



SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA
ORGANO CARTOGRAFICO DELLO STATO



Regione Emilia-Romagna
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

schema direttore della pericolosità geo-ambientale

*the emilia-romagna masterplan
on geo-environmental hazards*

Giovanni Viel¹, Maria Teresa De Nardo² & Michele Montaguti¹

¹ Studio Geologia Applicata, Via Panoramica 8, 40069 Zola Predosa (BO)

² Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Viale Silvani 4/3, 40122 Bologna

Sintesi delle Note Illustrative
"SCHEMA DIRETTORE DELLA PERICOLOSITÀ GEO-AMBIENTALE"
stampata in occasione del
"4TH EUROPEAN CONGRESS ON REGIONAL GEOSCIENTIFIC CARTOGRAPHY AND INFORMATION SYSTEMS"
Bologna, Italia, 17/20 giugno 2003

Impaginazione e stampa: SYSTEMCART - Roma

Premessa

L'Italia è un paese in cui la probabilità di accadimento di eventi come frane ed alluvioni, per cause naturali, è particolarmente alta. La tumultuosa espansione insediativa e l'industrializzazione delle produzioni alimentari, che ha provocato sia l'abbandono dell'agricoltura montana, sia l'alterazione dell'assetto idraulico delle pianure, hanno trasformato l'alta pericolosità naturale in elevata esposizione ai rischi di dissesto. Le ricorrenti calamità naturali, sottolineate dall'elevato numero di vittime, e dall'entità dei danni provocati, costituiscono anche un significativo fattore di svantaggio nella competizione economica. Il sistema di relazioni commerciali moderno, infatti, richiede livelli crescenti di efficienza e non accetta disfunzioni, anche temporanee alla produzione ed allo spostamento delle merci.

Nel contesto nazionale, l'Emilia-Romagna con i suoi oltre 33.000 dissesti censiti, 130 aree a rischio molto elevato (99 comuni) per frane o alluvioni, rientra nei livelli medio-alti della preoccupante graduatoria nazionale. Per innalzare la soglia della sicurezza, la Regione Emilia-Romagna ha investito molte risorse, anche a livello di conoscenza diffusa sull'intero territorio, la carta geologica in scala 1:10.000 è l'esempio più emblematico, ma non il solo: sono infatti disponibili diverse versioni di cartografie di uso del suolo, stabilità, morfologia foto interpretata, reticolo di drenaggio naturale, e artificiale di pianura, eccetera.

Il 2003 è stato dichiarato dalle Nazioni Unite Anno Internazionale dell'Acqua. Nella realtà regionale, si stanno purtroppo sperimentando situazioni critiche dovute alla scarsità episodica di risorse idriche, al loro inquinamento e deterioramento, agli "effetti collaterali" causati dal loro sovrasfruttamento (subsidenza). A ciò si aggiungono gli eccessi opposti, sotto forma di allagamenti che periodicamente dimostrano la locale inefficienza della rete drenante, in occasione di precipitazioni che sempre più spesso assumono caratteristiche di forte intensità.

Esistono ormai gli strumenti conoscitivi per produrre analisi territoriali di sintesi, un esempio delle quali è fornito in questo Schema Direttore, adatte a promuovere e indirizzare politiche di salvaguardia delle risorse idriche, stimulate anche dalla nuova vitalità della pianificazione del settore acque seguita al decreto legislativo 152/99.

Lo "Schema Direttore" propone l'immagine generale della distribuzione geografica dei problemi geo-ambientali della Regione Emilia-Romagna, derivata dalla sintesi delle conoscenze omogeneamente

acquisite in 20 anni di lavoro dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, dai Servizi Tecnici di Bacino, da ARPA e da altri Servizi regionali.

Questo documento rappresenta, dunque, il quadro di sintesi di tali “conoscenze diffuse”, e restituisce l’immagine del territorio regionale, differenziato in base a categorie di pericolosità diverse per natura e intensità, a volte sovrapposte e tra loro interagenti entro il medesimo ambito geografico (“aree problema”). Si tratta di cartografie finalizzate alla programmazione regionale delle politiche per la sicurezza e la sostenibilità ambientale, delle priorità di studio ed intervento.

La volontà di aprire una nuova stagione di elaborazione di cartografie geo-tematiche trova nello Schema Direttore un preciso riferimento per le priorità geografiche (situazioni di maggior rischio), e tematiche (problemi più urgenti) regionali. La nuova generazione di studi tematici, infatti, sarà rivolta non solo alle cartografie omogeneamente distribuite sull’intero territorio regionale, ma soprattutto ai geotematismi realizzati con metodologie diversificate secondo le specificità di ogni contesto geologico-geografico.

Per fronteggiare la pericolosità geologica territoriale, non mancano leggi, strumenti normativi e di conoscenza idonei (Piani di Bacino, Piani dei Parchi, Piani Territoriali Provinciali, Piani Territoriali Paesistici), ciò che occorre è una maggiore armonizzazione tra conoscenze e soggetti attuatori delle politiche di assetto, e soprattutto monitoraggio dell’efficacia dei piani e degli interventi attuati. Lo Schema Direttore, in questo senso può costituire un valido strumento anche per individuare le situazioni in cui è più urgente iniziare le attività di monitoraggio di efficacia della pianificazione, e delle politiche per la sicurezza regionali.

Marioluigi Bruschini

Assessore alla Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile

Schema Direttore della Pericolosità geo-ambientale

Obiettivo dello Schema Direttore della Pericolosità geologica è fornire, al Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, il quadro di riferimento per la programmazione dei tematismi geo-ambientali di seconda generazione. La proposta di sviluppare carte tematiche non più uniformemente distribuite sull'intera Regione, ma riferite ai problemi ed alle specificità locali, ed elaborate con metodologie idonee alla rilevanza dei bersagli ed alle condizioni fisiografiche locali, era già stata avanzata nel 1994, con la prima bozza di questo stesso documento <Carta del rischio geo-ambientale>. Questa scelta è resa possibile dall'ampia gamma di informazioni distribuite già utilizzabili, ed in particolare per la disponibilità della carta geologica regionale (1:10.000), che costituisce il supporto conoscitivo migliore per uniformità, qualità e ricchezza dell'informazione.

Lo Schema Direttore, così, ha una duplice veste: sinottica delle conoscenze regionali acquisite in questi decenni, e propositiva, sia per lo scenario della pericolosità regionale, sia per alcuni esempi di tematismi specifici proposti a varie scale di risoluzione.

La realizzazione dell'intero progetto come GIS, fondato su banche dati in gran parte preesistenti, consente di effettuare confronti statistici per unità amministrative o per bacini idrografici, e di controllare, per ogni situazione censita, le basi di conoscenza delle valutazioni di vulnerabilità, pericolosità e rischio. La distribuzione regionale delle pericolosità e dell'intensità relativa, fornisce immediatamente un primo inventario delle priorità, dei settori e dei luoghi in cui sviluppare una conoscenza più approfondita, azioni di tutela, interventi di riassetto e monitoraggio. Così, questo quadro sinottico restituisce anche un primo schematico panorama delle politiche regionali in atto a cui dare priorità di attuazione locale, o da perseguire con diversa forza, oppure delle nuove politiche da intraprendere, per conservare un buon grado di "efficienza" territoriale, ed ottenere un costante incremento della sicurezza.

La cartografia relativa all'intera regione, stampata in scala 1:250.000 è organizzata graficamente in due tavole riferite, la prima all'insieme delle pericolosità geologiche ed idrauliche (tavola 1), la seconda specificamente dedicata al tema delle acque sotterranee (tavola 2) ed in particolare alla stima del rischio di inquinamento potenziale (indicato come ri-

schio idrogeologico). Poiché una parte della basi-dati utilizzate offre comunque un livello di definizione piuttosto alto, per alcuni dei tematismi che compongono la sintesi regionale lo “Schema” è in grado di fornire restituzioni funzionali ad una consultazione relativamente all’ambito provinciale.

Inoltre, alle rappresentazioni di sintesi in ambito regionale, si è scelto di affiancare carte di approfondimento (“finestre”) a scala di maggiore dettaglio, che sviluppino nuovi tematismi individuati in relazione a particolari aspetti geo-ambientali di aree specificamente scelte.

Tavola 1

La valutazione della pericolosità e le delimitazioni delle aree sono fondate direttamente sulla ripetitività o sull’intensità dei processi, accertata o potenziale, desumibile direttamente dalle banche dati disponibili, o indirettamente da elaborazioni statistiche, oppure, infine, da considerazioni qualitative. In alcuni casi (poli estrattivi, cave attive censite, invasi idrici classificati) non è stato possibile delimitare le aree di potenziale influenza e sono state riportate le informazioni di base in modo puntuale; altre volte si sono tracciati dei limiti assolutamente indicativi (sismicità riferita ai comuni classificati, concentrazioni urbane). Di seguito sono descritte le categorie rappresentate, facendo riferimento all’impostazione generale della legenda.

Suolo (degrado per asportazione)

Per discernere le forme di intensa degradazione del suolo ed il loro grado di attività si sono confrontati tre documenti estesi all’intera regione: la carta del dissesto (1:25.000), derivata da interpretazione di foto aeree (1976 - 1978); l’uso del suolo (1:25.000) nella versione redatta nel 1976; l’uso del suolo (1:25.000) nella versione elaborata nel 1994. I risultati del confronto hanno consentito di distinguere i calanchi o loro porzioni che, nell’intervallo temporale considerato (1976 - 1994), sono stati ben colonizzati dalla vegetazione, dai calanchi ancora in evoluzione o scarsamente colonizzati.

Come primo risultato della tendenza evolutiva osservata in questo arco di tempo, l’estensione delle aree di affioramento appare regredita del 20% circa, come dimostrano le numerose zone di colonizzazione vegetale riscontrate.

Instabilità dei versanti

Base per l'analisi è stato l'inventario del dissesto regionale (Carta Inventario del Dissesto dell'Appennino emiliano-romagnolo a scala 1:25.000, ediz. 1996). Questo è stato integrato dagli archivi e banche dati delle Autorità di Bacino del Reno, del Fiume Po, dei Fiumi Romagnoli, e dei Servizi Tecnici di Bacino. L'intero archivio così controllato ed arricchito, è stato oggetto di una revisione, non solamente cartografica, in particolare rivolta alla classificazione dei movimenti di gravità, utilizzando criteri e nomenclatura (nell'originale inglese) proposti da D. M. CRUDEN e D. J. VARNES (1996). La tabella sintetizza i risultati ottenuti, le lacune e le incertezze ancora presenti nella sistematica dei movimenti di gravità regionali.

Tipo di Movimento	Stato del Movimento	Numero frane	Sup. in dissesto kmq	% Num.	% Sup.
SLIDE/FLOW	Attivi e dormienti	32.593	1.957,9	96,1	89,4
	Abbandonati e relitti	198	117,3	0,6	5,4
	Stabilizzati	61	7,0	0,2	0,3
SPREAD	Attivi e dormienti	6	4,7	0,0	0,2
	Abbandonati e relitti	24	15,9	0,1	0,7
	Stabilizzati	-	-	-	-
SCIV_BLOCCO	Sconosciuto - incerto	421	54,0	1,2	2,5
CROLLI	Attivi e dormienti	603	33,6	1,8	1,5
	Abbandonati e relitti	-	-	-	-
	Stabilizzati	5	0,0	0,0	0,0
TOTALE		33.911	2.190,4	100,0	100,0

Nell'analisi della propensione al dissesto non si sono considerate: le frane relitte, abbandonate e stabilizzate; i movimenti denominati "scivolamenti in blocco" nella Carta Inventario del Dissesto regionale, in tutti i casi in cui le informazioni ed i dati raccolti non ne consentivano una classificazione alternativa. Nell'inventario regionale, i poligoni classificati "frane di crollo" delimitano unitariamente, utilizzando criteri esclusivamente morfologici, sia la zona di possibile distacco e transito, sia l'area di probabile arrivo, senza distinzioni, anche la pericolosità non è quindi differenziata.

La propensione dei versanti al dissesto è stata valutata in relazione alle probabilità di *riattivazione* di movimenti di gravità con piano di scorrimento profondo, ed in termini di *nuova attivazione* di frane che interessino al più lo strato alterato.

Al fine di separare, nell'ambito di *slide* e *flow* attivi o dormienti, i movimenti profondi da quelli superficiali con ragionevole approssimazione, si è utilizzato un criterio dimensionale in relazione alle caratteristiche delle unità geologiche in cui le frane si sono sviluppate, avendo però cura di considerare solamente i movimenti interamente contenuti in una sola litologia (utilizzata una carta litologica di discreta definizione: 37 categorie). Si sono così selezionate circa 23.900 *slide* e *flow* superficiali, che hanno costituito il campione per le successive analisi statistiche.

La pericolosità per riattivazione di scivolamenti (*slide*) e colate (*flow*) considerate profonde (poco più di 7.700 nell'intera regione) è stata valutata considerando la superficie del dissesto, e la probabilità di accadimento in termini di tempi di ritorno (se comprovata da riattivazioni conclamate) o stimata dai Servizi tecnici competenti a seguito di analisi strumentali o di rilevamento diretto; infine sono state assunte le frane classificate in base alla legge 267/98. In tutti i casi in cui non sia stato possibile risalire ad informazioni specifiche sulla probabilità di accadimento, la pericolosità non è stata valutata.

La pericolosità di dissesto per nuova attivazione di *slide* e *flow* superficiali è stata stimata in base alla correlazione tra distribuzione delle frane rispetto all'uso del suolo, alla litologia, alla morfologia ed acclività. Il tentativo di trovare correlazioni con le generali condizioni climatiche regionali non ha fornito risultati apprezzabili, con probabilità a causa della scala troppo sintetica delle informazioni meteorologiche.

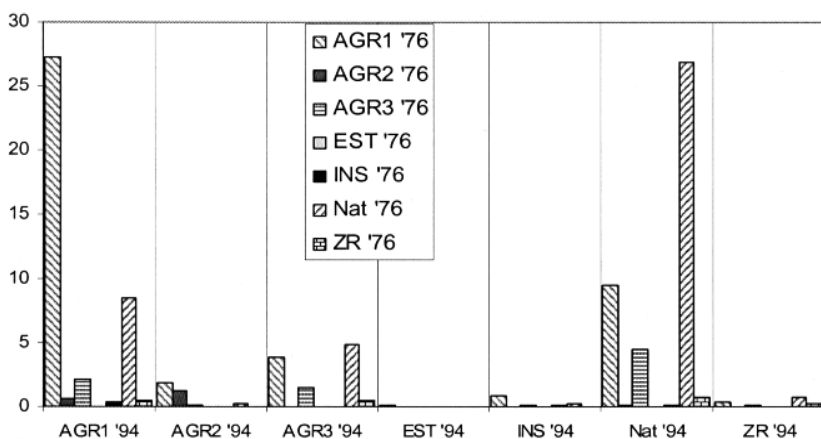
L'intervallo temporale in cui sono stati riconosciuti i movimenti di gravità con l'interpretazione di foto aeree (1976- 1978) e con il rilevamento di terreno delle carte geologiche 1:10.000 (1980 – 1996), è circa coincidente con l'intervallo temporale che separa la pubblicazione delle due carte dell'uso reale del suolo realizzate dalla Regione Emilia Romagna (edizioni del 1976 e del 1994), con la medesima legenda e con la medesima scala di acquisizione del dato (1:25.000). Ciò ha consentito di effettuare il confronto tra accadimenti delle frane e usi reali del suolo in un intervallo temporale congruo alle trasformazioni d'uso, per un campione territoriale statisticamente significativo (oltre 10.000 kmq), così da poter misurare l'influenza della attività umane sulla condizioni di stabilità dei versanti.

La confrontabilità tra i due strati di uso del suolo (banche dati 1976 e 1994) è condizionata da due fatti: l'uso del suolo del 1976 è stato acquisito su base topografica IGMI, mentre quello del 1994 su base CTR; la versione 1976 è disponibile, in formato numerico, solamente con legenda e

poligoni semplificati per la scala 1:100.000. Queste limitazioni hanno prodotto errori di sovrapposizione tra i due strati, discussi brevemente nel seguito.

L'evoluzione dell'uso reale del suolo, per un intervallo temporale di circa 20 anni, ha consentito di distinguere con sicurezza le aree in cui ogni singola categoria d'uso del suolo si è conservata (*permanenza*), da quelle in cui categorie d'uso agricole si sono *trasformate*, sono state *riutilizzate* oppure sono state *convertite*. L'enorme quantità di poligoni di intersezione, spesso di dimensioni troppo modeste, ha costretto ad operare una semplificazione delle categorie d'uso, finalizzandole maggiormente agli scopi dell'indagine. Così la legenda originaria (oltre 30 categorie) è stata accorpata nei seguenti generi:

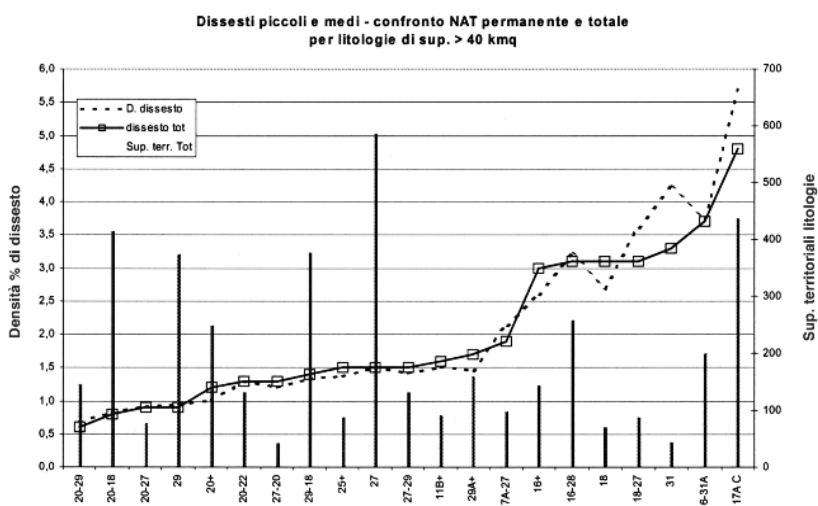
- “INS” = categorie d'uso collegate all'insediamento;
- “EST” = categorie d'uso riferite al settore estrattivo;
- “ZR” = rocce nude, affioramenti;
- “NAT” = categorie riconducibili alla naturalità (boschi, praterie e brughiere di vetta e crinale, e per le quote superiori agli 800 metri anche i prati pascoli e cespuglieti);
- “AGR1”= categorie d'uso in cui prevalgono arativi e lavorazioni agricole annuali;
- “AGR2”= categorie d'uso che prevedono coltivazioni frutticole e arboree;
- “AGR3”= aree a precedente destinazione agricola, abbandonate ed incolte da unnumero imprecisato di anni, entro l'intervallo temporale considerato.



Il precedente grafico riporta in sintesi il risultato del confronto degli usi del suolo, effettuato su oltre 10.400 kmq di superficie collinare e montana, e rappresentati in termini di percentuale dell'area di studio. Come si vede le aree **permanenti** rappresentano circa il 58 % dell'intero territorio regionale, in particolare AGR1 (2.865 kmq) e NAT (2.833 kmq) costituiscono le classi più rappresentate. AGR3 si è dimostrata, come ovvio, la classe meno permanente e la più spostata verso le conversioni (da AGR3 nel '76 verso NAT nel '94 con 478 kmq) o verso la nuova utilizzazione (da AGR3 nel '76 verso nuovo AGR1 nel '94 con 229 kmq). La classe AGR2 ha un'estensione modesta e molto frammentata, la permanenza è di 130 kmq e consente appena il suo impiego per elaborazioni statistiche.

Il confronto tra le due banche dati dell'uso del suolo ha messo in luce anche alcuni errori di sovrapposizione dovuti alle approssimazioni reciproche dei documenti. L'errore valutato in $\pm 2,3\%$ medio per la regione, ha entità variabile in funzione della frammentazione (piccole dimensioni dei singoli poligoni) della famiglia considerata nel calcolo (per frammentazioni alte, si supera $\pm 4\%$, per i poligoni grandi l'errore è attorno a $\pm 1,4\%$). Questo errore, alto in termini assoluti, appare comunque modesto per le considerazioni statistiche effettuate, essenzialmente riferite alle classi AGR1, AGR3 e NAT che costituiscono da sole oltre 80 % del territorio regionale e sono in media formate da poligoni di dimensioni relativamente grandi.

Nella popolazione di frane considerate (23.900 slide e flow superficiali), sono state separate quelle interamente contenute in ognuna delle 37 classi della carta litologica (16.629, circa il 70% del totale), queste ultime

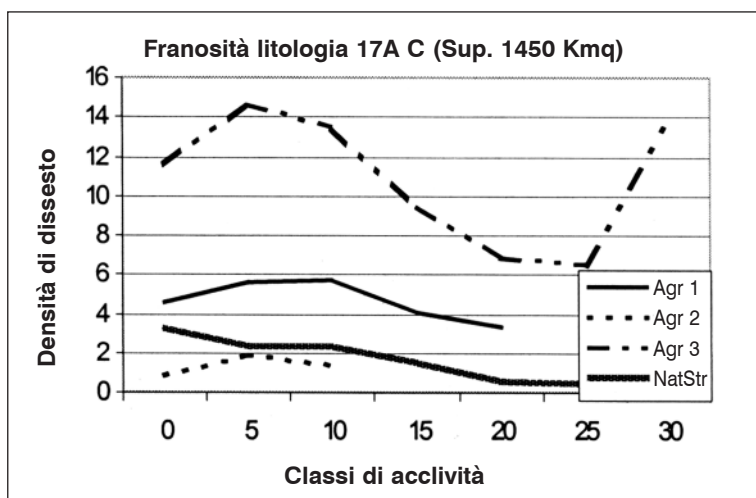


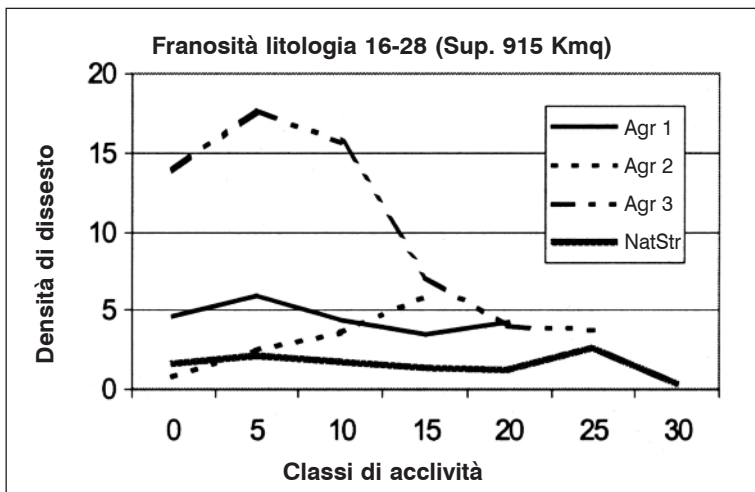
sono state incrociate con le aree di permanenza d'uso di NAT. Questa intersezione ha fornito un **indice significativo per la definizione della franosità media per litologia**. Si è cioè ricavato il rapporto superficie dissestata / superficie litologica (franosità), per ogni litologia dotata di superficie statisticamente significativa, (maggiore di 35 kmq se scomposta in poligoni di modesta estensione, maggiore di 20 kmq se rappresentata da poligoni relativamente compatti), indicate con sigle nel grafico sovrastante. Questa franosità può essere considerata come il **valore "soglia" del dissesto naturale** per ogni litologia, nelle condizioni climatiche date; in questo lavoro è stata assunta per determinare le classi di pericolosità bassa e/o media per ogni litologia considerata. Per le litologie scarsamente rappresentate (9 classi) si sono utilizzati i valori ottenuti per le unità dotate di comportamenti simili.

Infine, utilizzando il modello digitale del terreno disponibile, anche se assai poco definito (1 punto ogni 100 metri), si sono formate ampie classi di acclività da intersecare con i dati precedenti, ottenendo così classi di franosità differenziate anche per classe clivometrica, per le litologie più rappresentate ed estese dell'Appennino emiliano-romagnolo.

I risultati ottenuti dimostrano:

- l'esistenza di un considerevole intervallo di variazione della franosità superficiale in condizioni naturali ($1,5 \div 4,5$ kmq/100 kmq) tra le unità prevalentemente arenacee, calcareo marnose e quelle in prevalenza argillose, marnoso pelitiche;
- l'esistenza di una significativa correlazione tra dissesto superficiale e usi agricoli del suolo per tutte le litologie. La franosità in AGR1 è risul-





tata da 1,5 a 3 volte superiore di quella ottenuta in NAT, secondo la litologia considerata; la franosità in AGR3 è risultata da 3 a 7 volte superiore, rispetto a NAT, comunque quasi in ogni litologia superiore anche a quella ottenuta in AGR1. La franosità per AGR2, comunque modesta, presenta un andamento molto differenziato secondo le litologie, in alcuni casi è inferiore anche a quella riscontrata in NAT.

I grafici sovrastanti esemplificano la distribuzione della densità di dissesto delle frane superficiali interamente contenute nella litologia, per grande categoria d'uso dei suoli e per classe di acclività (gradi). Le due litologie sono state scelte tra le più rappresentate: successioni caotiche con prevalenti argille -indicate con la sigla 17AC-; successioni argilloso pelitiche - indicate con la sigla 16-28. I valori di dissesto negli usi "naturali" in questi grafici sono stati depurati dalle superfici relative agli attraversamenti stradali e dai relativi movimenti franosi. Infine anche i calcoli relativi alla permanenza di NAT per superfici comunque prive di boschi (pascoli, brughiere di quota, ecc.), ripropongono risultati analoghi nei casi di poligoni relativamente compatti e grandi.

Nella tavola 1 è ricavata una "finestra" che riporta uno stralcio di carta della pericolosità e rischio di versante in scala 1:10.000 eseguita per un settore dell'Appennino bolognese. Questa carta stima solamente la pericolosità di riattivazione, e valuta il rischio per gli insediamenti, sono trascurati suolo e vegetazione. L'esempio mostra un tipo di cartografia applicata alla pianificazione comunale, che si fonda sull'analisi dei danni subiti e documentati (edifici e viabilità lesionati), e sulla valutazione della

pericolosità dei movimenti di massa ricavata dal prodotto della magnitudo degli eventi (massa per velocità), ricavata da estrapolazioni su base geologica di frane note (per le quali erano disponibili dati derivati da geognostica e/o esiti di monitoraggi strumentali), per le probabilità di accadimento, desunte dalla ricorrenza degli eventi e dalle serie di dati pluviometrici storici, estrapolati dalle piene del Tevere.

Allagamenti

L'accurata raccolta di informazioni anche storiche (dal 1945 al 1996) resa disponibile dal Servizio di Protezione Civile regionale, ha consentito di disporre di accurate delimitazioni delle aree di pianura allagate in un intervallo di 50 anni. La sovrapposizione delle informazioni ha permesso di individuare la aree in cui gli allagamenti si sono ripetuti nel tempo, il numero degli eventi reiterati è stato utilizzato direttamente per stimare la probabilità di accadimento e quindi la pericolosità.

L'incrocio con il reticolo di drenaggio naturale ed artificiale fornisce anche la possibilità di verificare immediatamente i tratti di reticolo interessati dagli eventi.

Subsidenza e suoi effetti

L'abbassamento naturale del suolo deriva da cause geo-strutturali e diagenetiche (es. consolidamento di sedimenti recanti livelli torbosi, la cui distribuzione è evidenziata in carta). Il cedimento per consolidazione viene enormemente accelerato ed amplificato dal prelievo di fluidi dal sottosuolo, a causa dell'aumento delle pressioni effettive che la depressurizzazione degli strati porosi induce sui sedimenti più superficiali a tessitura fine. Il caso più frequente e diffuso è l'estrazione di acqua per soddisfare il fabbisogno delle grandi concentrazioni urbane.

Nell'area della pianura, si è scelto di rappresentare l'abbassamento del suolo in termini cumulativi, per grandi comparti territoriali, secondo intervalli temporali omogenei di rilevamento dei capisaldi storici, ottenuti da bibliografia. Queste modalità di rappresentazione forniscono l'ordine di grandezza dell'abbassamento noto, e consentono di avere una valutazione immediata dell'impatto rispetto ai sistemi scolanti superficiali e sotterranei locali, ed inoltre permettono di assumere i dati ricavati dalle reti di rilevamento locali. Il confronto tra gli esiti così ottenuti e la più aggiornata rap-

presentazione della subsidenza regionale in termini di velocità (Carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo nel periodo 1970-93-1999, ARPA Ingegneria Ambientale), mostra alcune discrepanze, imputabili al differente modo di restituzione delle medesime informazioni.

La sovrapposizione delle isolinee di eguale abbassamento cumulativo del suolo, al reticolo scolante artificiale e naturale (a cui è associata la relativa banca dati e la definizione delle opere idrauliche presenti) consente di delimitare le aree in cui la subsidenza può provocare effetti negativi maggiori. Il medesimo procedimento riferito alla linea di costa ed alle relative opere permette di individuare o confermare le zone in cui maggiori sono gli effetti negativi della subsidenza sulla conservazione morfologica della linea di spiaggia, e, naturalmente, sui processi erosivi (con riferimento ai dati, aggiornati al 2000, forniti da ARPA).

Concentrazioni urbane

La grandi città rappresentano contemporaneamente centri di pericolo per le risorse naturali e bersagli per i processi geologici. La delimitazione delle aree di influenza territoriale delle concentrazioni urbane richiede una conoscenza multidisciplinare molto integrata e dettagliata. La configurazione, l'ampiezza e lo "spessore" del territorio interessato varia, non solo in funzione del settore di studio considerato (suolo, acqua, sottosuolo), ma anche in rapporto alle intersezioni funzionali tra diversi settori. Il "peso" dell'influenza urbana sulle risorse deve essere valutato anche in relazione alle necessità dei centri urbani minori, ed è variabile nel tempo.

I settori di fabbisogno considerati sono stati: spostamento di grandi quantità di acqua superficiale, i prelievi di acque sotterranee, sabbie e ghiaie indispensabili per l'edilizia ed infrastrutture, i materie prime litiche locali necessarie per i sistemi produttivi locali.

In molti casi l'integrazione nello sfruttamento delle risorse naturali, tra più Comuni anche geograficamente distanti, non ha consentito una stima della reale influenza determinata solamente dalle zone ad insediamento denso, su una o più risorse. Così le delimitazioni riportate nella tavola rappresentano l'inviluppo delle aree di influenza più significative, che "mediamente" i fabbisogni delle aree ad insediamento più compatto determinano sul sistema geo-ambientale. Esempio ne sono, per il fabbisogno idrico il riminese ed il bolognese. Qui, la mancata coincidenza tra la superficie di influenza indicata e quella effettivamente interessata,

ad esempio dalla subsidenza e/o quella degli invasi artificiali utilizzati per i consumi urbani, è dettata dall'ampiezza dei reali bacini di utenza che spesso interessa territori molto ampi ed articolati. In particolare la presenza di serbatoi artificiali, con derivazioni da altri corsi d'acqua, e sistema distributivo diffuso costringe a comprendere nella delimitazione interi bacini idrografici, per influenze indirette la cui entità è di difficile stima.

La variabilità settoriale della geometria delle aree di influenza geo-ambientale dei grandi centri urbani, la difficoltà nel misurare o valutare la reale portata nel tempo dell'intensità delle modificazioni indotte, non consente di indicare una perimetrazione certa. Nella cartografia presentata si è tentata l'interpolazione tra stime per lo più solamente qualitative, per indicare solo l'esistenza di una problematica geoambientale complessa che deve essere affrontata con strumenti interdisciplinari, senza nessuna considerazione per i "confini" amministrativi, con un approccio sistemico.

Nella tavola 1 è riportata (in scala 1.50.000) una carta tematica per il Comune di Forlì, che propone un approccio di studio della pericolosità e rischio idrogeologico per le aree urbane. Nell'area ad insediamento denso si propone: di calcolare la vulnerabilità in termini di tempo di attraversamento dell'intervallo insaturo che separa le quote di incastro della rete di fognatura dalla falda più superficiale; di valutare la pericolosità incrociando la probabilità di fuoriuscita di liquami, in termini di qualità dei collettori (vetustà, materiali, geometria, portate a regime medio), con la stima della quantità e qualità dei fluidi che transitano nel ramo di rete (in termini di Abitanti Equivalenti, metalli pesanti); di ottenere il rischio incrociando i parametri precedenti con una valutazione del valore della falda ottenuto dalla distribuzione delle trasmissività.

Tavola 2

È dedicata al tema delle acque sotterranee, essendovi rappresentate le aree a cui applicare politiche ambientali, opportunamente graduate, per la tutela di queste risorse.

Nella sintesi a scala 1:250.000 è rappresentata una zonizzazione relativa ai diversi livelli di rischio potenziale di inquinamento (indicato per brevità come rischio idrogeologico), ottenuto come prodotto della combinazione tra i diversi gradi di vulnerabilità all'inquinamento e di pericolosità, quest'ultima ricavata da una stima qualitativa dei potenziali

effetti negativi sull'integrità delle risorse idriche sotterranee (RIS) legati alle varie categorie di uso del suolo. Questo metodo è stato applicato in modo differenziato tra montagna e pianura, essendo per quest'ultima disponibili dati utili pregressi in quantità enormemente superiore.

Settore dell'Appennino emiliano-romagnolo

In mancanza di elaborazioni pregresse a scala regionale, è stato innanzitutto necessario individuare le aree dove le RIS fossero localizzate in preferenza, ovvero le aree sede dei principali acquiferi dell'Appennino emiliano-romagnolo ("rocce-magazzino"). Si è quindi proceduto ad acquisire e informatizzare speditivamente, quanti più dati possibili sulle sorgenti più importanti (per un totale di più di un migliaio di segnalazioni), utilizzando i seguenti archivi:

- sorgenti captate, per cui è stato concesso il permesso di derivazione (ai sensi del Testo Unico sulle acque ed impianti elettrici dell'11-12-1933 n° 1775) per uso idropotabile, agricolo e zootecnico; le segnalazioni da interventi di "somma urgenza" eseguiti sulla rete acquedottistica. Le pratiche relative sono depositate presso i Servizi Tecnici di Bacino.
- sorgenti classificate come minerali e termali, oggetto di concessione mineraria, secondo le informazioni presenti presso il Servizio Programmazione Difesa del Suolo di Bologna, anteriormente alla delega attribuita alle Province dalla L.R. 3/99.
- basi-dati informatizzate, utilizzate per le analisi territoriali a corredo dei Piani Territoriali Provinciali di Coordinamento (PTCP) ove disponibili, queste ultime ottenute anche attraverso il contributo delle Aziende titolari della gestione dei principali acquedotti montani.

A complemento di tali informazioni, sono state utilizzate le segnalazioni derivate dalla Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, dalla Carta Tecnica Regionale a scala 1:25.000, dalle carte geologiche a scala 1:25.000 preparatorie ai fogli CARG 1: 50.000, dall'Atlante dei Centri Abitati Instabili dell'Emilia-Romagna e dalla Carta Escursionistica dell'Appennino emiliano-romagnolo a scala 1:50.000.

I dati raccolti hanno il pregio di essere relativi all'intero territorio montuoso regionale, sufficientemente omogenei in relazione allo scopo della ricerca: ottenere un inquadramento **generale e regionale** degli acquiferi di montagna, restituito ad una scala a grande denominatore.

Essi formeranno il nucleo di una futura banca-dati regionale, **la cui creazione e implementazione, in collegamento con Servizi e Aziende a vario titolo competenti, costituisce il primo degli indirizzi forniti dallo “Schema Direttore”, per la tutela idrogeologica dell’Appennino emiliano-romagnolo.**

La distribuzione delle sorgenti è stata quindi confrontata con la geologia, derivata dalla Carta Litologica informatizzata, a scala 1:25.000 e verificata sulla base della recente cartografia prodotta per Progetto CARG, quest’ultima in corso di digitalizzazione. Localmente (in aree con meno dati) la zonizzazione è stata completata applicando criteri morfologici analoghi a quelli applicati per ottenere la “carta delle possibili aree di alimentazione delle sorgenti”, che correda il PTCP di Modena.

Geologia delle “rocce magazzino”

Queste aree interessate da significative concentrazioni di sorgenti sono sede dei complessi idrogeologici maggiormente permeabili e delle risorse (da tutelare) da cui principalmente dipende l’approvvigionamento idrico locale. Sono stati individuati 177 poligoni, per un’estensione complessiva di 4324.65 Km², equivalente a circa il 40% del territorio montano regionale. Corrispondono a unità geologiche, sede di acquiferi in roccia e coperture detritiche di versante, frequentemente in comunicazione; sono classificabili innanzitutto secondo un criterio geologico. Per quanto riguarda la geologia, approssimando la composizione di ciascun poligono a quella delle unità in esso arealmente prevalenti, è possibile procedere ad accorpamenti che non vogliono essere solo legati ad affinità litologiche, ma anche alla possibilità di rinvenire (entro ciascuna classe) situazioni idrogeologiche simili (definizione in Civita, “Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all’inquinamento”, 1994), legate a caratteristiche stratigrafico-strutturali peculiari. Sono stati individuati 11 raggruppamenti:

- **Flysch liguri e subliguri:** alternanze di marne calcaree e peliti, areniti e peliti, in sequenze tettonizzate; le sorgenti si rinvenivano presso il limite inferiore di singole placche (bordato da coperture detritiche) o in corrispondenza di porzioni particolarmente deformate di queste, in alcuni casi coincidenti anche con corpi di frana da scivolamento in massa.
- **Corpi ofiolitici:** ospitano reti acquifere nelle fratture e nelle coperture detritiche grossolane che li bordano. Possibilità di restituzione di acque con chimismo particolare.

- **Associazione** di flysch liguri, subliguri, corpi ofiolitici e/o unità arenacee di derivazione ofiolitica, presenti quando non differenziabili a scala 1:250.000
- **Formazione marnoso-arenacea e coperture detritiche:** sequenze di alternanze di areniti e peliti, in rapporto variabile; la localizzazione di sorgenti appare condizionata soprattutto dalla presenza di thrusts e faglie trasversali disgiuntive; presenti corpi di frana con funzioni di serbatoio di modesta entità.
- **Formazione Marnoso-arenacea (facies pelitiche “esterne”), Formazione a Colombacci,** alternanze areniti/peliti plioceniche: unità differenziate essenzialmente in relazione alla diminuzione della densità di sorgenti che si osserva per confronto con la precedente.
- Unità torbiditiche oligo-mioceniche del Dominio Toscano (per semplicità “**flysch toscani**”) localmente accompagnati da depositi morenici: sequenze di alternanze areniti/peliti; le sorgenti sono localizzate in prevalenza presso il margine inferiore di placche (per soglia di permeabilità) o presso i bordi di finestra tettoniche.
- Unità arenacee afferenti al **Gruppo di Bismantova e unità litologicamente affini:** areniti prevalenti, che costituiscono placche, spesso modellate in ampie sinclinali e/o localmente fratturate, in contatto inferiore con unità poco permeabili. Ai loro bordi sono localmente presenti porzioni disarticolate, particolarmente permeabili per fratturazione, interessate anche da frane di scivolamento in massa.
- **Formazione di Ranzano, Loiano, membro di Anconella della Fm. di Antognola** (solo in presenza dei massimi spessori): si osserva una maggiore densità di sorgenti in corrispondenza delle facies più grossolane e grossolanamente stratificate di queste unità.
- **Corpi arenaceo-conglomeratici entro unità pelitiche:** a geometria lenticolare, costituiscono intercalazioni entro le “Argille Azzurre” plio-pleistoceniche; possono presentare sorgenti di acque solforose.
- **Gessi trassici e messiniani,** interessati da circolazione accompagnata da dissoluzione. Possono alimentare (in presenza di grandi volumi e reti acquifere sviluppate) anche sorgenti con portata notevolmente elevata (dell'ordine di alcune decine di litri al secondo). L'entità della concentrazione di solfati può creare problemi per l'utilizzo idropotabile.
- **Unità prevalentemente argillitiche, tettonizzate:** ospitano, molto raramente e localmente, reti acquifere per volumi assai modesti, entro unità comunemente classificate come poco permeabili.

A scala regionale, la classe arealmente più diffusa (per un'estensione

complessiva di 1410 kmq circa) e quella che comprende i flysch liguri e subliguri, in virtù anche della loro ubiquità entro le province emiliane; è seguita con notevole distacco dalla Formazione Marnoso-arenacea (825,52 Km²), dai “flysch toscani” (658,15 Km²), dal Gruppo di Bismantova (581,13 Km²) e dall’associazione flysch liguri, subliguri-ofioliti (436,42 Km²). Le rimanenti classi, rappresentano situazioni idrogeologiche arealmente assai meno diffuse e talora con caratteristiche veramente peculiari, come quelle associate ai corpi ofiolitici e alle evaporiti.

Gli altri criteri di classificazione applicati nello “Schema Direttore” per la parte idrogeologica sono basati sui concetti di vulnerabilità, pericolosità e rischio potenziale di inquinamento, di seguito illustrati.

Vulnerabilità intrinseca

Per l’Appennino emiliano-romagnolo, è stata qualitativamente stimata la vulnerabilità intrinseca (VI) delle situazioni idrogeologiche individuate, utilizzando il metodo-base CNR-GNDCI (1988).

Dalla valutazione della VI risultano quindi escluse le aree che ricadono al di fuori delle “rocce magazzino” cartografate.

I gradi stimati vanno da una VI elevata (attribuita alle evaporiti) a una bassa (unità pelitico-argillitiche, con poche sorgenti). In particolare, la classe con VI bassa rappresenta una percentuale trascurabile sul totale della superficie classificata (2% scarso) e le aree non studiate (perché esterne alle “rocce magazzino” cartografate) hanno quindi VI bassissima. Come risultato di questa esperienza, si è osservato che l’applicazione del metodo-base CNR-GNDCI conduca alla proliferazione delle classi con VI contenenti il grado “medio”, appiattendosi inevitabilmente l’esito della classificazione. Una maggiore oggettività potrà essere ottenuta solo lavorando per settori, a scale con denominatore inferiore, suddividendo opportunamente le singole “rocce-magazzino” in base a caratteristiche e strutture.

Per la pianura, in base all’approssimazione consentita dalla scala a grande denominatore, la vulnerabilità intrinseca è stata ottenuta su base compilativa, facendo riferimento alle cartografie degli “Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi”, pubblicate a partire dall’inizio degli anni ‘90 dal CNR-GNDCI. I dati bibliografici sono stati opportunamente con-

frontati con le informazioni derivanti dalla “Carta geologica di pianura dell’Emilia-Romagna” a scala 1:250.000 (Regione Emilia-Romagna, 1999, a cura di D. PRETI) in merito alla litologia di superficie.

Rischio potenziale di inquinamento

Nella sintesi a scala 1:250.000 è stata sperimentata l’applicazione di un metodo che consenta di giungere, **in modo speditivo e utilizzando informazioni omogeneamente distribuite sul territorio**, ad una zonizzazione di rischio. Mutuando i concetti applicati per la valutazione di rischi geologici di altro genere, qui si intende come “elemento a rischio” l’integrità delle risorse idriche sotterranee di primaria importanza (già usate per il consumo umano e di riserva). Si ottiene così che il rischio (idrogeologico) è espressione di una **pericolosità**, intesa come stima della potenzialità relativa di produrre inquinamento associata alle varie categorie di uso del suolo, **vulnerabilità, valore e grado di esposizione della risorsa all’inquinamento**. Nell’approssimazione dello “Schema Direttore”, lavorando con metodi non parametrici e applicando tecniche GIS, è possibile mettere a frutto le informazioni rese disponibili dalla cartografia tematica regionale e quelle ottenute dalle elaborazioni sin qui descritte, per ottenere i termini dell’equazione del rischio idrogeologico.

Si è proceduto secondo i seguenti punti:

- **per le “rocce magazzino” dell’Appennino emiliano-romagnolo** si è valutata la pericolosità attraverso la stima delle potenzialità di inquinamento delle acque sotterranee, legate a studiati raggruppamenti delle categorie differenziate nelle carte dell’uso reale del suolo. La stima della pericolosità è stata riferita all’evoluzione dell’uso reale del suolo, per confronto tra lo stato rappresentato nell’edizione del 1994 e quello dell’edizione del 1976, utilizzando gli stessi raggruppamenti predisposti per la valutazione della propensione al dissesto. I gradi stimati sono presentati nella tabella.

Per le “rocce-magazzino” si è tentata anche una stima per approssimazione del valore delle risorse, ottenuta considerando numero e densità delle sorgenti censite entro ciascun poligono. Questo parametro è stato utilizzato per integrare la classificazione effettuata sulla base della sola vulnerabilità intrinseca. La zonizzazione di vulnerabilità così ottenuta è stata sintetizzata in una delle carte schematiche che completano la tavola 2 dello “Schema Direttore”.

<i>Pericolosità</i>	<i>Condizioni</i>
Elevata (E)	Insedimenti
Alta (A)	Aree AGR1 e AGR2 del 1994 Aree AGR3 del 1994 in massima parte (per oltre il 50% della superficie) derivanti da trasformazione da AGR1 e AGR2 del 1976
Media (M)	Aree AGR3 permanenti o in minima parte (meno del 50% della superficie) derivanti da trasformazione da AGR1 e AGR2 del 1976 Aree NAT del 1994 derivanti in massima parte (oltre il 50% della superficie) da trasformazione da AGR1, AGR2 e AGR3 del 1976
Bassa (B)	Aree NAT del 1994 permanenti o derivanti in minima parte (meno del 50% della superficie) da trasformazione da AGR1, AGR2 e AGR3 del 1976

Questo criterio, al termine della costruzione-implementazione della banca dati sulle sorgenti, potrà essere affinato, per sostituzione con grandezze che siano funzione (ad esempio) della portata media complessiva (naturale/derivata) delle scaturigini e del loro regime, del numero di utilizzatori, della qualità delle RIS. Le classi di VI attribuite sono state quindi incrociate con le classi attribuite ai valori ottenuti, ricavando una vulnerabilità contenente anche una stima del valore delle RIS.

- **In pianura**, è stata applicato un metodo speditivo, derivando la pericolosità direttamente dall'uso del suolo ediz. 1994, in quanto più che l'evoluzione di questo negli ultimi vent'anni è qui significativa la massima espansione documentata delle aree agricole e urbanizzate, principale sede dei centri di pericolo concentrati e diffusi. In particolare, ricavando opportune categorie dell'uso del suolo 1994, si attribuiscono i gradi di pericolosità:

Elevata (E)	Insedimenti (residenziali, produttivi)
Alta (A)	Coltivazioni di tipo intensivo: frutteti
Media (M)	Seminativo, vigneti, frutteti misti
Bassa (B) o bassissima (BB)	Zone umide, ambiti residui a vegetazione "naturale"

Nel confronto tra pianura e montagna, si è enfatizzato in quest'ultima un maggiore potenziale inquinante a carico delle attività agricole indifferenziate (pericolosità alta), attribuendo una classe media alle aree agricole in pianura, dominanti per estensione. In tal modo, seppure agendo sulla pericolosità, si è voluto introdurre una notazione circa la maggiore esposizione agli inquinanti che si registra nelle aree montane.

Sono state di fatto escluse dalla stima del rischio (ponendole nella classe "trascurabile") le aree a vulnerabilità intrinseca bassa e bassissima, allo scopo di omogeneizzare le condizioni che si rinvenivano in pianura e nell'ambito montano; si sono così ricavate, per differenza, le aree che sono oltretutto sede delle risorse più esposte agli inquinanti e anche maggiormente sfruttate (quindi di maggiore valore), corrispondenti prevalentemente ai depositi ghiaiosi di conoide alluvionale.

Le classi di rischio si sono ottenute attraverso l'incrocio tra le classi di pericolosità e quelle di vulnerabilità.

La tavola 2 è corredata di un carta, schematizzata rispetto alla restituzione a scala 1:50.000 dello studio originale, che dettaglia le "rocce magazzino" dell'Appennino reggiano, proponendo anche una loro suddivisione in ambiti omogenei. Infatti, in relazione alla localizzazione delle unità geologiche che ospitano acquiferi utilizzati per l'approvvigionamento idropotabile, è possibile classificare le "rocce magazzino" differenziando principalmente quelle strategiche per l'approvvigionamento di più comuni in ambito provinciale da quelle che forniscono risorse di utilizzo locale. Sono anche evidenziate le "rocce magazzino" interessanti per rinvenirvi eventuali nuove risorse da destinare ad utilizzi di pregio, come pure quelle per cui approfondimenti analitici sugli aspetti idrogeologici si possono riservare alla sola progettazione di trasformazioni dell'uso del suolo. Solo entro le "rocce-magazzino" più importanti si potranno ulteriormente individuare aree meritevoli di approfondimenti analitici di carattere idrogeologico specialistico; nel caso dell'area rappresentata, ad esempio, questo settore è stato individuato in corrispondenza degli alti bacini dei fiumi Secchia e Enza. La "finestra" ha voluto sperimentare la possibilità di compiere un passo successivo all'analisi della distribuzione delle sorgenti in relazione alla geologia, fornendo la chiave per l'applicazione successiva di indirizzi per la tutela delle risorse idriche sotterranee.

Forward

In Italy, natural disasters such as landslides and floods, triggered by natural events, occur frequently. The rapid and sometimes chaotic expansion of developments, and the industrialization of food production, have together brought about abandonment of hillside agriculture and alterations of hydraulic setting in plain areas.

Thus, areas that are naturally prone to severe geological hazards underwent an increase in exposition to the highest classes of risk, with respect to degradation.

Recurring natural disasters, accompanied by great numbers of victims and collateral damages, also have a significant detrimental impact upon the economic competitiveness of the affected area. In fact modern-day commercial activity requires increasing levels of efficiency, and even temporary dysfunctions negatively impact production and the transport of goods and services.

In the Italian setting, the Emilia-Romagna region records nearly 33,000 mapped landslide accumulations and 130 areas (in 99 municipalities) at very high risk for landslides or flooding: this puts it in a medium-high position in a national ranking of risk. In order to increase security, the Emilia-Romagna region has made many investments, including an increased, widespread knowledge of land. The geological maps at a scale of 1:10,000 are emblematic of this increased knowledge. Besides that, there are now a range of maps showing land use patterns, slope stability, photo-interpreted morphology, natural drainage networks, artificial drainage networks in plain areas, etc.

The year 2003 has been declared by the United Nations to be the International Year of Water. Unfortunately, in our region the reality is critical because of episodic scarcity of groundwater resources, their pollution, degradation and collateral damages due to overexploitation (subsidence). To which, the opposite phenomena is added-periodic flooding that demonstrates the inefficiency of drainage networks, often in relation to heavy rains, that have been apparently increasing in intensity and frequency in the last few years. The knowledge and means to analyze the entire region now exist, an example of which is seen in this Schema Direttore: one of its purposes is to promote policies that preserve water resources, also as a result of the renewal due to the legislative decree 152/99 that has brought new rigor to water resource planning.

The Schema Direttore presents the general distribution of geo-envi-

ronmental problems throughout the Emilia-Romagna region. It is a synthesis of twenty years of work in bringing together knowledge from the Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Servizi Tecnici di Bacino, Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente and other regional organizations.

The document attempts to give a synthesis and overview of the knowledge base and produces a picture of the territory in terms of hazard classification, both type and intensity. Sometimes, hazards may overlap, and even effectively interact with each other, in the same geographic area (i.e. in the so called “aree problema”). The final cartography product, suitable for giving guidelines to regional programs, is in part a policy statement addressing the region’s security and its environmental sustainability, and sets priorities for the development of further studies and new interventions.

Guidelines for a new stage in elaborating geo-thematic cartography are to be found in the “Schema Direttore” specific references have been made towards geographic priorities (where conditions are at highest risk), and regionally important environmental topics (where problems require urgent attention). This new phase of geo-thematic topical studies will not only address the general maps, giving information at the regional-level, but also produce special, more detailed topic maps, utilizing methodologies specific to the geological-geographical context of each problem.

The legislative tools, regulative instruments, and apposite knowledge necessary to face up to geological hazards in the territory are available, thanks to land use planning (Piani di Bacino, Piani dei Parchi, Piani Territoriali Provinciali, Piani Territoriali Paesistici). What is now necessary is better harmonization amongst those entities, the relevant political protagonists and knowledge, especially monitoring the efficacy of projects and interventions being realized. The Schema Direttore may be an effective instrument for identifying situations in which the monitoring of land use planning efficacy, and the region’s security policies efficiency, are most urgent.

Marioluigi Bruschini

Assessore alla Difesa del Suolo e della Costa, Potezione Civile

The Emilia-Romagna Masterplan on Geo-environmental Hazards

This document entitled “The Emilia-Romagna Masterplan on Geo-environmental Hazards”, is provided to the Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli of the Emilia-Romagna Region in order to represent an overall reference frame for the second-generation of geo-environmental related programs. In 1994, the first draft of the document, “Carta del rischio geo-ambientale,” contained the proposal that subject-specific maps could be made for specific localities or regions, rather than for the entire region’s territory. These subject-specific maps could be made utilizing the methodologies appropriate to the importance of environmental “targets” and exigencies of the local physiogeography. This “Masterplan” continues with this proposal. The wide range of information now available, especially as a result of the new geological maps for the region at a scale of 1:10,000 (which are an excellent source of uniform, high-quality data), allow such subject -and locality- specific maps to be realized.

The Masterplan hence has two priorities: a synoptic presentation of the region’s geo-environmental state based on the studies of the last decades, and specific proposals with regards to elaborating either regional hazard scenarios, or subject-specific studies at varying scales of resolution.

The entire project is based upon GIS (often based upon already existing data bases) and therefore statistical analyses is possible at varying levels, e.g. administrative jurisdictions or hydrographic basin. For every situational analysis, the knowledge base regarding susceptibility, hazard, and risk, is readily examinable. The regional distributions of the types and degrees of hazard provide a first overview of priorities for further scientific observations, protective action, or corrective action and monitoring. This synoptic overview also serves to present regional policies in course. Thus priorities for local actions may be established, reprioritizing may take place, and new policies may be embarked upon-all in order to maintain “efficiency” in the region and to increase levels of safety.

The cartography for the entire Emilia-Romagna region, at a scale of 1:250,000, is graphically presented in two reference plates. The first map plate contains the geological and hydraulic hazard (Sheet 1). The second map plate (Sheet 2) deals with groundwater and addresses in particular risk-estimates of potential pollution (presented as hydrogeologic risk).

Nevertheless, some of the data bases utilized for these maps plates are actually at a much higher spatial resolution. Therefore, some subjects which appear in the regional synthesis of the Masterplan are presented in such a manner as to provide practical information at the provincial level as well.

Adjacent to the map plates presenting the regional synthesis, several enlargements (the so called “finestre”, i.e. “windows”) have been placed, showing subjects that have been investigated in-depth. They present specific geo-environmental information that is of pertinence to that locality.

Alongside the plates presenting the regional synthesis are several enlargements. They present specific geo-environmental information that is of pertinence to that locality.

Sheet 1

The assessment of the hazard actual, potential or observable and consequent zonation, are based upon its intensity and frequency. This has been accomplished by direct deduction from the data bases at hand, or indirectly with statistical methods or, if necessary, qualitatively. In some cases (quarries, classified water storage basins), it has not been possible to establish an area of potential influence and hence the information has been mapped as specific points; moreover, indicative boundaries have been traced as far as seismicity (referred to classified-2nd category municipalities) and conurbations are concerned. What follows is a more-detailed description of the several categories that have been defined and represented in the map legend.

Degradation due to Soil Loss

The intensity and rates of soil loss have been detected by comparing three documents which portray the entire region: the map (1:25,000) showing geological instability as interpreted from air photos (1976 to 1978); the map of land use compiled in 1976 (1:25,000); and the map of land use in its 1994 version (1:25,000). A comparison amongst the maps allows the eroded and gullied areas called “badlands (calanchi)” to be identified, and then to be separated between those badlands colonized (period 1976-1994) by vegetation from those still with little or no vegetative cover.

During this time period (1976 to 1994), the badlands have reduced in areal exposure by approximately 20 percent; as many new areas have been colonized by vegetation.

Slope Instability

This analysis is based upon a regional inventory of instability phenomena (Landslide Inventory Map of the Emilia-Romagna Apennines, 1:25,000, 1996 edition, Carta Inventario del Dissesto dell'Appennino emiliano-romagnolo a scala 1:25.000, ediz. 1996). This data has been integrated with archives and data bases from the Autorità di Bacino del Reno, the Autorità di Bacino del Fiume Po, the Autorità di Bacino dei Fiumi Romagnoli, and the Servizi Tecnici di Bacino. The complete archive was then checked and supplemented, then updated in terms of the cartography with special attention given to the classification of gravitative movements. Classification of these movements follows the original criteria and nomenclature proposed by D. M. CRUDEN and D. J. VARNES (1996). The following table is a synthesis of the results obtained. Some information gaps and uncertainties remain with regards to the systematics of the regional gravitative movements.

Type of Movement	State of Activity	Number of slides	Surface kmq	% of Total area	% of Total
SLIDE/FLOW	Active and dormant	32,593	1,957.9	96.1	89.4
	Abandoned and relict	198	117.3	0.6	5.4
	Stabilized	61	7.0	0.2	0.3
SPREAD	Active and dormant	6	4.7	0.0	0.2
	Abandoned and relict	24	15.9	0.1	0.7
	Stabilized	-	-	-	-
BLOCK SLIDE	Unknown - uncertain	421	54.0	1.2	2.5
FALLS	Active and dormant	603	33.6	1.8	1.5
	Abandoned and relict	-	-	-	-
	Stabilized	5	0.0	0.0	0.0
TOTAL		33,911	2,190.4	100.0	100.0

The analysis for landslide susceptibility did not consider the following: relict, abandoned, or stabilized slides; those movements labeled as “block slides (scivolamenti in blocco)” on the Landslide Inventory Map, in all the situations where the information or data did not permit an alternative classification. In the regional inventory, the polygons classified (a

classification based exclusively upon morphology) as “falls (frane di crollo)” include the possible detachment and transit zone, and the area of accumulation itself - no distinction has been made and hence the hazard has also not been further differentiated.

The analysis for landslide susceptibility is based upon both the probability of *re-activation* by gravitative movements with deep slide planes, and the probability of *first-time* sliding, occurring (at the most) on the altered stratum.

With regards to slides and flows, both active and dormant, a dimensional criteria has been proposed in a reasonable attempt to differentiate the deep from the superficial movements. This criteria is based upon the characteristics of the geologic units in which the slides have developed-however considering only the slides that occur entirely within one lithologic unit (the lithology reference map shows 37 distinctly defined categories). We have counted approximately 23,900 slides or surficial flows that fit this criterion, and then have subjected them to additional statistical analyses.

The determination of the reactivation hazard for the deep slides (scivolamenti) and flows (colate), of which there are approximately 7,000 in the region, is based upon: the area of the instability; the probability of re-occurrence (if evidenced by clear reactivations), or estimations based upon either instrumental analyses or direct surveying made by experts from the regional technical offices. Also included are those landslides falling under legislation number 267/98. In all remaining cases in which it is not possible to identify specific evidence for the probability of re-occurrence, the hazard has not been evaluated.

The slope instability hazard related to first-time activation of slides or flows is based upon a correlation amongst several characteristics: land use, lithology, morphology, and acclivity. An attempt to also include regional climatic data into the correlation did not yield results, likely because the meteorological data was overly generalized.

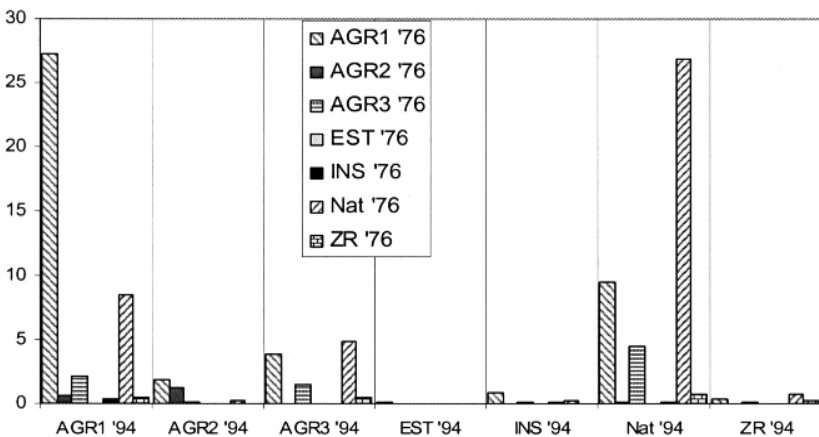
The identification of the gravitative movements is based upon air photos from 1976 to 1978, and upon a field survey related to the geological map at 1:10,000 scale conducted from 1980 to 1996. Also there are two map editions (1976 and 1994; both utilize the same legend and the same scale (1:25,000)) of land use patterns within the Emilia-Romagna Region. Thus, the period in which gravitative movements were identified is approximately coincident with the time period between publication of the two land use maps. This made it possible to compare the actual occurrence of slides during a time period, with changes in land use patterns.

Because sampling was conducted over an area exceeding 10,000 km², the results are been statistically significant. This provides a measure of how human activity is affecting slope instability.

Two factors are a limit to an exact comparison between the patterns of land use in 1976, and in 1994. First, the data concerning land use in 1976 was collected upon a IGMI topographic base, while that in 1994 upon the CTR base. Also the 1976 map is only available in numeric format, with a legend, and polygons simplified for presentation at a scale of 1:100,000. These factors introduced some errors in the comparison, which will be addressed later.

Several categories of changes in land use were identified for this approximately twenty year period: no change in usage (*permanenza*); a *transformation* in agricultural usage; a *reclaiming* of agricultural soils; or the *conversion* to non-agricultural usage. A large number of polygons were created with these identifications, and in fact many the resulting polygons were too small for our purposes. Thus the categories were simplified. The categories (more than thirty) found in the original legend were unified in order to create the following seven working categories:

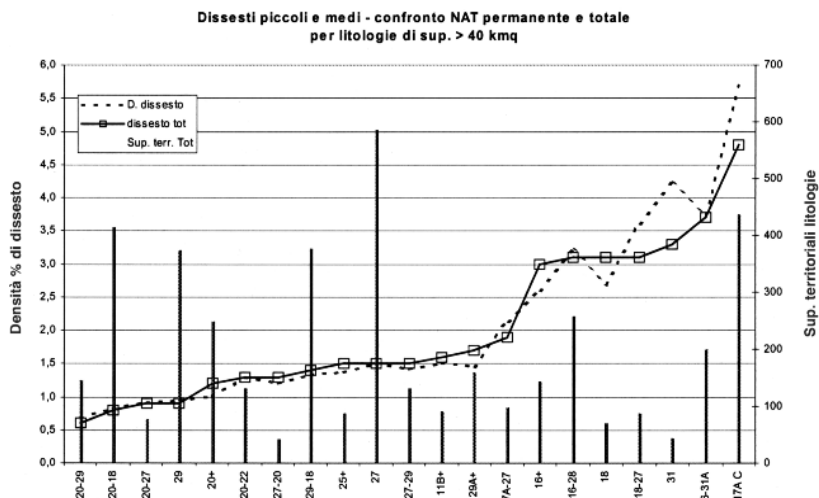
- “INS” = usage related to human settlement;
- “EST” = usage related to the mining industry;
- “ZR” = rock exposures;
- “NAT” = natural areas (woods, grasslands, heathlands found at ridge tops/summits, and grazed land or tussocky vegetation above 800 m);
- “AGR1” = agricultural and cultivated lands that are worked annually;
- “AGR2” = orchard or arboreal cultivation;
- “AGR3” = formerly agricultural lands, now abandoned or fallow for some time period, within the approximately twenty year period of this study.



More than 10,400 km² of hilly and mountainous terrain were categorized. The preceding graph summarizes the analysis of changes in land use patterns: values are in percentages. Terrain with no change in usage (*permanenti*) represents approximately 58% of the entire region: the AGR1 (2865 km²) and NAT (2833 km²) categories are the best represented. Land within the AGR3 category is most likely (by definition) to have undergone a change in usage: 478 km² from AGR3 in 1976 to NAT in 1994; 229 km² from AGR3 in 1976 to AGR1 in 1994. The AGR2 category comprises very little terrain, which is also very fragmented in distribution: at 130 km² it just enters into the statistical analyses.

The land use data bases show that there are some errors due to superimposition, these errors are related to approximations made in both sets of documents. The mean error for the region is estimated at $\pm 2.3\%$, the error varies as a function of fragmentation (that is the small dimensions of each single polygon), and of the family considered for calculations (if fragmentation is high, the error exceeds $\pm 4\%$, for large polygons the error is approximately $\pm 1.4\%$). These errors are relatively large in absolute terms. Nevertheless the errors are minimal given the statistical analyses that have been applied. The errors are primarily related to the terrain categorized as AGR1, AGR3, and NAT, which usually occur as large-sized polygons and compose more than 80% of the region.

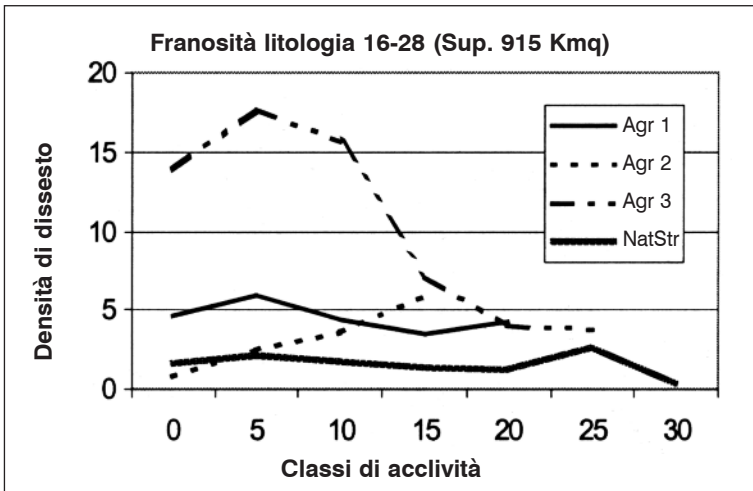
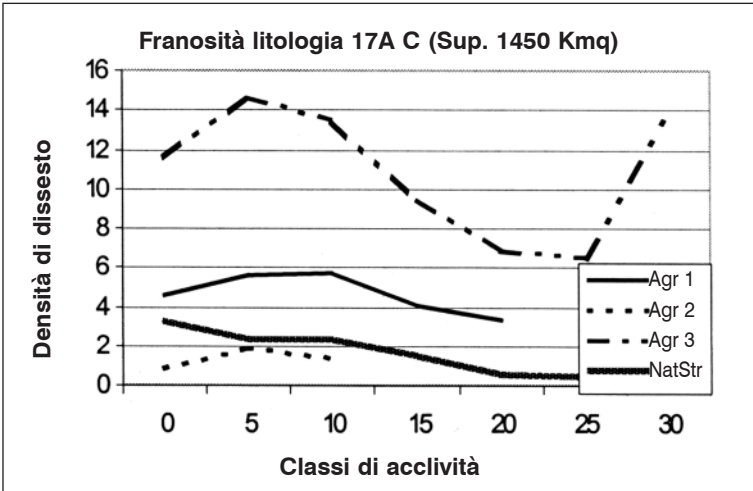
23,900 slides and superficial flows were identified, of these 16,629 (approximately 70%) were located in their entirety within one of the 37 divisions evident on the lithologic map. This group was then cross-checked with respect to those “areas with ‘no change’ in land use (permanenza),” that correspond to stable NAT. This evaluation led to the calculation of a “*significance index of each lithology’s mean landslide susceptibility (indice significativo per la definizione della franosità media per litologia)*”. It was obtained through the ratio between (the total area occupied by landslide accumulations) / (the surface area of each lithology). This was deduced for every lithology (see symbols on the horizontal axis on the diagram below) with a statistically significant extension (i.e. over 35 km², if subdivided into polygons of modest size extension, or over 20 km² if the polygons were relatively compact in shape). This landslide susceptibility index may be considered as the “*threshold level for natural instabilities*”, given local climatic conditions, and here has been adopted in order to identify the low- and/or medium-hazard classes. This index has been determined for each lithology. However, for those nine lithologic divisions which manifested just a few examples of instabilities, we utilized the values from lithologic units with similar behaviors.



The relationship between areas with NAT, lithologies (on x-axis, symbols used in the adopted Lithologic Map) with more than 40 km² surficial extension, and the index, described in the text. It has been calculated with respect to density of landslides (“densità % di dissesto”, ratio between the total area of landslide accumulations and the area of a given lithology, percent), referred to surfaces with no changes in NAT land use-type and with NAT. The second Y-axis plots the surfaces of lithologies.

Using the digital model which is available, at a rather low resolution of 1 point per 100 meters, many acclivity classes were made that can then be correlated with the preceding data. Thus landslide susceptibility classifications can be made based upon slope inclination either, while considering the most widespread lithologies in the Emilia-Romagna Apennines. The results show:

- there is considerable variability in surficial landslide susceptibility manifested for terrains with stable, NAT land use. It ranges from 1.5 to 4.5 km² / 100 km², with the extremes occurring in the primarily arenitic, marly calcareous and the primarily argillaceous, marly-pelitic units;
- a significant correlation between surficial instabilities and agricultural land use, in all lithologic units. For example, for the AGR1 category, landslide susceptibility is 1.5 to 3 times greater than in the NAT areas, according to the different lithologies. For the AGR3 category, the landslide susceptibility is 3 to 7 times greater than in the NAT areas, and for almost all lithologies greater than in the AGR1 areas as well. Landslide



susceptibility for AGR2 category, while modest, still exhibits a sharp difference based upon lithology, and in some cases less than that in the equivalent NAT areas.

The graphic presentations above serve to show how superficial landslide density (“densità di dissesto”, ratio between the total area of landslide accumulations and the area of a given lithology), when wholly contained within one lithology, varies according to land use (AGR1, AGR2, AGR3, NatStr) and to slope inclination (“classi di acclività” in degrees).

The two lithologies presented occur frequently: 17AC indicates chaotic successions which are primarily shaly terrains; 16-28 indicates argillaceous-pelitic successions. Note that in areas with “natural” land use types, NatStr, total landslide area has been calculated extracting street/highway crossings. Anyway, for those areas that underwent no changes in NAT land use, yet nevertheless not covered with forest or wood (e.g. pastures, high elevation heaths or balds, etc.), the calculation of landslide susceptibility shows similar results for both the relatively compact, and the large, polygons.

Sheet 1 presents a “window” from an excerpt of the Slope Hazard and Risk Map, 1:10,000 scale, depicting a study area in the Bologna Apennines. This map presents a qualitative estimate of the hazard due to landslide reactivation, where risk is evaluated with respect to human settlement (soil and vegetation are not considered). This map is a type of cartography utilized for municipal planning. It is based on documented damages to buildings and transportation networks; extrapolating information derived from well-known landslides, an evaluation of the hazard of mass movements as the resulting product of the event’s magnitude (depending on mass multiplied by velocity) has been obtained from geognostic and/or instrumental data bases, when available. Probability of occurrence has been obtained from documented event re-occurrence intervals and the records of historical pluviometric data, inferred from the recorded, historical Tevere River floods.

Floods

Accurate historical data (from 1945 to 1996) was retrieved from the Emilia-Romagna Servizio di Protezione Civile. This allowed us to ascertain the extent of flooded areas over the approximately fifty year period. The data allowed us to identify regions subject to repeated flooding, the number of recorded flood events was the direct basis for estimating likelihood of reoccurrence, and hence a measure of hazard.

Comparison of this data with natural and artificial drainage networks also allowed an immediate verification of the flooding events’ locations.

Subsidence

The natural lowering of the surface layers is related to geo-structural

and diagenetic factors (e.g. consolidation of peaty deposits). The subsidence related to consolidation is greatly accelerated and increased when fluids are extracted from the sub-surface - the de-pressurization of the porous strata causes an increase in effective pressure in the more superficial and fine-grained sediments. Pumping water to meet the demands of growing urban centers is the most frequent cause of this subsidence.

We have chosen to represent soil subsidence, on the lowlands, as a cumulative quantity determined for large sections of the territory. The determination of homogeneous time intervals is based on a bibliographic survey of historical benchmarks. This methodology produces the correct size scale for the subsidences, and also allows immediate evaluation of impacts related to the local surface and sub-surface drainage systems. Data deduced from the survey of local networks may also be incorporated. The results of this methodology were compared with the most up-to-date representation of rates of regional subsidence (*Carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo nel periodo 1970-93-1999*, ARPA Ingegneria Ambientale). A few discrepancies are evident, likely related to the different methods of restituting the same information.

Isolines of equal cumulative surface subsidence can be compared to the locations of artificial and natural drainage networks (with their associated data bases and identifications of any hydraulic works present). Thus areas are delimited where subsidence may provoke the greatest negative effects. The same procedure applied to coastlines and their related works and fortifications allows the identification of zones in which subsidence has had the greatest negative effect upon beachfront morphology, and naturally also erosive processes (the data is updated as of the year 2000, source ARPA).

Urban centers

In large cities, natural resources are over-exploited and geologic processes are put under extreme pressure. Defining the areas that are affected by all interlinked processes requires a multi-disciplinary, integrated and detailed knowledge of the territory. The configuration, size, and “importance” of each territorial element of interest will vary not only in function of the specific sector studied (soils, water, sub-surface resources) but also in the nature of the inter-relationships. The “impact” of the urbanization upon resources should also take into account the needs of minor urban centers, which are also variable over time.

The urban resource requisites that have been considered are: displacements of large quantities of surface water; withdrawals of sub-surface water supplies; sand and gravel necessary for buildings and infrastructures; and local lithic-based materials that are necessary for the local economy.

An analysis that is centered upon the zone of “withdrawal” of the resource may not adequately account for the full impact of the resource’s utilization, since utilization can occur far from the zone of “withdrawal”. Therefore, the zones of influence delimited on our map represent an estimation of the average demands and requisites by the urban center upon the geo-environmental system. For example, the hydrological demands of the cities of Bologna and Rimini highlight the lack of coincidence between the indicated surface area of influence, and the actual effective area of influence. Here, areas with subsidence and/or artificial water storage basins, related to urban water consumption, are dictated by the size of the areas where inhabitants live, which are frequently very large and oddly shaped. Artificial reservoirs that draw from several water courses and have diffuse distribution systems must be analyzed with respect to all relevant hydrographic basins, and the indirect influences are especially difficult to estimate.

Thus defining neat perimeters is difficult: an urban center’s area of geo-environmental influence varies according to the resource under consideration; and temporal changes in capacity are related to the intensity of modifications. The cartography presented here is a provisional interpolation between estimates (for the most part qualitative), in order to identify complex geo-environmental problematics. In the end, these must be addressed systematically, with interdisciplinary tools, that go beyond administrative divisions.

In Sheet 1 we present a thematic map (1:50,000 scale) for the Forlì municipality that addresses hydrogeologic risks and hazards for the urban area. We propose the following: assessing the vulnerability for the zones of heaviest settlement according to the calculation of the time of travel within unsaturated conditions, referred to the distance at which the sewage system encounters the uppermost water table; evaluating hazard, based on two factors, the probability of sewage overspill depending on the conditions of the holding containers (age, material, shape, flow during mean conditions), and an estimate of the amount and makeup of the fluids flowing through the system (in terms of Abitanti Equivalenti, heavy metals). A resultant risk factor is made by multiplying the preceding parameters with a value for the aquifer, obtained from the distribution

of its measured transmissivity.

Sheet 2

The map plate deals with groundwater and depicts those areas where environmental policies should be applied, even gradually, in order to manage this important resource.

The synthesis at a scale of 1:250,000 shows the zonation for several levels of potential risk of pollution (indicated as hydrogeological risk, for brevity). The values result from a combination of factors, representing degree of vulnerability and a qualitative estimate of hazard. This estimate of hazard represents the potential negative effects to the integrity of the underground water resources (i.e. risorse idriche sotterranee (RIS)), based upon several categories of land use. This evaluative method is applied differently, to uplands and lowlands, since for the latter an enormous quantity of pre-existing data is already available.

The Emilia-Romagna Sector of the Apennines

Given the lack of pre-existing, widespread data at a regional extent, it was necessary to identify where the RIS were preferentially localized, that is the principal aquifers of the Emilia-Romagna Apennines (informally named “rocce magazzino” units). Then we attempted to acquire and digitalize data relevant to the most important springs (totaling more than one thousand water sources and springs), by consulting the following archives:

- sources and springs already tapped, legal permission being granted (according to the Testo Unico sulle acque ed impianti elettrici dell’11-12-1933 n° 1775) for potable, agricultural and zootechnical uses; and also sources that underwent “*somma urgenza* (maximum urgency)” interventions, taking place within the aqueduct system. The working files are kept at the Servizi Tecnici di Bacino.
- mineral and thermal springs that are identified because of mining concessions, based on information at the Servizio Programmazione Difesa del Suolo di Bologna, information now transferred to Provinces according to the legislation, L.R. 3/99.
- computerized data bases that have been utilized for regional analyses

which are stored and sometimes available as attachments to the Piani Territoriali Provinciali di Coordinamento (PTCP); title owners of the agencies responsible for managing the main mountain aqueducts also supply this data.

Complementing the preceding information are those notes related to the Carta Geologica d'Italia (Geological Map of Italy) at 1:100,000 scale), the Carta Tecnica Regionale (Regional Technical Map) at 1:25,000 scale, the preparatory geological maps, 1:25,000, for the CARG sheets (which are at 1:50,000 scale), the Atlante dei Centri Abitati Instabili dell'Emilia-Romagna (Atlas of Unstable Populated Centers in Emilia-Romagna), and the Carta Escursionistica dell'Appennino emiliano-romagnolo (Touring Map of the Emilia-Romagna Apennines) at 1:50,000 scale.

The data collected has the attributes of being comparable for the entire upland region and sufficiently homogenous to fit the scope of this research: to obtain the upland aquifers' **general and regional** setting, at a relatively large scale.

The data is at the center of a future regional data base. **It will be the first resultant policy created and implemented by the Masterplan, to support the actions of relevant Services and Agencies. It is created to give guidelines for the protection of water resources of the Emilia-Romagna Apennines.**

The location of water sources and springs has been compared with the geology as mapped on the computerized version of the Lithologic Map (Carta Litologica) at 1:25,000 scale. The recent mapping of the CARG project (now being digitized) was also used for verification. In some localities, where data is sparse, zonation instead is based on purely morphological criteria, similar to those adopted to obtain the Carta delle possibili aree di alimentazione delle sorgenti, which is an attachment to the PTCP of Modena (a zonation about areas feeding the main tapped springs in the Modena Apennines).

Geology of the “rocce magazzino” units

Areas in which spring concentration is high, contain hydrogeological complexes with high permeabilities. Local water supplies depend on these complexes (which should be protected). Springs are located within those geological units which are characterized by rock aquifers and detrit-

ic slope overburden, the water supplies are often inter-connected. 177 polygons define these geological units for an areal extent of 4324.65 km², this is approximately 40% of the region's uplands. Classification of the rock water storage units is based upon the geology. Each polygon was evaluated with respect to the geologic units contained within. Then groupings were determined based on the lithological similarities, and also on the recognition of elementary hydrogeologic settings, within each class (see definitions in M. Civita, 1994, *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*) related to any unique stratigraphic-structural characteristics. Thus eleven groupings were made.

- **Ligurian and sub-Ligurian flysch units:** alternations between calcareous marls and pelites, sandstones and pelites, in tectonized sequences; the springs occur near the either the lower limits of the individual plates or within the most deformed sections of these plates. The springs are also found within mass slides.

- **Ophiolite bodies:** the fractures and enveloping coarse detritic cover host aquifer networks. The water chemistry may show unique characteristics.

- **Associations** of Ligurian, sub-Ligurian flysch units, ophiolite bodies and/or sandstone units of ophiolite origin, not further differentiable at a scale of 1:250,000.

- **Formazione marnoso-arenacea and detritic covers:** sequences of alternating sandstones and pelites, varying in ratio; spring location is apparently related to thrusts and disjunct transverse faults. Landslide bodies can serve as a moderate size reservoir.

- **Formazione marnoso-arenacea (“external” pelitic facies), Formazione a Colombacci:** alternations of Pliocene sandstones and pelites, the units are differentiated by the lower density of springs, compared to the preceding unit.

- Oligocene-Miocene units of the Tuscan Domain (simplified as “**flysch toscani**”) and locally found with moraine deposits: alternating sequences of sandstones and pelites, the springs are usually found near the lower boundary of the units (related to permeability thresholds), or near the limits of tectonic windows.

- Arenaceous units referred to as the **Gruppo di Bismantova and similar lithologic units:** primarily arenites, which compose plates, often formed into large synclines and/or locally fractured, in lower contact with less permeable units. Disarticulated portions are sometimes present at the boundaries, and affected by mass slides.

- **Formazioni di Ranzano, Loiano; membro di Anconella, in the**

Formazione di Antognola (in the areas of maximum thicknesses): spring density is high within the more coarse and coarsely stratified facies of this unit.

- **Arenaceous-conglomeratic bodies within pelitic units**: of lenticular geometry, composing the intercalations in the Plio-Pleistocene “Argille Azzurre”; sulfurous springs may be present.

- **Messinian and triassic evaporites**: they are affected by circulating water accompanied by dissolution. In the presence of large and developed aquifers, this unit may support springs with notably high flow rates (on the order to tens of liters per second). High sulphate concentrations may limit potability.

- **Primarily argillitic unit, tectonized**: only rarely and locally do aquifers of rather modest volume occur within units, permeability is low.

At a regional scale, the Ligurian and sub-Ligurian Flysch units are the most common spring-bearing formations (totaling approximately 1410 km²); in part because they are also ubiquitous throughout the region. The next most common spring-bearing formation is the Formazione Marnoso-arenacea, with a notably smaller areal coverage of 825.52 km². It in turn is followed by the “flysch toscani” with 658.15 km², the Gruppo di Bismantova (581.13 km²), and the Associations of Ligurian and sub-Ligurian flysch units, ophiolite bodies (436.42 km²). The other groupings represent hydrogeologic settings of limited areal extent, or of very unique characteristics, as for example those of the ophiolite bodies and the evaporite associations.

The remaining hydrogeological-related classification criteria utilized in the Masterplan are based on the concepts of vulnerability, and pollution hazards and potential risks. This is explained below.

Vulnerability

A qualitative estimate of natural vulnerability (*vulnerabilità intrinseca*, VI) has been made for each hydrogeological situation identified within the Emilia-Romagna Apennines. We have used the base methods taken from the CNR-GNDICI (1988).

The evaluation of VI does not include those areas outside the mapped “rocce magazzino” units.

The estimated classifications range from “very high (*elevata*)”, as found in the evaporites, to “low (*bassa*)” (for example the shale-pelitic

units which contain few springs). The low VI category encompasses a negligible portion (just less than 2%) of those surfaces that were classified, hence those areas outside this study (because they were outside the mapped “rocce magazzino” units) must also have an extremely low VI. One repercussion of our application of the CNR-GNDCI base method, is the proliferation of the “medium (*medio*)” category. This inevitably causes a “flattening” of the overall distribution of classifications. Increased objectivity can only be achieved by subdividing the “rocce magazzino” units, according to characteristics and structures, and evaluating, sector by sector, the proper VI categories at an even finer scale.

In the lowlands, the determination of VI is based on other compilations, particularly the maps related to the “*Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi* (Studies on aquifer vulnerability),” which started to be published at the beginning of the 1990s. Bibliographic data has also been cross-checked when possible with data derived from the “Carta geologica di pianura dell’Emilia-Romagna (Geological Map of the Emilia-Romagna Plain),” 1:250,000 scale (Regione Emilia-Romagna, 1999, under the supervision of D. PRETI), especially with regards to surface lithology. Valid approximations based on these data can be made because of the large spatial scale available for analyses and publication.

The zonation of vulnerability is summarized in the schematic map at a scale of 1:600,000, which along with the hazard map (see below) accompanies the Masterplan.

Potential Groundwater Pollution Risk

An experimental method of risk zonation has been utilized for the mapped synthesis at 1:250,000 scale. The method is based on the need to **incorporate the relevant regional data, utilizing homogeneous formats**. The primary groundwater resources (those already utilized for human consumption or as reserves) are considered the element at risk or “target”, thus borrowing a concept of **risk** already applied to other geologically-related situations.

Thus (hydrogeological) risk is expressed by hazard, which is an estimate of the potential to be polluted given different land use types, **vulnerability and the resource’s degree of exposure to pollution**. The elements of the hydrogeological risk equation are derived from the data

within the regionally thematic maps, the analytical elaborations heretofore described, and both non-parametric methods and GIS techniques. This is presented in the Masterplan.

The procedure is as follows:

- for the “**rocce magazzino**” units in the **Emilia-Romagna Apennines** the hazard is based upon an estimate of the potential of the different mapped land use types to cause groundwater pollution. The estimate of hazard is related to the changes in land use, as represented by the 1976 and 1994 map editions, and utilizes the same method adopted for slope instability susceptibility. The categories and estimates are presented in the following table.

<i>Hazard</i>	<i>Land use types</i>
Very high (E)	Human settlements
High (A)	AGR1 and AGR2 zones in 1994 AGR3 zones in 1994, in large part (more than 50% of the surface area) due to transformation from the AGR1 and AGR2 zones in 1976
Medium (M)	AGR3 zones, either unchanged, or due, with minimal changes (less than 50% of the surface area) to transformation from the AGR1 and AGR2 zones in 1976 NAT zones in 1994, largely resulting from transformation (more than 50% of the surface area) from AGR1, AGR2 and AGR3 zones in 1976
Low (B)	NAT zones in 1994, either unchanged or due, with minimal changes (less than 50% of the surface area) to transformation from the AGR1, AGR2 and AGR3 zones in 1976

Additionally, a provisional estimate of the value of the resources to be found in the “rocce magazzino” units was made, based upon the number and density of springs within each polygon.

The parameter has been incorporated into the classification based only upon intrinsic vulnerability. This final zonation of vulnerability has been summarized in one of the schematic maps which are a part of Sheet 2.

This method may be refined after the entire data base of springs and sources is completed and functioning. For example, in the future, flow rates (natural and derived), user population, or the RIS quality, may be

used to reach a better estimation of the value itself. Finally, the VI category of each polygon has been cross-checked with the class attribution related to this provisional evaluation, obtaining a classification of vulnerability containing the estimated RIS value.

- **On the Lowlands**, a similar expeditious method is utilized. Hazard is based directly on land use, as published in 1994, given that such significant spread of agricultural and urbanized (areas that represent the main concentrations of sources of pollutants) occurred during the preceding twenty years. Therefore, the following hazard classes are created and applied:

Undifferentiated agricultural has been assigned a higher potential for pollution (high hazard) in the uplands, and a lower potential (medium hazard) in the lowlands, where these areas have a larger extension.

This was done to show the greater exposure to pollutants that is meas-

Very high (E)	Settlements (residential, industrial)
High (A)	Intense cultivation: orchards
Medium (M)	Annuals, vineyards, mixed orchards
Low (B) or very low (BB)	Wet zones, remnant “natural” vegetation areas

ured in the upland areas, though this concept is applied by means of a modified, double-sided hazard estimation.

Areas in the VI categories “low” or “very low” have been actually excluded from risk assessment, in order to be consistent with the upland regions. As a consequence, risk has been assessed in areas with the highest VI classes, that is those mainly made up with gravel and sand deposits of alluvial fans, which are the most exposed to pollutants and provide the water supplies most heavily utilized.

Therefore the risk classification is based on the combination of hazard classes, and vulnerability classes (VI).

Sheet 2 is attached to a map which depicts the “rocce magazzino” elements in the Reggio Emilia Apennines, the map is schematicized from the original study at a scale of 1:50,000. The “rocce magazzino” have been experimentally subdivided in homogeneous areas. These units have been classified, and those utilized for water supplies for many municipalities (within the province) have been differentiated from those only utilized

locally. This classification is made in relation to those geologic units bearing aquifers which are a source of potable water. The classification also shows the “rocce magazzino” which might provide high-quality groundwater resources to be exploited in the future, and those for which further hydrological studies might be needed only if changes in land use are programmed. One can identify specific areas within the most important “rocce magazzino” units, requiring further specialistic hydrogeological study. For example, within the Masterplan, the area corresponding to the upper sections of the Secchia river and Enza river watersheds would be the object of further study. This schematicized “window” is an experimental means of presenting the successive step in the analysis of springs, and their distribution with respect to the geology. This experimental method may be subsequently applied to other areas relevant to the protection of the underground water resources, at a provincial extent.