resti dell'oceano Tetide, scomparso in seguito all'avvicinamento e allo scontro tra le placche.

**Come nascono le Alpi.** Le Alpi si formano per uno scontro tra la placca continentale eurasiatica e la placca continentale africana, anche loro separate dall'oceano Tetide. In particolare, circa 100 milioni di anni fa, la placca africana ha cambiato la direzione del suo movimento e, spostandosi verso nord con una velocità di pochi centimetri l'anno, ha compresso le rocce della crosta oceanica della Tetide contro la placca eurasiatica. Possiamo immaginare che la placca africana si è mossa come una ruspa gigantesca, raschiando e ammonticchiando tutto il materiale che trovava sul suo percorso. Quando i due continenti si sono scontrati, parte delle rocce che formavano il fondo dell'oceano sono rimaste intrappolate nelle rocce che formavano i continenti e sospinte verso l'alto a formare le Alpi. Movimenti successivi più complessi che sono avvenuti in varie direzioni hanno portato alla formazione degli Appennini.

## Come si modellano i versanti

In seguito a piogge e temporali, l'acqua scivola in modo più o meno uniforme sui versanti e le pareti rocciose dei rilievi, **alterando e disgregando** la roccia in frammenti di varie dimensioni. Questi frammenti cadono per forza di gravità alla base dei versanti dove la pendenza diminuisce, formando

degli ammassi detritici chiamati falde di detrito. Le falde di detrito sono facilmente riconoscibili alla base delle pareti rocciose delle Dolomiti.

**Movimenti e frane.** L'alterazione chimica e la degradazione della roccia di un versante rendono più facile l'azione della forza di gravità, che porta allo spostamento lento o veloce di parte del pendio verso il basso. Le frane sono movimenti rapidi di rocce compatte, masse di detrito, quantità di argilla impregnata di acqua o di miscugli di fango, suolo, detriti di roccia. I movimenti sui versanti rocciosi si generano in seguito o durante intensi periodi di pioggia; l'acqua si infiltra tra gli strati rocciosi e permette il loro scivolamento. I versanti caratterizzati da fango secco in seguito a un periodo di siccità assorbono una grande quantità di acqua dopo una pioggia prolungata; il materiale fangoso diventa molto fluido e pesante e si muove raggiungendo velocità anche di parecchi chilometri all'ora. Le frane possono essere pericolose e avere conseguenze catastrofiche.

### L'importanza del clima

Tutti i processi che modellano la superficie terrestre sono associati fra loro e legati alle condizioni climatiche; di conseguenza sono caratteristici di determinate zone della Terra. L'area mediterranea, polare, tropicale, ecc. prendono il nome di zone morfoclimatiche e sono caratterizzate da particolari forme del paesaggio create da determinati fattori esogeni e climatici.

**Regioni caldo-umide.** Le regioni caldo-umide sono caratterizzate da abbondanza di acqua e temperature elevate che provocano intensi processi di alterazione chimica. Il suolo è ricco di **humus** ed è ricoperto da una fitta copertura vegetale che protegge il terreno dall'erosione fluviale e permette l'assorbimento dell'acqua.

Quando i rilievi sono formati da rocce granitiche, il paesaggio è dolce e caratterizzato da rilievi a forma di cupola chiamati **inselberg**. Gli inselberg si trovano isolati o a gruppi, completamente privi di suolo e copertura vegetale. Invece se i rilievi sono formati da rocce calcaree, hanno la forma di **pinnacoli e di torri** e caratterizzano i paesaggi del Vietnam e della Cina meridionale.

**Regioni aride.** Si possono individuare due tipi diversi di regioni aride:

- l'area dei deserti tropicali e delle savane è caratterizzata da una forte escursione termica, dalla scarsità delle precipitazioni e dall'assenza di copertura vegetale. L'azione di alterazione delle rocce è prevalentemente dovuta alle differenze di temperatura unite alla presenza di rugiada e dall'azione del vento. Si osservano cavità, forme a fungo e i tafoni, caratteristiche escavazioni alla base dei blocchi di roccia dovute all'azione del vento;
- l'Antartide è incluso nelle regioni aride perché è ricoperta da ghiacci perenni, l'umidità è estremamente bassa e le precipitazioni sono esclusivamente nevose. Vi si trovano forme create dall'azione del vento.

**Regioni temperate.** Nelle regioni temperate, le acque piovane inizialmente scorrono in modo uniforme sui versanti e progressivamente si raccolgono nei corsi d'acqua. La distribuzione e l'intensità delle precipitazioni varia nelle diverse regioni:

- le **regioni oceaniche** sono caratterizzate da piogge distribuite durante tutto l'anno e suoli con copertura vegetale continua;

- le **regioni mediterranee** sono caratterizzate da precipitazioni temporalesche che si verificano dopo una stagione secca; la copertura vegetale non è continua e degradata.

Le acque piovane che scorrono sulla superficie terrestre erodono i suoli e formano una serie di solchi di dimensioni diverse.

In particolare:

- se il versante è molto **ripido** e formato da **rocce argillose**, i solchi sono profondi e separati da creste, come nelle zone a calanchi degli Appennini;
- se il terreno è formato da **frammenti superficiali** più grossi di quelli sottostanti, l'acqua forma dei solchi profondi intorno al masso più grosso. Con il tempo si formano le **piramidi di terra** che possono essere alte 20–30 metri, hanno la forma di un fungo con un cappello costituito da un grande masso e un gambo formato dal materiale compatto più fine. Possiamo osservare le piramidi di terra in luoghi particolari delle Alpi e presso il lago d'Iseo.

**Regioni periglaciali.** La frantumazione delle rocce avviene per opera dell'azione del gelo nelle zone adiacenti al Polo Nord. Fino a 30 metri di profondità il suolo è interessato dal congelamento, si rigonfia in superficie formando il permafrost.

## Le forme del paesaggio

Nelle regioni vulcaniche il paesaggio è anche caratterizzato da una serie di fenomeni minori molto affascinanti, come ad esempio i **geyser** in Islanda. Questi sono delle fontane di acqua molto calda che fuoriesce direttamente dal terreno e viene spinta a grandi altezze. In Italia invece sono molto comuni le **fumarole**. Si tratta di emissioni di gas e vapori da fratture sparse sull'edificio vulcanico. Di questo tipo sono, ad esempio, le **solfatore**, particolarmente diffuse nell'area campana dei Campi Flegrei. Queste manifestazioni si sviluppano quando oramai il vulcano è spento. Si tratta di emissioni di vapore acqueo, anidride carbonica e acido solfidrico che, fuoriuscendo, si deposita come zolfo sulla superficie circostante. Anche i **soffioni boraciferi** in Toscana sono delle fumarole dalle quali fuoriesce un vapore ricco di acido borico. Per ultima bisogna citare le **sorgenti termali**, anch'esse molto diffuse sul territorio italiano, che emettono acque ricche di gas più o meno caldi, talvolta arricchite di minerali.

## Il paesaggio fluviale e lacustre

In seguito alle piogge, le acque che scorrono sulla superficie del terreno confluiscono in un rigagnolo che, unendosi ad altri corsi d'acqua, diventa un ruscello. Man mano che il ruscello fluisce verso valle riceve acqua da altri fiumi (gli affluenti) e scorre nel solco che ha formato e che è chiamato **letto o alveo**.

Il percorso di un fiume si presenta con pendenze diverse; è più pianeggiante man mano che si avvicina alla sua foce. Improvvisamente le pendenze possono aumentare quando il letto del fiume è formato da rocce più compatte e non erodibili. In queste zone si formano le **rapide** e se l'alveo ha una pendenza verticale si formano le **cascate**.

Abbandonando il tratto più ripido del suo percorso ed entrando nella zona più pianeggiante, la corrente del fiume diventa più lenta e parte del materiale trasportato viene depositato: si forma così la **piana alluvionale**. In questi spazi più vasti il fiume può assumere un percorso più tortuoso, può formare ad esempio anse o serpentine denominate **meandri**. Il fiume sfocia quindi in un lago o in mare.

**Erosione fluviale.** L'acqua, scorrendo, riesce a modellare profondamente il paesaggio, erodendo la superficie rocciosa su cui scorre, inglobando i frammenti erosi, trasportandoli e depositandoli a valle. La capacità erosiva dell'acqua dipende dalla sua velocità, ed è maggiore quando l'alveo è più pendente e durante le piene. L'acqua e la corrente fluviale trasportano in soluzione sostanze organiche, inorganiche e sali; in sospensione particelle di argilla, limo e sabbie; per rotolamento sul fondo materiale grossolano di sabbia, ghiaia e grossi blocchi.

Questa forma di erosione è chiamata abrasione e crea caratteristiche forme:

- le **marmitte dei giganti o fluviali**: dove la corrente è maggiore, il fiume riesce a scavare delle cavità di erosione che gradatamente si approfondiscono;
- le **forre**, incisioni strette e profonde scavate dal fiume in una roccia compatta che rende stabili le pareti verticali. Incisioni che si allargano verso l'alto sono le gole. Esempi sono le gole dell'Alcantara, ai piedi dell'Etna o l'affascinante Grand Canyon negli Stati Uniti;
- la **valle fluviale**: incidendo costantemente il proprio alveo, un corso d'acqua scava un solco sempre più profondo fino al modellamento di una valle. Questa costituisce un'ampia e profonda depressione della superficie terrestre delimitata da due versanti montuosi.

**La forma dei fiumi** I corsi d'acqua sono classificati a seconda della forma del tracciato:

- **a treccia**: sono formati da numerosi piccoli canali che si dividono e si uniscono più a valle. In questi casi il fiume trasporta grandi quantità di sabbia e ghiaia, è tipico delle regioni aride, semiaride e pedemontane. In Friuli, nell'alta pianura veneta il corso d'acqua prende il nome di grave. È il caso del Tagliamento, del Medusa e del Cellina quando sboccano in pianura;
- **rettilineo**: corsi d'acqua con questo tracciato sono molto rari e si trovano generalmente in corrispondenza di faglie e dove rocce diverse sono in contatto;
- **a meandro**: il corso d'acqua segue un tracciato ad anse strette e ravvicinate, che si formano in pianura e che sono in continuo movimento. Il movimento dei meandri e la deposizione di limo e sabbia che si verifica durante le inondazioni formano le pianure alluvionali, come la Pianura Padana.

**Il fiume sfocia nel mare.** Quando un fiume giunge al mare può riuscire a disperdere il materiale trasportato; in questo caso forma un **estuario**, come accade per il fiume Tamigi. Quando il fiume deposita alla foce il materiale trasportato, si forma un **delta fluviale**. Il Nilo, che si getta nel Mar Mediterraneo, e il Mississippi, che raggiunge il golfo del Messico, modellano la costa formando un delta costituito da numerosi rami fluviali. Il delta del Tevere, che si getta nel Mar Mediterraneo, è modellato dalle onde e dalle correnti marine e assume una forma appuntita; mentre la Senna, che raggiunge la Manica, è modellata dalle maree marine e assume la forma di un estuario.

Il delta di grandi fiumi può estendersi anche per diverse migliaia di chilometri quadrati; dipende dall'imponente quantità di detriti che il fiume trasporta e deposita in prossimità dello sbocco in mare. Un paesaggio deltizio (ovvero di un delta di fiume) è caratterizzato da **canali, lagune, isolotti e specchi di acqua** isolati.

**I laghi** I laghi riempiono depressioni della superficie terrestre e hanno una durata nel tempo limitata. Si possono classificare in:

- **laghi fluviali**, quando avviene l'inondazione di una pianura fluviale o quando si forma un ramo morto di un fiume che successivamente si distacca completamente
- **laghi di sbarramento**, quando una frana o una colata lavica interrompe il corso di un fiume. Può avvenire anche per deposito di materiale roccioso trasportato da un ghiacciaio;
- **laghi di origine tettonica**, si formano in depressioni create in seguito a movimenti della crosta terrestre. Esempi sono il mar Morto (il più salato della terra), il lago Bajkal (il lago più profondo, 1741 metri), i laghi che occupano la Rift Valley in Africa, il mar Caspio (vecchio mare rimasto isolato);
- **laghi craterici**, si formano all'interno di vulcani spenti o esplosi come i laghi di Bolsena, Vico, Bracciano, Albano e Nemi;
- **laghi carsici**, quando sopra alle rocce carbonatiche si è accumulato uno strato di argilla che rende le rocce impermeabili come il Lago di Scutari in Albania;
- **laghi artificiali**, sono costruiti dall'uomo per raccogliere acqua per l'irrigazione o per produrre energia.

**L'evoluzione di un lago e la palude.** I laghi non hanno vita lunga perché tendono a essere riempiti di sedimenti e a essere invasi dalla vegetazione. La prima trasformazione porta alla formazione dello **stagno** che è poco profondo; successivamente si forma la palude. La palude è un terreno ricoperto da un sottile livello d'acqua. Queste acque possono essere ricche di sostanze naturali che favoriscono il proliferare di vegetazione. Tipiche di questo paesaggio sono alghe, canne e piante galleggianti, che tappezzano l'intero specchio d'acqua.

### Il paesaggio carsico

Il termine carsico deriva dal nome di una regione, il Carso, al confine tra l'Italia e la Slovenia, caratterizzata proprio da questo tipo di paesaggio. Gli ambienti carsici si sviluppano in terreni costituiti da **rocce calcaree** molto solubili come i calcari e le dolomie, e le **rocce evaporitiche**. I carbonati e le evaporiti sono rocce costituite da minerali molto solubili in acqua, che per questo motivo vengono facilmente modellate dall'acqua delle precipitazioni. Anche le gocce di pioggia riescono a sciogliere la roccia su cui cadono e scavano dei solchi, talvolta molto profondi. L'erosione delle rocce calcaree in un territorio carsico viene chiamata corrosione.

**Il suolo.** Il colore rosso scuro dei terreni carsici è dovuto agli ossidi e alla parte argillosa delle rocce calcaree. Quando i minerali solubili vengono disciolti dall'acqua e allontanati dalla roccia, rimangono sul posto dei depositi residuali costituiti dai minerali insolubili, come gli ossidi di ferro e i minerali argillosi.

**Forme superficiali.** I fenomeni più vistosi in superficie sono le **doline**: depressioni a forma di imbuto profonde da 1 a 30 metri e larghe fino a centinaia di metri. La continua azione dell'acqua può favorire l'allargamento e la congiunzione di più doline adiacenti, così si forma un'unica ampia depressione chiamata **uvala**. La continua corrosione porta alla formazione di una depressione sempre più ampia e pianeggiante, detta **polje**. Queste depressioni possono ospitare dei laghetti nei quali spiccano piccoli rilievi di roccia più dura e non dissolta. Polje sono visibili nel Carso italiano e sloveno, e nell'Appennino, dove vengono chiamate piani o campi, come il campo Imperatore sul Gran Sasso. Il paesaggio carsico che osserviamo è un territorio **privo di un reticolo idrografico** stabile dove sono praticamente assenti torrenti e fiumi. L'acqua, dissolvendo la roccia carbonatica, scava delle vie verso il sottosuolo dove crea forme sotterranee tipiche.

**Forme sotterranee.** Negli estesi paesaggi carsici non ci sono fiumi o torrenti che scorrono in superficie; i corsi d'acqua sono inghiottiti in profondità e, dopo un certo percorso nel sottosuolo, riaffiorano in superficie a una certa distanza. Le cavità carsiche sotterranee sono costituite da grotte e canali che possono essere percorsi da torrenti sotterranei. Un esempio è il corso del fiume **Timavo**, nel Carso triestino: dopo un percorso in superficie, nei pressi di San Canziano, il fiume si riversa nel sottosuolo e riemerge 40 km dopo nei pressi di Monfalcone. Le pareti delle gallerie delle grotte che non sono più percorse da torrenti, sono ricche di sporgenze e incrostazioni. Le più conosciute sono le stalattiti, che pendono dalla volta del soffitto e le stalagmiti, che si innalzano dal pavimento della galleria stessa. Le due sporgenze, col tempo, possono congiungersi e formare delle colonne.

## Il paesaggio glaciale

Un ghiacciaio è una massa di ghiaccio in movimento; questo movimento ha un'azione erosiva che modella la superficie terrestre nelle regioni a clima freddo. Nella storia della terra, nei **periodi glaciali** dell'era quaternaria, quasi un quarto delle terre emerse dalle acque marine era occupato da estese calotte di ghiaccio. Esse si stendevano in regioni settentrionali che oggi sono caratterizzate da un clima temperato, dell'America, dell'Europa e dell'Asia e avevano uno spessore anche superiore a un migliaio di metri. Quando i ghiacciai presero ad avanzare, modificarono profondamente la superficie del territorio, deviando i corsi d'acqua, impedendo alla vegetazione di crescere e obbligando gli animali a ritirarsi verso regioni più meridionali. In periodi più caldi, il ghiaccio delle calotte si fuse e i ghiacciai si ritirarono verso nord, lasciando sul terreno depositi del materiale che trasportavano. Le regioni rimaste libere dai ghiacci vennero nuovamente ricoperte di foreste e ripopolate dagli animali, ma conservano le tracce di erosione e accumulo dei materiali depositati dai ghiacciai. Esempi di erosione e accumulo e paesaggi glaciali si possono osservare attualmente nelle zone occupate dalla catena alpina e himalayana.

**Erosione glaciale.** Il movimento di un ghiacciaio verso il basso agisce sulle rocce che costituiscono il terreno sul quale scorre, alla maniera di una ruspa: preleva e trasporta blocchi di varie dimensioni. Al fondo di un ghiacciaio può scorrere un torrente, che esercita sulle rocce sottostanti un'azione erosiva, al pari di un qualsiasi fiume che scorre in superficie. Il risultato, che si osserva quando il ghiacciaio si è ritirato sono **rocce levigate e segnate da strie e solchi** lasciati dai grossi massi. Le asperità del terreno sono smussate e le rocce assomigliano a grosse gobbe lisce: rocce montonate.

L'osservazione di queste rocce aiuta i geologi a ricostruire la storia del territorio, perché, a seconda di come è orientata la gobba, si capisce la direzione nella quale il ghiacciaio si è mosso. In un paesaggio di **tipo alpino**, le valli principali e secondarie sono state modellate dall'azione dei ghiacciai che ha eroso il fondo e i versanti. Queste valli ci appaiono ampie come delle **grandi U**, mentre le valli scavate esclusivamente per azione di un torrente o di un fiume sono strette e hanno la forma di **una V**. Le valli glaciali nella loro parte più alta hanno una forma semicircolare, occupata da un piccolo ghiacciaio o un laghetto e contornata da ripide pareti rocciose; questo è il circo glaciale, il luogo dove si accumula la neve che viene trasformata in ghiaccio che alimenta il ghiacciaio stesso. Quando la neve che si accumula è maggiore di quella che fonde nei periodi più caldi, il ghiacciaio cresce di dimensioni e si muove verso valle.

Alcune tipiche valli glaciali sono state invase, in tempi successivi alla loro formazione, dalle acque oceaniche e si sono formati i **fiordi** (forme tipiche delle coste norvegesi). I fiordi sono valli a U scavate dai ghiacciai che scendevano dalle montagne adiacenti durante le ere glaciali. In questi periodi il livello delle acque marine era più basso di quello attuale; molta acqua esisteva, infatti, sotto forma di ghiaccio. Il successivo scioglimento dei ghiacciai ha provocato l'innalzamento del livello del mare, e l'acqua ha invaso le valli modellate in prossimità delle coste.

**Forme di accumulo: le morene.** Quando il ghiaccio di un ghiacciaio fonde e scompare, lascia accumulato sul terreno il materiale roccioso che trasportava e si formano:

- le **morene**, formate dai detriti trasportati dalla superficie del ghiacciaio;
- la **morena di fondo**, che è formata dai detriti trasportati e intrappolati sul fondo del ghiacciaio;
- i **massi erratici**, che hanno dimensioni molto grandi e il peso di alcune tonnellate, vengono trasportati per centinaia di chilometri e vengono lasciati su terreni formati da rocce completamente diverse. Trovando un masso costituito da rocce diverse da quelle esistenti in quel luogo, i geologi capiscono che in tempi remoti il masso è stato trasportato e deposto da un ghiacciaio.

Sono molto importanti le informazioni che possiamo trarre dalle morene e dai depositi erratici, perché ci aiutano a **ricostruire gli avvenimenti e il clima** di ere geologiche passate. Le morene ci indicano la forma, ci aiutano a ricostruire i movimenti e la massima grandezza che il ghiacciaio ha raggiunto. Importante è lo studio delle colline e dei piccoli rilievi morenici presenti nella Pianura Padana, che testimoniano che la zona è stata ricoperta da calotte glaciali.

### Il paesaggio eolico

Le regioni aride della Terra sono le più esposte all'azione del vento, che soffia in modo regolare e con velocità che può variare dai pochi chilometri orari della brezza ai 200 chilometri orari se si verifica un uragano o un tifone. Rispetto all'acqua, il vento **trasporta** frammenti di roccia più leggeri; sabbie e silt sono messi in movimento da venti che superano i 30-40 chilometri orari. Alberi, arbusti e copertura erbosa ostacolano il vento; anche la presenza di acqua rende pesanti le particelle del terreno e ne impedisce il trasporto.

Le particelle molto fini vengono tenute in continua **sospensione** dalle turbolenze del vento che le solleva a grandi altezze, le mantiene sospese per giorni, settimane o mesi e le deposita a grandi distanze: le fini sabbie sahariane vengono trasportate dal vento verso il Mar Mediterraneo fino a cadere nella Pianura Padana insieme alle piogge. Il risultato visibile sono le tracce di sabbia rossa depositate sulle auto parcheggiate. Le particelle di sabbia, silt e argilla vengono sospinte dal vento con salti di 1-2 metri da terra per **trascinamento** e **rotolamento**. Quando il vento asporta i materiali più fini dalla superficie del terreno, si formano i **deserti ghiaiosi** costituiti dalla superficie rimasta fatta di ghiaia, pietre e grossi blocchi. L'insieme di questi materiali forma il pavimento del deserto.

**Erosione per opera del vento.** Le particelle sabbiose più facilmente trasportate sono costituite da minerali di quarzo, un minerale molto duro, che esercita la sua azione erosiva sulle rocce vicino al suolo e sui materiali che incontra (come, ad esempio, i pali telefonici ed elettrici). Il risultato è la formazione di **solchi e scanalature** nelle rocce argillose, mentre le pareti rocciose e i blocchi sul terreno risultano lisci e levigati.

**Il vento deposita le particelle.** Quando il vento cessa o diminuisce la velocità, deposita il materiale che stava trasportando. Le sabbie si accumulano sotto forma di caratteristici cumuli, le **dune**, che hanno altezze comprese fra i 10-100 metri o più. Le dune non sono mai isolate, ma raggruppate a formare dei campi di dune che sono in movimento per opera della spinta del vento. Quando, in seguito al cambiamento delle condizioni ambientali e climatiche, le dune vengono ricoperte dalla vegetazione hanno una forma e una posizione fissa.

Le sabbie sottili vengono trasportate attraverso il vento dalle regioni desertiche a luoghi molto distanti, si depositano in vari strati e formano il loss. Depositi di loss si trovano in Europa centro settentrionale, Cina e Nord America.

**I deserti e le regioni desertiche.** Le regioni desertiche sono caratterizzate dalla siccità, e i tipici corsi d'acqua sono chiamati uadi: si osservano quasi sempre in secca perché l'acqua evapora o si infiltra nel sottosuolo prima di raggiungere il mare. Quando le acque si raccolgono in depressioni, evaporano lasciando strati di sedimenti di rocce evaporitiche; così si formano ad esempio i **chott**, "deserti di sale" della Tunisia o le **playa** dei deserti della California. Sempre per evaporazione dell'acqua e ossidazione dei sali contenuti nei minerali delle rocce di un deserto, si forma una caratteristica patina di color nero, che viene chiamata vernice del deserto. Un deserto può non essere totalmente piatto, ma presentare una superficie caratterizzata da rilievi con ripidi versanti, senza vegetazione, che hanno alla base un accumulo di detriti. Caratteristici del paesaggio desertico sono i vasti altipiani chiamati **mesa o meseta** (che rappresentano quanto rimane di una vasta piana erosa) e i **buttle** (rilievi a forma di torre).

## Il paesaggio costiero

La costa è costituita dalla striscia di terreno tra la terraferma e il mare. Il paesaggio costiero è costantemente modellato **dall'azione del mare** (onde e maree), **del vento e degli agenti atmosferici**. Non bisogna poi dimenticare che anche alcuni **organismi**, come ad esempio i coralli e le alghe, possono distruggere o costruire parte del paesaggio costiero. Le coste possono essere alte o basse, rocciose o sabbiose. Le **coste alte e rocciose** sono caratterizzate da pareti ripide che

vengono scavate alla base dalle onde. Ciò può favorire il crollo della parte superiore sporgente e quindi l'arretramento della costa. Tipicamente questo paesaggio è caratterizzato da **baie e insenature** che favoriscono la costruzione di porti. La forma più caratteristica delle **coste basse** è una **spiaggia**, composta da ciottoli nella parte più interna e sabbie a mano a mano più fini verso il mare. Il moto ondoso e il materiale depositato alla foce di un fiume riescono ad accumulare continuamente detriti in prossimità della costa formando lembi, barre, cordoni e lidi che possono isolare specchi d'acqua dal mare aperto.

Si possono distinguere i seguenti tipi di costa:

- **coste alte a falesia**: sono caratterizzate da una scarpata rocciosa verticale a strapiombo sul mare (esempio: le coste della Normandia, inglesi sul Canale della Manica, della Scozia e dell'Irlanda). Le onde scavano alla base delle pareti dei solchi che formano nella roccia figure assai spettacolari come **archi, scogli e grotte**. I solchi si possono anche farsi più approfonditi e portare al crollo della parete rocciosa sovrastante; in questo modo la parete della falesia arretra. Le coste non sono solo modellate dall'azione del mare, ma anche dai movimenti tettonici della crosta terrestre e dai movimenti del livello marino. Infatti, possiamo trovare **grotte marine** alcune decine di metri sopra il livello del mare attuale, mentre altre sono completamente sommerse: esempi sono le grotte marine del Circeo, del Canale di Otranto, di Capo Palinuro, di Capri, della Sardegna e della Liguria;
- **coste a rias**: si sono formate in seguito all'invasione marina di vecchie valli fluviali; i rilievi formano **penisole e punte**. Esempi sono le coste della Galizia, della Corsica Occidentale e della Grecia centro meridionale. Per questo motivo sono tipici di questo paesaggio golfi e insenature profonde che ospitano importanti porti. Le valli un tempo occupate da ghiacciai e ora invase dal mare formano i **fiordi**, mentre gli **skjars** (giardini di scogli) sono coste formate da una miriade di isolotti e scogli tipici della Finlandia e della Svezia;
- **coste basse**: si formano quando l'azione distruttiva del mare è più debole e il materiale trasportato dai fiumi arriva a depositarsi. Questo materiale viene distribuito lungo la costa da deboli correnti marine e si deposita dove l'acqua è poco profonda e in zone riparate dai promontori; le onde rimaneggiano questi depositi formando cumuli sommersi di forma allungata che man mano possono emergere dalla superficie del mare a formare i **cordoni litoranei** e le tipiche **spiagge** con la forma di lingua o freccia che si estendono dalla punta dei promontori. Queste spiagge si possono allungare e delimitare completamente la baia, formando una laguna.

L'evoluzione della laguna in **lago costiero** avviene con la completa interruzione del collegamento con il mare (Laghi di Lesina e Varano in Puglia); si formano i tomboli se le lingue di sabbia collegano un'isola alla terraferma (Monte Argentario e Stagni di Orbetello). Deposito caratteristico delle coste basse sono le spiagge.

**Laguna.** Una laguna è un tratto di mare, spesso largo alcuni chilometri, poco profondo e isolato tra lembi di costa bassa e sabbiosa. Tra una laguna e il mare aperto ci possono essere dei canali che permettono lo scambio e il ripulimento della laguna. Solitamente, col passare del tempo, questo

canale può chiudersi e formare dei laghi costieri. Questi laghetti, a mano a mano, vengono colmati dal materiale trasportato dai fiumi. Tra le più famose lagune del mondo c'è quella di Venezia compresa tra il delta del Po e la foce del Piave.

### Il paesaggio industriale

I paesaggi industriali sono ovviamente diffusi in quelle zone dove l'attività industriale è molto intensa. Perciò è necessario distinguere le nazioni industrializzate da quelle che non lo sono. Queste ultime costituiscono il cosiddetto Sud del mondo, esse sono poco sviluppate e le popolazioni vivono in condizioni di miseria. Del Nord del mondo fanno parte, invece, tutte quelle nazioni ad alto sviluppo industriale e quindi dotate di maggiori ricchezze, cioè: Nord America, Europa occidentale, Giappone. Tra queste possono essere inserite anche Australia e Nuova Zelanda. Il Nord, più sviluppato, ospita un quarto della popolazione mondiale, ma possiede ben l'80 % del reddito globale e il 90% della produzione industriale.

Tra Nord e Sud si inseriscono tutti quei paesi (Hong Kong, Taiwan, Singapore, Brasile e Messico) che, negli ultimi anni, hanno risentito di un graduale processo di industrializzazione. Questi paesi, per poter avere un maggiore sviluppo industriale, sfruttano la presenza di materie prime e di manodopera a basso costo.

### Il paesaggio agricolo

Essendo l'agricoltura la prima attività dell'uomo, i paesaggi agrari sono diffusi in tutti i continenti e in tutte le popolazioni. Così come per le industrie, anche la distribuzione delle attività agricole è disuguale tra il mondo sviluppato e quello sottosviluppato. In America del Nord e in Europa sono ampiamente diffusi paesaggi rurali, dove l'agricoltura ha carattere intensivo. In queste zone, vasti terreni sono soggetti a una **rotazione periodica delle colture**; in questo modo, facendo uso anche di moderni macchinari, si producono enormi quantità di merce destinata all'esportazione e alla produzione industriale. Anche l'allevamento è molto sviluppato: si pensi che per Danimarca e Irlanda costituisce la base economica.

Viceversa, nella maggior parte delle nazioni africane, asiatiche e latinoamericane, l'agricoltura rappresenta ancora **un'attività di sussistenza**. La produzione agricola, ottenuta con tecniche primitive, serve solo a soddisfare i bisogni di poche persone. Oltretutto, in queste regioni è molto diffusa **l'agricoltura itinerante**, un'attività molto precaria e soprattutto dannosa per il paesaggio. Essa consiste nel disboscamento di superfici più o meno ampie, dopo che la vegetazione è stata incendiata. La terra viene quindi messa a coltura, ma, non essendo né curata né concimata, viene resa sterile e abbandonata. In questi stati è, inoltre, molto diffusa la monocoltura. Estesi territori vengono coltivati con un determinato tipo di pianta, generalmente quella più richiesta per le esportazioni. Questo, chiaramente, impoverisce l'eterogeneità del paesaggio.

## Alpi e Appennini

Dalle parole greche *oros* (montagna) e *genesis* (origine) è nato il termine orogenesi, che indica tutti i processi geologici che portano alla formazione di una catena montuosa. Indipendentemente dall'ubicazione geografica, dal clima o dall'altitudine, tutte le catene montuose sono il risultato di uno scontro tra le placche litosferiche che, come un mosaico, compongono la parte più superficiale del nostro pianeta. La collisione avviene nelle zone di subduzione, tra placche costituite interamente da crosta oceanica che portano alla nascita di archi di isole vulcaniche, oppure tra una placca di crosta oceanica che, più densa e pesante, scivola al di sotto di una placca di crosta continentale più leggera formando le cordigliere, come le Ande o le Montagne Rocciose. Quando lo scontro avviene tra due placche di crosta continentale, che hanno la medesima densità, nessuna delle due è disposta a scivolare con facilità al di sotto dell'altra e a poco a poco, ma inesorabilmente, le immani spinte dei due continenti che si fronteggiano creano le catene più spettacolari, più alte e dalla struttura più complessa, come l'immenso arco di montagne che va dai Pirenei e la Catena Betica alle Alpi, dalle Dinaridi ai Tauri, fino al Karakorum e all'Himalaya. Le catene montuose sono quindi le enormi cicatrici che testimoniano i movimenti delle placche litosferiche e ne mostrano gli antichi confini. La Terra è percorsa per migliaia di km da queste "cicatrici", alcune giovani e lunghissime, molto elevate e dai rilievi aspri e selvaggi come Alpi, Karakorum, Himalaya, altre più antiche e dalle forme dolci, quasi delle morbide colline, come gli Urali, gli Appalachi o il Massiccio Centrale Francese: le forme che possiamo osservare sono il risultato combinato dei processi orogenetici e delle deformazioni tettoniche, che sollevano le catene e dei processi di erosione, che modellano i rilievi e tendono a "cancellare" nel corso del tempo i dislivelli e i rilievi che i processi endogeni creano, in un ciclo senza fine.

### Un'evoluzione continua

I rilievi montuosi costituiscono un elemento importante nel paesaggio del nostro Paese: in qualunque punto della penisola le montagne sono sempre visibili, perfino al centro della Pianura Padana, anche se spesso nascoste dalle nebbie! È facile quindi per noi considerare i rilievi montuosi come qualcosa di fisso e immutabile, che è sempre esistito e sempre esisterà, ma in realtà non è così. Geologicamente parlando, le nostre montagne sono molto giovani e fanno parte del paesaggio del nostro Paese soltanto da meno di 100 Ma, un tempo relativamente breve nella storia geologica. Alpi e Appennini sono montagne "vive": si muovono, si trasformano e continuano a crescere, lo fanno così lentamente che il processo non è apparentemente percepibile alla scala della vita umana. I geologi, però, sanno riconoscere i fenomeni che testimoniano come la crescita delle Alpi e degli Appennini continui ancora sotto ai nostri occhi: misure con strumenti ad alta tecnologia permettono addirittura di misurare i sollevamenti e gli abbassamenti delle montagne. Se si osserva inoltre la distribuzione dei terremoti nel nostro Paese, è facile rendersi conto di come i sismi siano distribuiti in fasce che bordano i margini delle Alpi e degli Appennini, a testimonianza dei movimenti che ancora si verificano in queste zone. I movimenti di sollevamento lungo le catene sono anche una



delle cause dell'instabilità dei versanti e delle numerose frane che caratterizzano le zone montuose e collinari della nostra penisola.

La conformazione geologica e strutturale delle montagne d'Italia risente di una storia molto lunga e complessa, che porta ancora i segni di un'antichissima catena, la catena ercinica, formata più di 300 Ma fa, tuttavia i rilievi più evidenti, le Alpi e gli Appennini, sono strutture recenti, nella scala dei tempi geologici. Sono il risultato della compressione esercitata dal movimento di rotazione della placca africana che ha spinto e continua a spingere contro la gigantesca placca euroasiatica: i bordi delle due placche si sono così "accartocciati", "arricciati" e deformati gli uni contro gli altri. Mano a mano che le due placche scivolavano a fatica una sotto l'altra, si creano i lunghi archi delle Alpi prima e degli Appennini subito dopo. Lo stesso movimento di compressione ha generato le catene montuose di tutti i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo (dalla Grecia all'Albania, alla Croazia, fino alla Spagna, Tunisia, Marocco e Algeria), ed è responsabile dell'attività sismica e vulcanica delle regioni mediterranee, oltre ad aver creato i profondi bacini del M. Tirreno, delle Baleari e del Mar Ionio rimpicciolendo sempre più il Mar Adriatico.

### **Com'è fatta una catena montuosa?**

Le catene montuose si presentano come fasce allungate, spesso arcuate, di rilievi e successioni di cime elevate, bordate ai margini da aree pianeggianti. Si distinguono una zona "interna" alla catena, quella meno deformata, e una zona "esterna", verso la quale procede la deformazione. La zona esterna, non ancora deformata, verso la quale la catena si muove, viene detta avampaese. Tra l'avampaese e la catena si trova l'avanfossa, una zona depressa al di sotto della quale si verifica la subduzione di una delle due placche: è nell'avanfossa che si raccoglie la maggior parte dei detriti e dei sedimenti prodotti dallo smantellamento della catena. L'avanfossa si presenta in superficie come una piatta e tranquilla pianura, ma in profondità è la zona più attiva dell'intera catena dove la crosta si frattura e grandi falde tettoniche si piegano e si impilano le une sulle altre a raddoppiare il normale spessore della crosta.

### **Storia geologica dell'Italia**

Se potessimo osservare il nostro Paese 250 milioni di anni fa, avremmo sicuramente molte difficoltà a riconoscere i luoghi e i paesaggi a noi oggi familiari! I continenti erano raggruppati nella grande massa di Pangea, nella quale si apriva un grande braccio di mare, la Tetide. Il nostro Paese si trovava nell'angolo occidentale di questo grande golfo, sommerso sotto alle acque di un mare poco profondo (200-300 m), molto simile all'attuale Adriatico i cui margini presentavano un paesaggio somigliante a quello delle piattaforme carbonatiche delle Bahamas. I depositi di questo antico mare si ritrovano ancora nelle sequenze sedimentarie delle Alpi e degli Appennini. Le uniche aree emerse di quella che diventerà la nostra penisola erano una piccola area tra Pisa, l'Argentario e la Sardegna. I movimenti della litosfera crearono grandi fratture e nuove placche litosferiche ripresero a muoversi, ad allontanarsi e a collidere tra loro. Così, la subduzione della crosta oceanica della Tetide verso N finì per provocare un movimento del blocco africano che, nella nostra regione, aprì un nuovo oceano (l'Oceano Ligure-piemontese). Questo oceano si estendeva grosso modo in direzione N-S,

separato a E dal vasto mare di Vardar da una penisola che dalle coste africane si estendeva a N verso la placca europea, il cosiddetto Promontorio Africano, o Adria: la maggior parte del territorio che diventerà Italia si trovava sulla placca di Adria, ad eccezione della Sardegna, posta sull'opposto margine europeo. Nel Cretaceo medio (100 Ma) si verificò un fatto importantissimo per l'evoluzione dell'area mediterranea: i movimenti di espansione cessarono e l'Oceano Ligure-piemontese iniziò a chiudersi sotto la spinta della placca africana che cominciò a ruotare su se stessa in senso antiorario. La crosta oceanica, densa e pesante, andò ancora una volta in subduzione al di sotto della crosta continentale africana fino alla totale scomparsa dell'Oceano Ligure-piemontese: della crosta che formava i fondali di questo antico oceano rimangono tracce nelle rocce ofiolitiche (le "pietre verdi") della Corsica, delle Alpi occidentali, della Liguria e della Grecia, mentre i sedimenti che lo ricoprivano formano ora le rocce che costituiscono l'ossatura del nostro Paese. Contemporaneamente, a complicare la situazione, un frammento del margine europeo si staccò, a formare quelle che diventeranno la Corsica e la Sardegna.

Una volta consumata la crosta dell'Oceano Ligure-piemontese, la placca europea e africana si trovarono l'una di fronte all'altra e, avendo la medesima densità, iniziarono a subire fortissime deformazioni, sotto l'inarrestabile spinta della rotazione africana. Iniziò così la formazione della catena alpina e, insieme a questa, delle catene che attraversano la Corsica, le Baleari e la Spagna meridionale e dei vari bacini che compongono il Mediterraneo.

### Breve storia delle Alpi

Le Alpi si estendono per circa 1.000 km, con una larghezza di 150-200 km, a costituire un arco che separa geograficamente il nostro Paese e l'area mediterranea dal resto dell'Europa. Le Alpi proseguono verso NE con i Carpazi, nel cuore dell'Europa, e verso SE con la catena delle Dinaridi, che scende dall'Istria e dalla Croazia verso la Grecia. Verso W la catena alpina si arcua ed entra in contatto con la catena appenninica in corrispondenza di un importante lineamento tettonico, la Linea Sestri-Voltaggio. Le Alpi sono una delle catene più studiate al mondo e qui hanno visto la nascita molte delle più importanti teorie geologiche. La storia di questa catena è molto complessa, ma a grandi linee la sua nascita è dovuta alla collisione tra la placca europea e il promontorio di Adria. La placca europea andò in subduzione sotto quella africana e la collisione deformò le rocce e i sedimenti di entrambi i margini, che si accavallarono gli uni sugli altri a dare la tipica struttura alpina, chiamata dai geologi "a falde di ricoprimento". La struttura della catena alpina è complessa e può essere divisa in due settori separati tra loro da un importante lineamento tettonico, la Linea Insubrica o Lineamento Periadriatico: questa serie di lunghissime faglie corrono da W verso E lungo tutto l'arco alpino e separano il dominio Alpino, principalmente costituito da rocce metamorfiche, dal dominio Sudalpino (o Alpi Meridionali), dove le falde sono in gran parte formate da rocce sedimentarie.

La catena alpina ha quindi una struttura particolare, che i geologi chiamano "a doppia vergenza", con falde trasportate sia verso N e verso l'avanfossa e l'avampaese europeo, sia verso S e verso l'avanfossa della Pianura Padana e l'avampaese appenninico. Il movimento di rotazione antioraria della placca africana iniziò nel Cretaceo e, con fasi alterne di varia intensità, si protrae ancora ai

giorni nostri. Tre fasi di acme possono essere individuate: nel Cretaceo la fase eoalpina, la più antica, durante la quale si verificò la scomparsa dell'Oceano Ligure-piemontese; dall'Eocene all'Oligocene inferiore (30 Ma) quando iniziò la collisione continentale vera e propria con la fase mesoalpina; dall'Oligocene superiore al Miocene (25 Ma) le Alpi assunsero l'attuale struttura a doppia vergenza con la fase neoalpina.

A mano a mano che la catena alpina prendeva forma in profondità nella crosta terrestre, iniziavano i primi sollevamenti e la graduale emersione dei rilievi. I processi erosivi iniziarono subito a modificare il paesaggio della neonata catena producendo un'enorme quantità di sedimenti e detriti che si depositarono ai piedi dei rilievi, nelle avanfosse. Nell'avanfossa meridionale si formò il vasto bacino di sedimentazione che andrà a costituire la Pianura Padana, dove si sono raccolti, in pochi milioni di anni, depositi di enorme spessore: i geologi calcolano che nel sottosuolo della Pianura Padana gli spessori dei sedimenti depositi negli ultimi 5 Ma (Pliocene) raggiungano, nella zona di Parma e Reggio Emilia, i 7.000 m!

### Breve storia degli Appennini

Se le Alpi costituiscono il confine settentrionale del nostro Paese, la catena appenninica forma la "spina dorsale" della penisola: si estende con andamento NNW SSE, da Genova dove si innesta con la catena alpina lungo la Linea Sestri-Voltaggio, fino alla Piana di Sibari in Calabria dove dopo una breve interruzione dovuta all'incunarsi del blocco dell'Arco Calabro, riprende nei monti della Sicilia con andamento NE-SW e per proseguire a raccordarsi con la catena Magrebide e l'Atlante Telliano in Tunisia, Algeria e Marocco. Anche la storia degli Appennini è lunga e complessa, ma in breve può essere ricondotta ai movimenti di rotazione verso E del Blocco Sardo-corso, contemporanei alla collisione delle placche europea e africana che stava creando la catena alpina a N. Questa rotazione iniziò un po' più tardi rispetto alla nascita delle Alpi, tra l'Oligocene superiore e il Miocene inferiore (30-16 Ma): gli Appennini sono quindi più giovani della Alpi.

Il movimento del Blocco Sardo-corso ha avuto due importanti conseguenze: da una parte ha generato una compressione da W verso E che ha causato la subduzione del margine occidentale di Adria sotto al Blocco Sardo-corso stesso, creando il corrugamento della primitiva catena appenninica e il suo progressivo avvicinamento alle coste della Dalmazia, mentre dall'altra parte ha provocato la progressiva apertura di due profondi bacini oceanici: il Bacino Provenzale e il Mar Tirreno. Proprio la progressiva espansione del Mar Tirreno porterà, nel corso degli ultimi 7-8 milioni di anni (a partire dal Miocene superiore) alla formazione della catena appenninica come la vediamo oggi, con il blocco dell'Arco Calabro che si stacca dalla catena alpina e viene a saldarsi alla parte meridionale dell'Appennino.

Il Bacino del Tirreno è il più giovane dei bacini del Mediterraneo e con una profondità di 3600 m è uno dei più profondi: sui suoi fondali in espansione si trovano alcuni dei più importanti vulcani sottomarini del Mediterraneo. La sua apertura, che continua tutt'oggi, sta smembrando la catena appenninica. La continua compressione lungo il margine orientale provoca la formazione di grandi pieghe e spinge gli Appennini contro le coste della Dalmazia con un ritmo di 1 mm/a. Il margine occidentale è interessato da una tettonica distensiva, con formazione di profonde fosse tettoniche



(Graben) e faglie distensive, che aprono la via alla risalita di magmi e conseguenti fenomeni vulcanici (in Toscana, Lazio, Campania): il margine W appenninico è quindi caratterizzato da vasti bacini tettonici (Val d'Elsa, Valdarno, piana di Firenze, Val Tiberina, per esempio), un tempo occupati dal mare, poi sede di grandi laghi (di cui il Trasimeno è l'unica testimonianza rimasta).

### Orogenesi ed erosione

Dall'Oligocene ad oggi, un periodo di circa 25 Ma, è stato calcolato che il sollevamento medio della catena alpina sia stato di circa 1 mm/a: questo significa che, se non fossero intervenuti processi di erosione, le cime delle Alpi potrebbero ora raggiungere l'incredibile altezza di 25.000 m! Significa anche che, nel corso della vita di un uomo, montagne come il Cervino o il M. Bianco si sollevano di circa 7-8 cm: troppo poco per rendersene conto con un'osservazione "a vista", ma tuttavia sufficiente perché le misure geofisiche permettano di quantificare le deformazioni.

Alcune aree della catena sono più attive delle altre mostrando valori di sollevamento molto più elevati della media: così, per esempio, in Friuli, tra Trieste e Tarvisio, una serie di misure effettuate dopo il terremoto del 1979 e confrontate con precedenti misure geodetiche del 1952 ha mostrato che il sollevamento è avvenuto con velocità di qualche mm/a, con un picco di 10 mm/a, valore 10 volte superiore alla media della catena alpina. Le aree più attive dal punto di vista sismico sono in genere le aree dove i valori di sollevamento sono più elevati: per esempio, nel Cuneese, nel Bresciano e nel già citato Friuli. Questo maggior sollevamento è dovuto ad un tentativo della placca africana di "infilarsi" in subduzione sotto la placca europea, al di sotto dell'edificio alpino.

Per quanto riguarda gli Appennini, la parte in sollevamento attivo è quella orientale, dalla Romagna, Marche, Abruzzo, Molise fino alla Basilicata, mentre lungo la parte occidentale, quella che i geologi chiamano la parte "interna" della catena, l'apertura del Bacino del Tirreno sta causando fenomeni distensivi che risultano in un generale abbassamento dell'area e in numerose manifestazioni vulcaniche. In entrambi i casi, le deformazioni sono accompagnate da un'elevata sismicità, sempre indice di attività tettonica. Verso S, l'apertura del Bacino Tirrenico si combina con la contemporanea subduzione, nel Mar Ionio, di litosfera africana al di sotto dell'Arco Calabro, dando origine al vulcanismo delle Eolie e all'intensa attività tettonica e sismica della Calabria, da Sibari fino alla Stretto di Messina: la costa siciliana si allontana da quella calabrese con un ritmo di 1 cm/a e si solleva di 4 mm ogni 10 anni, contro un sollevamento di 1,5 mm/a della costa calabrese. Subduzione di crosta africana si ha anche nel Mar Egeo, al di sotto della Grecia e questo spiega la sismicità e il vulcanismo di queste zone che, pur non appartenendo geograficamente al nostro Paese, ne influenzano l'evoluzione geologica.

I geofisici tengono costantemente sotto controllo i movimenti e le deformazioni nel nostro territorio attraverso una rete di stazioni di misura (istituita su scala nazionale negli anni'80), sia con i tradizionali metodi geodetici (livellazione geometrica e misure accurate di angoli e distanze), sia con i moderni metodi di rilevamento satellitare (GPS), che permettono di rilevare in tempo reale spostamenti anche millimetrici. La rete nazionale è poi collegata con le reti di altri Paesi, in particolare con i Paesi che si affacciano sull'arco alpino, per poter tenere sotto controllo la situazione dell'intera catena. Proprio queste misure ripetute nel tempo hanno permesso di comprendere le

relazioni tra l'evoluzione di Alpi e Appennini e le manifestazioni sismiche e vulcaniche che, a volte con grande intensità, caratterizzano moltissime zone del nostro Belpaese.

### **La Pianura Padana: piatta solo in superficie**

La Pianura Padana si estende a S delle Alpi e le separa dagli Appennini: piatta e monotona in superficie, in realtà nasconde una struttura geologica molto complessa e attiva. Costituisce infatti l'avanfossa della parte centrale della catena alpina, ma anche quella della più giovane catena appenninica: si tratta quindi dell'area dove due importanti catene ancora in formazione si fronteggiano. Il risultato è che nel sottosuolo della Pianura Padana, al di sotto di una copertura di 300-400 m di sedimenti fluviali e lacustri, a partire dal Pliocene (3,9 Ma) si sono formate, e continuano a formarsi, grandi pieghe e scaglie tettoniche che si impilano le une sulle altre. Questa struttura è di fondamentale importanza non solo geologica, ma anche economica, visto che proprio questo assetto strutturale favorisce la formazione di trappole per idrocarburi, di cui il sottosuolo della pianura padana è particolarmente ricco.

### **Frane**

I franamenti sono fenomeni di distacco e movimento verso il basso di masse più o meno grandi di roccia o terreni sciolti. Una frana è invece il risultato di un franamento ed è quindi costituita dall'insieme del materiale caduto. Il distacco e il movimento di materiali sono dovuti ad un'unica, semplicissima causa, che controlla ogni nostra azione e ogni nostro movimento: la gravità. Alla gravità si oppongono, in natura, due forze fondamentali: l'attrito e la coesione. L'attrito è la resistenza che un oggetto (un piccolo ciottolo, un grande masso, una casa, una porzione di una montagna) oppone al richiamo della gravità, che tenderebbe a trascinarlo il più in basso possibile, mentre la coesione è la forza che "tiene insieme" le particelle (cristalli, granuli, mattoni, strati di roccia) che costituiscono un oggetto o un materiale. Gli oggetti "geologici" (masse di terra, strati di rocce, versanti e pareti di montagne) si trovano quindi in una situazione di delicato equilibrio tra queste forze: quando la gravità diviene prevalente sulle altre due, allora l'oggetto, o la massa rocciosa, si muove verso il basso. Moltissimi sono, però, i fattori che possono intervenire, in modo naturale o per causa dell'uomo, a turbare questo delicato e instabile equilibrio, venendo a variare l'attrito o la coesione del materiale, o intervenendo sulla gravità, con variazioni di peso del materiale. Il tipo di movimento, il volume del materiale, la velocità del movimento e gli eventuali segni premonitori dipendono proprio da questi fattori. Per questo risulta difficile classificare i vari tipi di franamenti possibili e ancor più difficile tentare di prevederli o di arginarli. Su molti di questi fattori l'uomo non ha alcun controllo, ma alcuni dipendono strettamente dalle attività umane, ed è proprio su questi che possiamo intervenire per ridurre i rischi di eventi franosi e limitare i danni. Come nel caso del rischio sismico, anche il rischio frane non può essere eliminato, ma, a differenza dei terremoti, sui quali non abbiamo alcun controllo e nei confronti dei quali possiamo agire solo limitando il più possibile i danni, molti fenomeni franosi sono più o meno indirettamente provocati

dall'uomo, per cui in questo campo abbiamo un buon margine di azione anche per quello che riguarda la prevenzione.

## Cause

Se la gravità è il principale “motore” delle frane, esistono, in realtà moltissimi fattori, per lo più di natura geologica e climatica, che rendono un terreno o un'intera montagna più soggetti di altri a fenomeni di franamento: sono i cosiddetti fattori predisponenti. Tra questi, di particolare importanza sono la natura geologica dei materiali (il tipo di roccia, la sua resistenza, il fatto che si tratti di materiale coerente, come una roccia, o sciolto, come un sedimento o un suolo), il suo stato di fratturazione o di alterazione, che ne condiziona la resistenza (una roccia compatta e priva di superfici di fratture ha intuitivamente una maggior resistenza di un cumulo di sassi fatti dello stesso materiale), ma anche la pendenza del versante su cui si trovano gioca un ruolo importante (è facilmente intuibile anche a chi non è geologo che una parete di nuda roccia verticale appaia potenzialmente più pericolosa di un dolce pendio coperto di morbido prato ... ma l'apparenza inganna, e non è sempre così!). Tutti questi fattori rendono alcune aree più a rischio di altre; tuttavia, **perché** si verifichi un franamento occorre, in genere, che intervenga “qualcosa” a perturbare il delicato equilibrio. Le cause scatenanti sono proprio i fattori che intervengono, a volte in modo imprevedibile, a modificare lo stato di equilibrio e finiscono per diventare il “detonatore” di una sorta di “bomba a orologeria” geologica. Tra le diverse cause scatenanti, drammaticamente note sono quelle legate ad abbondanti e durature precipitazioni, che intervengono riducendo l'attrito e la coesione e aumentando il peso del materiale. Il fenomeno è eclatante quando frane e dissesti seguono immediatamente lunghe e violente precipitazioni, ma la stessa causa può lavorare in modo più nascosto e insidioso, come, per esempio, con infiltrazioni di acqua sul fondo e sulle pareti di un vaso artificiale (come è accaduto, per esempio, nel 1963, nel noto disastro della diga del Vajont). Movimenti improvvisi, come nel caso di un sisma, possono destabilizzare versanti e masse rocciose, per questo terremoti e violente eruzioni vulcaniche sono spesso accompagnati da frane. Anche lenti sollevamenti tettonici possono però sortire lo stesso effetto, soltanto in modo improvviso, e per questo forse anche più insidioso. Fenomeni di disgelo possono causare franamenti e colamenti di terreni sciolti o distacchi di blocchi di roccia, poiché viene a mancare la coesione offerta dal ghiaccio che “cementa” i materiali: questo fenomeno è ben visibile in aree di alta montagna e in zone di permafrost. Anche fenomeni di erosione fluviale ai piedi dei versanti possono innescare processi di franamento: l'asportazione di materiale alla base, infatti, rende instabile le masse che si trovano al di sopra. Moltissime delle cause scatenanti sono purtroppo di origine antropica: l'aumento di peso su un versante a causa di grandi e pesanti costruzioni, il disboscamento incontrollato che priva il terreno della coesione offerta dalle radici arboree, o, al contrario, il rimboschimento con specie vegetali non adatte, perché troppo pesanti o dotate di un apparato radicale non idoneo, la realizzazione di strade e gallerie che “tagliano” i versanti, la cementificazione degli alvei fluviali che determina erosioni accelerate lungo le sponde non protette... l'elenco potrebbe essere ancora molto lungo, senza contare che anche sui primi fattori elencati, quelli “naturalisti”, l'uomo può portare un contributo, come, per esempio, nel già citato caso delle infiltrazioni

d'acqua, oppure nell'innescare di fenomeni di subsidenza legati, al contrario, a eccessivo prelievo dalle falde acquifere. Esistono alcuni tipi di terreni argillosi, fortunatamente poco comuni, e non presenti in Italia, che hanno la singolare proprietà di "liquefarsi", comportandosi come un liquido molto denso se sottoposti a brusche sollecitazioni (comportandosi un po' come le sabbie mobili): in Scandinavia, dove questi terreni sono piuttosto comuni, si sono verificati gravi fenomeni di franamento causati dalle vibrazioni create dal passaggio di un convoglio ferroviario, che hanno letteralmente "liquefatto" intere colline!

### Tante tipologie

Proprio perché i fattori e le cause che possono provocare una frana sono così numerosi e variabili, esistono moltissime tipologie di frane. La classificazione, quindi, è molto difficile e complessa. Si può, però, distinguere, indipendentemente dal volume di materiale in movimento, in:

- frane di crollo, che interessano pareti di roccia con distacchi di blocchi rocciosi, come quelli che stanno interessando attualmente molte cime dolomitiche: sono frane relativamente poco pericolose, perché in genere il volume di materiale è piccolo, ma difficilmente danno segni premonitori, poiché i distacchi sono sempre improvvisi (anche se, naturalmente, lo stato del versante o delle pareti può offrire molti indizi sulle probabilità del fenomeno);
- frane di scivolamento: si tratta di movimenti di volumi di materiale anche molto grandi, che scivolano lungo una superficie che può essere relativamente piana, come un piano di stratificazione della roccia, come nelle famose "marocche" della valle dell'Adige, oppure concava, in cui il materiale segue un movimento rotazionale;
- colate: materiali sciolti, come detriti, suoli, terreni argillosi e ceneri vulcaniche che si imbevono facilmente di acqua possono dare luogo a frane per colata, in cui il materiale scende a valle fluendo come un fluido molto viscoso. Il movimento può essere quello di una lenta colata verso valle, oppure può avvenire in modo rapido e molto violento, tanto da meritare il nome di "valanghe di roccia o di detrito".

Intermedie tra frane per colata e alluvioni, sono alcune tipologie particolari, come i debris flow o i mud flow, letteralmente colate di detriti e di fango, che interessano materiali fortemente imbevuti di acqua e sono particolarmente pericolosi per la velocità di movimento e per la distruzione operata dal passaggio del materiale: sono proprio questi fenomeni che edificano, sulle nostre montagne, i conoidi di deiezione allo sbocco di valli piccole e grandi. Tra l'altro, proprio questi conoidi, per la loro posizione sopraelevata e spesso meglio soleggiata dei terreni pianeggianti circostanti, sono le zone maggiormente antropizzate, nonostante siano aree estremamente pericolose, come si può osservare, per esempio, percorrendo la Valtellina. In occasioni di eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo, che producono grandi quantità di materiale sciolto, in particolare di ceneri fini, a seguito di forti piogge e della fusione di neve sulla sommità del vulcano, spesso si innescano pericolose colate di fango, dette lahar, particolarmente distruttive per la velocità di movimento del materiale, come è accaduto, per esempio, nel 1985 in Colombia, in occasione dell'eruzione del vulcano Nevado de Ruiz.

## Com'è fatta una frana

Una frana, pur presentandosi spesso come un'area molto accidentata e complessa, mostra in genere ben visibile la nicchia di distacco, delimitata dalla scarpata che segna la zona dove è avvenuto il distacco dal versante, spesso coronata e circondata da fratture e crepe aperte nel terreno a monte, e da un corpo di frana, costituito dal materiale accumulato. Questo, indipendentemente dalla tipologia della frana, si presenta di solito come un'area a topografia irregolare, con numerose depressioni, sovente con un "piede" che si espande alla base a coprire il terreno su cui la frana è scivolata. È molto importante poter riconoscere le forme di antiche frane, poiché in genere questi fenomeni tendono a ripetersi nel tempo, poiché le caratteristiche geologiche del materiale non cambiano.

## Movimenti rapidi e lenti

Le frane sono spesso caratterizzate da movimenti improvvisi, spesso a grandissima velocità, che trascinano a valle grandi masse di materiale. Sono sicuramente queste le frane più pericolose, perché raramente danno tempo alle popolazioni coinvolte di mettersi in salvo, ma esistono altri movimenti, lentissimi, quasi impercettibili alla scala della vita umana, che tuttavia sono inesorabili e inarrestabili. Spesso coinvolgono enormi volumi di roccia, a volte intere montagne, e prendono il nome di deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV). In genere producono, a breve termine, soltanto piccoli danni, come apertura di fratture e trincee e deformazioni del suolo, ma possono essere responsabili dell'innescò di frane di altro tipo, in terreni già predisposti: alle DGPV possono quindi essere associate frane di crollo o colate di detrito. Inoltre, il grande volume di materiale che impercettibilmente, ma inesorabilmente, scivola verso valle può causare gravi danni alle infrastrutture umane, come, per esempio, sta accadendo alle gallerie della moderna superstrada che collega Lecco alla Valtellina, dove le pendici del M. Legnone stanno scivolando verso il Lago di Como, causando deformazioni continue delle gallerie, alle quali è molto difficile porre rimedio: si tratterebbe, infatti, di sostenere l'intera montagna!

## Il territorio italiano

L'Italia è uno dei Paesi più a rischio per quanto riguarda le frane. Questo deriva dalle caratteristiche geologiche del nostro territorio. Innanzitutto, ben il 77% del nostro territorio è costituito da aree montuose o collinari, fattore già di per sé destabilizzante. Inoltre, si tratta di un territorio geologicamente giovane e molto attivo, con molte aree attualmente in sollevamento, come molti settori delle Alpi e degli Appennini, e con numerose zone vulcaniche e a forte rischio sismico, tutti fattori che favoriscono molto il rischio frane. Vaste zone sono inoltre coperte da depositi sciolti recenti, spesso di natura argillosa, come molte aree dell'Appennino, materiali molto sensibili sia all'azione della gravità che all'imbibizione di acque meteoriche. Si tratta, quindi, di una caratteristica naturale del nostro Paese, insita nella sua storia geologica. Tuttavia, ogni anno sono in costante aumento le notizie allarmanti di fenomeni franosi in atto o temuti. Questo non significa necessariamente che il numero di frane sia in aumento: aumenta il numero di frane che vengono segnalate e salgono alla ribalta delle cronache perché aumenta costantemente la pressione

antropica sul territorio. Aumentano le aree stabilmente abitate, prima destinate soltanto a coltivazioni e pastorizia, e aumenta la frequentazione di aree di alta montagna, per scopi turistici, mentre allo stesso tempo vengono abbandonate tutte le attività di mantenimento e recupero ambientale, come il taglio controllato dei boschi e la pulizia degli alvei dei torrenti. Purtroppo, si sta anche perdendo un prezioso bagaglio di cultura, e saggezza, contadina: pur senza possibilità di studio o di utilizzare sofisticati strumenti di indagine, i nostri nonni avevano una profonda conoscenza della montagna e difficilmente malghe e casali antichi si trovano in posizioni pericolose per quanto riguarda frane e alluvioni. Se si eccettuano la Pianura Padana, la Puglia e la Sardegna, tutte le regioni italiane sono a forte rischio di frane e, per la continua espansione degli insediamenti urbani, i comuni a rischio sono in costante aumento. Di conseguenza è necessario osservare, in molte regioni, le normative che prevedono una perizia geologico-tecnica per la stesura dei piani di urbanizzazione e l'abusivismo edilizio. Anche la decisione di evacuare o, nei casi più gravi, di spostare altrove interi abitati incontra, per comprensibili motivi economici, ma anche umani, un forte ostacolo, spesso, purtroppo, anche di fronte a chiare situazioni di pericolo. Si vede bene, quindi, come una situazione naturale già di per sé estremamente favorevole a fenomeni franosi anche di grave entità venga ulteriormente aggravata dal fattore antropico.

### **Rischio o pericolo?**

Studiando i fenomeni franosi, è opportuno distinguere quello che è il rischio legato alla probabilità del verificarsi di un evento, dalla sua pericolosità, legata invece ai danni materiali e in termini di vite umane che il fenomeno può provocare. Frane gigantesche in aree disabitate, pur venendo a modificare in modo irreversibile il paesaggio, non sono particolarmente pericolose, mentre un unico masso in bilico su una parete che sovrasta un centro abitato può essere molto pericoloso, nonostante il piccolo volume, perché andrebbe a colpire direttamente cose o persone, provocando gravi danni economici e umani. È con questo criterio, in genere, che si decide l'entità degli interventi preventivi e di protezione da realizzare in un'area franosa. Le frane, quindi, non hanno tutte lo stesso "valore". È importante, però, soprattutto nel caso di frane di grande volume, valutare bene tutte le conseguenze della caduta di una frana, compresi i possibili mutamenti indotti sul paesaggio e su altri processi geologici: non è raro, infatti, che una frana, per esempio, cadendo, vada a sbarrare un corso d'acqua, provocando la formazione di un lago, in genere instabile e possibile causa di inondazioni gravi in caso di tracimazione (come nel caso della frana della Val Pola, nel 1987, in Valtellina), o che possa provocare un'inondazione cadendo all'interno di un bacino lacustre, naturale o artificiale (come nel caso della diga del Vajont). Alcune frane cadute in mare, o subacquee, possono provocare enormi onde di tsunami, come quella che molti geologi prevedono per il crollo del vulcano Cumbre Vieja, sull'isola di La Palma, alle Canarie.

### **Studiare una frana**

Spesso le frane entrano prepotentemente nelle cronache dei nostri notiziari come eventi improvvisi, catastrofi che si abbattano senza preavviso su un'ignara popolazione. In realtà, per tutte le considerazioni esposte poco prima, gli eventi franosi sono tutt'altro che imprevedibili e la loro

“imprevedibilità” è soltanto frutto di scarsa conoscenza o di una discutibile politica sensazionalistica dei mezzi di informazione. Come nel caso dei terremoti, quello che non si può prevedere è il momento esatto in cui avverrà la frana, la precisa traiettoria o il volume esatto del materiale che cadrà, ma è certo che in molte aree sono evidenti i segni di un possibile distacco. La conoscenza dei meccanismi di franamento permette in genere di individuare le cause scatenanti, tanto che molto spesso si assiste all’allertamento preventivo delle strutture di soccorso, come la Protezione Civile, in concomitanza di eventi meteorologici che possano fungere da innesco per frane e smottamenti. Aree potenzialmente a rischio, poi, sono spesso tenute sotto controllo, a volte da moltissimi anni (i movimenti della frana di Spriana, in Valtellina, la cui caduta metterebbe a rischio di alluvionamento la città di Sondrio, sono noti dal 1589) con un’osservazione scrupolosa e continua. I segni premonitori che annunciano un imminente distacco o movimento spesso sono, almeno in fase iniziale, lenti e impercettibili se non attraverso un’osservazione strumentale, per cui soltanto un assiduo controllo del territorio permette di raccogliere queste preziose informazioni, che, pur non potendo dare una data precisa dell’avvenimento, forniscono indizi su eventuali accelerazioni dei movimenti e delle deformazioni in atto. L’osservazione e la misura delle deformazioni del terreno sono sicuramente il metodo più attendibile per valutare l’attività di una frana e l’imminenza del franamento. Con l’uso di foto aeree e da satellite, affiancate a strumenti di misura precisi, come i GPS, è possibile osservare le variazioni nella forma e nella topografia del terreno, l’apertura di fratture e crepe, ed è possibile misurare lo spostamento di punti fissi, a volte appositamente fissati nel terreno, rispetto a punti di osservazione sicuramente non coinvolti nel movimento. Appositi strumenti, come estensimetri e deformometri, permettono di valutare la progressiva apertura di fratture o l’allontanamento di blocchi rocciosi dalla parete, o di misurare le deformazioni in profondità, individuando così la posizione delle superfici di possibile scivolamento. Anche lo studio sul grado di imbibizione dei terreni fornisce dati importanti, poiché molti fenomeni franosi sono innescati proprio da questo fattore. Viene da sé che anche il controllo delle previsioni meteorologiche entra a far parte del monitoraggio di un’area franosa o potenzialmente tale. Come si vede, per gli addetti ai lavori le frane, nella maggior parte dei casi, sono tutt’altro che fenomeni imprevedibili e improvvisi.

## Difese

Le opere di difesa dai movimenti franosi hanno come scopo quello di ristabilire la stabilità dei versanti, eliminando le cause del movimento o rinforzando i materiali. Per questo si possono realizzare diverse opere di difesa, in funzione del tipo di frana, delle caratteristiche geologiche e del territorio e del rapporto rischio/pericolosità. Alcune opere di difesa mirano ad eliminare o minimizzare alcune cause scatenanti, come la realizzazione di opere di drenaggio che allontanino l’acqua in eccesso dai terreni a rischio, la regimazione di corsi d’acqua, la piantumazione e il rimboschimento, o il consolidamento del materiale, oppure si possono realizzare opere di protezione, che mirano ad ostacolare il movimento del materiale con costruzione di muri di sostegno, valli e reti paramassi, con opere di consolidamento dei terreni sciolti e delle rocce fratturate, come la messa in opera di tiranti che trattengono i blocchi instabili, con opere di disgaggio

e di pulizia del materiale instabile, che viene fatto cadere artificialmente, in modo controllato. Più sono grandi i volumi di materiale coinvolto, tuttavia, tanto più difficile risulta tenere sotto controllo i fenomeni franosi. Quando, come nel caso delle DGPV, i volumi sono pari ad un'intera montagna, l'unica prevenzione possibile è quella di allontanare insediamenti e attività umane dall'area. È una strada, questa, spesso difficile e dolorosa da realizzare, perché non è facile convincere gli abitanti ad abbandonare la propria casa, i propri campi o la propria attività lavorativa.

### **Prevenire**

Di fronte ai disastri naturali, due sono gli atteggiamenti che normalmente si osservano. Da una parte, si tende a minimizzare o ignorare i rischi, fino a che non si verifichi l'evento calamitoso, per poi correre frettolosamente e dispendiosamente ai ripari, oppure a subire con atavica rassegnazione i capricci della natura. Dall'altra parte, si cerca di capire il funzionamento dei sistemi naturali, di prevedere le possibili situazioni a rischio, di prevenire il verificarsi del fenomeno evitando comportamenti che possano aggravare la situazione, realizzando opportune opere di protezione e di monitoraggio, predisponendo piani di evacuazione in caso di pericolo reale. Tutto questo, naturalmente, ha un costo economico e sociale non indifferente, e molto spesso si preferisce rimandare le spese di prevenzione e protezione, senza tenere conto che gli interventi per arginare un disastro avvenuto hanno un costo in genere assai maggiore degli interventi di prevenzione, senza considerare che a certi tipi di danni, come la perdita di vite umane, o di beni artistici o paesaggistici è impossibile porre rimedio. Finalmente negli ultimi tempi, grazie anche a nuove leggi che regolamentano l'espansione edilizia in aree a rischio, e grazie soprattutto all'opera di sensibilizzazione sull'opinione pubblica, si assiste ad una maggior presa di coscienza da parte delle amministrazioni pubbliche e della popolazione. Nell'ipotesi di scegliere la prevenzione come difesa dalle frane, molti sono gli interventi che si possono mettere in atto. A seconda della tipologia del movimento e dei materiali, saranno più o meno dispendiosi e più o meno efficaci, tuttavia il risanamento completo e definitivo di un'area franosa è attualmente ancora irrealizzabile. L'atteggiamento corretto di fronte a questi fenomeni è dunque quello di prenderne atto, di studiarli e comprenderli il più possibile, di tenerli sotto controllo con una efficace rete di monitoraggio, di intervenire, dove possibile, con opportune opere di difesa e di evitare ogni atteggiamento o attività umana che possa in qualche modo contribuire ad innescare o aggravare i fenomeni, cosa che può comprendere l'abbandono di aree particolarmente pericolose o la rinuncia alla realizzazione di opere che interferiscano troppo pesantemente con il delicato equilibrio naturale. L'informazione sui reali rischi e sugli interventi possibili è fondamentale, perché coinvolge la popolazione nelle scelte, che diventano così più consapevoli, anche se a volte difficili e sofferte, come nel caso si debba rinunciare a ricostruire un abitato devastato da una frana.

### **Ambiente e territorio**

L'ambiente è un sistema in cui i processi sono in continua interazione con gli organismi che ci vivono: abbiamo visto, ad esempio, che le acque piovane alterano la superficie terrestre, e che la

vegetazione ha un ruolo importante nella disgregazione delle rocce per la formazione di un suolo. L'uomo è in grado di apportare in breve tempo profonde modifiche all'ambiente. Gli interventi dell'uomo sull'ambiente sono strettamente legati al tipo di attività economica e a come è organizzata la società; in alcuni casi l'attività umana è orientata al recupero del dissesto ambientale. Di conseguenza, l'uomo può essere considerato un importante agente modificatore del paesaggio.

### Costruzioni di grandi opere

La costruzione di dighe, moli, strade, centrali per la produzione di energia, ecc., modificano il paesaggio e interferiscono con i processi naturali. Questi cambiamenti sono da tenere in considerazione nella prima fase di progettazione. Immaginiamo di sbarrare il corso di un fiume con una diga e ci accorgiamo di dover considerare:

- la stabilità della costruzione;
- la quantità dei sedimenti fluviali che non raggiungerà il mare ma si depositerà nel lago formato dalla diga;
- il pericolo di erosione per le spiagge in prossimità della foce del fiume.

Lo studio accurato sulla compatibilità ambientale di una costruzione in fase di progettazione viene chiamata valutazione di impatto ambientale.

### Erosione delle acque superficiali

Per contrastare l'erosione operata dalle acque che scorrono in superficie è necessario rallentarne la velocità. A questo proposito e per proteggere l'alveo di un fiume, l'uomo costruisce le briglie fluviali, una serie di gradini lungo il corso del fiume. Per tentare di impedire le inondazioni, invece, vengono costruiti degli argini artificiali; nella loro progettazione è importante tenere conto dello spazio naturale che è necessario al fiume per far defluire le acque in piena. Per diminuire la quantità di acqua presente in un alveo durante una piena, si progettano dei serbatoi d'acqua (che possono trattenere momentaneamente una certa quantità d'acqua) e i canali scolmatori (che ne deviano il percorso).

### Difendersi dalle frane

Le frane provocano danni ingenti alle cose e alle persone e la prevenzione viene messa in atto attraverso il consolidamento del versante a rischio. Prima di tutto è necessario individuare il terreno franoso ed evitare di costruire opere edilizie od operare scavi. Inoltre, è necessario evitare che grandi quantità di acqua scorrano sulla superficie di questo terreno, costruire fossi di scolo e favorire la copertura vegetale. I muri di sostegno o gabbionate, sono costruzioni che servono a contenere il materiale che si muoverebbe verso il basso del pendio.

**La frana del Vajont.** Nel 1957 iniziarono i lavori per la costruzione di una diga che sbarrava il torrente Vajont. A monte della diga si era formato un lago e le osservazioni dei geologi avevano messo in evidenza che i pendii delle montagne che lo circondavano non erano stabili: le rocce sedimentarie dei versanti erano appoggiate a strati sottostanti di argilla poco compatti e scivolavano sopra di essi.

Dopo una prima frana, il 9 ottobre del 1963, 300 milioni di metri cubi di materiale scivolarono dal Monte Toc nel lago e provocarono un'onda di 40 milioni di metri cubi d'acqua che superò la diga. Gli effetti furono devastanti perché l'onda travolse il paese di Longarone e altri centri abitati vicini. In questo caso la responsabilità dell'uomo è evidente, perché non vennero tenuti in considerazione gli studi dei geologi in fase di progettazione della diga né quelli che seguirono ai primi movimenti franosi.

### **Valutazione di impatto ambientale**

La Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) è nata negli Stati Uniti nel 1969 con il National Environment Policy Act (NEPA) anticipando di quasi dieci anni il principio fondatore del concetto di Sviluppo Sostenibile definito come "uno sviluppo che soddisfi le nostre esigenze d'oggi senza privare le generazioni future della possibilità di soddisfare le proprie", enunciato dalla World Commission on Environment and Development, Our Common Future, nel 1987. In Europa tale procedura è stata introdotta dalla Direttiva Comunitaria 85/337/CEE (Direttiva del Consiglio del 27 giugno 1985, Valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati) e successivamente recepita nell'ordinamento degli stati membri, divenendo ben presto uno strumento fondamentale nella politica ambientale.

La VIA consiste in uno studio che valuta le conseguenze che un'opera avrà sul territorio e i suoi abitanti. Il territorio studiato non si deve limitare alle zone immediatamente circostanti, ma deve comprendere tutte le aree vicine o lontane che potrebbero risentire in qualche modo dell'intervento sull'ambiente. Gli studi di impatto ambientale (SIA) devono fornire alle autorità competenti gli elementi sui quali decidere nei seguenti modi:

- fase di descrizione del progetto e dell'ambiente globale, compreso quindi atmosfera, idrosfera, biosfera e antroposfera;
- fase di individuazione e stima degli impatti del progetto sull'ambiente come interferenze e componenti ambientali;
- fase di valutazione generale da parte di chi propone l'opera o l'intervento, dopo aver definito metodi e criteri scelti.

La VIA è anche un processo di partecipazione dei cittadini che sono così informati sulla complessità ambientale e sociale. Questo permette ai cittadini di controllare la coerenza e l'efficacia dell'operato delle autorità competenti e di arricchire il processo decisionale con le proprie osservazioni.

### **Le alluvioni**

In Italia i corsi d'acqua sono spesso caratterizzati da lunghi periodi di magra e brevi ma intense piene causate da forti precipitazioni; l'aumento della portata del torrente provoca l'aumento della velocità di scorrimento dell'acqua e la sua fuoriuscita dagli argini. Il disboscamento, gli incendi, la costruzione di opere edili in zone a rischio sono alcuni dei motivi per cui si verificano questi fenomeni. Le acque del fiume Po rimangono imprigionate dagli argini artificiali che sono stati costruiti per 510 km su una lunghezza totale del fiume di 652 km. Inoltre, molte aree intorno al corso del Po sono state



Ambiente / Terra / Paesaggi

disboscate e urbanizzate e di conseguenza è aumentata la velocità di scorrimento delle acque verso il fiume. In questo modo cresce il pericolo delle piene improvvise, l'acqua supera gli argini artificiali e invade le zone circostanti arrecando gravi danni all'agricoltura e ai centri abitati.

*Testo aggiornato ad agosto 2022*