

## CAPITOLO VI – L’AMBIENTE

Il concetto di ambiente è piuttosto ampio e vago, assumendo connotazioni diverse a seconda del contesto disciplinare. Si può in generale definire l'ambiente di un oggetto come l'insieme degli oggetti interagenti con esso e, di conseguenza, l'ambiente senza specificazione come l'insieme degli ambienti di tutti gli oggetti terrestri. Un ecosistema è invece una porzione di biosfera delimitata naturalmente. Ogni ecosistema è costituito da una comunità (detta anche biocenosi) e dall'ambiente fisico circostante (inteso come componente abiotica), con il quale la comunità vivente si relaziona. Si tratta di un sistema aperto, ovvero soggetto a flussi di energia e di materia. Allora non ha senso parlare di ecosistema senza precisare a quale contesto ci si riferisce. Invece, per quanto riguarda l'ecologia (v. § 6.2), non è improprio parlarne senza specifica perché è la scienza degli ecosistemi. Importante è anche confrontare i termini «ambiente» ed «ecosistema» con quello di «habitat».

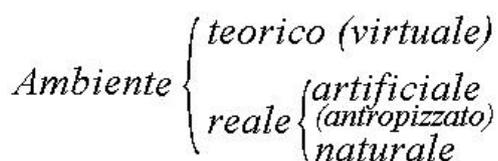


Fig. 6.1 – Caratteristiche dell'ambiente.

Quest'ultimo indica il complesso dei fattori fisici e chimici del territorio (o componenti abiotiche) che caratterizzano il contesto di vita di una particolare specie (animale o vegetale), consentendole di esistere e svilupparsi.

Altro concetto è quello di «nicchia ecologica», che indica il *ruolo* ricoperto dalla specie all'interno

dell'ecosistema.

Proseguendo ad esplicitare il significato dei termini è bene tener presente che un ambiente può essere teorico (ad esempio, nel caso del problema matematico preda-predatore la preda è l'ambiente del predatore e viceversa ed in entrambi i casi si tratta di un ambiente teorico) o reale ed in questo caso può essere artificiale (gli ambienti artificiali sono sempre antropizzati) o naturale (v. schema di fig.6.1). Ancora qualche precisazione è utile per quanto riguarda il termine «sistema» che deve essere inteso come *un insieme di oggetti al completo delle loro interazioni* ed in tal senso costituisce per certi aspetti un'estensione rispetto al concetto di ambiente (perché considera anche le interazioni fra gli oggetti che prende in esame) e per altri una sua riduzione (perché si riferisce agli oggetti che si desidera prendere in esame mentre l'ambiente riguarda tutti gli oggetti che interagiscono con un oggetto prefissato). In altri termini, l'ambiente di un oggetto è l'insieme degli oggetti che costituiscono il sistema naturale di quell'oggetto indipendentemente dal tipo delle interazioni con esso.

È importante osservare che il concetto di ambiente come nasce dalle osservazioni precedenti implica varietà di scale sia spaziali che temporali. Problema che oltre a complicare lo studio, la descrizione e la rappresentazione dei diversi ambienti rende singolare e nuovo rispetto al passato l'approccio scientifico.

Nei capitoli precedenti il problema della conoscenza scientifica è stato analizzato a tutto campo, avendo come prospettiva non esclusiva l'ambiente, cosicché molte delle considerazioni sviluppate si applicano anche a singoli settori disciplinari. In questo capitolo si cercherà di partire da definizioni che riguardano l'ambiente e di raccogliere nozioni specificatamente ambientali, precisando concetti già riportati o richiamandone altri.

### 6.1. – Le scienze ambientali

Le scienze ambientali devono rispondere a due requisiti: (i) essere “scienze” e quindi soddisfare il criterio fondamentale della riproducibilità (replicabilità); (ii) essere “ambientali” e quindi attingere le proprie informazioni direttamente dall'ambiente senza manipolarlo. La caratteristica di ambientale ha tre implicazioni forti: (a) essere interdisciplinare, perché l'ambiente non funziona per categorie di sapere separabili (il plurale “scienze ambientali” richiama pluralità di discipline); (b) non ammettere repliche, perché le varietà ambientali sono talmente numerose (numerose sono le variabili e le loro combinazioni) da rendere assolutamente improbabile che

vicende verificatesi una volta si possano ripetere (e se si interviene artificialmente per produrre una replica, anche ammesso di riuscire a farlo, si perde la caratteristica di “ambientale”); (c) i processi sono dinamici perché non esistono condizioni di “equilibrio” o la possibilità di “solidificare” gli eventi. Questi presupposti hanno numerose conseguenze, ma soprattutto richiedono di individuare procedure capaci di porre ordine in una materia nuova che deve riciclare tutte le conoscenze acquisite dalle singole discipline scientifiche.

Le scienze ambientali hanno una storia recente ed un loro possibile atto di nascita nel rapporto del “Club di Roma”<sup>(1)</sup> pubblicato in Italia nel 1970 ad opera di Mondadori nella collana EST con il titolo “I limiti dello sviluppo”. In Italia, un avvenimento importante è stato anche il convegno di Urbino del 1973 organizzato dalla Tecneco (società del gruppo ENI) per presentare la “Prima relazione nazionale sull’ambiente”. Del resto, anche negli Stati Uniti le date rilevanti riguardano quel periodo: si pensi che l’*Environmental Protection Agency* (EPA) viene istituita appunto nel 1970. In Italia la prima legge specifica sull’inquinamento riguardava l’atmosfera ed è del 1966. In tutto il Mondo gli atti legislativi precedenti a queste date sono pochi e sporadici anche se già da qualche tempo si parlava dello smog di Londra, dello smog fotochimico di Los Angeles, dell’atmosfera insopportabile di Marghera e di quella pesante di Milano.

Di fatto, bisogna arrivare alla fine degli anni ’60 perché il susseguirsi di gravi eventi di inquinamento (all’episodio di Londra vengono attribuiti oltre 4000 morti, mentre a Minamata sono stati accertati oltre 100 decessi) attirino l’attenzione sull’ambiente e promuovano un ampio dibattito sul pianeta Terra e sui limiti delle sue risorse. Questo dibattito ha individuato la natura *sistemica* dei fenomeni ed ha mostrato i pericoli insiti negli eccessi della specializzazione tecnologica (se una diga resiste all’urto di un’onda che la scavalca, la diga non ha funzionato e l’errore è di tutti quelli che hanno contribuito a realizzarla perché la diga non è una barriera sommata ad un vaso, ma una struttura integrata di tali elementi con funzione di raccolta e contenimento delle acque: se fallisce questo scopo allora *non ha funzionato*). È emersa, in particolare, la necessità di quotare scientificamente i fenomeni evitando disquisizioni vaghe a vantaggio di enunciazioni precise e quantitative.

In effetti, le crisi degli anni ’70 ed i dibattiti avviati di conseguenza hanno indotto nuove correnti di pensiero, che si sono espresse in vari campi delle attività umane. In campo scientifico queste correnti si compendiano nelle *Scienze Ambientali* le quali non formano, come spesso si pensa, una nuova disciplina, ma si caratterizzano per il metodo che usano nell’acquisire conoscenza. Né si deve confondere l’ambientalismo scientifico con quello politico, che ha promosso i partiti e le



Fig. 6.2. – Schema che figura tramite colore i rapporti fra “scienze classiche” e “scienze ambientali”.

associazioni “verdi” – a volte speculando sulle aspettative dei singoli – al fine di mobilitare consensi ma che troppo spesso non è supportato da reali conoscenze scientifiche.

Le *Scienze Ambientali* rappresentano un tentativo di connettere tra loro varie branche delle *Scienze Classiche* operando con approccio sistemico sui fenomeni che le singole discipline classiche considerano scomponibili e trasportabili in laboratorio. Di fatto, le *Scienze Ambientali* studiano i fenomeni “*in situ*”, cioè come si sviluppano in natura, ed usano l’ambiente come laboratorio privilegiato, mentre le *Scienze Classiche* li studiano “*in vitro*” prediligendo gli ambienti artificiali ricostruiti in

laboratorio.

La peculiarità delle Scienze Ambientali di basare la propria conoscenza su esperienze *in situ* (o *in vivo*) ha conseguenze molto importanti per la loro collocazione rispetto alle altre scienze della natura. Infatti, la sperimentazione *in situ* implica che le Scienze Ambientali siano multidisciplinari,

<sup>(1)</sup> Il “Club di Roma” era un sodalizio spontaneo e senza fini di lucro formato da persone in posizioni di prestigio allarmate per alcuni segnali preoccupanti (un grave episodio di smog a Londra, l’avvelenamento da mercurio di un’intera comunità di pescatori nella baia di Minamata, ecc.).

perché i comportamenti della natura trascendono le divisioni disciplinari, e che la riproducibilità delle osservazioni sia fornita da simulatori formali (algoritmi): esperimenti numerici o digitali invece che esperimenti fisici, per rendere scientifica (riproducibile) la conoscenza acquisita su sistemi non replicabili fisicamente. L'uso di algoritmi per effettuare le simulazioni porta, a sua volta, alla possibilità di interpretare più scale spaziali e temporali, prerogativa coerente con i processi naturali, che sono multiscale.

Naturalmente, le *Scienze Ambientali* non si contrappongono alle *Scienze Classiche*, ma le integrano aggiungendo quegli apporti interdisciplinari che l'eccessiva specializzazione dei metodi classici hanno finito per accantonare. In quanto ad osservazioni *in situ*, alcune scienze classiche (l'intera disciplina come nel caso dell'*Astronomia* o una sua parte come nel caso della *Biologia*) assomigliano alle *Scienze Ambientali*, ma da esse differiscono perché o non interagiscono con le altre discipline (l'*Astronomia* non è interdisciplinare) o considerano fenomeni governati da un solo ordine di scala (ad esempio, quando la *Biologia Classica* studia un organismo tende a considerare solo i processi alla scala di quell'organismo, mentre il suo ambiente di vita comprende anche altre scale). Inoltre, l'ambiente è in evoluzione continua e, conseguentemente, le scienze che lo riguardano sono fondamentalmente di «non equilibrio» cosicché ben poco senso scientifico hanno gli annunci ricorrenti in ordine al ripristino di condizioni passate o alla conservazione di siti o, ancor peggio, alla promozione di «sviluppi compatibili».

Un discorso a parte merita l'ecologia, che si trova in una posizione intermedia fra le scienze classiche e quelle ambientali in virtù dell'ambito disciplinare di provenienza, ovvero la biologia, e in conseguenza dei limiti di questa disciplina, tanto tassonomica e poco numerica.

Nello schema di fig. 6.2 si è cercato di rappresentare il rapporto fra le due metodologie (classiche e ambientali) mettendo in rilievo con il colore le caratteristiche comuni (metodo scientifico, con colore azzurro) e le differenze (*in vivo*, con colore verde ed *in vitro* con colore rosso).

Naturalmente non si deve pensare a scienziati dell'ambiente che sanno tutto di tutto, né a ricercatori privi di specializzazione. L'ampiezza dello scibile e la deformazione dei linguaggi specialistici rendono improponibile il «tuttologo» e richiedono invece persone aperte alle collaborazioni che costituiscano gruppi di ricerca eterogenei: spesso, infatti, le opportunità di progresso scientifico stanno nelle zone di saldatura tra discipline diverse piuttosto che ai loro confini estremi.

Per rendere più chiari i concetti espressi vale anche la pena di classificare i termini scienza, tecnologia, ingegneria, gestione e politica, soprattutto perché spesso si tende a confonderli anche per scopi non sempre nobili. Così *scienza* indica le azioni intese a conoscere, *tecnologia* quelle orientate a realizzare gli strumenti necessari per conoscere o per operare, l'*ingegneria* riguarda le attività di intervento quali progettare, costruire, modificare, ecc., la *gestione* attiene le decisioni e gli interventi per i funzionamenti, mentre la *politica* si riferisce alla ricerca e promozione dei consensi.

## 6.2. – L'ecologia

Come disciplina l'ecologia è recente (il termine è stato coniato nel 1866 dal biologo tedesco Ernst Haeckel) ed in Italia nasce negli anni '50 in connessione con lo studio delle relazioni fra processi agronomici e vicende climatiche. Nelle scienze biologiche alcuni problemi di ecologia erano presenti da tempo anche nel nostro Paese: si pensi, ad esempio, al famoso modello di competizione fra individui, noto col nome di *preda-predatore* (o *nemico-vittima* o *vegetale-erbivoro*), legato al matematico Vito Volterra (1860-1940), che sviluppò autonomamente il modello quasi in contemporanea ad Alfred J. Lotka.

Il Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST) nel 2000 fornisce la seguente definizione del settore disciplinare «Ecologia»: «*Il settore si occupa delle relazioni degli organismi autotrofi* (vegetali forniti di clorofilla, capaci di scindere l'anidride carbonica per formare composti organici, n. di r.) *ed eterotrofi* (che devono nutrirsi con sostanze organiche già elaborate da altri esseri viventi, n. di r.) - *terrestri (inclusi gli organismi del suolo)*,

marini e di acqua dolce - con il loro ambiente, con particolare riguardo a distribuzione, storia evolutiva, risposte all'ambiente fisico e interazioni tra organismi conspecifici ed eterospecifici. Capitoli basilari dell'ecologia sono: dinamica e regolazione delle popolazioni in funzione delle risorse e delle interazioni biotiche (predazione, competizione, parassitismo, simbiosi); comunità, meccanismi che ne regolano la diversità e ne determinano la variazione spazio-temporale; ecosistemi naturali, antropizzati, urbano-industriali e loro organizzazione nei sistemi di paesaggi; flusso di energia negli ecosistemi, cicli biogeochimici e ruolo in essi svolto dai microrganismi; risposte degli ecosistemi ai cambiamenti globali e alle alterazioni antropiche. Il settore cura anche i seguenti aspetti applicativi: conservazione e gestione degli ecosistemi, utilizzazione delle risorse biologiche, controllo di specie esotiche, strategie per il mantenimento della biodiversità e la sostenibilità della biosfera, ecotossicologia, indicatori della qualità ambientale, valutazione di impatto ambientale, aspetti ecologici del risanamento e recupero ambientale. Si occupa anche di formazione ed educazione ambientale e di aspetti metodologici relativi all'analisi dei sistemi ecologici, al monitoraggio, alla modellizzazione e alla rappresentazione di dati ecologici e ai sistemi informativi ambientali.”

È, quindi, chiaro che in Italia l'Ecologia non va confusa con le Scienze Ambientali delle quali costituisce solo un aspetto disciplinare e non ne condivide il metodo. Di fatto, l'Ecologia si rapporta alle Scienze Ambientali allo stesso modo della Chimica, della Fisica, della Geologia, ecc., tutte discipline coinvolte nell'approccio metodologico di studio dell'ambiente, ma tutte discipline di stampo classico. Diverso è il significato da attribuire al termine inglese Ecology, che non traduce il termine “Ecologia” e neppure si identifica con quello di Environmental Science.

Per inciso, può essere utile ricordare come qualsiasi oggetto, animato o no, modifichi per effetto della sola presenza i suoi dintorni (un sasso modifica l'erosione del suolo intorno al punto sul quale poggia) e quindi non si possa studiare l'ambiente solo su base biologica, come non si può

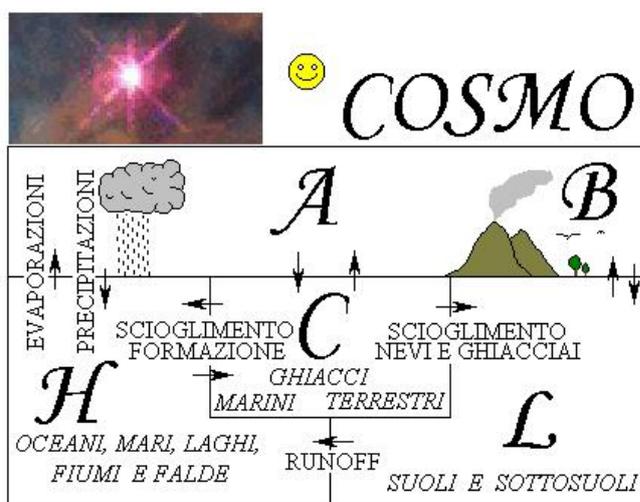


Fig.6.3 - Struttura dell'ambiente (A = atmosfera, H = idrosfera, C = criosfera, L = litosfera, B = biosfera).

attribuire a tutti i prodotti chimici proprietà nefaste contrapponendoli a quelli biologici o ritenere tutto il naturale “buono” e l'artificiale “cattivo”. Quando si parla di ambiente non si può trascurare il ruolo pilota che le componenti chimico-fisiche (aria, acqua, suolo, clima, ecc., nelle rispettive componenti locali, regionali e globali) giocano nei confronti dei processi biologici né i condizionamenti delle risorse abiotiche verso gli esseri viventi. Così pure i paesaggi si organizzano anche in assenza di organismi e gli indicatori di qualità ambientale non possono ignorare le componenti meteorologiche, idrologiche ed annesse.

Si ritiene inoltre opportuno porre attenzione alle tecnologie per sottolineare che, per loro conto, sono “cosa buona”, ma di esse può diventare drammatico l'uso, soprattutto quando si mira ad un obiettivo senza tenere conto delle implicazioni e degli “effetti collaterali”, ignorando i limiti delle conoscenze e delle potenzialità attuali.

### 6.3. – Indicatori e fattori dell'ambiente

L'ambiente è un sistema dinamico, che si può immaginare costituito da cinque comparti «aperti» (in grado cioè di scambiare massa ed energia) ed influenzati da fattori cosmici legati soprattutto a flussi di energia gravitazionale (sistema Sole-Terra-Luna), elettromagnetica (UV, Visibile e IR per i sistemi Sole-Terra e Terra-Cosmo) e nucleare (radiazione cosmica). L'uomo, che

fa parte della biosfera e ne condivide le vicende, è diventato nell'ultimo secolo un fattore destabilizzante e spesso devastante dell'intero sistema essendo capace con le tecnologie (ed anche in conseguenza dell'espansione della sua specie) di stravolgere gli ordinamenti naturali.

Da un punto di vista formale, si può considerare l'ambiente come costituito da un insieme di parametri (gli indicatori ambientali, che definiscono le componenti di un vettore  $\mathbf{I}$  ad  $n$  dimensioni) sui quali agiscono i "fattori dell'ambiente"  $\mathbf{F}$  per produrre le "varietà ambientali" (definite dalle componenti di un vettore  $\mathbf{V}$  ad  $m$  dimensioni):

$$\mathbf{V} = \mathbf{F} \times \mathbf{I}.$$

In versione lineare (ipotesi molto improbabile, ma utile per le esemplificazioni) l'operatore  $\mathbf{F}$  è una matrice ad  $m$  righe ed  $n$  colonne, ma nella sua forma più generale è una funzione che mescola gli indicatori fornendo dipendenze complesse per ciascuna delle varietà ambientali:  $V_i = F_i(I_1, I_2, \dots, I_n)$  con  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Gli indicatori ambientali sono grandezze osservabili per via diretta o indiretta e suscettibili di misura. In campo ambientale la misurabilità può essere ottenuta con le metodologie delle scienze fisiche ed i sondaggi di opinione delle scienze sociali<sup>(2)</sup>.

Il numero  $n$  degli indicatori necessari per descrivere un ambiente è molto elevato e comunque difficilmente definibile su base scientifica come pure il numero  $m$  delle varietà ambientali. Entrambi questi numeri aumentano con il progredire delle conoscenze ( $n$ , perché si scoprono sempre nuove connessioni;  $m$ , perché aumenta la risoluzione degli strumenti di osservazione) ed è quindi ragionevole fissarli di volta in volta per via convenzionale sulla base degli obiettivi che ci si pone. L'ARPAV<sup>(3)</sup> ha pubblicato un manuale sugli indicatori ambientali del Veneto<sup>(4)</sup> che, se verrà aggiornato, potrebbe costituire il "catalogo delle fasi" dell'ambiente veneto e svolgere la funzione di "vocabolario ambientale" della Regione.

## 6.4. – Fattori dell'ambiente

Gli operatori che regolano l'ambiente possono essere classificati in relazione alla loro natura come:

A – **Cosmici.** Sono in prevalenza dovuti al Sole ed al suo sistema (in particolare la Luna) ed agiscono su atmosfera, biosfera, litosfera ed idrosfera. Ad esempio, appartengono a questa categoria tutti i fattori che contengono effetti dovuti al funzionamento del sistema solare come i moti di rivoluzione della Terra (eccentricità dell'eclittica, inclinazione fra asse di rotazione e piano dell'eclittica, ecc.).

B – **Geografici.** Sono in prevalenza dovuti a proprietà della Terra, come:

- distribuzione delle terre e dei mari sulla superficie terrestre;
- oceanografia;
- idrologia generale;
- geologia;
- orografia generale;
- ecc.

C – **Locali.** Sono dovuti a caratteristiche locali, come:

- pedologia;

---

<sup>(2)</sup> La prima rete europea di stazioni fisse per il monitoraggio della qualità dell'aria è stata realizzata in Olanda con sensori di SO<sub>2</sub>. La scelta dei siti per collocare le stazioni è stata effettuata intervistando i residenti della zona con domande su odori, respirabilità, visibilità, ecc..

<sup>(3)</sup> L'ARPAV è l'Agenzia Regionale Per l'Ambiente Veneto.

<sup>(4)</sup> ARPAV, 2000. Rapporto sugli indicatori ambientali del Veneto. <http://www.arpa.veneto.it>.

- distribuzione delle colture;
- idrologia locale;
- climatologia locale
- orografia locale;
- fauna locale;
- flora regionale;
- flora locale;
- ecc.

D – **Antropici.** Sono dovuti a modificazioni antropiche dell'ambiente naturale:

- agricoltura;
- urbanistica;
- industrie;
- trasporti;
- bonifiche;
- irrigazione;
- bacini idroelettrici;
- deforestazione;
- riforestazione;
- ecc..

Naturalmente, il numero dei possibili fattori è molto elevato ed è impensabile effettuare elenchi esaurienti ed ancor meno classifiche. È però sempre importante riuscire a stabilire le caratteristiche delle diverse variabili tenendo separati gli indicatori dai fattori. Una tale distinzione costituisce il punto di partenza di ogni ricerca perché ogni formulazione richiede di separare le variabili dipendenti da quelle indipendenti. Talvolta si considerano indipendenti il tempo ( $t$ ) e le variabili spaziali ( $x, y, z$ ), mentre le grandezze connesse con quella in esame (considerata la variabile dipendente,  $Y$ ) vengono indicate con il nome di «parametri» e così il loro legame funzionale assume forme del tipo:  $Y = f(x, y, z, t; p_1, p_2, \dots, p_n)$ .

## 6.5. – I simulatori dell'ambiente

L'azione dei fattori ambientali sugli indicatori fa evolvere nel tempo le varietà ambientali in altre varietà ambientali determinando i *processi*. Questi vanno, pertanto, intesi come successioni di varietà connesse tra loro in modo conseguente. Un processo si determina stabilendo come e perché esso avvenga, cioè individuando le modalità (*cinematica*) e le cause (*dinamica*) che lo producono. La cinematica riguarda sequenze ordinate (nel tempo) di varietà ambientali, mentre la dinamica si riferisce ai fattori ambientali ed ai loro meccanismi di azione. Entrambi gli aspetti si possono ricondurre ai bilanci delle proprietà in gioco. Un processo, infatti, è descritto dalla evoluzione delle variabili che individuano il sistema e per ognuna di esse è possibile stabilire un bilancio (la portata entrante è valutata al netto delle entrate ed uscite dal sistema):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{velocità di} \\ \text{accumulo} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{portata entrante} \\ \text{netta} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{velocità di} \\ \text{generazione} \end{array} \right\}.$$

Il primo termine stabilisce la cinematica (per definirlo non è necessario entrare nel merito delle cause), mentre i termini al secondo membro, insieme con le «condizioni al contorno» e con le «condizioni iniziali», stabiliscono la dinamica (contengono cioè le cause che producono l'accumulo o le perdite). L'evoluzione del sistema risulta pilotata da meccanismi interni e/o da processi di interazione con l'esterno. I primi riguardano il *trasporto* e la *generazione* delle proprietà, i secondi prendono il nome di *processi di scambio* ed hanno, spesso, caratteristiche bidirezionali (da (-) o verso (+) il sistema). In termini matematici: il bilancio diventa un'equazione integro-differenziale, la velocità di accumulo è una *derivata totale* della proprietà fatta rispetto al tempo, mentre lo

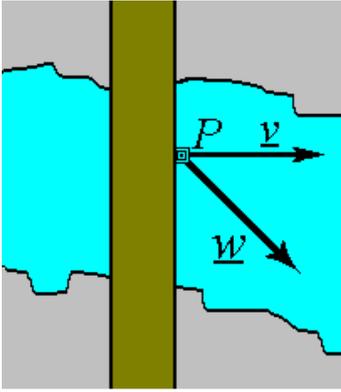


Fig. 6.4 - Rappresentazione concettuale delle derivate rispetto al tempo.

scambio viene usualmente (ma non sempre) descritto attraverso *condizioni al contorno e/o condizioni iniziali*. È allora evidente l'utilità di approfondire alcune peculiarità delle derivate rispetto al tempo tenendo presente il ruolo dell'osservatore e delle sue condizioni di moto.

6.5.1. - DERIVATE RISPETTO AL TEMPO DI CAMPI NON STAZIONARI - Sia  $f$  una grandezza scalare che dipende dalle coordinate cartesiane ortogonali  $(x, y, z)$  e dal tempo  $(t)$ . La funzione  $f = f(x, y, z, t)$  definisce un campo non stazionario le cui variazioni temporali dipendono dalle modalità di misura. Infatti, un osservatore in moto che percorre il campo con velocità  $\underline{w} \equiv (dx/dt, dy/dt, dz/dt)$ , vede le variazioni dovute sia al suo moto (espresso dal fatto che le coordinate dipendono dal tempo: cioè  $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ ) sia alla non-stazionarietà di  $f$ . Entrambi questi contributi sono misurati dalla derivata totale:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{dz}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \underline{w} \cdot \nabla f$$

essendo  $\nabla$  l'operatore vettoriale *nabla* che, applicato ad uno scalare corrisponde, all'operatore *gradiente*.

Nel caso che si consideri una proprietà di un fluido (ad esempio, la concentrazione di un inquinante in un corso d'acqua), se la velocità dell'osservatore,  $\underline{w}$ , coincide con quella del fluido,  $\underline{v}$ , si usa indicare la corrispondente derivata totale rispetto a  $t$  come «derivata sostanziale» (o *derivata seguendo il moto*) e contrassegnarla con la lettera  $D$ :

$$\frac{Df}{Dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \underbrace{\underline{v} \cdot \nabla f}_{\text{trasporto convettivo}}$$

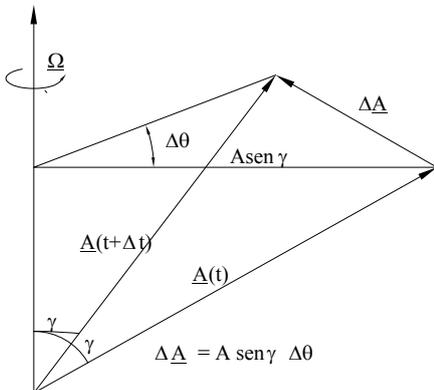


Fig. 6.5 - Vettore  $\underline{A}$  di ampiezza costante che ruota con velocità angolare  $\underline{\Omega}$

Il differente significato fisico delle tre derivate ( $\partial f/\partial t$ ,  $df/dt$  e  $Df/Dt$ ) si individua facilmente se si immagina di valutare le variazioni di  $f$  in un punto  $P$  situato sotto un ponte perché allora è possibile procedere in due modi (v. fig. 6.4), cioè: osservare dal ponte come  $f$  varia con  $t$  in corrispondenza del punto  $P$ , oppure munirsi di barca ed effettuare l'osservazione passando sopra il punto  $P$  alla velocità  $\underline{w}$ . Nel primo caso la velocità di variazione di  $f$  corrisponde alla derivata  $\partial f/\partial t$ , nel secondo caso corrisponde alla  $df/dt$  e questa diventa la  $Df/Dt$  quando  $\underline{w}$  coincide con la velocità,  $\underline{v}$ , delle acque del fiume.

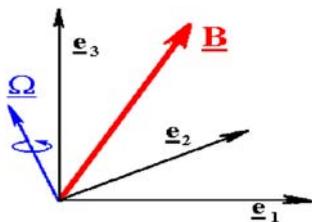


Fig. 6.6 - Vettore variabile in ampiezza.

6.5.2. - GRANDEZZE VETTORIALI NEI SISTEMI DI RIFERIMENTO IN ROTAZIONE - Il sistema di riferimento naturale per descrivere i comportamenti dell'ambiente è sicuramente un sistema solidale con l'osservatore e quindi in rotazione con la Terra. Gli indicatori ambientali sono spesso rappresentabili con grandezze vettoriali le cui derivate rispetto al tempo si calcolano scomponendo il procedimento in due fasi: una (v. fig. 6.5) per vettori ad ampiezza costante (come i versori di un qualsiasi sistema di coordinate) ed una (v. fig.6.6) generale per vettori variabili in direzione e modulo. La trattazione matematica viene affrontata in appendice.

## 6.6. – Rapporti fra scienza e didattica

Per le diverse discipline scientifiche il rapporto fra ricerca e didattica è generalmente chiaro: la ricerca provvede ad acquisire conoscenza e la didattica a distribuirla. In questa suddivisione di compiti si interpone una fase di classificazione e memorizzazione (archivio) secondo uno schema di funzioni paritetiche (non c'è ricerca senza didattica e viceversa, ma anche ricerca e didattica senza memoria) che comunicano come in fig. 6.7. Il processo riguarda sia la conoscenza individuale che quella collettiva ed ha uno sviluppo virtuoso attraverso i canali di retroazione fra didattica e ricerca

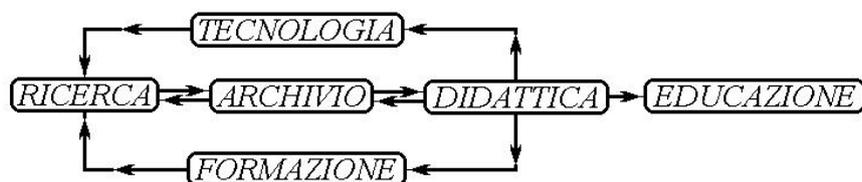


Fig. 6.7. – Schema di relazioni fra fasi nel processo di evoluzione della conoscenza scientifica e contributi all'educazione individuale e collettiva.

che passano per la formazione (una società più colta produce ricercatori migliori) e la tecnologia (tecnici più preparati forniscono alla ricerca supporti più evoluti). Naturalmente la didattica concorre all'educazione, la quale va

intesa come l'insieme degli interventi per formare<sup>(5)</sup> le qualità intellettuali e morali di un individuo connessa con la necessità di trasmettere alla generazione successiva i valori ritenuti essenziali. Il processo educativo si estrinseca in due tendenze generali: quella che mira alla semplice trasmissione del patrimonio culturale e quella che si propone di formare e stimolare negli individui la capacità di modificarlo e migliorarlo.

A differenza di chi opera nell'ambito delle discipline scientifiche "classiche", chi si occupa di scienze ambientali incontra spesso difficoltà di comunicazione con le persone perché l'ambiente fa parte della vita di tutti i giorni ed ognuno di noi ha una sua propria opinione su ciò che gli accade attorno. Questo fatto è intellettualmente pericoloso perché induce a ritenere verificate le proprie esperienze e a considerare opinioni proprie, o di persone ritenute autorevoli, come conoscenze scientifiche. Si finisce così per conferire autorità a giudizi di ogni sorta, magari applicando contorsioni logiche sofisticate per tentare di nobilitare quelle idee che, comunque ed ovviamente, rimangono solo opinioni come le idee di partenza. Errate credenze creano così i presupposti per promuovere, anche in buone fede, comportamenti che favoriscono interessi particolari e producono danni all'ambiente.

Nascono in questo modo *leggende* che poggiano sull'equivoco di termini mai definiti e usati secondo definizioni del linguaggio comune ambigue o con significati multipli. Un esempio è il binomio «sviluppo sostenibile» che è stato definito da una Commissione dell'ONU<sup>(6)</sup> come «lo sviluppo attuale che non compromette quello futuro». Ma nessuno ha mai definito il senso da dare al termine «sviluppo» e tanto meno a quello di «bisogno». D'altra parte, l'equivoco è chiaro se si legge attentamente la definizione. Infatti, si tratta di un compromesso fra la sostenibilità che vorrebbero i Paesi industrializzati (senza effettuare rinunce) e lo sviluppo (identico a quello dei Paesi industrializzati) che vogliono intraprendere i Paesi in via di sviluppo. Questa definizione esprime il sogno dei padri che desiderano per i figli una vita migliore della propria. Il sogno richiede *sviluppo* per migliorare la qualità della vita, ma non considera la necessità di risorse per sostenere le tecnologie che devono produrlo. E l'opinione che esista uno sviluppo sostenibile senza

<sup>(5)</sup> La formazione è intesa come crescita intellettuale conseguente ad interventi educativi.

<sup>(6)</sup> Nel 1987, una Commissione Mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, attraverso un intenso calendario di riunioni e incontri ha prodotto un rapporto dal titolo *Our Common future*, più noto come *rapporto Brundtland*, dal nome del Presidente della Commissione stessa. Questo rapporto e, soprattutto, i lavori preparatori che ne hanno preceduto la stesura hanno messo a punto il concetto di *sviluppo sostenibile*, espressione dell'esigenza di integrazione tra le istanze di protezione ambientale, promosse soprattutto dai Paesi industrializzati, nei quali la richiesta di *ambiente* aveva raggiunto un alto consenso, e quelle di sviluppo di cui erano portatori soprattutto i Paesi in via di sviluppo. Il rapporto Brundtland definisce lo sviluppo sostenibile come «uno sviluppo che soddisfa i bisogni presenti senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri».

limitare le popolazioni avanza con l'etichetta di "scientifica" qualificando come scientifica un'altra opinione secondo la quale la tecnologia, prima o poi, sarà capace di soddisfare i desideri di tutti. Intanto, troppo spesso si fa riferimento alle incertezze sul riscaldamento (centesimi di grado per anno) del Pianeta da imputarsi all'*effetto serra* antropico, con il rischio di fornire alibi a quanti vogliono disconoscere evidenze di insostenibilità che sono alla portata di tutti. Ad esempio è facile calcolare che un bambino statunitense, nato oggi con prospettive di vita fino a 75 anni, se conserverà le abitudini attuali (quelle dei padri), produrrà 50 mila chilogrammi di rifiuti domestici, userà 100 milioni di litri di acqua e consumerà 500 mila litri di carburante. A questi ritmi l'attuale popolazione terrestre dovrebbe ipotecare fino al 2075: 300.000.000.000.000 kg di rifiuti domestici (pari a circa 0,5 kg per ogni m<sup>2</sup> di superficie terrestre oceani compresi<sup>(7)</sup>), 6×10<sup>17</sup> litri di acqua (circa due volte il volume dell'acqua dolce superficiale<sup>(8)</sup>) e 3×10<sup>15</sup> litri di carburante. Riuscirebbero le tecnologie a soddisfare questi bisogni con le risorse della Terra? Si consideri che la popolazione non è stazionaria, ma in crescita esponenziale!

In queste condizioni è sostenibile solo una qualche forma di **inviluppo** e questa non può riguardare altro che la popolazione o i consumi o entrambi. La tecnologia ha sicuramente poco da dire; un qualche risultato si può ottenere dalla riqualificazione dei consumi, ma è poca cosa. È certo però che in qualche modo la «*natura*» si ribellerà e non lascerà scelte.

Paradigmatico è, ad esempio, il problema dei consumi alimentari: sapevamo che per fare un chilo di carne da alimentazione umana occorrono circa 150 chili di erba oppure 10 kg di carne ed abbiamo scelto la logica di produrre 1500 kg di erba per produrre 10 kg di carne da dare ai ruminanti per 1 kg di carne destinata all'alimentazione umana. La speculazione ha introdotto nel ciclo gli scarti di macellazione, e con essi animali malsani o loro porzioni. Gli speculatori si sono poi scatenati quando, scoperto il problema BSE, gli animali sospetti venivano (e vengono?) macellati ed avviati alla distribuzione per evitarne la distruzione. Naturalmente sorge una domanda che potrebbe dare speranza: «Con quanta verdura potremmo sostituire la nostra dieta di carne animale?». Ma purtroppo non basta diventare vegetariani (totali o parziali) per risolvere i problemi di sostenibilità perché i consumi non sono solo alimentari e comunque rimane il problema di quante persone siano sostenibili dalla Terra al ritmo attuale di produzione di rifiuti.

Queste considerazioni vogliono mettere in evidenza la complessità e l'articolazione dei problemi ambientali e stabiliscono che, se si vogliono rendere partecipi dei problemi larghi strati della popolazione, si deve sviluppare la conoscenza (che deve essere scientifica e non di opinione) operando a diversi livelli scolari con strumenti ed argomentazioni differenziate (non tutto può essere insegnato a tutti). C'è bisogno di una consapevolezza scientifica che renda ragione sia dei comportamenti individuali che delle scelte collettive e questo bisogno richiede che si faccia ordine nel sapere acquisito sviluppando la divulgazione<sup>(9)</sup> attraverso Banche di Dati ad accesso libero (in *internet*) in grado di soddisfare quella necessità<sup>(10)</sup> di completezza e di trasparenza che la rete può agevolmente provvedere.

Si sottolinea in particolare come troppo spesso si confonda l'educazione ambientale con il tentativo di promuovere un atteggiamento nei confronti dell'ambiente su base empatica piuttosto che scientifica e si finisca per fomentare estremismi estranei a qualsiasi logica. L'insegnamento scientifico (le Scienze Ambientali come la Chimica, la Fisica, etc.) è, infatti, traslazione dei metodi e dei ritrovati della ricerca a materia di insegnamento. Questa traslazione compete alla scuola, che deve perciò fornire un'adeguata formazione<sup>(11)</sup> ed un continuo aggiornamento. Il ruolo

---

(7) Si è considerata una superficie totale della Terra di 500 milioni di km<sup>2</sup> da cui 300.000.000/500 kg/km<sup>2</sup> = 0,6 kg/m<sup>2</sup>.

(8) Si valuta che i serbatoi di acqua dolce superficiale siano di 360.000 km<sup>3</sup> = 3,6×10<sup>17</sup> litri.

(9) Divulgazione, intesa come insieme di azioni per diffondere cognizioni di ambito specialistico esprimendole in forma chiara e comprensibile.

(10) L'accesso all'informazione neutralizza gli equivoci sui quali si basano molte delle dispute di parte.

(11) La formazione personale non è (e non deve essere) un'esclusiva della scuola e ad essa contribuiscono, purtroppo in modo poco controllabile, i *media* (la televisione in particolare) e la *piazza* (il *gruppo*). La famiglia è stata in parte espropriata della formazione dalle intrusioni TV, dal ridimensionamento e dalla frammentazione dei nuclei famigliari, dalla diffusione e dalla potenza dei *branchi*.

dell'insegnante deve essere quello di fornire agli studenti gli strumenti per comprendere dal punto di vista scientifico la conoscenza dell'ambiente. Saranno poi questi strumenti a formare la capacità critica dell'individuo e ad indurre i comportamenti di rispetto e cura nei confronti dell'ambiente.

L'esercizio della conoscenza produce «saperi» che possono essere usati per vari scopi, alcuni positivi, come il progresso individuale e collettivo, altri negativi, come il prevaricare intere comunità, gruppi di persone o singoli. Il sapere in mano di pochi è sempre stato motivo di soprusi e continua ad esserlo anche ai giorni nostri, essendo spesso lo strumento con il quale si creano disparità<sup>(12)</sup>.

Per la verità, se da un lato la conoscenza limitata a livello di opinioni mette a disposizione pensieri non verificati ed inutili al progresso, dall'altro può sviluppare le arti e le metafisiche, fornendo una categoria di prodotti capaci di arricchire la vita e, come tali, le opinioni vanno coltivate, ma mantenute in ambiti appropriati.

Con queste premesse è particolarmente delicato individuare il «come» spiegare agli altri quello che si è recepito e «che cosa» divulgare. Purtroppo il problema della «comunicazione» non riguarda solo la scuola e non riguarda solo il trasferimento di conoscenza perché negli anni più recenti se ne sono impadroniti il *marketing* ed i *media* per produrre false verità, pregiudizi, ambiguità, errate corrispondenze e per alimentare «leggende metropolitane».

Il compito della Scuola e, soprattutto, dell'educazione ambientale consiste nel fornire:

- a) un bagaglio di conoscenze valide (cioè verificate);
- b) gli strumenti per costruire opinioni proprie e autonome;
- c) i mezzi per valutare la qualità delle comunicazioni terze.

Il primo obiettivo si persegue trasferendo metodi logici e conoscenze scientifiche. Il secondo riguarda il fatto che le opinioni sono e devono rimanere conquiste personali. Per questo alla Scuola spetta di insegnare a ciascuno il come formare le proprie. Da ultimo la Scuola deve fornire i criticismi necessari per acquisire in modo avvertito quanto viene propugnato dai *media* e dalla «piazza». In particolare, la Scuola avrebbe grande rilievo umano e ambientale se riuscisse a far capire le ragioni del *marketing* e, soprattutto del *branding*<sup>(13)</sup> (chi ne trae vantaggio?) e i problemi che produce all'economia e all'ambiente l'aumento dei consumi e dei rifiuti in spregio alle risorse e all'ambiente futuri. Il fatto è che determinati comportamenti vanno regolamentati, non si può infatti pensare di affidarsi al buon senso o al buon cuore dei singoli.

Ricapitolando, il sapere che ha potenzialità di progresso è solo quello «verificato», cioè il sapere scientifico. Attualmente questo tipo di sapere si è sviluppato enormemente, diversificandosi in numerose branche spesso poco comunicanti ed ha bisogno di organizzazione. Da poco esistono gli strumenti per farlo (calcolatori molto potenti e poco costosi, reti informatiche) e quindi è opportuno analizzare i saperi accumulati, ordinarli e renderli disponibili al maggior numero di persone. Per fare ciò è necessario utilizzare una rete mondiale e dei sistemi di archiviazione capaci di dare ordine alle grandi moli di dati.

Inoltre, per organizzare la distribuzione del sapere è necessario servirsi di termini appropriati. Quando si vuol rendere partecipe il cittadino comune le vie sono diverse e tutte imperfette perché non sempre si può contare sulla ricettività spontanea del destinatario al quale si deve arrivare indirettamente e garbatamente attraverso la scuola (i giovani) ed i «*media*» (tutta la popolazione). I canali mediatici non sono però spinti da interessi culturali né perseguono obiettivi umanitari, dovendo prevalentemente sottostare alle leggi di mercato. Questa circostanza spesso

---

<sup>(12)</sup>La disparità è un concetto sociale usato recentemente per indicare rapporti di ingiustizia esistenti fra singoli cittadini, fra gruppi di cittadini o fra intere popolazioni.

<sup>(13)</sup>I due termini riguardano il «*vendere*» ed il «*marchiare*» e si riferiscono alla pubblicità degli oggetti e dei marchi di fabbrica. In qualche misura il secondo è l'evoluzione del primo, determinata dalla constatazione che produrre gli oggetti non è necessario, ma basta venderli, perché si troverà sempre qualcuno che per necessità sarà disposto a produrli a basso prezzo e senza istanze sociali. Si pensi a *Benetton*, alla *Nike*, ecc. ed alle loro campagne pubblicitarie per il rispettivi «*logo*» avulsi da prodotti che non realizzano direttamente. Il *branding* è generalmente legato alle concentrazioni aziendali perché con esse si ampliano i mercati e le reti manifatturiere ed ha l'effetto di ridurre il personale dipendente ed eliminare la concorrenza.

sproporciona l'informazione a vantaggio di argomenti "cari" al potere economico e a danno di altri da esso invisibili. Ad esempio, in Italia la televisione indugia facilmente sull'utilità delle grandi opere – ponte sullo Stretto di Messina, Alta Velocità, barriere mobili contro le acque alte a Venezia (MOSE), passanti stradali vari, ecc. – e non spiega che mai nel passato si sono sapute prevedere tutte le conseguenze negative delle realizzazioni faraoniche. Si pensi al Vajont con oltre 2000 morti, al DDT ancora presente nel grasso dei pinguini (Polo Sud!) vent'anni dopo essere stato bandito, ai PCB che sono diventati i colpevoli del buco dell'ozono stratosferico. Eppure si erano magnificati l'energia idroelettrica, l'efficacia antimalarica del DDT, l'inoffensività chimica dei freon. E perché nessuno sponsorizza i risparmi energetici, la riduzione del numero dei veicoli in circolazione, la chiusura generalizzata dei centri storici cittadini a tutto il traffico privato, la diminuzione dei limiti di velocità delle auto, la riduzione del trasporto merci su gomma e via dicendo.

I temi citati sono solo alcuni e non sono neppure quelli più rilevanti, ma danno un'idea di come vadano le cose in termini di distribuzione del sapere. L'ignoranza della popolazione giova ai detentori del potere: da quello economico, a quello politico, perfino a quello religioso.

## 6.7. – Organizzazione e archiviazione della conoscenza

Il sapere tramandato oralmente è sicuramente equivoco e poco affidabile, ma non è detto che non lo sia anche quello trasmesso in forma scritta. Si pensi ad un articolo scientifico basato su proposizioni di altri che rinviano ad una bibliografia poco accessibile. Come è possibile verificare gli asserti e quindi i risultati? Per fortuna sta avanzando a grandi passi il nuovo canale di documentazione messo in piedi dalle reti informatiche *intra-* e *inter-net*.

Un patrimonio informativo può risultare inutilizzabile se i dati non sono raccolti ed organizzati in forme e modi tali da renderne facile l'accesso, la comprensione, la manipolazione, la divulgazione e, prima ancora, da palesarne l'esistenza. I tradizionali supporti cartacei non possono soddisfare questi requisiti, ed anche gli archivi più o meno informatizzati hanno già mostrato limiti inaccettabili.

Una base di dati (*data base*), concetto introdotto per superare le numerose difficoltà d'uso degli archivi tradizionali, è un sistema centralizzato di archivi (*file*) che raccolgono i dati in strutture integrate e non ridondanti. I file sono contenuti in memorie magnetiche e ottiche e sono costituiti da blocchi di dati (*record*) organizzati in unità d'informazione elementari ed indivisibili<sup>(14)</sup> (*campi*).

I Sistemi di Gestione delle Basi di Dati (*SGDB*) sono procedure applicative che gestiscono le basi di dati a differenti livelli e permettono agli utenti di accedere ai dati senza bisogno di conoscere nei dettagli la struttura e l'allocatione reale delle informazioni. Questa caratteristica degli *SGDB* realizza l'*indipendenza* dei dati che si indica come *fisica* quando si può cambiare l'organizzazione degli archivi senza modificare i programmi di accesso e *logica* quando, mantenendo gli stessi programmi di accesso, se ne può modificare anche la struttura logica.

Tra le forme di organizzazione dei dati hanno assunto notevole importanza le cosiddette banche dati territoriali o *Sistemi Informativi Territoriali (SIT, o GIS* dall'inglese *Geographical Information System*), *software* progettati per acquisire, memorizzare, aggiornare, manipolare, analizzare e visualizzare dati georeferenziati, cioè dati che sono stati associati a una precisa localizzazione geografica.

Lo sviluppo dei *GIS* trae proprio origine dalla rivoluzione tecnologica iniziata con l'avvento dei calcolatori elettronici e ha le sue radici nella nascita o nell'avanzamento di altri settori della ricerca scientifica e tecnologica. In particolare, i *GIS* fanno riferimento alle tecnologie *CAD (Computer Aided Design)*, al telerilevamento ed alla aerofotogrammetria, a settori della cartografia, della pianificazione e della statistica territoriale, e si avvalgono di tutti gli strumenti di acquisizione automatica di dati. I primi esempi di *GIS* riguardavano la gestione delle risorse naturali, ma a questo settore, tuttora forse preponderante a livello internazionale, se ne sono aggiunti negli ultimi anni

---

<sup>(14)</sup> Di fatto un *campo* può contenere un codice che rimanda ad un *record* in un processo che può essere ripetuto quanto si vuole.

svariati altri: attualmente la tecnologia *GIS* è utilizzata tra l'altro nei sistemi di navigazione di aerei, navi e automobili; nella gestione delle reti tecnologiche, nella pianificazione urbana e regionale, nel catasto, nei sistemi di monitoraggio ambientale. I *GIS* sono inoltre utilizzati in archeologia, scienze sociali, medicina ed in molti altri settori lontani dalle applicazioni tradizionali, al punto che sono sorte organizzazioni scientifiche che trattano specificamente dell'utilizzo dei *GIS* in contesti specifici.

Il *GIS* è, in pratica, uno strumento in grado di sintetizzare i più disparati tipi di dati geografici in maniera omogenea, fornendo una base informativa di supporto ai processi decisionali in presenza di problemi complessi (a causa delle molte variabili coinvolte) da risolvere. Un *GIS* deve avere pertanto la capacità di rendere esplicite informazioni implicitamente presenti nei dati ma difficilmente ricavabili da essi. Ciò è raggiunto essenzialmente attraverso le capacità modellistiche di procedure della statistica e della ricerca operativa.

Dal punto di vista delle capacità funzionali, un *GIS* deve essere in grado di svolgere le tre operazioni fondamentali di input, analisi ed output dei dati, e di rappresentare il territorio nei suoi attributi: *posizionale* ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ) e *tematico* (ovvero l'entità registrata).

La qualità dei *GIS* si determina identificando la qualità dei dati geografici, di quelli tematici e del tempo di acquisizione, non trascurando di documentare le modalità di misura (*metadati*). Ciò che è importante è certificare i valori archiviati ed i loro significati, in modo da fornire agli utenti gli strumenti per decidere sulla possibilità di utilizzo nei casi di loro interesse.

I progressi nelle tecnologie dell'elaborazione delle informazioni hanno aperto una nuova era dell'informazione rivolta alla gestione della conoscenza. L'impiego dei *data base* ha certamente facilitato questa gestione, ma ha al contempo mostrato dei limiti nella capacità di trattare informazioni divenute viepiù complesse, soprattutto perché queste sono state spesso memorizzate e strutturate seguendo le logiche di chi le generava e gestiva piuttosto che quelle di chi le doveva utilizzare e perché gli standard di interrogazione erano troppo rigidi per i "non addetti ai lavori". Così, per superare questi vincoli, è stato introdotto l'*ambiente ipertestuale*.

Questo rivoluzionario modo di intendere le strutture di dati (unità di informazione e relazioni) comporta la capacità di muoversi rapidamente da una parte all'altra di uno o più documenti (*navigazione*) per mezzo di collegamenti associativi (*hyperlink* o *anchor*) supportati da una connessione fisica di rete, che può estendersi in tutto il mondo.

Nella maggior parte, i documenti disponibili contengono anche immagini, grafici, animazioni, suoni, e pertanto sono chiamati più propriamente *ipermedia* i supporti e *ipermediale* l'ambiente.

Il sistema a ipertesto rende possibile ed attraente l'accesso alle informazioni anche all'utente inesperto, consentendogli di aggirarsi liberamente in un ambito variegato seguendo associazioni anche solo intuitive. L'ipertesto diviene così uno strumento capace di avanzare su parecchi fronti contemporaneamente, di sviluppare e scartare idee su livelli diversi e su diversi punti in parallelo, in uno scenario in cui ciascuna idea dipende dalle altre e vi contribuisce.

Si parla di *organizzazione non lineare delle informazioni* per come appare questo particolare tipo di data base agli occhi dell'utente: una rete spaziale multidimensionale, articolata in vari nodi. Si può accedere ai singoli nodi (unità informative) da un qualsiasi punto della rete e muoversi al suo interno in varie direzioni, fino ad incontrare nuove unità informative, a seconda dei cammini percorsi. Sull'insieme dei nodi non è imposta a priori alcuna struttura, perché si definisce automaticamente attraverso le associazioni o relazioni tra i nodi stessi.

Il più esemplare ambiente multimediale è costituito dalla rete World Wide Web (www).

La rete www è un sistema informativo su larga scala, attivato dal CERN (il laboratorio europeo di fisica delle particelle a Ginevra) a partire da Marzo del 1989. L'intento era quello di creare un mezzo ipermediale di ricerca di informazioni su vasta scala che consentisse l'accesso ad un immenso patrimonio di documentazione distribuita. Originariamente dedicato alla comunità dei fisici impegnati in ricerche sulle particelle, questo sistema si è esteso ben presto a diverse aree ed ha attratto l'interesse di molti altri utenti.

Attualmente [www](#) è il più avanzato sistema informativo disponibile su *internet*, ed è orientato ad abbracciare le future tecnologie, incluse nuove reti, protocolli e formati di dati. Tramite *www* si può accedere a documenti, grafici ed immagini, file contenenti suoni, filmati, immagazzinati in una grande varietà di formati. Senza alcun tipo di comunicazione disponibile, questi file dovrebbero essere allocati e riprodotti in parecchi computer, occupando enormi quantità di memoria, mentre con *www* ognuno può accedere a tutti i documenti senza bisogno di tenerne una copia nel proprio computer, usando un sistema che supporta ogni tipo di protocollo disponibile<sup>(15)</sup>.

---

<sup>(15)</sup> I computer possono comunicare tra loro usando vari metodi. Uno di questi è il metodo client-server, adottato per il processo di disseminazione e ricerca delle informazioni su *www*.

Un client è un programma software installato nella macchina dell'utente, che permette l'accesso ai documenti in *www*. Questo programma di solito fornisce un'interfaccia semplice e stimolante per l'utente stesso, consentendogli di effettuare ricerche col semplice tocco di un pulsante.

Un server è invece un programma situato in una macchina remota, che risponde alle richieste provenienti dai client e provvede al servizio. Esistono diversi tipi di server che si attivano a seconda del tipo di informazione (testo, immagine, etc.) che deve essere messa a disposizione. Quando il server reperisce quanto richiesto, trasferisce il documento al client per la sua visualizzazione.

Pertanto, ogni utente che desidera avere accesso alle informazioni, lo deve fare attraverso un client; ogni informazione per essere accessibile deve essere gestita tramite un server. L'intero processo si compie in tempi relativamente brevi (dai secondi ai minuti), anche per collegamenti tra operatori situati agli antipodi del globo terrestre.

- APPENDICE -

GRANDEZZE VETTORIALI NEI SISTEMI DI RIFERIMENTO IN ROTAZIONE

**I° - Vettori di ampiezza costante.** Si consideri il caso di un vettore  $\underline{A}$  di ampiezza costante,  $A$ , che ruota con velocità angolare  $\underline{\Omega}$ . Dalla fig. 6.4 è facile ottenere la relazione<sup>(16)</sup>:

$$\frac{d\underline{A}}{dt} = \underline{\Omega} \wedge \underline{A}.$$

Cioè, un osservatore solidale con il sistema di riferimento in rotazione non osserva variazioni del vettore  $\underline{A}$ , mentre un osservatore solidale con un sistema di riferimento fisso vede lo stesso vettore  $\underline{A}$  cambiare secondo la relazione appena ottenuta. I due punti di vista danno una percezione del moto notevolmente diversa, tuttavia, entrambi gli osservatori rilevano che l'ampiezza del vettore rimane inalterata. Infatti:

$$\frac{d|\underline{A}|^2}{dt} = 2 \underline{A} \times \frac{d\underline{A}}{dt} = 2 \underline{A} \times (\underline{\Omega} \wedge \underline{A}) = 0,$$

l'ultima eguaglianza derivando da una proprietà del prodotto misto fra vettori ( $\underline{A}$  è ortogonale al prodotto  $(\underline{\Omega} \wedge \underline{A})$ ).

**II° - Vettore di ampiezza variabile.** Si consideri un vettore  $\underline{B}$  ed un sistema di riferimento in rotazione con velocità angolare  $\underline{\Omega}$  (v. fig. 6.6). In coordinate cartesiane ortogonali (O,  $\underline{e}_1, \underline{e}_2, \underline{e}_3$ ) il vettore  $\underline{B}$  è dato da:

$$\underline{B} = B^1 \underline{e}_1 + B^2 \underline{e}_2 + B^3 \underline{e}_3.$$

Le variazioni temporali di  $\underline{B}$  viste da un osservatore in rotazione con il sistema di riferimento sono date da:

$$\left( \frac{d\underline{B}}{dt} \right)_R = \frac{dB^1}{dt} \underline{e}_1 + \frac{dB^2}{dt} \underline{e}_2 + \frac{dB^3}{dt} \underline{e}_3$$

perché in tale sistema di assi i versori sono fissi nel tempo sia in direzione che in ampiezza. L'indice  $R$  ricorda che si tratta della derivata vista dall'osservatore in rotazione.

Un osservatore fisso vede variare nel tempo sia le componenti di  $\underline{B}$  che i versori  $\underline{e}_1, \underline{e}_2, \underline{e}_3$ . Contrassegnando con l'indice  $I$  (per *inerziale*) la derivata rispetto a  $t$  fatta dall'osservatore in un sistema di coordinate fisso, è<sup>(17)</sup>:

<sup>(16)</sup> Con riferimento alla fig. 6.5, sia  $\gamma$  l'angolo fra  $\underline{A}$  ed  $\underline{\Omega}$ . In un intervallo di tempo  $\Delta t$  il vettore  $\underline{A}$  sia ruotato di un angolo  $\Delta\theta = \Omega \Delta t$  (dove  $\Omega = d\theta/dt$  indica il modulo di  $\underline{\Omega}$ ). Si vede che la variazione di  $\underline{A}$  è data da:

$$\underline{A}(t + \Delta t) - \underline{A}(t) = \Delta \underline{A} = A \operatorname{sen} \gamma \Delta\theta \underline{n} + \text{infinites. di ordine superiore,}$$

dove  $\underline{n}$  è il versore della direzione di variazione di  $\underline{A}$ , che è perpendicolare ad  $\underline{A}$  (essendo il modulo di  $\underline{A}$  costante) e perpendicolare ad  $\underline{\Omega}$  (per definizione di velocità angolare), cosicchè:

$$\underline{n} = \frac{\underline{\Omega} \wedge \underline{A}}{|\underline{\Omega} \wedge \underline{A}|}$$

e quindi, passando al limite per  $\Delta t \rightarrow 0$ , si ottiene la relazione riportata nel testo.

$$\frac{d\underline{A}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \underline{A}}{\Delta t} = A \frac{d\theta}{dt} \operatorname{sen} \gamma \frac{\underline{\Omega} \wedge \underline{A}}{|\underline{\Omega} \wedge \underline{A}|},$$

ma essendo:

$$|\underline{\Omega} \wedge \underline{A}| = A \frac{d\theta}{dt} \operatorname{sen} \gamma = A \Omega \operatorname{sen} \gamma$$

si ottiene la relazione riportata nel testo.

$$\left(\frac{d\mathbf{B}}{dt}\right)_I = \left(\frac{d\mathbf{B}}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{B}.$$

In altri termini, l'osservatore fisso vede una velocità di variazione di  $\mathbf{B}$  pari a quella percepita dall'osservatore in rotazione aumentata del termine  $\underline{\Omega} \wedge \mathbf{B}$ . È utile notare che entrambi gli osservatori hanno la stessa percezione di variazione nei confronti di  $\underline{\Omega}$  e di tutti i vettori paralleli ad  $\underline{\Omega}$  perchè in tal caso è sempre  $\underline{\Omega} \wedge \mathbf{B} = 0$ .

**III°.** *Casi particolari.* Due casi di rilievo sono quelli relativi al vettore posizione ( $\mathbf{r}$ ) e velocità ( $\mathbf{u} = d\mathbf{r}/dt$ ). Per essi si ha:

$$\left(\frac{d\mathbf{r}}{dt}\right)_I = \left(\frac{d\mathbf{r}}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}$$

cioè:

$$\mathbf{u}_I = \mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}.$$

Il vettore  $\mathbf{u}_R$  esprime la velocità misurata rispetto al sistema di riferimento in rotazione con la Terra e viene indicato semplicemente come *velocità relativa*.

L'accelerazione rispetto ad un sistema inerziale si calcola a partire dalla:

$$\left(\frac{d\mathbf{u}_I}{dt}\right)_I = \left(\frac{d\mathbf{u}_I}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{u}_I$$

esprimendo le grandezze al secondo membro nei termini di quelle percepibili da un osservatore solidale con la Terra. Sostituendo quindi le  $\mathbf{u}_I$  a secondo membro con la loro forma esplicita in  $\mathbf{u}_R$ , si ottiene<sup>(18)</sup>:

$$\left(\frac{d\mathbf{u}_I}{dt}\right)_I = \left(\frac{d\mathbf{u}_R}{dt}\right)_R + 2\underline{\Omega} \wedge \mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \{\underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\}$$

che in termini di accelerazioni ( $\mathbf{a} = d\mathbf{u}/dt$ ) diventa:

$$\mathbf{a}_I = \mathbf{a}_R + \underbrace{2\underline{\Omega} \wedge \mathbf{u}_R}_{\text{Coriolis}} + \underbrace{\underline{\Omega} \wedge \{\underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\}}_{\text{centrifuga}}$$

<sup>(17)</sup> I passaggi sono:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\mathbf{B}}{dt}\right)_I &= \left(\frac{dB^1}{dt} \mathbf{e}_1 + \frac{dB^2}{dt} \mathbf{e}_2 + \frac{dB^3}{dt} \mathbf{e}_3\right) + \left\{B^1 \frac{d\mathbf{e}_1}{dt} + B^2 \frac{d\mathbf{e}_2}{dt} + B^3 \frac{d\mathbf{e}_3}{dt}\right\} = \\ &= \left(\frac{d\mathbf{B}}{dt}\right)_R + \{B^1 [\underline{\Omega} \wedge \mathbf{e}_1] + B^2 [\underline{\Omega} \wedge \mathbf{e}_2] + B^3 [\underline{\Omega} \wedge \mathbf{e}_3]\} = \\ &= \left(\frac{d\mathbf{B}}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \{B^1 \mathbf{e}_1 + B^2 \mathbf{e}_2 + B^3 \mathbf{e}_3\}, \end{aligned}$$

da cui segue la relazione fondamentale riportata nel testo.

<sup>(18)</sup> In dettaglio i passaggi sono i seguenti:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\mathbf{u}_I}{dt}\right)_I &= \left(\frac{d\{\mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\}}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \{\mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\} = \\ &= \left(\frac{d\mathbf{u}_R}{dt}\right)_R + \left(\frac{d\{\underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\}}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \{\underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\} = \\ &= \left(\frac{d\mathbf{u}_R}{dt}\right)_R + \left(\frac{d\underline{\Omega}}{dt}\right)_R \wedge \mathbf{r} + \underline{\Omega} \wedge \left(\frac{d\mathbf{r}}{dt}\right)_R + \underline{\Omega} \wedge \mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \{\underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\} = \\ &= \left(\frac{d\mathbf{u}_R}{dt}\right)_R + \left(\frac{d\underline{\Omega}}{dt}\right)_R \wedge \mathbf{r} + 2\underline{\Omega} \wedge \mathbf{u}_R + \underline{\Omega} \wedge \{\underline{\Omega} \wedge \mathbf{r}\} \end{aligned}$$

ed essendo  $\underline{\Omega}$  costante la sua derivata è nulla e si ottiene la relazione riportata nel testo.

ed esprime come il passaggio da un riferimento inerziale ad uno in rotazione produca il manifestarsi delle accelerazioni fittizie di Coriolis ( $2\boldsymbol{\Omega} \wedge \boldsymbol{u}_R$ ) e centrifuga ( $\boldsymbol{\Omega} \wedge \{\boldsymbol{\Omega} \wedge \boldsymbol{r}\}$ ).