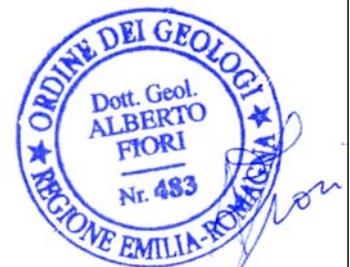


QUADRO CONOSCITIVO
Il sistema naturale e ambientale

RELAZIONE TECNICA



Tecnico : Dott.Geol.A.Fiori
Via Radici in Piano, 371
41041 Formigine (MO)
Tel/fax : 059/550703 - Cell338/6190797



Committente : Comune di Bologna
Settore Territorio e Riqualificazione Urbana





1. PREMESSA

Su incarico del Settore Territorio e Riqualificazione Urbana del Comune di Bologna (Rep. 196275 del 08/08/2002) si è provveduto alla stesura della presente relazione relativa ad approfondimenti geologico-ambientali finalizzati alla redazione del quadro conoscitivo del Territorio Comunale per gli aspetti fisici e morfologici, e quindi completare il quadro del "sistema naturale e ambientale" descritto nella relazione dello Stato dell'Ambiente 2002.

In particolare sono stati eseguiti specifici approfondimenti relativi ai seguenti argomenti:

- Geologia e geomorfologia;
- Rischio idrogeologico;
- Acque superficiali;
- Acque sotterranee;
- Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento;
- Subsidenza ;
- Rischio sismico

Si ringraziano per la fornitura di dati e suggerimenti per la redazione del presente studio i seguenti Enti:

Comune di Bologna – Ufficio Suolo ed Attività Estrattive;
Regione Emilia Romagna – Servizio Cartografico e Geologico;
Consorzio di Bonifica Reno-Palata;
Consorzio di Bonifica Renana;
Consorzio della Chiusa di Casalecchio e del Canale di Reno;
Consorzio della Chiusa di San Ruffillo e del Canale di Savena;

Il presente lavoro è stato eseguito con la diretta e fattiva collaborazione dei geologi Dott. Sergio Ranuzzi e Dott.ssa Claudia Borelli, liberi professionisti. La sezione relativa alle acque sotterranee e Vulnerabilità degli acquiferi è sviluppata in collaborazione con l'Ufficio Suolo ed Attività Estrattive del Comune di Bologna, ed in particolare con il Funzionario Dott. Marco Farina e il tecnico Dott. Bruno Lavecchia e i consulenti Dott.ssa Laura Guadagnini e Dott. Matteo Simoni.



2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio del Comune di Bologna si sviluppa al passaggio tra l'alta pianura e le prime propaggini collinari, compresa tra il Fiume Reno ed il Torrente Lavino a Ovest e il Torrente Savena a Est, per una superficie complessiva di circa 141 Km², di cui 105 ricompresi nella zona di alta e media pianura e 36 in quella collinare.

Da un punto di vista planoaltimetrico le quote massime pari a circa 390 m s.l.m. si rilevano nei pressi di Monte Sabbiuino mentre le minime in località "Magistrini" pari a circa 29.5 m s.l.m..

Per quanto riguarda i limiti amministrativi, il territorio comunale di Bologna confina verso est, con i Comuni di Pianoro, S.Lazzaro di Savena e Castenaso, verso Ovest con i Comuni di Anzola dell'Emilia, Zona Predona, Casalecchio e Sasso Marconi, e verso Nord i Comuni di Calderara di Reno, Castel Maggiore e Granarolo dell'Emilia.

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

3.1 ZONA COLLINARE

La zona collinare di Bologna ha una superficie complessiva di circa 36 Km², che rappresenta circa il 25% del territorio Comunale, e risulta compresa tra il margine appenninico a Nord, il Torrente Savena a Est e il Fiume Reno a Ovest.

Il paesaggio è caratterizzato dalla presenza di rilievi collinari localizzati nelle zone di affioramento dei litotipi più resistenti all'erosione con pendii di solito ripidi e spesso boscati, al cui si contrappongono ampie zone caratterizzate da forme di erosione calanchive che creano situazioni di notevole complessità morfologica, e che rappresentano forme del paesaggio che ricoprono una peculiarità paesaggistica, oltre a possedere un valore naturalistico e in qualche caso storico. I rilievi collinari più significativi, partendo dal margine appenninico, sono i seguenti:

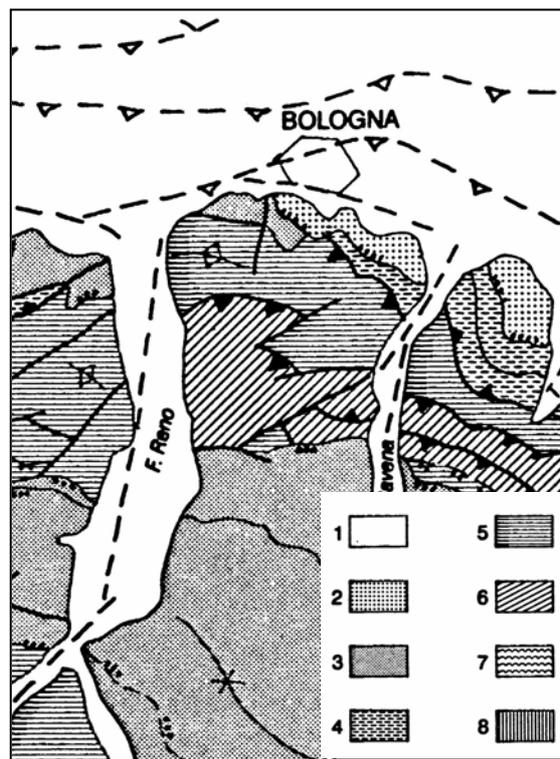
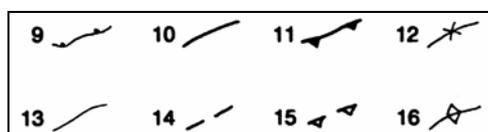
Madonna di S.Luca 280,00 m s.l.m.	Monte Grana 269,30 m s.l.m.
Monte Aperto 245, 00 m s.l.m.	Monte Paderno 350,00 m s.l.m.
Monte Cuccolino 232,60 m s.l.m.	Monte Pradone 253,30 m s.l.m.
Monte S.Vittore 283,30 m s.l.m.	Monte Sabbiuino 390,40 m s.l.m.
Monte Donato 219,90 m s.l.m.	

Da un punto di vista geologico nella zona collinare affiorano (Fig. 3.1), in giacitura tettonicamente complessa, terreni appartenenti alle Liguridi, alle sequenze epiliguri e alle sequenze neogenico-quadernarie del margine appenninico della pianura padana.



Figura 3.1 – Schema geologico semplificato (Elmi et al, 1984)

1. Depositi alluvionali indifferenziati
2. Sabbie gialle di Imola (Pleistocene inf.)
3. Unità plioceniche-pleistoceniche inf pedeappenniniche ed intrappenniniche;
4. Unità tortoniane sup-messiniane pedeappenniniche
5. Dominio epiligure
6. Dominio ligure
7. Dominio subligure
8. Formazioni del Dominio toscano ed "unità Sestola-Vidiciatico" AUTCT
9. Principali discontinuità
10. Contatto tettonico
11. Sovrascorrimento
12. Asse di sinclinale
13. Contatto stratigrafico
14. Faglia sepolta;
15. Archi padani;
16. Asse di anticlinale;



L'area in esame, come si evidenzia sulla tavola 1, che riporta lo schema geologico della zona collinare, può essere divisa in tre porzioni a sviluppo appenninico nord ovest-sud est. La prima fascia è rappresentata dalle successioni plio-pleistoceniche intrappenniniche (sinclinale intrappenninica) che affiorano nella zona sud. La seconda fascia è rappresentata dalle unità del substrato ligure e epiligure che separano le successioni plio-pleistoceniche intrappenniniche da quelle pedeappenniniche. Le successioni plio-pleistoceniche pedeappenniniche costituiscono la terza fascia che si trova all'estremo lembo settentrionale dell'area studiata con la sequenza neogenico-quadernaria del margine appenninico-padano.

I terreni della sinclinale intrappenninica (bacino intrappenninico bolognese) sono costituiti da rocce prevalentemente argillose (Argille e marne di Riolo Terme) di età pliocenica inferiore. La grande struttura sinclinalica intrappenninica presenta un andamento assiale appenninico e si sviluppa ben oltre la zona studiata tra la valle del T. Lavino a ovest fino alle valli del Torrente Idice e del Quaderna a est.

In discordanza, al di sopra di terreni della sinclinale intrappenninica, sono presenti rocce prevalentemente arenacee di ambiente di spiaggia del Pliocene medio-superiore che formano corpi tabulari spessi alcune decine di metri.

I corpi sedimentari che costituiscono il fianco settentrionale della sinclinale intrappenninica appoggiano in discordanza sulle unità alloctone liguri e epiliguri che formano l'alto strutturale Paderno-M.Calderaio. Tale struttura si sviluppa in direzione nord ovest-sud est parallelamente alla catena appenninica. I terreni liguri e epiliguri che costituiscono l'alto strutturale sono i più antichi affioranti nell'area presa in esame.



Scendendo ancora verso la pianura affiorano di nuovo terreni di età neogenico-quadernaria. Tali sedimenti appartenenti come detto alla sequenza del margine appenninico-padano comprendono depositi marini messiniani e pliocenici. Parte di questi sedimenti sono stati depositi sulle coltri liguri e epiliguri durante la loro traslazione verso nord est. La successione pedeappenninica presenta una giacitura monoclinale fortemente inclinata verso nord-nord est. Tale successione comprende la Formazione Gessoso-solfifera, i depositi argillosi del ciclo pliocenico inferiore e pliocenico medio-superiore, cui seguono, in trasgressione, depositi litorali e continentali sabbioso conglomeratici e in parte pelitici.

Da un punto di vista tettonico la strutturazione della catena appenninica nel settore bolognese si deve principalmente alle fasi deformative del Miocene superiore, Pliocene e Pleistocene. Tali fasi tettoniche hanno determinato la sovrapposizione delle unità liguri, epiliguri e plioceniche sulle formazioni di età post-Serravalliano della successione umbro-marchigiano-romagnola. Il sopraggiungere delle unità caotiche sul margine appenninico bolognese è datato al Pliocene medio – superiore – Pleistocene inferiore, mentre le principali fasi di traslazione sono datate al Pliocene inferiore e al Pliocene medio-superiore-Pleistocene inferiore. La coltre alloctona è sigillata dalle Sabbie Gialle (Formazione delle sabbie di Imola) e dalle alluvioni quadernarie.

Nell'area in esame il più interno dei sovrascorrimenti sepolti dai depositi alluvionali (archi padani) è localizzato a nord del centro storico, mentre il margine appenninico che separa l'area in sollevamento della catena da quella in subsidenza della pianura rappresenta una struttura secondaria ad esso coniugata (Elmi et al., 1994).

L'area di studio è caratterizzata da una notevole complessità strutturale. La maggior parte delle formazioni geologiche presenta contatti tettonici.

Le unità epiliguri sono deformate in una serie di sinclinali e anticlinali il cui elemento strutturale più significativo è rappresentato dall'anticlinale di S. Luca. Il fianco settentrionale dell'anticlinale di S. Luca è in parte ricoperto dai depositi pliocenico-quadernari che raccordano la fascia pedecollinare con la pianura. Il fianco meridionale dell'anticlinale poggia invece direttamente sulle unità liguri dell'alto strutturale Paderno-M. Calderaio. Le deformazioni delle unità epiliguri sono il frutto della traslazione verso nord-est della coltre ligure. Al piegamento si è sovrapposto un sistema di faglie e fratture di direzione antiappenninica.

Nell'alto strutturale di Paderno-M. Calderaio sono presenti terreni derivanti dalla tettonizzazione delle successioni liguri e dei corpi sedimentari derivanti dallo smembramento delle formazioni epiliguri sovrastanti. L'assetto tettonico è caratterizzato da potenti unità tettoniche impilate, come ben rappresentato dalla zona a scaglie tettoniche di M. Sabbiuno-Abbadessa.

Dell'ampia sinclinale asimmetrica che costituisce il bacino intrappenninico pliocenico affiora il fianco settentrionale, dove sono presenti limitati disturbi deformativi riconducibili a movimenti dislocativi della sottostante coltre alloctona.



Di seguito si riporta una breve descrizione delle unità geologiche presenti sul territorio collinare. Viene inoltre riportata la sigla di identificazione delle unità utilizzata nella cartografia geologica della RER in scala 1:10.000, e quella riportata nella tavola 1 "Schema geologico".

SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE APPENNINICO-PADANO

DEPOSITI MARINI E DI TRANSIZIONE

FORMAZIONE DELLE SABBIE DI IMOLA (IMO) – 1 -

La formazione delle Sabbie di Imola è costituita da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale o laguna costiera.

Contatto netto con discordanza angolare, che individua una superficie di discontinuità di carattere regionale. Anche il limite superiore è marcato da una discontinuità regionale che sovrappone i depositi quaternari continentali alle Sabbie di Imola.

Età: porzione basale del Pleistocene medio.

ARGILLE E MARNE DI RIOLO TERME (RIL) – 2 -

Argille marnose fossilifere parzialmente siltose, talora sabbiose, grigie, grigio-azzurre e talora grigio plumbeo, spesso a stratificazione poco o nulla evidente per bioturbazione e per scarsa differenziazione granulometrica. Localmente affiorano sottili livelli discontinui di biocalcareni fini o siltiti color giallo o ocra per alterazione. La parte alta della formazione è interessata da "slumps" non cartografabili.

Potenza di oltre 250 metri. Contatto trasgressivo netto in discontinuità su diverse formazioni.

Pliocene inf. - Pleistocene

SUCCESSIONE EVAPORITICA MESSINIANA

FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA (GES) – 3 -

Banchi di gessoareniti e gessoruditi o, più comunemente, come gesso selenitico con cristalli traslucidi geminati a "coda di rondine". Si intercalano ad argille siltose bituminose grigio scure o nerastre con bioclasti ed abbondanti frustoli carboniosi; si alternano a sottili livelli di siltiti fini grigio chiaro, con sabbia fine organogena alla base, passanti a marne siltose grigie laminate.



SUCCESSIONE EPILIGURE

FORMAZIONE DEI «GHIOLI DI LETTO» (GHL) – 4 -

Marne argillose, talora siltose, fossilifere, grigio-scure, localmente bituminose; la stratificazione è quasi sempre indefinita per scarsa classazione granulometrica e bioturbazione; strati sottili e sottilissimi; sporadici strati medi e sottili di arenarie gradate marroni o grigie, con granulometria media e grossolana, ricche in bioclasti e glauconite.

Spessore massimo di circa 50 metri.

Tortoniano superiore - Messiniano

GRUPPO DI BISMANTOVA

FORMAZIONE DI CIGARELLO (CIG) – 5 -

Marne siltoso - sabbiose, talora argillose, grigie o beige se alterate, bioturbate e fossilifere; presenti bioclasti e biosomi. La stratificazione è mal percepibile per bioturbazione e assenza di livelli grossolani; verso l'alto stratigrafico affiorano pacchi di strati arenacea - pelitici con rapporto inferiore ad uno e stratificazione tabulare, con locali disturbi sinsedimentari; quando aumenta il rapporto A/P si distingue la litofacies arenacea (**CIGa**) data da arenarie di origine torbidityca medio - fini e peliti grigio scure, in strati da spessi a sottili, spesso amalgamati. Potenza compresa tra 40 e 100 metri. Contatto inferiore graduale su ABI.

Serravalliano.

FORMAZIONE DI PANTANO (PAT)

Areniti siltose, fini e finissime, grigie (beige se alterate), e peliti marnose grigio-chiare; la stratificazione è poco marcata o mal percepibile per bioturbazione. Alla base talora affiorano areniti glauconitiche. Sono stati distinti 2 membri ed una litofacies. Presenti abbondanti bioclasti. Potenza di circa 500 metri. Contatto netto in discontinuità su CTG.

MEMBRO DI PANTANO (PAT4) – 6 -

Areniti ibride di colore grigio o più spesso giallastro per alterazione, da finissime a medie, in strati spessi e molto spessi. Si alternano sottili strati di arenaria finissima e siltiti marnose laminate. Nella parte bassa le arenarie contengono granuli millimetrici di glauconite.

Potenza di circa 500 metri. Contatto netto in discontinuità su CTG

Litozona arenacea (ABI4d) – 6a -

Areniti ibride di colore grigio o più spesso giallastro per alterazione, da finissime a medie, in strati spessi e molto spessi. Si alternano a sottili strati di arenaria finissima e siltiti marnose laminate. Nella parte bassa le arenarie contengono granuli millimetrici di glauconite.

Litozona arenaceo - pelitica (ABI4c) – 6b -



E' caratterizzata da un'alternanza tra arenarie e subordinate peliti; sono areniti fini e areniti siltoso-marnose bianco-giallastre in strati sottili cementati, intercalate a siltiti argilloso-marnose ben stratificate. Nella parte inferiore si inseriscono lenti di ABI4.

Burdigaliano sup.-Langhiano sup.

FORMAZIONE DI CONTIGNACO (CTG) – 7 -

Marne selcifere, più o meno siltose di colore grigio-verdognolo o grigio azzurro, in strati medi di solito poco marcati; si alternano strati arenitici biancastri, gradati, da medio-sottili a spessi con base netta. Verso il tetto della formazione diventano preponderanti a luoghi le areniti rispetto alle marne, con stratificazione tabulare. Verso il basso presenti arenarie vulcanoclastiche grigio- verdi, in strati torbiditici medi, gradati, con noduli di selce nera. Potenza compresa tra qualche decina di metri ed i 150 metri. Contatto sfumato per alternanza con ANT.

Burdigaliano

FORMAZIONE DI ANTOGNOLA (ANT) – 8 -

Marne argillose, marne siltose verdognole o grigie con patine mangesifere fossilifere. mal stratificate per scarsa classazione granulometrica e per bioturbazione. Di rado affiorano strati torbiditici sottili e medi di arenarie vulcanoclastiche. Presenti strati sottili e sottilissimi di cineriti biancastre alterate in giallo. Lo spessore del membro è di 150 metri circa.

MARNE DI MONTE PIANO (MMP) – 9 -

Argille ed argille marnose rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di feldspatoareniti risedimentate biancastre. La stratificazione è mal definibile, sia per gli intensi fenomeni plicativi e disgiuntivi che per fenomeni di franamento sottomarino. Potenza affiorante di qualche decina di metri. Sono inclusi nelle brecce a blocchi riferibili a FSC.

Eocene medio-sup.

FORMAZIONE DI LOIANO (LOI) – 10 -

Arenarie arcose risedimentate scarsamente cementate e subordinati conglomerati, in strati medi e banchi di colore biancastro o grigio chiaro (marrone chiaro se alterate) con "cogoli"; presenti localmente sottili intercalazioni di torbiditi sottili grigie o verdastre. La porzione basale dell'unità presenta "slump" intraformazionali di estensione limitata. Eocene medio

Litofacies arenaceo pelitica (LOI ap) - 10° -

Alternanza di arenarie e peliti con A/P =1 circa; stratificazione sottile o media. Sono frequenti livelli caotici di frana sottomarina intraformazionale.



LIGURIDI

SUCCESSIONE DELLA VAL ROSSENA

FORMAZIONE DI MONGHIDORO (MOH) – 11 -

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi, più raramente banchi, con rapporto A/P mal valutabile, generalmente intorno a 2/1 e localmente inferiore. Le arenarie sono gradate con base grossolana o microconglomeratica, da mediamente a poco cementate, di colore grigio scuro o marroni e giallastre per alterazione; si alternano ad argilliti più o meno siltose di colore nerastro. Nella parte stratigraficamente inferiore della unità si alternano rari strati sottili calcareo-marnosi con Fucoidi. Distinta la litofacies pelitico-arenacea (**MOH pa**) con rapporto A/P <1. Potenza geometrica di qualche centinaio di metri. Contatti tettonici.

Maastrichtiano sup.- Paleocene

FORMAZIONI PRE-FLYSCH

AVS ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA – 12 -

Argille e argille siltose grigio scure e nere con bande di argilliti rosse o verde-scuro, con sottili strati di arenarie e siltiti brune alterate; presenti marne verdi e grigie in blocchi. Frequenti i blocchi di calcilutiti grigio chiare silicee o biancastre in strati da sottili a spessi; talvolta presenti strati medi di marne biancastre. Potenza geometrica di circa 250 metri. Formazione estremamente tettonizzata fino a perdere alla mesoscala l'originario ordine stratigrafico. Contatti tettonici o incerti con le altre formazioni. Sono state distinte le seguenti litofacies:

Litofacies arenaceo -pelitica (AVSap) – 12 ap -

Alternanze arenaceo - pelitiche in strati sottili;

litofacies argilloso calcarea (AVS ac) – 12 ac -

Alternanze argilloso calcaree con argille nerastre fissili e calcari in strati da medi a grossolani, prevalentemente frammentati in blocchi (boudins) a causa del severo grado di tettonizzazione.

Litofacies calcareo marnosa costituita da calcari biancastri , marnosi al tetto, in strati spessi e molto spessi (AVSmc).

Litofacies delle breccie argillose (AVSb) – 12 b -

Corpo di colata grigio scuro, posto al tetto della formazione con blocchi o frammenti di SCB e AVS.

Creta inf.-Eocene medio

ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB) – 13 -

Arenarie in strati da molto sottili a medi, talora gradate, con granulometria da fine a finissima, di colore grigio (beige o rossastro se alterate); si alternano a peliti ed argille marnose grigio scuro; rapporto arenaria-pelite inferiore ad uno. Presenza saltuaria di successioni preservate costituite da calcilutiti



marnose verdi o biancastre in strati da sottili a spessi ed intercalazioni di argilliti rosso scuro e verdi. Potenza geometrica di circa 100 metri..

Cenomaniano-Campaniano inf.

MELANGES – 14 –

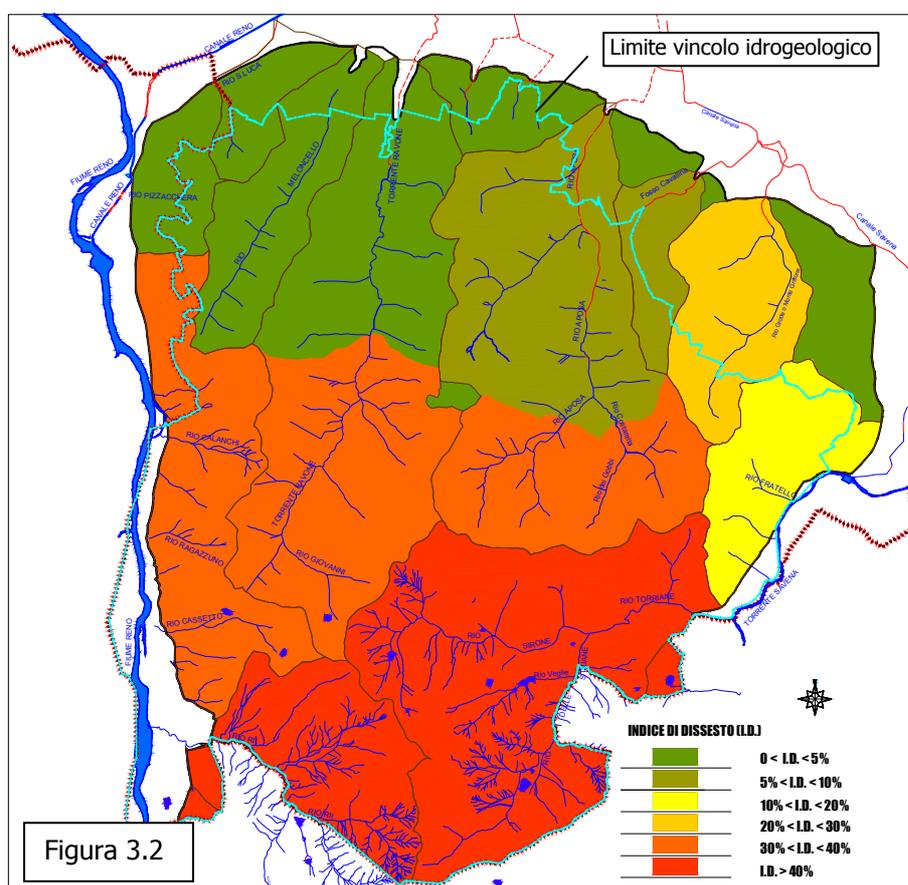
Corpi rocciosi costituiti da breccie in matrice argillosa caratterizzati da intensa fratturazione e aspetto caotico. Rappresentano accumuli di frana sottomarina provenienti dal fronte della coltre ligure.

3.1.1 ANALISI DEL DISSESTO

L'analisi geomorfologica eseguita, i cui risultati sono riportati nelle tavole da 3.1 a 3.7, mostra abbastanza chiaramente come la zona collinare sia suddivisibile in due porzioni distinte. La prima settentrionale caratterizzata da buona stabilità mentre quella meridionale presenta un elevato grado di franosità. Ciò è dovuto sia a fattori intrinseci e fissi non modificabili, quali la costituzione geologica e la configurazione topografica (cioè la pendenza del terreno) e sia da fattori variabili nel tempo, quali le condizioni climatiche e la copertura vegetale. Le rocce presenti in tale area sono a base prevalentemente argillosa, fatto che in un clima di tipo mediterraneo determina condizioni particolarmente favorevoli a fenomeni erosivi e gravitativi.

Le formazioni geologiche esistenti a Nord sono caratterizzate dalla presenza di litotipi prevalentemente resistenti, mentre a Sud affiorano terreni prevalentemente costituiti da ammassi argillosi di varia natura e provenienza, che sono coinvolti in dissesti frequenti ed estesi e quindi da considerarsi ad alto rischio idrogeologico. Si tratta di terreni praticamente impermeabili e pertanto le acque meteoriche, defluendo quasi completamente in superficie, hanno un'elevata capacità erosiva determinando tra l'altro la formazione di estese aree calanchive.

Va sottolineato che i fenomeni gravitativi si verificano soprattutto in





aree in cui la copertura vegetazionale è scarsa o assente, o in cui non viene svolta un'adeguata e costante opera di manutenzione del territorio.

E' stata eseguita un approfondimento specifico sul tema del dissesto dell'area collinare, determinando un indice territoriale di dissesto (I.D.) che esprime la percentuale delle aree in dissesto, ricomprendendo le frane attive, quiescenti e le aree calanchive, i cui risultati sono riportati nella fig. 3.2 e sulla tavola 4.

Tal analisi evidenziano come il settore settentrionale presenti mediamente bassi valori dell'indice di dissesto di solito inferiori al 10%, ad esclusione del bacino del Rio Grotte nel quale si raggiungono valori compresi tra il 20 e il 30%, in relazione all'estensione di movimenti gravitativi quiescenti che interessano i versanti caratterizzati da una spessa copertura detritica.

Nella porzione meridionale della collina, nella quale trovano ampio spazio le aree calanchive, l'indice di dissesto risulta elevato, superando il 40% in corrispondenza dei bacini del Rio Torriane e suoi affluenti e del Rio Rii. Il numero tale di frane attive e quiescenti individuate sono risultate pari rispettivamente a 222 e 236 occupando una superficie (Tab. 3.1 e Fig. 3.3) pari a circa il 16% dell'area collinare che raggiunge il 23% se consideriamo anche le aree calanchive.

Tabella 3.1

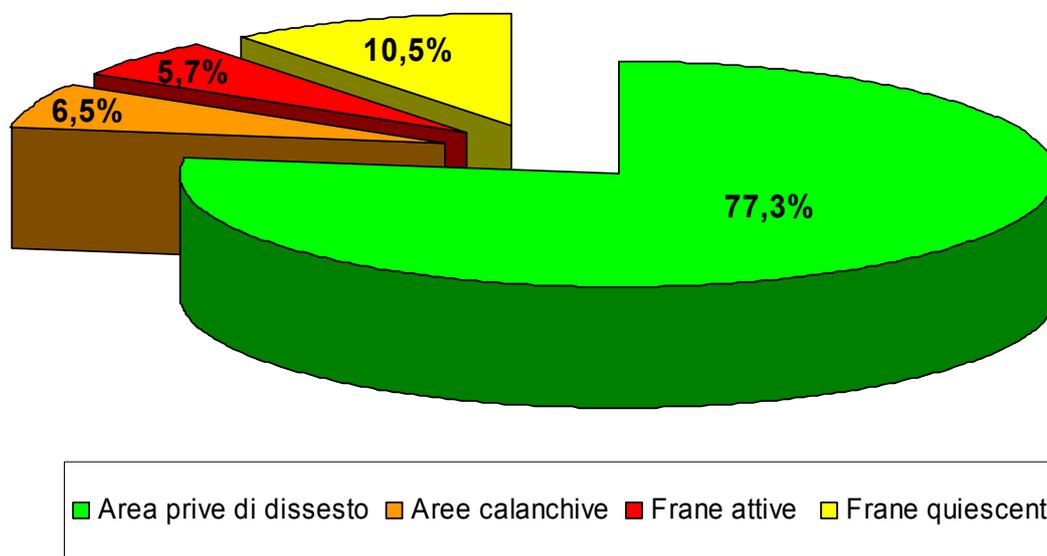
	Superfici Kmq	Percentuali %
Zona collinare	36,5	100%
Area prive di dissesto	28,2	77,26%
Aree calanchive	2,4	6,58%
Frane attive	2,1	5,75%
Frane quiescenti	3,8	10,41%
Area totale in dissesto	8,3	22,7%

	Superfici Kmq	Percentuali %
Superficie Comunale	140,85	100%
Superficie totale in dissesto	8,30	5,9%



Franosità dell'area collinare del Comune di Bologna

Figura 3.3



Per i bacini collinari ricompresi sul territorio comunale si è eseguita un'analisi del dissesto, mirata al calcolo dell'indice di dissesto (I.D.), determinando inoltre il numero di movimenti franosi quiescenti e attivi esclusi quelli presenti su aree calanchive, classificate separatamente.

Di seguito sono sinteticamente descritti i risultati per i singoli bacini analizzati e riassunti nelle schede nel paragrafo 3.1.3.

Rio Meloncello: Il bacino è caratterizzato da una bassissima franosità, e sono presenti tre sole frane di cui due attive (di ridotte dimensioni) ed una quiescente, che complessivamente coprono circa il 2% della superficie totale.

Torrente Ravone: Il bacino è caratterizzato da un marcato cambiamento dei fenomeni di dissesto procedendo da Nord a Sud con un limite che attraversa i toponimi Chiesa di Casaglia, Torretto e Villa le Querce. L'indice di franosità della zona a nord risulta pari a 2.89% contro il 32.61% della zona Sud. Non sono presenti zone calanchive. Vi sono in totale 46 frane attive e 25 frane quiescenti. L'indice di dissesto medio dell'intero bacino è pari a 19.37% (8% frane attive, 11% frane quiescenti).

Rio Aposa: anche in questo bacino si ha una separazione netta con andamento Nord-Sud. Il limite di passaggio tra i due comparti a differente franosità attraversa i toponimi C. Scanello, C.le le Caselle, Lavanda e Villa la Ridonda. Sono state individuate 23 frane attive e 60 frane quiescenti. L'indice di franosità dell'intero bacino è del 20.13% (4% frane attive, 16% frane quiescenti) mentre prendendo in considerazione i due settori si vede come a Nord sia del 10.55% contro quella Sud del 37.56%.



Rio Grotte: bacino con una franosità media del 28.79%, i fenomeni franosi sono per la maggior parte quiescenti (in numero di 23 frane corrispondenti al 27% dell'area totale), mentre le frane individuate come attive risultano solo 3 (2% dell'area totale).

Rio Torriane: questo bacino ricade in una zona di alta franosità con ben il 42.13% della superficie interessata da fenomeni franosi e calanchivi. Il numero di frane attive è di 61 che coprono il 5% della superficie del bacino, contro 40 frane quiescenti che coprono il 9% della superficie del bacino. I calanchi sono molto estesi interessando il 28% della superficie del bacino.

Rio Rii: bacino ad alta franosità, l'indice di franosità territoriale è del 41.33 % con 48 frane attive (14% dell'area del bacino) e 28 frane quiescenti (8% dell'area del bacino), prevalgono, anche in questo caso, i fenomeni calanchivi con una superficie del 19% su quella dell'intero bacino.

Nelle figure seguenti (Fig. 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7) sono comparati i risultati dei calcoli eseguiti.

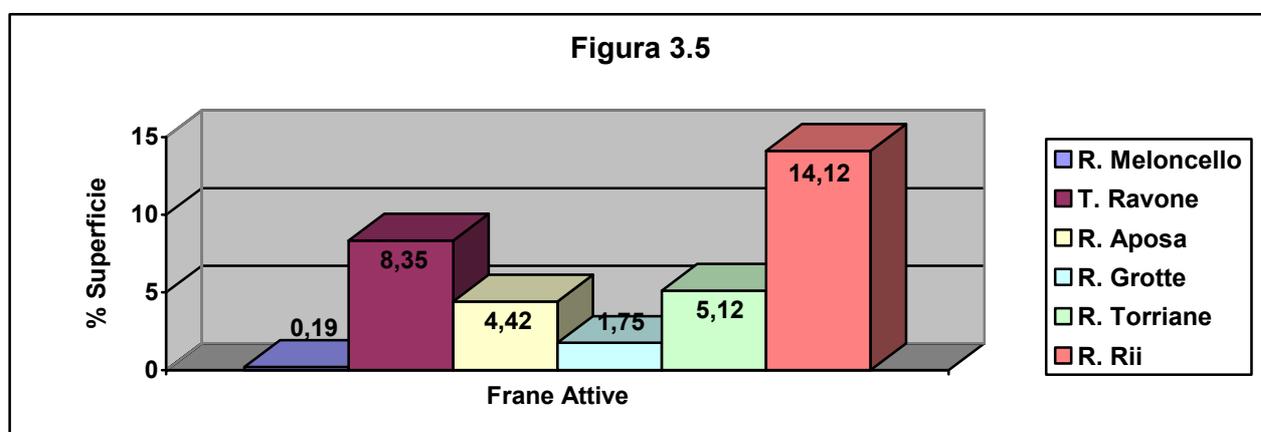
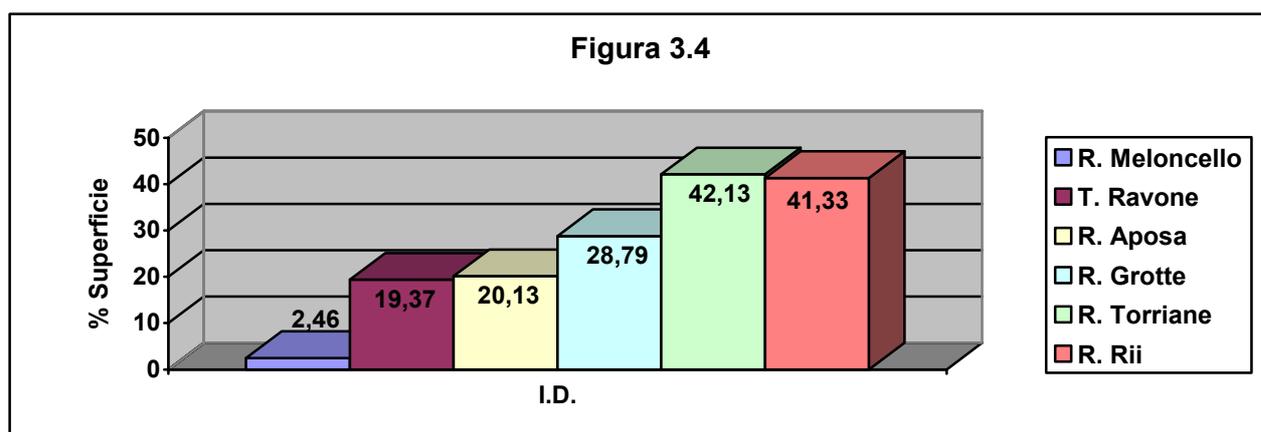




Figura 3.6

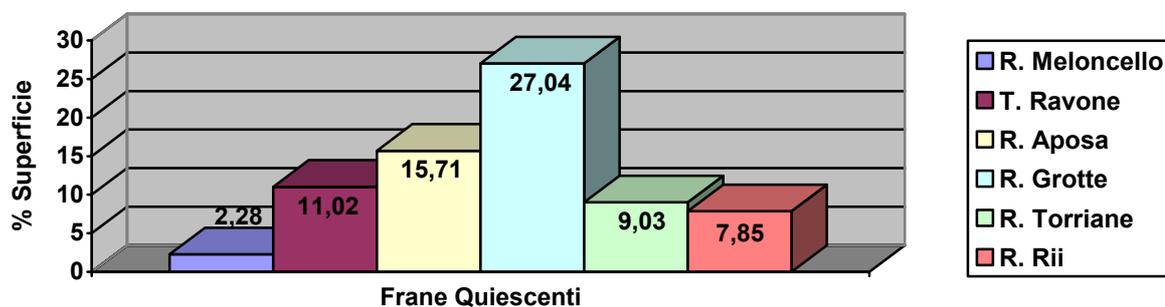
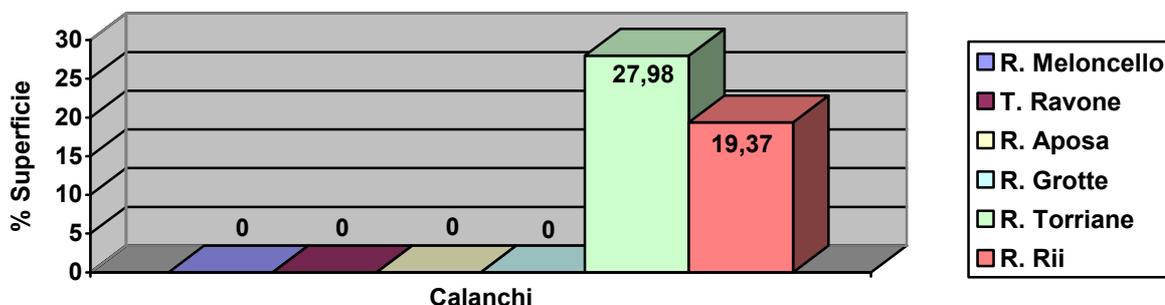


Figura 3.7



3.1.2 ANALISI GEOMORFICA QUANTITATIVA DEI PRINCIPALI BACINI COLLINARI

Per i principali bacini collinari ricompresi sul territorio del Comune (Rio Meloncello, Torrente Ravone, Torrente Aposa, Rio Grotte, Rio Torriane e Rio dei Rii) si è eseguita un'analisi geomorfica al fine di ricavare indici quantitativi che possono descrivere con immediatezza le forme del paesaggio e i meccanismi di formazione del deflusso superficiale.

L'analisi morfometrica ha preso in considerazione le proprietà lineari e areali dei singoli bacini calcolando i seguenti parametri; riportate nelle schede riassuntive nel paragrafo 3.1.2

a) **Ordine gerarchico (ν).**

La gerarchizzazione dei corsi d'acqua si è ottenuta suddividendo il reticolo idrografico in singoli segmenti secondo un ordine (ν) e classificando ogni ramo naturale di prima formazione (aventi come estremi i punti sorgente) senza affluenti come elemento di primo ordine (sistema di Horton-Strahler). Dalla confluenza di due segmenti di 1° ordine si origina un'asta fluviale di 2° ordine, dalla confluenza di due segmenti di 2° ordine si ottiene un elemento di 3° ordine e così via. Secondo questo tipo di gerarchizzazione il corso d'acqua principale di un bacino presenta il numero d'ordine



più alto di tutto il reticolo fluviale. Un segmento di ordine u che confluisce con un segmento di ordine maggiore o uguale a $u+2$ viene denominato anomalo. L'analisi eseguita ha fornito i seguenti risultati.

Corso d'acqua	Ordine gerarchico (u)
Rio Meloncello	2°
Torrente Ravone	3°
Torrente Aposa	4°
Rio Grotte	2°
Rio Torriane	5°
Rio Rii	5°

b) Area del bacino (A)

Corso d'acqua	Area del bacino (A)
Rio Meloncello	1,94 km ²
Torrente Ravone	6,97 km ²
Torrente Aposa	6,47 km ²
Rio Grotte	1,41 km ²
Rio Torriane	6,74 km ²
Rio Rii	4,48 km ²

c) Perimetro (P)

d) Lunghezza del corso d'acqua principale

Corso d'acqua	Lunghezza corso d'acqua principale
Rio Meloncello	3,15 km
Torrente Ravone	5,74 km
Torrente Aposa	4,65 km
Rio Grotte	2,50 km
Rio Torriane	5,83 km
Rio Rii	4,24 km

e) Lunghezza totale

$$L_{tot} = \sum_{u=1}^u L_u$$

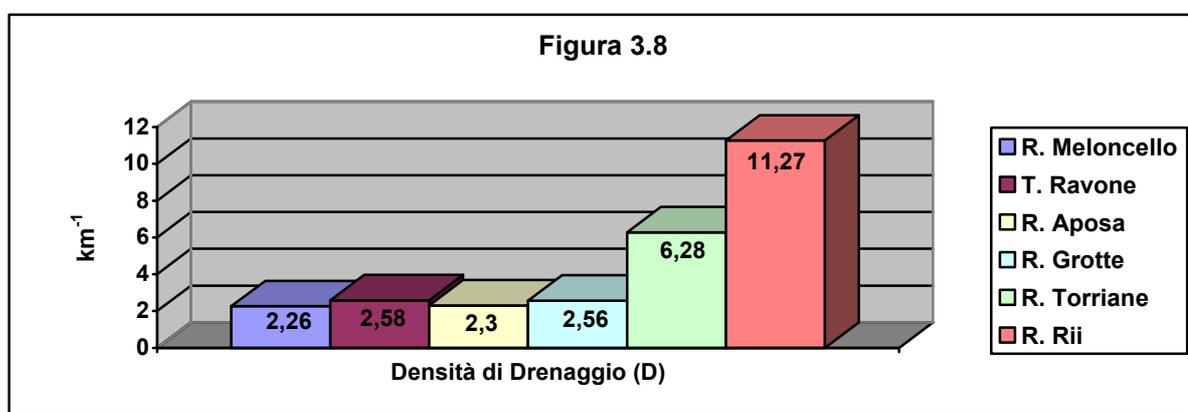
f) Densità di drenaggio (D); è uno dei parametri morfometrici più significativi ed è inversamente proporzionale alla permeabilità dei terreni affioranti e direttamente proporzionale all'erosibilità degli stessi, su terreni impermeabili ha quindi valori generalmente molto alti poiché su essi il reticolo idrografico si presenta molto ramificato e, viceversa molto contenuti per le aree in cui ricadono terreni permeabili. La densità di drenaggio diminuisce poi all'aumentare del grado di copertura vegetale del bacino idrografico, perché il processo di infiltrazione nel suolo risulta favorevole rispetto al deflusso superficiale ed il reticolo idrografico si presenta meno ramificato. E' inoltre un indicatore dello stadio evolutivo della rete idrografica, dato che i fenomeni di erosione e trasporto che avvengono sia all'interno dei canali fluviali sia sui versanti condizionano lo sviluppo planimetrico



dei canali stessi. Il suo valore viene definito da Horton (1945) come il rapporto tra le lunghezze delle aste fluviali di un bacino e l'area di quest'ultimo.

$$D = \frac{\sum L_{tot}}{A} \quad (\text{Horton, 1945})$$

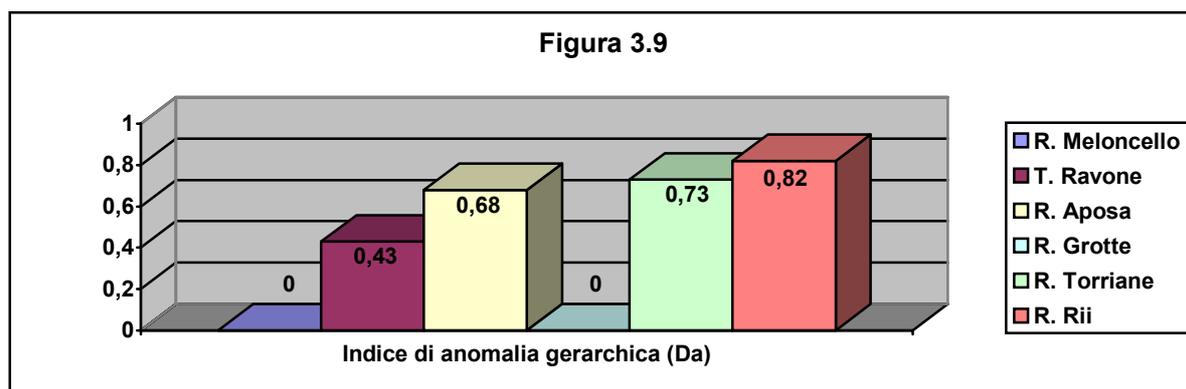
I risultati delle elaborazioni eseguite (Fig. 3.8) indicano che le densità di drenaggio più elevate caratterizzano il Rio Torriane e Rio Rii, che risultano infatti quelli impostati prevalentemente su litotipi argillosi e nei quali hanno ampio sviluppo le aree calanchive e quindi soggette a denudazione e con scarsa copertura vegetale.



- g) Anomalia gerarchica (G_a); definita come il numero dei segmenti di primo ordine necessari per far diventare il reticolo idrografico perfettamente gerarchizzato direttamente collegata all'Indice di anomalia gerarchica (D_a) che rappresenta il rapporto tra G_a e il numero di segmenti di 1° ordine.

$$D_a = \frac{G_a}{(n. \text{ di segmenti di } 1^\circ \text{ ordine})}$$

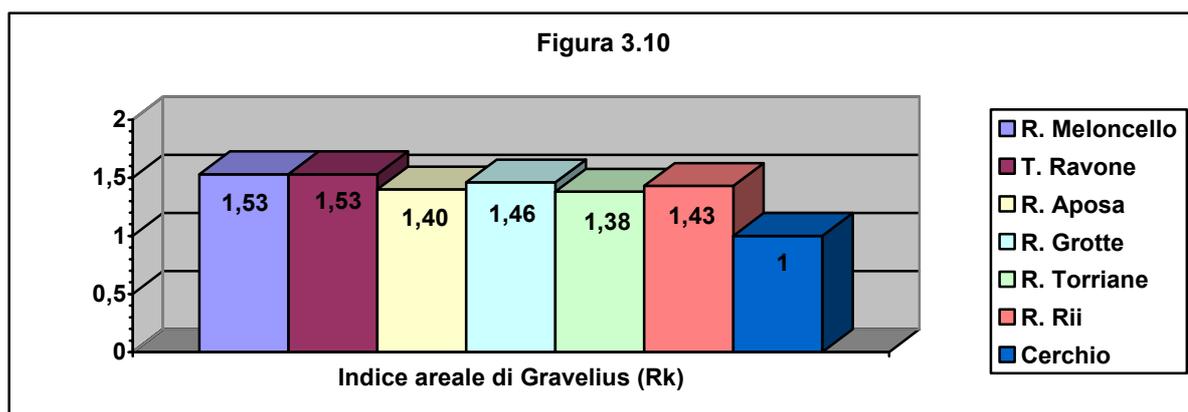
Valori bassi si riscontrano in bacini con una buona organizzazione gerarchica (Fig. 3.9) mentre valori alti sono caratteristici di bacini con terreni argillosi, scarsa copertura vegetale ed un intensa attività tettonica. Anche in questo caso i valori più elevati si rilevano per i bacini idrografici del Rio Torriane e Rio Rii soprattutto in relazione alle caratteristiche litologiche del substrato.



- h) Indice areale di Gravelius o di compattezza del bacino (R_k); rappresenta una proprietà areale dei bacini idrografici utilizzato per caratterizzare la forma di un bacino, mettendo a confronto il bacino reale con un cerchio di pari superficie o perimetro. I valori sono tanto più grandi dell'unità quanto più la forma del bacino è allungata mentre sono tanto più prossimi all'unità quanto più raccolta o rotondeggiante è la forma del bacino.

$$R_k = \frac{0,28P}{\sqrt{A}}$$

I risultati ottenuti per i diversi bacini analizzati (Fig. 3.10) risultano particolarmente uniformi evidenziando quindi bacini con caratteristiche geometriche simili e forma allungata.



- i) Per i bacini analizzati sono stati calcolati i seguenti parametri analitici descrittivi delle strutture geometriche e dell'organizzazione gerarchica dei reticoli idrografici.
- Numero segmenti non anomali (N_{du})
 - Rapporto di biforcazione (R_b); è una grandezza priva di dimensioni. Valori normali sono compresi tra 3 e 5, valori superiori a 5 si incontrano generalmente in terreni impermeabili o in zone in cui la tettonica è particolarmente attiva.



$$R_b = \frac{N_u}{N_{(u+1)}}$$

Il rapporto di biforcazione medio $\overline{R_b}$, rappresentativo dell'intero bacino, è la media dei rapporti di biforcazione dei segmenti di differente ordine u che costituiscono il reticolo idrografico del bacino in esame. Per i bacini analizzati sono stati ottenuti i seguenti valori.

Corso d'acqua	Rapporto di biforcazione (R_b)
Rio Meloncello	Non significativo
Torrente Ravone	4,3
Torrente Aposa	3,7
Rio Grotte	4,0
Rio Torriane	3,9
Rio Rii	4,11

- Rapporto di biforcazione diretta (R_{bd}); indica il rapporto fra il numero di aste di un dato ordine che influiscono direttamente in quelle di ordine successivo.

$$R_{bd} = \frac{N_{du}}{N_{(u+1)}}$$

il limite inferiore teorico è di 2 mentre quello superiore è uguale a R_b ($R_{bd} \leq R_b$). Anche questo rapporto, come R_b , serve per valutare quantitativamente la gerarchizzazione di un bacino. Per i bacini analizzati sono stati ottenuti i seguenti valori.

Corso d'acqua	Rapporto di biforcazione diretta (R_{bd})
Rio Meloncello	Non significativo
Torrente Ravone	2,4
Torrente Aposa	2,86
Rio Grotte	4,0
Rio Torriane	2,83
Rio Rii	3,40

- Indice di biforcazione (R); Esprime la differenza tra R_b e R_{bd} . Valori normali ricadono tra 0,2 e 2, quando $R = 0$ e $R_{bd} = R_b = 2$ si ha un caso limite che indica la massima gerarchizzazione accompagnata dalla massima conservabilità (Avena et al., 1967; Ciccacci et al., 1980; Melton, 1957). Essendo strettamente connesso alla presenza di influenze gerarchicamente anomale, generalmente numerose negli stadi iniziali di evoluzione di un



bacino, l'indice di biforcazione può dare utili informazioni ai fini di una valutazione quantitativa dell'evoluzione stessa dei reticoli.

$$R = R_b - R_{bd}$$

Per i bacini analizzati sono stati ottenuti i seguenti valori.

Corso d'acqua	Indice di biforcazione (R)
Rio Meloncello	0
Torrente Ravone	1,86
Torrente Aposa	0,79
Rio Grotte	0
Rio Torriane	1,06
Rio Rii	0,76

- Lunghezza media dei segmenti di ordine u

$$\bar{L}_u = \frac{\sum L_u}{N_u}$$

- Lunghezza media cumulativa

$$\bar{L}_u^* = \sum_{u=1}^u \bar{L}_u$$

- Rapporto di lunghezza

$$R_L = \frac{\bar{L}_{u+1}}{\bar{L}_u}$$

- j) Deflusso torbido unitario medio annuo (T_u).

Tale parametro fornisce un indice dell'intensità dei processi erosivi fluviali (grado di erodibilità delle rocce). Il T_u è la quantità di materiale trasportato in sospensione, non considerando il materiale trasportato per trascinamento sul fondo e in soluzione, in un dato intervallo di tempo (anno) per unità di superficie del bacino (km^2). Essendo un valore riferito ad un unità di



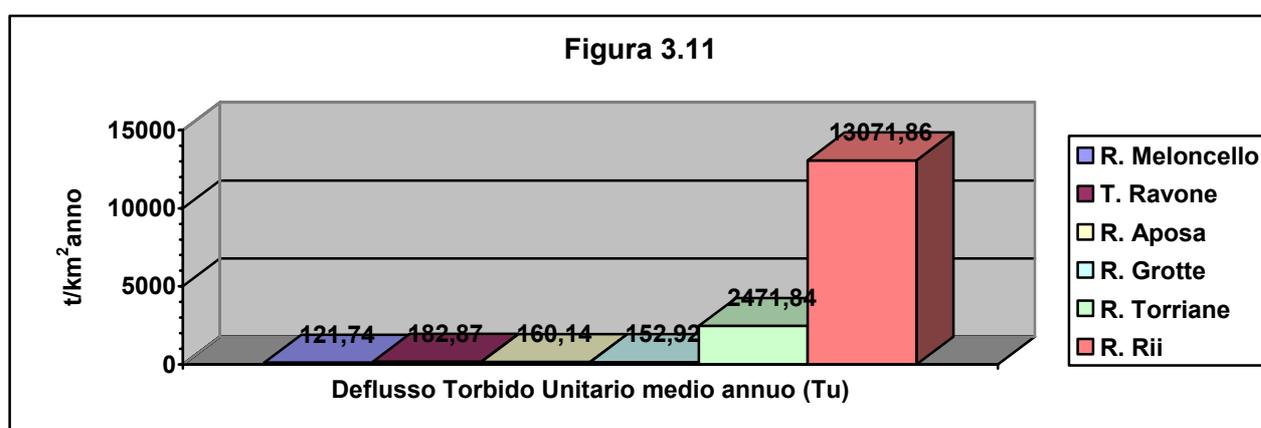
superficie e quindi indipendente dall'ampiezza totale del bacino, permette di fare confronti tra bacini di diversa estensione. Il calcolo è stato eseguito utilizzando la formulazione di Ciccacci et al. (1980), che prevede l'utilizzo per bacini con densità di drenaggio inferiore a 6 della seguente formula:

$$\log T_u = 0.33479D + 0.15733D_a + 1.32888$$

mentre per bacini con densità di drenaggio che supera il valore di 6 la formula utilizzata è stata la seguente:

$$\log T_u = 2.79687 \log D + 0.13985D_a + 1.05954$$

I risultati dei calcoli (Fig. 3.11) mostrano come valori modesti di TU si riscontrano per bacini in cui dominano litotipi più resistenti ai processi di denudazione per dilavamento (calcereo marnosi e arenaceo-marnoso-pelitici), mentre valori elevati riguardano bacini impostati su terreni argillosi in cui i processi erosivi sono determinati fondamentalmente da processi di dilavamento diffuso e intensa erosione calanchiva.



Sulla base dei risultati complessivi vengono descritti di seguito i caratteri morfometrici dei bacini idrografici analizzati (R. Meloncello, T. Ravone, T. Aposa, R. Grotte, R. Torriane e R. Rii), riassunti nelle schede riportate di seguito che contengono tra l'altro un'analisi del dissesto.

Rio Meloncello: bacino poco esteso, ha un'area di soli 1,94 km² ed una lunghezza totale di 4,38 km (la lunghezza del corso d'acqua principale è di 3,15 km). La densità di drenaggio è di 2,26 km⁻¹, valore che indica la presenza di terreni più permeabili e meno erodibili rispetto ai bacini del settore meridionale. L'indice areale di Gravelius è di 1,53 e siamo quindi di fronte ad un bacino che si sviluppa



più che altro longitudinalmente e di forma quindi allungata. Il T_u di 121,74 t/km²anno conferma la bassa erodibilità delle rocce che costituiscono il substrato geologico del bacino.

Torrente Ravone: bacino esteso, con un area di 6,97 km² ed una lunghezza totale di 18,01 km (la lunghezza del corso d'acqua principale è di 5,74 km). La densità di drenaggio è di 2,58 km⁻¹, valore che indica, come nel caso precedente, la presenza di terreni più permeabili e meno erodibili rispetto ai bacini del settore settentrionale. L'indice di anomalia gerarchica è di 0,43 che indica una buona organizzazione. L'indice di Gravelius è di 1,53 siamo quindi di fronte ad un bacino che si sviluppa più che altro longitudinalmente e di forma allungata. Il T_u di 182,87 t/km²anno conferma la bassa erodibilità delle rocce affioranti in questo bacino.

Rio Aposa: bacino esteso, con un area di 6,47 km² ed una lunghezza totale di 14,87 km (la lunghezza del corso d'acqua principale è di 4,65 km). La densità di drenaggio è di 2,30 km⁻¹, anche qui siamo in presenza di terreni più permeabili e meno erodibili rispetto ai bacini del settore settentrionale. L'indice di anomalia gerarchica è di 0,68 che indica una media organizzazione del reticolo. L'indice di Gravelius di 1,40 ci mostra che questo, tra tutti i bacini analizzati, è quello più prossimo alla circonferenza. Il T_u di 160,14 t/km²anno evidenzia come anche qui vi sia la presenza di litotipi a bassa erodibilità.

Rio Grotte: è il bacino meno esteso tra quelli analizzati con appena 1,41 km² di area ed una lunghezza totale di 3,60 km (la lunghezza del corso d'acqua principale è di 2,50 km). La densità di drenaggio è di 2,56 km⁻¹. L'indice di Gravelius di 1,46 mette in evidenza una forma allungata longitudinalmente e meno sviluppata verso una circonferenza. Il T_u di 152,92 t/km²anno si accosta ai valori dei bacini adiacenti e anche qui mostra la presenza di litologie a bassa erodibilità.

Rio Torriane: è uno dei bacini più estesi tra quelli analizzati con 6,74 km² di area ed una lunghezza totale di 42,32 km (la lunghezza del corso d'acqua principale è di 5,83 km). In questo caso si è in presenza di un bacino formato da due sottobacini di grandi dimensioni; il Rio Sirone (lungo 4,28 km) ed il Rio delle Striane (lungo 2,97 km). I dati riportati sono quindi la media dei due bacini di ordine inferiore. Dall'immagine presente nella scheda è immediatamente evidente come la gerarchizzazione del Rio delle Striane sia maggiore di quella del Rio Sirone. La "media" densità di drenaggio è di 6,58 km⁻¹, valore che indica la presenza di terreni poco permeabili e molto erodibili, si nota qui un netto cambiamento litologico rispetto ai bacini del settore settentrionale. L'indice di anomalia gerarchica è di 0,73 che indica una medio/bassa organizzazione del reticolo. L'indice di Gravelius è di 1,36. Il T_u di 2.471,84 t/km²anno conferma un cambiamento litologico, già mostrato dal valore della densità di drenaggio (D), verso rocce più erodibili.

Rio Rii: ha un bacino esteso, l'area è di 4,48 km² la lunghezza totale di 50,48 km (la lunghezza del corso d'acqua principale è di 4,24 km). La densità di drenaggio di 11,27 km⁻¹ è la più alta tra tutti i



bacini analizzati, indica la presenza di terreni poco permeabili e molto erodibili, qui è ancora più evidente un netto cambiamento litologico rispetto ai bacini del settore settentrionale. L'indice di anomalia gerarchica di 0,82 mostra una bassa organizzazione del reticolo presente in bacini posti su litotipi argillosi e/o calanchivi. L'indice di Gravelius di 1,43 mette in evidenza una forma sicuramente meno allungata del bacino ma ancora lontana da quella della circonferenza. Il T_u di 13.071,86 t/km²anno conferma la presenza di litologie più erodibili, dato supportato dall'indice di anomalia gerarchica e dalla densità di drenaggio.

3.1.3 SCHEDE ANALISI GEOMORFICA QUANTITATIVA DEI PRINCIPALI BACINI COLLINARI

Di seguito sono riassunti in apposite schede le caratteristiche dei seguenti bacini idrografici:

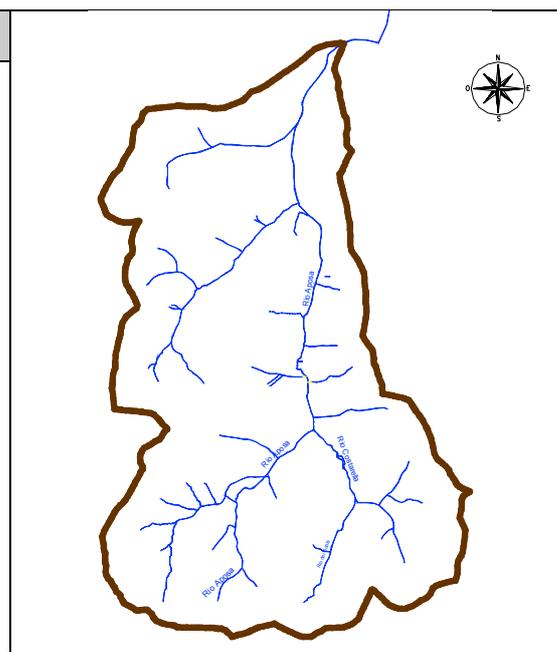
- RIO APOSA
- TORRENTE RAVONE
- RIO MELONCELLO
- RIO GROTTI
- RIO TORRIANE
- RIO RII



Rio Aposa

Caratteristiche morfometriche

Area	6,47 km ²
Lunghezza totale	14,87 km
Densità di drenaggio (D)	2,30 km ⁻¹
Lunghezza del corso d'acqua principale	4,65 km
Anomalia gerarchica (Ga)	27
Indice di anomalia gerarchica (Da)	0,68
Perimetro	12,76 km
Indice areale di Gravelius (Rk)	1,40
Tu	160,14 t/km ² anno



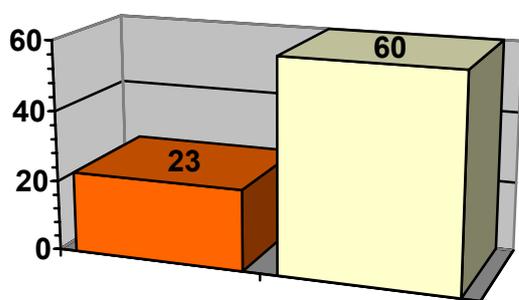
Ordine u	N _u	N _{du}	R _b	R _{bd}	R = R _b - R _{bd}	L _u [m]	L _u * [m]	R _L
1	40	30				216,95		
2	11	9	3,64	2,73	0,91	313,47	530,42	1,44
3	3	3	3,67	3,00	0,67	913,42	1443,84	2,91
4	1					2962,55	4406,39	3,24
media			3,65	2,86	0,79			

Franosità sul territorio Comunale

N° frane accertate (attive)	23
N° frane accertate (quiescenti)	60
Area frane (km ²)	1,30
Area zone calanchive (km ²)	0,00
Area totale (km ²)	1,30
Franosità (%)	20,13

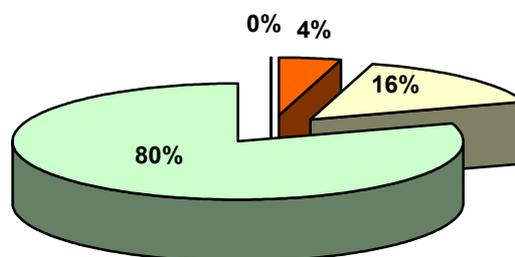
N_u: numero segmenti di ordine u
 N_{du}: numero segmenti non anomali di ordine u
 R_b: rapporto di biforcazione
 R_{bd}: rapporto di biforcazione diretta
 R: indice di biforcazione
 L_u: lunghezza media dei segmenti di ordine u
 L_u*: lunghezza media cumulativa ($\sum_{u=1}^u L_u$)
 R_L: rapporto di lunghezza L_u/L_{u-1} (Horton, 1945)

NUMERO FRANE



■ Frane Attive
 □ Frane Quiescenti

FRANOSITA' DEL BACINO IDROGRAFICO



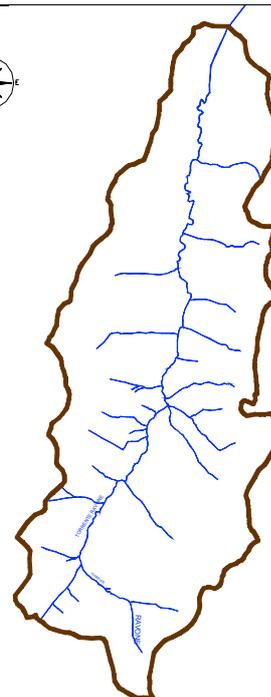
■ Calanchi
 ■ Frane Attive
 ■ Frane Quiescenti
 ■ Area non in dissesto



Torrente Ravone

Caratteristiche morfometriche

Area	6,97 km ²
Lunghezza totale	18,01 km
Densità di drenaggio (D)	2,58 km ⁻¹
Lunghezza del corso d'acqua principale	5,74 km
Anomalia gerarchica (Ga)	13
Indice di anomalia gerarchica (Da)	0,43
Perimetro	14,43 km
Indice areale di Gravelius (Rk)	1,53
Tu	182,87 t/km ² anno



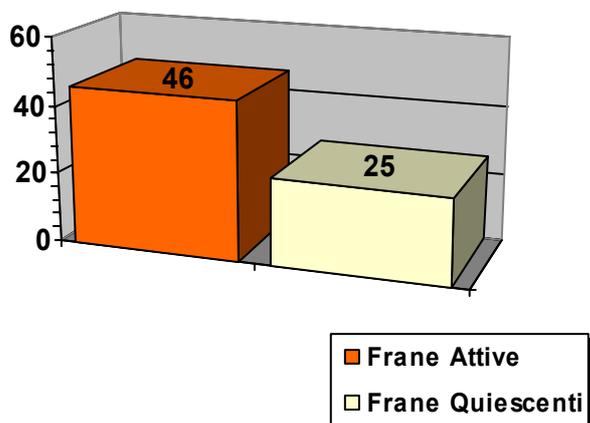
Ordine u	N _u	N _{du}	R _b	R _{bd}	R = R _b - R _{bd}	L _u [m]	L _u * [m]	R _L
1	30	17				342,84		
2	7	7	4,29	2,43	1,86	341,09	683,93	0,99
3	1					5339,70	6023,63	15,65
/								

Franosità sul territorio Comunale

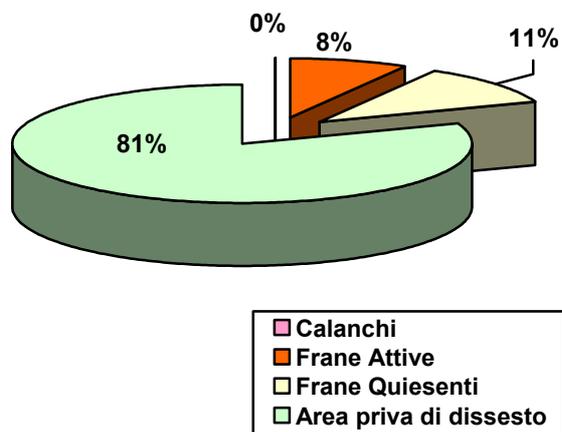
N° frane accertate (attive)	46
N° frane acc. (quiescenti)	25
Area frane (km ²)	1,36
Area zone calanchive (km ²)	0,00
Area totale (km ²)	1,36
Franosità (%)	19,37

N_u: numero segmenti di ordine u
 N_{du}: numero segmenti non anomali di ordine u
 R_b: rapporto di biforcazione
 R_{bd}: rapporto di biforcazione diretta
 R: indice di biforcazione
 L_u: lunghezza media dei segmenti di ordine u
 L_u*: lunghezza media cumulativa ($\sum_{u=1}^u L_u$)
 R_L: rapporto di lunghezza L_u/L_{u-1} (Horton, 1945)

NUMERO FRANE



FRANOSITA' DEL BACINO IDROGRAFICO

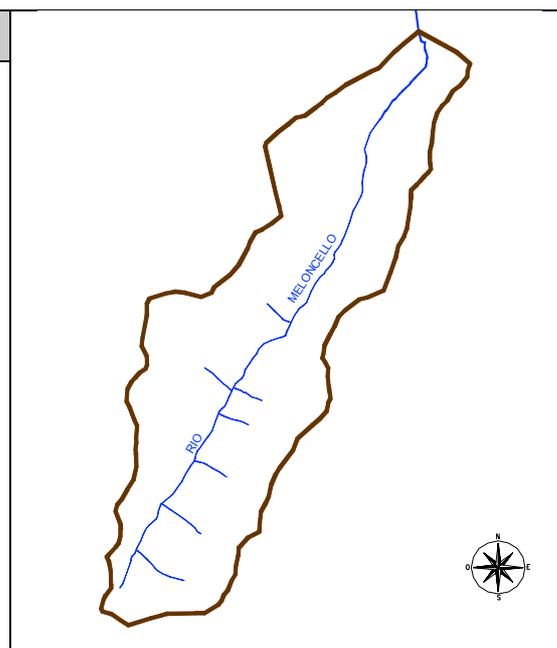




Rio Meloncello

Caratteristiche morfometriche

Area	1,94 km ²
Lunghezza totale	4,38 km
Densità di drenaggio (D)	2,26 km ⁻¹
Lunghezza del corso d'acqua principale	3,15 km
Anomalia gerarchica (Ga)	0
Indice di anomalia gerarchica (Da)	0,00
Perimetro	7,60 km
Indice areale di Gravelius (Rk)	1,53
Tu	121,74 t/km ² anno



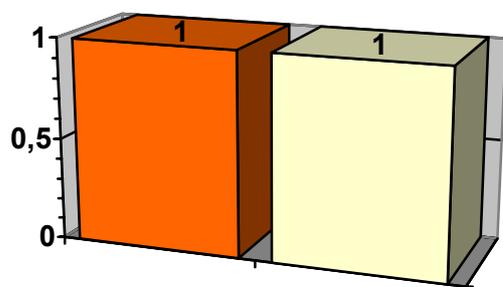
Ordine u	N _u	N _{du}	R _b	R _{bd}	R = R _b - R _{bd}	L _u [m]	L _u * [m]	R _L
1	6	6				237,99		
2	1		6,00	6,00	0,00	2951,96	3189,95	12,40
/								
/								
/								

Franosità sul territorio Comunale

N° frane accertate (attive)	1
N° frane accertate (quiescenti)	1
Area frane (km ²)	0,05
Area zone calanchive (km ²)	0
Area totale (km ²)	0,05
Franosità (%)	2,46

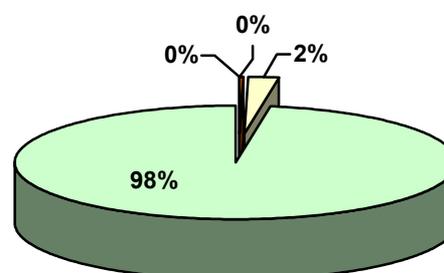
N_u: numero segmenti di ordine u
 N_{du}: numero segmenti non anomali di ordine u
 R_b: rapporto di biforcazione
 R_{bd}: rapporto di biforcazione diretta
 R: indice di biforcazione
 L_u: lunghezza media dei segmenti di ordine u
 L_u*: lunghezza media cumulativa ($\sum_{u=1}^u L_u$)
 R_L: rapporto di lunghezza L_u/L_{u-1} (Horton, 1945)

NUMERO FRANE



■ Frane Attive
 □ Frane Quiescenti

FRANOSITA' DEL BACINO IDROGRAFICO



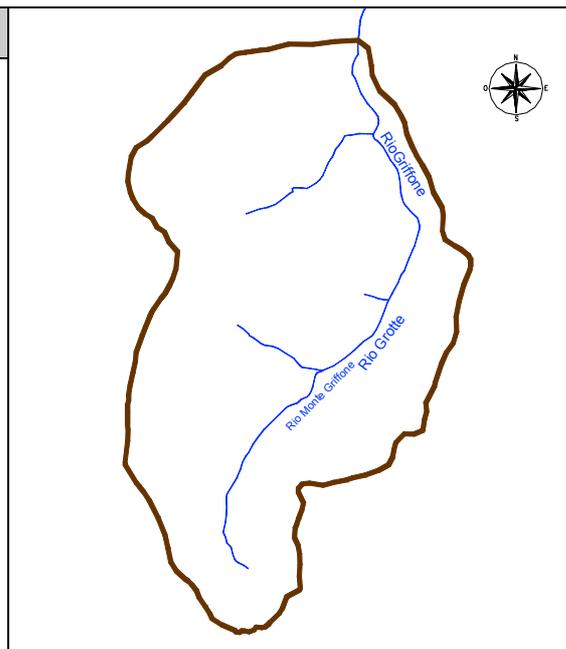
■ Calanchi
 ■ Frane Attive
 □ Frane Quiescenti
 ■ Area priva di dissesto



Rio Grotte

Caratteristiche morfometriche

Area	1,41 km ²
Lunghezza totale	3,60 km
Densità di drenaggio (D)	2,56 km ⁻¹
Lunghezza del corso d'acqua principale	2,50 km
Anomalia gerarchica (Ga)	0
Indice di anomalia gerarchica (Da)	0,00
Perimetro	6,17 km
Indice areale di Gravelius (Rk)	1,46
Tu	152,92 t/km ² anno



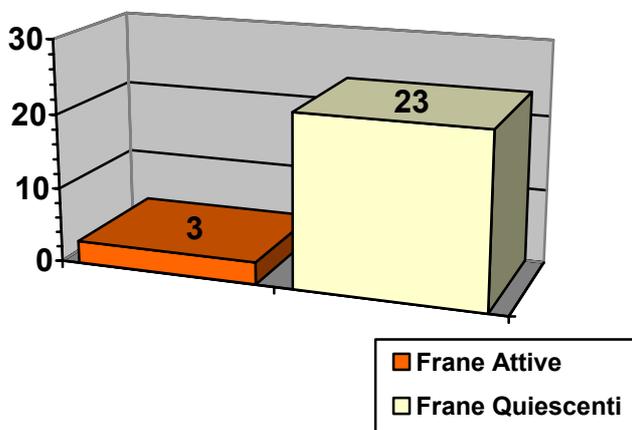
Ordine u	N _u	N _{du}	R _b	R _{bd}	R = R _b - R _{bd}	L _u [m]	L _u * [m]	R _L
1	4	4				511,63		
2	1		4,00	4,00	0,00	1552,88	2064,50	3,04
/								
/								
/								

Franosità sul territorio Comunale

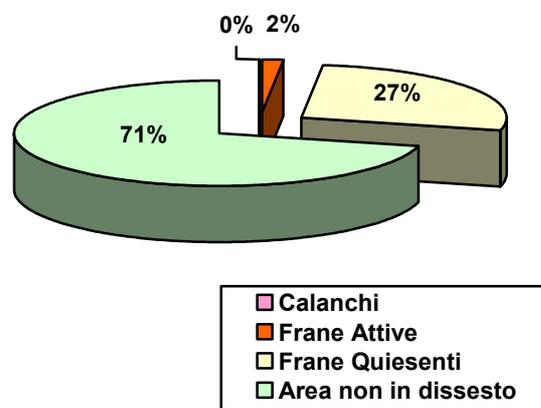
N° frane accertate (attive)	3
N° frane accertate (quiescenti)	23
Area frane (km ²)	0,41
Area zone calanchive (km ²)	0
Area totale (km ²)	0,41
Franosità (%)	28,79

N_u: numero segmenti di ordine u
 N_{du}: numero segmenti non anomali di ordine u
 R_b: rapporto di biforcazione
 R_{bd}: rapporto di biforcazione diretta
 R: indice di biforcazione
 L_u: lunghezza media dei segmenti di ordine u
 L_u*: lunghezza media cumulativa ($\sum_{u=1}^u L_u$)
 R_L: rapporto di lunghezza L_u / L_{u-1} (Horton, 1945)

NUMERO FRANE



FRANOSITA' DEL BACINO IDROGRAFICO

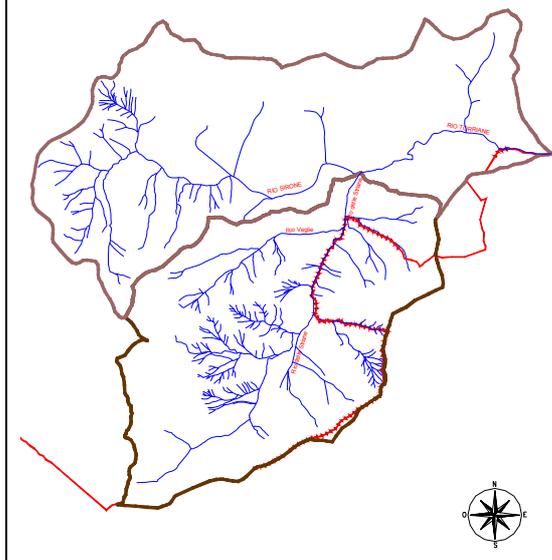




Rio Torriane

Caratteristiche morfometriche

Area	6,74 km ²
Area Comunale	6,29 km ²
Lunghezza totale	42,32 km
Densità di drenaggio (D)	6,28 km ⁻¹
Lunghezza del corso d'acqua principale	5,83 km
Lunghezza Rio Torriane (confluenza)	1,55 km
Lunghezza Rio Sirone	4,28 km
Lunghezza Rio delle Striane	2,97 km
Anomalia gerarchica (Ga)	171
Indice di anomalia gerarchica (Da)	0,73
Perimetro	12,80 km
Perimetro Comunale	14,22 km
Indice areale di Gravelius (Rk)	1,38
Tu	2471,84 t/km ² anno



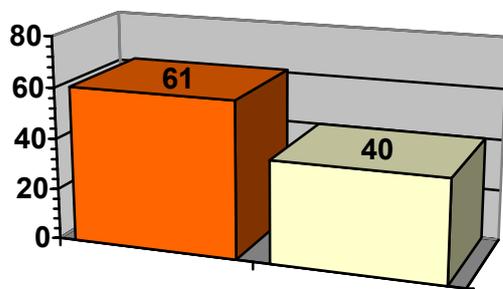
Ordine u	N _u	N _{du}	R _b	R _{bd}	R = R _b - R _{bd}	L _u [m]	L _u * [m]	R _L
1	235	169				101,25		
2	57	46	4,12	2,96	1,16	145,06	246,31	1,43
3	14	9	4,07	3,29	0,79	317,57	563,88	2,19
4	4	4	3,50	2,25	1,25	617,33	1181,21	1,94
5	1					3342,36	4523,57	5,41
Media			3,90	2,83	1,06			

Franosità sul territorio Comunale

N° frane accertate (attive)	61
N° frane accertate (quiescenti)	40
Area frane (km ²)	0,89
Area zone calanchive (km ²)	1,76
Area totale (km ²)	2,65
Franosità del territorio Comunale (%)	42,13

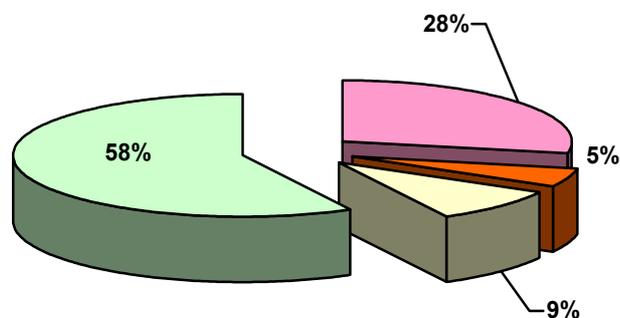
N_u: numero segmenti di ordine u
 N_{du}: numero segmenti non anomali di ordine u
 R_b: rapporto di biforcazione
 R_{bd}: rapporto di biforcazione diretta
 R: indice di biforcazione
 L_u: lunghezza media dei segmenti di ordine u
 L_u*: lunghezza media cumulativa ($\sum_{u=1}^u L_u$)
 R_L: rapporto di lunghezza L_u/L_{u-1} (Horton, 1945)

NUMERO FRANE



■ Frane Attive
 □ Frane Quiescenti

FRANOSITA' DEL BACINO IDROGRAFICO RICOMPRESO SUL TERRITORIO COMUNALE



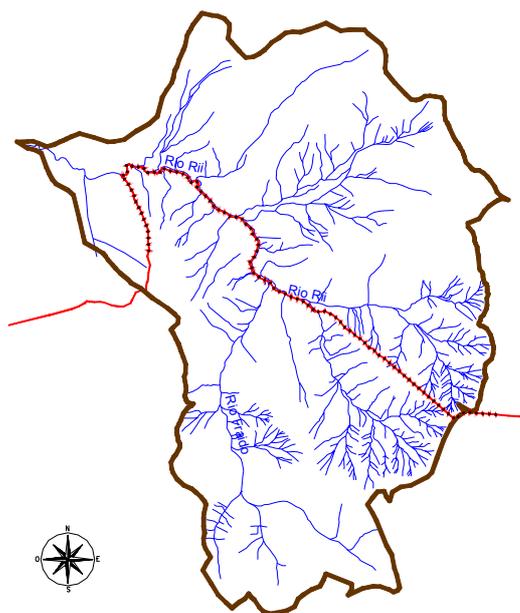
■ Calanchi
 ■ Frane Attive
 ■ Frane Quiescenti
 ■ Area priva di dissesto



Rio Rii

Caratteristiche morfometriche

Area	4,48 km ²
Area Comunale e/o di margine collinare	2,33 km ²
Lunghezza totale	50,48 km
Densità di drenaggio (D)	11,27 km ⁻¹
Lunghezza del corso d'acqua principale	4,24 km
Anomalia gerarchica (Ga)	283
Indice di anomalia gerarchica (Da)	0,82
Perimetro	10,84 km
Indice areale di Gravelius (Rk)	1,43
Tu	13071,86 t/km ² anno



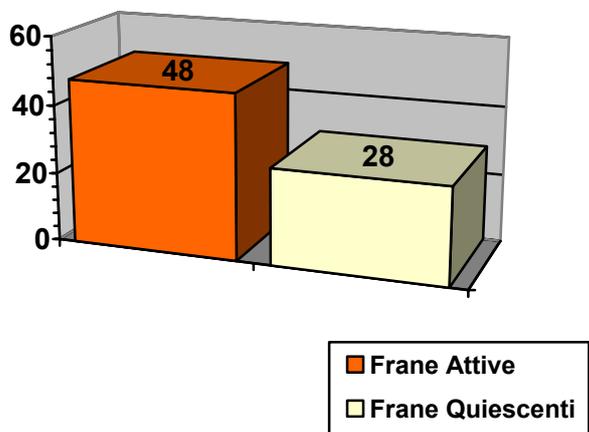
Ordine u	N _u	N _{du}	R _b	R _{bd}	R = R _b - R _{bd}	L _u [m]	L _u * [m]	R _L
1	345	249				90,51		
2	76	63	4,54	3,28	1,26	121,00	211,51	1,34
3	19	18	4,00	3,32	0,68	214,46	425,98	1,77
4	5	5	3,80	3,60	0,20	759,72	1185,69	3,54
5	1					2186,11	3371,80	2,88
media			4,11	3,40	0,72			

Franosità sul territorio Comunale

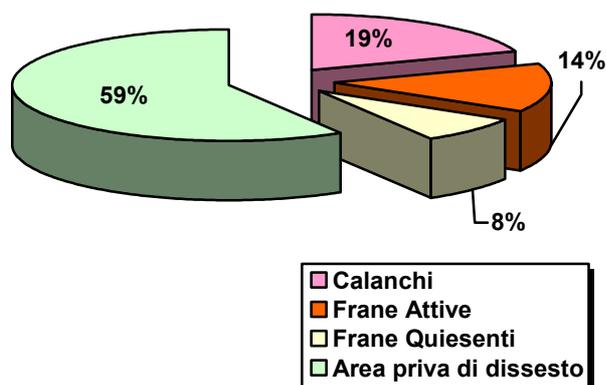
N° frane accertate (attive)	48
N° frane accertate (quiescenti)	28
Area frane (km ²)	0,51
Area zone calanchive (km ²)	0,45
Area totale (km ²)	0,96
Franosità (%)	41,33

N_u: numero segmenti di ordine u
 N_{du}: numero segmenti non anomali di ordine u
 R_b: rapporto di biforcazione
 R_{bd}: rapporto di biforcazione diretta
 R: indice di biforcazione
 L_u: lunghezza media dei segmenti di ordine u
 L_u*: lunghezza media cumulativa ($\sum_{u=1}^u L_u$)
 R_L: rapporto di lunghezza L_u / L_{u-1} (Horton, 1945)

NUMERO FRANE



FRANOSITA' DEL BACINO IDROGRAFICO





3.1.4 SCHEDE DISSESTI

Durante i rilievi di campagna nell'area collinare si sono direttamente osservate situazioni di criticità per quanto riguarda le relazioni tra gli elementi urbanistici esistenti e i fenomeni di dissesto.

Si sono quindi prodotte delle schede specifiche che riportano tali situazioni, che non vogliono comunque essere esaustive della problematica ma che individuano situazioni sulle quali è necessario prevedere specifici interventi di salvaguardia e monitoraggio.

Le schede riportate di seguito risultano le seguenti:

1 – VIA SABBIUONO

2 – VIA RONCRIO

3 – VIA DELL'OSSERVANZA

4 – VIA PIEVE DEL PINO

5 – VIA CASAGLIA

6 – VIA CASAGLIA LOC. BANDINO

7 – VIA FRATTA

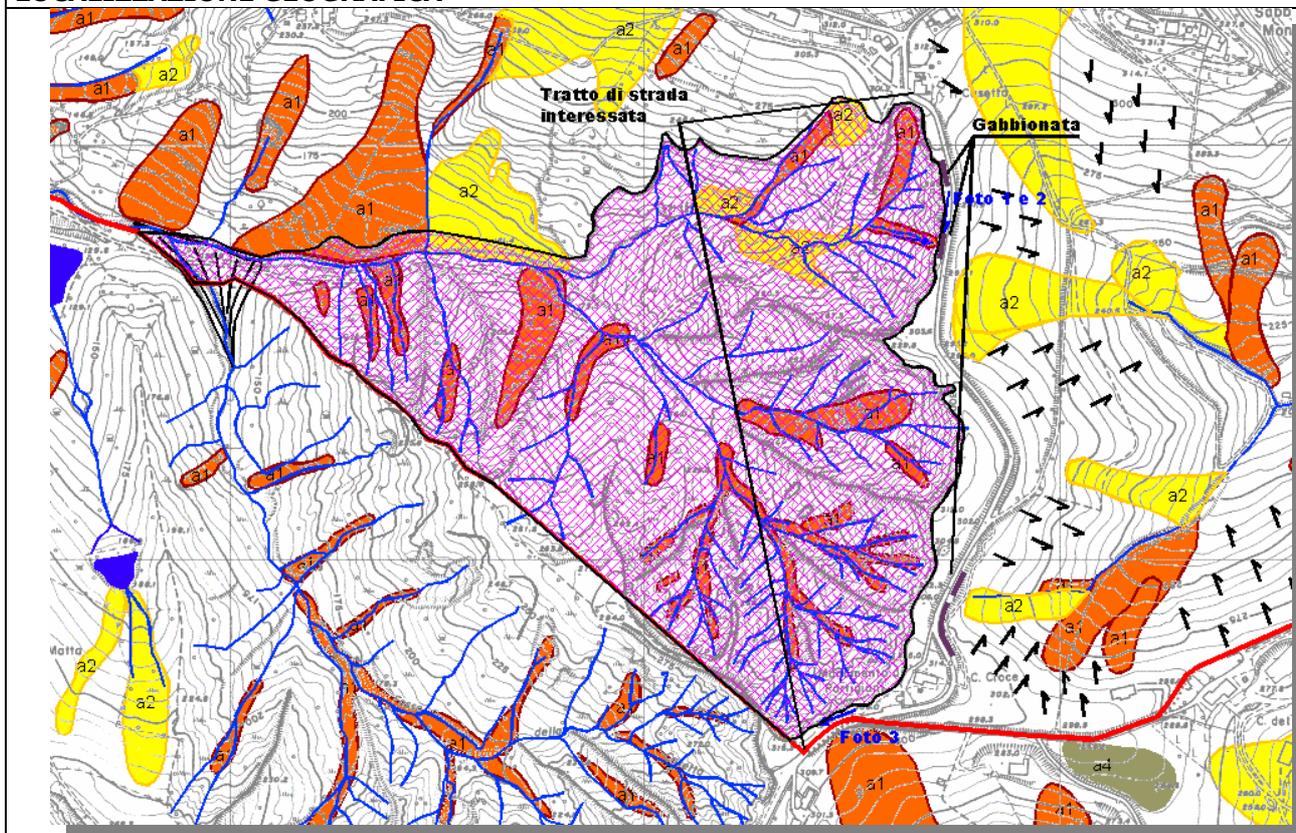
8 – VIA DEI COLLI

9 – STRADA COMUNALE DI BARBIANO



CALANCHI DI SABBIUNO

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Tratto di Via Casaglia compreso tra la località "Casetto" e il Monumento ai partigiani.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato da Argille e Marne di Riolo Terme.

DISSESTI OSSERVATI

Il tratto di strada individuato nella planimetria risulta particolarmente a rischio per la presenza di estese formazioni calanchive sul versante occidentale e per i movimenti gravitativi presenti sul lato orientale oltre ad un'instabilità diffusa legata a fenomeni di creep superficiale. La strada presenta in più punti avvallamenti e fessurazioni direttamente collegati alle forme di dissesto evidenziate. In situazione analoga si ritrova un edificio comunale che fa parte della struttura del monumento ed il monumento stesso collocati immediatamente a ridosso del margine calanchivo.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Numerose sono stati gli interventi attuati a salvaguardia della strada e consistenti principalmente in gabbionate di sostegno della sede stradale, che in un caso (Foto 1 e 2) risultano direttamente coinvolti dalla regressione calanchiva. Interventi di sistemazione dell'area calanchiva sono stati eseguiti in passato sia sul fondo che sulle pendici. Si tratta di interventi che sostanzialmente non hanno ottenuto gli effetti sperati e ad esempio nell'area del monumento sono già stati direttamente coinvolti da movimenti franosi (Foto 3). Si ritengono necessari interventi urgenti di sistemazione.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Opere di difesa stradale



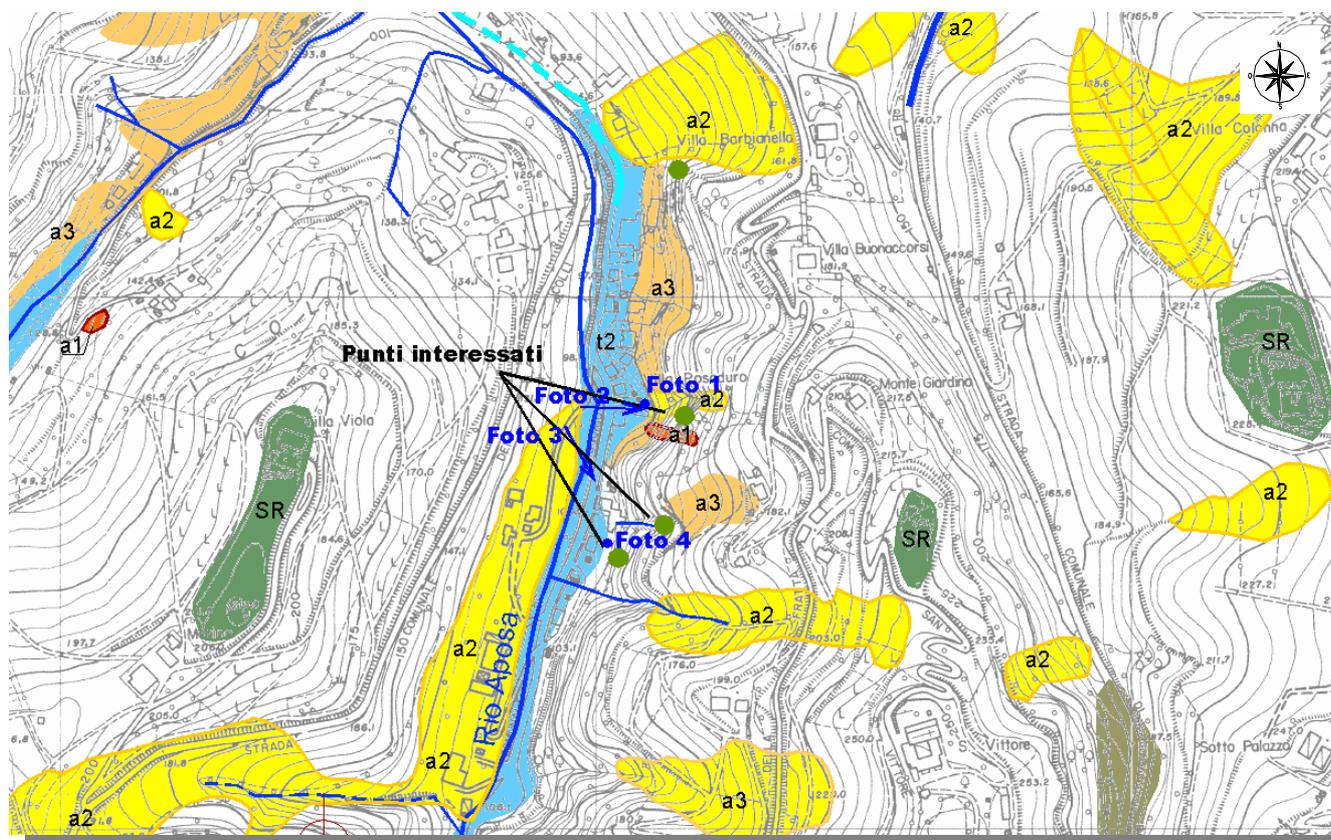
Foto 2 – Dissesto gabbionata



Foto 3 – Particolari dissesti delle pendici del calanco



VIA RONCRIO



L'area in esame è ubicata lungo Via Roncrio, collocata all'interno dell'impluvio generato dal Rio Aposa, che risulta attualmente tombato in tale tratto. Il versante orientale è caratterizzato da una notevole acclività con la presenza di terreni marnoso sabbiosi della Formazione di Pantano, caratterizzati da una discreta cementazione e giacitura a reggipoggio. Lungo tali pendici si sviluppa una folta vegetazione costituita da alberi ad alto fusto, mentre nella porzione basale del versante sono presenti edifici adibiti a civile abitazione.

Lungo tale versante sono stati registrati negli ultimi anni fenomeni di crollo dalle pareti rocciose esistenti con franamento di blocchi litoidi anche di notevole dimensione (Foto 1), del substrato vegetale e di alberi. Il fenomeno risulta particolarmente attivo nel settore centrale e meridionale, in corrispondenza dei civici 20, 22 e 24. Nella foto 1 viene riportata una panoramica del versante in corrispondenza del civico 20, nel quale si evidenzia la



Foto 1 – Particolare blocchi franati



presenza di una frana quiescente che, secondo le informazioni ricevute, si è verificata negli anni 30 coinvolgendo direttamente il fabbricato attualmente adibito a garage, determinando sul lato a monte la distruzione della scala di ingresso, che in seguito è stata spostata sul lato Sud del fabbricato.

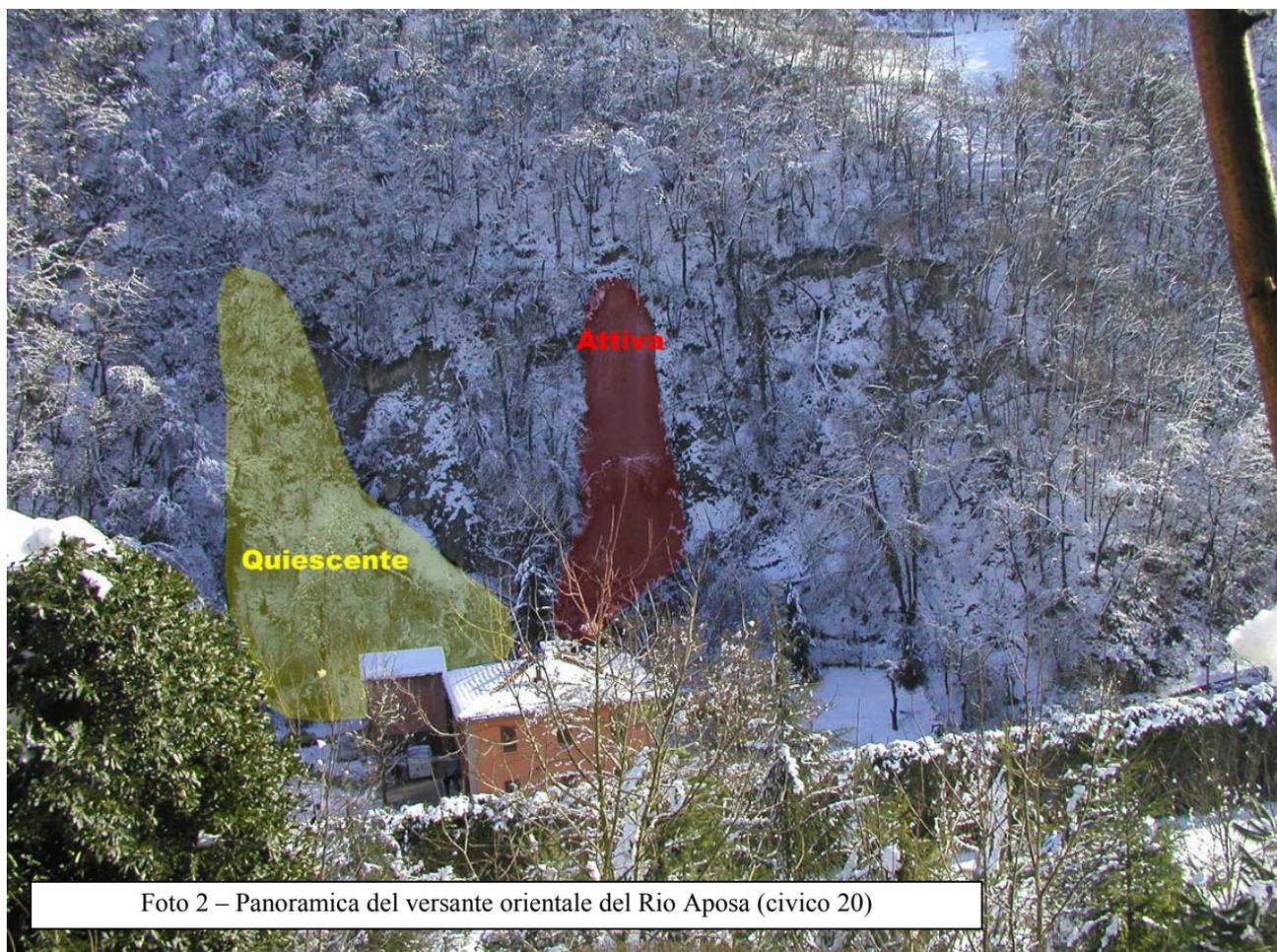


Foto 2 – Panoramica del versante orientale del Rio Aposa (civico 20)

Successivamente si sarebbero verificati soprattutto distacchi di blocchi litoidi dalle pareti rocciose (Foto n. 1) e franamento di alberi che hanno direttamente coinvolto le aree cortilive dei fabbricati. Immediatamente a sud recentemente (gennaio 2003) si è verificato un ulteriore crollo con il franamento della coltre vegetale esistente e di numerosi alberi, che hanno direttamente esposto il substrato roccioso.

Gli ultimi episodi si sono verificati soprattutto in concomitanza di precipitazioni a carattere nevoso, e si ritiene quindi che siano innescati direttamente dall'appesantimento determinato dalla neve sugli alberi che risultano in condizioni di precaria stabilità non potendo sfruttare un sufficiente ancoraggio al substrato, franano a valle coinvolgendo anche l'esigua copertura vegetale esponendo estese superfici rocciose agli agenti atmosferici dalle quali si staccano e rotolano a valle blocchi litoidi.

Tale situazione, anche se di entità più limitata si rilevano immediatamente a sud in corrispondenza dei civici 22 e 24 (Foto n. 2).

L'edificio di via Roncrio 22 risulta fisicamente addossato al versante roccioso e presenta dei terrazzamenti successivi che hanno completamente ostruito un impluvio naturale alterando il naturale



scorrimento delle acque superficiali, che attualmente vengono raccolte da una caditoia collegata al Torrente Aposa sottostante.

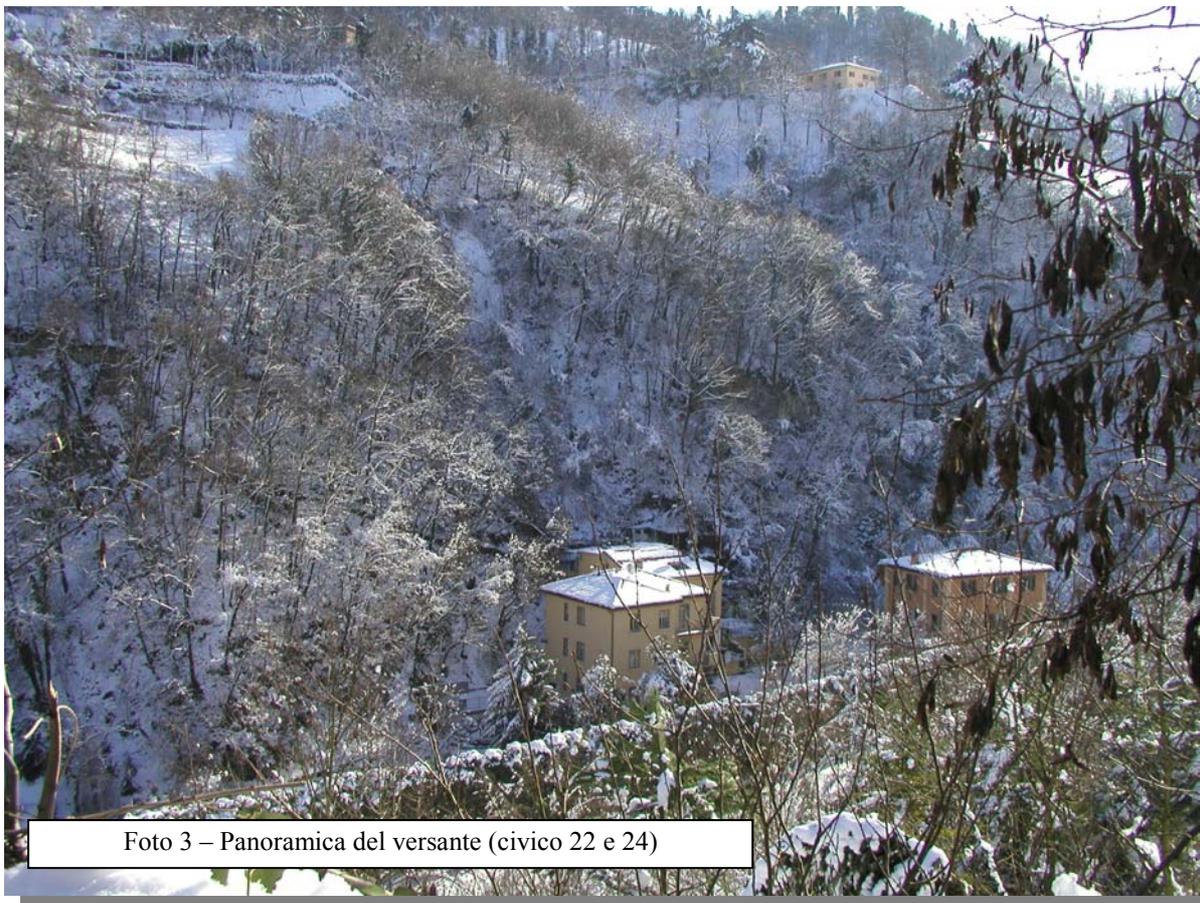


Foto 3 – Panoramica del versante (civico 22 e 24)

L'impluvio e le pareti laterali risultano abbondantemente vegetate. Nella parte più sommitale dell'impluvio affiora la parete rocciosa denudata, per una superficie piuttosto limitata, che presenta evidenti segnali di alterazione superficiale, sono infatti visibili fratturazioni e discontinuità che possono dar vita a distacchi e crolli di blocchi rocciosi.

L'impluvio è fittamente ricoperto di vegetazione e il sottobosco opera una azione frenante nei confronti dei piccoli blocchi rocciosi provenienti dalle pareti sovrastanti, tuttavia si riscontrano in sito numerosi alberi in uno stato di stabilità precario. A sostegno e protezione della casa sono state realizzate, lateralmente all'impluvio, modeste opere di sostegno con pali in legno.

Per quanto riguarda il civico 24 si registrano in questo caso fenomeni di crollo di blocchi rocciosi

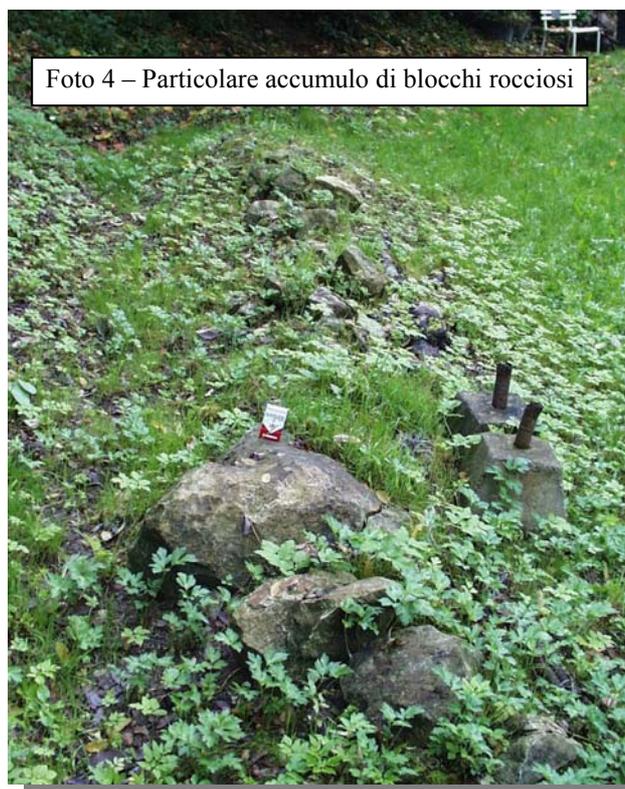


Foto 4 – Particolare accumulo di blocchi rocciosi



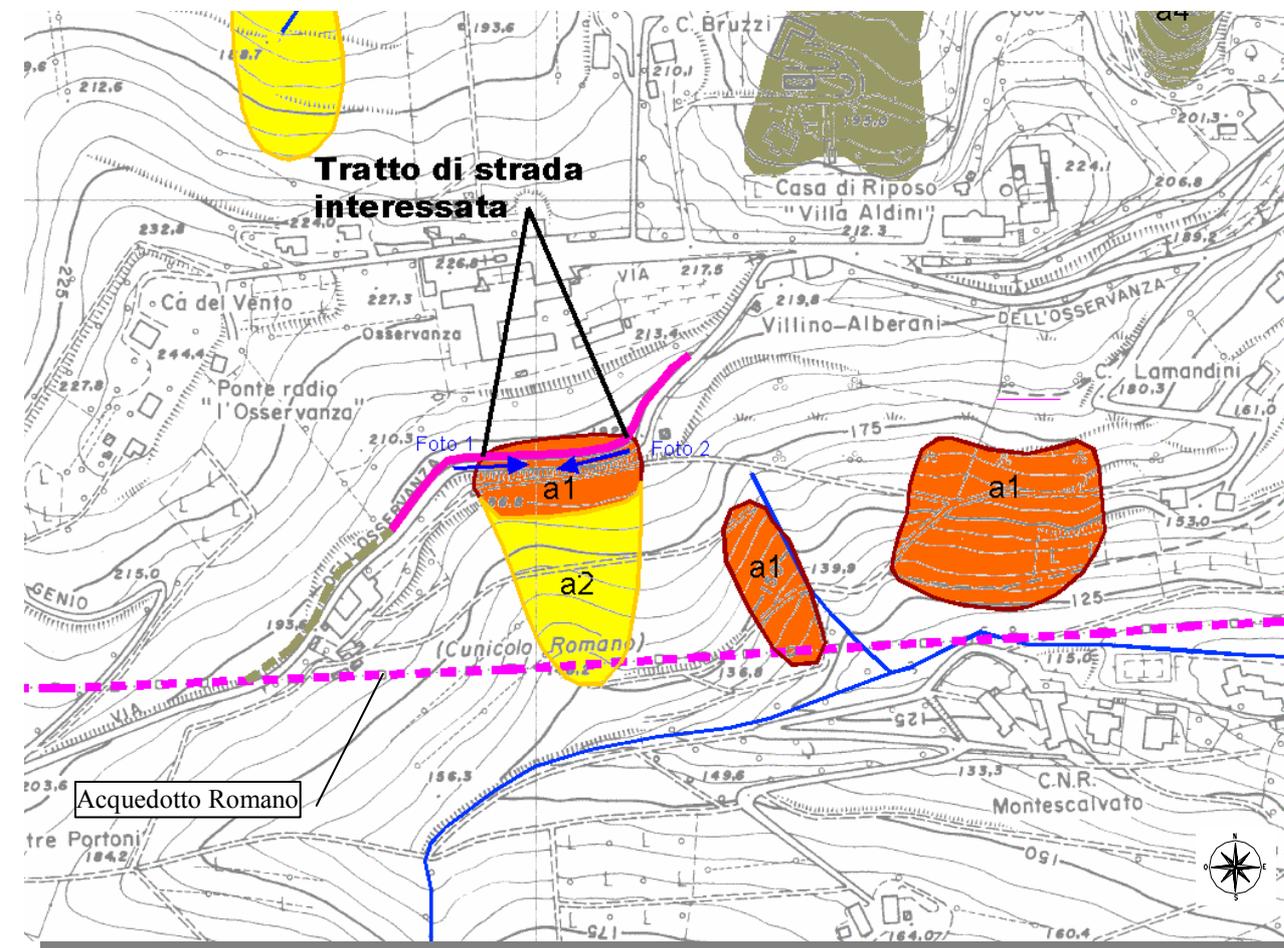
provenienti dalla parete rocciosa posta immediatamente a monte, che si accumulano alla base del versante (Fig. 4), a ridosso del fabbricato esistente.

Nel complesso la situazione rilevata evidenzia l'esistenza di un potenziale pericolo per i manufatti ad uso abitativo presenti alla base del versante e per la incolumità dei residenti. Si ritiene quindi necessaria l'esecuzione di interventi urgenti di sistemazione, con la rimozione immediata degli alberi pericolanti e dei blocchi litoidi accumulati alla base delle scarpate rocciose, disgaggio dei blocchi rocciosi in precarie condizioni di stabilità, protezione della pareti rocciose esistenti con reti o altri sistemi e predisposizione di idonee barriere al fine di trattenere eventuali blocchi rocciosi. Dovrà inoltre essere attivata una manutenzione periodica del bosco al fine di eliminare selettivamente gli alberi di maggiore dimensione a rischio di franamento.



VIA DELL'OSSERVANZA

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Strada comunale dell'Osservanza individuato tra Villino Alberani e la località "tre Portoni"

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato dalla Formazione dei "Ghioli di Letto" costituita da marne argillose caratterizzate da un buon grado di cementazione

DISSESTI OSSERVATI

Nel tratto di strada individuato in figura si osservano (Foto 1 e 2) accentuati cedimenti del manto stradale, ed il dissesto del muro in cemento armato a monte della strada che risulta fortemente lesionato e inclinato. Tale situazione è probabilmente da ricollegarsi alla riattivazione di una frana presente immediatamente a valle della strada.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Si rileva la necessità di urgenti interventi di sistemazione.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Tratto di strada visto da Ovest

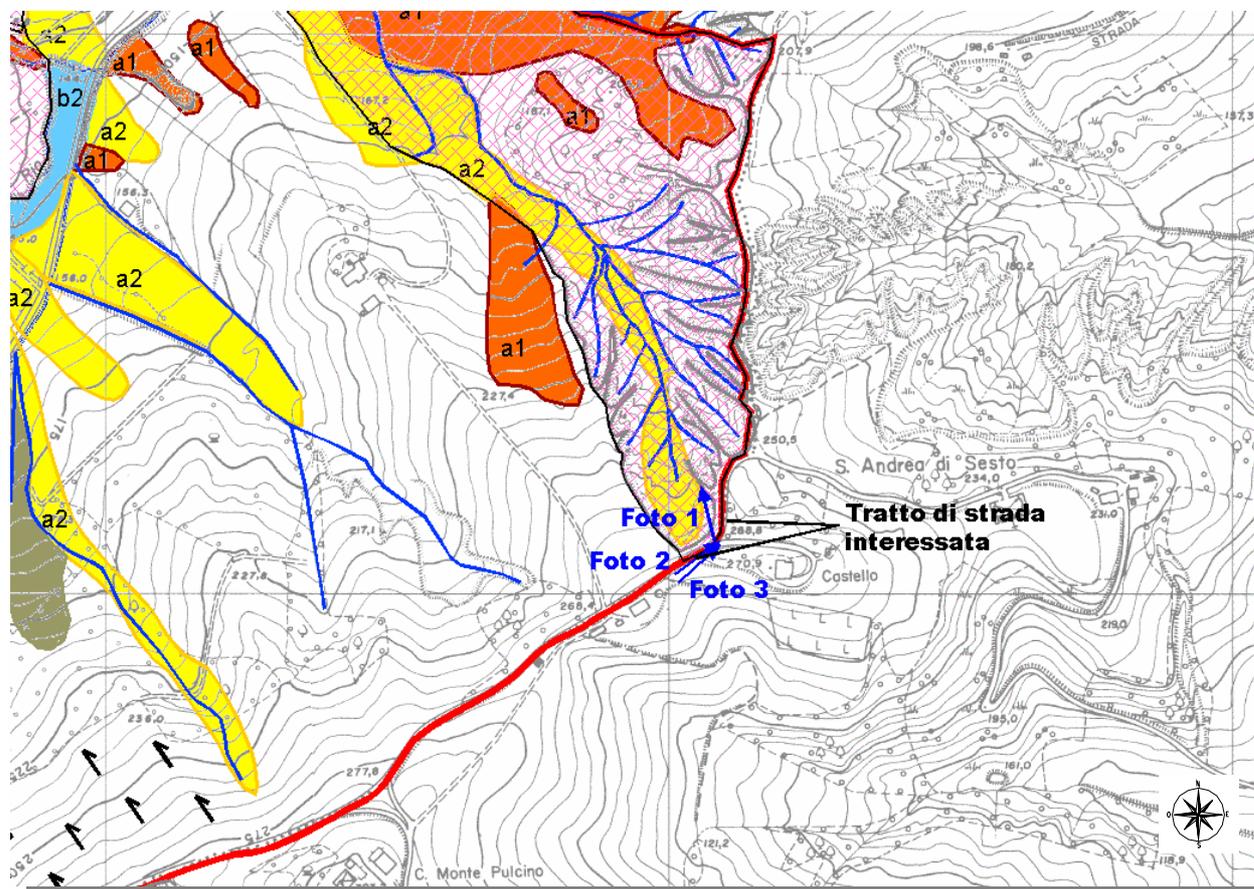


Foto 2 – Tratto di strada visto da Est



VIA PIEVE DEL PINO

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Tratto di Via Pieve del Pino sul confine comunale a valle della Loc. Castello

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato da terreni caotici argillosi delle Liguridi (Melanges)

DISSESTI OSSERVATI

Dissesto della sede stradale che risulta, nel tratto individuato, immediatamente a ridosso di una zona calanchiva (Foto n. 1), che determina di conseguenza fessurazioni e cedimenti del manto stradale. Il dissesto è destinato ad estendersi e potrà in futuro coinvolgere maggiormente la strada (Foto n. 2).

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Sono stati eseguiti in passato interventi di sistemazione della parte alta del pendio calanchivo attraverso viminate (Foto n. 3). Anche in questo caso si ritengono necessari interventi di salvaguardia della strada.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Panoramica dei calanchi



Foto 2 – disseti di Via del Pino

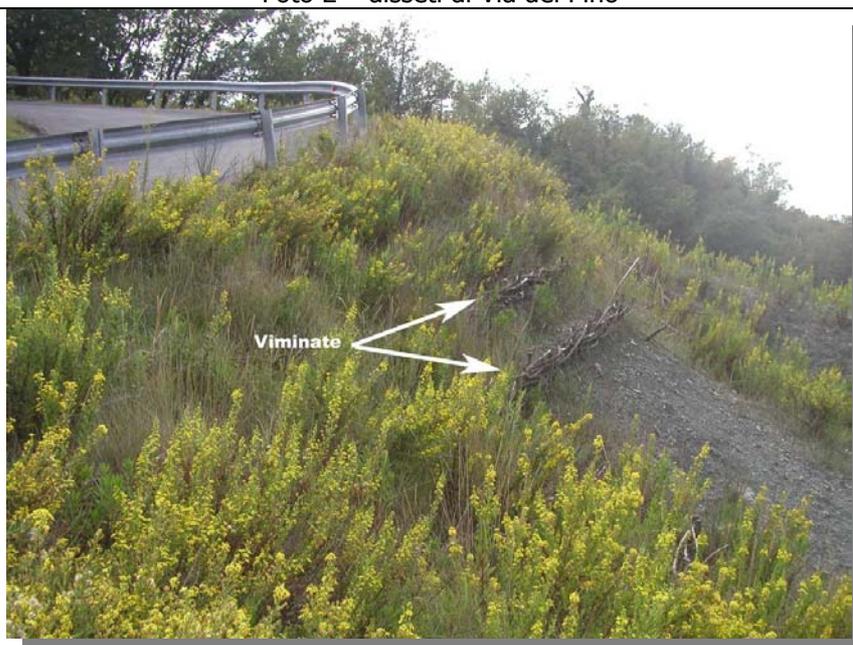
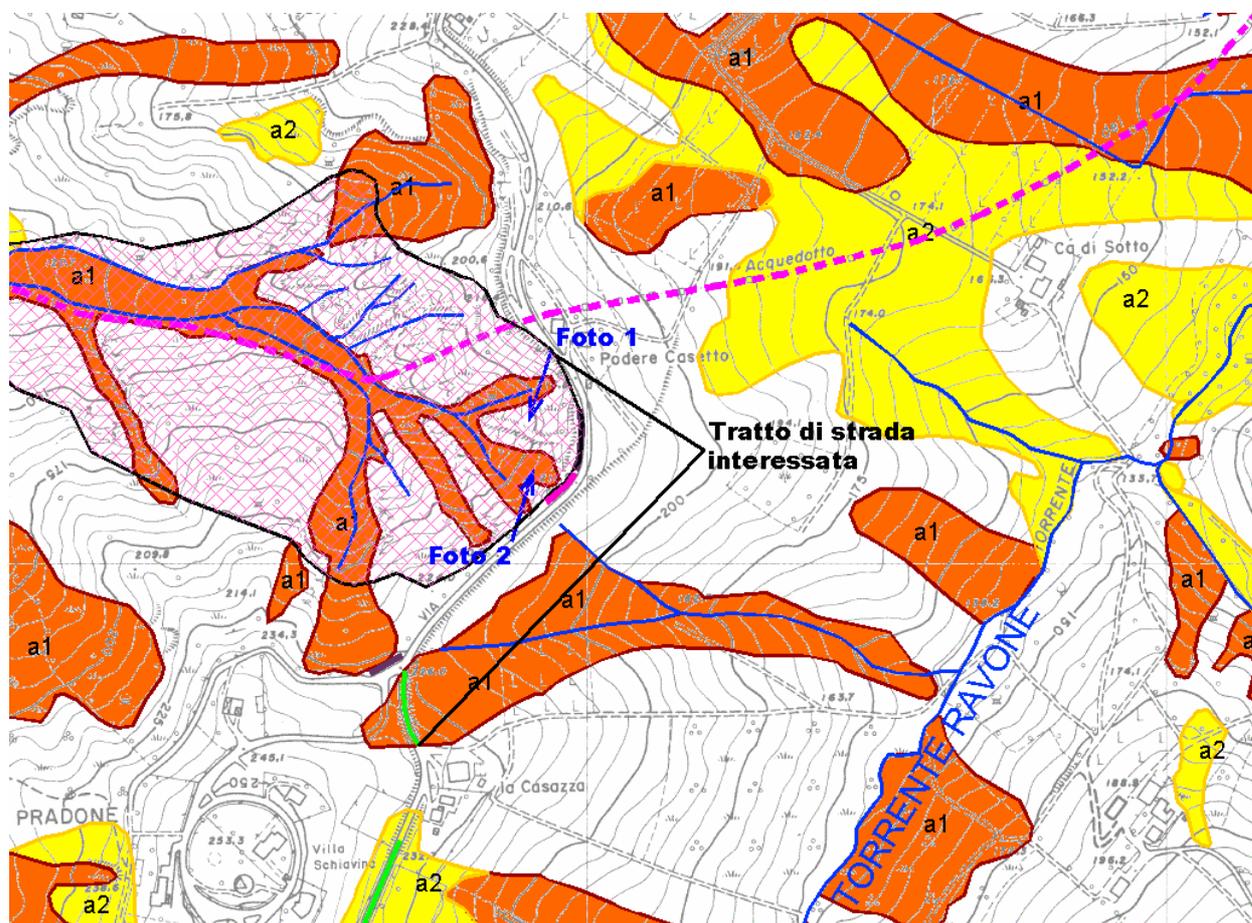


Foto 3 – Interventi di sistemazione eseguiti lungo il versante



VIA CASAGLIA

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Tratto di Via Casaglia compreso tra Podere Casetto e Loc. la Casazza.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato da Argille Varicolori della Val Samoggia.

DISSESTI OSSERVATI

Il tratto di via casaglia individuato nella planimetria, collocato lungo una linea di crinale, risulta particolarmente a rischio per la presenza di estesi calanchi sul versante occidentale (Foto 1 e 2) e movimenti gravitativi attivi e quiescenti sul lato orientale. La strada presente in più punti avvallamenti e fessurazioni direttamente collegati alle forme di dissesto evidenziate.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Numerose sono stati gli interventi attuati a salvaguardia della strada e consistenti principalmente in gabbionate oltre ad un manufatto in c.a. di sostegno della sede stradale. Da sottolineare inoltre l'esecuzione recente di interventi di sistemazione idraulica e forestale lungo il versante meridionale del Rio Calanchi. Si ritiene necessario un attento monitoraggio della situazione.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

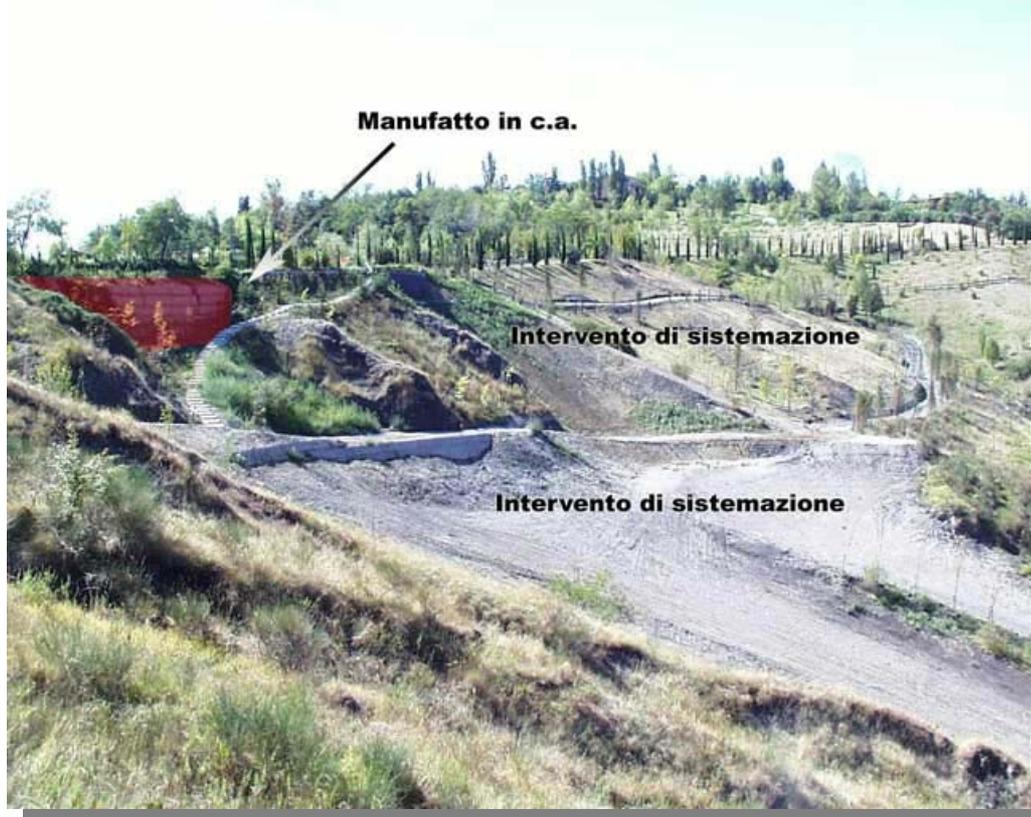


Foto 1 – Panoramica dell'area vista da Nord

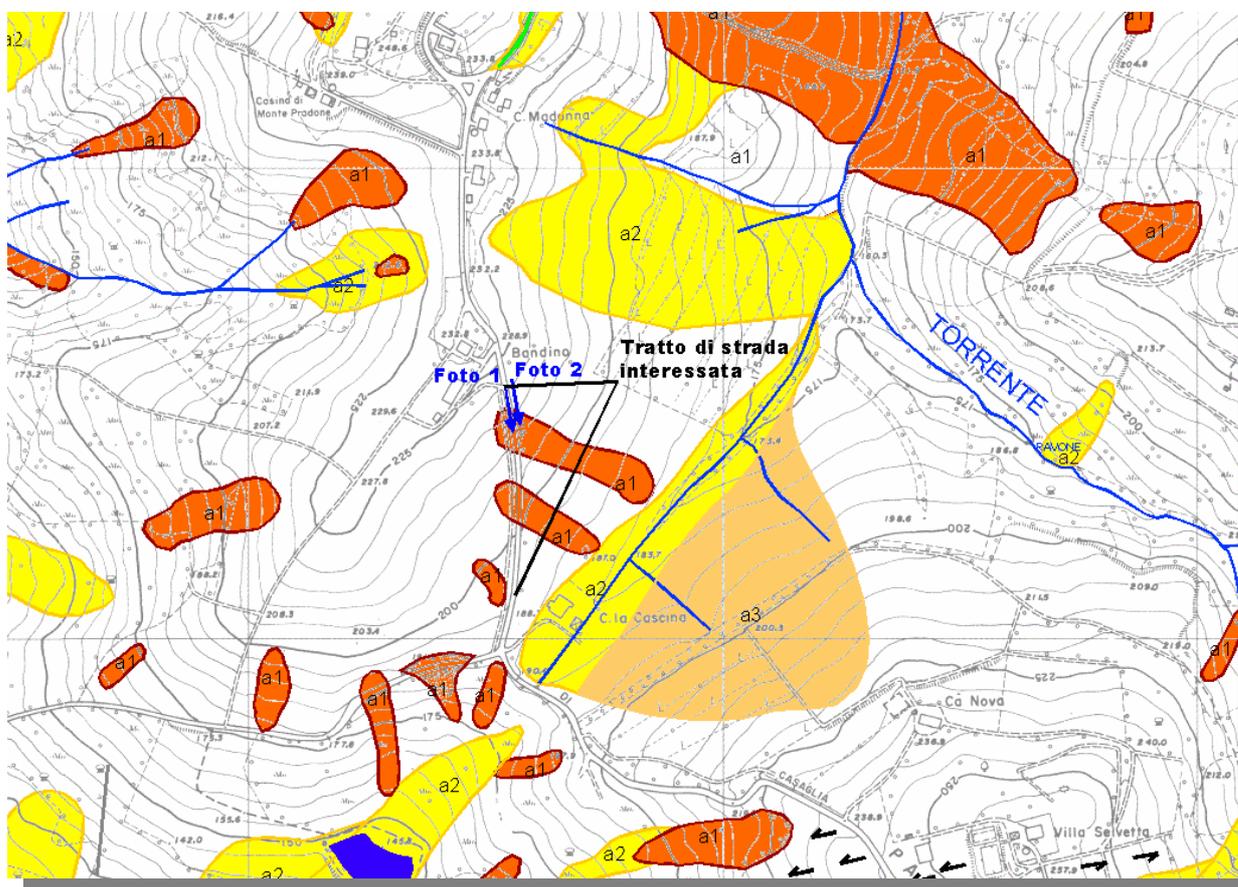


Foto 2 – Panoramica dell'area vista da sud



VIA CASAGLIA – LOC. BANDINO

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Tratto di Via Casaglia compreso tra Loc. Bandino e C. la Cascina.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato da Argille Varicolori della Val Samoggia.

DISSESTI OSSERVATI

Il tratto di strada in esame è caratterizzato da un'elevata instabilità con la presenza di movimenti franosi attivi che interessano direttamente la coltre detritica di copertura al substrato e che nel corso del 2000 hanno coinvolto direttamente la sede stradale (Foto n. 1).

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Nel corso del 2001 sono stati eseguiti interventi di sistemazione con il rifacimento di un tratto di strada, l'esecuzione di drenaggi superficiali e profondi e sistemazione della condotta acquedottistica presente (Foto n. 2). Tali interventi hanno risolto attualmente le problematiche di dissesto della strada, per il quale occorrerà comunque attivare un attento monitoraggio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Particolare dei dissesti del 2001

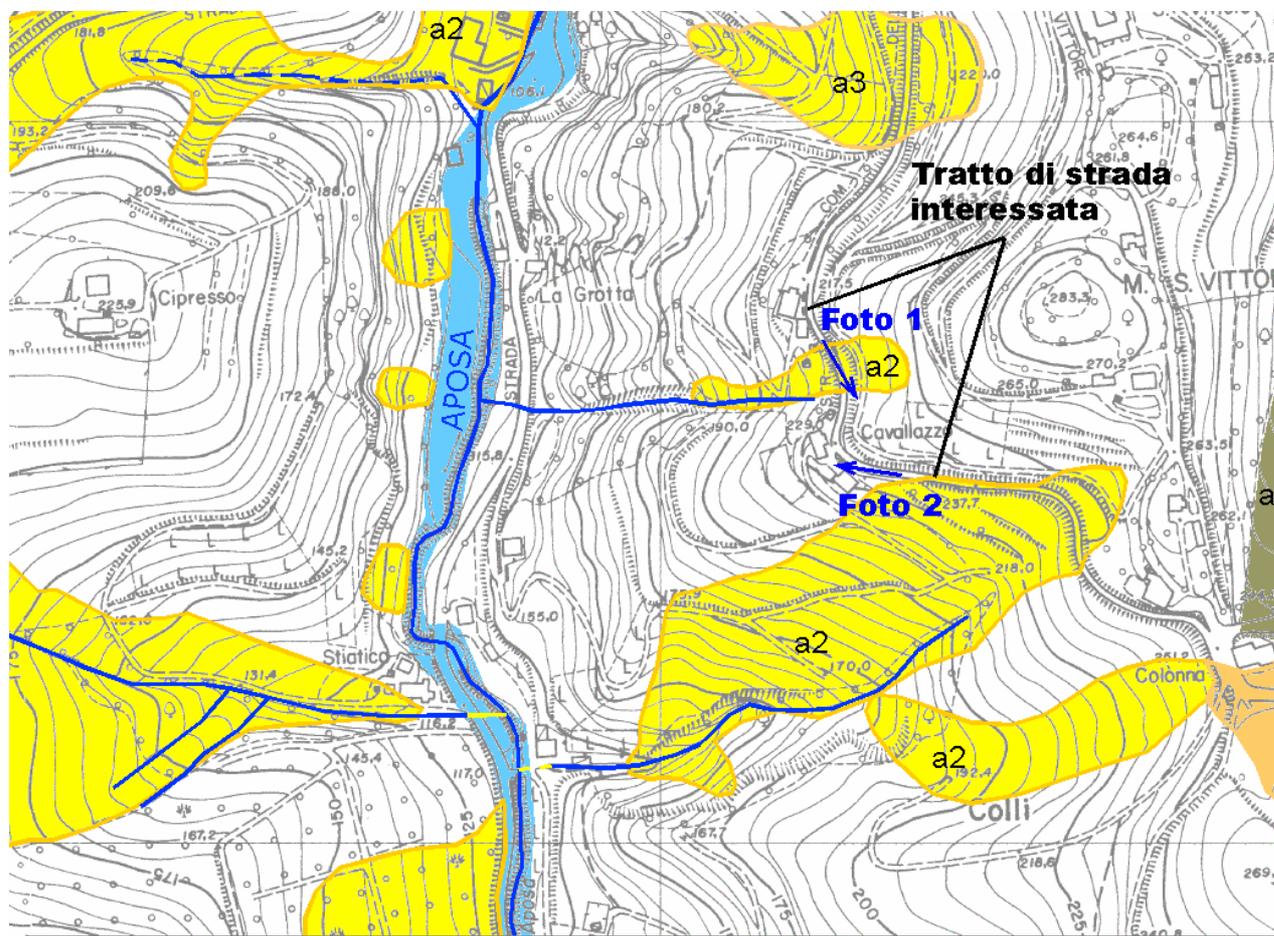


Foto 2 – Tratto stradale dopo la sistemazione



VIA FRATTA

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Strada comunale della Fratta all'altezza della località Cavallazzo

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato dalla Formazione di Pantano.

DISSESTI OSSERVATI

Nel tratto di strada individuato in figura, collocato a mezza costa lungo un pendio caratterizzato da una sensibile acclività, si osserva un dissesto generalizzato del versante probabilmente legati alla scarsa regimazione idrica superficiale, che coinvolge direttamente la sede stradale (Foto 1 e 2), e alcuni edifici limitrofi.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Il sopralluogo effettuato non ha rilevato recenti opere di sistemazione.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Particolare dissesti della strada

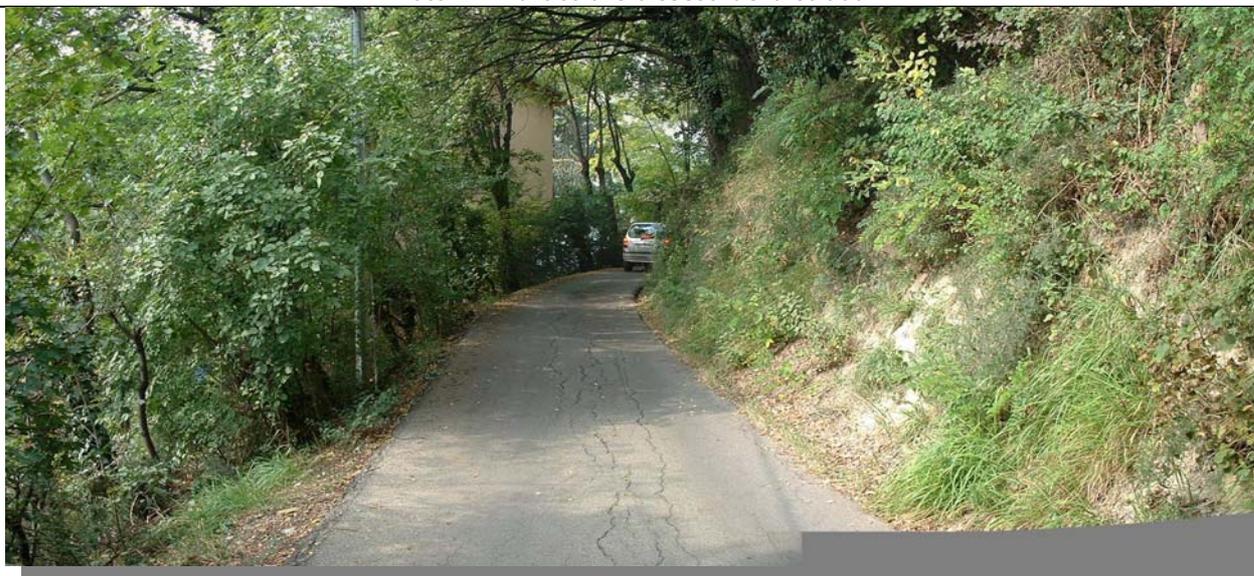
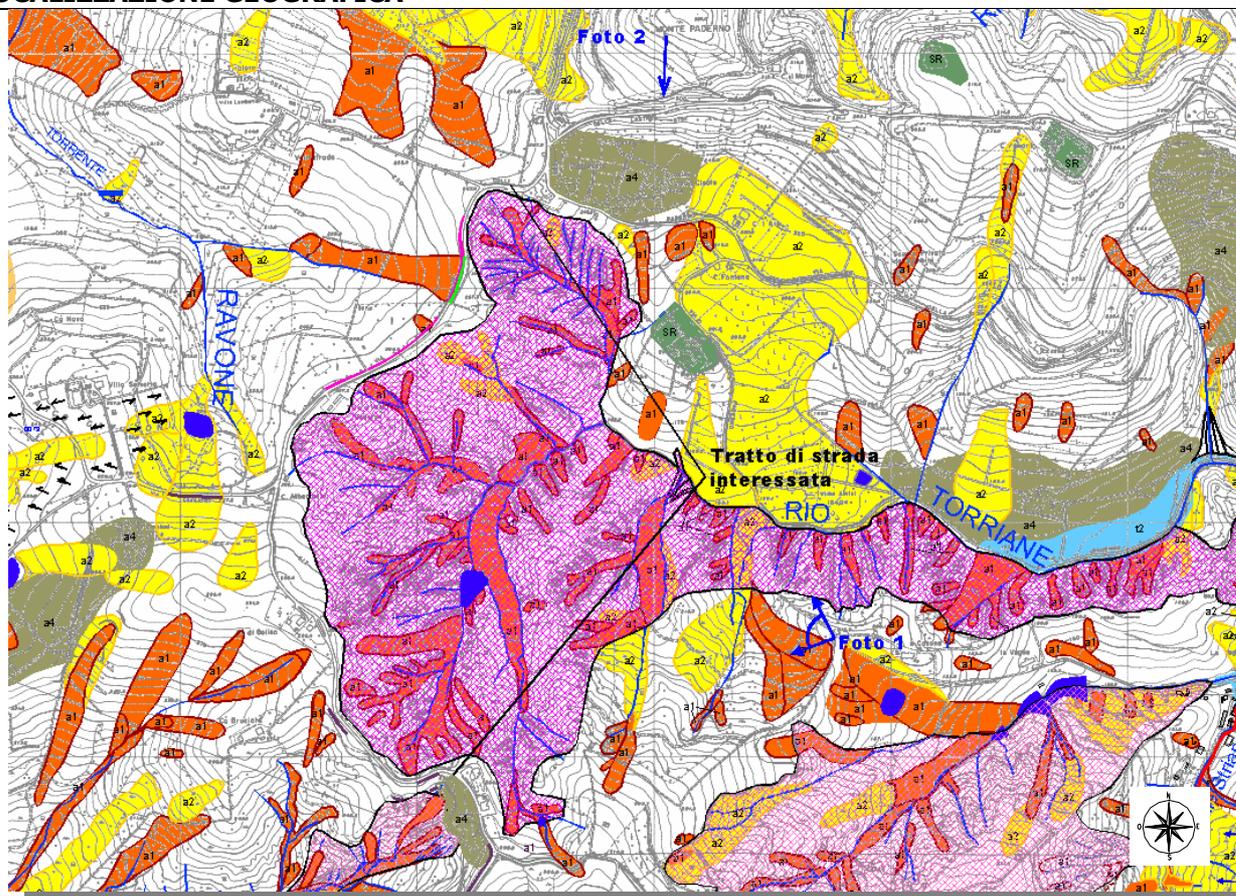


Foto 2 – Particolari dissesti della strada



VIA DEI COLLI

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Tratto di Via dei Colli compreso tra Loc. Paderno e Loc. la Lumiera.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato da Argille Varicolori.

DISSESTI OSSERVATI

A Sud del M. Paderno, lungo il corso del Rio Torriane, si apre un ampio anfiteatro calanchivo che si trova a ridosso della Via dei Colli, oltre ad alcuni movimenti gravitativi attivi sul versante occidentale. Le interferenze con la strada risultano attualmente limitate, non si esclude però che l'evoluzione del dissesto possa in futuro interessare direttamente la viabilità.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Sul lato Ovest sono presenti manufatti di sostegno in cemento armato e due gabbionate, la sede stradale per ora non è interessata da dissesti. Vista la natura morfologica del territorio (presenza di calanchi e frane attive) è consigliabile mantenere monitorata la zona.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Panorama dei calanchi visti da Est

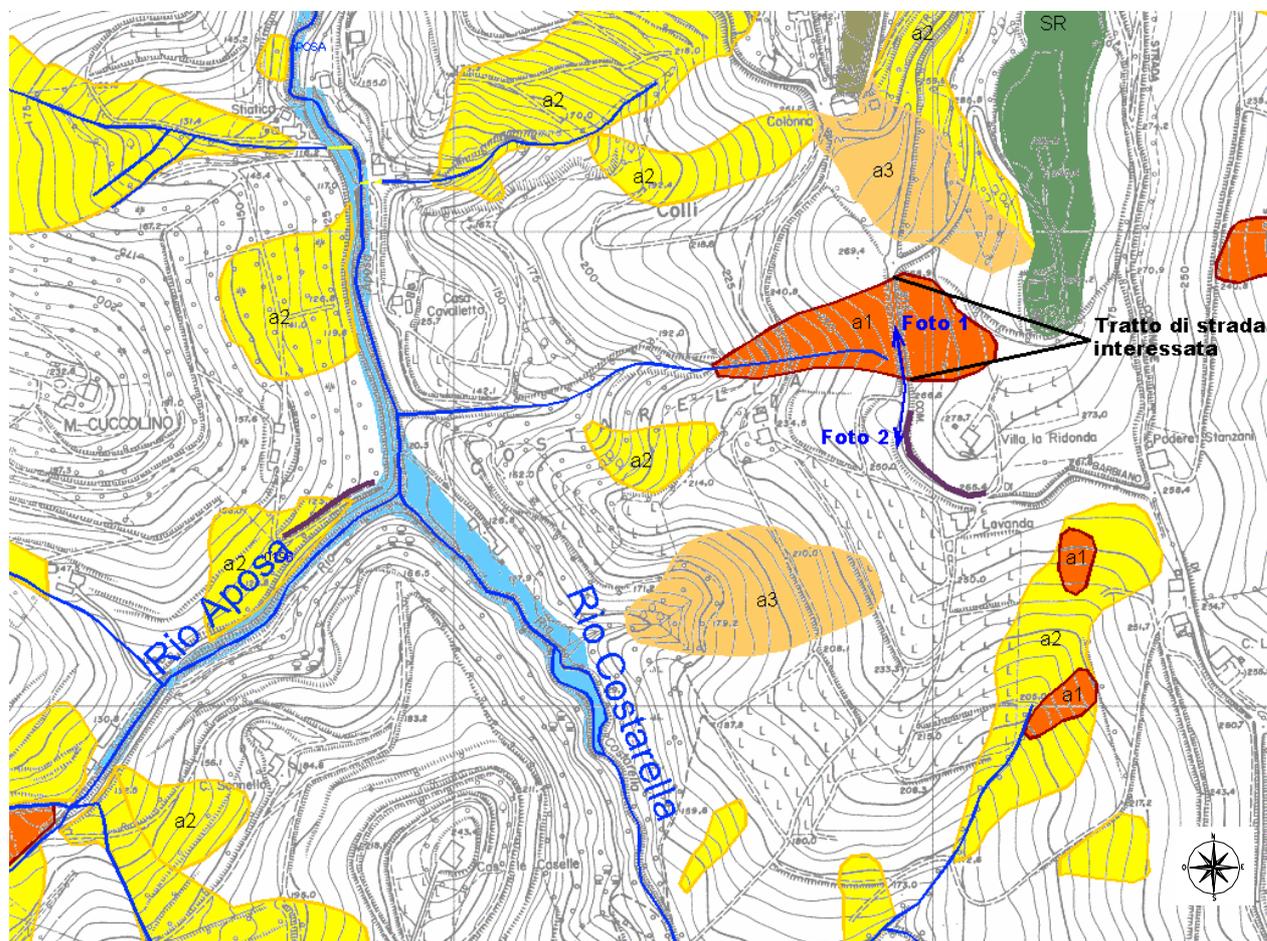


Foto 2 – Panorama dei calanchi visti da M. Paderno



STRADA COMUNALE DI BARBIANO

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Strada comunale di Barbiano località Villa Ridonda

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Substrato geologico rappresentato da Formazione di Pantano.

DISSESTI OSSERVATI

Il tratto stradale individuato risulta particolarmente dissestato, presentando numerosi avvallamenti e fessurazioni (Foto 1). E' collocato all'interno di un impluvio naturale in cui la probabile insufficiente regimazione delle acque determina un rammollimento dei terreni detritici di copertura del substrato e attivazione di un movimento gravitativi. Si noti la presenza di canneti a ridosso della strada a testimonianza del ristagno dell'acqua.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Non sono state rilevate opere di sistemazione. Una gabbionata è collocata sulla strada immediatamente a Sud (Foto 2).



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Tratto di strada dissestata



Foto 2 – Gabbionata



3.1.5 GESSI

Notizie storiche

Il gesso è utilizzato sin da tempi antichissimi per una notevole varietà di usi. Gli affioramenti bolognesi sono stati interessati da estrazione di pietra da taglio già a partire dall'epoca romana, grandi blocchi di selenite, squadrati su misure multiple del piede romano, furono impiegati nella città di Bologna, dove sono state rinvenute le tracce di una cinta muraria urbana costruita in età teodericiana (prima metà del V secolo) o durante la dominazione bizantina, quando essa divenne città di confine con il regno longobardo (VII secolo, inizi VIII; Pini, 1985).

La cinta muraria aveva uno sviluppo di quasi due chilometri, una altezza di sei-otto metri ed uno spessore di due ed era costituita da blocchi di gesso collocati a secco per un volume complessivo di 25.000 metri cubi, equivalenti a circa 60.000 tonnellate (Bergonzoni, 1976). Le dimensioni ciclopiche dell'opera sono intuibili se si pensa che tale quantità rappresenta un quarto della produzione di gesso delle cave bolognesi nel 1970 (Veggiani, 1979).

In epoca romana l'estrazione avveniva probabilmente in piccole cave e potrebbe essere oggi testimoniata dalla presenza nella fascia collinare bolognese di toponimi quali Gaibola e Caivola, che potrebbero derivare dal latino caveola (Varani, 1979). Cave romane erano probabilmente presenti presso S. Ruffillo, Monte Donato, Gaibola ed il Farneto, dove la roccia gessosa veniva tagliata in grandi blocchi per essere trasportata in città. Qui i blocchi venivano squadrati e scalpellati, mentre la polvere prodotta dalla lavorazione era impiegata come inerte di riempimento (Bergonzoni, 1976).

In età comunale blocchi di selenite, spesso prelevati da antichi edifici, vennero impiegati per costruire fondazioni di fabbricati, argini di corsi d'acqua, basi per colonne di legno dei primi portici cittadini (Bergonzoni, 1976). Numerose torri, tra le quali quella degli Asinelli, della Garisenda, dell'Arcivescovado, degli Azzoguidi, dei Galluzzi e degli Alberici, furono "rivestite regolarmente di lunghi parallelepipedi di quella povera roccia che luccica nei nostri colli come l'orpello sulle scene; cioè di gesso, il quale però ha fatto qui ottima prova di durata e dà maestoso e vago aspetto alla base" (Gozzadini, 1875).

A partire dal XIII secolo l'arenaria sostituisce le rocce gessose nelle costruzioni bolognesi, mentre il solfato di calcio, cotto e macinato, viene destinato soprattutto alla produzione di malte cementizie e stucchi.

Dell'attività estrattiva del gesso rimangono numerose testimonianze come i frequenti fronti di cava sparsi lungo tutta la fascia degli affioramenti gessosi e le strutture utilizzate per la cottura della materia prima.



La formazione delle grotte e le grotte bolognesi

La formazione delle grotte nella formazione rocciosa dei gessi bolognesi è attribuibile a processi di tipo carsico, simili a quelli che si sviluppano nelle rocce calcaree.

I processi mediante i quali si arriva alla formazione di una grotta sono dovuti all'azione di fenomeni meccanici e chimici.

Tutte le rocce presentano delle discontinuità, con larghezza che varia da pochi millimetri a qualche centimetro, di origine sedimentaria, come i giunti di strato, che segnano la superficie di separazione di diversi strati con cui i sedimenti si sono originariamente depositi, oppure che si formano successivamente alla deposizione della roccia, come le diaclasi e fratture, che sono invece generalmente legate ai movimenti della crosta terrestre.

Quando la roccia è soggetta all'attacco chimico dell'acqua, la frattura può allargarsi, per processi di dissoluzione dei minerali da parte dell'acqua stessa. Le rocce calcaree vengono disciolte dalle acque contenenti anidride carbonica. Tutte le acque in natura (meteoriche o di falda) contengono quantità variabili di anidride carbonica, gas molto solubile in acqua. Le rocce evaporitiche, come i gessi e il salgemma, invece vengono disciolte direttamente dall'acqua a prescindere dal suo contenuto in anidride carbonica.

Il fenomeno carsico nei gessi produce forme generalmente meno spettacolari di quelle che si originano nelle rocce calcaree, ma che sono dotate di un fascino estremamente particolare. Ad esempio, nelle grotte che si aprono nelle rocce gessose relativamente rare sono le concrezioni, come stalattiti e stalagmiti, ma le forme di dissoluzione e di erosione che mettono in risalto il luccichio di migliaia di cristalli di selenite sono caratteristiche spettacolari visibili soltanto nelle grotte dei gessi messiniani.

Le forme di dissoluzione superficiale sono caratterizzate da campi solcati, come quelli riconoscibili alla base della Chiesa di Monte Donato (Foto 3.1), pozzi verticali "a candela", doline e valli cieche.



Foto 3.1 – Forme di dissoluzione



Il carsismo ipogeo è strettamente legato a quello superficiale e numerose grotte si aprono sul fondo delle doline.

Le cavità più sviluppate sono sistemi carsici completi con inghiottitoi che drenano i corsi d'acqua nel sottosuolo fino alle risorgenze dove le acque riemergono alla superficie.

L'andamento e lo sviluppo delle cavità sono pressoché sempre controllati dalle caratteristiche strutturali delle rocce (giacitura, stratificazione e fratturazione) e i sistemi ipogei dei gessi bolognesi possono estendersi per parecchi chilometri (oltre 8 km il sistema ipogeo scavato dal torrente Acquafredda).

Di seguito sono descritti più significativi affioramenti gessosi presenti sul territorio Comunale.

GESI DI GAIBOLA

L'affioramento di un lembo di gessi messiniani in prossimità della chiesa di Gaibola ha determinato la formazione di un paesaggio carsico particolarmente interessante, e di sicura valenza naturalistica ed ecologica (Fig. 3.12).

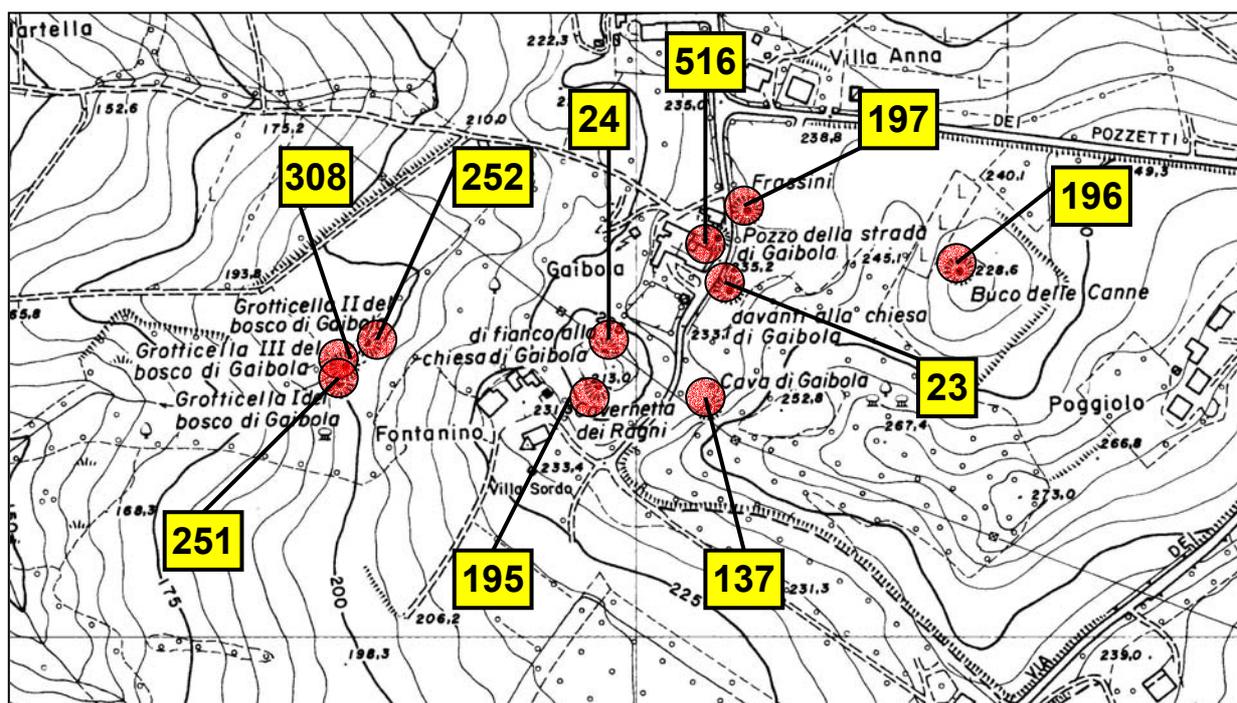


Fig. 3.12 – Zona di Gaibola

Dal Catasto della cavità naturali dell'Emilia-Romagna, 1980, sono stati estratti i dati relativi alle cavità esistenti in tale zona, che si riportano di seguito;



Elementi descrittivi del Catasto	
Elenco catastale delle cavità	Coordinate Geografiche
Siglatura	Natura geologica
Denominazione catastale	Quota
Tipo di cavità	Sviluppo
Località e Comune	dislivello
Cartografia I.G.M.	

23 BO Grotta davanti alla chiesa di Gaibola. Inghiottitoio complesso; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'39", Long. 1°07'58"; Quota 233; ; Natura geologica: gessi messiniani Sviluppo 50 m; Dislivello -3 m.

24 BO Grotta di fianco alla chiesa di Gaibola. Inghiottitoio complesso; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'37", Long. 1°08'03"; Quota 225; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 1150 m; Dislivello -37 m.

137 BO Grotta della cava di Gaibola. Risorgente relitto; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'37", Long. 1°09'02"; Quota 238; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 20 m; Dislivello -2.4 m.

195 BO Cavernetta dei Ragni. Cavernetta; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'37", Long. 1°09'37"; Quota 230; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 7 m; Dislivello -0 m.

196 BO Buco delle Canne. Inghiottitoio; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'38", Long. 1°09'10"; Quota 232; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 13 m; Dislivello -8 m.

197 BO Grotta dei Frassini. Cavernetta; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'39", Long. 1°09'30"; Quota 232; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 15 m; Dislivello 0 m.

251 BO Grotticella I del Bosco di Gaibola. Cavernetta; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'35", Long. 1°08'08"; Quota 190; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 8 m; Dislivello -2 m.

252 BO Grotticella II del Bosco di Gaibola. Cavernetta; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'35", Long. 1°08'09"; Quota 185; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 8,5 m; Dislivello +0,5 m.



308 BO Pozzo della strada di Gaibola. Cavernetta; Loc. Gaibola (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'41", Long. 1°07'58"; Quota 270; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 32 m; Dislivello – 22 m.

All'interno della zona si rinvengono 3 inghiottitoi (Tabella 3.2), tra le quali quella situata tra la chiesa e la località il Fontanino e denominata nella cartografia tecnica regionale "Grotta di fianco alla chiesa di Gaibola, risulta di maggiori dimensioni.

n° catastale	Denominazione	Tipo di cavità
23	Grotta davanti alla chiesa di Gaibola GAIBOLA	Inghiottitoio complesso
24	Grotta di fianco alla chiesa di Gaibola GAIBOLA	Inghiottitoio complesso
137	Grotta della cava di Gaibola GAIBOLA	Risorgente Relitto
195	Cavernetta dei Ragni GAIBOLA	Cavernetta
196	Buco delle Canne GAIBOLA	Inghiottitoio
197	Grotta dei Frassini GAIBOLA	Cavernetta
251	Grotticella I del Bosco di Gaibola GAIBOLA	Cavità relitto
252	Grotticella II del Bosco di Gaibola GAIBOLA	Cavità relitto
308	Grotticella III del Bosco di Gaibola GAIBOLA	Cavità relitto
516	Pozzo della strada di Gaibola GAIBOLA	Pozzo

Tabella 3.2 – Tipologia forme carsiche esistenti nella zona di Gaibola

Si tratta di una larga depressione imbutiforme del diametro di circa 90 metri, e profondità di 37 m, e uno sviluppo superiore a 1 Km, circondata da una folta vegetazione di querce e bosco ceduo.

Nella grotta vi si penetra attraverso un crepaccio orizzontale di circa 10 metri che si addentra verso nord e che si immette in un pozzo di erosione di circa 6 metri di profondità. All'interno un piccolo corso d'acqua che dopo un percorso sotterraneo di circa 200 metri da origine ad occidente ad un affluente del torrente Ravone. Si tratta di una delle poche risorgenti carsiche presenti nel comprensorio dei gessi Bolognesi. Significative risultano le forme di dissoluzione e rideposizione dei cristalli di gesso (Foto 3.2 e 3.3), e si possono osservare cristalli di gesso, anche di notevole dimensione, con la tipica forma a punta di lancia.



Foto 3.2 – Forme di rideposizione



Foto 3.3 – Cristalli di gesso a forma di punta di lancia

Si segnalano all'interno della grotta ritrovamenti preistorici consistenti sia in ossami umani che schegge di selce, e frammenti di vasi di terracotta di fattura grossolana.

Come precedentemente accennato in tale zona è stata esercitata in passato attività estrattiva di gesso, della quale rimangono numerose scarpate di cava attualmente parzialmente colonizzate dalla vegetazione (Foto 3.4).

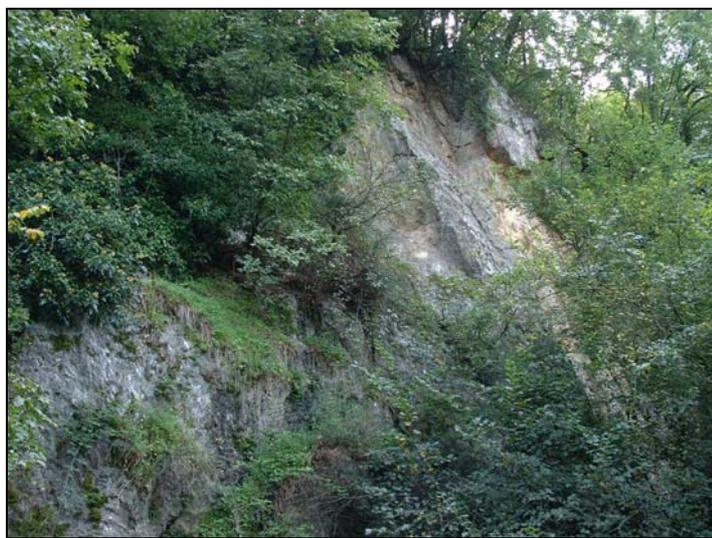


Foto 3.4 – Pareti di scavo



GESI DI MONTE DONATO

Nella zona di Monte Donato, lungo via Dell'Angelo Custode sono presenti due vaste doline che rappresentano, in relazione alle dimensioni, una forma rilevante del paesaggio carsico (Fig. 3.13).

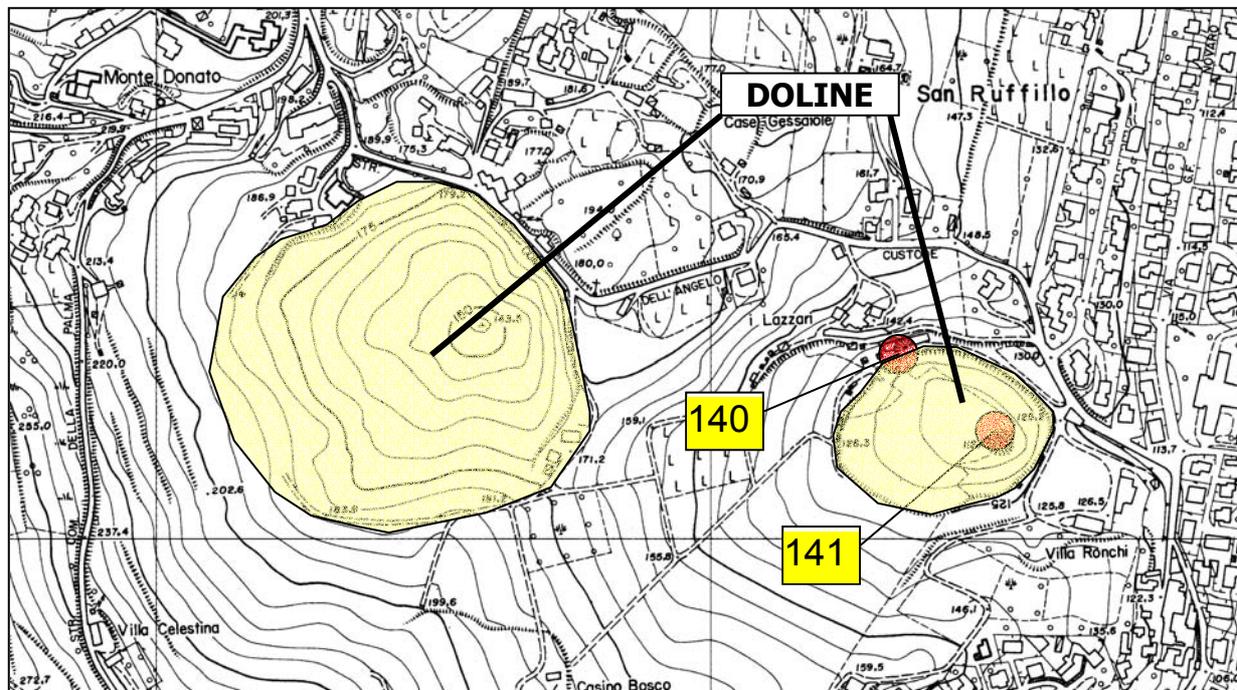


Fig. 3.13 – Zona di Monte Donato

In quella più ad oriente denominata "Grande Dolina di ca' Due Torri" è presente sul fondo un inghiottitoio parzialmente ostruito (Foto 3.5), mentre immediatamente a Nord è presente l'edificio che da il nome alla dolina, all'interno del quale è presente la grotta "Due Torri" (Foto 3.6).

Al di sotto delle Doline si sviluppa un percorso ipogeo con una lunghezza di poco superiore a 1 Km, che probabilmente è stata intercettata a valle dal sistema dei canali artificiali esistenti.



Foto 3.5 – Panoramica della Dolina "Due Torri"

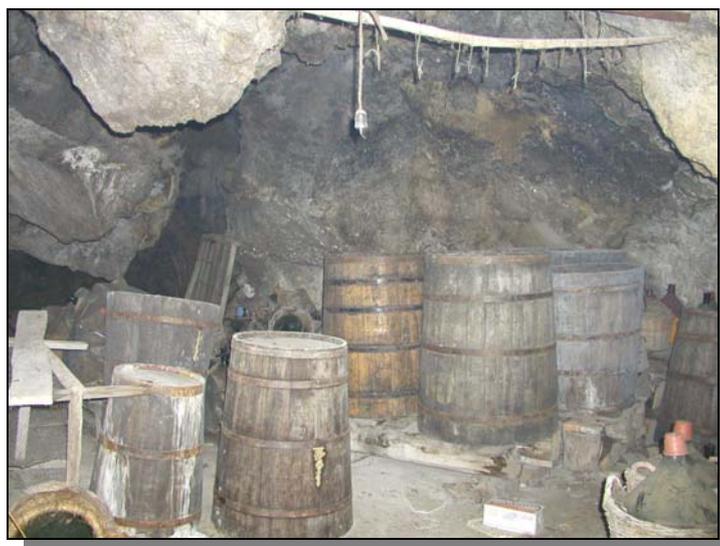


Foto 3.6 – Particolare della grotta "Due Torri"

Dal Catasto della cavità naturali dell'Emilia-Romagna, 1980, sono stati estratti i dati relativi alle cavità esistenti in tale zona, che si riportano di seguito (Tab. 3.3).

n° catastale	Denominazione	Tipo di cavità
140	Grotta due Torri	Inghiottitoio
141	Inghiottitoio della Grande Dolina di ca' Due Torri	Inghiottitoio

Tabella 3.3 – Tipologia forme carsiche esistenti nella zona di Monte Donato

140 BO Grotta Due Torri. Inghiottitoio; Monte Donato (Bologna); IGM 87 II NE Bologna; Lat. 44°27'33", Long. 1°05'13"; Quota 125; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 60 m; Dislivello -10 m.

141 BO Inghiottitoio della grande dolina di Ca' Due Torri. Inghiottitoio otturato; Loc. Monte Donato (Bologna); IGM 87 II NE Bologna; Lat. 44°27'30", Long. 1°05'11"; Quota 125; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 30 m; Dislivello - m.

Numerose risultano le aree di ex-cava presenti nella zona di Monte Donato, che risultano parzialmente edificate. Nella foto 3.7 viene riportato il particolare di una parete di scavo, mentre nella foto 3.8 un forno di cottura del materiale estratto.



Foto 3.7 – Particolare scarpata di scavo



Foto 3.8 – Forno di cottura

GESSE DI VIA CASAGLIA

Meno rilevanti risultano le forme carsiche nella zona di Casaglia (Fig. 3.14), e nel Catasto della cavità naturali dell'Emilia-Romagna sono riportate esclusivamente due cavità relitte con la seguente scheda.

34 BO Grotta di Casaglia. Cavità relitto; Loc. Casaglia (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'44", Long. 1°09'16"; Quota 225; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 43 m; Dislivello -1 m;.

151 BO Pozzetto di Casaglia. Cavità relitto; Loc. Casaglia (Bologna); IGM 87 II NO Casalecchio; Lat. 44°27'43", Long. 1°09'22"; Quota 200; Natura geologica: gessi messiniani; Sviluppo 7,2 m; Dislivello -5,8 m.

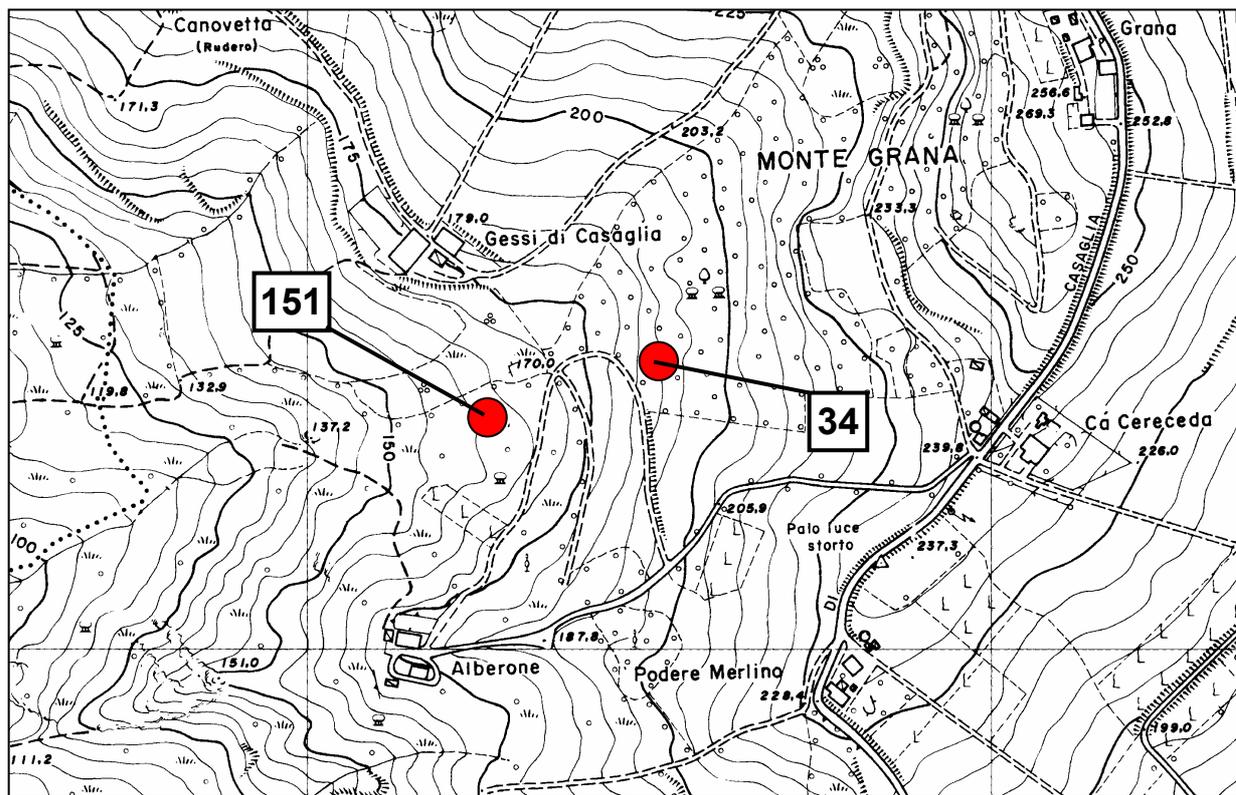


Fig. 3.14 – Zona di Via Casaglia



3.1.6 CALANCHI

CALANCHI DI SABBIUNO

Nel settore meridionale del territorio Comunale è presente un esteso apparato calanchivo all'interno del bacino idrografico del Rio Rii (Foto 3.9), che si estende anche nel limitrofo Comune di Sasso Marconi. Il substrato è rappresentato da argille che rappresentano una deposizione pliocenica di mare profondo, alle quali si sovrappongono litotipi sabbiosi di ambiente costiero che affiorano immediatamente a sud formando il contrafforte pliocenico, che si eleva ad un'altezza di circa 700 metri.



Foto 3.9 – Panoramica invernale dei calanchi di Sabbiuno



Foto 3.10 – Panoramica del monumenti ai caduti

I calanchi di Sabbiuno rappresentano un sistema di assoluta rilevanza sia sotto il profilo paesistico che di quello scientifico in relazione alla peculiarità geologica e geomorfologia che essi rappresentano. Da non sottovalutare inoltre l'aspetto storico legato alla presenza di un monumento che ricorda cento caduti della Resistenza (Foto 3.10), attraverso una serie di blocchi di pietra collocati a ridosso del ciglio del calanco che recano incisi i nomi e da una simbolica cortina di cemento armato.

Da un punto di vista geomorfologico il calanco può definirsi "tipico" ed è caratterizzato da un elevata densità di drenaggio, configurazione dentritica convergente, notevole acclività delle pareti, presenza di creste e vallecicole strette e profonde. L'erosione superficiale è molto spinta e frequenti



sono i movimenti gravitativi del tipo colata di fango.

Se quindi da un lato l'area descritta presenta caratteristiche paesaggistiche rilevanti, dall'altro si tratta comunque di una forma di dissesto del territorio e come tale rappresenta un elemento di rischio sia per la strada comunale presente in corrispondenza del crinale che per un edificio comunale che fa parte della struttura del monumento collocato immediatamente a ridosso del margine calanchivo.

L'area calanchiva, come hanno mostrato recenti studi, ha subito negli ultimi decenni un'accelerazione dell'erosione registrando preoccupanti arretramenti con coinvolgimenti diretti del monumento (foto 3.10) e della strada comunale.

A tale situazione si è cercato di porre rimedio con interventi di sistemazione che sono stati eseguiti sia sul fondo del calanco che nelle posizioni di pendice e cresta. Sul fondo è stata eseguita negli anni '80 una traversa di "terra battuta" (altezza 10 m, lunghezza in corona 87,5 m) realizzata al piede del ventaglio calanchivo in un punto di convergenza di diverse conche. La finalità di questo intervento era di intercettare le colate di fango, e favorire la formazione di una colmata suborizzontale a partire dalla quale si sarebbe innescata una colonizzazione vegetale dei pendii. Di fatto ciò è accaduto solo parzialmente e non sembra aver rallentato in modo significativo l'erosione regressiva del calanco. Per quanto riguarda le posizioni apicali sono state realizzate in corrispondenza del monumento delle lunghe staccionate costituite da pali di legno come montanti collegati da pertiche vive rinterrate con terreno vegetale dove sono state seminate erbe pedule con funzione mimetica. Anche tale intervento ha avuto effetti limitati ed attualmente si registra la loro parziale distruzione dovuta al loro diretto coinvolgimento in fenomeni franosi.



CALANCHI DI PADERNO

A Sud del M. Paderno, lungo il corso del Rio Torriane, si apre un ampio anfiteatro calanchivo che si trova a ridosso della Via dei Colli (Foto 3.11).



Foto 3.11– Panoramica dei calanchi di Paderno Visti da Est

Queste strutture calanchive rivestono, come le precedenti, un'importanza paesaggistica rilevante anche se il differente substrato geologico rappresentato dai depositi argillosi caotici della formazione denominata "Argille varicolori della Val Samoggia", fa sì che l'apparato calanchivo, sebbene esteso, risulti meno sviluppato, e con una significativa presenza di porzioni parzialmente vegetate.

Da sottolineare una delle particolarità che ha reso noti questi calanchi, è cioè il ritrovamento della cosiddetta "pietra fosforica bolognese" (Baritina). Queste pietre furono studiate, per la loro particolare peculiarità di emettere una fosforescenza in seguito a trattamenti termici. Si tratta di solfato di Bario ($BaSO_4$), che si presenta in genere in noduli fibroso-raggiati, di colore biancastro e lucentezza vitrea. Fu scoperta nel 1602 da Vincenzo Casciarolo, e ben presto l'area divenne meta di studiosi illustri quali Galileo Galilei e Goethe (che ne lascia traccia nei suoi appunti di viaggio).

3.2 ZONA DI PIANURA

La pianura bolognese può essere suddivisa abbastanza nettamente in tre settori sulla base delle caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e tessiturali dei depositi presenti.

L'alta pianura, compresa tra il limite appenninico a Sud e la direttrice Anzola – Castelmaggiore – Castenaso a Nord, si estende in corrispondenza delle quote più elevate dalla conoide del T. Samoggia a Ovest al T. Quaderna ad Est, caratterizzandosi principalmente per la presenza di litotipi a granulometria grossolana di spessore anche rilevante. La media e la bassa pianura si collocano a Nord del settore individuato. Procedendo in direzione Sud-Nord si assiste ad un progressivo aumento dei litotipi a granulometria fine.



Le quote variano da 80-90 m s.l.m.m a ridosso del margine appenninico a 32 m s.l.m.m in prossimità del confine settentrionale del territorio comunale.

Le pendenze della superficie topografica diminuiscono da valori superiori al 25 per mille in corrispondenza dell'alta pianura a valori di 1-2 per mille nelle porzioni più distali.

L'alta pianura è essenzialmente caratterizzata dalla presenza dei conoidi alluvionali riferibili alla attività deposizionale del F. Reno e del T. Savena che hanno modellato la fascia pedecollinare rispettivamente in corrispondenza del settore occidentale ed orientale dell'area in esame. Fra le due strutture di conoide principali si interpongono le strutture minori del T. Ravone, Rio Meloncello, T. Aposa e Fossa Cavallina.

Il sistema idrografico è caratterizzato da alvei che si sviluppano verso nord nord-est lungo le strutture tettoniche di direzione antiappenniniche e lungo i gradienti della subsidenza regionale quaternaria. La distribuzione dei corpi sepolti costituiti da sedimenti grossolani (dossi e conoidi) rivela che le migrazioni dei paleoalvei dei corsi d'acqua bolognesi appaiono condizionati prevalentemente da processi deposizionali e solo limitatamente da processi neotettonici.

La conoide del F. Reno presenta forma ristretta ed allungata, identificandosi in un ampio dosso, largo fino a 3 Km, che si estende nella pianura per oltre 10 km.

Risulta caratterizzata da lobature marginali corrispondenti a deviazioni del suo tracciato ed identificate, in profondità, da dossi ghiaioso-sabbiosi.

Nella sua porzione apicale, dove l'alveo risulta inciso nel substrato marino miopliocenico, si riconoscono tre ordini di terrazzi che convergono e si annullano a 4 km dal margine della pianura (Elmi, 1984). L'andamento meandriforme del corso d'acqua presenta due deviazioni in corrispondenza rispettivamente dei centri abitati di Casalecchio e Casteldebole, probabilmente riconducibili a basculamenti locali (Francavilla e Colombetti, 1980).

Procedendo verso Nord, dopo un breve tratto rettilineo a canali intrecciati, l'alveo prosegue con caratteristiche sia meandriformi che di canali intrecciati [Ori, 1979].

Nella porzione occidentale del territorio si sviluppano alcune dorsali probabilmente corrispondenti a paleoalvei alimentati dal Torrente Lavino.

Come precedentemente accennato, ad Est del conoide del Reno sono riconoscibili conoidi di corsi d'acqua minori tra i quali i più significativi sono rappresentati dal Rio S.Luca, Rio Meloncello, Torrente Ravone, Torrente Aposa, Fossa Cavallina e Rio Grotte.

I limiti degli apparati di conoide di questi corsi d'acqua sono incerti a causa sia delle ridotte dimensioni dei depositi alluvionali sia delle frequenti deviazioni e modificazioni dei tracciati fluviali eseguite in tempi storici.

Il T. Ravone presenta una dorsale che si flette verso ovest, a confluire nel F. Reno. Il conoide dell'Aposa, che occupa il nucleo antico della città, presenta diverse dorsali divergenti corrispondenti ad antichi percorsi del torrente. Nel suo alveo è stato aperto il Canale Navile che occupa una depressione posta sul lato ovest della conoide. La conoide del T. Savena presenta una forma a ventaglio, determinata dalle successive deviazioni subite dal corso d'acqua. Oltre al tracciato storico, seguito fino



al 1776 e tuttora attivo e pensile nella sua parte più settentrionale (Savena abbandonato: Chiesa, 1742; Cremonini S., 1980), si individuano numerose dorsali coincidenti con assi di deflusso, certamente attivi in periodi recenti, preromani o romani. Il tracciato attuale del T. Savena, in parte artificiale, è caratterizzato, nelle zone prossimali al margine appenninico, da forme terrazzate non individuabili nell'antistante pianura.

In termini paleoidrografici la fig. 3.15 riporta una ricostruzione gli assi dei principali paleoalvei individuati nel Comune di Bologna (C.Elmi et Altri, 1984) dalle quale si evince come il percorso più antico del Reno risultata spostato verso NO e N (R1), in diretta prosecuzione dell'asta valliva attuale, mentre successivamente raggiunse la posizione R2 coincidente con quella attuale. Un terzo asse deposizionale successivo in ordine temporale è collocato a E (R3) in direzione del corso del Navile, che fu successivamente abbandonato per raggiungere la posizione R4 parallela a quella attuale.

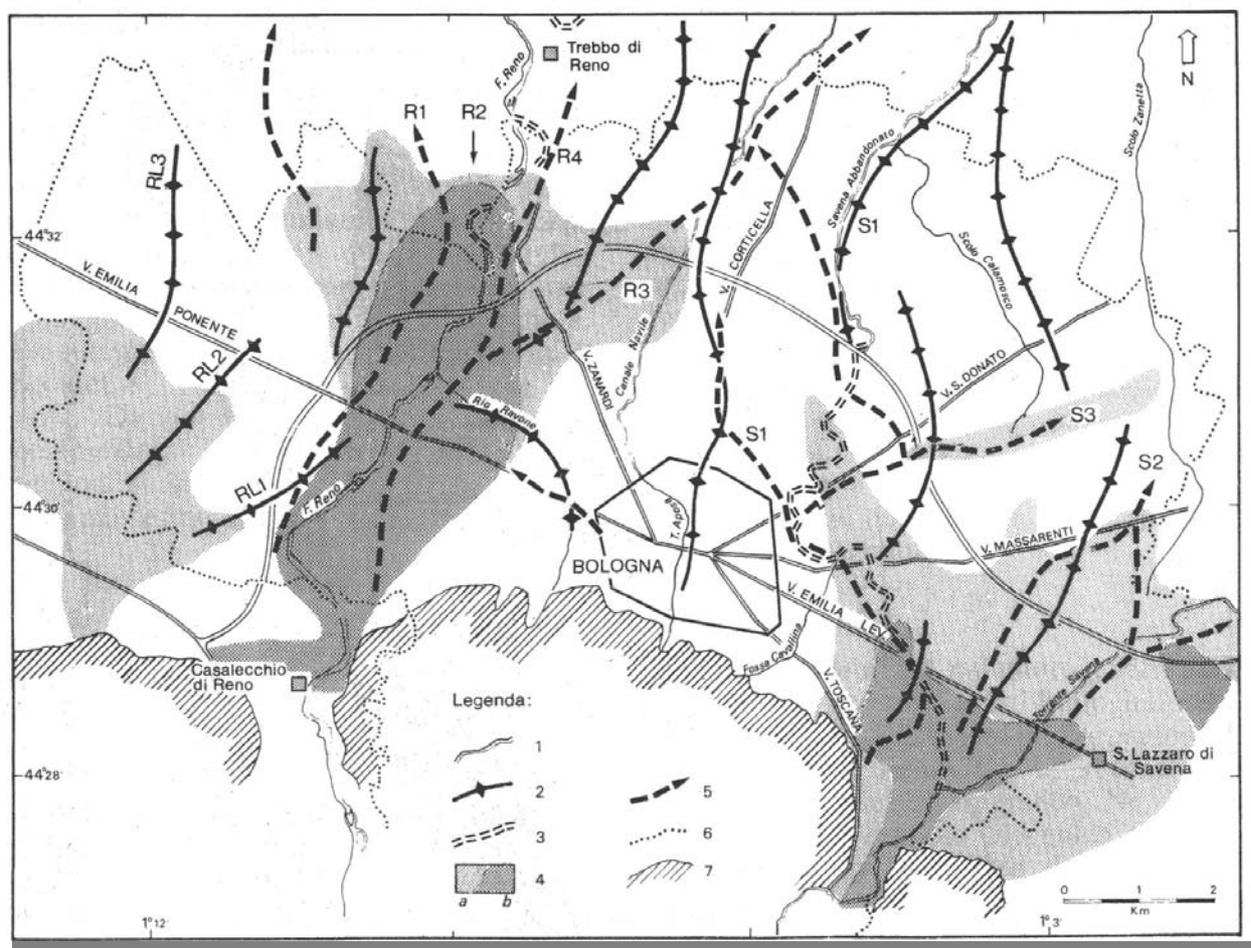


Figura 3.15 – Reticolo idrografico attuale e ricostruzione del reticolo idrografico antico. 1) Alvei attuali; 2) Posizioni di paleoalvei dedotti dalla presenza di dorsali morfologiche; 3) percorsi storici individuati in base a documenti o indicazioni storiche; 4) lobi sabbiosi (a) o ghiaiosi (b) della litologia superficiale; 5) assi di dorsali o di lobi ghiaiosi profondi; 6,7) limiti Comunali e del rilievo collinare.



Per quanto concerne il settore E di pertinenza del Torrente Savena, i percorsi del fiume risultano disposti con direzione a ventaglio. La posizione S1 coincide con quella del Savena Romano e probabilmente confluiva nel Reno R3. La S2 costituiva la naturale prosecuzione con il percorso vallivo e probabilmente di età precedente a percorso S1. Un'anomalia risulta la direzione di S3, che si stacca all'altezza dello scalo di S. Donato legata probabilmente ad una diversione temporanea ed isolata del Torrente Savena.

Le forme di origine antropica sono estremamente diffuse dato il notevole sviluppo di aree urbane in rapida evoluzione. Si tratta essenzialmente di arginature dei corsi d'acqua, canalizzazioni, siti di deviazione fluviale e aree di cava attive, abbandonate o ripristinate.

3.2.1 QUADRO GEOLOGICO – STRATIGRAFICO

Notevoli contributi finalizzati alla definizione della ricostruzione stratigrafica del sottosuolo della pianura bolognese sono stati forniti da Amorosi e Farina [1994], Amorosi e Farina [1995], Elmi et al. [1984], Regione Emilia Romagna - Agip [1998], Farina et al. [2001b]. Tali lavori sono stati eseguiti essenzialmente tramite correlazione su base litologica e geometrica di dati stratigrafici relativi a sondaggi esistenti e perforazioni a scopo principalmente idropotabile.

SUCCESSIONE SEPOLTA DI PIANURA

La pianura bolognese costituisce parte del più ampio bacino sedimentario sintettonico padano al cui interno si riconoscono, tre sequenze deposizionali che corrispondono a cicli trasgressivo-regressivi denominati P₂, Q_m (Quaternario Marino) e Q_c (Quaternario continentale) da Ricci Lucchi et Al (1982) che costituiscono la risposta sedimentaria ad altrettanti fasi tettoniche regionali.

Il ciclo Q_c corrisponde alla porzione sommitale dei sedimenti di riempimento del bacino padano, costituito da depositi alluvionali e poggianti, con contatto discordante, sul ciclo pleistocenico inferiore marino (ciclo Q_m).

Secondo quanto proposto da *Regione Emilia Romagna - Agip*, 1998, vengono distinte (Fig. 3.16) le seguenti 3 sequenze (denominate supersistemi secondo la terminologia U.B.S.U):

- 1) Supersistema del Pliocene medio-superiore (P₂);
- 2) Supersistema del Quaternario Marino (che in realtà incomincia già dal Pliocene superiore) che viene suddiviso a sua volta in 4 subsistemi;
- 3) Supersistema Emiliano Romagnolo suddiviso in inferiore e superiore

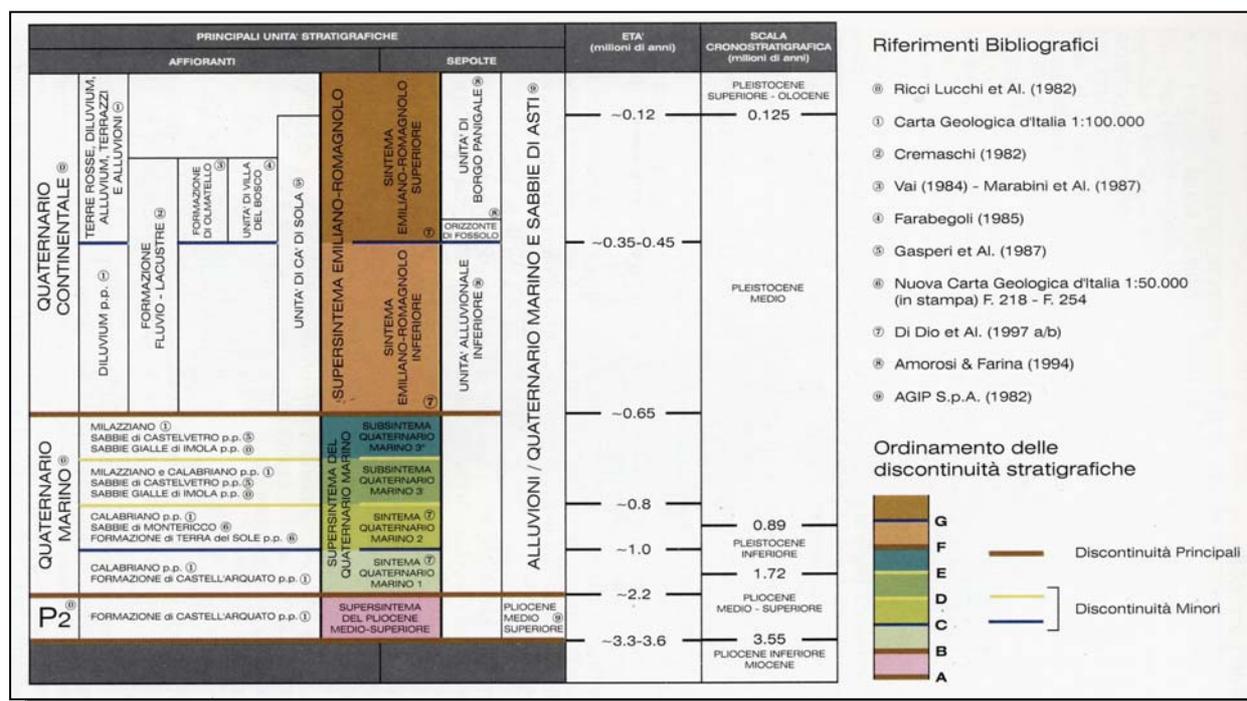


Fig. 3.16 – Inquadramento geologico-stratigrafico dell'Emilia-Romagna

Tali unità sono ben evidenziate nel profilo sismico interpretato della pianura Bolognese e Ferrarese riportato di seguito (Fig. 3.17) e desunto da *Regione Emilia Romagna - Agip, 1998*.

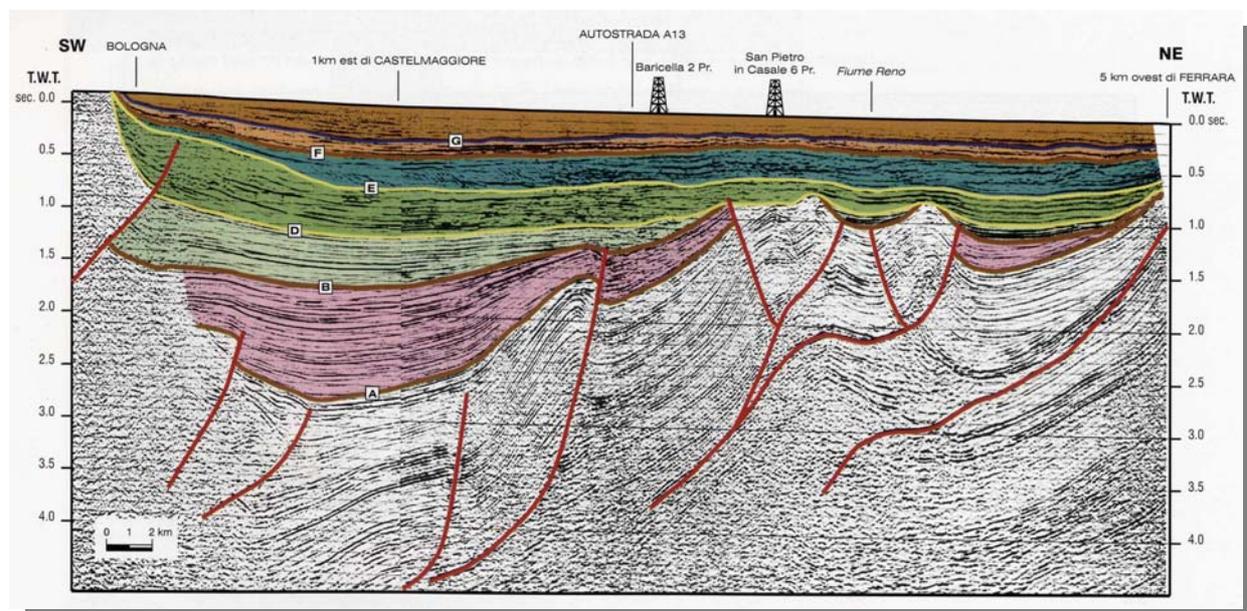


Fig. 3.17 – Profilo sismico interpretato della pianura bolognese e ferrarese

La successione Quaternaria continentale è caratterizzata dal progressivo delinarsi del sistema deposizionale del conoide del Reno nel corso dell'ultimo milione di anni e, in età più recenti, del conoide del Savena.



Nella Figura 3.18 si riporta lo schema stratigrafico elaborato per le conoidi di Reno, Savena, Idice.

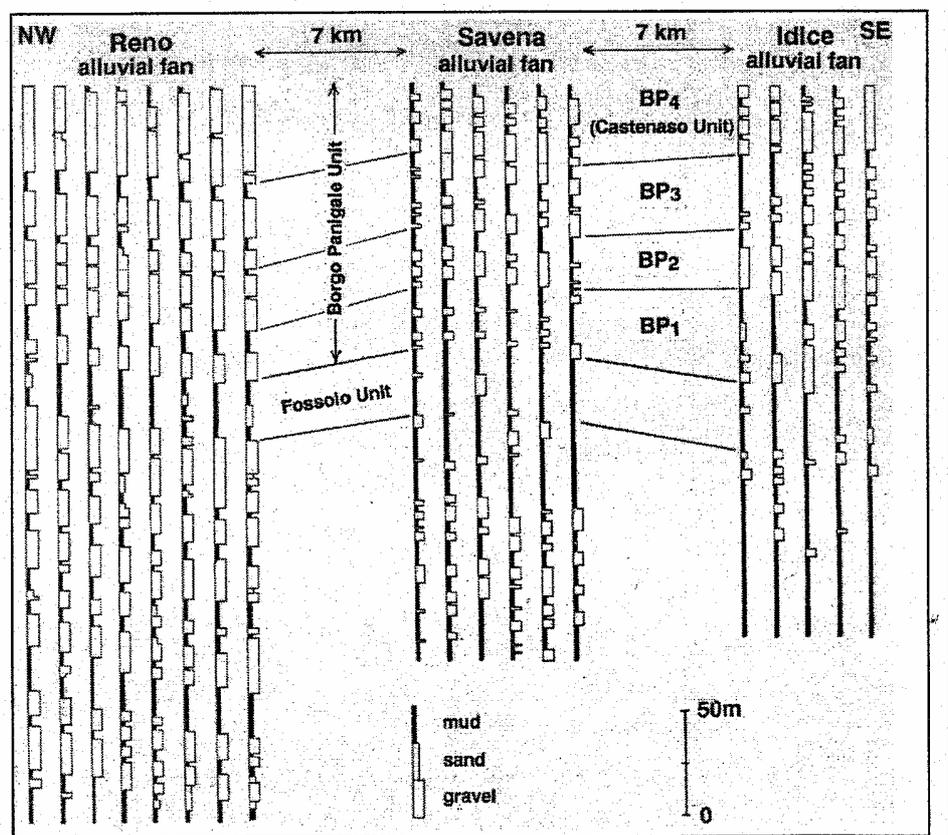


Figura 3.18: Quadro stratigrafico dei conoidi di Reno, Savena e Idice [da Amorosi et al., 1996].

Il Quaternario continentale viene suddiviso, secondo la definizione proposta da *Regione Emilia Romagna - Agip*, 1998 (Fig. 3.19), in due unità a contenuto grossolano, definite Ciclo A [Unità Alluvionale superiore di *Amorosi e Farina*, 1994] e Ciclo B [Unità Alluvionale Inferiore di *Amorosi e Farina*, 1994] (Fig. 3.20), dello spessore di circa 100-150 m, separate da corpi a deposizione francamente argillosa. In posizione sottostante è presente un ciclo C, riconosciuto recentemente a scala regionale, che può essere assimilato alla parte terminale del Quaternario marino Q_{mv} e ne rappresenta l'espressione basale.

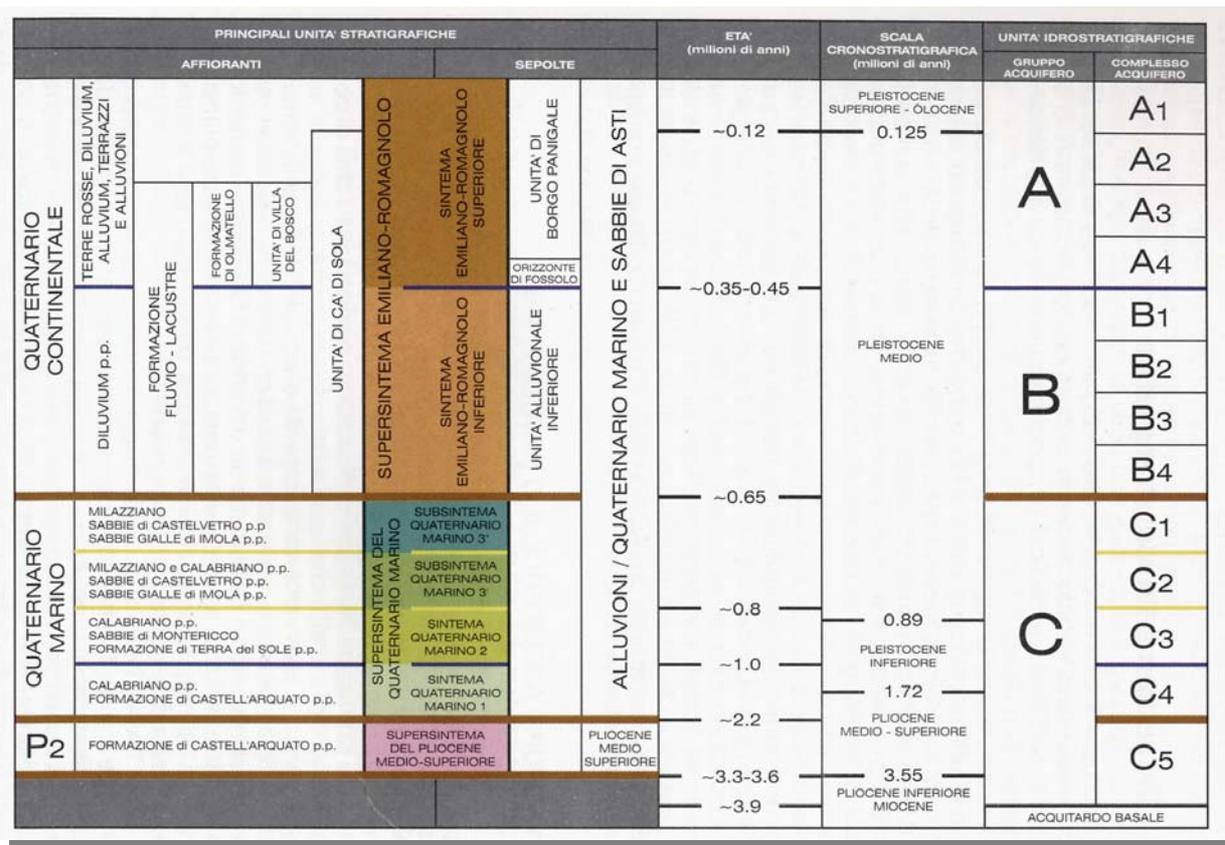


Figura 3.19: Quadro geologico-stratigrafico e idrostratigrafico Regione Emilia Romagna - Agip, 1998

Lo spessore del ciclo Q_c , all'interno del quale si sviluppano gli acquiferi captati, supera, nell'area bolognese, i 300 m [Francavilla et al., 1980; Ori, 1979]; tale spessore diminuisce procedendo verso Nord, in direzione di Ferrara, (Fig. 3.17) dove la base del Quaternario continentale si riscontra a qualche decina di metri di profondità dal piano campagna attuale [Pieri e Groppi, 1981]. Nell'ambito della successione quaternaria continentale, le unità attraversate sono costituite, dal punto di vista litologico, essenzialmente da ghiaie e, subordinatamente, da peliti, più scarse appaiono le sabbie. Le ghiaie risultano dominanti nell'area del F. Reno, mentre il rapporto grossolano/pelite, espresso dal rapporto fra la somma delle frazioni ghiaiosa e sabbiosa e la frazione a granulometria fine ed indicato come G/P, risulta inferiore nelle sezioni dei torrenti Savena ed Idice.

Amorosi e Farina [1994,1995] riconoscono, nell'ambito della distribuzione verticale delle litologie, una chiara organizzazione delle ghiaie e delle peliti secondo cicli o ritmi di diverso spessore risultanti in alternanze di depositi prevalentemente grossolani e di depositi a dominante fine su spessori variabili da 10 a oltre 100 metri (Fig. 3.20).



Unità stratigrafiche			Unità idrogeologiche	Età
Quaternario Continentale (Qc)	Ciclo A	A1	Falda SUP4	Olocene
			A1c	
			A1b	Falda SUP2
		A1a	Falda SUP1	Pleistocene superiore
	A2	Falda profonda	Pleistocene medio	
	A3			
	A4			
	Orizz. Fossolo			
	Ciclo B			
Quaternario Marino (Qm)	Ciclo C		Pleistocene inferiore	

Figura 3.20: Quadro riassuntivo delle unità geologiche ed idrogeologiche riconosciute [da Farina et al., 2001b].

Un intervallo prevalentemente fine di significativa continuità stratigrafica, denominato Unità di Fossolo [base del Ciclo A], consente di distinguere una Unità Alluvionale Inferiore [Ciclo B] da una Unità Alluvionale Superiore o Unità di Borgo Panigale [UBP, da *Amorosi et al.*, 1996 o Ciclo A da *Regione Emilia Romagna*, 1998] costituendo sia un marker stratigrafico, sia, dal punto di vista idrogeologico, un acquitardo di importanza regionale.

Tale orizzonte pelitico si colloca ad una profondità pari a circa 120 – 150 metri dal piano campagna ed ha uno spessore di circa 20-25 metri. È composto da materiale prevalentemente siltoso ed argilloso, con intercalazioni di corpi sabbiosi e localmente ghiaiosi caratterizzati da un valore di G/P sempre inferiore a 1/3.

L'Unità Alluvionale inferiore [o Ciclo B] si colloca a profondità comprese fra 120-150 m (tetto) e 270-320 m (base) e presenta spessori superiori 200 metri nell'area del F. Reno. Risulta di difficile caratterizzazione litologica e stratigrafica nella sua porzione inferiore, mentre la sua parte sommitale è costituita da una megasequenza di spessore variabile tra 100 e 120 metri che presenta una espressione fortemente ghiaiosa nel settore del Reno [G/P = 3/1], mentre nel settore del Savena il rapporto G/P è inferiore a 1.

L'Unità Alluvionale Superiore definita Unità di Borgo Panigale, o Ciclo A, è caratterizzata da un tenore in ghiaie mediamente più elevato rispetto alla sottostante Unità Alluvionale Inferiore, o Ciclo B, indicativo di una deposizione prevalentemente grossolana sull'intera area in esame. Il rapporto G/P raggiunge 6/1 nella conoide del Reno e 2/1 nei conoidi di Savena ed Idice.

All'interno dell'Unità Alluvionale Superiore si riconoscono quattro cicli a base ghiaiosa dello spessore di circa 30-40 metri delimitati a tetto da intervalli prevalentemente fini di minore potenza, pari a circa 5-10 metri. Queste unità, denominate dall'alto come A1, A2, A3, A4 [*Regione Emilia Romagna*, 1998] o BP4, BP3, BP2, BP1 secondo *Amorosi e Farina*, 1996, si caratterizzano come corpi acquiferi parzialmente amalgamati tra loro, in particolare nelle zone apicali e in presenza di isolati corpi



grossolani all'interno degli spessori pelitici. Gli orizzonti descritti presentano un elevato grado di correlabilità nell'area del Reno, e sono caratterizzati da una buona persistenza anche nei settori di Savena ed Idice.

Le sezioni geologiche riportate nelle figure 3.21 e 3.22 consentono di osservare l'alternanza ghiaia-pelite presente nel sistema di conoide appenninico. Si nota la presenza dell'elemento tettonico posto a Sud del sistema di conoide, correlabile alla struttura di thrust definito Sovrascorrimento Frontale Pedeappenninico o PTF (Castellarin et al., 1985).

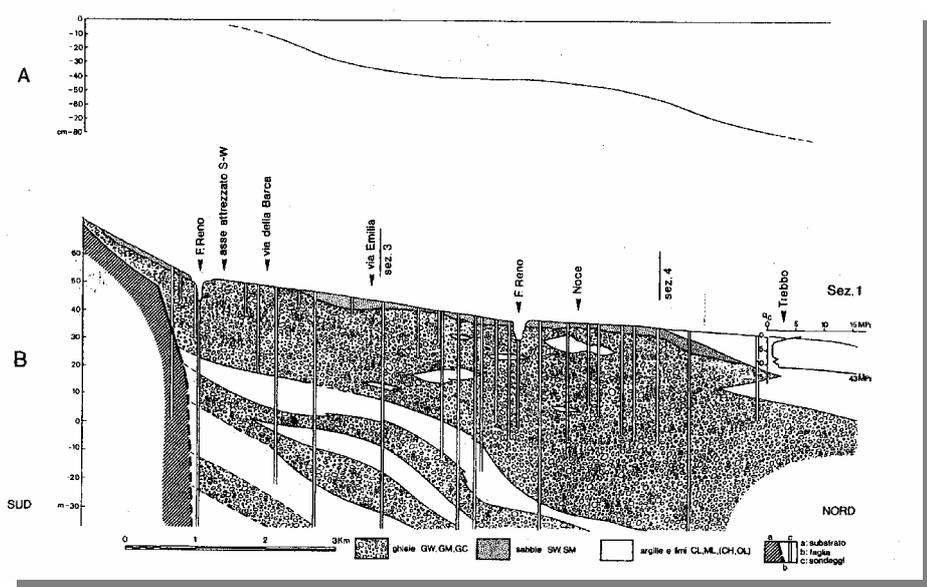


Fig. 3.21 – Sezione lungo l'asse del Fiume Reno

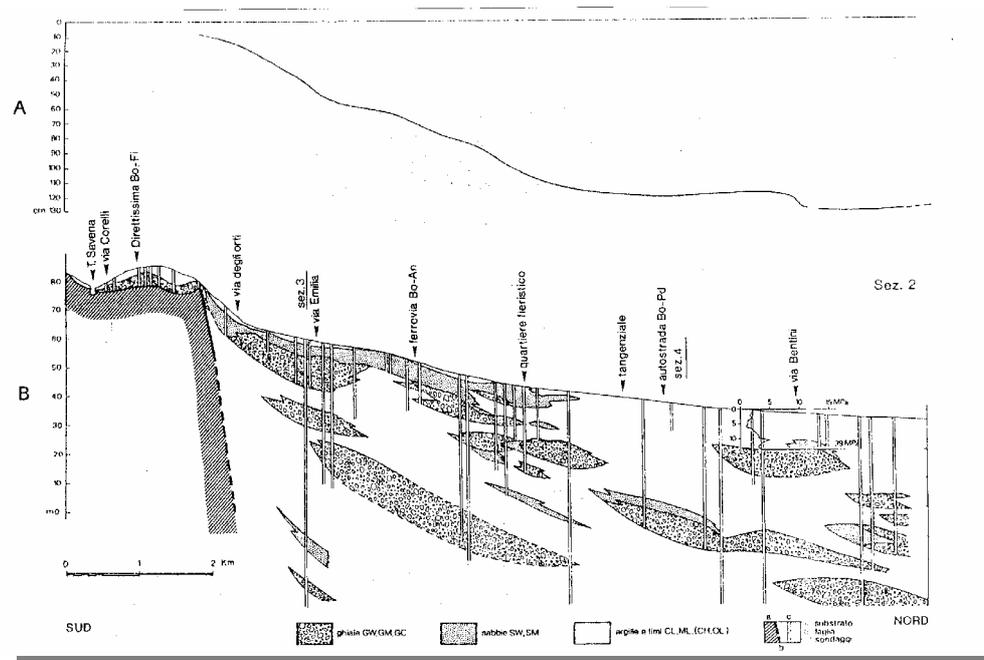


Fig. 3.22 – Sezione lungo l'asse del torrente Savena

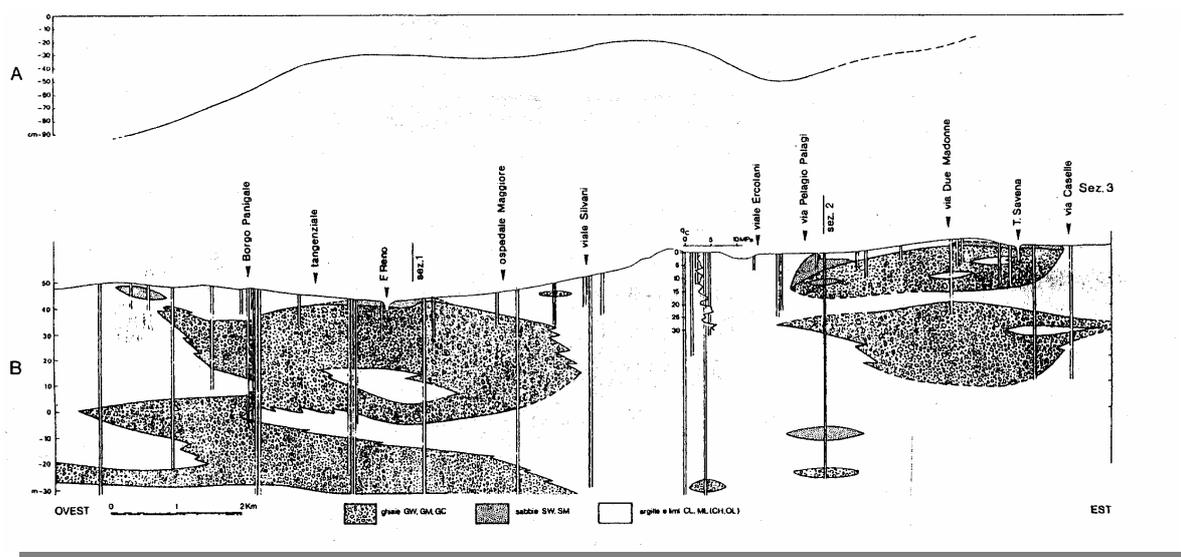


Fig. 3.23 – Sezione Est - Ovest

Lateralmente rispetto alle aree di conoide si distinguono settori caratterizzati dalla presenza di litofacies di piana alluvionale, riferibili sia a fenomeni di esondazione di Reno e Savena, sia a deposizione di materiale pelitico proveniente dalla sedimentazione del reticolo minore (Meloncello, Ravone, Aposa). Si individua un settore definibile di interconoide, dove non si verifica coalescenza laterale tra i corpi ghiaiosi attribuibili al F. Reno e al T. Savena. I depositi sono costituiti principalmente da materiali limoso-argillosi. Solo raramente si riscontra la presenza di intercalazioni sabbiose, di ridotta continuità laterale. Questa transizione litologica è riscontrabile anche all' interno della documentazione cartografica allegata relativa alla descrizione della litologia di superficie.

La Fig. 3.23 mostra una sezione a direzione Ovest-Est localizzata all' incirca in corrispondenza della Via Emilia dove si osservano le geometrie dei depositi ghiaiosi del Reno e del Savena in senso trasversale. Si può notare che i corpi grossolani non interessano la zona del centro storico di Bologna che risulta collocarsi all'interno del settore di interconoide del sistema Reno-Savena.

Per quanto concerne la caratterizzazione del primo sottosuolo si è ricostruita la carta della litologia superficiale che sarà discussa successivamente, mentre si riportano di seguito i seguenti elaborati prodotti dall'Ufficio Suolo ed Attività Estrattive del Comune di Bologna:

Carta della profondità del tetto delle ghiaie (Fig. 3.24) che ricostruisce, sulla base dell'interpolazione di dati litostratigrafici, le isolinee di ugual soggiacenza del tetto del corpo ghiaioso più prossimo al piano campagna.



Carta della percentuale di ghiaie e sabbie nei primi 20 m (Fig. 3.25) che ricostruisce, sulla base dei dati litostratigrafici disponibili isolinee di ugual percentuale di litotipi a granulometria grossolana presenti nell'ambito di uno spessore superficiale pari a 20 m dal piano campagna.

L'analisi di tale cartografia, oltre a quella della litologia superficiale (Tavola 2) consente il riscontro, all'interno del settore occidentale dell'area in esame di un lobo ghiaioso allungato, il cui asse coincide con l'alveo attuale del F. Reno, caratterizzato dalla presenza, in superficie di depositi a granulometria grossolana di tipo ghiaioso.

In corrispondenza della porzione settentrionale del corpo ghiaioso circostante l'alveo del F. Reno si dipartono due lobi sabbiosi principali allungati in direzioni divergenti verso Est e verso Ovest rispettivamente.

I litotipi grossolani costituenti la conoide del F. Reno, ghiaie ad ampia distribuzione granulometrica o, più frequentemente, miscele di ghiaie e sabbie, sono rilevabili direttamente in affioramento o a profondità inferiore a 10 m in un'ampia fascia in asse con il fiume che si estende oltre i limiti comunali.

Depositi a granulometria fine (limi e argille) occupano le parti esterne, laterali e distali, della conoide, con varie irregolarità connesse all'influenza dei corsi d'acqua minori.

Lateralmente, in sinistra idrografica del F. Reno si riscontra la presenza di litotipi argillosi e limosi in affioramento. Il tetto del primo orizzonte ghiaioso tende ad approfondirsi raggiungendo una profondità pari a 18 m dal piano di campagna.

In corrispondenza della porzione Sud – Occidentale del territorio comunale si sviluppa la parte terminale della conoide del T. Lavino caratterizzata dalla presenza in affioramento di depositi di tipo sabbioso. In questo settore il tetto del primo orizzonte ghiaioso si colloca a profondità inferiori ai 12 m dal p.c.

L'andamento delle isolinee di ugual percentuale di litotipi a granulometria grossolana nei primi 20 m segue i lineamenti descritti in precedenza presentando valori compresi fra l'80 % e il 100% in corrispondenza della dorsale morfologica che contraddistingue l'attuale alveo del Fiume Reno e gradualmente decrescenti in direzione del confine occidentale del territorio comunale, spostandosi verso zone laterali alla conoide.

In corrispondenza della porzione nord-occidentale del territorio in esame le isolinee relative alla profondità del tetto delle ghiaie e alla percentuale di litotipi grossolani esistenti nell'ambito dello spessore più superficiale, presentano una lobatura con concavità rivolta verso Est, individuando l'esistenza di un settore interessato da un corpo ghiaioso collocato a profondità inferiori rispetto alle zone circostanti.

In corrispondenza del settore orientale, i depositi a granulometria grossolana presentano distribuzione areale più limitata rispetto al settore occidentale. Il corpo ghiaioso si presenta molto più discontinuo, suddiviso in accumuli irregolari e lentiformi di dimensioni contenute. In superficie gli



affioramenti si estendono poco oltre la Via Emilia ed in profondità si chiudono ad una distanza pari a circa 2 km a N rispetto ad essa (Elmi, 1984).

Allo sbocco della valle del Savena i materiali a granulometria grossolana si dispongono secondo due lobi diretti rispettivamente verso Nord, con asse coincidente con l'antico corso del Fiume attivo fino al 18° secolo, e verso ENE, coincidente all'incirca con il corso attuale.

Tale corso deriva da una diversione operata tra il 1776 e il 1777 che ha portato il Fiume a confluire nell'Idice, secondo un tracciato corrispondente in parte ad un piccolo corso d'acqua, in parte ad un più antico alveo dello stesso Savena (Elmi, 1984).

I sedimenti sabbiosi presentano una distribuzione più articolata ed arealmente estesa, con andamento analogo alle ghiaie. Oltre a tre lobi a direzione raggiata si distingue una lente ad andamento W-E, trasversale rispetto al decorso degli assi fluviali pedeappenninici, attribuibile, forse, ad un antico percorso fluviale.

In corrispondenza della porzione orientale del territorio comunale il tetto dell'orizzonte ghiaioso più superficiale si colloca a profondità inferiori a 2 m all'interno del dominio del T. Savena, cui competono, parimenti, percentuali di materiali grossolani compresi fra 40 e 70 %. La morfologia definita dalle due famiglie di isolinee risulta in generale accordo con le indicazioni desumibili dalle informazioni relative ai caratteri litologici di superficie.

In corrispondenza delle porzioni centrali e nord-orientali del territorio comunale si riscontra la presenza in superficie di litotipi a granulometria fine. Tali litotipi individuano, come descritto precedentemente, zone di interconoide. In corrispondenza dei medesimi settori il tetto dell'orizzonte ghiaioso più prossimo alla superficie topografica si approfondisce fino a raggiungere profondità dell'ordine di circa 25 m dal piano di campagna.

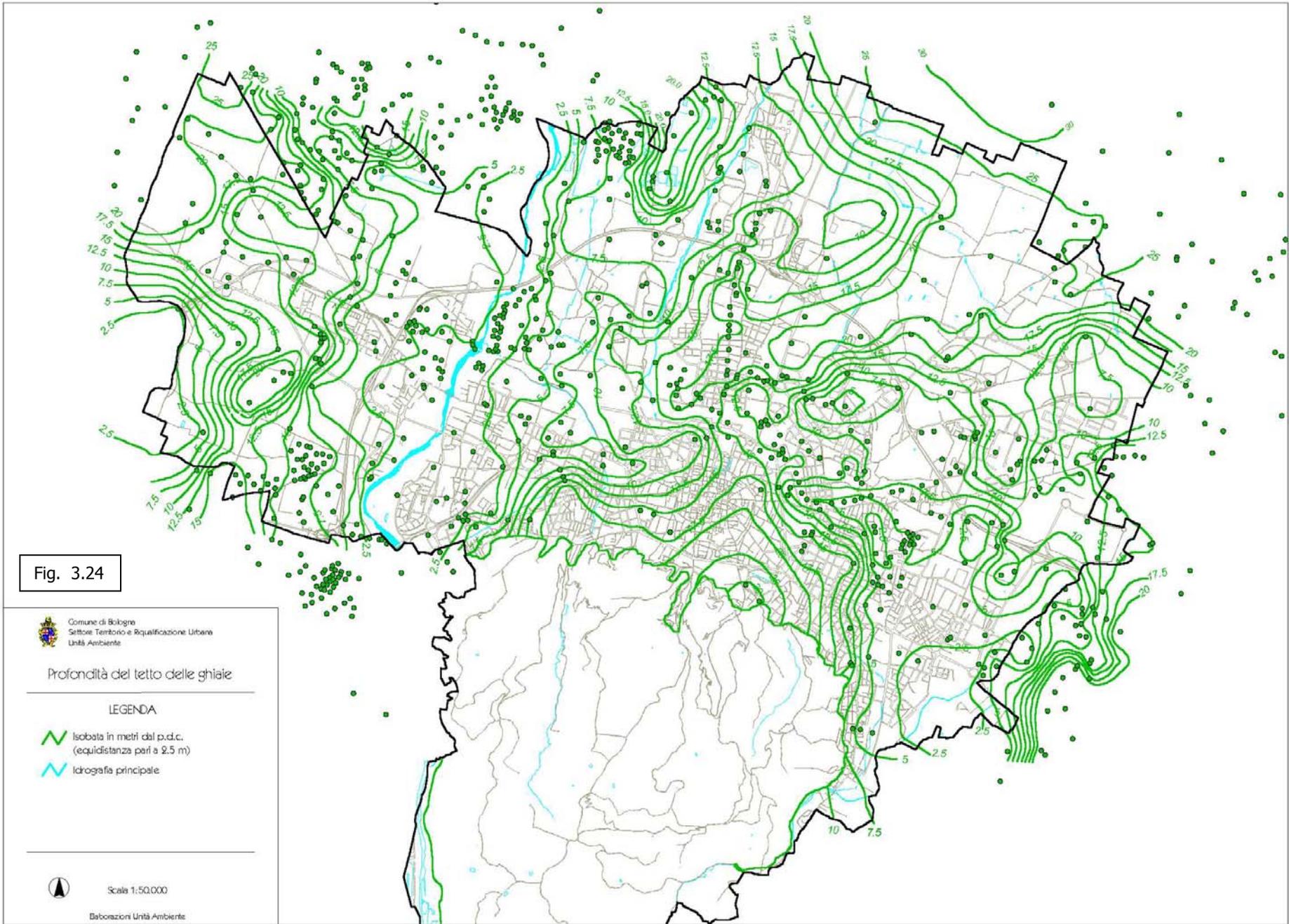


Fig. 3.24

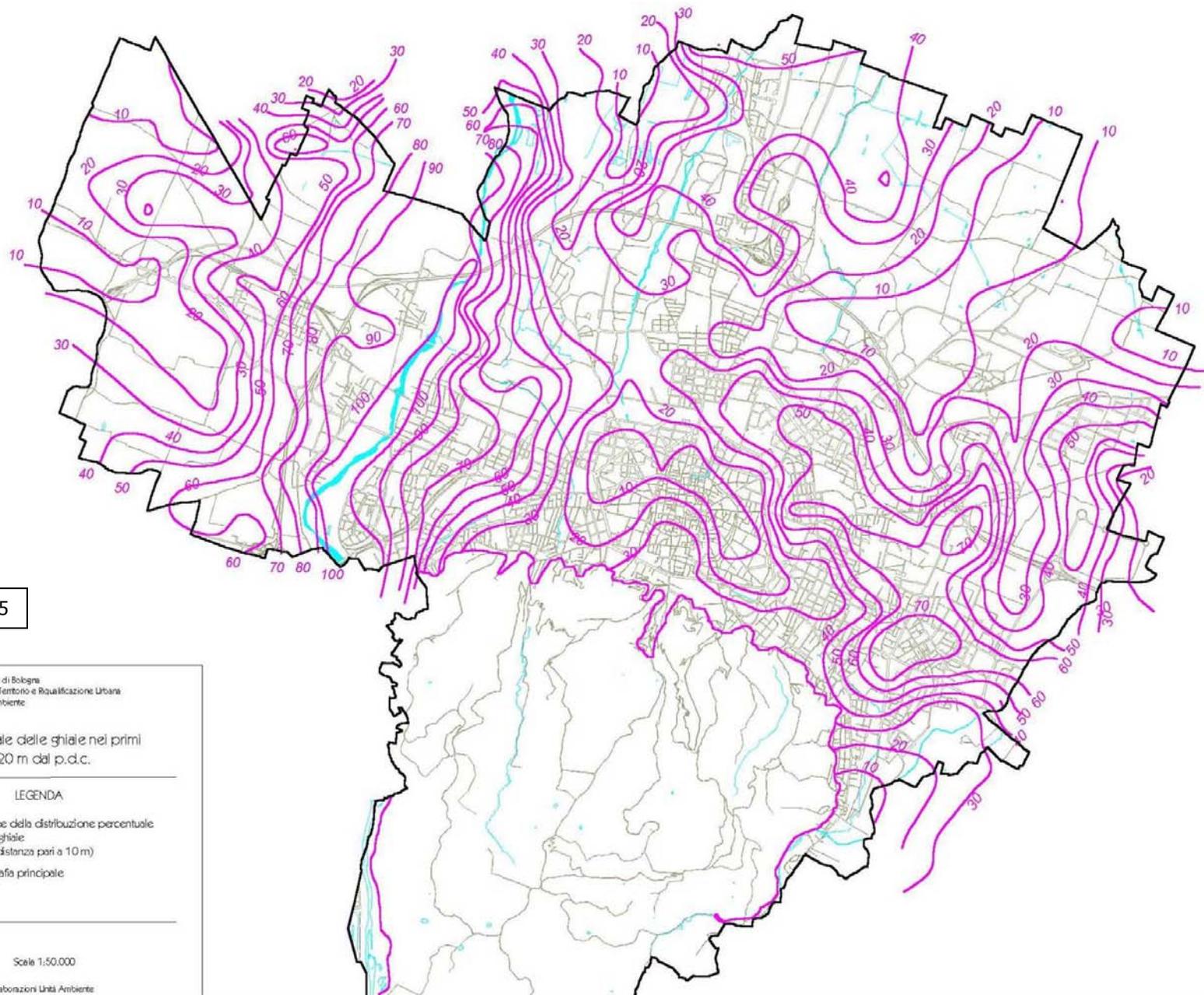


Fig. 3.25



Comune di Bologna
Settore Territorio e Riqualificazione Urbana
Unità Ambiente

Percentuale delle ghiaie nei primi
20 m dal p.d.c.

LEGENDA

-  Isolinee della distribuzione percentuale delle ghiaie (equidistanza pari a 10 m)
-  Idrografia principale



Scala 1:50.000

Elaborazioni Unità Ambiente



3.2.2 GEOLOGIA URBANA

In questo paragrafo si riportano i risultati di una ricerca effettuata sull'area urbana di Bologna presentata nel 1997 ad un convegno sulla geologia delle grandi aree urbane da G.P. Artioli, U. Baldini et al appartenenti all'Unità Operativa CNR di Bologna. In particolare lo studio eseguito partendo dalla suddivisione dell'area metropolitana in sistemi morfologici evidenziava come Bologna fosse collocata nell'interconoide del Sistema di Pedecollina Reno-Savona (Fig. 3.26).

Questo Sistema è stato poi scomposto in due ambiti morfogenetici denominati elemento idrografico ed interconoide, e, come si può facilmente osservare in Fig. 3.27, si ha la formazione di 6 nuovi Sistemi di pedecollina. Negli elementi avvengono prevalentemente processi di degradazione, e trasporto, mentre nell'interconoide prevalgono i processi morfogenetici legati al trasporto ed al deposito dei materiali.

Lo scopo di questo lavoro era quello di verificare se dall'analisi dei sistemi pedecollinari, era possibile leggere la storia evolutiva del margine della catena appenninica, considerando che Le "forme terrazzate" residue lungo il versante dell'elemento idrografico, rappresentano di fatto la memoria di antiche "pianure" ora sollevate mentre i depositi alluvionali dei corsi d'acqua dell'elemento idrografico e le sequenze deposizionali della pianura dell'interconoide, costituiscono la registrazione degli eventi non solo generali, ma anche e soprattutto, locali.

La raccolta di dati stratigrafici finalizzati alla ricostruzione tridimensionale del sottosuolo e la realizzazione di diverse planimetrie, hanno consentito di riportare le caratteristiche litologiche dei terreni a quote via via più profonde (uno step ogni circa 2-3 metri di profondità). Notevole è stato il lavoro di interpretazione dei dati stratigrafici, che hanno tenuto conto delle caratteristiche dei bacini di alimentazione (ampiezza del bacino imbrifero, pendenza d'alveo, le caratteristiche litologiche, ecc.).

I risultati delle elaborazioni sono riportati nelle figure 3.28, 3.29 e 3.30, che si riferiscono alla disposizione degli acquiferi nel sistema di pedecollina rispettivamente alla profondità di circa 20-22 m, 13-15 m e 4-7 metri, fornendo interessanti informazioni paleogeografiche.

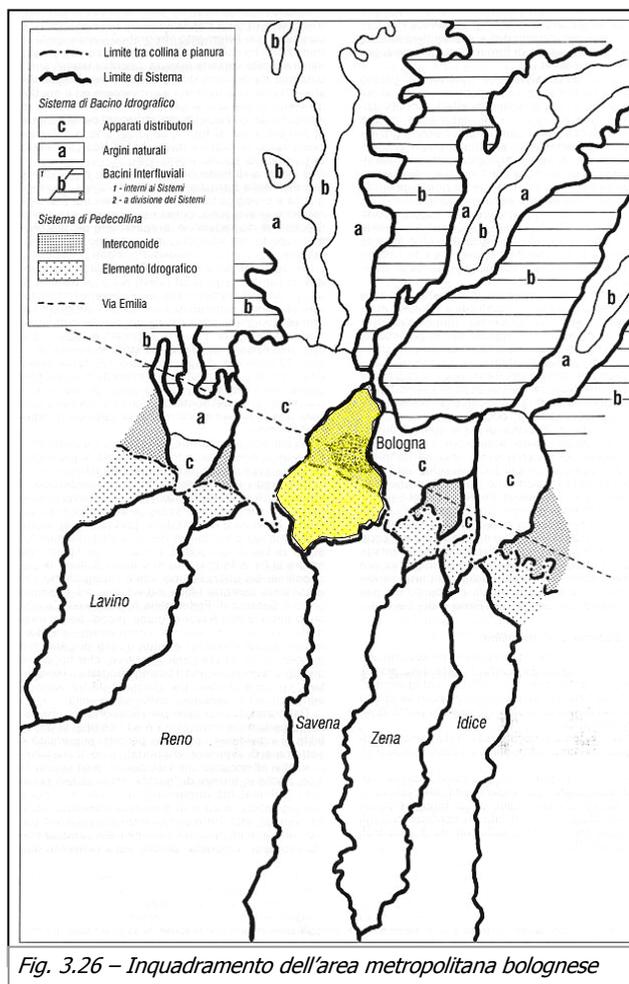
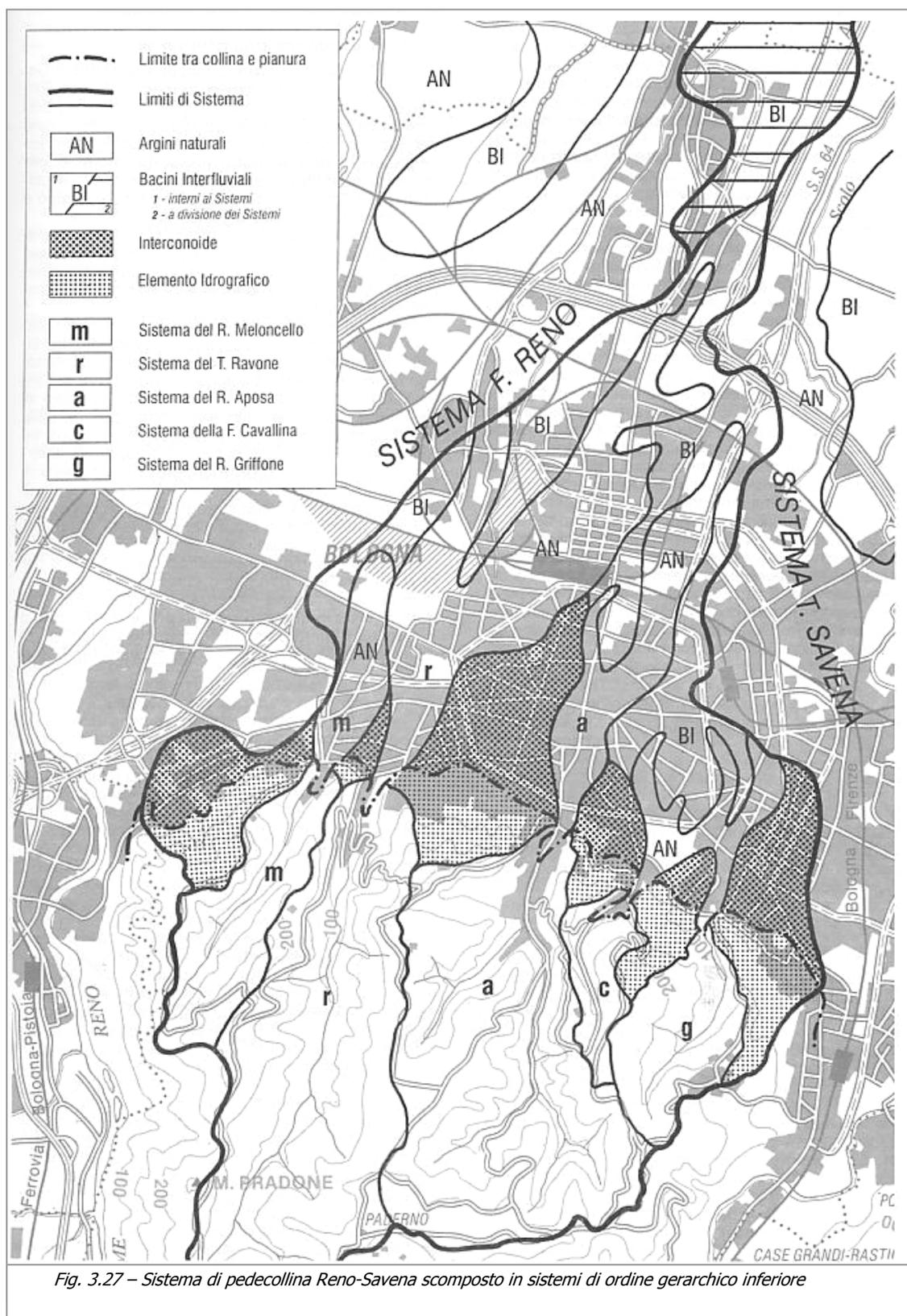


Fig. 3.26 – Inquadramento dell'area metropolitana bolognese



In Fig. 3.28 si evidenzia come solo per l'Aposa si hanno informazioni sufficienti per individuarne il percorso. Tale corso d'acqua si spingeva verso nord fino all'attuale Stazione Centrale ove, poco più a settentrione, tendeva a confluire nel Savena, forse formando un'ampia zona palustre (segnali di torbe), che poteva, in ipotesi, essere legata a difficoltà di immissione a causa delle quote relativamente più alte



degli argini naturali di quest'ultimo. Probabilmente il Savena confluiva nel Reno in corrispondenza del quartiere Bolognina, tra la stazione Centrale e l'ippodromo Arcoveggio. In questo intervallo di quota, lo spazio del Sistema di pedecollina era dunque assai limitato verso nord dalla stretta connessione tra i depositi granulari dei due bacini idrografici maggiori (Reno e Savena) a nord della città.

Negli steps successivi considerati (Fig. 3.29 e 3.30) si osserva uno spostamento degli alvei ghiaiosi del Reno e del Savena verso nord e, rispettivamente verso est ed ovest, lasciando maggior spazio ai corsi d'acqua dell'Elemento (Aposa e Ravone) che quindi migrano progressivamente verso nord.

Il Ravone, che in precedenza forse confluiva nel Reno poco dopo lo sbocco in pianura, assume rilievo probabilmente a causa dell'altezza dei depositi d'argine del Reno, che costringe a trovare più in basso un punto di confluenza. Il Meloncello, forse confluiva nel Ravone.

In seguito lo spazio dell'interconoide diviene ancora maggiore: a causa della divaricazione degli alvei principali, l'interconoide si apre verso nord e si amplia verso est.

Si assiste quindi allo spostamento del corso dell'Aposa verso Est che probabilmente occupa l'attuale corso del Savena Abbandonato, mentre il Ravone si sposta verso Nord occupando parzialmente il vecchio corso dell'Aposa. In tale situazione le possibilità di deflusso dei corsi d'acqua pedecollinari avviene quindi all'interno del bacino interfluviale formato tra i depositi di argini naturali del Reno e del Savena.

La Fossa Cavallina e Rio Monte Griffone hanno una evoluzione relativamente comune, entrambi hanno avuto la tendenza a divagare liberamente nell'antistante pianura, a partire dai rispettivi apparati distributori. La porzione esterna dei due piccoli "conoidi" si è fusa, ed uno degli alvei del Rio Monte Griffone ha, con probabilità, occupato il corso abbandonato della Fossa Cavallina. Gli spostamenti comunque non sono avvenuti per i due corsi d'acqua con le medesime tendenze: mentre il Griffone ha avuto una lunga permanenza lungo un asse leggermente spostato verso oriente con piccoli ampliamenti e divagazioni dell'alveo, la F.Cavallina pare si sia spostata da un alveo diretto decisamente verso nord ovest, ad un corso molto vicino al Griffone, per poi formare un nuovo piccolo alveo diretto a nord.

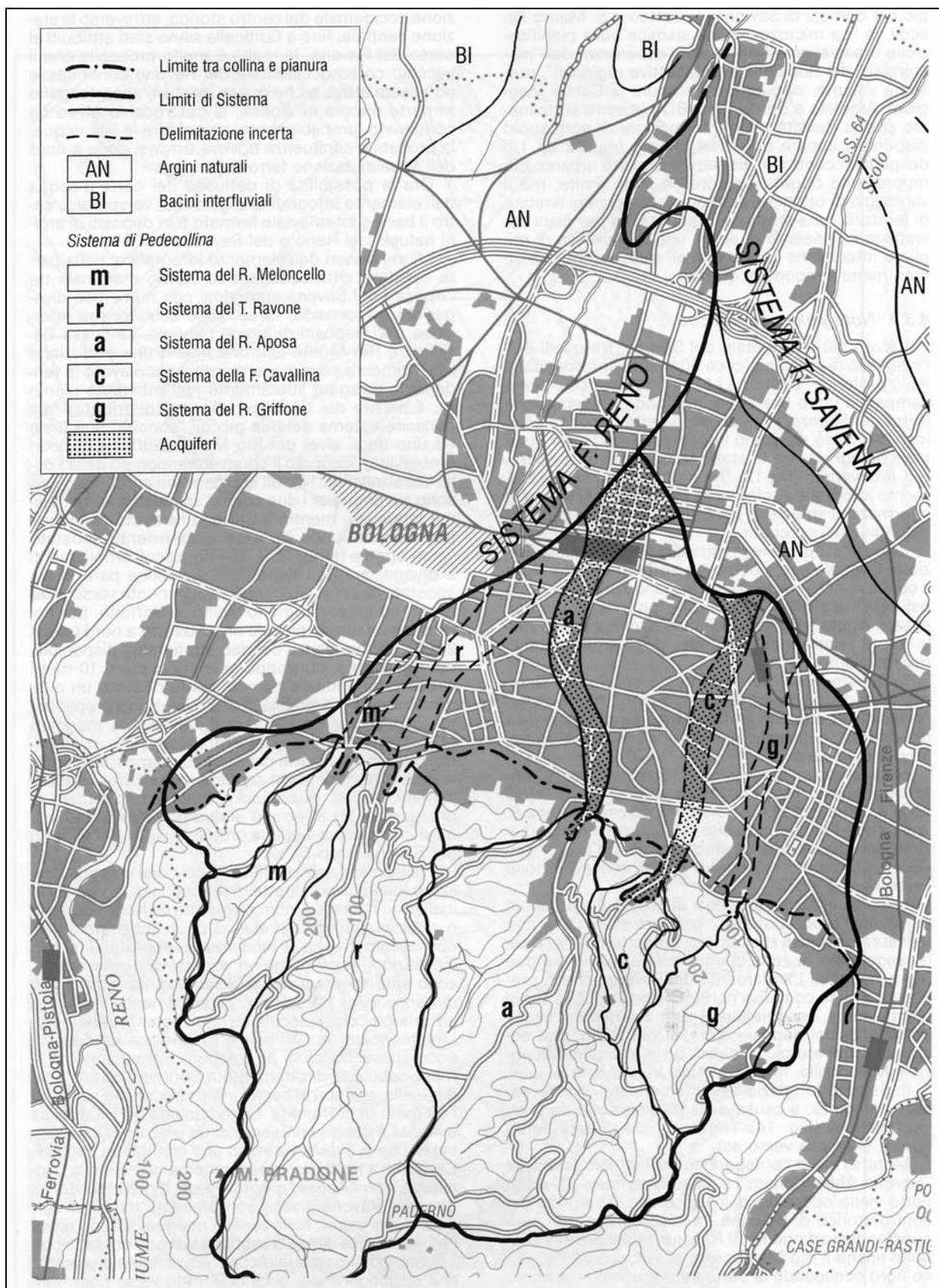
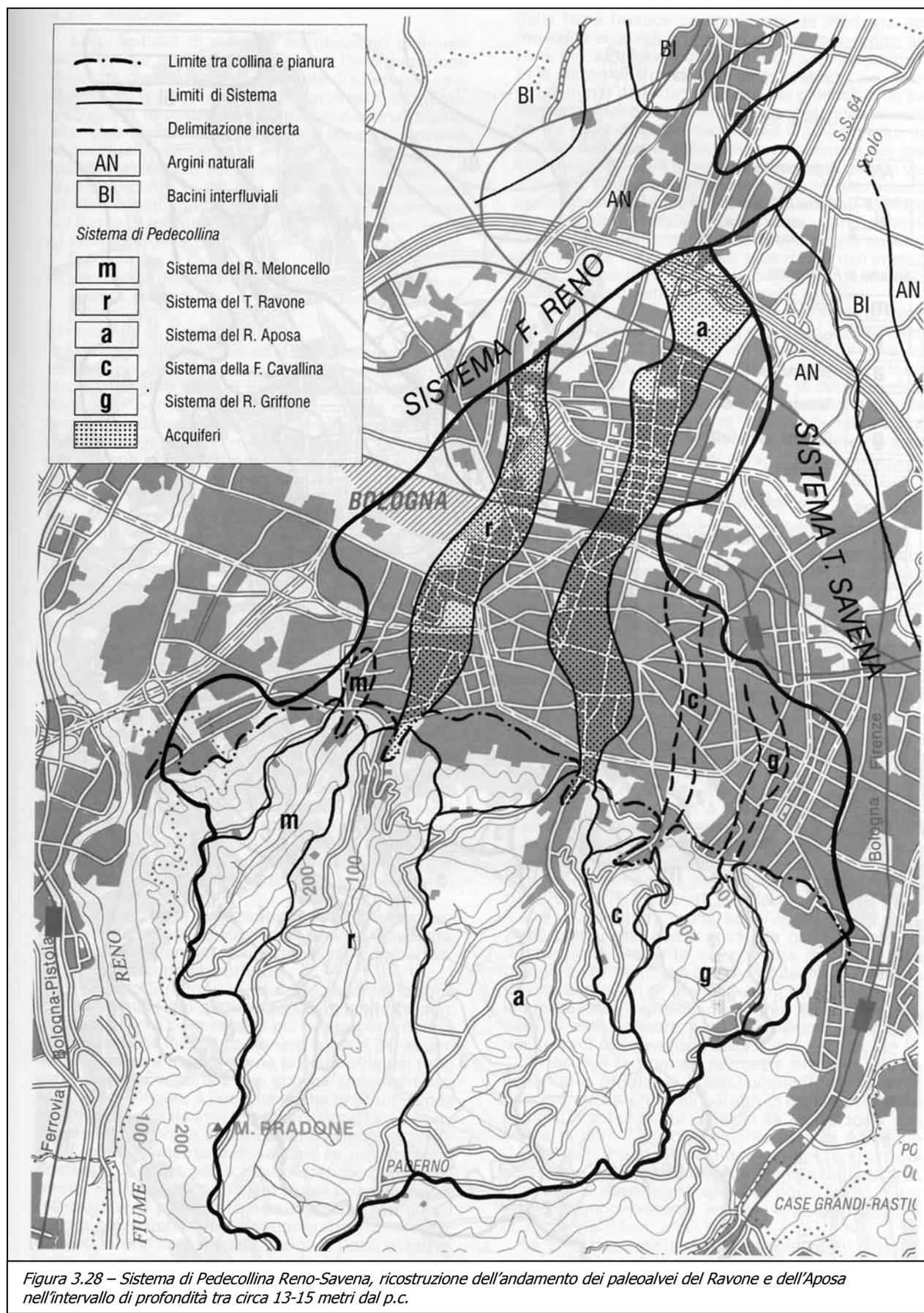


Figura 3.28 – Sistema di Pedecollina Reno-Savona, disposizione degli acquiferi desunta con i dati disponibili alla profondità di circa 20-22 metri dal p.c.



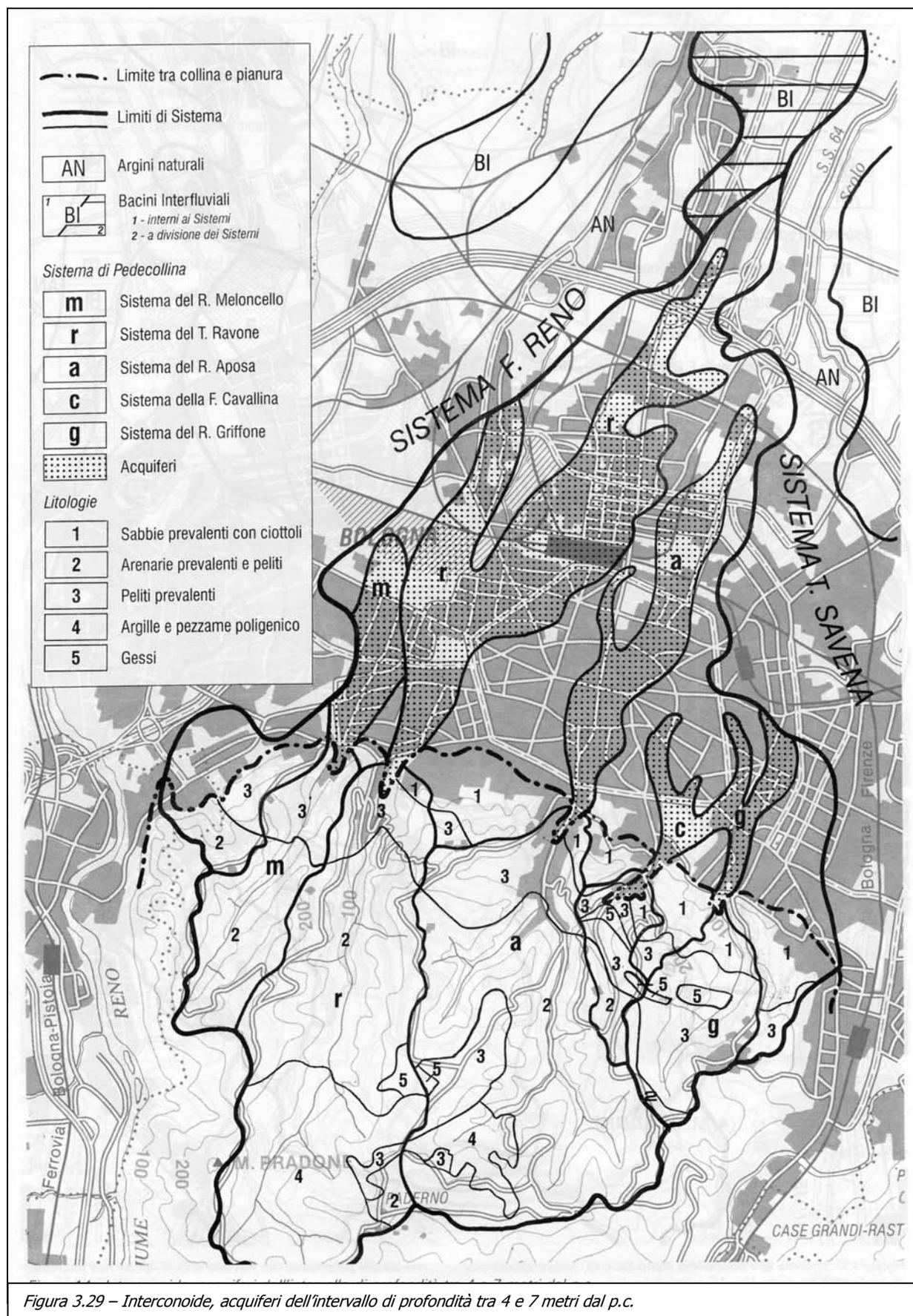


Figura 3.29 – Interconoide, acquiferi dell'intervallo di profondità tra 4 e 7 metri dal p.c.



3.2.3 ATTIVITA' ESTRATTIVE

A partire dagli anni '50, l'attività estrattiva nel Comune di Bologna si è prevalentemente sviluppata nelle immediate vicinanze dell'area urbana, in un contesto ambientale a connotazione essenzialmente agricola, che si è progressivamente modificato, trasformandosi in un territorio fittamente urbanizzato dell'area metropolitana.

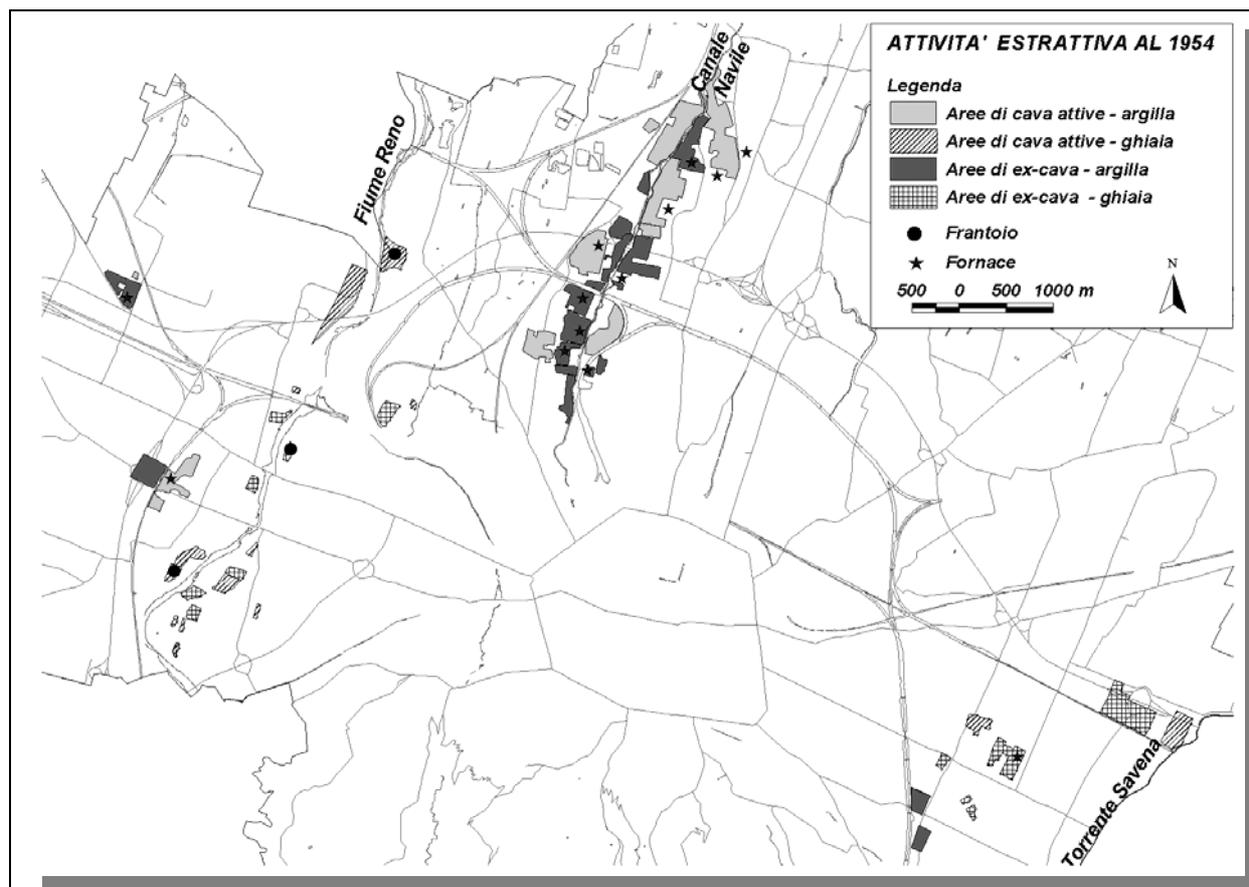


Figura 3.31 : Stato delle attività estrattive al 1954.

La pianificazione territoriale ha dovuto quindi affrontare problemi derivanti dalla fattibilità di nuove destinazioni urbanistiche sulle aree oggetto di attività di cava, nel tentativo di prevedere interventi che consentissero una loro ricucitura con il nuovo paesaggio, scontrandosi, in vari casi, con la mancanza di dati relativi all'individuazione precisa dei limiti di intervento e sul tipo di attività eseguita (profondità di scavo, modalità di tombamento, ecc.).

In relazione a tale situazione il Comune di Bologna ha attivato uno studio specifico indirizzato all'individuazione dei siti sui quali si è esercitata l'attività di cava a partire dagli anni '50, creando uno strumento di conoscenza per la pianificazione territoriale e il risanamento ambientale. Ciò potrà meglio definire le possibili trasformazioni di tali porzioni del territorio nell'ottica di un recupero compatibile col contesto circostante e con le dinamiche ambientali attuali.



L'analisi ha anche consentito di individuare aree potenzialmente a rischio da un punto di vista sanitario ed ambientale, in relazione alle modalità di coltivazione e le tipologie dei materiali utilizzati per le operazioni di tombamento, soprattutto nelle zone ad alta vulnerabilità idrogeologica in cui si è attuata la coltivazione di inerti ghiaiosi.

Impatti minori si sono registrati sulle aree oggetto di estrazione di argille, avvenuta storicamente a basse profondità dal p.d.c., senza apporto di materiale di tombamento e in aree di medio-bassa vulnerabilità idrogeologica, caratteristiche che non hanno impedito o limitato un uso delle stesse a fini residenziali, industriali e ricreativi.

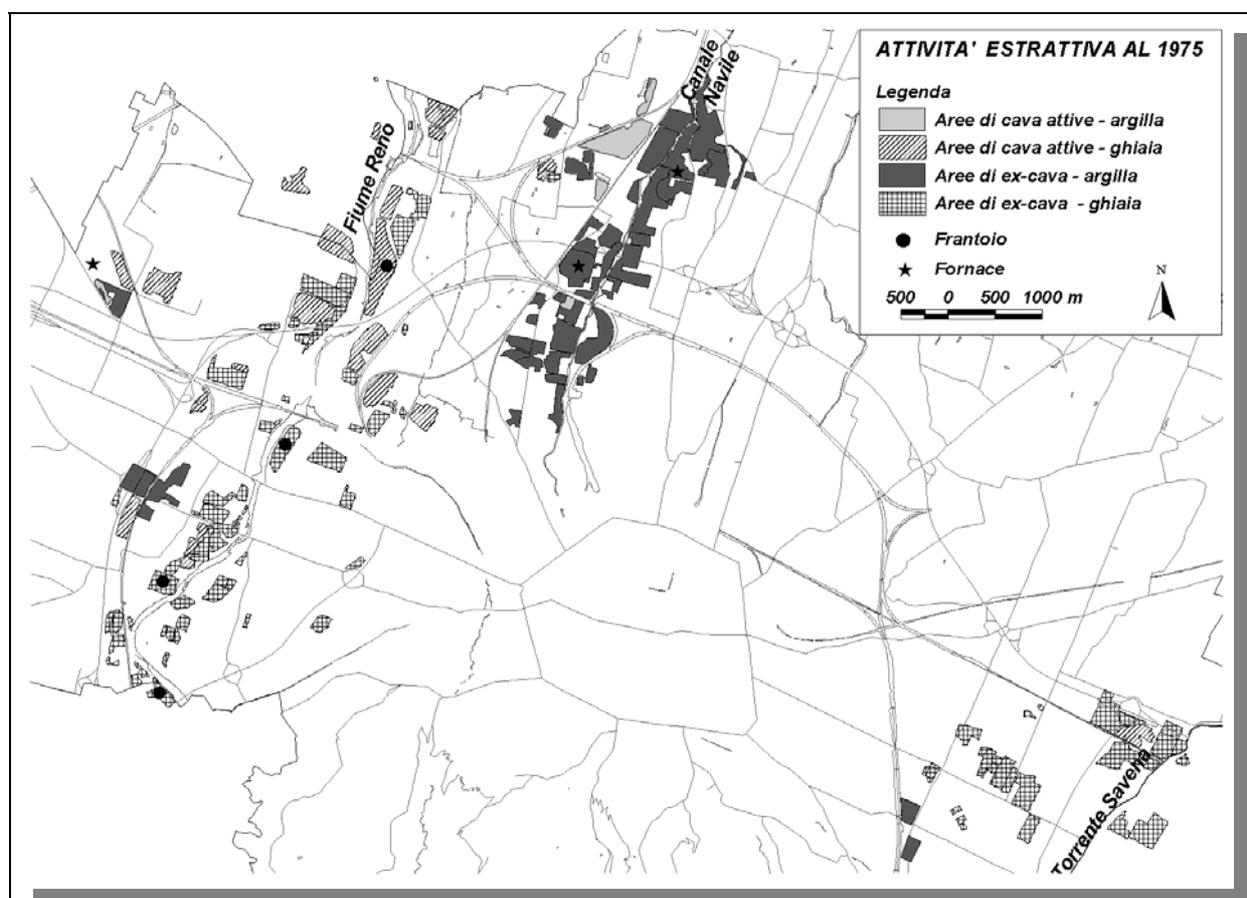


Figura 3.32 : Stato delle attività estrattive al 1975.

Lo studio è stato eseguito sia attraverso l'analisi diretta da foto aeree che sulla base dei dati reperiti presso il Distretto minerario e presso l'archivio Comunale. Sono state quindi eseguite le cartografie relative allo stato di fatto delle attività estrattive al 1954 (Fig. 3.31), 1975 (Fig. 3.32) e 1999 (Fig. 3.33), individuando il perimetro di tutti i siti oggetto d'intervento ed inserendoli nel Sistema Informativo Territoriale Comunale.

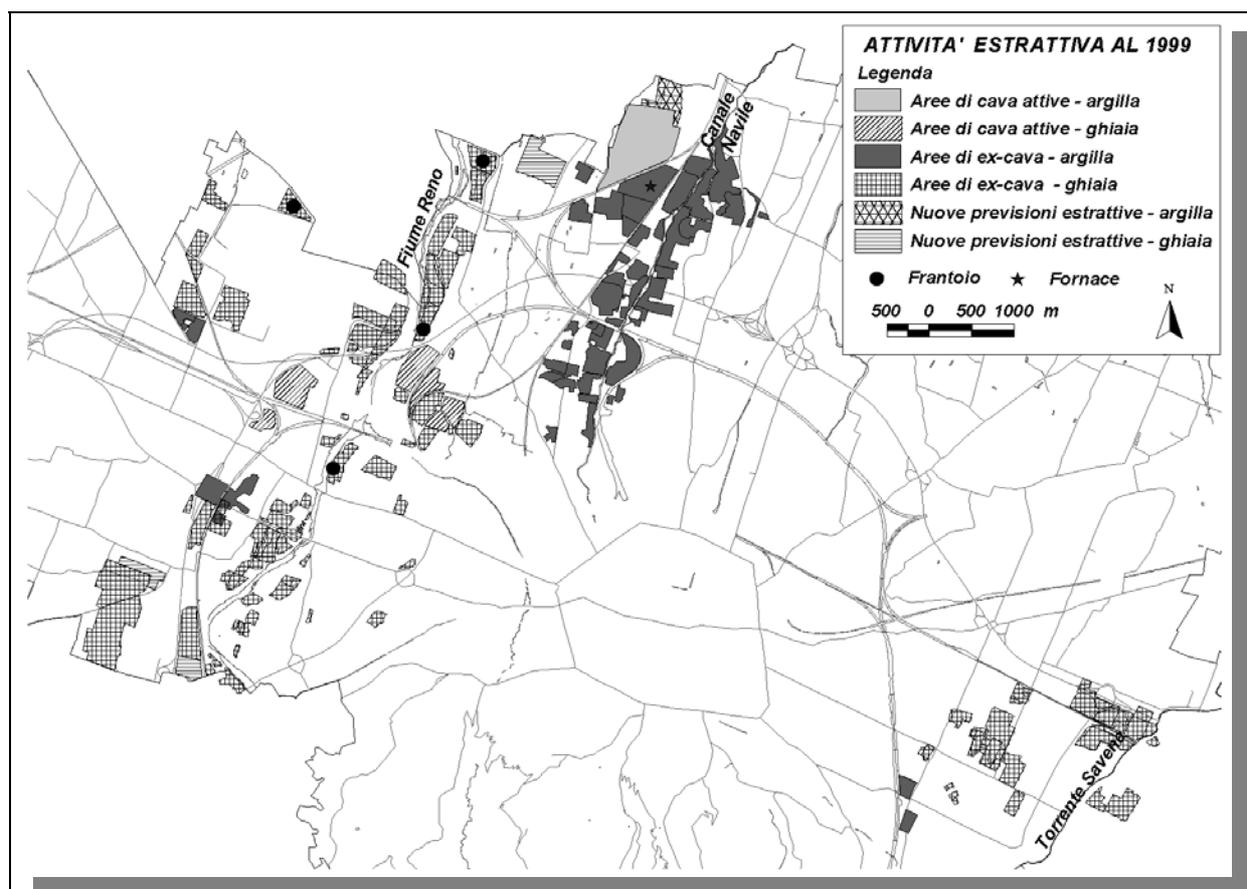


Figura 3.33: Stato delle attività estrattive al 1999. L'attività estrattiva è prevalentemente indirizzata al reperimento di ghiaie e sabbie, meno rilevante è l'estrazione di argilla per laterizi.

L'analisi ha consentito di verificare come, dal 1954 fino a circa il 1975, l'attività estrattiva sia stata particolarmente intensa in relazione sia al notevole sviluppo urbano della città che alla realizzazione di grandi opere infrastrutturali. Il reperimento di ghiaie e sabbie, svoltosi prevalentemente nell'alveo del F. Reno fino al dopoguerra, si è evoluto successivamente in adiacenza al fiume e a ridosso delle aree urbane, determinando uno sviluppo incontrollato dell'attività estrattiva.

La produzione di laterizi, storica attività produttiva locale, concentrata in prevalenza a nord del centro abitato, ha visto un consistente sviluppo estrattivo di argille lungo il canale Navile e risulta attualmente secondaria rispetto al reperimento degli inerti ghiaiosi.

Nella tabella 3.4 sono riassunti alcuni risultati delle analisi eseguite nei diversi intervalli temporali considerati al fine di valutare come sia modificata nel tempo l'attività estrattiva sul territorio Comunale.

Tabella 3.4

Intervallo	Litologia estratta prevalentemente	Fabbisogni	Profondità di scavo	Sistemazioni morfologiche	Competenze
< 1954	Argilla	Medi	4 - 6 m	Nessuna	statali (distretto minerario)
1954 - 1975	Ghiaia	Molto elevati	15 m (max 25 m)	Nessuna o parziale tombamento	statali (distretto minerario)
1975 - 1999	Ghiaia	elevati	15-20 m	Parziale tombamento	Comuni e Province



Si sottolinea comunque che le normative attuali, sopraggiunte a partire dalla seconda metà degli anni '70, hanno permesso un più razionale sfruttamento delle risorse estrattive e una maggiore attenzione nel definire i limiti ambientali a cui l'attività viene ad essere sottoposta. La coltivazione di nuove aree vergini e la ripresa dell'attività in aree di passato intervento estrattivo segue ora il tentativo di riportare i siti a condizioni di minore impatto sul sistema naturale, attraverso indirizzi per un ripristino ambientalmente sostenibile.

In termini volumetrici si è eseguita una stima dei volumi estratti sul territorio Comunale (Tab. 3.5) ottenendo un quantitativo di ghiaie pari a circa 29 milioni di mc, e di argille pari a circa 18 milioni di mc. (Fig. 3.34).

Interessante risulta la stima dei materiali utilizzati per il tombamento che risulta complessivamente pari a circa 14 milioni di mc. (Fig. 3.35).

Tabella 3.5

Intervallo	argilla volumi di scavo (milioni di mc)	ghiaia volumi di scavo (milioni di mc)	Materiali di tombamento volumi importati (milioni di mc)
< 1954	9,4	3,8	1,3
1954 - 1975	5,8	16,3	8,5
1975 - 1999	2,5	8,8	3,9
TOTALI	17,7	28,9	13,7

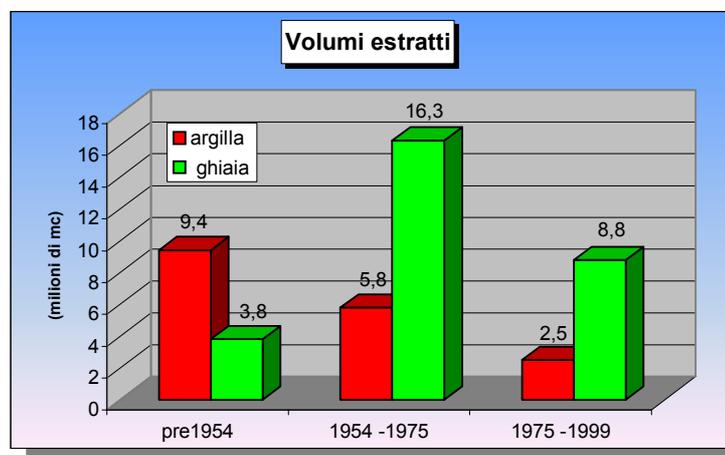


Figura 3.34 – Volumi estratti

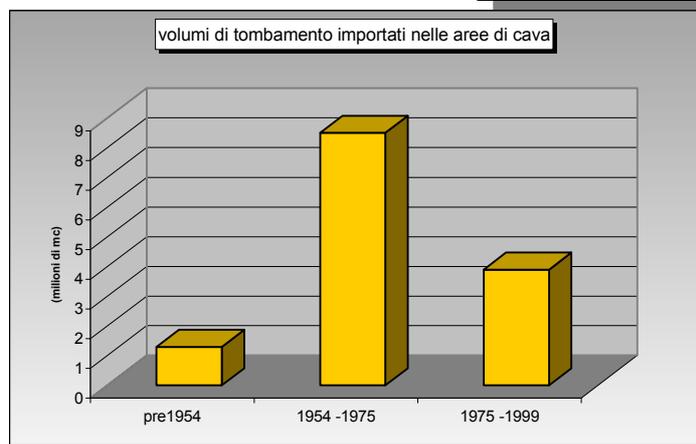


Figura 3.35 – Volumi di tombamento



In termini di areali (Fig. 3.36) le superficie direttamente coinvolta da attività estrattive risulta pari nel 1999 a circa 7,1 Km², valore che da un'idea della pressione esercitata sull'ambiente, e che rappresenta il 6,8% dell'intera area di alta pianura del Comune di Bologna.

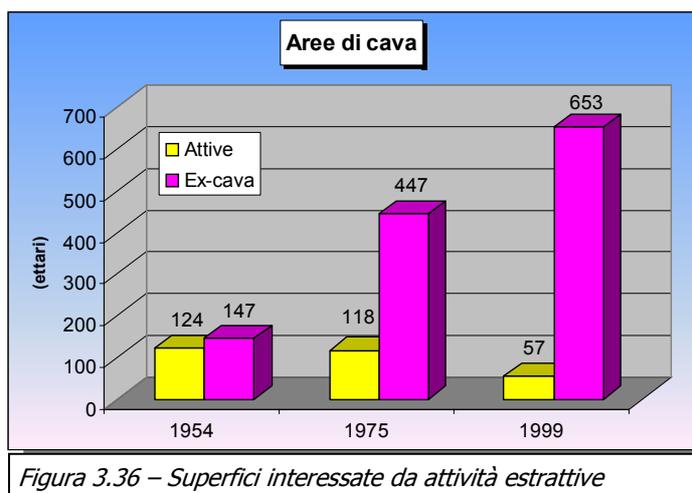


Figura 3.36 – Superfici interessate da attività estrattive

4. CARTA GEOMORFOLOGICA

Le tavole da 3.1, a 3.7 riportano i caratteri geomorfologici del territorio Comunale ed è stata redatta partendo dai dati forniti dalla Regione Emilia Romagna, eseguendo un'analisi preliminare della documentazione bibliografica esistente, della cartografia tecnica regionale e delle foto aeree più recenti, seguita da un rilievo di dettaglio direttamente in campagna per il controllo e la verifica dei risultati.

Al fine di consentire una migliore definizione dei risultati sono state eseguite 2 tavole in scala 1:10.000 dell'area di pianura (Tav. 3.1 e 3.2), mentre per la porzione collinare si è ridotta la scala a 1:5.000 per ottenere un maggiore dettaglio (Tav. 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7).

Ogni forma è stata cartografata sulla base della "Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo" a cura del Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia (Geogr. Fis. Din. Quat., 16(1993), 129-152, 1 carta).

Scopo della carta è quello di rappresentare le forme di erosione e di accumulo individuate, raffigurandone i caratteri morfologici e collegando l'origine ai processi che le hanno determinate e modellate; spesso le forme sono complesse, perché hanno agito diversi processi, in questi casi si è cercato di individuare il processo morfogenetico principale.

Il risultato ottenuto ha considerevoli risvolti applicativi, in quanto consente di fatto di valutare la pericolosità dei processi morfogenetici sulle attività antropiche, evidenziando le situazioni di rischio.

Le forme sono distinte, a seconda del loro agente morfogenetico principale, in quattro categorie:

- a. **Forme, processi e depositi gravitativi di versante**
- b. **Forme, processi e depositi per acque superficiali**
- c. **Forme e depositi carsici**
- d. **Forme, processi e depositi antropici**

Gli agenti morfogenetici principali sono:

- a. Processi di versante legati alla gravità che ricomprendono i movimenti franosi e i depositi di versante, legati al processo di deposizione per gravità e/o ruscellamento.



- b. Processi di versante legati al dilavamento delle acque superficiali come le aree soggette ad erosione calanchiva e i depositi colluviali.
- c. Processi di versante legati all'erosione/deposizione delle acque incanalate come i vari terrazzi fluviali, le scarpate o orli di denudazione, i coni di deiezione allo sbocco dei corsi d'acqua, le aree ad avanzata erosione calanchiva.
- d. Processi carsici: sono legati alla presenza della Formazione gessoso-solfifera del Messiniano; il processo determinante è la dissoluzione chimica delle rocce gessose ad opera delle acque.
- e. Processi antropici: tutte le modificazioni del rilievo prodotte dalle attività umane, quali manufatti, costruzioni, vie di comunicazione, cave, discariche, ecc.

Forme, processi e depositi gravitativi di versante

Per quanto riguarda tale tematismo sono state innanzitutto individuati i corpi di frana, che risultano particolarmente diffusi nel settore meridionale del territorio esaminato.

I movimenti franosi sono stati classificati come segue in base allo stato di attività:

- Frane attive (sigla a1 nella cartografia): corpo di frana attualmente in movimento o in fase di assestamento, conseguente alle condizioni morfologiche e climatiche ora presenti. Si presentano con forme e dimensioni articolate.

- Frane quiescenti (sigla a2 nella cartografia): fenomeno che appare in condizioni di apparente stabilità, avvenuto in condizioni morfologiche e climatiche molto simili alle attuali, che non avendo esaurito la loro evoluzione hanno possibilità di riattivarsi.

Per quanto concerne la tipologia la maggior parte dei movimenti osservati sono da attribuire a frane di "colamento", "scivolamento", di "smottamento" e "miste". Sono inoltre state individuate frane di crollo sul versante orientale dei Rio Aposa, lungo Via Roncrio (vedi apposita scheda).

Tra i movimenti di massa rilevabili sul territorio sono stati localmente individuati i fenomeni di "creep" (Foto 4.1), che pur non essendo catastrofici come le frane possono produrre ingenti danni, e che interessano in prevalenza i terreni argillosi pliocenici. Si tratta di movimenti che interessano la parte corticale di una pendice, cioè il suolo o la parte più



Foto 4.1 – Fenomeni di creep superficiale

superficiale del detrito o la parte alterata della roccia in posto. Non esiste una vera e propria superficie di scivolamento e lo spostamento della massa, che può verificarsi anche su versanti a pendenza limitata, è dovuto a piccoli movimenti di ciascun frammento detritico rispetto all'altro in cui il fattore principale di innesco è rappresentato dalla gravità. Le superfici lungo le quali avviene il movimento sono



generalmente di neoformazione e si localizzano in corrispondenza della profondità raggiunta dall'imbibizione. Dal punto di vista cinematico si tratta di un fenomeno lento, che al massimo raggiunge la velocità di qualche decimetro per anno. È riconoscibile dalla presenza di piccole ondulazioni, lobi e decortizzazioni del terreno.

Le cause sono in genere gli agenti atmosferici, e sono legate prevalentemente a variazioni del contenuto d'acqua del terreno. Le manifestazioni superficiali sono date dall'inclinazione di alberi, pali delle linee elettriche e telefoniche e lesioni sui fabbricati e dei muri di sostegno e la deformazione di massicciate stradali.

Sono stati rilevati creep nella porzione alta della valle del Rio Striane (Foto 4.1), dove affiorano le Argille di Riolo Terme, ma anche lungo il rilievo che congiunge Paderno al Torrente Savena interessando direttamente lo strato superficiale di copertura della Formazione di Bismantova e Antognola. Questo fenomeno caratterizza inoltre la valle a est di Via Roncrio in cui il creep è spesso associato a movimenti franosi; è inoltre presente nel settore occidentale del bacino del Rio Aposa.

Oltre ai movimenti franosi sono stati individuati i depositi di versante che rappresentano accumuli detritici di falda derivanti dal trasporto operato dall'acqua (ruscellamento, dilavamento, ecc.) e dalla gravità (sigla a3 nella cartografia), e i depositi di origine eluvio-colluviale (sigla a4 nella cartografia).

Nella cartografia sono riportati ulteriori tematismi quali le scarpate di degradazione e/o di frana e le superfici relitte. Le prime rappresentano l'area dalla quale è avvenuto un allontanamento di materiale al cui piede possono fermarsi i materiali prodotti dallo smantellamento. Possono presentarsi nette o come evidenti cambi di pendenza.

Le superfici relitte invece rappresentano la testimonianza di una paleotopografia evolutasi in condizioni morfoclimatiche differenti rispetto a quelle attuali. Sono caratterizzate da una morfologia sub-pianeggiante e di conseguenza caratterizzate da una maggiore relativa stabilità.

Sono frequenti in corrispondenza di culminazioni topografiche e rappresentano lembi di antiche superfici successivamente incise, in prevalenza ad opera di corsi d'acqua, e comunque da processi non più in evoluzione. Sono costituite da materiale detritico, per lo più di origine colluviale e spesso possono essere correlate tra loro sulla base della quota topografica, qualora non siano intervenuti movimenti tettonici o neotettonici. Raggiungono quote fino a 200-250 metri s.l.m..

Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali

In questa categoria sono state ricomprese le forme di erosione e di accumulo. Tale le prime nella cartografia geomorfologica sono state distinti i calanchi e gli orli di scarpata di erosione fluviale, mentre tra le forme di accumulo i terrazzi fluviali, le conoidi alluvionali e i dossi fluviali.

I calanchi rappresentano una morfologia tipica dell'Appennino Emiliano e la loro formazione è legata alla caratteristica erosione delle argille. Si tratta di forme caratterizzate da stretti canali intervallati a creste affilate alla culminazione di ripide pareti, praticamente senza vegetazione. Questo



sistema di vallecole minutissime assume in genere una struttura organizzata a spina di pesce, a raggiera o a pettine (Pellegrini, 1989).

Quando il calanco è attivo, l'acqua piovana asporta le particelle d'argilla alterate dal disseccamento, in un processo a catena che porta alla completa denudazione del versante. Questa rapida degradazione provoca delle fessure in prossimità della superficie, entro le quali l'acqua penetra approfondendole progressivamente. La spinta erosiva trasmessa lungo il canale è tale da impedire ad eventuali ostacoli, come colate o detrito, di ostruire la vallecola.

Un'altra ipotesi sulla genesi dei calanchi prevede il susseguirsi di una serie di passaggi evolutivi, ma individuano eventuali fessurazioni dovute a motivi tettonici, alla decompressione dei versanti o ai movimenti franosi all'interno delle argille, quali stadi iniziali dell'erosione a solchi. L'arretramento progressivo della cresta si riconduce sicuramente alla contemporaneità di azione sia del dilavamento dell'acqua che della gravità. Si riscontrano infatti numerosi fenomeni di colamento all'interno dei calanchi; essi coinvolgono sia il detrito generato dal dilavamento delle pareti dei canali, ma anche la roccia in posto (argilla), provocando l'approfondimento dei solchi.

Un fattore che influenza l'evoluzione di questa morfologia molto accidentata è la presenza o meno della copertura vegetale. Nei calanchi la scomparsa di copertura vegetale è determinata dal calanco stesso; al contrario, la scomparsa di copertura vegetale non determina il calanco. È anche vero però che la cessazione dell'attività erosiva di un calanco è spesso determinata dal progressivo instaurarsi della copertura vegetale, che, intercettando l'acqua meteorica e rallentando lo scorrimento superficiale, favorisce l'infiltrazione e trattiene, con gli apparati radicali, le particelle mobili del terreno.

Nella zona in esame sono presenti bellissimi esempi di questi processi morfogenetici, i calanchi di Sabbiuino, quelli presenti nella valle del Rio Torriane e nelle valli laterali a quella del Rio Striane (vedi apposito paragrafo).

Gli orli di scarpata di erosione fluviale sono gli evidenti cambi di pendenza che si notano ai lati dei corsi d'acqua (scarpate recenti) oppure anche a distanze considerevoli da essi e che sono comunque riconducibili alla dinamica fluviale. Scarpate ben evidenti sono presenti sia lungo il Fiume Reno che lungo il Torrente Savena. Sono generalmente incise nei depositi che costituiscono i terrazzi alluvionali (terrazzi incastrati), ma possono anche portare a giorno le formazioni marine del substrato (terrazzi a ripiani); nel primo caso prevalgono i processi deposizionali mentre nel secondo quelli erosivi.

I con di deiezione sono forme convesse che si aprono a ventaglio allo sbocco dei corsi d'acqua nella valle principale; si formano in seguito alla diminuzione della velocità e di energia della corrente, che provoca la deposizione dei detriti. Questi sono poi distribuiti sulla superficie del conide, quando è attiva, mediante frequenti spostamenti dell'alveo, secondo un'evoluzione a ventaglio.

I terrazzi fluviali sono superfici pianeggianti delimitate da scarpate che assumono la forma di ripiani sopraelevati rispetto all'attuale letto del fiume. Rappresentano zone occupate in tempi più o meno lontani dal corso d'acqua ed in seguito abbandonate durante le fasi erosive, di cui le scarpate sono evidente testimonianza. I terrazzi sono generalmente detti fluviali, quando si desidera sottolineare il processo erosivo, ed alluvionali, quando si vuole enfatizzare il processo di sedimentazione.



In carta sono stati distinti con un numero d'ordine progressivo da valle verso monte, dal punto di vista cronologico, i terrazzi più antichi sono quelli posti più a monte, mentre scendendo verso il fiume se ne incontrano di via via più recenti.

Il Fiume Reno ed il Torrente Savena possiedono una struttura a terrazzi molto articolata, con terrazzi anche molto antichi, come quello riconosciuto alla quota di 271,6 m s.l.m. alla sommità della dorsale ad ovest della Chiesa di Casaglia dove si rinvennero ciottoli ghiaiosi arrotondati anche di notevoli dimensioni (foto 4.2). La ricostruzione dei terrazzamenti risulta in alcuni casi complessa e si è quindi ritenuto di distinguere quelli recenti, numerandoli progressivamente, mentre per quelli più antichi sono stati riportati sulla cartografia come "Depositi alluvionali antichi".

Foto 4.2 – Depositi grossolani sui terrazzi antichi



Sull'area di pianura si sono inoltre individuati i principali dossi fluviali identificati da una serie di blande prominenze del microrilievo attraverso lo studio dell'andamento planoaltimetrico del territorio che corrispondono ad antichi percorsi fluviali.

Forme, depositi carsici

Nella cartografia geomorfologica sono stati individuati le principali forme dovute a processi di tipo carsico legati all'affioramento della formazione dei gessi messiniani. In particolare sono state distinte le doline, grotte ed inghiottitoi oltre a segnalare eventuali percorsi ipogei conosciuti. Nel paragrafo 3.1.5 sono descritti ampiamente le zone del territorio nelle quali tali fenomeni si esplicano e che risultano quella di Gaibola, Monte Donato e Casaglia.

Forme, processi antropici

Nella cartografia geomorfologica sono state riportati alcuni elementi che si ritengono significativi al fine di evidenziare l'azione svolta dall'uomo sul sistema naturale. In particolare sono state individuate le aree di cava distinte in relazione allo stato di attività ed alla tipologia del materiale escavato (Ghiaie, argille e gessi), le opere di difesa idrogeologica principali esistenti nell'area collinare (gabbionate, muri, ecc.), e quelle lungo i corsi d'acqua principali (traverse, pennelli, argini e difese longitudinali). E' inoltre segnalata la presenza di specchi d'acqua suddivisi in laghetti collinari, laghi e maceri.



Si è ritenuto inoltre di riportare il reticolo idrografico sia collinare che di pianura individuando i tratti eventualmente tombati, i canali di origine artificiale, e la posizione del vecchio tracciato del Torrente Savena.

5. LITOLOGIA DI SUPERFICIE

Allo scopo di caratterizzare il territorio in esame, è stata prodotta una carta litologica su base C.T.R., in scala 1:20.000 (tavola 2), in cui i terreni sono stati esaminati sulla base della loro natura, composizione e struttura.

Sono stati individuati quattro raggruppamenti litologici principali:

1. Coperture detritiche;
2. Rocce prevalentemente arenacee, sabbiose;
3. Rocce prevalentemente argillose e marnose;
4. Rocce flyschoidi o alternanze di litotipi diversi
5. Rocce gessose
6. Depositi alluvionali

All'interno di ciascun raggruppamento sono state poi distinte varie classi sulla base della presenza di differenti componenti litologiche o della prevalenza di una di esse piuttosto che di un'altra, in quanto causa di differenti processi di alterazione e deformazione.

- *Coperture detritiche*: sono stati riuniti in tale categoria i detriti di falda, gli accumuli di frana (a prescindere dal loro stato di attività) ed i depositi eluviali e colluviali e quelli che caratterizzano le superfici relitte, e sono stati rappresentati con un retino che ricopre la classe litologica sottostante;
- *Rocce prevalentemente arenacee, sabbiose* : in questa categoria sono state ricomprese le Sabbie di Imola (*sabbie*) e le arenarie arcose poco cementate della Formazione di Loiano (*arenarie*);
- *Rocce prevalentemente argillose e marnose*: all'interno di questa classe trovano posto le formazioni argillose del Plio-Pleistocene, le formazioni marnose e argillose della Successione Epiligure e le argilliti della Successione Ligure. Sono state individuate 5 categorie, a seconda della litologia prevalente e della presenza di inclusi (blocchi calcarei e/o arenaci): *le argille e argille marnose, argilliti con blocchi calcarei e arenaci, argilliti marnoso siltose, marne e marne argillose, marne e marne siltose*; il primo termine rappresenta la litologia prevalente, mentre il secondo e il terzo quelle subordinate;



- *Rocce flyschoidi o alternanze ritmiche di litotipi diversi*: ricomprende due distinti raggruppamenti. Quello dei flysch marnoso arenaci della Formazione di Contignaco, e quella dei flysch arenaceo – pelitici, della Formazione di Pantano, Antognola e litofacies arenaceo-pelitica della Formazione di Loiano;
- *Rocce gessose*: in tale categoria sono ricompresi esclusivamente i gessi della Formazione gessoso solfifera;
- *Depositi alluvionali*: Nella zona di Pianura e lungo i corsi d'acqua principali e minori i litotipi sono stati suddivisi nelle seguenti quattro classi granulometriche, che fanno riferimento alla litologia prevalente nei primi 3 metri di profondità.
 1. argille inorganiche, argille limose
 2. limi da argillosi a sabbiosi, fitte alternanze di limi e sabbie fini
 3. sabbie e sabbie ghiaiose, sabbie limose
 4. ghiaie, ghiaie e sabbie



6. SISTEMI IDRICI SUPERFICIALI

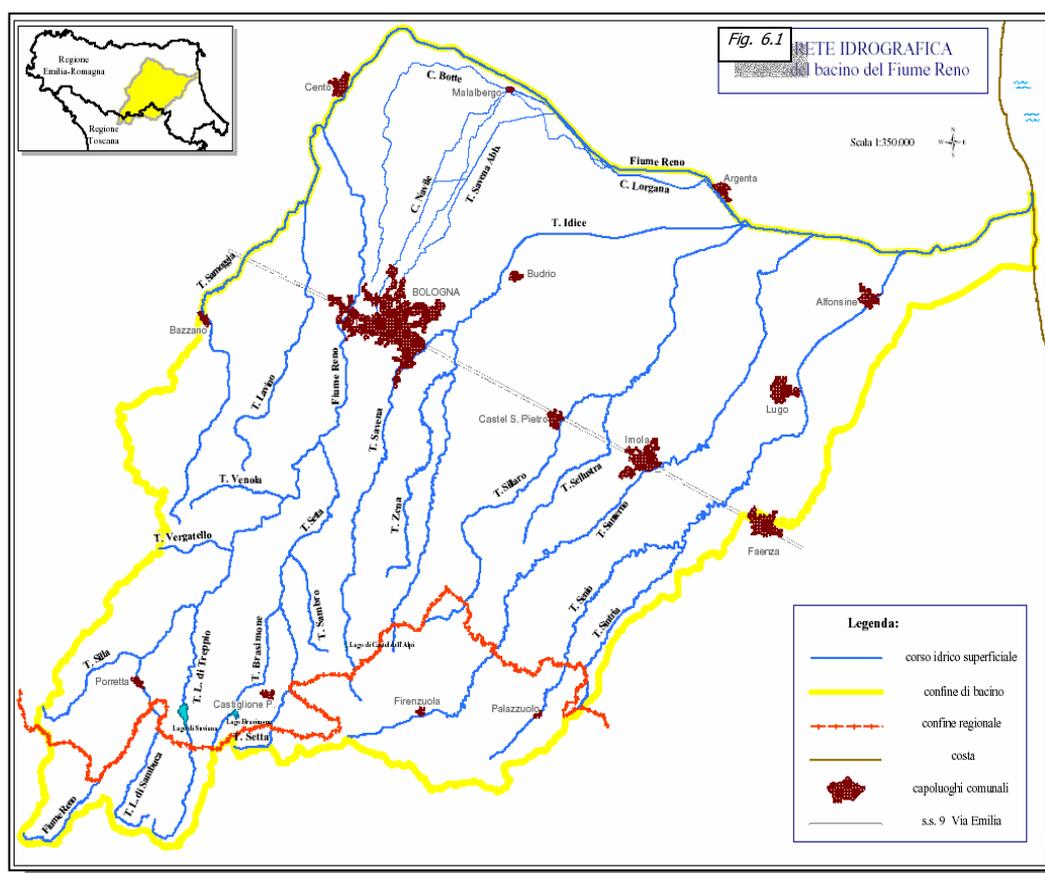
6.1 GENERALITA'

Sul territorio Comunale è presente un sistema idrico complesso soprattutto in relazione ai rilevanti interventi antropici che si sono succeduti nei secoli passati, con un reticolo idrografico che può essere schematicamente suddiviso in tre parti ricomprendendo:

- reticolo idrografico "collinare";
- reticolo idrografico di "pianura"
- la rete "fognaria" e dei "canali" artificiali di Bologna

I corpi idrici naturali di superficie più rilevanti che interessano direttamente il territorio comunale del capoluogo sono il fiume Reno, il torrente Savena ed il torrente Lavino, oltre ad una serie di rii collinari come Torrente Aposa, ed il Ravone ed altri minori. Tutti hanno un regime torrentizio essendo alimentati quasi esclusivamente dal deflusso diretto delle piogge, mentre le sorgenti hanno scarsissima rilevanza. Il fiume Reno, di importanza interregionale (fig. 6.1), presenta una portata incostante direttamente collegata nei mesi estivi al delicato equilibrio di prelievi e rilasci dai bacini di accumulo presenti a monte.

Per quanto riguarda il Savena ed il Lavino, le caratteristiche naturali del bacino e l'assenza di invasi di accumulo a monte producono nei mesi estivi una situazione di secca quasi totale.





I rii collinari risultano praticamente privi di portata per gran parte dell'anno, con brevi periodi di deflusso durante e subito dopo le precipitazioni. I loro alvei presentano un sensibile interesse naturalistico e paesaggistico nella parte collinare, mentre i tratti urbani sono stati quasi tutti tombati totalmente e/o parzialmente.

Le analisi eseguite hanno consentito di effettuare loro una classificazione tipologica dei corsi d'acqua naturali ed artificiali presenti sul territorio Comunale, ubicati sulla tavola 5, riportati nella tabella seguente.

CORSI D'ACQUA IN ALVEI NATURALI			
a carattere interregionale e portata incostante	FIUME RENO		
a carattere infraregionale con frequenza periodica	TORRENTI	RII	SCOLI NATURALI
	TORRENTE SAVENA	RIO S.LUCA	FOSSA CAVALLINA
	TORRENTE RAVONE	RIO MELONCELLO	FOSSA BIANCANA
	TORRENTE APOSA	RIO S.GIUSEPPE	
	TORRENTE LAVINO	RIO VALLESCURA	
		RIO GROTTI O MONTE GRIFFONE	
		RIO FRATELLO	
		RIO COSTARELLO	
		RIO DEI GOBBI	
		RIO TORRIANE	
		RIO DELLE STRIANE	
		RIO VEGLIE	
		RIO RII	
		RIO CASSETTO	
		RIO RAGAZZUNO	
		RIO CALANCHI	
		RIO PIZZACCHERA	
		RIO SIRONE	
		RIO GIOVANNI	
		RIO PORTAZZA	

CORSI D'ACQUA IN ALVEI ARTIFICIALI		
appartenenti alla rete principale di adduzione e smaltimento		
CANALI	SCOLI ARTIFICIALI	CONDOTTI ARTIFICIALI
CANALE NAVILE	SCOLO CANOCCHIETTA SUPERIORE	RENO '75
CANALE DI RENO	SCOLO DELLO SPIRITO SANTO	
CANALE DI SAVENA	SCOLO CANOCCHIA INFERIORE	
SAVENA ABBANDONATO	SCOLO CANOCCHIA SUPERIORE	
CANALE BATTIFERRO	SCOLO CAVA	
CANALE DELLE MOLINE	SCOLO RIOLO	
CANALE DELLA GHISILIERA	SCOLO BONDANELLO	
CANALETTA LAME	SCOLO CARSE'	
CANALE CAVATICCIO	SCOLO CALAMOSCO	
CANALETTA DI CADRIANO	SCOLO DONINO	
CANALETTA DI CADRIANO	SCOLO ZENETTA DI QUARTO	
	SCOLO CANALAZZO	
	SCOLO RANUZZI	

Tabella 6.1 – Classificazione dei corsi d'acqua



In tale elaborato oltre al reticolo idrografico con l'indicazione anche dei tratti tombati, si sono individuate:

- le opere idrauliche di difesa idraulica presenti lungo i corsi d'acqua principali;
- i tratti di alveo dei corsi d'acqua principali in cui sono attualmente osservabili fenomeni di erosione di fondo e di sponda e fenomeni di deposito (sovralluvionamento);
- le principali opere di attraversamento (ponti);
- I bacini di ritenuta suddivisi in laghi, laghetti collinari e maceri;
- Le condotte fognarie principali, gli scaricatori di piena, i collegamenti principali tra i diversi bacini di pianura, e il depuratore.

Nella tavola 6 sono invece individuate i bacini scolanti principali distinti in funzione del corso d'acqua in cui avviene il recapito finale delle acque, e i principali bacini idrografici collinari. Da tale elaborato si evince la complessità del sistema complessivo, nel quale possono essere individuati i seguenti sistemi che possono risultare in parte interconnessi.

- ***Sistema dei bacini ricompresi in sinistra Reno e in destra Lavino***
- ***Sistema del Fiume Reno***
- ***Sistema Navile – Savena abbandonato***
- ***Sistema del Savena***
- ***Sistema delle fognature***



6.2 BACINI SCOLANTI IN SINISTRA RENO E IN DESTRA LAVINO

Nella porzione di territorio di alta pianura ricompresa tra il Lavino ed il Reno sono presenti alcuni sottobacini scolanti direttamente affluenti in sinistra del Fiume Reno, ed in particolare quelli dei Rii Biancana e Canalazzo con deflusso libero, e quello del Rio Canocchia con deflusso regolato da chiavica con porte vinciane.

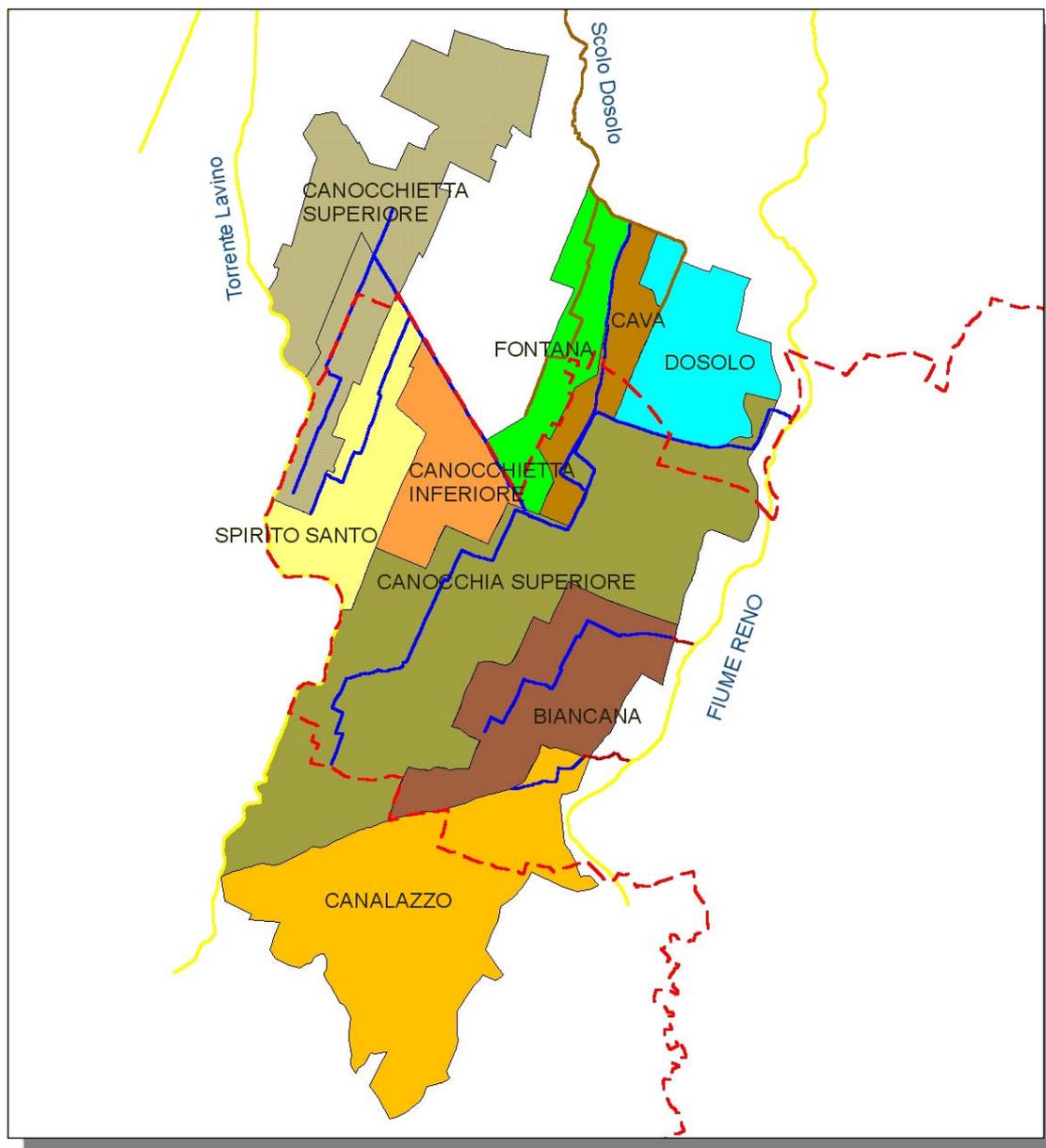
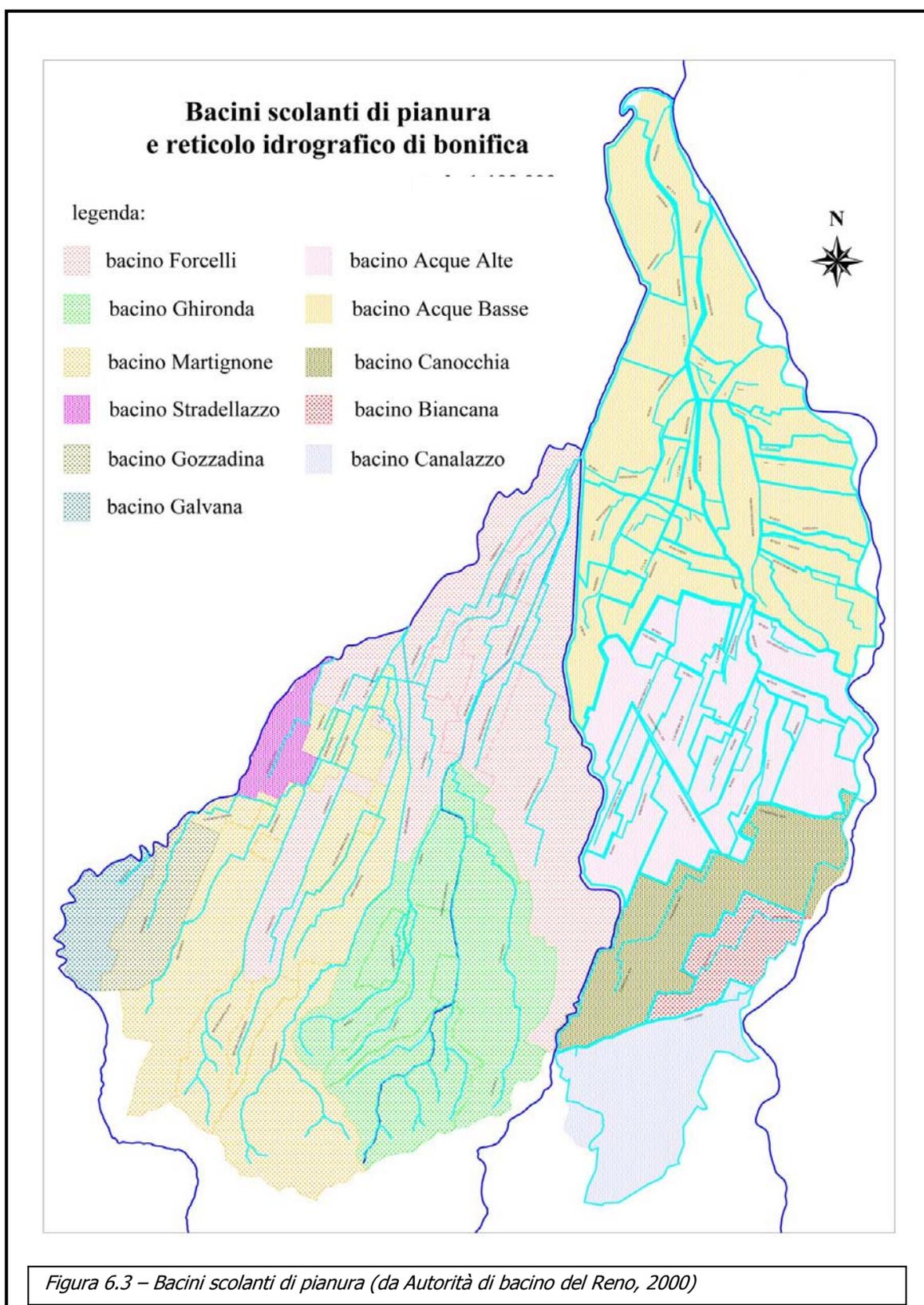


Figura 6.2 – Principali bacini scolanti tra Fiume Reno e Lavino (da Consorzio di Bonifica Reno-Palata)



La parte settentrionale del territorio Comunale è invece ricompresa nel bacino scolante del Comprensorio Acque alte "Dosolo" che si immettono molto più a nord in Reno in sponda sinistra, con deflusso regolato da chiaviche incorporate nelle arginature, con porte vinciane e paratoie (Fig. 6.3).





6.3 SISTEMA DEL FIUME RENO

Il Fiume Reno è lungo complessivamente 210 km. Il tratto montano, dopo un percorso di 84 km, si chiude alla Chiesa di Casalecchio. Il bacino imbrifero montano del solo Fiume Reno è di 468 km², di cui 73 km² in territorio toscano e 395 km² in territorio emiliano. Segue un tratto pedecollinare, lungo circa 6 km, molto più antropizzato del precedente che termina subito dopo il ponte della ferrovia Bologna-Milano. I restanti 120 km, che conducono le acque del fiume a sfociare nel Mare Adriatico, si sviluppano interamente in pianura e scorrono dentro alte arginature.

Come già detto il Fiume Reno conclude il percorso montano passando da Sasso Marconi alla Chiesa di Casalecchio di Reno. E' un tronco lungo 10 km, che presenta un dislivello che va dai 120 ai 70 m s.l.m., privo di significativi affluenti. In questo tratto incominciano a farsi maggiormente evidenti i disturbi sull'habitat fluviale causati da una più consistente pressione antropica a ridosso del fiume.

Dalla Chiesa di Casalecchio di Reno fino al ponte della ferrovia Bologna-Milano, si ha il percorso pedecollinare del Fiume Reno che attraversa il circondario urbano ad Ovest di Bologna per circa 6 km. Questo tratto funge da raccordo tra il sistema a carattere montano del bacino ed il successivo percorso arginato del fiume. A Casalecchio sul Fiume Reno è presente una Chiesa adibita all'alimentazione idrica del Canale di Reno le cui acque vengono veicolate verso la Città Bologna.

Con il tratto tra dalla Ferrovia BO-MI e alla S.P. n° 3 (trasversale di pianura "Padullese") incomincia il percorso di pianura arginato del fiume che ha inizio proprio dal ponte ferroviario. Il tratto in questione misura complessivamente circa 16 km ed è caratterizzato da un andamento sinuoso e da ampie distese golenali. Lungo questo percorso, si immettono nel F. Reno cinque corsi d'acqua.

In sinistra lo Scolo Canalazzo (circa 11,6 km²), in località Casteldebole, proveniente dalla zona pedecollinare compresa nel tratto tra Zola Predosa e Casalecchio di Reno; lo Scolo Biancana (circa 4,3 km²), subito a valle della tangenziale di Bologna, avente origine a Sud di Borgo Panigale; lo Scolo Canocchia (circa 13,4 km²), a valle di Lippo di Reno, con inizio in località Rigosa (agglomerato ubicato nell'estremo comprensorio Ovest di Bologna). In destra affluiscono il Torrente Ravone, a monte della tangenziale di Bologna, proveniente da Paderno località posta in collina a Sud-Ovest di Bologna; il Canale Ghisiliera, a monte di Torre Verde, avente origine in località Bertalia ubicata a Nord-Ovest di Bologna.

Nel tratto urbano del Fiume Reno da Casteldebole a Casalecchio ricompreso nel territorio Comunale e di lunghezza pari a circa 7.9 Km, si osservano variazioni plano-altimetriche contenute rispetto ai tratti o monte; è evidente un restringimento dell'alveo attuale tra Casteldebole ed il ponte sulla via Emilia, ed un'alternanza di aree caratterizzate da erosione di fondo immediatamente a valle delle opere di difesa trasversali esistenti con valori di abbassamento di 2m circa, e di sovralluvionamento a monte. Fenomeni erosivi spondali accentuati si registrano in sponda sinistra in località Casteldebole, e meno evidenti in sponda destra immediatamente a monte del ponte di Via Togliatti dove sono stati eseguiti nel 2002 opere di sistemazione idraulica con la risagomatura dell'alveo, eliminazione di alcune isole fluviali, ed esecuzione di difese spondali in pietrame.



Nelle tavole 3.1 e 3.2 viene riportato l'alveo in evoluzione, le opere di difesa esistenti in tale tratto del Fiume (traverse, pennelli, argini e difese longitudinali), i ponti e le zone caratterizzate da erosione laterale e di fondo e da sovralluvionamento.

Il tratto d'alveo a monte di Casalecchio comprende opere idrauliche non classificate, anche se contiene opere assimilabili a quelle di 4° e 5° categoria; nel tratto compreso fra la Chiusa di Casalecchio ed il ponte della via Emilia, lungo circa 5.5 km, sono presenti opere classificate di 3° categoria e rappresenta, come già detto, il tratto pedecollinare del corso del Reno e come tale riveste particolare importanza idraulica dovendo assolvere alla delicata funzione di raccordo fra il regime torrentizio del bacino montano e regime fluviale del corso arginato di valle. A definire l'importanza del tratto considerato contribuisce anche il fatto che esso si sviluppa all'interno della zona urbana di Bologna. Seguono, dal ponte ferroviario della linea Milano-Bologna fino allo sbocco in mare, le arginature continue classificate opere idrauliche di 2ª categoria, con uno sviluppo complessivo di circa 124 km.

Al fine di verificare l'evoluzione del fiume Reno si è ricostruita la situazione dell'alveo nel 1770, 1884 e 2001, facendo riferimento rispettivamente alla cartografia del Chiesa, alla cartografia storica dell'I.G.M, e un rilievo fotografico aereo del 2001, tenendo come base la situazione attuale. I risultati ottenuti sono riportati nelle figure 6.4, 6.5 e 6.6 seguenti.

Tali elaborati evidenziano come l'alveo del fiume abbia subito dal 1700 un notevole restringimento dovuto soprattutto all'espansione urbana che ha progressivamente occupato le aree golenali. Nella zona a Nord del ponte ferroviario l'alveo di piena aveva una larghezza massima nel '700 di circa 1,05 km, pari a circa 0.85 km nel 1884 mentre attualmente l'alveo di piena considerando l'area ricompresa tra le arginature esistenti ha una larghezza di poco superiore a 0.5 Km.

Tale restringimento è evidente anche a sud del ponte ferroviario, e si rileva inoltre come nella zona di Casteldebole il fiume abbia subito dal 1700 uno spostamento notevole verso Ovest valutabile in circa 400 m, ed attualmente tale tendenza risulta ancora evidente dalla forte erosione che interessa la sponda sinistra del fiume.

Le piene più significative del fiume Reno nel XX secolo per la loro importanza o per la loro singolarità, secondo i dati dell'Autorità di Bacino del Reno, sono state 13 , di cui: 3 degli anni '30, 2 degli anni '40, 3 degli anni '50, 2 degli anni '60 e 3 dell'ultimo decennio e più precisamente:

1 – Piena del marzo 1934	8 – Piena del dicembre 1959
2 – Piena dell'ottobre 1937	9 – Piena del novembre 1966
3 – Piena del maggio 1939	10 - Piena del dicembre 1966
4 – Piena del novembre 1940	11 - Piena del novembre 1990
5 – Piena del novembre 1949	12 - Piena del settembre 1994
6 – Piena del gennaio 1951	13 - Piena del novembre 2000
7 – Piena del febbraio 1951	

Tabella 6.2

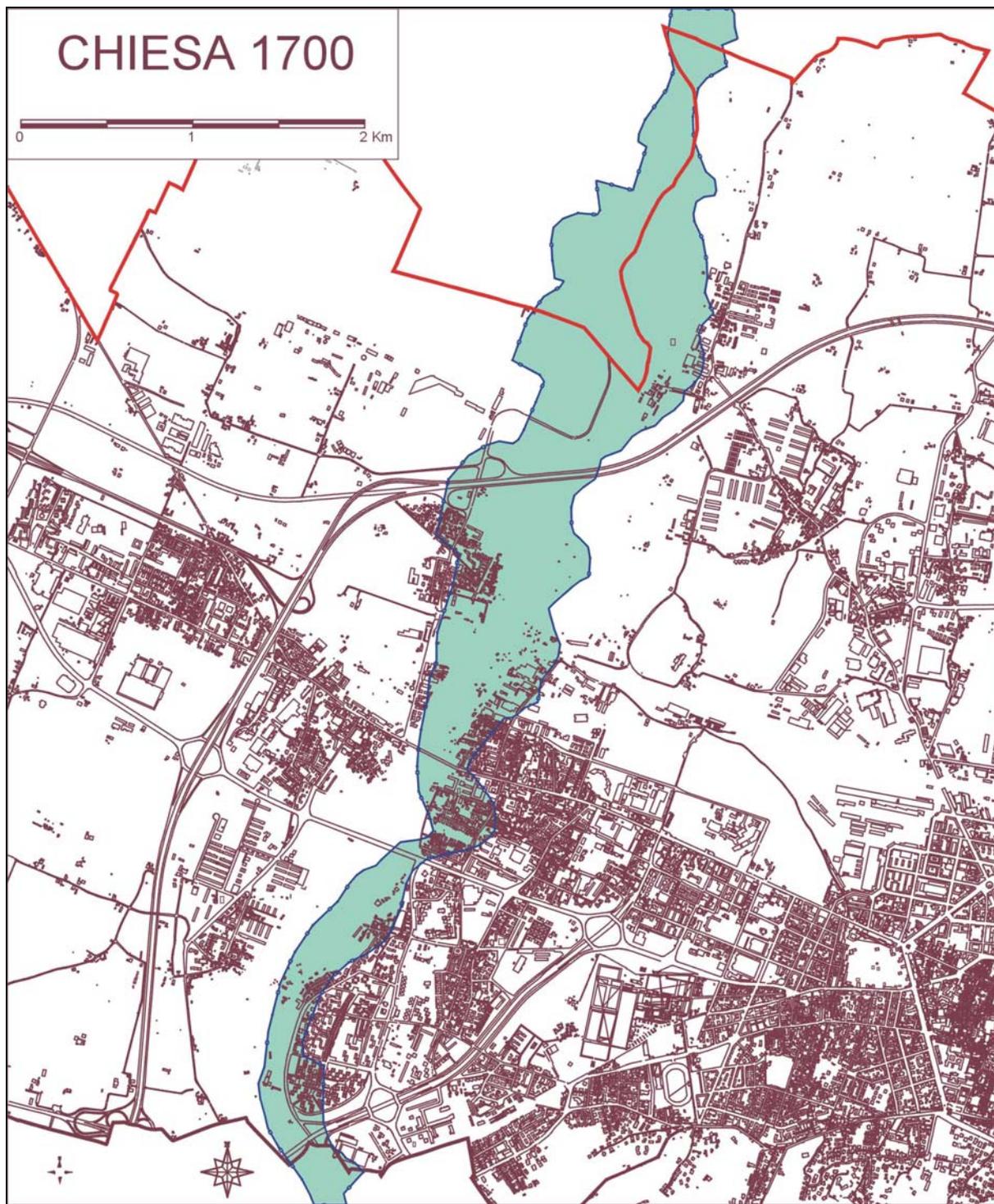


Figura 6.4 – Alveo del Fiume Reno nel 1700

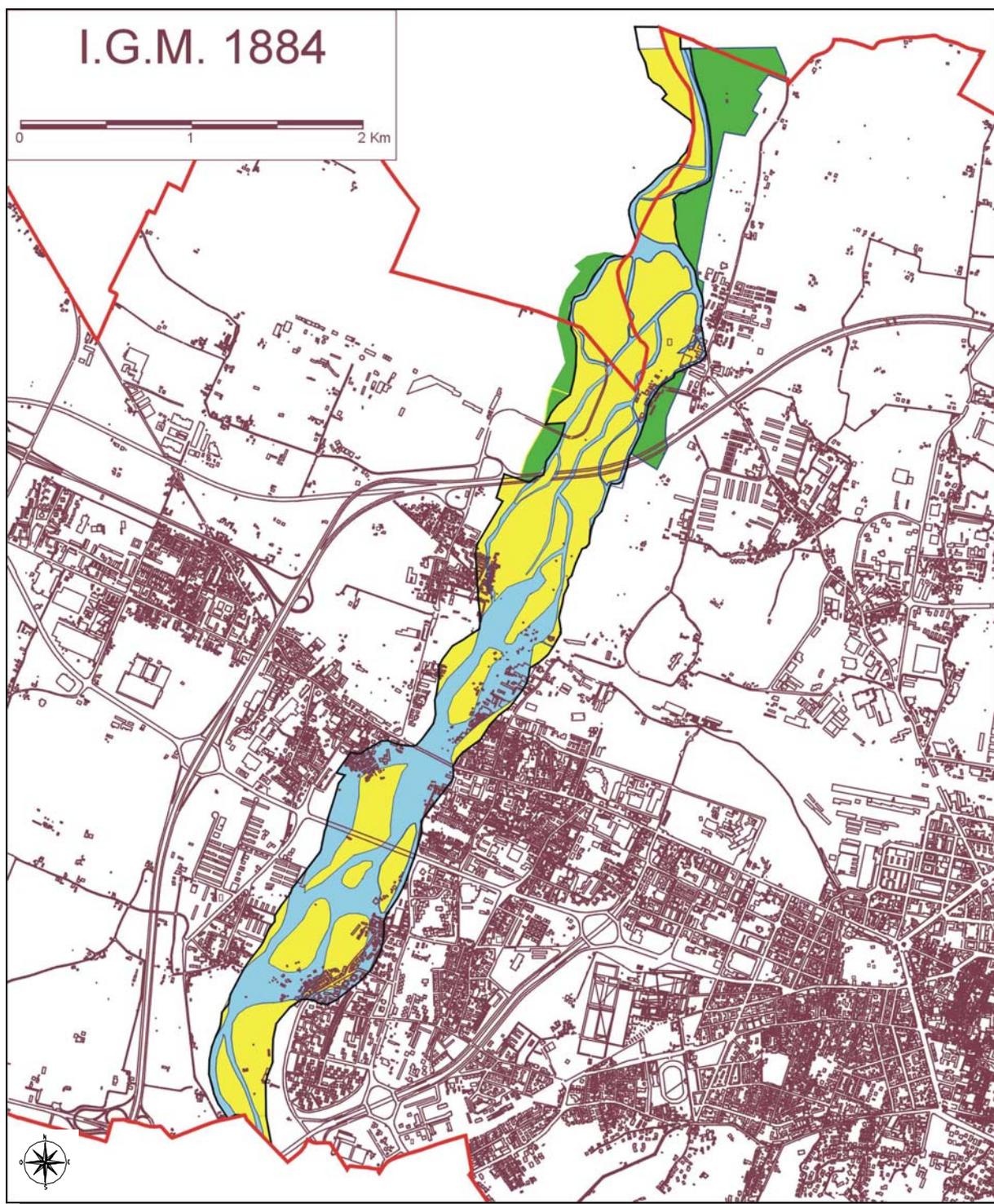


Figura 6.5 – Alveo del Fiume Reno nel 1884

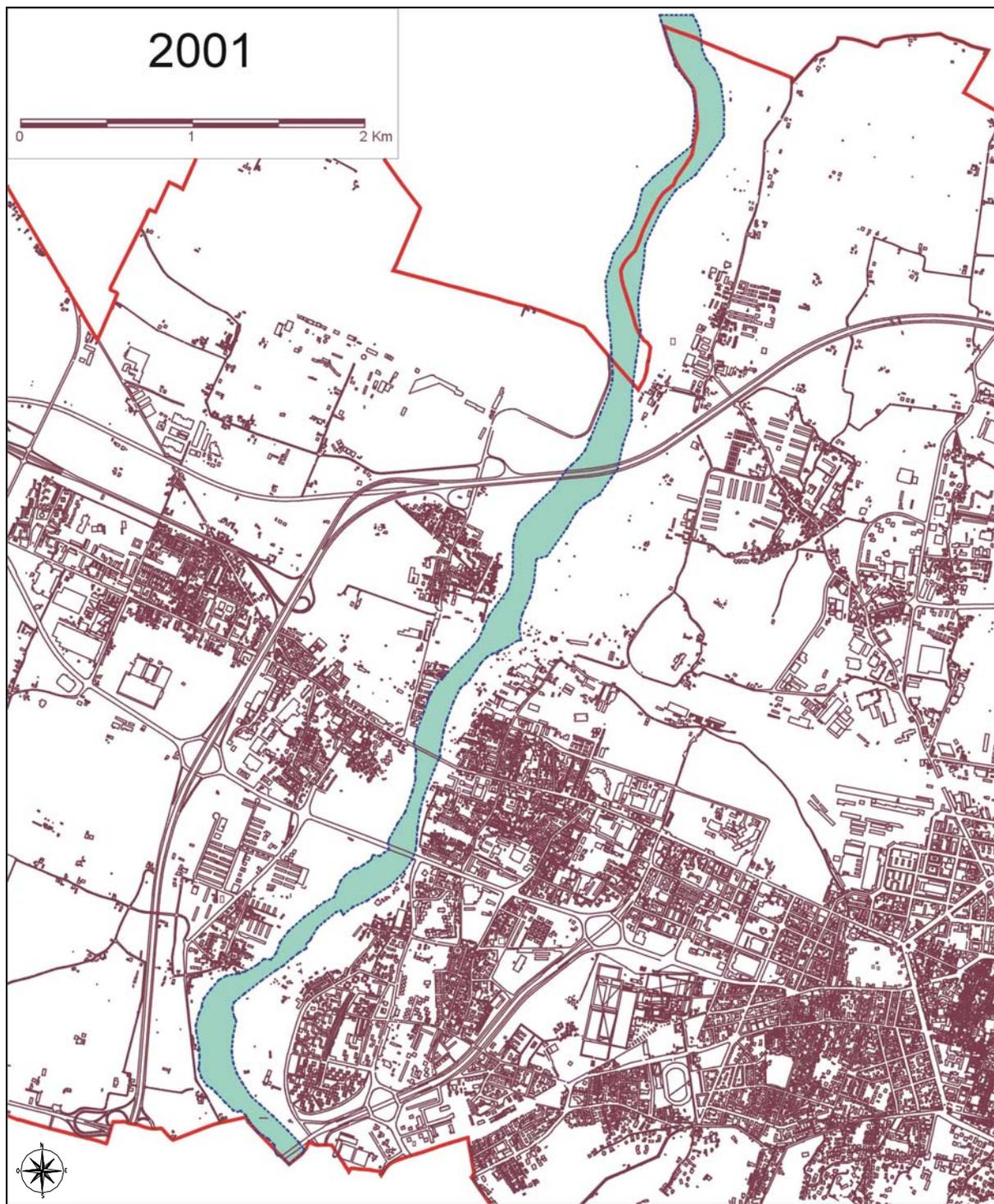
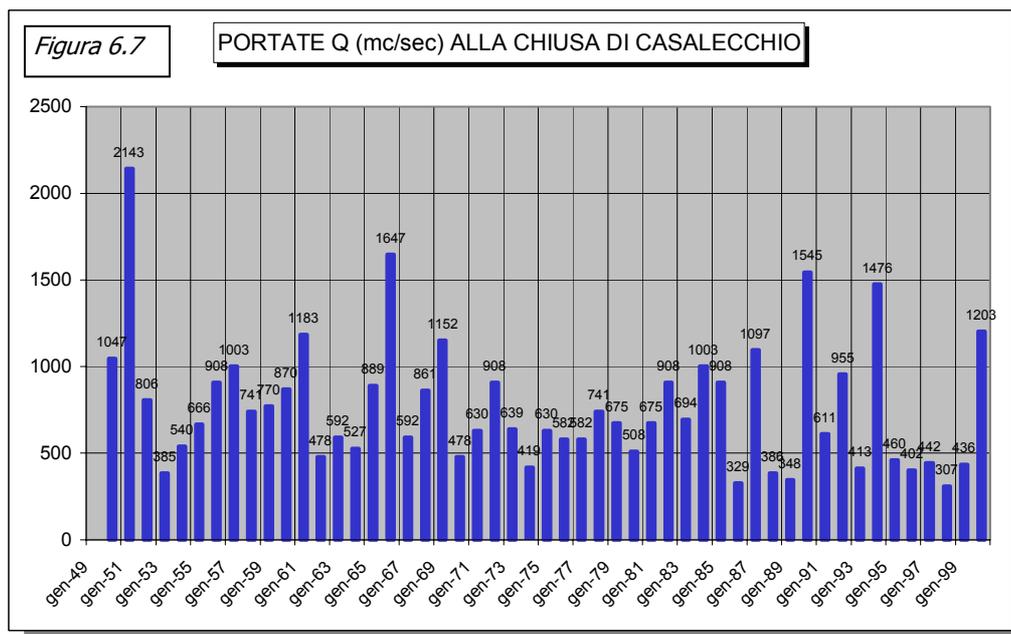


Figura 6.6 – Alveo del Fiume Reno nel 2001



Nella figura seguente sono riportate le portate massime annuali registrate alla Chiusa di Casalecchio a partire dagli anni '50, che sono tra loro confrontabili considerando che lo schema geometrico trasversale della chiusa è rimasto sostanzialmente immutato. E' comunque necessario sottolineare che l'alveo di Reno, a monte della Chiusa, fra la fine degli anni '50 e nei successivi anni '60 ha subito un processo di canalizzazione che ha modificato la velocità d'arrivo della piena in corrispondenza dello stramazzo.



Considerando la distribuzione mensile delle massime piene annuali registrate a Casalecchio nel XX secolo si evidenzia come il massimo numero di casi (24) si è verificato in novembre, seguito dal mese di dicembre (16) e poi gennaio (15), febbraio (13), marzo (9), ottobre (9), aprile (6), giugno (5), settembre (2), maggio (1) e nessun caso nei mesi di luglio ed agosto. Le probabilità statistiche dell'evento ripetibile con alti valori di portata pone al primo posto il mese di novembre seguito da presso da quello di febbraio.



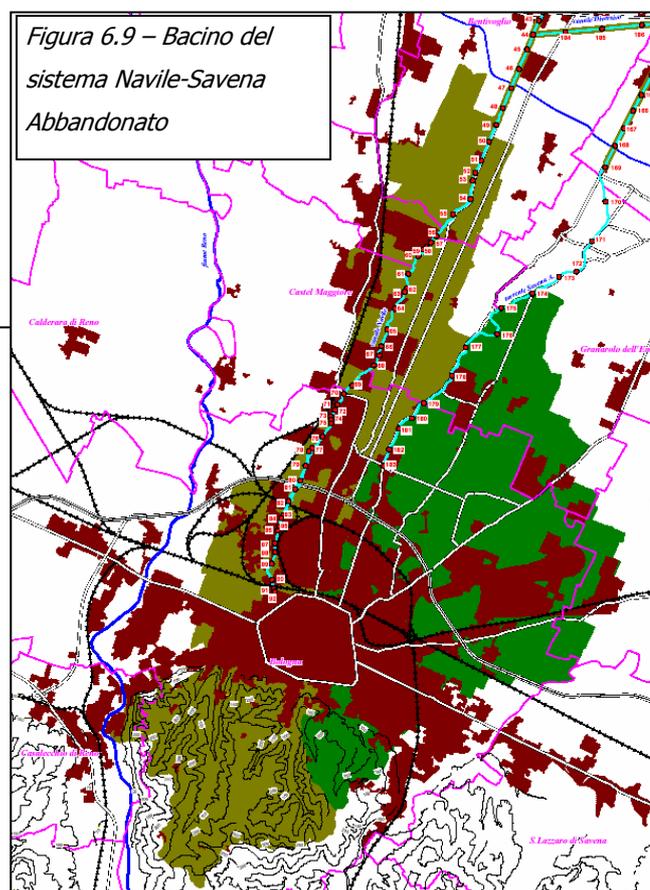
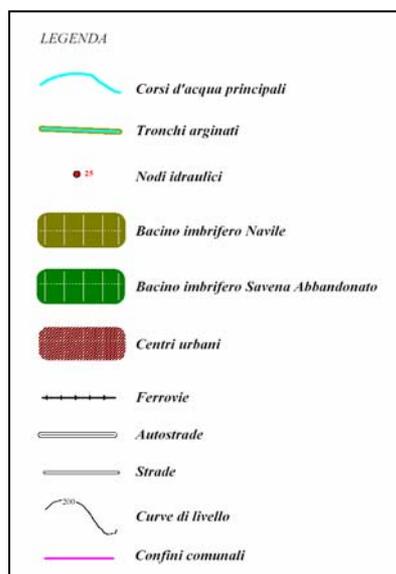
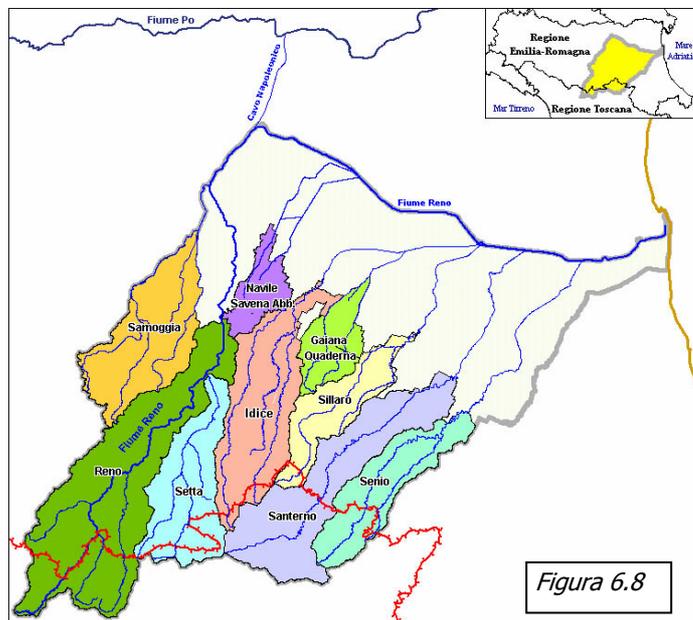
6.4 SISTEMA NAVILE – SAVENA ABBANDONATO

In destra Reno è presente il Sistema denominato **"Navile – Savena Abbandonato"** (Fig. 6.8 e 6.9) il cui reticolo idrografico principale è costituito dai seguenti corsi d'acqua principali:

- il Navile, con una lunghezza complessiva di circa 36 km di cui 22 arginati;
- il Battiferro, con una lunghezza di circa 2,3 km non arginato;
- il Savena Abbandonato, con una lunghezza complessiva di circa 32 km di cui 22 arginati;
- il Diversivo, con una lunghezza di circa 4 km, completamente arginato.

Il bacino imbrifero del sistema Navile-Savena Abbandonato ha una superficie complessiva di circa 111 km² di cui approssimativamente:

- 78 nel Comune di Bologna;
- 10 nel Comune di Castel Maggiore;
- 7 nel Comune di Bentivoglio;
- 2 nel Comune di Argelato;
- 1 nel Comune di Casalecchio;
- 3 nel Comune di Castenaso;
- 10 nel Comune di Granarolo dell'Emilia.



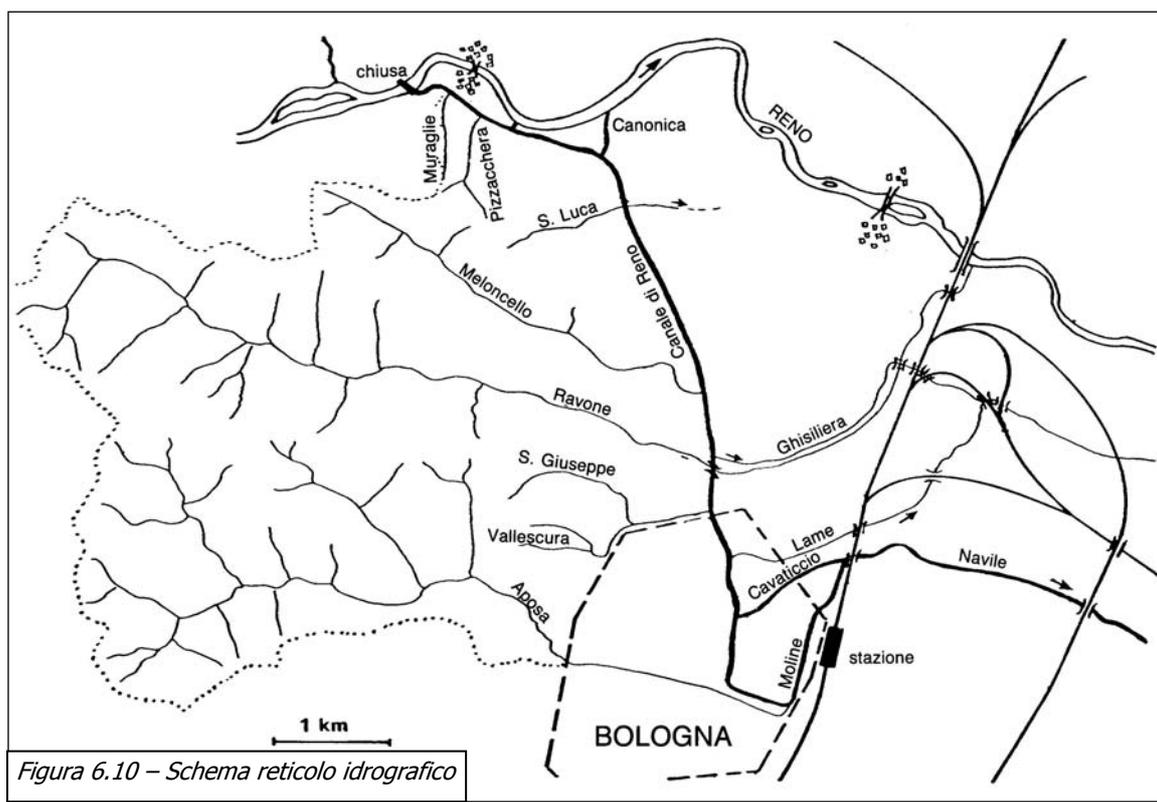


I corsi d'acqua più significativi del reticolo idrografico "collinare" che fanno parte di questo sistema sono: il rio S.Luca, Rio Meloncello, Rio Aposa, appartenenti direttamente al bacino imbrifero del Navile e la Fossa Cavallina e il Rio Grotte o Monte Griffone appartenenti al bacino imbrifero del Savena abbandonato.

I corsi d'acqua più significativi del reticolo idrografico di "pianura" ricompresi nel sistema idrico Navile – Savena abbandonato nel territorio Comunale di Bologna, che fanno parte della rete dei canali di bonifica del "Consorzio della Bonifica Renana", sono: la Zenetta di Quarto, il canale Carsè, il canale Calamosco e la canaletta di Cadriano.

Tra i canali artificiali quelli più significativi risultano il canale di Reno e il canale di Savena.

Il **Canale di Reno** deriva dal fiume omonimo attraverso la Chiusa di Casalecchio e percorre la parte occidentale della periferia urbana e del centro storico biforcandosi poi, all'altezza di via Marconi, nel Cavaticcio e nel Canale delle Moline (Fig. 6.10).



Questi due canali tornano poi a riunirsi per formare il Navile, via d'acqua un tempo navigabile che ha costituito per Bologna la principale via di approvvigionamento in derrate pesanti sino all'avvento della ferrovia. Le portate derivabili variano da un massimo di 10-15 mc/sec a valori minimi attorno ai 2-3 mc/sec ed anche meno, in relazione ai deflussi effettivamente presenti nel Reno ed ai fabbisogni di valle. In corrispondenza del depuratore di Corticella il Navile riceve lo scarico terminale della rete fognaria di Bologna che supera mediamente di poco i 2 mc/sec. In regime di piena, l'alveo del Navile, non essendo stato adeguato ai maggiori deflussi di acque di pioggia conseguenti all'urbanizzazione del



suo bacino ed essendo rimasto privo per anni anche della manutenzione ordinaria, è particolarmente soggetto al rischio di esondazioni. L'ente delegato alla gestione della Chiusa di Casalecchio e del Canale di Reno è denominato "Consorzio della Chiusa di Casalecchio e del Canale di Reno" e ha origini antichissime che si fanno risalire agli inizi del XVIII sec.; costituitosi nella forma attuale nel 1851 con la riunione di due Consorzi preesistenti, l'uno per la Chiusa e l'altro per il Canale, ha per fine la distribuzione delle acque derivate dal fiume Reno per usi industriali (energia idroelettrica, scambiatori di calore) e irrigui.

Assicurando la distribuzione delle acque per i diversi usi e lo smaltimento delle stesse in occasione di eventi atmosferici sfavorevoli, di fatto il Consorzio provvede alla regolazione idraulica del territorio sotteso al proprio sistema artificiale provvedendo allo smaltimento di acque esterne di rii e torrenti collinari (di cui completamente il Rio Muraglie, Rio Pizzacchera, Rio S.Luca, Rio Meloncello, Rio S.Giuseppe, Rio Vallescura e torrente Aposa, mentre il Ravone lo sovrappassa ma è munito di uno sfioratore che vi versa le acque in piena) ed interne (scolmatori di fognatura). Nel primo tratto del Canale di Reno, finché esso è vicino al fiume, sono presenti anche diversi scaricatori di fondo e di superficie fra cui il maggiore (Canonica – Foto 6.1) posto immediatamente a valle di un primo salto del canale sfruttato da un piccolo impianto idroelettrico privato.

Più a valle, dal Canale di Reno partono altre canalette (Ghisiliera, Lame, Moline) che, come il canale Navile, distribuiscono l'acqua verso la pianura

bolognese, ove viene utilizzata soprattutto per irrigazione. Nell'area cittadina è inoltre presente un complesso ed esteso reticolo di fognature urbane: è un sistema misto (acque di scarico e piovane) i cui sfioratori versano in gran parte nel canale Navile che è anche il recapito degli scarichi dell'impianto di depurazione, posto a Corticella, che tratta le portate di magra del sistema fognario.

I principali canali consorziali sono: canale Reno, canale Ghisiliera, canale delle Moline, Cavaticcio, canaletta del Maglio, canaletta delle Lame, canaletta Venenta e Castagnolino. A questi si deve aggiungere il vastissimo sistema di condotti secondari formato dalle vicinanze, dalle chiaviche e dai chiavicotti.

L'area interessata dal sistema idraulico derivato dalla Chiusa di Casalecchio è divisibile in due comparti. L'uno a monte dell'aggregato urbano bolognese utilizza il reticolo come gronda naturale, immettendo in esso le reflue eccedenti la normale produzione del sistema fognante. Detto territorio inoltre viene anche difeso dalle acque esterne che trovano nei canali consorziali capace recapito.

All'altro comparto posto a valle della città di Bologna viene assicurata l'alimentazione idrica a fini produttivi; infatti gran parte della pianura bolognese, vocata all'agricoltura, dipende dall'acqua derivata da Casalecchio e veicolata verso l'area produttiva dai canali consorziali.





Foto 6.2 – La turbina calata nel pozzo della centrale

Oltre all'irrigazione concentrata nei mesi estivi e allo scolo attivo in occasione di prolungate piogge vi sono gli usi industriali come la centrale idroelettrica del Cavaticcio del Comune di Bologna oltre ad altre utilizzazioni minori. La centrale idroelettrica del Cavaticcio è stata realizzata nei pressi del salto che il canale Cavaticcio (Foto 6.2), attraversando interrato la città di Bologna, compie in Largo Caduti del Lavoro, salto che corrisponde alla differenza di quota esistente tra il Canale di Reno e il vecchio porto che costituiva il termine verso monte del Canale Navile.

Rilevante importanza ha la continua e costante alimentazione del sistema urbano (si pensi ai parchi e giardini).

Il **Canale di Savena** deriva dal torrente omonimo alla Chiesa di San Ruffillo (Foto n. 6.3 e 6.4) e alimentava, un tempo, una rete diffusa di canalette (che percorre ancora il settore est della città); oggi invece si getta direttamente nel torrente Aposa in prossimità di Porta Castiglione e quindi nel Canale delle Moline (Fig. 6.11).

Le sue portate sono legate all'effettiva disponibilità di acqua nel torrente nei diversi periodi dell'anno: da un massimo di circa 1,2 mc/sec si scende a valori quasi nulli durante le magre estive. Per questo motivo, e per il venire meno del tradizionale uso irriguo dell'acqua, l'alveo è stato via via quasi interamente tombato, ad eccezione di pochi tronchi nel tratto di monte (S. Ruffillo). Il tratto coperto riceve tuttora un numero rilevante di immissioni fognari da fabbricati, e strade.

L'ente delegato alla gestione è Il Consorzio della Chiesa di S.Ruffillo e del Canale di Savena che ha come il precedente origini risalenti gli inizi del XVIII secolo, costituitosi nella forma attuale nel 1885, ed ha per fine la distribuzione delle acque derivate dal torrente Savena per usi irrigui, per il riempimento di vasche ed invasi diversi, per gli usi industriali (produzione di forza motrice, scambiatori di calore), inoltre provvede allo scolo delle acque dell'area posta a monte del canale di Savena, della quale costituisce la naturale gronda.



Foto 6.3 – Chiesa di S. Ruffillo



Foto 6.4 – Traversa di S. Ruffillo



Figura 6.11 – Sistema del conoide di Savena



Del Consorzio fanno parte tutti i possessori di immobili che usufruiscono in qualsiasi modo dell'acqua derivata dal torrente Savena o usano il canale consorziale. Svolgendo la funzione di distribuzione delle acque per le diverse utenze a consumo e lo smaltimento delle stesse in occasione di particolari eventi atmosferici sfavorevoli, di fatto il Consorzio provvede alla regolazione idraulica del territorio sotteso al proprio sistema artificiale.

L'area di competenza è quasi esclusivamente urbana, marginale è l'attività legata all'agricoltura, anche se rilevante è l'area con tale vocazione dipendente dall'acqua derivata per mezzo dell'antica

Chiusa di S.Ruffillo. Tale area, alimentata unitamente alle acque del comparto di Reno, ricade nel comprensorio gestito da altro Consorzio che svolge la sola distribuzione e regolazione delle utenze. La vocazione principale rimane l'uso industriale anche se le utenze di questo tipo sono oggi numericamente ridottissime, mentre è andata acquisendo rilevanza la funzione di gronda naturale, quindi la capacità del sistema idraulico di assicurare lo smaltimento delle reflue esterne ed interne. Non meno importante risulta il servizio volto a mantenere buone condizioni igieniche dei condotti fognari.



Il canale consorziale è il canale di Savena, i manufatti idraulici sono la Chiusa di S.Ruffillo, l'Incile, lo scaricatore alto, il paraporto con scaricatore basso, lo scaricatore S.Barbara e lo scaricatore Frigno.

L'area interessata al sistema idraulico derivato dalla Chiusa di S.Ruffillo è divisibile in tre comparti: l'uno a monte dell'aggregato urbano, dominante rispetto al canale di Savena, costituisce il bacino imbrifero dello stesso. Esso utilizza il reticolo come naturale gronda immettendovi le reflue del sistema fognante eccedenti la normale produzione. Detta area di territorio viene anche difesa dalle acque esterne, cioè dagli antichi rii trasformati in collettori che trovano nei canali capace recapito. È proprio dalla regimazione idraulica effettuata dal Consorzio, che utilizza per l'allontanamento delle acque eccedenti di questa zona le proprie opere per le quali provvede alla manutenzione e vigilanza, che si garantisce l'equilibrio del territorio servito. Il comparto intermedio è costituito dal reticolo urbano cosiddetto interno, ricomprendente l'area posta a destra Aposa e il perimetro dell'antica cinta muraria e serve ad alimentare i numerosi condotti costituenti il capillare reticolo microidraulico bolognese. In ultimo vi è il comparto di valle cioè l'area nord avente ancora spiccata vocazione irrigua.

Infatti le acque escono dalla città unite alle acque derivate dal fiume Reno ed insieme alimentano il sistema Navile e Savena Abbandonato e i condotti derivati.

Una peculiarità di questo sistema è il servizio di "pulizia" dei due rii più rilevanti, la fossa Cavallina e il rio Grotte o Monte Griffone, che vengono periodicamente alimentati così da mantenerne intatte le caratteristiche di efficienza idraulica.

Il **Savena Abbandonato** è un antico letto del torrente Savena il cui corso venne deviato nella seconda metà del settecento per decisione del Senato Bolognese. Il vecchio alveo rimase allora con funzioni di scolo ed irrigue, riducendosi via via ad una vera e propria fogna scoperta.

Quando i liquami fognari furono incanalati verso l'impianto di depurazione nella parte settentrionale del territorio Comunale, fu creata per il Savena Abbandonato una alimentazione alternativa, a partire dal Canale delle Moline, tramite una tubazione di 6 Km, realizzata dal Comune di Bologna nel 1975 e denominata perciò Reno 75. Questa condotta ha una capacità massima di circa 1.7 mc/sec, ma viene generalmente utilizzata al di sotto di questa portata senza quasi mai superare 1 mc/sec.

In tempo di pioggia il Savena Abbandonato raccoglie poi le acque meteoriche di un vasto territorio che comprende gran parte del settore est di Bologna e ciò dà luogo a problemi di tipo idraulico per l'inadeguatezza dell'alveo a sostenere questi deflussi.



6.5 SISTEMA DEL SAVENA

Il Torrente Savena è l'affluente principale del Torrente Idice ed il suo bacino, situato fra i bacini di Reno, Idice e Zena, ha una superficie – alla sezione di chiusura al ponte della Via Emilia – di circa 168 Km². La lunghezza dell'asta principale fino a tale sezione è pari a circa 49,8 Km. Da tale sezione alla confluenza con il Torrente Idice il corso del Torrente Savena si sviluppa per ulteriori 4,5 Km circa. Il Torrente Savena venne tolto dal suo alveo naturale all'altezza della località Cavedone in Comune di Bologna, circa 1,5 km a monte della Via Emilia, con lavori eseguiti negli anni 1776-1777, e immesso nel Torrente Idice all'attuale confluenza. Il nuovo alveo seguì in massima parte il tracciato di un piccolo corso d'acqua, il rio Polo che attualmente confluisce in Savena, e venne adeguato alle portate del Savena. Il corso del torrente Savena a valle di Bologna non ebbe perciò più le acque del bacino montano e divenne un corso d'acqua, l'attuale Savena Abbandonato, nel quale si raccolgono le acque delle aree di pianura di parte città di Bologna.

L'intero corso del torrente Savena presenta deflussi di piena prevalentemente contenuti all'interno dell'alveo inciso o che interessano, al più, aree golenali prive di manufatti civili. Fanno eccezione due porzioni di territorio urbanizzate: l'ampia area golenale in destra idraulica a monte della chiusa di San Ruffillo in Comune di Bologna (all'interno della quale ricadono numerose abitazioni e le scuole elementari), l'altra subito a monte della rotonda di Via Roma, al confine tra il Comune di Bologna e quello di San Lazzaro, che peraltro interessa solamente due edifici.

Le indagini condotte in corrispondenza di eventi particolarmente catastrofici ($Tr = 200$ anni), mostrano una situazione antitetica alla precedente, evidenziando ampie aree di crisi lungo l'intera asta fluviale, con elevato rischio per tutti i nuclei abitativi che si sviluppano lungo le sponde del corso d'acqua.

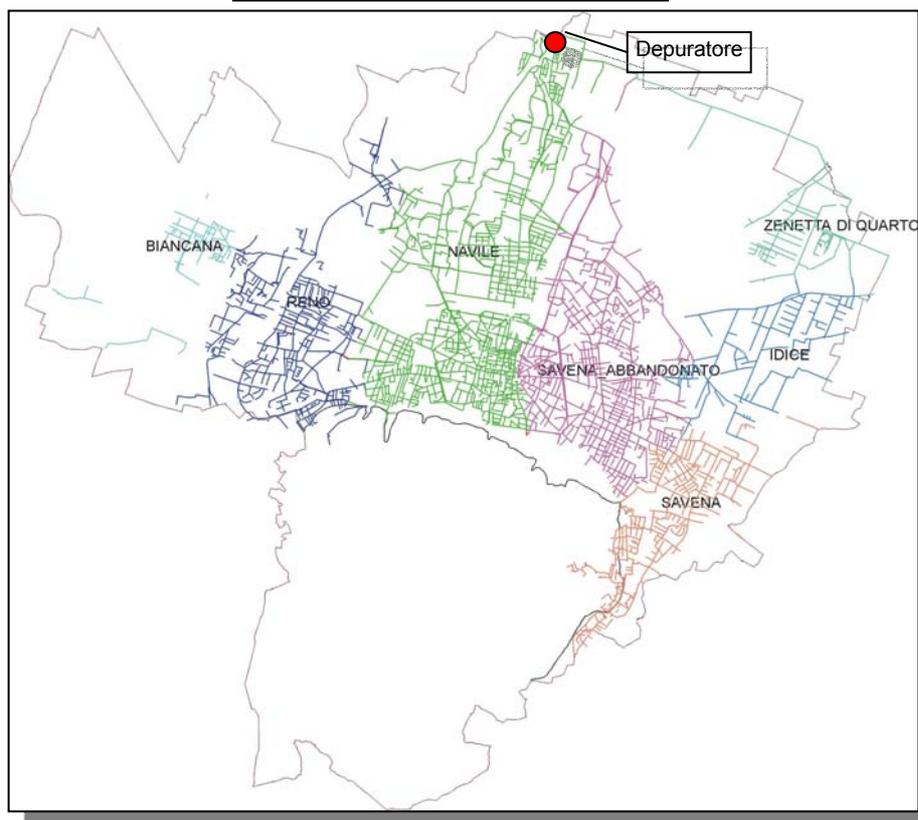
6.6 SISTEMA DELLE FOGNATURE

Bologna è dotata di una rete fognaria mista in cui le acque meteoriche vengono collettate insieme alle acque reflue civili ed industriali; un sistema coevo allo sviluppo storico della città, che comporta la presenza di oltre 100 scolmatori (scaricatori) da attivare in caso di forti precipitazioni. Lo sviluppo della rete è di circa 800 Km di condotte principali e 1300 di rete di raccolta delle acque meteoriche e riceve anche i reflui provenienti da otto comuni confinanti. Il volume complessivo delle acque reflue di origine domestica, industriale e meteorica addotto all'impianto di depurazione di Corticella è dell'ordine di 50 milioni di m³ annui.

La Rete tecnologica Comunale (fig. 6.12) è suddivisibile nell'area di pianura in diversi settori che fanno direttamente riferimento al bacino di appartenenza (Biancana, Reno, Navile, Savena Abbandonato, Savena, Idice e Zenetta di Quarto).



Figura 6.12 – Schema fognature



Sulla Tavola 8 "Reticolo idrografico" vengono riportati i principali collettori fognari con i numerosi collegamenti tra i bacini (bocche tarate e impianti di sollevamento).

Secondo recenti elaborazioni idrauliche si evidenziano elevati livelli di criticità del sistema fognario in termini di portate al colmo.



6.7 BOLOGNA E L'ACQUA

6.7.1 LE ACQUE POTABILI A BOLOGNA

L'alimentazione idrica dei primi insediamenti etruschi nell'area di Bologna (Marzabotto e Felsina) era assicurata soprattutto dal Torrente Aposa e dal Fiume Reno che soddisfò le esigenze idriche dell'area sino all'età Romana. In tale epoca e precisamente in età augustea, a seguito dello sviluppo demografico della città dai Romani ridenominata Bononia nel 189 a. C., si rese necessaria la realizzazione di un'alimentazione alternativa costituita dall'acquedotto Romano (Fig. 6.13) risalente probabilmente agli ultimi decenni del I secolo avanti Cristo. Tale manufatto costituisce una vera e propria opera di alta ingegneria che si compone di uno stretto cunicolo sotterraneo, lungo 20 chilometri circa e con il quale erano condotte alla città, con un dislivello di 30 m e una pendenza media dell'uno per mille, le acque del torrente Setta. In tal modo furono regolarizzate e regolarizzate le portate del Torrente Aposa, con l'innesto presso la Casa dell'Angelo (Via Codivilla).



Fig. 6.13 – Tracciato del Cunicolo Romano (dal progetto dell'Ing. Zannoni, 1868)

La scelta di attingere acqua proprio dal Torrente Setta era dettata dalla particolare buona qualità di tali acque se raffrontate con quelle del Reno. Il cunicolo è alto da 1.8 a 2 metri e larghezza media di poco inferiore a 1 metro, con una profondità massima all'Osservanza di circa 200 m (Foto 6.5).

Costruzioni accessorie erano delle scale di accesso, come quella scoperta agli inizi del XVII secolo e tuttora in ottime condizioni, nel Parco di Villa Ghigi e denominata "scala romana", con ben 327 scalini.



Foto 6.5 – Particolare Cunicolo Romano

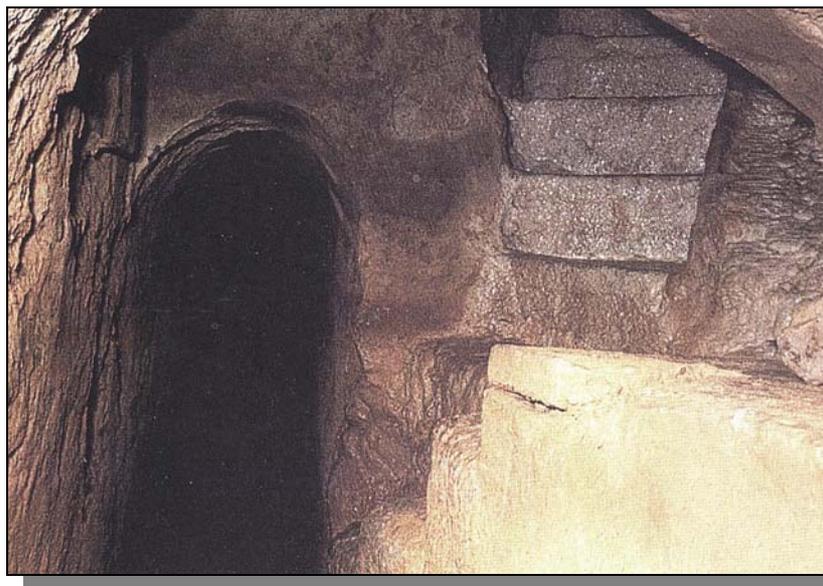


Foto 6.6 – Innesto sotterraneo della Scala Romana con il cunicolo (Parco di Villa Ghigi)

L'acqua del cunicolo romano giungevano in città attraverso una fitta rete di tubazioni in piombo, alimentando serbatoi di stoccaggio e numerose fontane pubbliche.

Verso la fine del 1100 il cunicolo romano si era fortemente deteriorato soprattutto in relazione alla mancanza di manutenzione e fu quindi abbandonato ripristinando in città l'uso di pozzi e cisterne. Se ne perse quindi ogni traccia sino alla metà del XVIII secolo quando Antonio Zannoni, giovane ingegnere faentino operante presso l'ufficio tecnico del Comune di Bologna, effettuò approfonditi e pericolosi sopralluoghi che gli consentirono di individuare nella sua continuità il cunicolo, basandosi anche ricerche effettuate un secolo prima da Marcantonio Chiarini. Nel 1878 venne dato il via ai lavori di riadattamento del vecchio cunicolo e di costruzione di nuovi tratti, che nel 1881 portarono nuovamente a zampillare in piazza Maggiore le acque del Setta.

Nei secoli successivi lo sviluppo demografico ed economico della città furono eseguiti lavori di captazione di alcune sorgenti come quello verso la fine del 1300 che prelevarono l'acqua dalle fonti dal colle di Valverde (nell'attuale via Bagni di Mario) trasportandole verso l'area urbana con un ingegnoso e complesso sistema di cunicoli e cisterne di raccolta. E' nel 1483 che fu realizzato il condotto che prelevava l'acqua dalla fonte Remonda (o del Remondato), collocata ai piedi del colle di S. Michele in Bosco in prossimità dell'attuale Via Panoramica.

Queste acque, un tempo molto apprezzate per la loro qualità nonché per la vicinanza alla città, nel XVI secolo alimentavano, assieme a quelle di un grande impianto di raccolta posto lungo la via Valle Verde, la fontana del Nettuno completata nel 1564 dal Giambologna, una grande cisterna posta al centro del giardino dell'allora Palazzo Comunale (oggi ex Sala Borsa) e la grande fontana che si osserva lungo via Ugo Bassi. La rinascimentale cisterna di raccolta della fonte Remonda si può ancora osservare lungo la via Codivilla, a valle della strada, dove due rampe di scale raggiungono questa vasca, nella quale sono ancora convogliate le limpide acque sorgive.

Il sistema di approvvigionamento di acqua potabile fu nei secoli successivi integrato con lo sfruttamento di pozzi non raggiungendo comunque mai lo standard qualitativo e quantitativo



dell'epoca romana. Agli inizi del XIX secolo si contavano oltre 14.000 pozzi superficiali che soddisfacevano le esigenze di circa 70.000 abitanti ma che presentava però gravi inconvenienti igienici, specialmente per le contaminazioni provenienti dal reticolo di scolo delle acque nere che era affidato alla rete delle "chiaviche", che, costruita per usi differenti, non era adatta allo smaltimento dei liquami consentendone la dispersione nel suolo. Si determinava così un inquinamento generalizzato della falda freatica cittadina che probabilmente fu una delle cause principali dell'epidemia di colera del 1855 che portò al decesso di 3.649 persone, circa il 5% della popolazione residente.

E' in tale situazione che venne ripristinata la funzionalità del cunicolo Romano, comprendente altresì la costruzione di una adeguata opera di presa alla confluenza del Setta con il Reno, nonché le opere di ricezione ed accumulo a Bologna in prossimità di Viale Aldini. Il 5 giugno 1881 fu inaugurato il nuovo acquedotto, e da allora la situazione igienica nella città migliorò sensibilmente al punto da potere rilevare nel giro di pochi anni, che il numero dei casi di colera per quartiere era inversamente proporzionale alla diffusione dell'acquedotto.

Le prime perforazioni di pozzi per l'acquedotto furono eseguite nel 1911 in località Borgo Panigale sulla sponda sinistra del fiume Reno. Successivamente, vista l'esigenza di sempre maggiori volumi d'acqua, si provvide con gradualità, nei cinquanta anni successivi, a realizzare nuovi centri di captazione oltre che sul Reno (centro di Borgo Panigale, centro di Tiro a Segno, centro di S.Vitale), anche in corrispondenza delle conoidi dei torrenti Savena (centro di Fossolo) ed Idice (centro di Mirandola).

Nello stesso periodo la potenzialità dell'impianto di captazione sul Setta che utilizzava il cunicolo come vettore, veniva elevata da 9.000 sino a quasi 40.000 mc/giorno. Con questa forma di approvvigionamento misto (acque di superficie dal Setta e acque sotterranee) l'acquedotto di Bologna ha basato la continuità di esercizio fronteggiando gli incrementi di richiesta di erogazione (si consideri infatti che nel periodo 1920-1950 è decuplicata la quantità di acqua distribuita (da 12.000 a 125.000 mc/giorno) a fronte di un raddoppio nello stesso periodo della popolazione (da 200.000 a 400.000 abitanti).

La gran parte di tale sviluppo fu portato avanti nell'immediato dopoguerra dall'A.M.G.A. di Bologna, la municipalizzata cui il Comune aveva affidato la gestione dell'Acquedotto dopo un lungo contenzioso con la Società Gazometri ed Acquedotti, precedente gestore, in concessione, del servizio.

Fin dagli anni '60 tuttavia, nuovi e non sempre positivi fenomeni cominciarono ad evidenziarsi ponendo ad amministratori e tecnici l'esigenza di formulare nuove strategie di approvvigionamento.

Il forte sfruttamento dell'acquifero bolognese (cui concorrono anche utenti produttivi e terziari) ha cominciato a evidenziare sintomi di squilibrio con il presentarsi del fenomeno della subsidenza caratterizzata da elevate velocità.

Gli interventi previsti, avviati dalla metà degli anni '70 e ai quali ha fatto soprattutto fronte l'A.Co.Se.R. (subentrata nel 1984 all'A.M.G.A. per intervenire sulla gran parte del territorio provinciale), oltre ad ampliare e potenziare il sistema distributivo, hanno consentito di ridurre il prelievo da falda, grazie alla nuova centrale di potabilizzazione del Setta caratterizzata da 200.000



mc/giorno di acqua trattata ovvero dello stesso ordine di grandezza del fabbisogno medio giornaliero dei primi anni '90.

A gestire l'approvvigionamento idrico del territorio Bolognese è attualmente la Società Seabo (che ha integrato le attività di A.Co.Se.R.), che serve circa 3.700 Km² per una popolazione complessiva di circa 780.000 abitanti. Nel 1997-2000 le fonti di approvvigionamento del sistema degli acquedotti gestiti da Seabo sono rappresentate dal Torrente Setta, l'invaso di Suviana, il Fiume Savena, e la falda Bolognese (Conoidi del Fiume Reno, Savena e Idice) (Fig. 6.14).

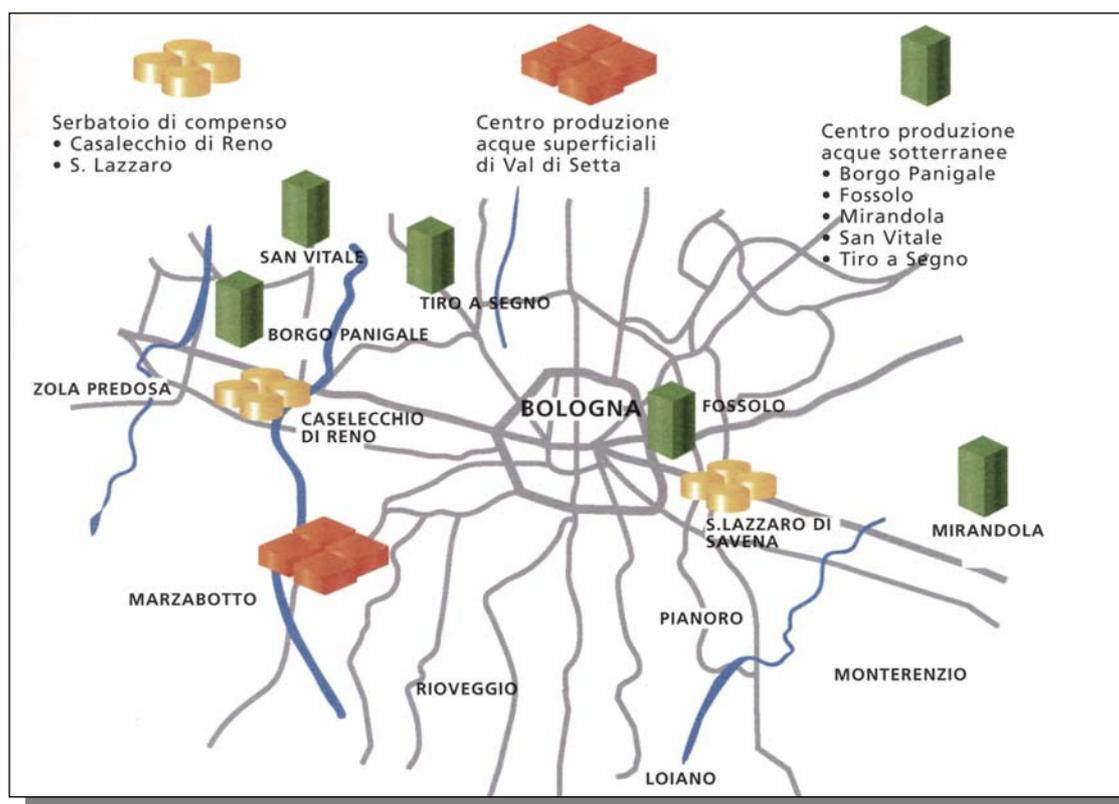


Fig. 6.14 – Rete acquedottistica Bolognese (da Rapporto Ambientale Seabo 2001)

L'andamento del prelievo idrico dal 1960 al 2000 (Fig. 6.15) mostra chiaramente come la tendenza all'incremento costante del prelievo da acque sotterranee si interrompa nel 1980, con un volume complessivo annuo si attesta tra i 50 e 60 mm³, mentre subisce un sensibile aumento il volume di acque superficiali utilizzato.

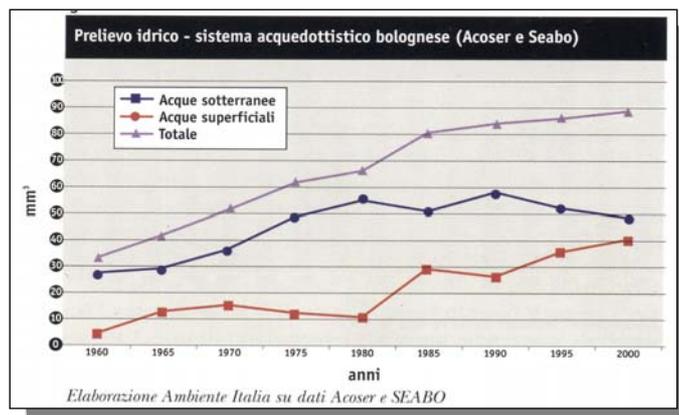


Fig. 6.15 – Prelievo idrico (Da 2° rapporto dello stato dell’ambiente, Comune di Bologna, 2002)

Nella fig. 6.16 viene riportata la distribuzione percentuale dei prelievi nel 2001 (Fonte Rapporto ambientale Seabo 2001), dal quale si evince come la maggior parte del volume proviene da acque superficiali, la cui fonte principale è il torrente Setta.

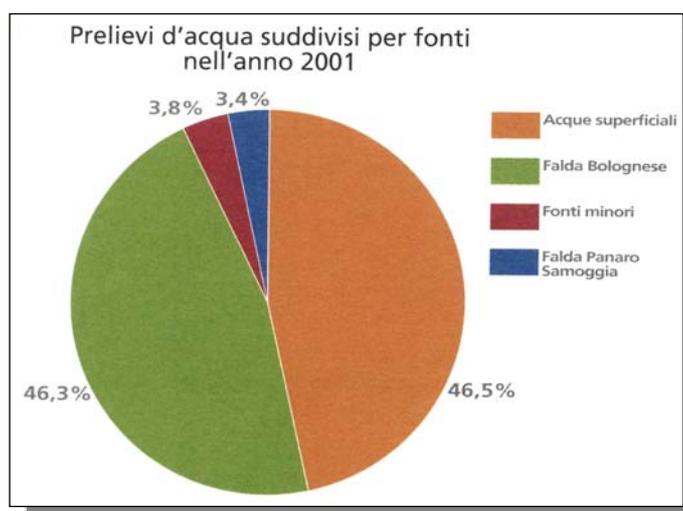


Fig. 6.16 – Prelievo idrico 2001 (da Rapporto Ambientale Seabo 2001)

Secondo quanto riportato nei “Criteri e indirizzi per l’uso razionale e la tutela delle risorse idriche nel territorio della provincia di Bologna e della restante porzione del bacino del fiume Reno” adottata dal consiglio provinciale con delibera n° 58 del 25/06/02, nella provincia di Bologna le falde sotterranee presentano comunque ancora un deficit nel bilancio idrico che risulta essere, nelle tre ipotesi di calcolo (massima, minima, intermedia in relazione ai valori estremi e intermedi del coefficiente di immagazzinamento), di 23 Mm³/y, di 11 Mm³/y e di 17 Mm³/y; per quella dell’intero bacino Reno-Destra Reno si ottengono deficit di 28 Mm³/y, di 14 Mm³/y e di 21 Mm³/y, considerando che l’ipotesi intermedia dovrebbe essere quella più vicina alla realtà.



La Tab. 6.2 fornisce una sintesi dei risultati conseguiti per gli areali provinciali considerati. Si può notare come il deficit delle falde, rispetto ad una situazione di equilibrio, sia concentrato nelle zone di conoide, che sono anche quelle di maggiore interesse per gli usi idropotabili.

Tabella 6.3 - Prelievi attuali, deficit e prelievi di equilibrio delle falde per gli areali considerati (anno '97)

Ambito	Prelievo attuale (Mm³/y)	Deficit (Mm³/y)	Prelievo di equilibrio (Mm³/y)
Bologna conoide	91,2	17,0	74,2
Bologna confinato	18,7	0,0	18,9
Reno – Destra Reno conoide	102,7	20,4	82,3
Reno – Destra Reno confinato	30,1	0,0	30,4



6.7.2 IL SISTEMA DEI CANALI

Le acque superficiali hanno avuto un ruolo determinante nello sviluppo della città di Bologna, risorsa che venne utilizzata a fini di difesa militare, di collegamenti navali ed industriale come forza motrice.

Circa 500 anni fa Morandi nel *De Bononiae landibus oratio* scriveva "Nessuna città ha guadagnato e guadagna tanto dal corso naturale di un fiume, quanto Bologna dal corso artificiale di un canale". La vocazione di Bologna ad essere città di canali e d'acqua risale a circa mille anni fa.

Fu realizzata nel 1176 una derivazione dal torrente Savena destinata ad alimentare il fossato difensivo della cinta muraria ed alcuni opifici.

Le prime opere di canalizzazione lungo il fiume Reno all'altezza dell'abitato di Casalecchio furono invece eseguite probabilmente nel 1191 da privati detti Ramisani per far muovere le ruote idrauliche dei mulini da grano.

Il 29 maggio 1208 il Comune acquista dai Ramisani il diritto di usare una parte dell'acqua per alimentare il canale Navile che congiungeva Bologna al Po e all'Adriatico attraverso il canale di Reno costruito a partire da un precedente sbarramento costituente la chiusa di Casalecchio.

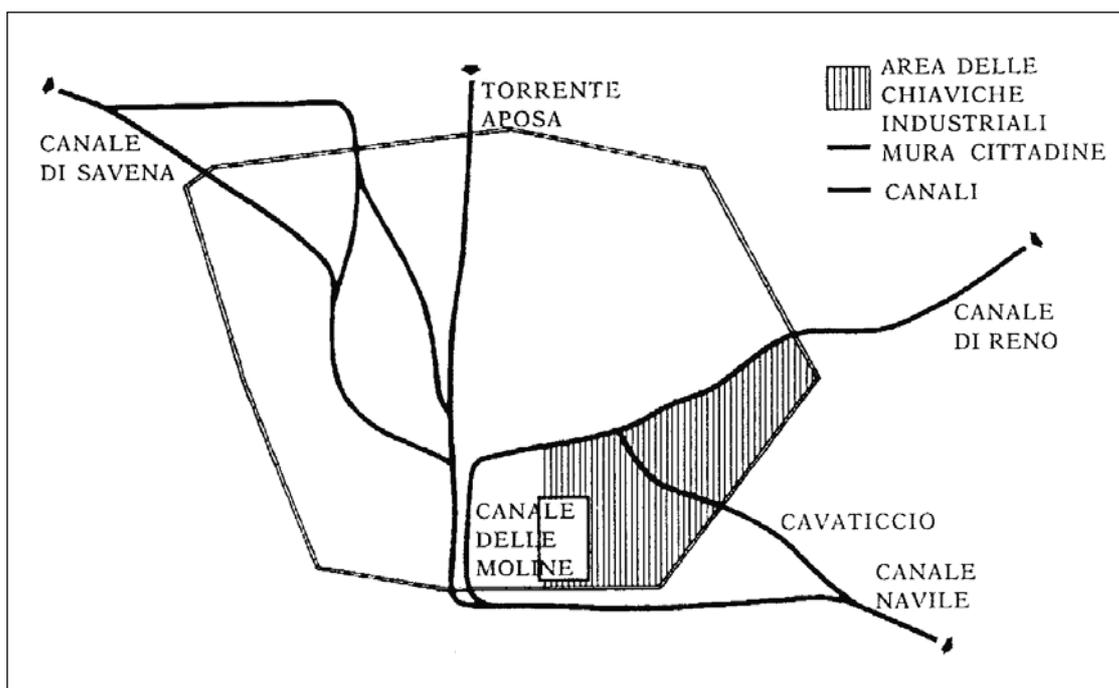


Figura 6.17 - Sistema idraulico dell'area urbana di Bologna nel sec. XVI-XIX (da *Bologna d'acqua*, 1994)

Il canale di Reno all'altezza del paraporto Cavadizzo, lasciava sulla sinistra un grosso ramo detto "canale Cavadizzo" (Fig. 6.17). Poi, per il rimanente di Via Riva di Reno, per Via Falegnami e via Repubblica, piegando ad angolo retto a sinistra, fino alle mura fra Porta Mascarella e Porta Galliera prendeva il nome di canale delle Moline (Fig. 6.19). Dal paraporto Cavadizzo all'uscita della vecchia cinta con un percorso di m. 1198, piegando nuovamente a sinistra ad angolo retto per m. 1353, riceveva l'Aposa, giungeva alla Bova con il nome di Canalaccio e poi, riunitosi al Cavadizzo, si dirigeva verso nord in piena campagna con il nome di canale Navile, che si spingeva poi fino a Malalbergo per



immettersi in un ramo del Po Grande, verso Venezia e l'Adriatico (Fig. 6.18). Prima di percorrere tutto questo tortuoso itinerario, all'altezza dell'edificio denominato la "Sega dell'acqua" dov'era l'ufficio regolatore del canale, si infilava in un corso profondo circa 14 metri, chiamato il Cavaticcio, dando origine al porto Navile.

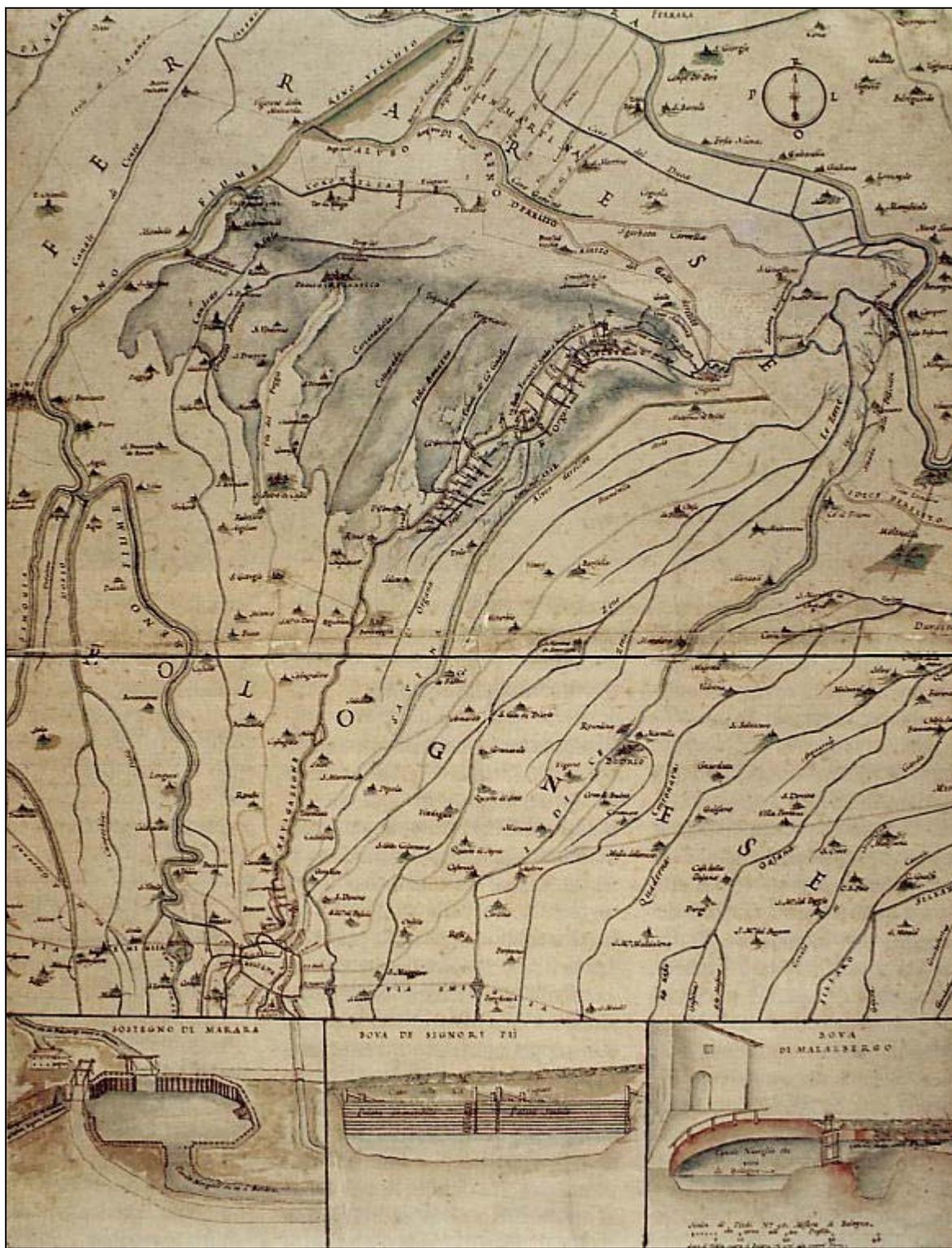


Figura 6.18 – Pianta tra Bologna e Ferrara con il disegno di tre sostegni nella parte inferiore (sec. XVI-XVIII)

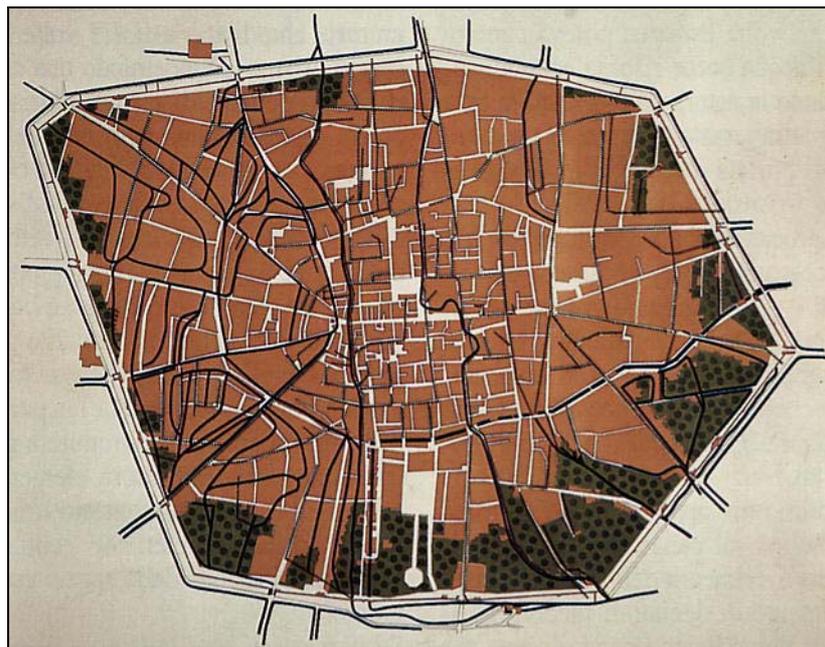


Figura 6.19 - Pianta idrografica della città (da Bologna d'acqua, 1994)

L'evento fu di notevole importanza economica perché se da un lato consentiva un collegamento commerciale verso Ferrara, la laguna veneta, il mare Adriatico, e i collegamenti con l'Oriente dall'altro forniva l'energia idraulica necessaria per lo sviluppo di attività artigianali-industriali.

Nel tratto del canale all'interno dell'ultima cerchia di mura, dove esso prendeva il nome di «Cavadizzo», venne realizzato nella seconda metà del XVI secolo, quindi relativamente tardi rispetto alla storia della navigazione bolognese, uno dei punti focali della struttura idrica della città: il porto cittadino, con costruzione di «sostegni», manufatti atti a superare il forte dislivello che il canale superava nel tratto subito a nord della città (Foto 6.7).



Foto 6.7 – Veduta aerea del sosteano Battiferro

Nel XIV secolo viene costruita la chiusa, restaurata poi nel 1567 per ordine di papa Pio V Ghisilieri che dispose inoltre che gli oneri di manutenzione gravassero su coloro che traevano vantaggio dalle acque o dai canali. Nasce in quel momento (anche se con altro nome) il Consorzio della Chiusa di Casalecchio che ha mantenuto in efficienza nel corso dei secoli il reticolo dei canali e condotti.

E' a tale combinazione di fattori che Bologna deve la sua fortuna economica nei secoli XVI-XVII, quanto poté fregiarsi del titolo di capitale europea della seta. L'acqua del Canale di Reno alimentava gli opifici, e le



strade adiacenti il canale erano ricche di filande da seta, mulini da grano, cartiere, ecc. Lungo il canale Navile si incontrano altri edifici industriali, tettoie e fornaci.

Alla fine del 1300 tra gli impianti industriali collegati ai canali artificiali che attraversavano la città si contavano 16 mulini da seta, 21 opifici destinati ad altre industrie (magli, seghe, macine cartiere, e folloni) ed almeno 20 mulini da grano.

Nel Cinquecento erano presenti nell'area urbana ben 400 prese per l'attività molitoria: macine d'amalgazione, laminatoi, torni, molini da grano, pile da riso e mulini da seta, questi ultimi particolarmente importanti grazie alle innovazioni apportate ai tradizionali filatoi.

Alla fine del Seicento si contavano 130 opifici idraulici e 400 ruote idrauliche (Fig. 6.20).



Figura 6.20 – Pianta scenografica di Bologna (1663)

Il cosiddetto «filatoio alla bolognese» ad alto contenuto tecnologico, permettendo di ridurre in gran parte il lavoro manuale, anticipò di due secoli il sistema di fabbrica.

Bologna, città della seta, entrò in concorrenza persino con Lione, sino alla fine del XVIII secolo, quando le trasformazioni sociali ed economiche avviarono la decadenza di questa industria, ed ai tradizionali mulini da seta si sostituirono attività industriali legate all'attività di trasformazione dei prodotti agricoli che consacrarono Bologna nell'ottocento come capitale di un'area agricola.

Contemporaneamente si assiste alla crisi del sistema idraulico cittadino che non svolge più un ruolo portante nella struttura economica bolognese, e i canali assunsero soprattutto la funzione di smaltimento delle acque nere sino alla costruzione dell'attuale rete fognaria nel 1914.

Anche sul fronte della navigazione, i disordini idraulici che si registrarono lungo il corso del fiume PO, gli elevati costi elevati di manutenzione dei canali navigabili e soprattutto la costruzione di nuove strade determinarono un lento abbandono del Navile come via di comunicazione riducendo la sua funzione a canale di irrigazione.



6.8 CENNI SUL RISCHIO IDRAULICO

Per quanto concerne il rischio idraulico si fa riferimento, per il reticolo idrografico maggiore, a quanto elaborato dall'Autorità di bacino del Reno. In particolare si è prodotta una cartografia che rappresenta il mosaico delle aree a rischio di esondazione contenute nei diversi piani stralcio per l'assetto idrogeologico approvati o adottati ed individuate sulla base di specifiche analisi idrauliche, morfologiche e naturalistico-ambientali. Di seguito viene riportato l'elenco delle aree riportate nella tavola 10.

Fiume Reno	Aree ad alta probabilità di inondazione relativamente a piene con tempi di ritorno 25 anni;
	Linea di esondazione per piene con tempi di ritorno 100 anni
	Alveo attivo
Lavino	Aree ad alta probabilità di inondazione relativamente a piene con tempi di ritorno 25 anni;
	Linea di esondazione per piene con tempi di ritorno 200 anni
Torrente Savena	Aree ad alta probabilità di inondazione relativamente a piene con tempi di ritorno 25 anni
	Aree a rischio di inondazione
	Aree di potenziale allagamento
Navile-Savena Abbandonato	Aree di esondazione con tempi di ritorno 100 anni

Per quanto riguarda il reticolo idrografico minore si è eseguita una specifica indagine conoscitiva presso i consorzi di bonifica presenti sul territorio al fine di identificare le situazioni di criticità del sistema di scolo dell'area di alta pianura. Tali situazioni sono individuate in Fig. 6.21.

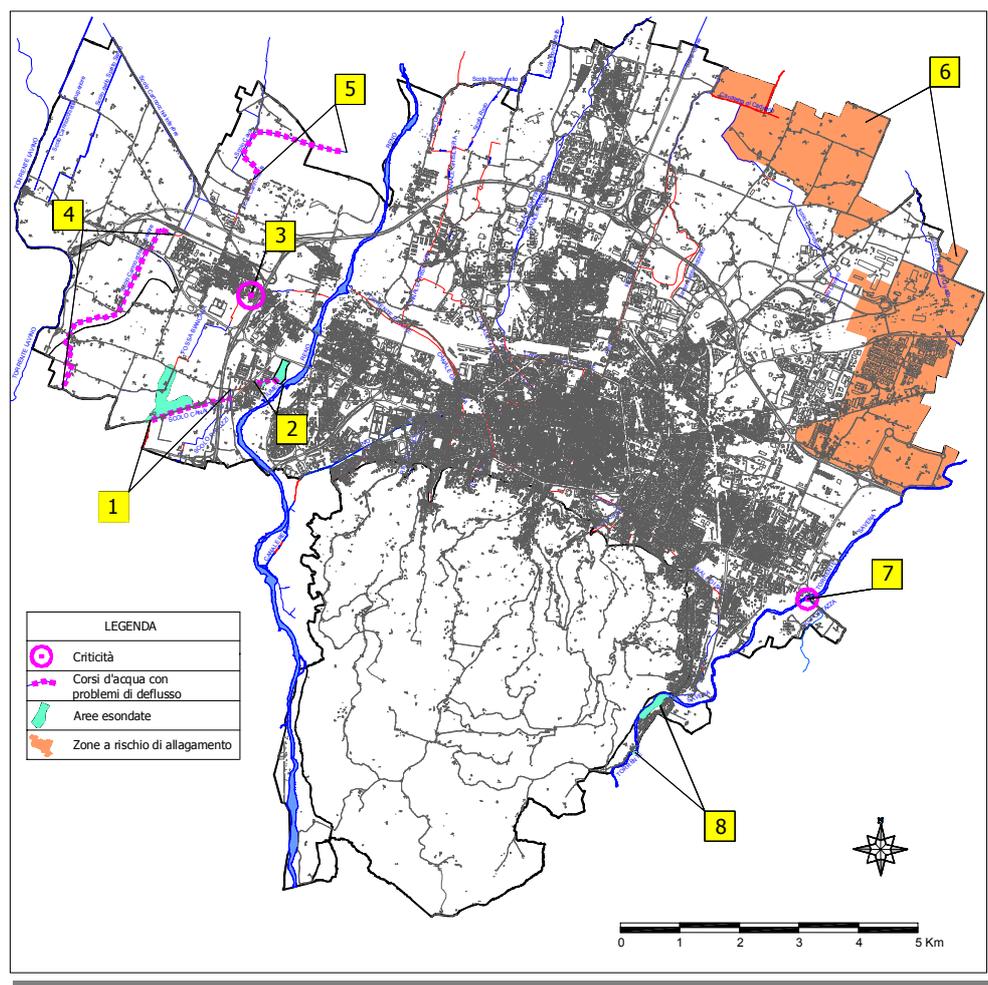


Figura 6.21 – Criticità del sistema di scolo dell'alta pianura.



Per quanto concerne il territorio gestito dal Consorzio di Bonifica Reno-Palata e Bonifica Renana si segnalano i seguenti problemi:

- Zona 1 – Scolo Canalazzo lungo Via Casteldebole. (Fig. 6.22)

Nella zona di Via Casteldebole, immediatamente a monte della località "Morazzo", si verificano, anche in caso di piogge non particolarmente intense, difficoltà di deflusso dello Scolo Canalazzo con ripetute esondazioni che coinvolgono direttamente la sede stradale e gli avvallamenti di cava a Nord e Sud della Via, e che laminando poi verso valle, provoca l'inondazione dei terreni circostanti.

Tale situazione sembra essere determinata dalla crescente urbanizzazione dell'area a monte che ha determinato un eccessivo aumento delle portate di deflusso, non sopportabili dalla sezione attuale dello scolo.

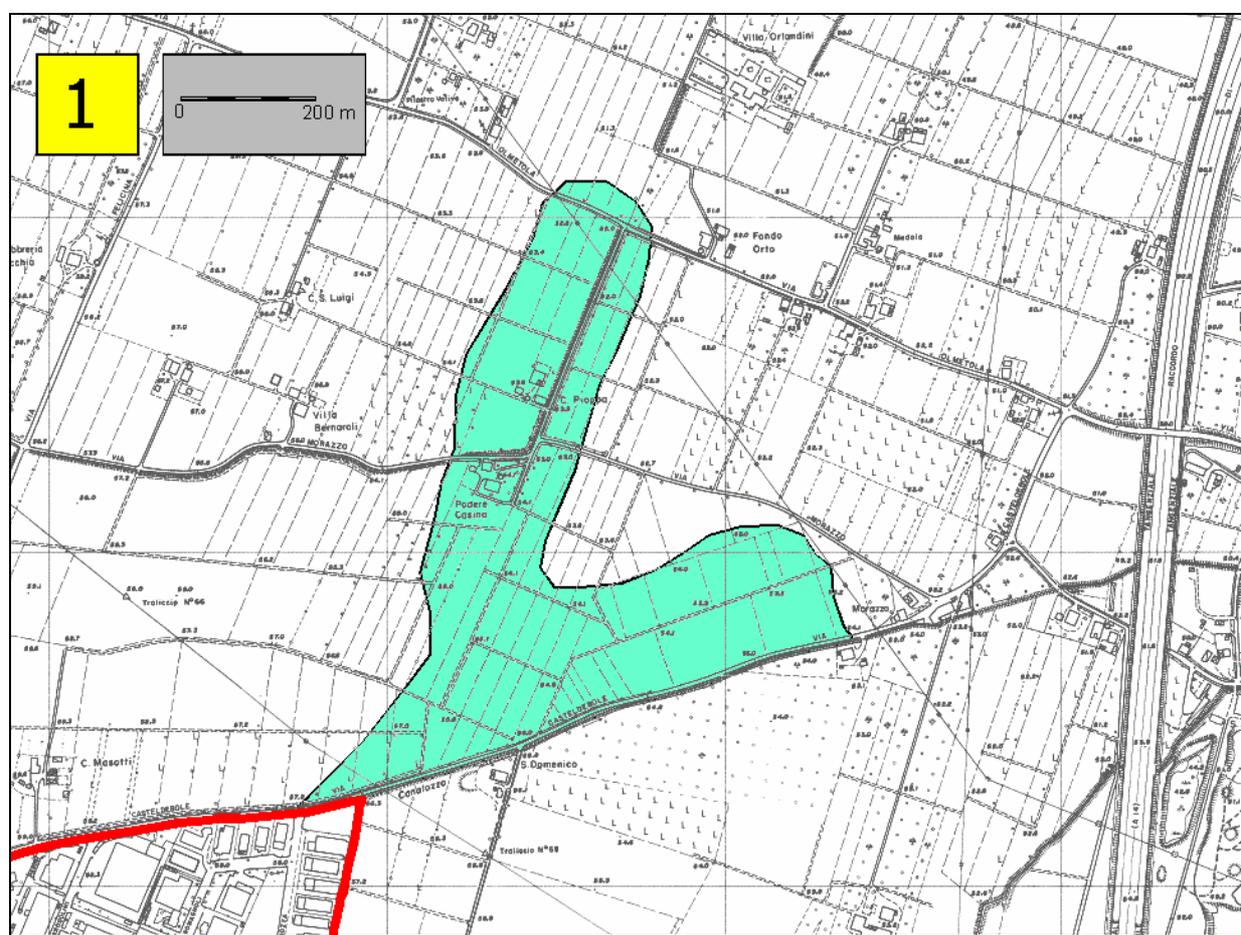


Figura 6.22 – Zona 1 - Scolo Canalazzo

- Zona 2 – Scolo Canalazzo in prossimità di Viale De Gasperi (Fig. 6.23)

Nel tratto scoperto dello scolo Canalazzo sino all'immissione nel Reno si sono verificati negli ultimi anni episodi di esondazione che hanno interessato, in destra, il giardino dei bambù, e immediatamente a valle, in sinistra, un campo di baseball. Da sottolineare inoltre che in tale tratto si registrano accentuati fenomeni erosivi di sponda con franamento degli argini e coinvolgimento diretto



delle zone a parco circostanti. Tali problemi sono da ricollegare alle stesse cause individuate per la zona 1.

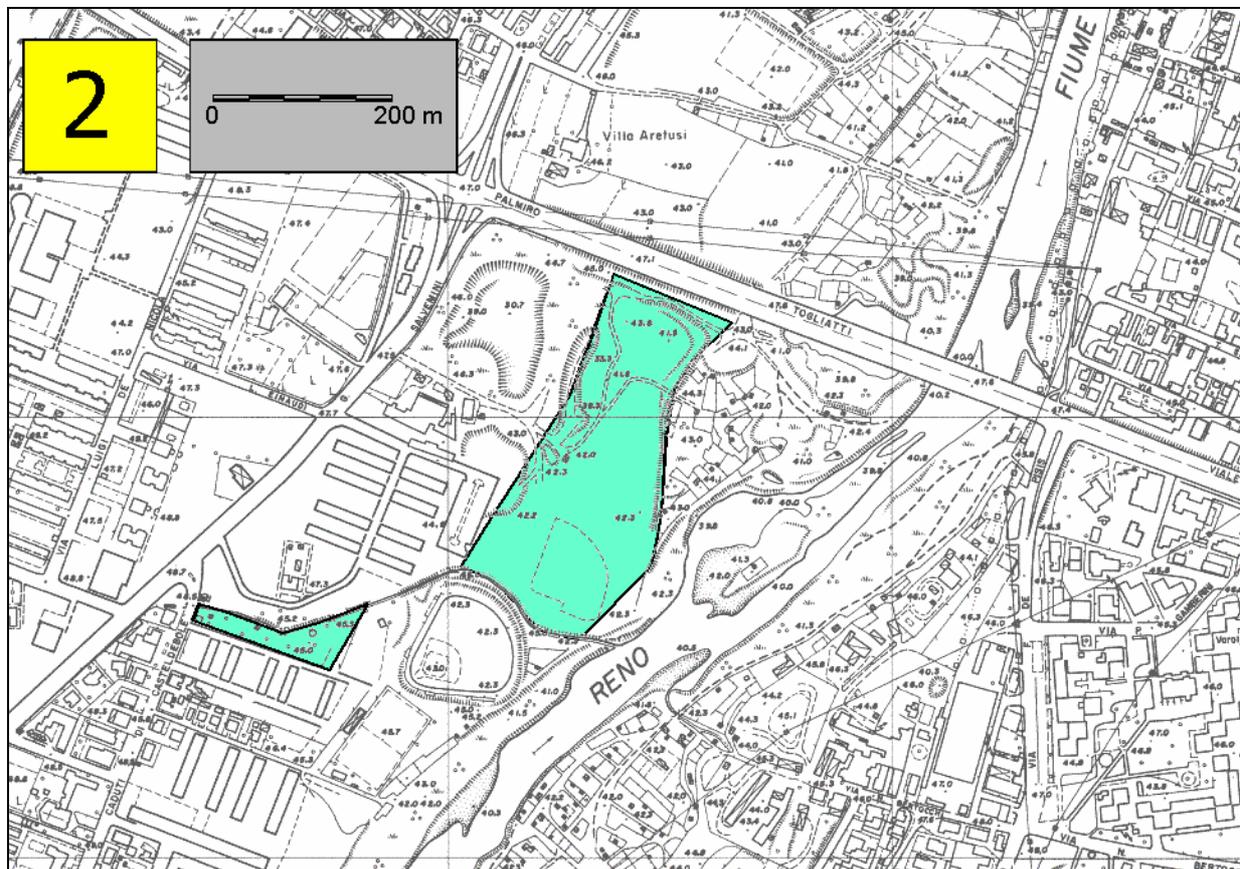


Figura 6.23 – Zona 2 - Scolo Canalazzo

- Zona 3 – Scolo Biancana in prossimità del Cimitero di Borgo Panigale (Fig. 6.24).

Rischi di allagamento si registrano inoltre in prossimità del Cimitero di Borgo Panigale, nel punto in cui lo Scolo Biancana sottopassa, con una "botte a sifone", il viale stesso; infatti, a causa dell'ostruzione accidentale delle griglie che occludono parzialmente (per motivi di sicurezza) la sezione idraulica del manufatto, sono avvenuti in passato fenomeni di esondazione che hanno portato gravi problemi alla viabilità.

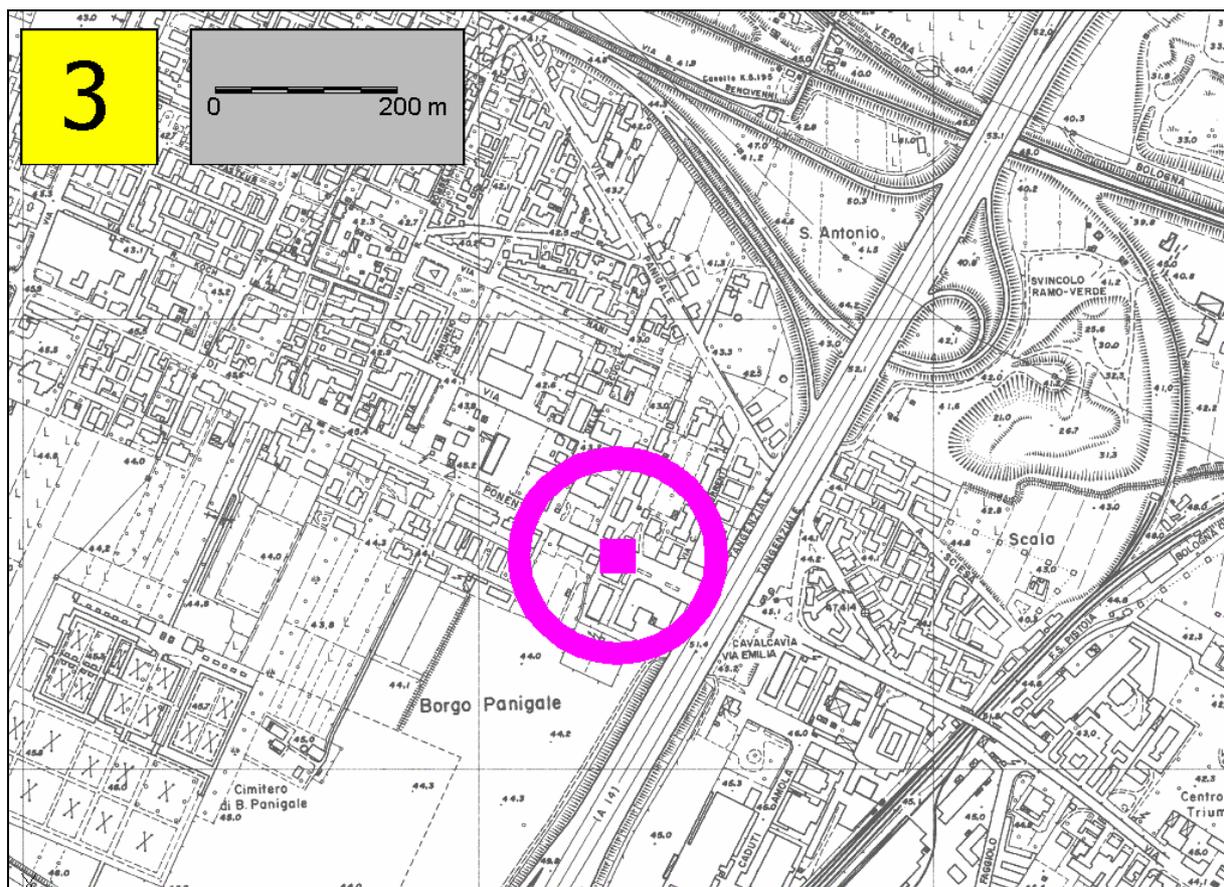


Figura 6.24 – Zona 3 - Scalo Biancana

- Zona 4 – Scalo Cannocchia (Fig. 6.21).

Una zona a rischio idraulico, limitrofa a quella sopra descritta, può essere considerata quella nelle vicinanze delle vie Rigosa-Morazzo-Olmetola; anche in questo caso gli scarichi fognari di zone industriali a monte particolarmente estese, mettono in crisi la rete di scolo superficiale e provocano l'esonazione dello Scolo Cannocchia Superiore dando seguito ad estesi allagamenti del territorio limitrofo.

- Zona 5 – Scolo Cannocchia a nord dell'aeroporto (Fig. 6.21).

Tale scolo non presenta attualmente problematiche idrauliche, ma viene comunque segnalato perché ha presentato in passato difficoltà di deflusso che probabilmente sono da mettere in relazione al fenomeno della subsidenza che ha determinato una diminuzione delle pendenze di fondo e che hanno richiesto interventi di rivestimento dello scolo al fine di aumentarne le capacità di deflusso.

- Zona 6 – Settore nord-orientale del territorio Comunale.

Nella Fig. 6.21 sono individuati due settori che la Bonifica Renana ricomprende tra le zone a rischio di allagamento. La prima tra lo scolo Calamosco ed il confine comunale ha una superficie di circa 3,9 Km², la seconda più estesa (raggiunge i 6,3 Km²) è ricompresa tra il Pilastro a Ovest e la località Villanova a Est, e limitata verso Sud dalla Tangenziale.



Nella fig. 6.20 sono anche riportate due situazioni di rischio idraulico lungo il corso del Torrente Savena, segnalate dall'Autorità di bacino del Fiume Reno. La prima (Zona 7 – Fig. 6.25) ricomprende una zona golenale ubicata immediatamente a monte della rotonda di Via Roma, al confine tra il Comune di Bologna e quello di San Lazzaro, in cui sono presenti due edifici. La seconda riguarda l'ampia area golenale in destra idraulica (Zona 8 – Fig. 6.26) a monte della chiusa di San Ruffillo all'interno della quale ricadono numerose abitazioni e le scuole elementari, e che viene definita nel piano stralcio di Bacino zona ad elevata probabilità di esondazione.

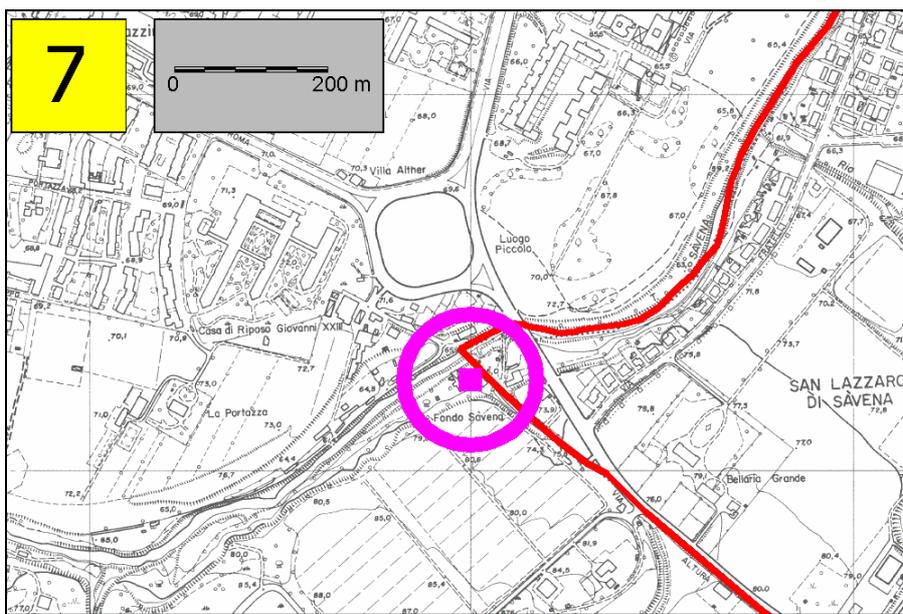


Fig. 6.25 – Zona 7 - Savena

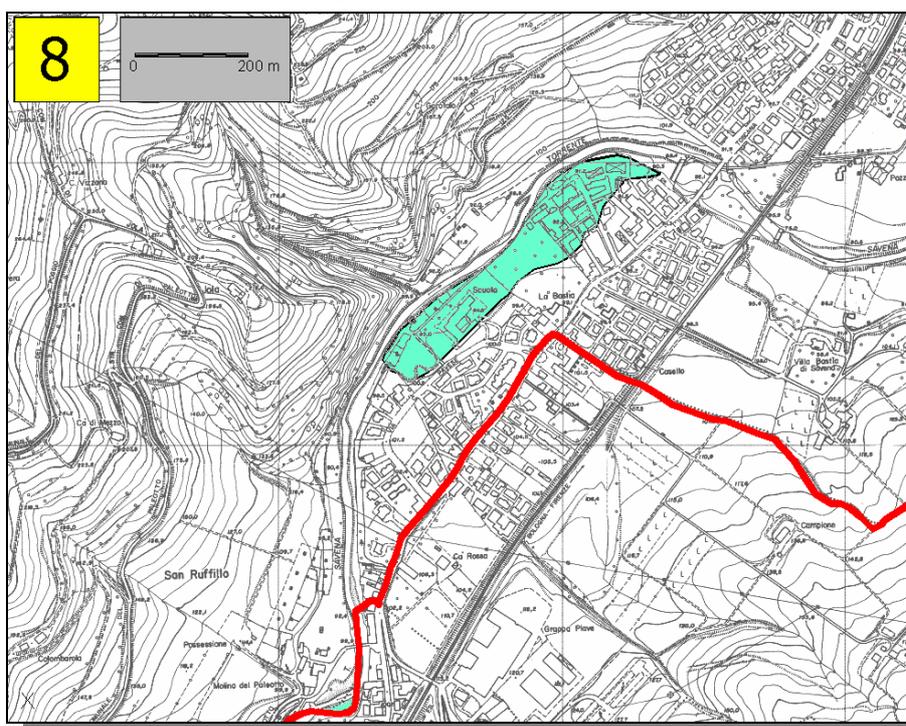


Fig. 6.26 – Zona 8 - Savena



7. ACQUE SOTTERRANEE

7.1 IDROGEOLOGIA

Gli acquiferi nell'area di pianura bolognese assumono un ruolo di primaria importanza nell'ambito della gestione delle risorse idriche sotterranee, alimentando i tre principali centri di approvvigionamento idrico comunale denominati Borgo Panigale, Tiro a Segno e S. Vitale. Tali centri di prelievo, gestiti da SEABO S.p.A., forniscono circa il 47% della risorsa idrica sotterranea necessaria a soddisfare la richiesta di acqua potabile destinata ad un bacino d'utenza costituito da oltre 400.000 persone.

Particolarmente sentita è, pertanto, l'esigenza, da parte degli organismi competenti, di poter disporre di mezzi in grado di garantire un efficace monitoraggio qualitativo e quantitativo della risorsa idrica disponibile. A tale scopo, nel corso degli ultimi decenni, sono stati promossi vari studi che hanno consentito di affrontare problematiche quali ad esempio la definizione della struttura generale degli acquiferi [*Regione Emilia Romagna*, 1998], la caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi più superficiali e le loro relazioni con gli acquiferi profondi [*Farina et al.*, 1997], le caratteristiche di vulnerabilità degli acquiferi [*Acoser*, 1996], l'ampiezza delle zone di cattura dei pozzi di approvvigionamento idrico (Seabo: rapporti interni). Il Comune di Bologna e Seabo S.p.A. sono attualmente impegnati nel progetto denominato *Stochastic Analysis of Well Head Protection and Risk Assessment* (W-SAHARA) finanziato dalla Comunità Europea. Nell'ambito di tale progetto, finalizzato alla analisi di applicazioni di metodologie stocastiche per la perimetrazione della zona di cattura di pozzi idrici, è stata analizzata la struttura geologica ed idrogeologica della conoide del Fiume Reno (Farina et al., 2001).

Gli approfondimenti condotti nell'ambito del citato progetto di ricerca W-Sahara consentono una descrizione dettagliata della struttura geologica della conoide del Fiume Reno. Sono state identificate le seguenti unità idrogeologiche:

- Acquifero A1
- Acquitardo Alfa
- Acquifero A2, A3, A4 (unità acquifere accorpate in una singola unità denominata A234)
- Acquitardo Delta
- Acquifero B
- Acquitardo Epsilon
- Acquifero C

La Figura 7.1 fornisce uno schema di comparazione fra la nomenclatura utilizzata in letteratura nell'ambito della definizione delle unità geologiche riconosciute, cui si è fatto riferimento in precedenza, e la denominazione delle unità idrogeologiche proposta più recentemente [Farina et al., 2001].

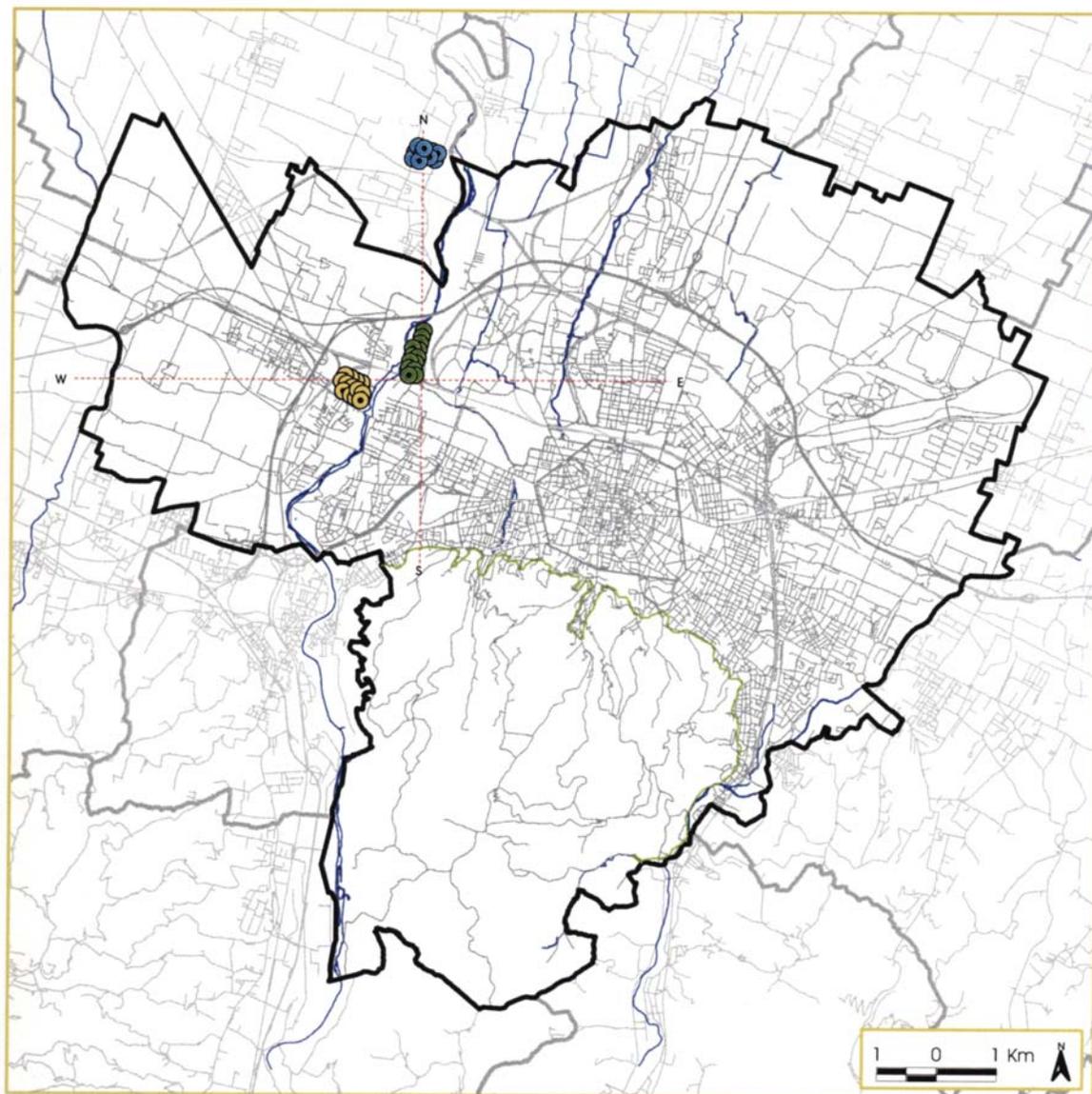


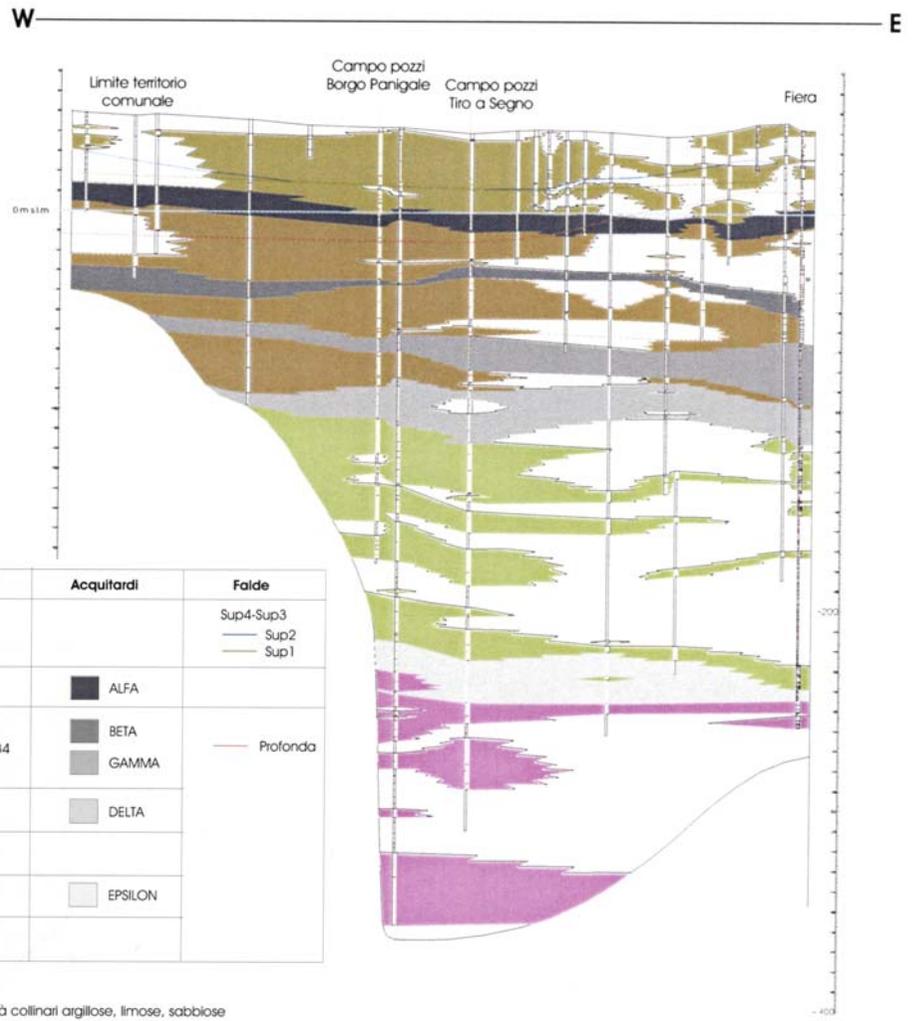
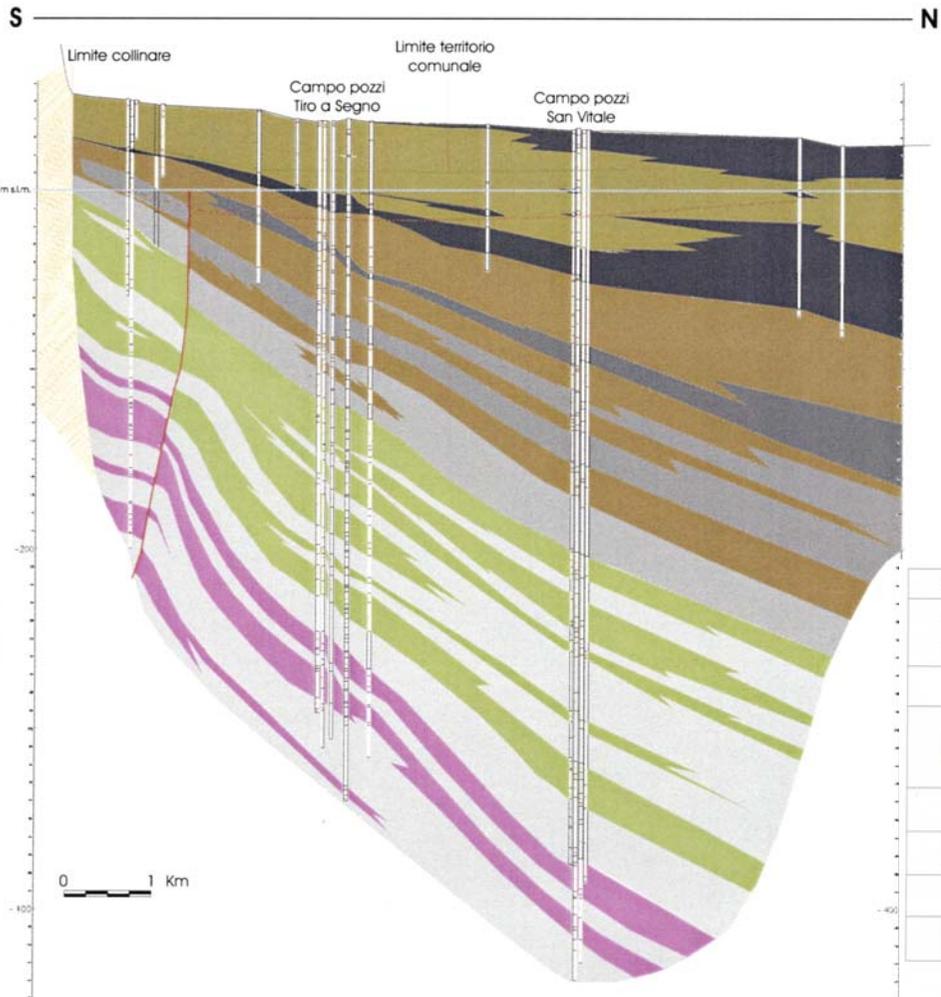
Sistema Acquifero		Acquitardi	Falde	
A	A1	A1c	SUP3-SUP4	
		A1b	SUP2	
		A1a	SUP1	
			Alfa	
	A2			Profondo
	A3			
	A4			
		Delta		
B				
			Epsilon	
C				

Figura 7.1 - Quadro riassuntivo delle unità geologiche ed idrogeologiche riconosciute [da Farina et al. ,2001].

La struttura geologica dell'area in esame è stata definita attraverso l'analisi di sondaggi e stratigrafie di pozzi idrici e tramite la ricostruzione di appropriate sezioni idrogeologiche riportate dall'Atlante Ambientale del Comune di Bologna allegato al 2° rapporto sullo stato dell'ambiente 2002 (Fig. 7.2).

Figura 7.2 – Sezioni geologiche







Vengono di seguito descritte le principali caratteristiche delle unità idrogeologiche identificate.

Acquifero A1

Rappresenta l'acquifero più superficiale. È stato descritto tramite 53 log di sondaggi geognostici e 232 log di pozzi. Di geometria cuneiforme, presenta spessori variabili da 24-28 m in prossimità del margine collinare a 65-70 m nelle zone più distali. Il rapporto $[(gh+sb)/tot]$ fra spessore cumulato delle ghiaie (gh) e lo spessore totale (tot) varia da 0.6 a 0.8 in corrispondenza del conoide del Fiume Reno. Lateralmente ad esso raggiunge rapidamente valori inferiori a 0.2. L'Acquifero A1 ospita un articolato complesso di falde superficiali. L'andamento areale dello spessore di A1 e del rapporto (ghiaie e sabbie)/tot sono riportati in Fig. 7.3 e 7.4 allegata alla fine del paragrafo.

Acquitardo Alfa

Questo acquitardo costituisce un importante elemento di suddivisione all'interno del Gruppo Acquifero A, separando il complesso delle falde superficiali dal complesso delle falde profonde. È caratterizzato da spessori variabili da 1-3 m in corrispondenza delle zone più prossime all'apice di conoide a 8-12 m in corrispondenza dei campi pozzo "Borgo Panigale" e "Tiro a Segno" gestiti da Seabo. Spessori maggiori, pari a 15-20 m, si riscontrano nei settori più settentrionali.

È stato descritto tramite 39 log di sondaggi geognostici e 183 log di pozzi. I depositi che lo costituiscono sono prevalentemente di tipo limoso-argilloso, con locali intercalazioni grossolane.

Il rapporto $[gh+sb]/tot$ fra lo spessore cumulato di ghiaie (gh) e sabbie (sb) sullo spessore totale è generalmente pari a 0-0.2 mostrando, tuttavia, locali picchi superiori a 0.8. L'esistenza di settori di interesse dalla presenza di elevate percentuali di sedimenti a granulometria grossolana e, quindi, ad elevata permeabilità, evidenzia la presenza di discontinuità dell'acquitardo (Guadagnini et al., 2002) e, conseguentemente, la possibilità di comunicazione fra le falde superficiali, localmente interessate da fenomeni di contaminazione, e profonde, utilizzate a scopo idropotabile.

L'andamento areale dello spessore di Alfa e del rapporto $(g+s)/tot$ sono riportati in Fig. 7.5 allegata alla fine del paragrafo.

Acquifero A2+A3+ A4 (A234)

La porzione dell'acquifero A sottostante l'Acquitardo Alfa è costituita dalle sottounità denominate A2, A3 e A4 separate da due acquitardi di rango analogo all'Acquitardo Alfa. Il corpo acquifero è noto in base a 192 pozzi ed a n. 6 sondaggi geognostici. Le conoscenze sono concentrate intorno ai principali centri di pompaggio.

Non consentendo i dati disponibili al momento della analisi una dettagliata descrizione delle singole sottounità, esse sono state accorpate all'interno di una singola Unità geologica, denominata A234 il cui spessore complessivo varia da 40 a 160 m, aumentando in direzione Sud-Nord. Il rapporto $[(g+s)/tot]$ presenta valori pari a 0.8-1 in corrispondenza della conoide alluvionale. L'Acquifero A234 è sede di una falda profonda confinata caratterizzata, come verrà successivamente descritto, da livelli piezometrici differenziati.



Acquitardo Delta

L'Acquitardo Delta si localizza tra gli acquiferi A e B. La geometria di base e tetto dell'orizzonte acquitardo è stata determinata sulla base di 105 dati log.

Lo spessore è compreso tra 20 e 25 m (23 in corrispondenza dei campi pozzo "Borgo Panigale" e "Tiro a Segno"). I depositi sono prevalentemente limoso-argillosi, con locali intercalazioni grossolane.

Il rapporto $[(gh+sb)/tot]$ è generalmente pari a 0-0.15.

Acquifero B

È stato descritto tramite 2 log di sondaggi geognostici e 73 log di pozzi. Le conoscenze sono concentrate quasi esclusivamente intorno ai principali centri di pompaggio. Lo spessore complessivo varia da 15 a 150 m, aumentando in direzione Nord.

Una sensibile riduzione dello spessore totale dell'acquifero (riconosciuta in corrispondenza del centro storico di Bologna) è connessa a motivi di attività tettonica.

Il contenuto in depositi permeabili, calcolati in base al rapporto $[(gh+sb)/tot]$ presenta valori pari a 0.6-0.7. Il gruppo acquifero B è sede di una falda profonda confinata.

Acquitardo Epsilon

L'Acquitardo Epsilon separa gli acquiferi B e C. Nell'ambito dell'area in esame lo spessore varia da 15 a 25 m. È stato descritto tramite 74 log di pozzi, localizzati principalmente in corrispondenza dei centri di prelievo Seabo. I depositi che lo costituiscono sono essenzialmente siltoso-argillosi, con locali intercalazioni di sedimenti a granulometria grossolana. Il rapporto

Il rapporto $[(gh+sb)/tot]$ è generalmente pari a 0-0.2.

Acquifero C

La scarsità dei dati attualmente disponibili (72 log) non consentono una dettagliata descrizione dell'Acquifero C, sede di un acquifero profondo confinato.

I rilievi piezometrici eseguiti confermano l'esistenza di un acquifero multifalda costituito da un complesso di falde superficiali ed un complesso di falde profonde [Farina et al.,2001a]. Tale articolazione si sviluppa ulteriormente all'interno delle falde superficiali, localizzate nell'ambito dei primi 30-40 metri di profondità.

La differenziazione dei livelli piezometrici relativi alle diverse falde riconosciute è documentata, ad esempio, in corrispondenza della stazione di monitoraggio "Fiera" il cui andamento è illustrato nel grafico riportato in Fig. 7.6. I dati disponibili consentono di rilevare l'esistenza di andamenti piezometrici sostanzialmente simili tra i 70 e i 160 m di profondità. In corrispondenza di profondità inferiori o superiori, ovvero in riferimento a falde ospitate all'interno degli acquiferi B ed A1, si riscontrano livelli piezometrici nettamente diversi, con soggiacenza più prossima al piano campagna (A1) o più profonda (Ciclo B).



Vengono di seguito descritte le principali caratteristiche delle unità idrogeologiche profonde e superficiali e delle falde in esse contenute.

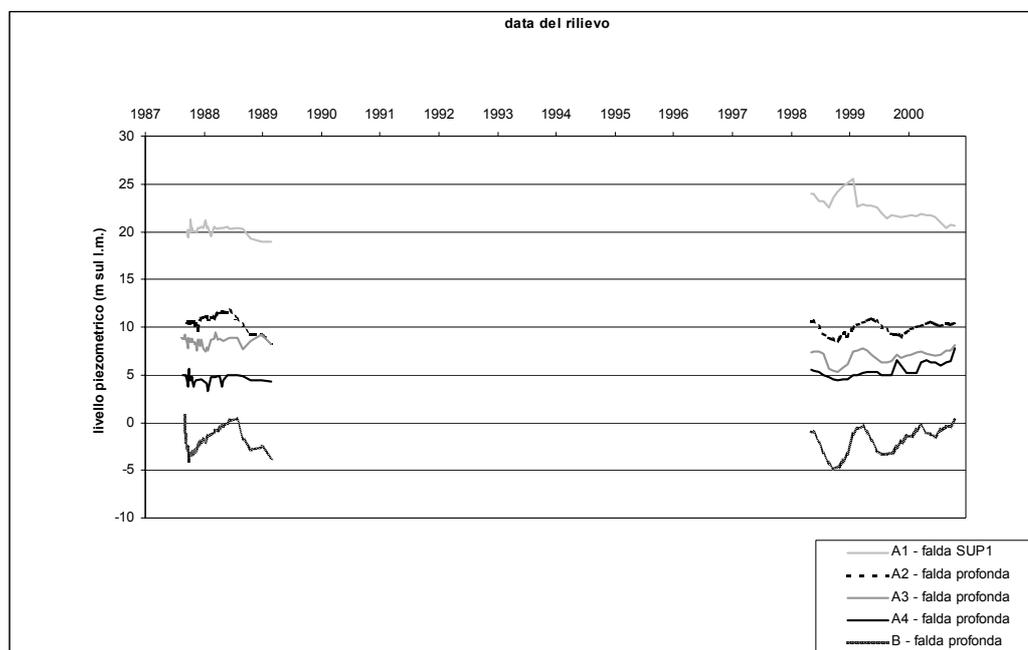


Figura 7.6 - evoluzione piezometrica delle falde profonde (unità geologiche A234 e B) e della falda superficiale SUP1

7.1.1 UNITÀ IDROGEOLOGICHE PROFONDE

Le caratteristiche idrodinamiche ed idrochimiche delle falde profonde sono note attraverso gli studi condotti da Idroser e Arpa nel corso dell'ultimo ventennio.

Tali falde si collocano all'interno di acquiferi posti a profondità comprese tra 50-60 metri e 300-400 metri, corrispondenti alle unità stratigrafiche dei Cicli B e C e della porzione inferiore del Ciclo A. I corpi acquiferi sono caratterizzati da intercalazioni pelitiche che portano ad una elevata anisotropia della permeabilità. A profondità ulteriori è presente l'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra [Agip, 1972]; l'acqua presente a tali profondità non è pertanto sfruttabile a fini economici.

La documentazione piezometrica nota da letteratura [Regione Emilia Romagna - Arpa, 1997] evidenzia una profonda depressione nel conoide del Reno, dovuta agli intensi prelievi, che giunge a -55 m dal piano campagna.

L'evoluzione piezometrica temporale permette di osservare un continuo e progressivo abbassamento della falda, con medie di oltre 2 m/anno [Artioli e Baldini, 1997]. L'area bolognese, ubicata su uno dei più antichi centri di emungimento (campi pozzi di Borgo Panigale e Tiro a Segno), ha visto stabilizzarsi le quote piezometriche su livelli dinamici assai depressi, intorno alla metà degli anni '80 anche a seguito della diminuzione dei volumi sollevati. La Figura 7.7 mostra l'andamento temporale delle soggiacenze della falda profonda in corrispondenza dei centri di emungimento collocati nell'ambito della conoide del Fiume Reno.

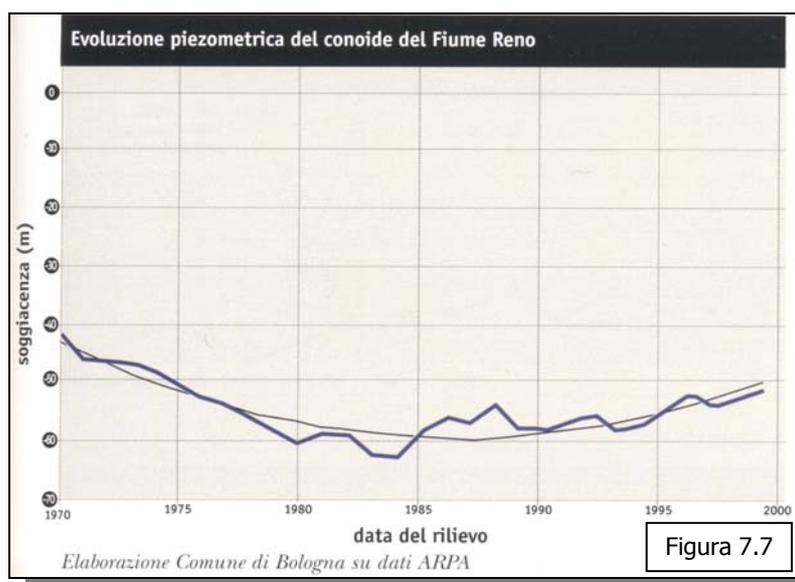


Il richiamo causato dall'emungimento dei pozzi profondi si trasmette anche negli acquiferi più superficiali. Fenomeni di drenanza sono osservabili fino a circa 200 metri di profondità, pur verificandosi con particolare evidenza tra il piano campagna e i 70 metri di profondità [Artioli e Baldini, 1997] dove la differenza tra le quote piezometriche dei diversi acquiferi è pari a circa 20-30 m.

La Fig. 7.14 riportata al termine del paragrafo mostra l'andamento della superficie piezometrica della falda profonda.

La morfologia della superficie piezometrica risulta interessata da una marcata depressione localizzata all'interno del conoide del F. Reno. I valori di soggiacenza raggiungono, in queste zone, valori pari a -55 m dal piano campagna. Tale situazione è determinata dall'azione di richiamo esercitata dai prelievi effettuati in corrispondenza dei centri di emungimento di Borgo Panigale e Tiro a Segno.

Le analisi eseguite sull'evoluzione piezometrica nella conoide del Fiume Reno negli ultimi 30 anni riportate in Fig. 7.7, indicano come sino al 1985 si assista ad un progressivo abbassamento della falda, con medie di 1-2 m/anno, mentre successivamente le quote piezometriche sembrano stabilizzarsi e mostrano segnali di risalita.



Per quanto concerne il conoide del Savena l'andamento della soggiacenza di un pozzo che capta direttamente la falda profonda (Fig. 7.8) evidenzia come l'abbassamento progressivo abbia raggiunto valori minimi negli anni '90, con valori massimi di circa 15 metri, mentre attualmente i livelli tendono a stabilizzarsi su valori comunque molto depressi.



7.1.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE SUPERFICIALI

La struttura delle unità superficiali, contraddistinta come precedentemente descritto, dall'alternanza verticale di corpi a granulometria grossolana e fine, rappresenta una condizione favorevole per l'individuarsi di un acquifero multifalda.

All'interno dell'Unità A1 (o UBP4) sono stati riconosciuti tre corpi ghiaioso-sabbiosi, denominati A1a, A1b, A1c [Farina et al., 1998]. Si tratta di corpi acquiferi parzialmente saturi, localmente in pressione, totalmente insaturi in corrispondenza di specifiche localizzazioni.

Le falde in essi contenute sono denominate, dalla più profonda alla più superficiale, SUP1, SUP2 e SUP3, e sono ospitate all'interno dei corpi acquiferi A1a A1b e A1c rispettivamente. Un'ulteriore falda, denominata SUP4, è contenuta nei depositi sabbioso fini – siltoso – argillosi localizzati in corrispondenza dei depositi più superficiali. In quest'ultimo caso non è chiaramente riconoscibile un corpo acquifero permeabile, delimitato da intervalli a bassa permeabilità. L'acquifero appare infatti costituito da corpi semipermeabili difficilmente circoscrivibili.

Viene di seguito fornita una descrizione dei principali lineamenti caratterizzanti il complesso delle falde superficiali.

Unità SUP1 – corpo acquifero: Ciclo A1a

L'unità denominata SUP1 (allegato 9) è contenuta all'interno del corpo acquifero A1a ghiaioso-sabbioso, situato a profondità variabile fra 25 e 55 metri e caratterizzato da spessori superiori a 15 m in corrispondenza delle parti depocentrali della conoide del Fiume Reno.

Il corpo acquifero A1 si sovrappone stratigraficamente all'orizzonte acquitardo Alfa [Farina et al., 2001b]. Come precedentemente descritto, l'acquitardo Alfa è costituito da depositi a granulometria prevalentemente fine il cui spessore medio, generalmente pari a circa 7-10 metri, risulta notevolmente ridotto (si riscontrano spessori anche inferiori a 1 m) e localmente assente nelle posizioni apicali.



La Fig. 7.9 riportata al termine del paragrafo mostra il complesso andamento della superficie piezometrica ricostruita per la falda SUP1.

La morfologia della superficie piezometrica consente di individuare un settore interessato da linee di flusso divergenti localizzato in corrispondenza di depositi a valori di conducibilità idraulica limitata correlabili ai corpi acquiferi prevalentemente canalizzati in matrice limoso-argillosa presenti nella zona di interconoide nel cui ambito si colloca il centro storico di Bologna. In corrispondenza di questo settore si viene ad individuare uno spartiacque che separa i due bacini idrogeologici principali riferibili al F. Reno e al T. Savena.

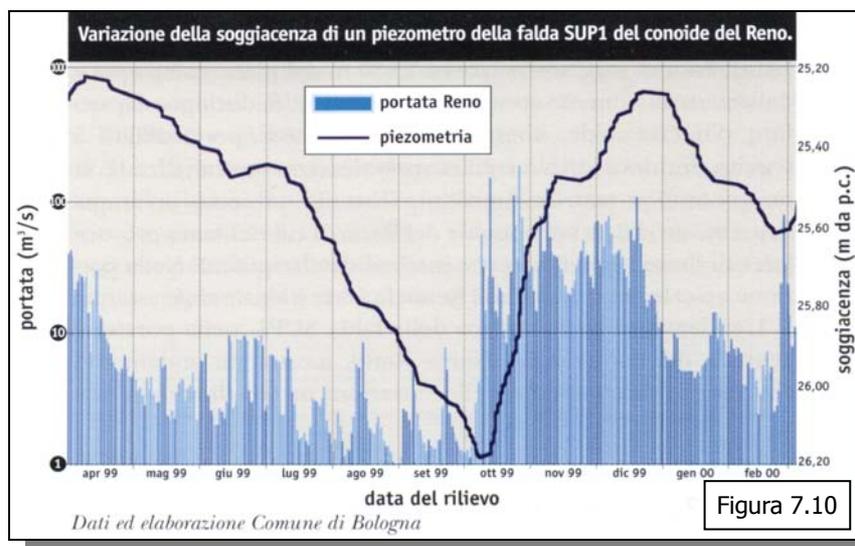
Gli assi di drenaggio corrispondono essenzialmente agli assi depocentrali delle strutture di conoide.

I settori di conoide del F. Reno e del T. Savena risultano presentano condizioni di falda libera individuabili principalmente in posizione apicale e mediana, mentre nelle posizioni distali si rilevano condizioni di falda in pressione.

Il settore di conoide del F. Reno, in particolare, risulta caratterizzato prevalentemente da condizioni di falda libera correlabili alla presenza di spessori superficiali consistenti di depositi a granulometria grossolana.

In conseguenza della situazione sopradescritta, la falda SUP1 riceve localmente alimentazione diretta dalla superficie e dal corso d'acqua. Nella porzione apicale del conoide del F. Reno la falda SUP1 risulta priva di manifestazioni idriche.

Interessante sono i risultati di un indagine eseguita dall'Ufficio Suolo ed attività estrattiva del Comune di Bologna nel 1999-2000 relativamente all'andamento stagionale della soggiacenza in un piezometro ubicato in una posizione centrale della conoide. La Fig. 7.10 mostra come le variazioni della soggiacenza siano direttamente collegate alle portate del F. Reno con un minimo in Ottobre che segue un periodo (Luglio settembre) privo di portate rilevanti.





Unità SUP2 – corpo acquifero: Ciclo A1b

L'unità denominata SUP2 è contenuta all'interno dell'acquifero A1b e risulta stratigraficamente sovrapposta ad un acquitardo di minore importanza stratigrafica rispetto al caso precedentemente esaminato, caratterizzato da minori spessori di materiale grossolano, ridotti spessori di falda e una maggiore estensione areale del corpo grossolano.

Il corpo acquifero A1b è caratterizzato da estesi corpi lenticolari delimitati in prevalenza da depositi fini. La Figura 7.11 riportata in allegato al termine del paragrafo mostra il complesso andamento della superficie piezometrica ricostruita per la falda SUP2.

La struttura della falda SUP2 ripercorre i lineamenti morfologici della falda SUP1 ed è caratterizzata da condizioni di falda libera per buona parte del territorio comunale. Condizioni di falda confinata si riscontrano nella porzione nord-orientale e nel settore di interconoide. In particolare, data l'esiguità degli intervalli costituiti litotipi a granulometria fine, in corrispondenza delle porzioni occidentali, interessate dalla presenza della conoide del F. Reno. In corrispondenza di questo settore il corpo acquifero A1b è privo di manifestazioni idriche; i corpi A1a e A1b risultano saldati insieme e il corpo A1b costituisce l'insaturo della sottostante falda SUP1.

Unità SUP3 e SUP4 – corpo acquifero: Ciclo A1c

Il corpo acquifero A1c costituisce il corpo grossolano più prossimo al piano campagna. Le sue dimensioni sono meno rilevanti rispetto ai corpi A1a e A1b, nonostante la struttura a corpi ghiaiosi coalescenti mantenga una larghezza comunque considerevole e pari anche a 4 – 5 Km.

La falda contenuta all'interno dell'unità descritta (SUP3) presenta solitamente una minore continuità rispetto alla falda sottostante.

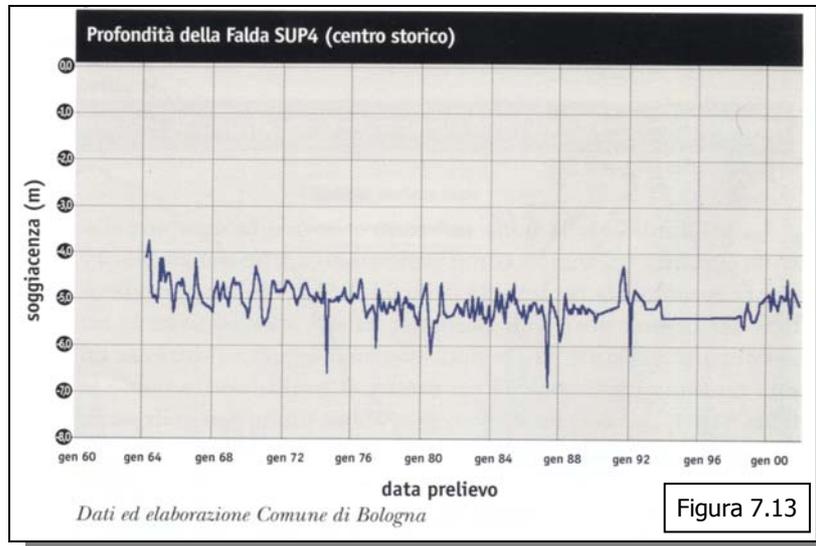
La Fig. 7.12 riportata al termine del paragrafo mostra il complesso andamento della superficie piezometrica ricostruita per la falda SUP4. Si riscontra una totale assenza di falda superficiale all'interno di un ampio settore assiale ai conoidi del F. Reno e del T. Savena, legata alla mancanza di orizzonti a granulometria fine di spessore e continuità sufficienti ad interrompere la continuità dei depositi ghiaiosi superficiali. La situazione descritta si rileva lungo il tracciato del F. Reno in corrispondenza di un settore di larghezza pari a circa 3-4 Km, individuabile da Casalecchio al confine comunale settentrionale. Nell'ambito del conoide del T. Savena tale situazione si riscontra all'interno di un settore ampio circa 3 Km;

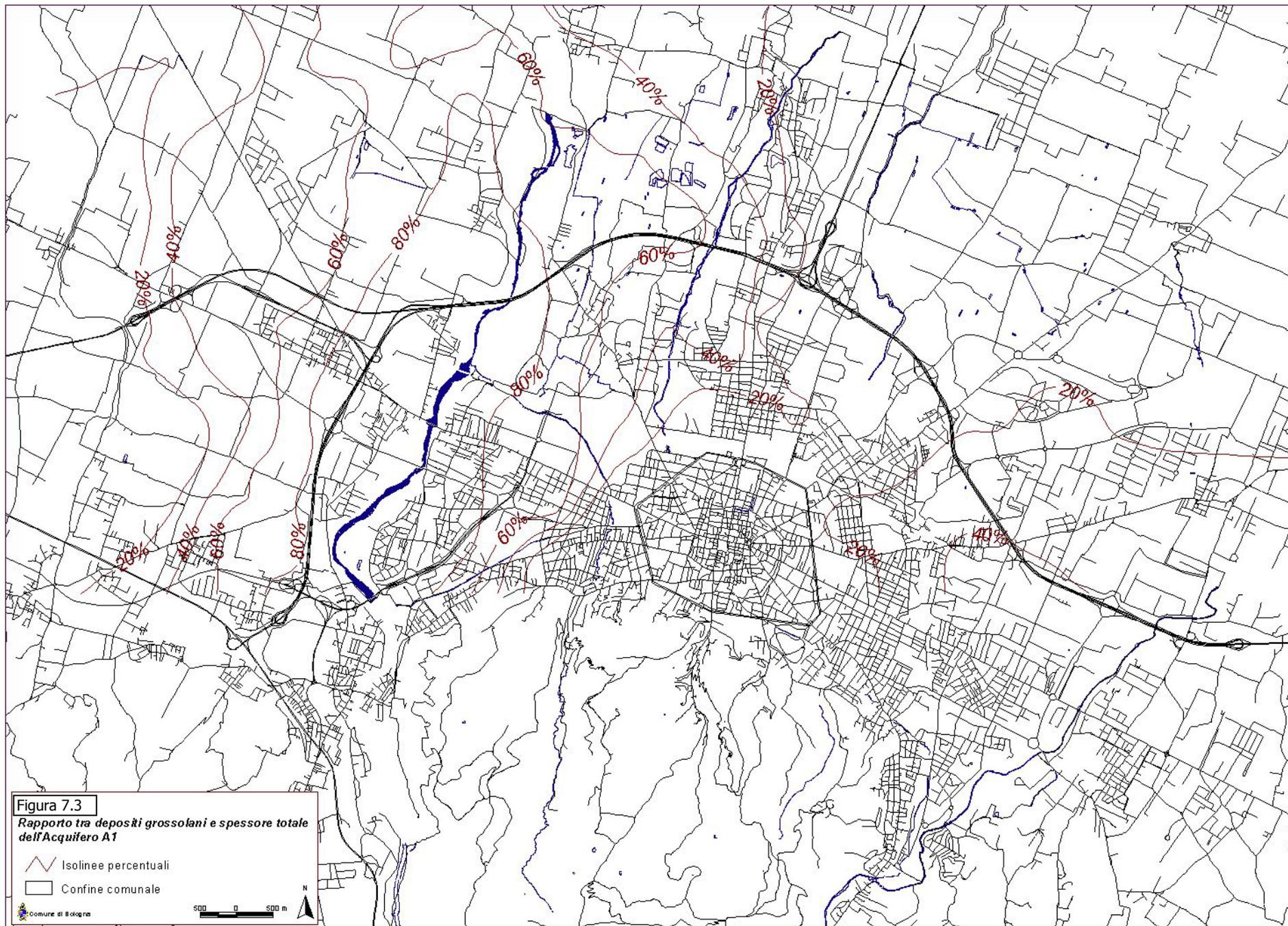
La morfologia della superficie piezometrica della falda SUP4 evidenzia, inoltre, la depressione prodotta dal drenaggio esercitato dal Canale Navile nella parte occidentale del comune fino entro il limite del centro storico. Tale funzione di drenaggio porta a situazioni di depressione allungata nel senso del corso di acqua. E' però plausibile ammettere che tale andamento delle isolinee venga accentuato dai numerosi vuoti di ex cava ivi presenti.

Si osserva, inoltre, l'effetto di ricarica operata dal paleoalveo del Savena che determina la formazione di un possibile spartiacque.



Nel centro storico la soggiacenza della falda SUP4 risulta possedere un andamento costante nel tempo con escursioni massime di circa 1 metro come mostrano i dati rilevati nell'arco di circa 40 anni in un pozzo freatico (Fig. 7.13).





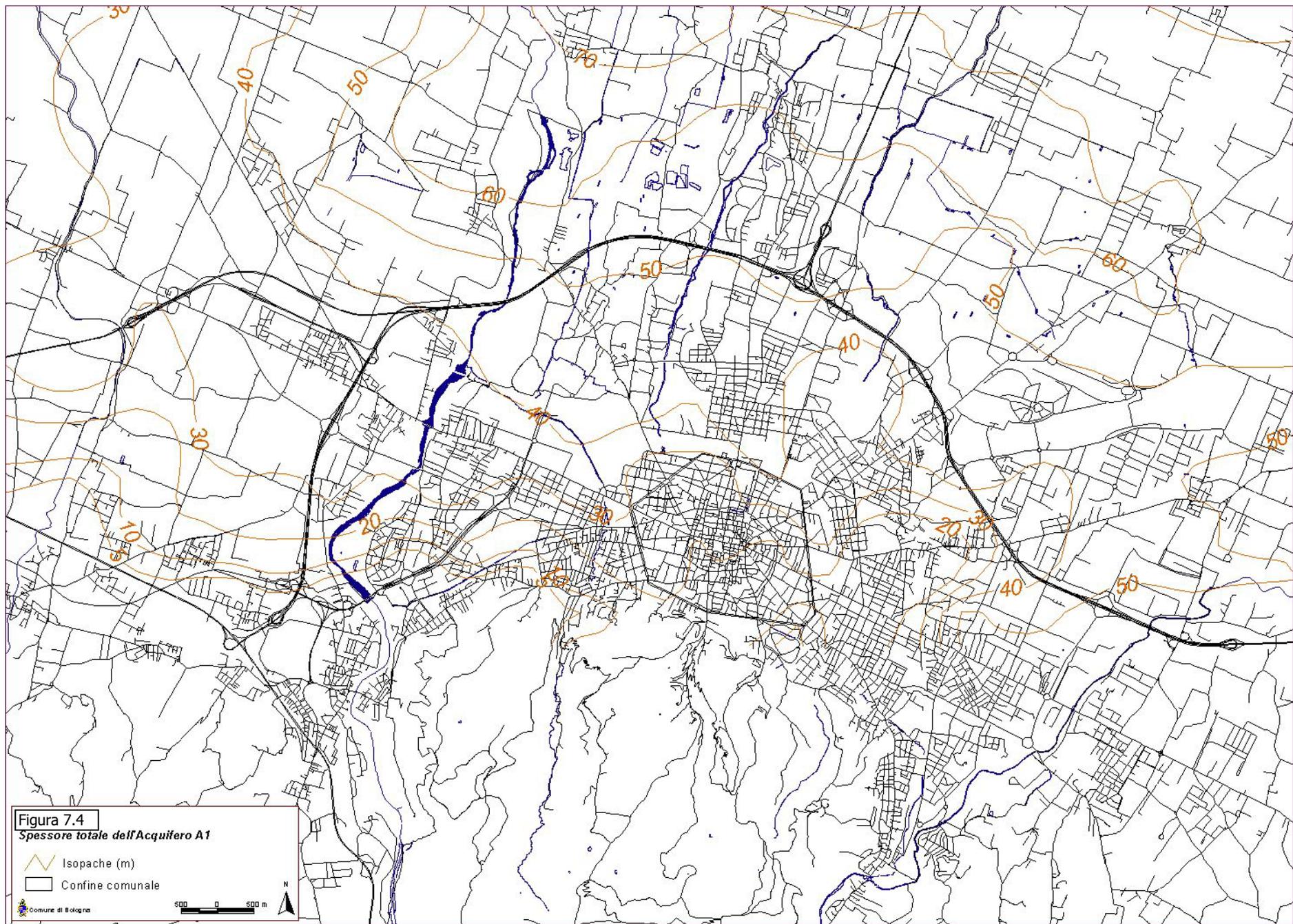


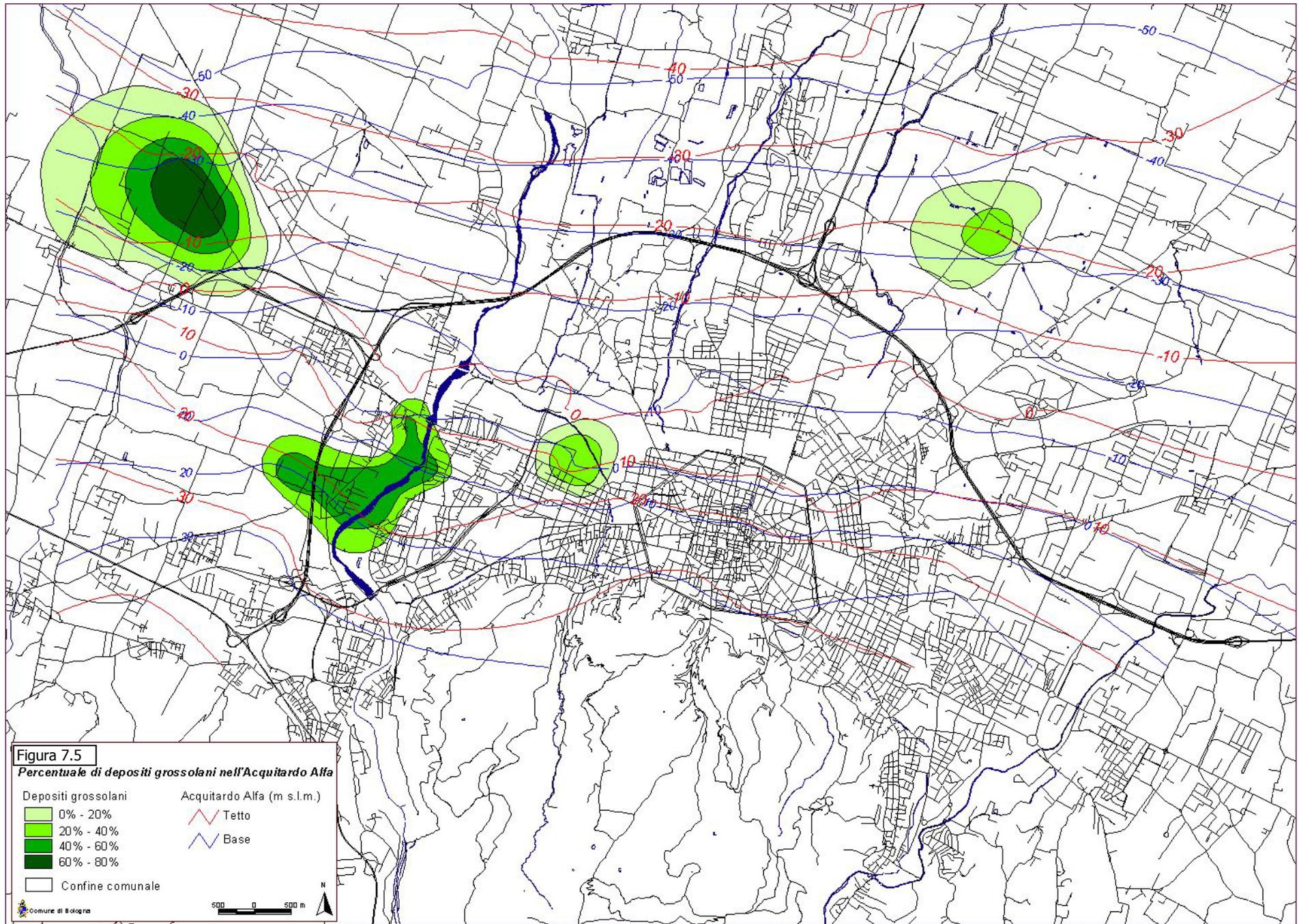
Figura 7.4
Spessore totale dell'Acquifero A1

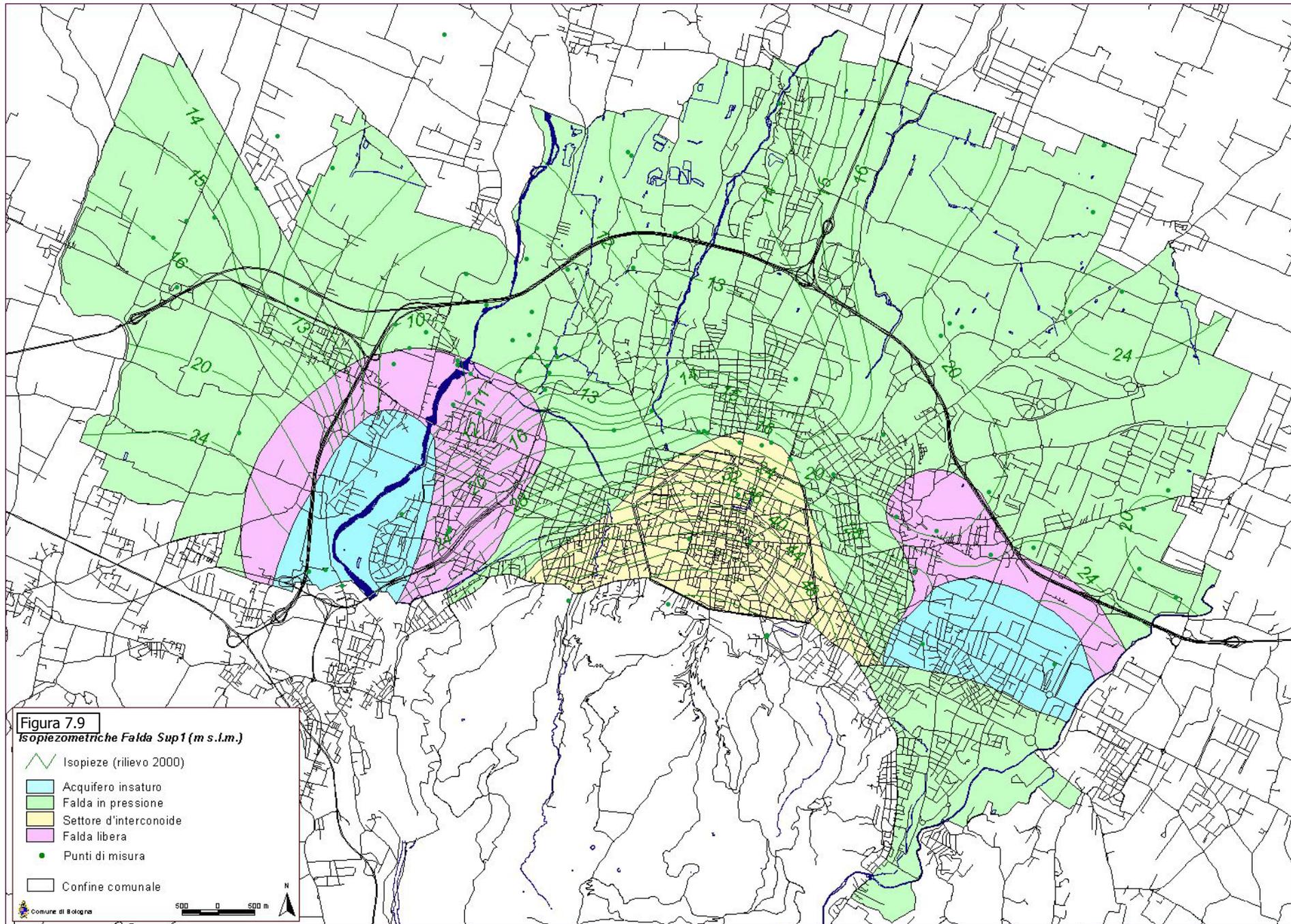
Isopache (m)
Confine comunale

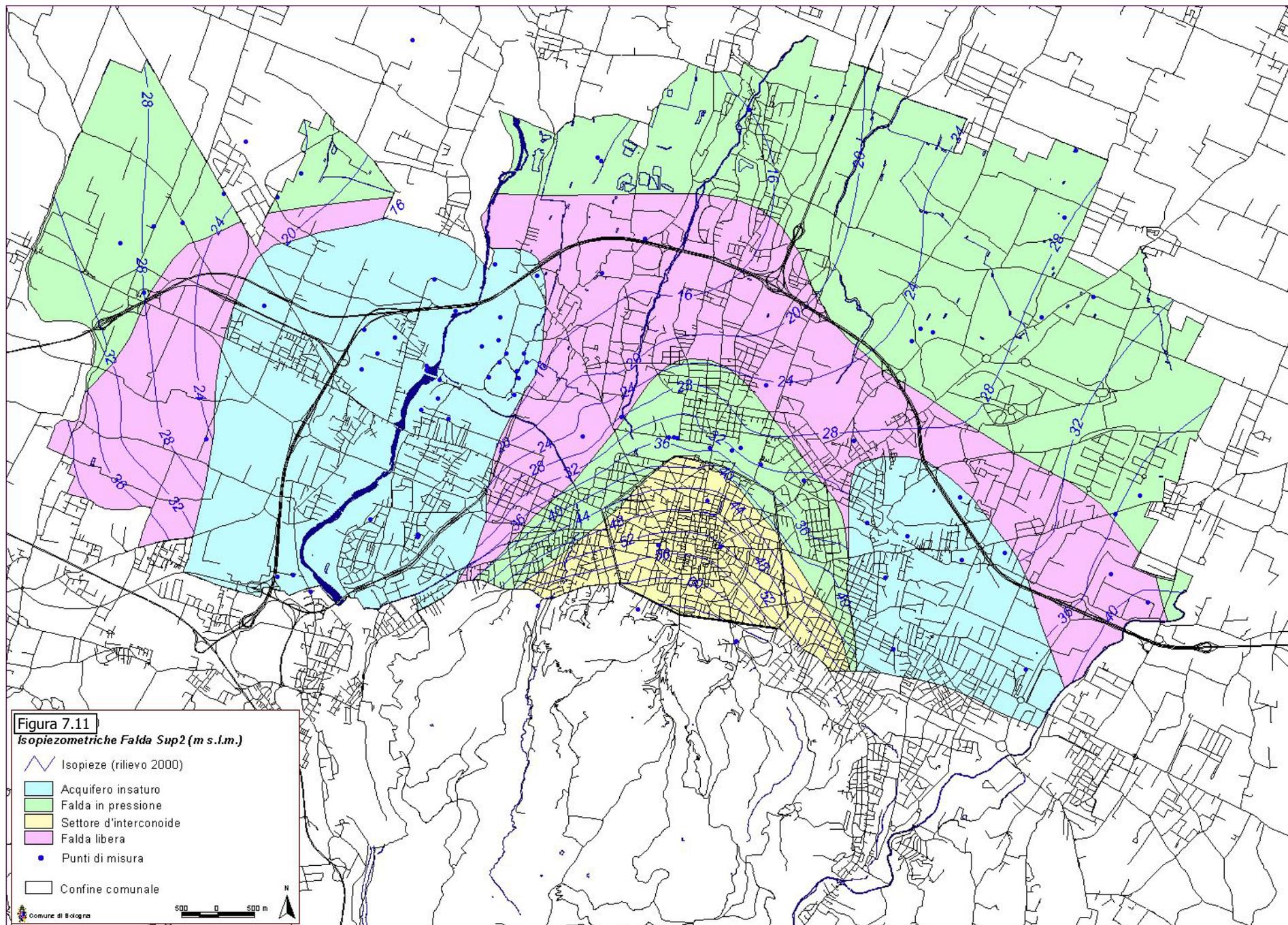
Comune di Bologna

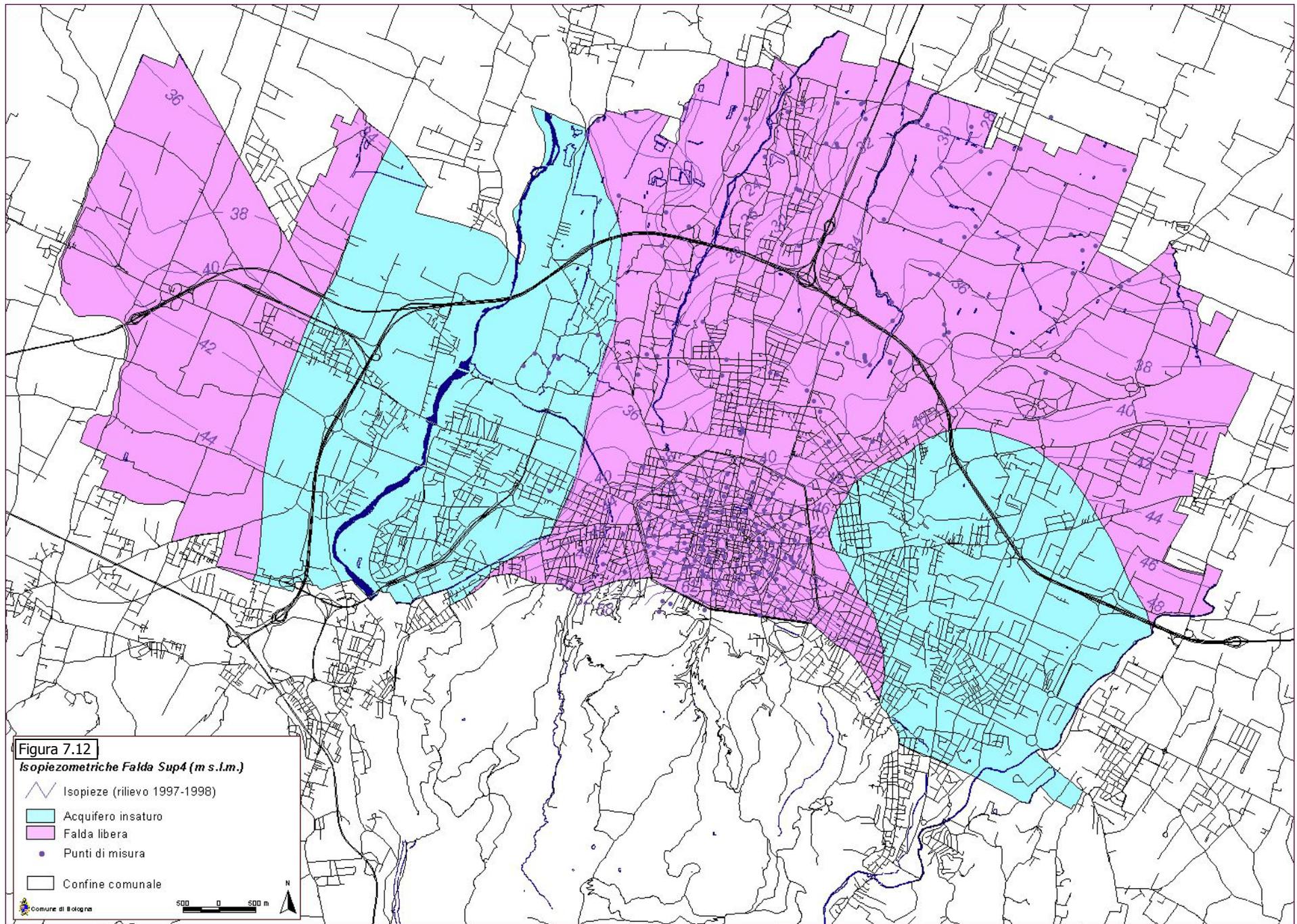
500 0 500 m

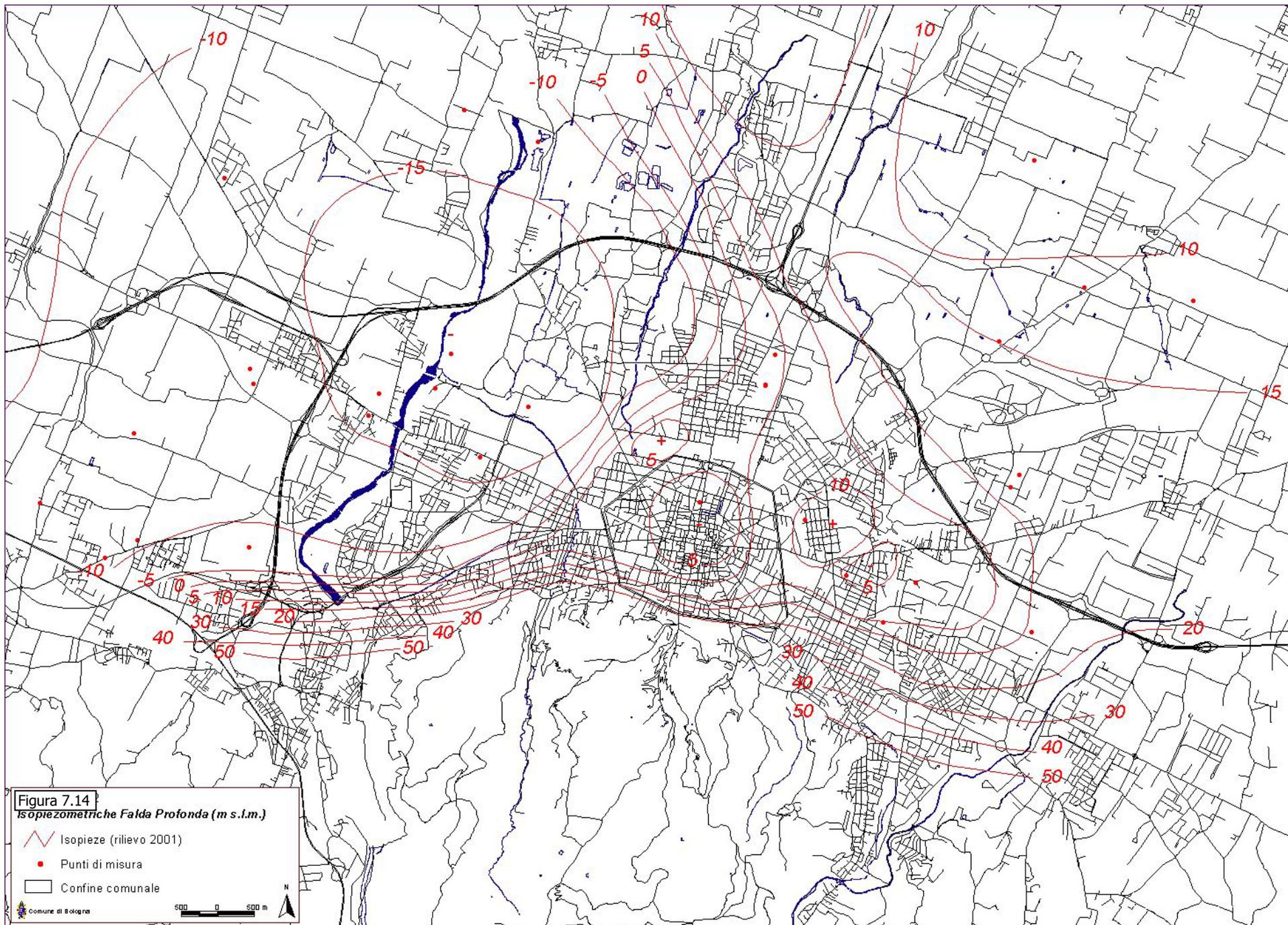














7.2 QUALITA' ACQUE SOTTERRANEE

Nella relazione sullo Stato dell'Ambiente 2002 del Comune di Bologna è stata analizzata la qualità dei corpi idrici sotterranei facendo riferimento ai risultati di numerosi monitoraggi eseguiti sia direttamente dal Comune negli ultimi anni che da ARPA – Regione Emilia-Romagna.

Come indice di qualità dei corpi idrici sotterranei sono stati considerati oltre ai nitrati alcune sostanze considerate di rilevante interesse tra le quali i composti organoalogenati, i metalli pesanti, gli idrocarburi e i composti organici aromatici.

I risultati di indagini eseguite nel 2001 evidenziano come la contaminazione più rilevante deriva dalla presenza di composti organoalogenati (sostanze contenute, per esempio, in solventi clorurati, smacchiatori e vernici) la cui presenza viene riscontrata sia nella falda SUP1 che in quella profonda (Fig. 7.15 e 7.16), e molto probabilmente da imputarsi a rilasci derivanti da lavorazioni industriali probabilmente presenti in aree ad alta vulnerabilità.

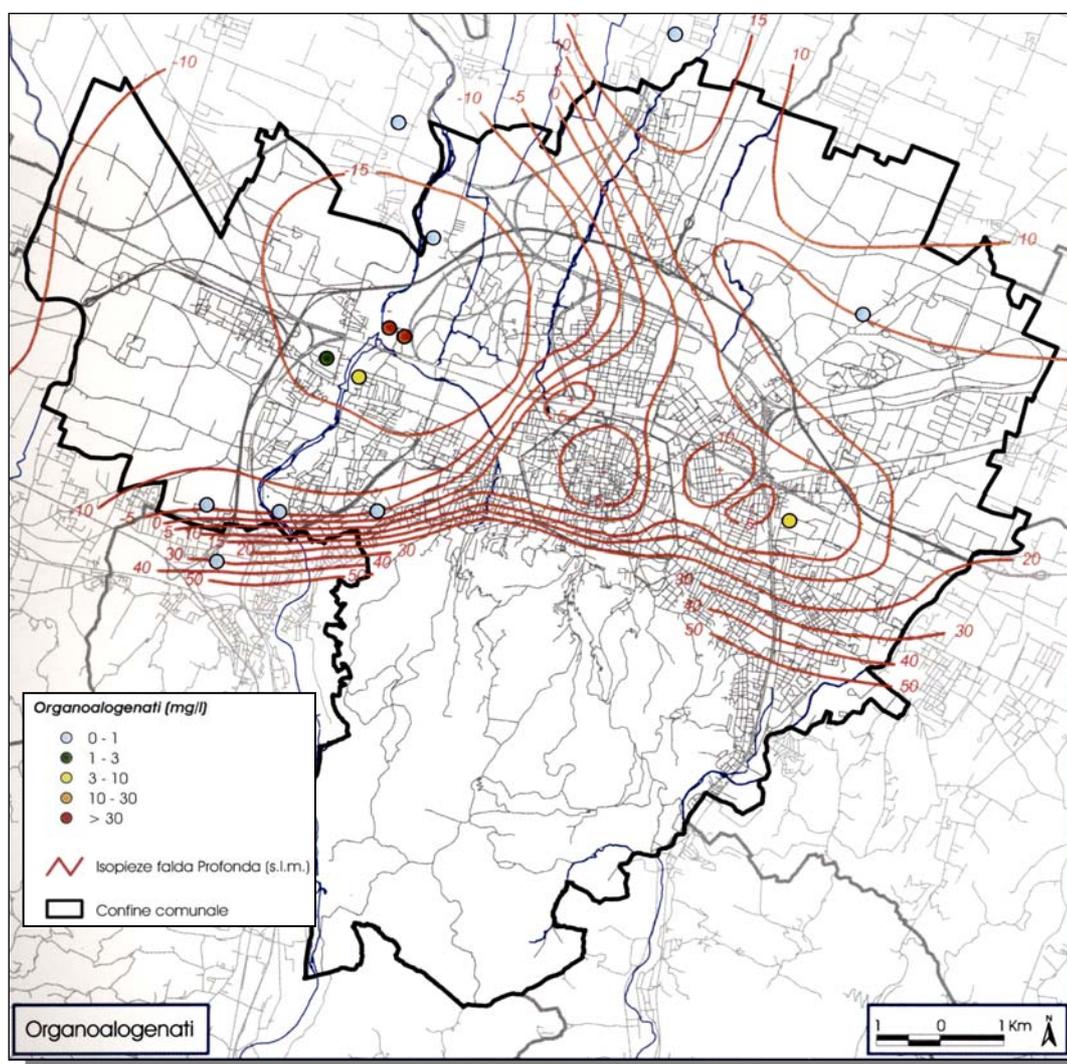


Fig. 7.15 - Organochlorinated falda profonda

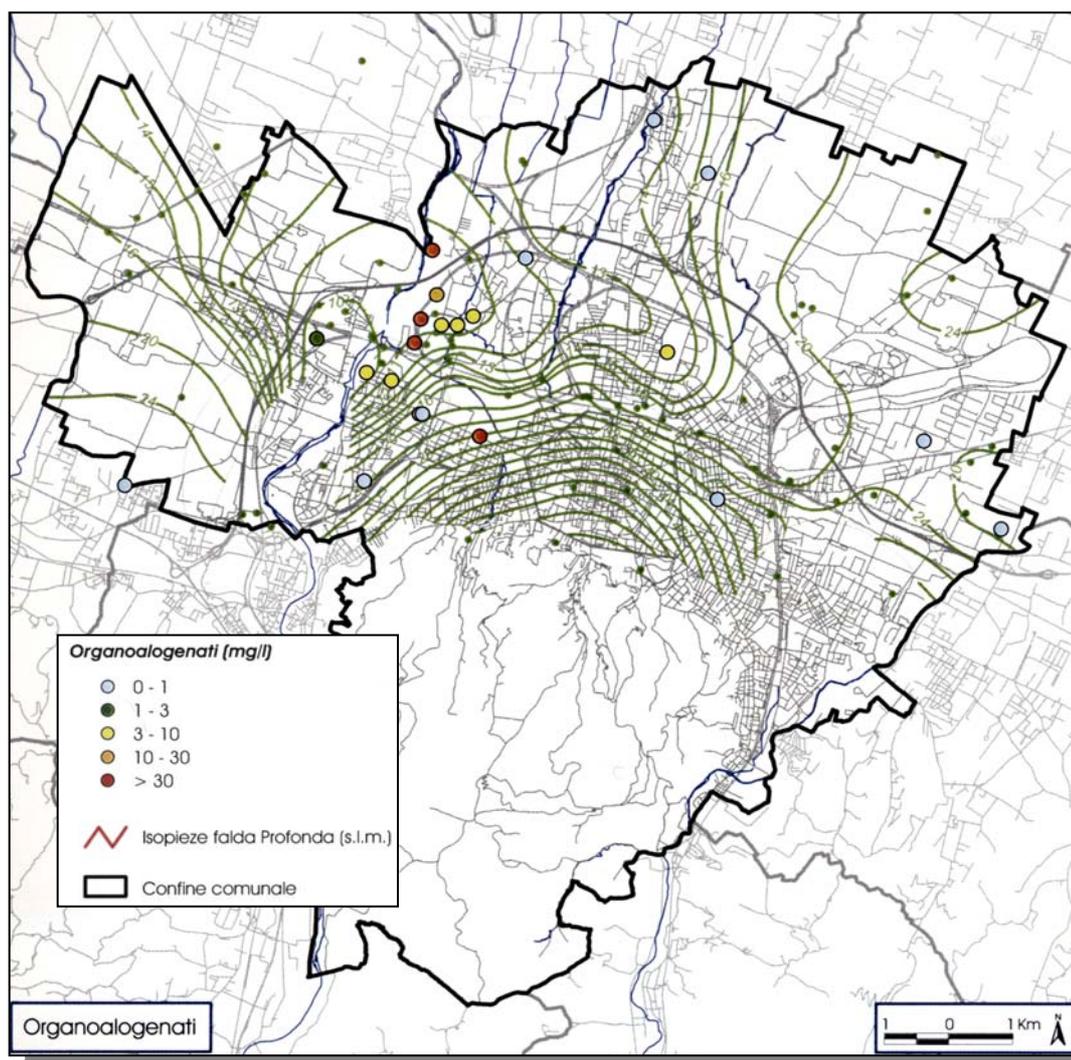


Fig. 7.16 - Organooalogenati falda SUP1

Per quanto riguarda le contaminazioni da metalli (piombo, nichel e cadmio), idrocarburi e composti organici aromatici (benzene, toluene, xilene) si sono riscontrate in alcune siti contaminati, ma risultano confinate esclusivamente negli acquiferi superficiali (SUP4) e non risultano interessare gli acquiferi sottostanti.

Per quanto concerne i nitrati non si segnalano particolari problematiche (Fig. 7.17 e 7.18) considerando che i risultati delle indagini mostrano valori di concentrazione sempre al di sotto dei limiti di qualità definiti dal D.Lgs. 152/99.

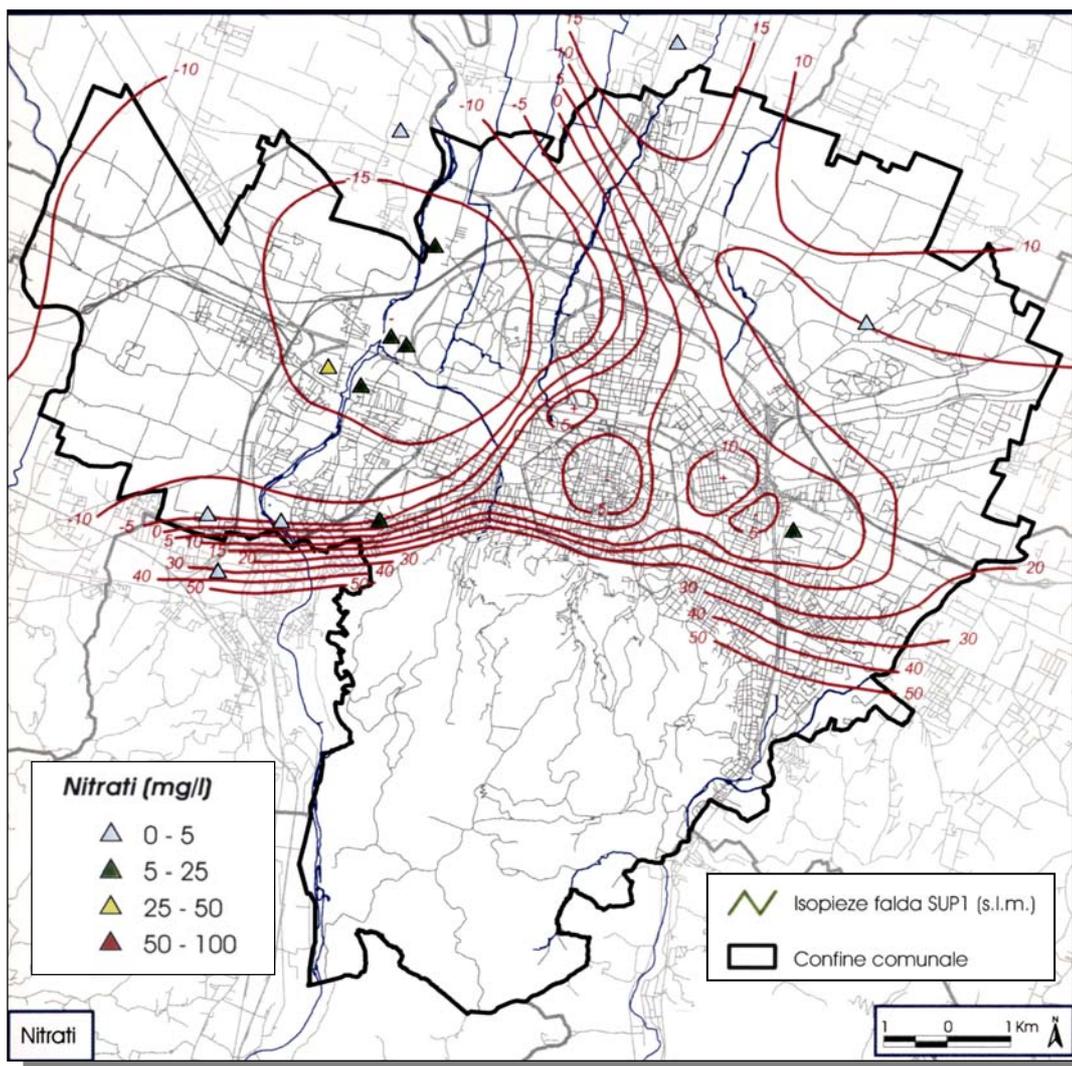


Fig. 7.17 – Nitrati falda profonda

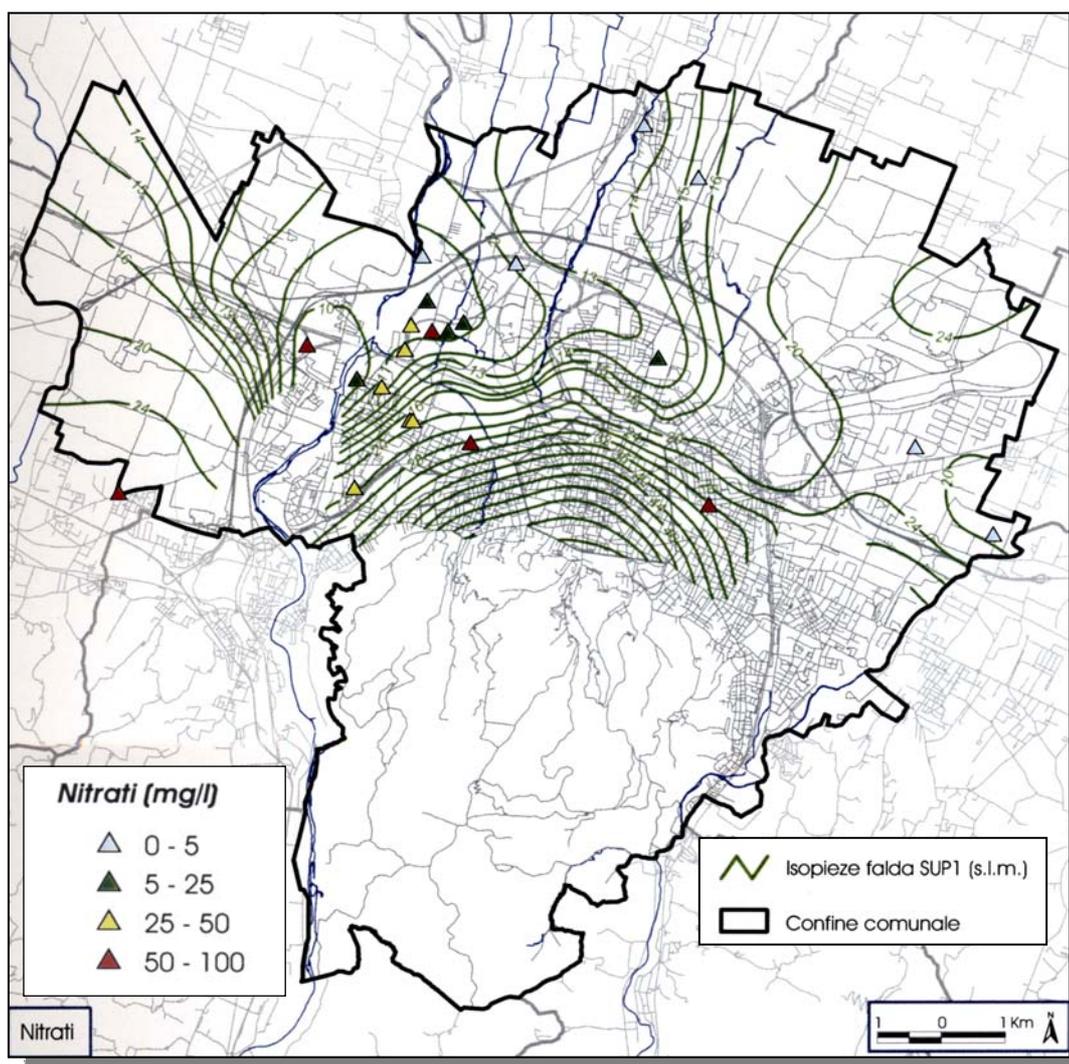


Fig. 7.18 – Nitrati falda SUP1



7.3 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

La tutela delle risorse idriche sotterranee finalizzata alla riduzione del rischio di inquinamento delle falde è un tema che viene dibattuto, a livello regionale, da oltre 20 anni. Tra le numerose azioni intraprese per affrontare tale problematica significativa è stata quella che ha portato alla costruzione di specifiche cartografie di vulnerabilità degli acquiferi, identificando sul territorio le aree a diverso grado di vulnerabilità, che hanno acquisito un sempre maggior peso nella gestione del territorio e nella pianificazione urbanistica e sulla base delle quali è possibile stabilire la capacità portante dei diversi ambiti territoriali rispetto al sistema insediativo ed allo stato di fatto, oltre che valutare gli effetti delle scelte che sono operate nel corso della pianificazione.

Da un punto di vista metodologico differenti sono stati gli approcci utilizzati in quanto dovevano necessariamente adeguarsi ai dati conoscitivi disponibili e al livello di conoscenza strutturale degli acquiferi.

In ordine di tempo le prime elaborazioni nella regione Emilia-Romagna si devono al CNR - Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), realizzate sulla base di una metodologia standardizzata che fa riferimento ai seguenti elementi geologici e idrogeologici :

- **Litologia di superficie** intesa come litologia rilevata a 1 m di profondità dal piano campagna distinguendo le aree con argille prevalenti, limi prevalenti, sabbie prevalenti e ghiaie;
- **Tetto delle ghiaie** suddiviso in classi di profondità (0 – 5 m/ 5 –10 m/10 –15 m/ 15– 25 m/25 m);
- **Caratteristiche dell'acquifero** inteso come condizioni idrauliche della falda, in particolare se libera o confinata;

Sulla base di tale metodologia per le unità idrogeologiche della pianura romagnola, ferrarese e bolognese, è stata prodotta nel 2002, congiuntamente da ARPA e CNR, una carta di "Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale", nella quale l'attribuzione dei gradi di vulnerabilità è stata assegnata sulla base dell'incrocio degli elementi prima ricordati secondo lo schema seguente (Fig. 7.19).

*GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE E SABBIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E _e	E	A	M	B	B _o			
							Zona di MEDIA PIANURA: Area caratterizzata da assenza di acquiferi significativi, nella quale sono presenti livelli di ghiaia solamente al di sotto dei 100 m di profondità e di sabbia al di sotto dei 25 m di profondità. (*) Paleovali recenti e depositi di rotta, sede di acquiferi sospesi.	
						Argilla Limo	> 10 m > 10 m	confinata/libera confinata
						Argilla Limo Sabbia/ghiaia Sabbie costiere	< 10 m < 10 m > 10 m ≥ 10 m	confinata/libera confinata libera confinata confinata/libera
						Situazioni variabili fra condizioni di vulnerabilità media e alta, localmente bassa.		
						Limo Sabbia Sabbia Ghiaia	< 10 m > 10 m < 10 m < 10 m	libera libera confinata confinata
						Sabbia Ghiaia	< 10 m ≥ 10 m	libera libera
						Ghiaia degli alvei fluviali	≥ 10 m	libera

*E_e = Estremamente elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso B_o = Molto basso

Per la zona di "ALTA PIANURA" si prende in considerazione il tetto delle ghiaie. Per la zona di "BASSA PIANURA" si prende in considerazione il tetto delle sabbie.

Fig. 7.19 – Schema di attribuzione dei gradi di vulnerabilità



Per il comune di Bologna l'elaborazione ha portato alla cartografia riportata in Fig. 7.20.

Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale CNR-ARPA Emilia-Romagna

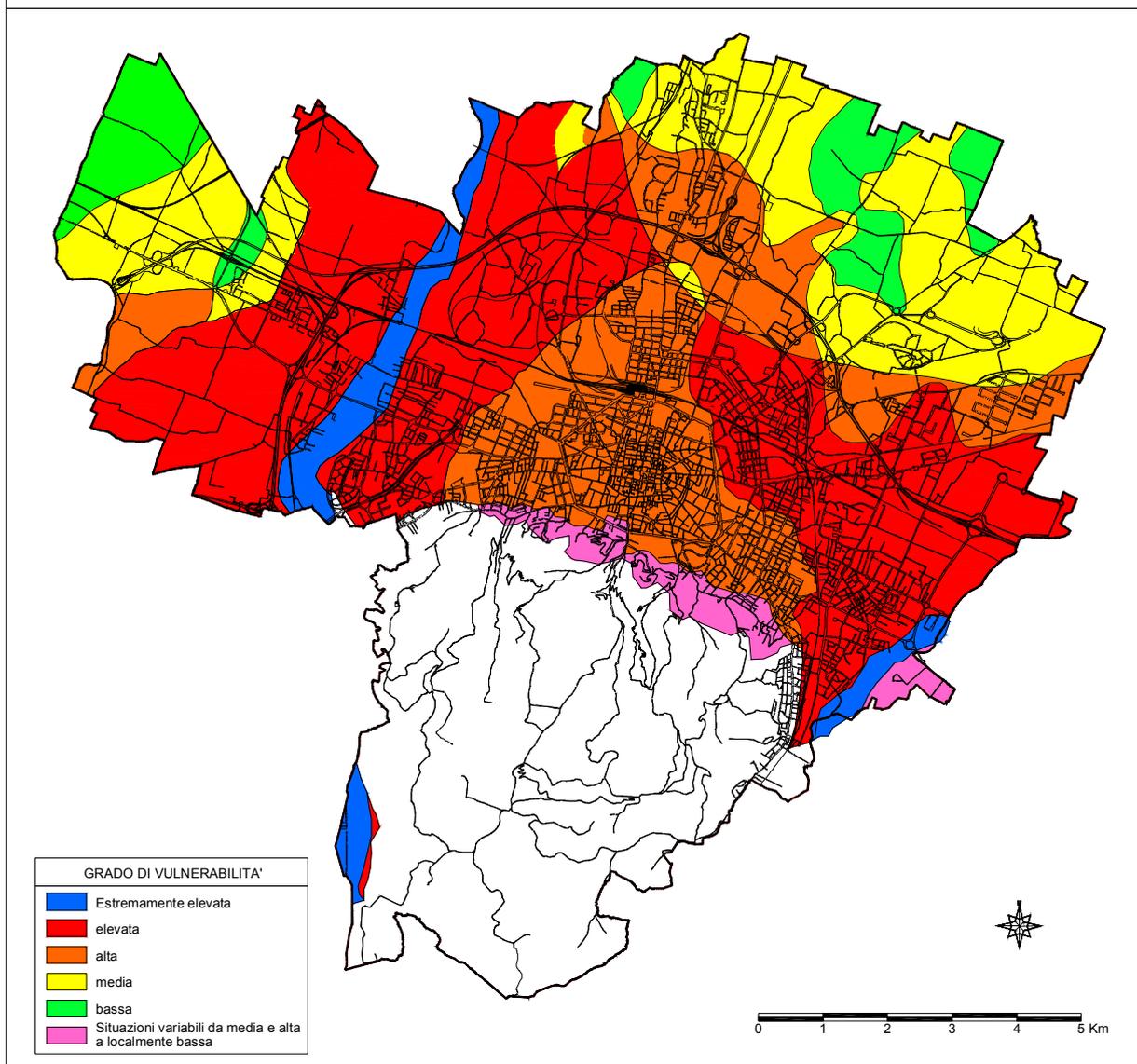


Fig. 7.20 – Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale (CNR-ARPA Emilia-Romagna)

Nel corso dello stesso anno il servizio geologico della regione Emilia-Romagna ed in particolare un gruppo di lavoro formato da rappresentanti della Direzione Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa e della Direzione Generale Agricoltura della Regione Emilia-Romagna, con la collaborazione di ARPA Emilia-Romagna, ha elaborato una nuova cartografia di vulnerabilità in scala 1:250.000 che tiene conto delle nuove conoscenze strutturali degli acquiferi acquisite in questi ultimi anni adottando un criterio metodologico aggiornato anche sulla base di quanto previsto dal D.lgs 152/99, introducendo in particolare tra gli elementi considerati le caratteristiche climatiche e la capacità attenuativa dei suoli. Tali elementi sono stati utilizzati con lo scopo di misurare, attraverso appositi modelli, il contributo del



sistema suolo-clima-coltura alla ricarica degli acquiferi, che incrociati con la profondità dei depositi grossolani ha fornito 5 classi di vulnerabilità secondo la suddivisione GNDCI-CNR riportata di seguito.

	Contributo del sistema suolo-clima-coltura Alla ricarica degli acquiferi profondi			
Profondità dei depositi grossolani dal p.c.	Alto	Moderat. Alto	Moderat. Basso	Basso
Maggiore di 10 metri	Media	Bassa	Bassa	Bassa
Tra 5 e 10 metri	Alta	Alta	Media	Bassa
Tra 0 e 5 metri	Elevata	Alta	Alta	Media
Affioranti	Estr. elevata	Elevata	Alta	Alta

Per il territorio Comunale il risultato di tali elaborazioni ha fornito i risultati riportati in fig.7.21 nella quale sono raggruppate alcune classi di vulnerabilità. .

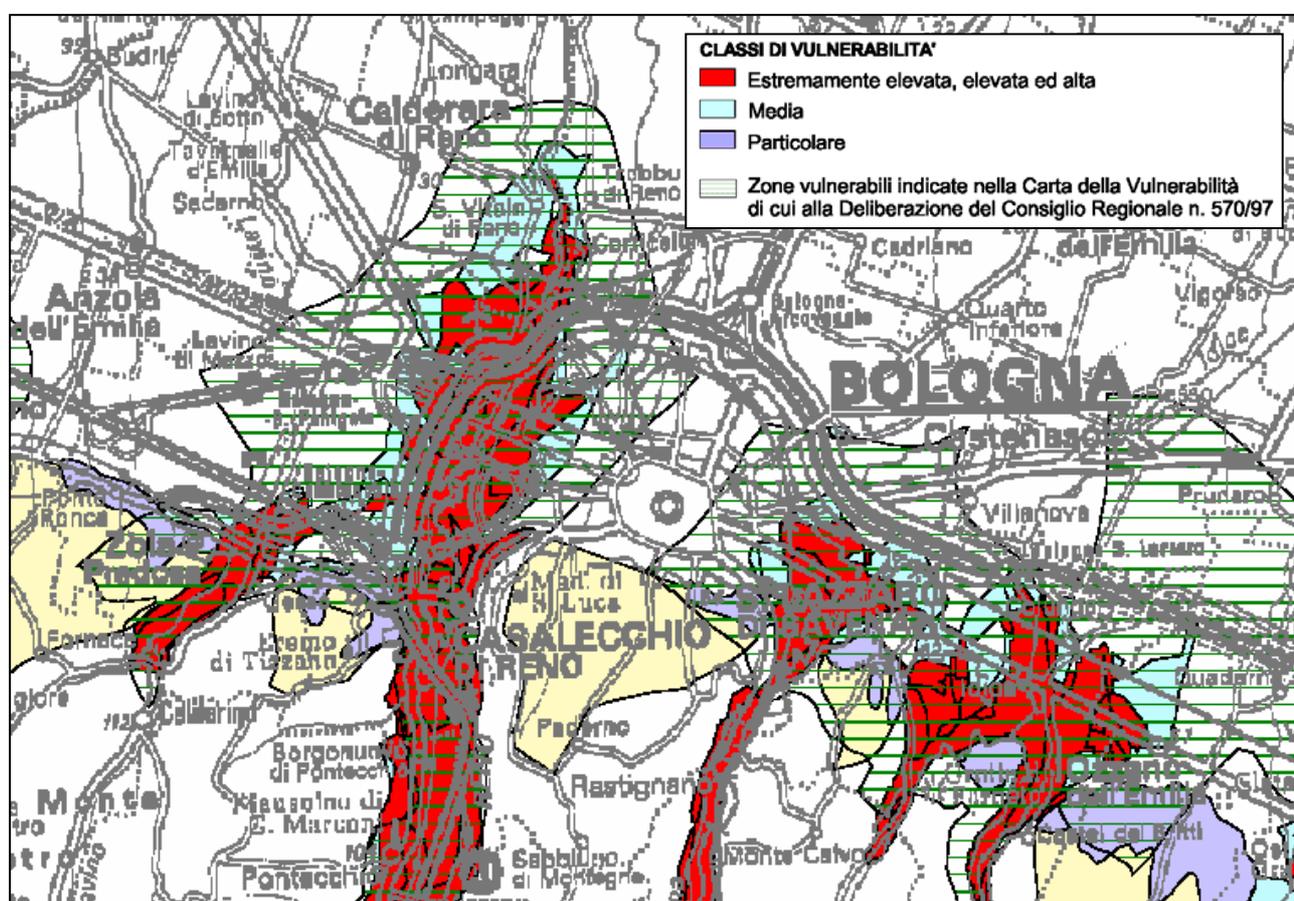


Fig. 7.21 – Carta della vulnerabilità (RER, 2002)

A tali cartografie si è ultimamente aggiunta quella redatta per il quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Bologna, nella viene valutata la vulnerabilità intrinseca delle falde acquifere profonde, utilizzabili a fini idropotabili. In tal caso la costruzione di tale carta ha preso in considerazione i seguenti parametri, ispirandosi quindi alla metodologia GNDCI-CNR.



- il tipo di acquifero (se libero o confinato);
- la profondità del tetto delle ghiaie dal piano campagna;
- la presenza di litologie permeabili nei primi 30 mt e fra 30 e 100 mt;
- la piezometria della falda profonda.

I risultati ottenuti sono riportati in fig. 7.22.

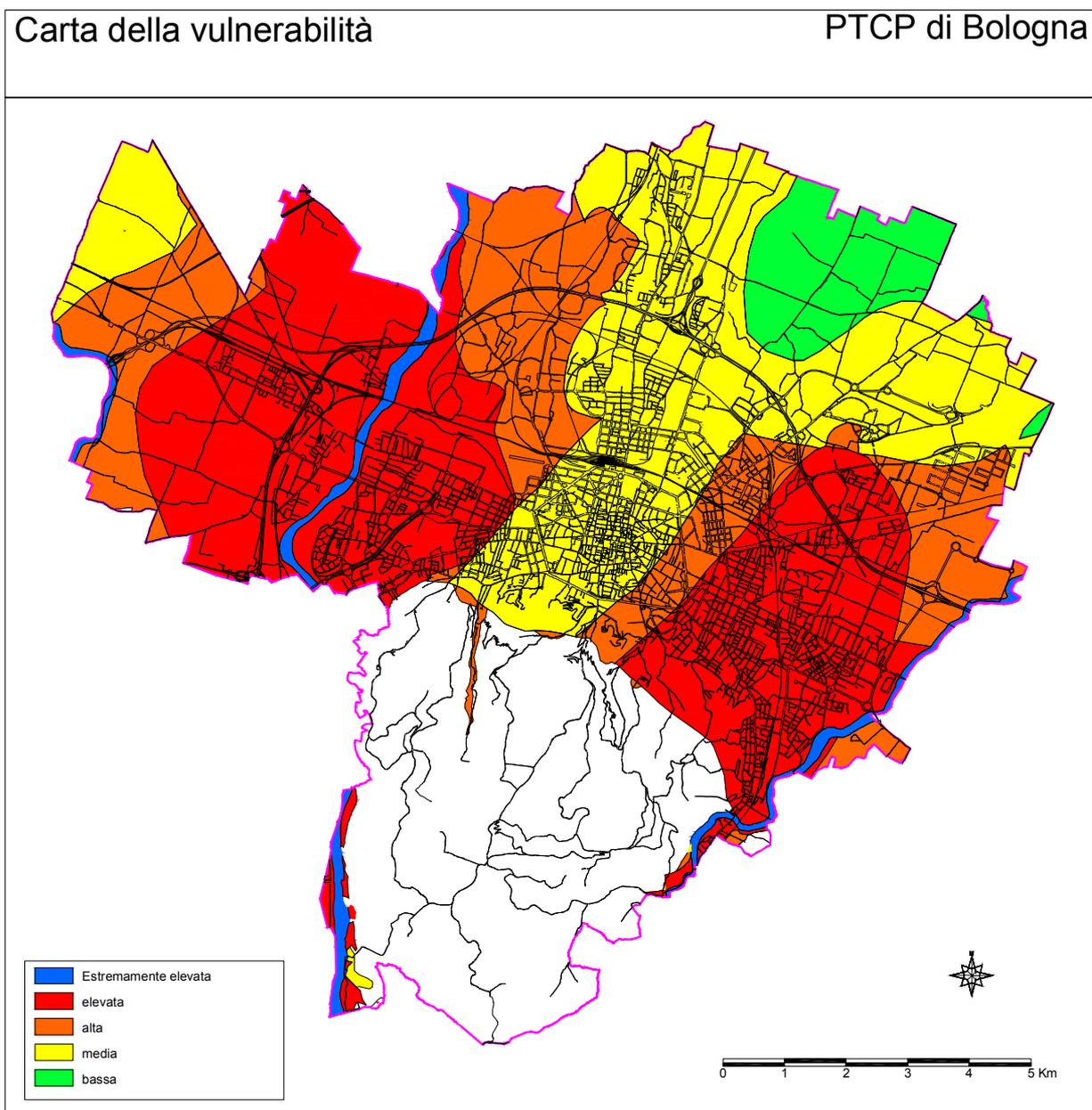


Fig. 7.22 – Carta della vulnerabilità (PTCP Provincia di Bologna, 2002)

Dall'analisi comparata delle diverse cartografie risulta evidente la forte disomogeneità dei risultati ottenuti per il territorio comunale di Bologna, determinata soprattutto dalle differenti metodologie applicate, oltre che da probabili differenze nella base dati di partenza. Certamente l'approccio più interessante è quello della R.E.R., soprattutto perché introduce nella valutazione di vulnerabilità il concetto di delimitazione delle zone di ricarica degli acquiferi ripreso nella metodologia



proposta, approfondendo e superando al tempo stesso il contributo offerto dal parametro "litologia di superficie".

Questo passaggio viene in questa sede evidenziato e ulteriormente rivisto nel presente documento in base alla conoscenze specifiche del territorio comunale di Bologna : la ricarica – in territorio urbano, non è da connettere tanto all'attività agricola presente, né la litologia di superficie è un parametro adatto alla presenza di fonti inquinanti poste sotto la superficie del terreno (cisterne, reti fognarie, reti tecnologiche, manufatti antropici, movimenti terra, etc.).

Ciò è stato possibile in base allo sviluppo di adeguate conoscenze attuali del sistema idrogeologico dell'alta pianura bolognese. In questi ultimi anni infatti si sono attivate tutta una serie iniziative finalizzate alla ricostruzione di un modello idrogeologico della zona di alta pianura che porterà entro breve a completare il quadro dei rapporti tra i diversi acquiferi esistenti e ricostruire quindi dettagliatamente le modalità di diffusione di inquinanti nel sottosuolo.

I primi risultati, esposti nei paragrafi precedenti, consentono di distinguere sul territorio due differenti ambiti caratterizzati dalla presenza o assenza dell'acquifero freatico superficiale (Fig. 7.23), localizzato quest'ultimo all'interno dei depositi alluvionali superficiali granulometricamente più grossolani (limi, limi sabbiosi e sabbie limose). Tale distinzione è di notevole importanza in quanto si ritiene che l'acquifero freatico svolga di fatto un'azione di trattenimento di eventuali inquinanti rilasciati dalle attività antropiche, e quindi anche di "protezione" nei confronti del sistema delle falde sottostanti. E' nelle zone in cui tale falda non è presente che si svolge prevalentemente l'azione di connessione tra attività antropiche e acquiferi permeabili e trasmissivi, che a loro volta possono avere connessioni anche con i livelli attualmente sfruttati a scopo idropotabile.

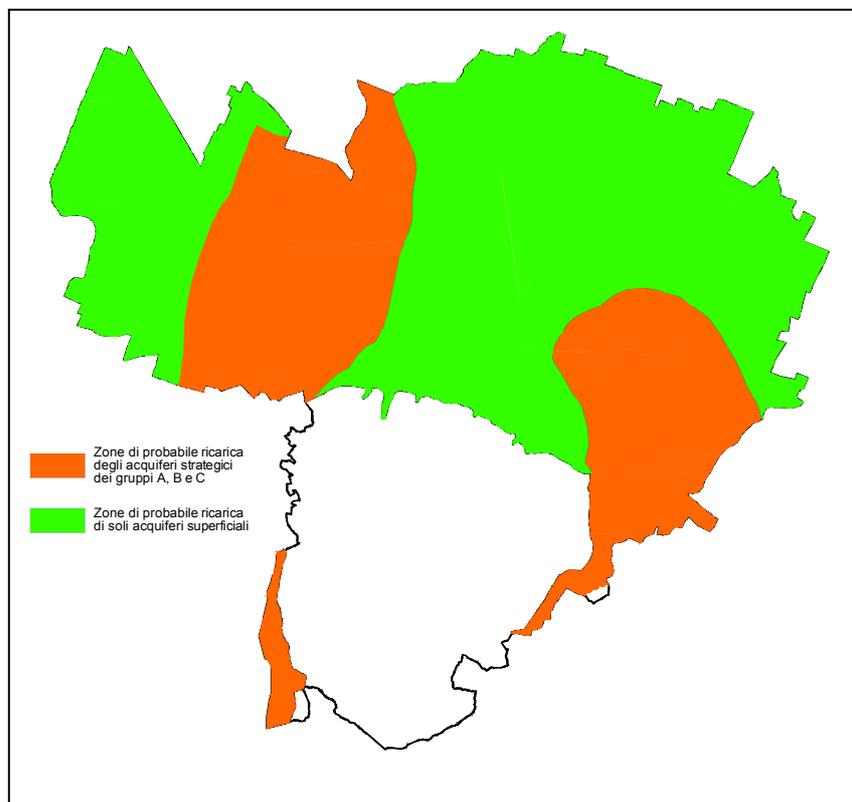


Fig. 7.23 - Zone di ricarica del territorio Comunale



Come accennato, si è inoltre ritenuto di considerare tra i parametri per la definizione della vulnerabilità esclusivamente la profondità del tetto dei depositi ghiaiosi, escludendo il parametro litologia. Le esperienze maturate in questi ultimi anni nel campo della bonifica di siti inquinati, confermano infatti che, nella situazione geologico-stratigrafica dell'alta pianura bolognese e in presenza di un territorio fortemente urbanizzato, la natura litologica dei terreni sia un elemento secondario e quindi trascurabile rispetto alla profondità del primo acquifero significativo. La presenza della falda superficiale porta a tenere in carico, e sovente a confinare totalmente nel tratto di poche decine di metri, buona parte del carico inquinante perso da un sito verso le falde.

Tale proposta non vuole essere definitiva e richiederà necessariamente approfondimenti ulteriori al fine di individuare con maggior precisione i rapporti tra gli acquiferi, e definire un eventuale fascia di transizione tra i due sistemi.

Si è quindi proceduto alla sovrapposizione della cartografia delle aree di ricarica individuate con la carta del tetto delle ghiaie, distinguendo per ogni dominio, oltre alla classe "estremamente elevato" come grado di vulnerabilità negli alvei fluviali, le altre 4 classi (elevato, alto, medio e basso) ridotte a loro volta come dallo schema riportato in figura 7.24.

	GRADI DI VULNERABILITA'	PROFONDITA' DEL TETTO DELLE GHIAIE (metri)	GRADI DI VULNERABILITA'
Alvei fluviali	Estremamente Elevato	0	Estremamente elevato
Zona di ricarica di acquiferi strategici	Elevato	$P < 2.5$ m	Elevato
	Alto	$2,5 < p < 5$ m	
	Media	$5 < p < 10$ m	Alto
	Basso	$p > 10$ m	
Zona di ricarica degli acquiferi superficiali	Elevato	$P < 5$ m	Medio
	Alto	$5 < p < 12.5$ m	
	Medio	$12.5 < p < 20$ m	Basso
	Basso	$p > 20$ m	

Fig. 7.24 - Schema di analisi della vulnerabilità

I risultati ottenuti, Schematizzati in figura 7.25 e nella tavola 7, evidenziano la presenza di una fascia ad alta ed elevata vulnerabilità a ridosso del Fiume Reno, che si distribuisce uniformemente rispetto al corso d'acqua, per una larghezza complessiva variabile da 3 a circa 4 Km, mentre nella zona del Torrente Savena assumono un andamento a ventaglio con larghezze massime di poco superiori ai 3 Km. Nella zona centrale di interconoide ed in quella occidentale, si estendono con passaggi gradualmente le zone a media e bassa vulnerabilità.



La cartografia di vulnerabilità è stata inoltre integrata dai potenziali centri di pericolo presenti sul territorio comunale, estratti da un archivio informatizzato contenente i punti vendita carburanti, pubblici e privati, e le industrie insalubri autorizzate dal Comune di Bologna in base al T.U delle Leggi Sanitarie (art. 216 della L. 1265/34, aggiornato ai sensi del DM 5.9.1994).

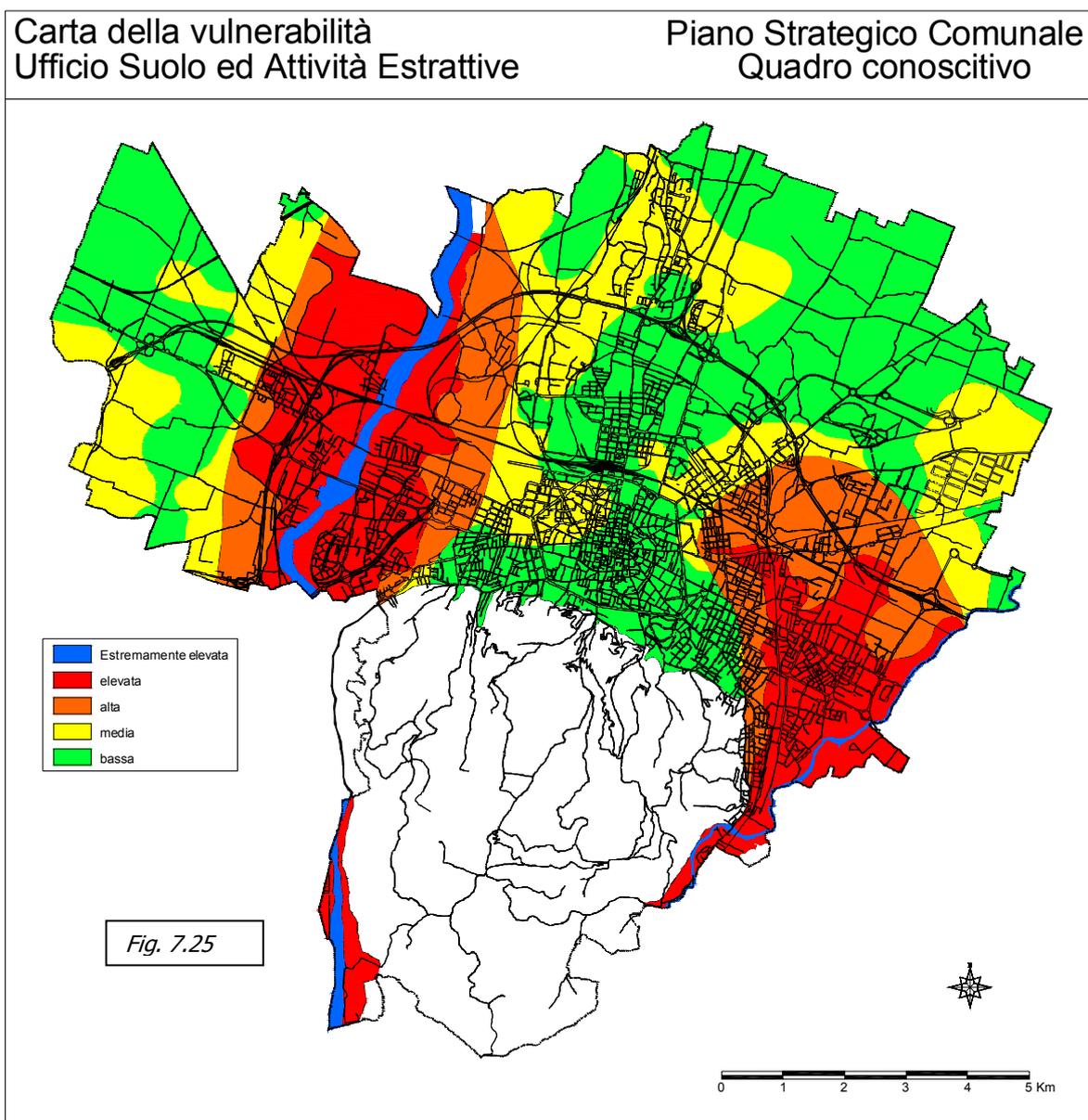


Fig. 7.25 – Carta della vulnerabilità degli acquiferi

In particolare sono stati individuati e cartografati i seguenti fattori antropici:



<ul style="list-style-type: none"> ➤ Area urbanizzata; ➤ Attività industriali e artigianali; ➤ Punti vendita carburanti e serbatoi privati; ➤ Area di cava in attività e aree di ex-cava; ➤ Autostrade e tangenziali; ➤ Discariche; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Depuratore; ➤ Aeroporto; ➤ Zone ferroviarie; ➤ Zone militari; ➤ Cimiteri; ➤ Strutture sanitarie
---	--

Per quanto concerne le attività industriali ed artigianali si è operata un'ulteriore suddivisione in base al grado di pericolosità, individuando come tipologia A, B e C rispettivamente le attività a pericolosità alta, media e bassa, secondo lo schema seguente.

ATTIVITA' DI TIPO A	ATTIVITA' DI TIPO B	ATTIVITA' DI TIPO C
Verniciatura	Tornitura-fresatura	Stampi
Stoccaggio rifiuti	Tipografia	Modelli fonderia
Punti vendita carburanti	Stampaggio plastica	Macchine varie
Pulitura metalli	Saldatura	Lavorazione legno
Lavasecco	Officina meccanica	Lavorazione lamiera
Fonderia	Materiale elettrico	Fabbro
Deposito olii e carburanti	Eliografia	Carpenteria
Cosmetica-farmaceutica	Lavorazione del cuoio	
autocarrozzeria	Produzione di conglomerato bituminoso	
	Autolavaggio	
	Autofficina	

Il passo successivo è stato quello di elaborare una cartografia della pericolosità antropica del territorio Comunale nella quale i diversi fattori individuati sono stati pesati in base alla pericolosità relativa attribuendo ad ognuno un peso che ha un valore relativo e non assoluto variabile da 0 a 3. Si è quindi operata una discretizzazione del territorio in maglie quadrate di lato pari a 250 metri, ed all'interno di ciascuna maglia si sono sommati i relativi pesi fornendo un indice che determina il grado di pericolosità di quel settore territoriale.

I pesi relativi attribuiti sono riportati nella tabella seguente.

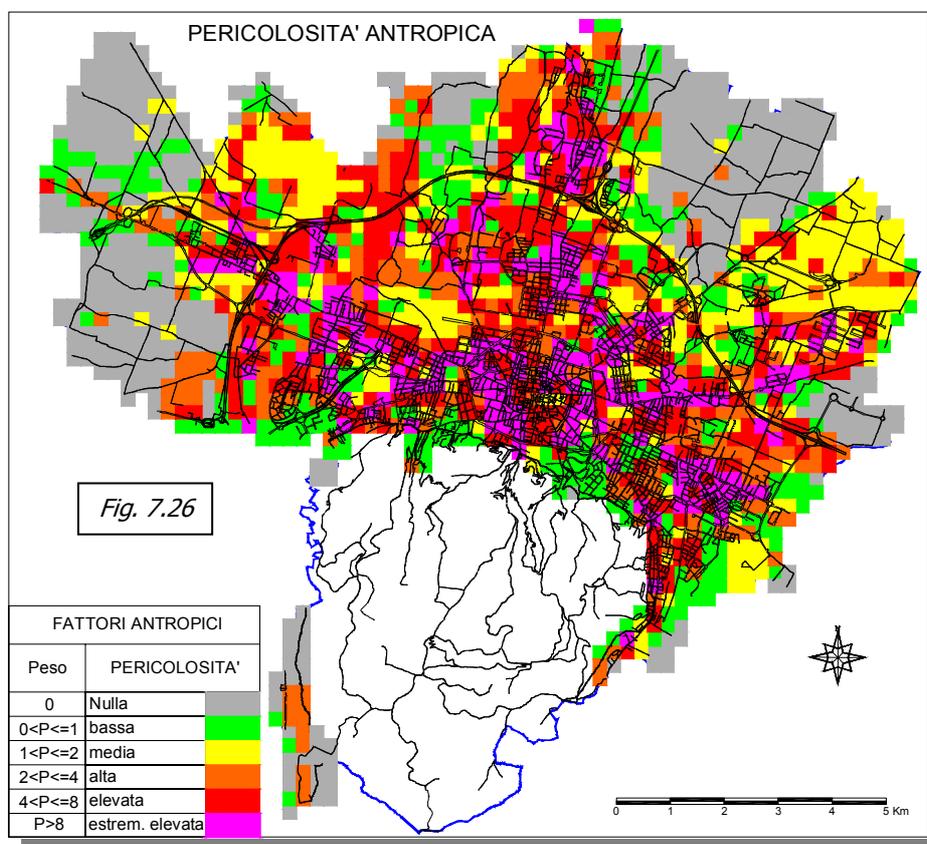


Fattori antropici	peso relativo
aree urbane	0,5
aree industriali	1
Industrie tipo A	3
Industrie tipo B	2
Industrie tipo C	1
Serbatoi carburanti (pubblici e privati)	3
Cave in attività	2
ex-cave con tombamento	3
ex-cave senza tombamento	0,5
Autostrada-Tangenziale	1
Discariche	3
Depuratore	2
Aeroporto	0,5
Aree ferroviarie	1
Cimiteri	1
Ospedali	1
Zone militari	2

Fattori antropici, e corrispondenti pesi relativi.

Nella figura 7.26 e nella tavola 8 sono riportati i risultati di tale elaborazione che ha consentito di individuare sul territorio 5 classi di pericolosità da nulla ad estremamente elevata corrispondenti ai valori ottenuti dall'indice di all'interno delle singole maglie.

Nel complesso si evidenzia come sul territorio comunale la pericolosità raggiunga valori mediamente molto elevati in relazione



all'elevato grado di antropizzazione, con concentrazioni nel settore centrale e in quelle delle conoidi del fiume Reno e torrente Savena, quest'ultime già caratterizzate da maggiore vulnerabilità. Valori nulli di

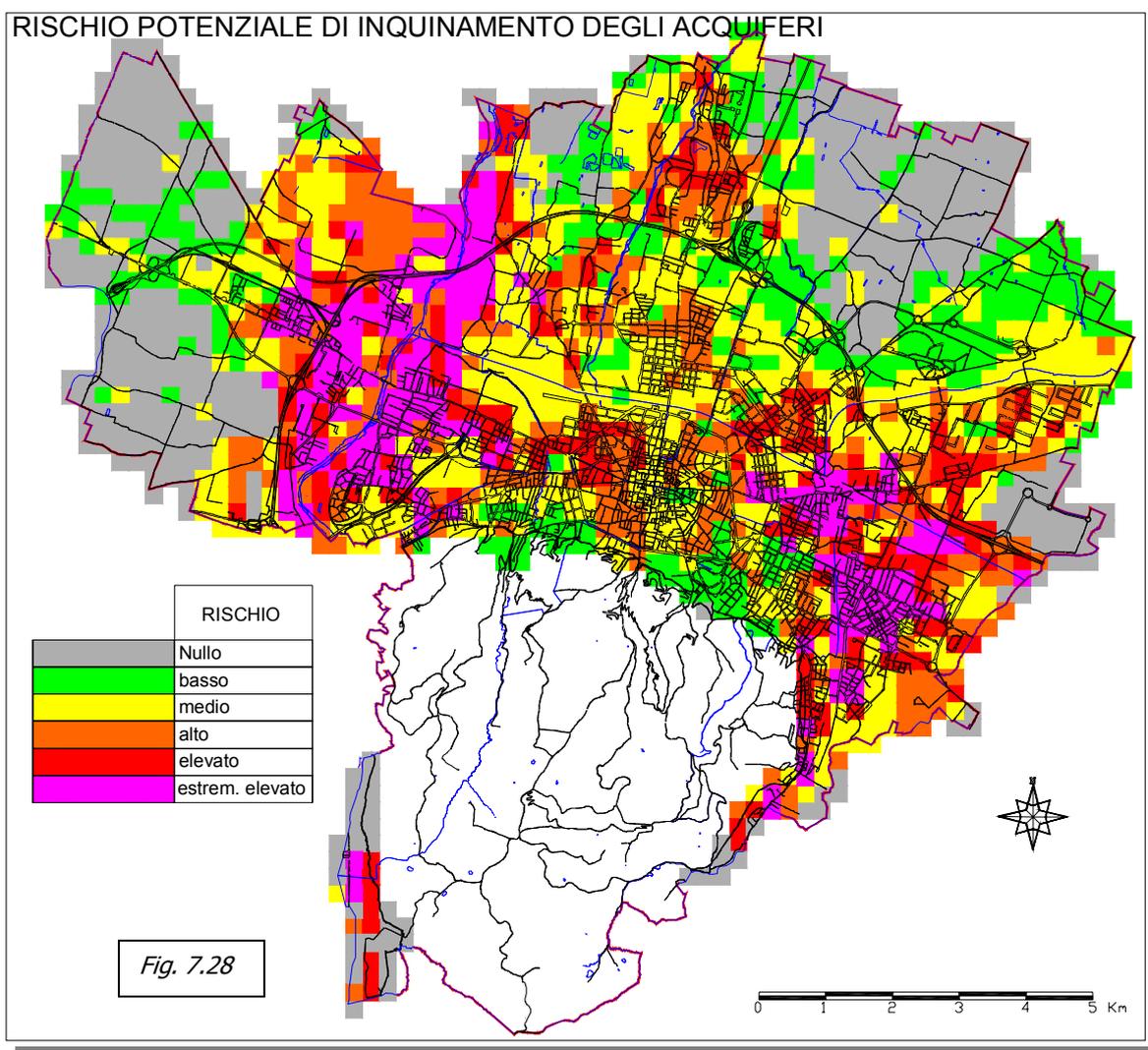


pericolosità si registrano nella porzioni ovest e nord-est del territorio che mantiene ancora caratteristiche principalmente agricole.

L'incrocio delle due cartografie elaborate di vulnerabilità e pericolosità secondo lo schema riportato in fig. 7.27, ha consentito di elaborare una carta del rischio potenziale di inquinamento degli acquiferi (fig. 7.28, tavola 9).

		PERICOLOSITA'					
		nulla	B	M	A	E	EE
VULNERABILITA'	B	N	B	B	M	M	A
	M	N	B	M	M	A	E
	A	N	M	M	A	E	EE
	E	N	M	A	E	EE	EE
	EE	N	A	E	EE	EE	EE
		RISCHIO POTENZIALE					

Fig. 7.27 – Tabella di riferimento per il calcolo del rischio

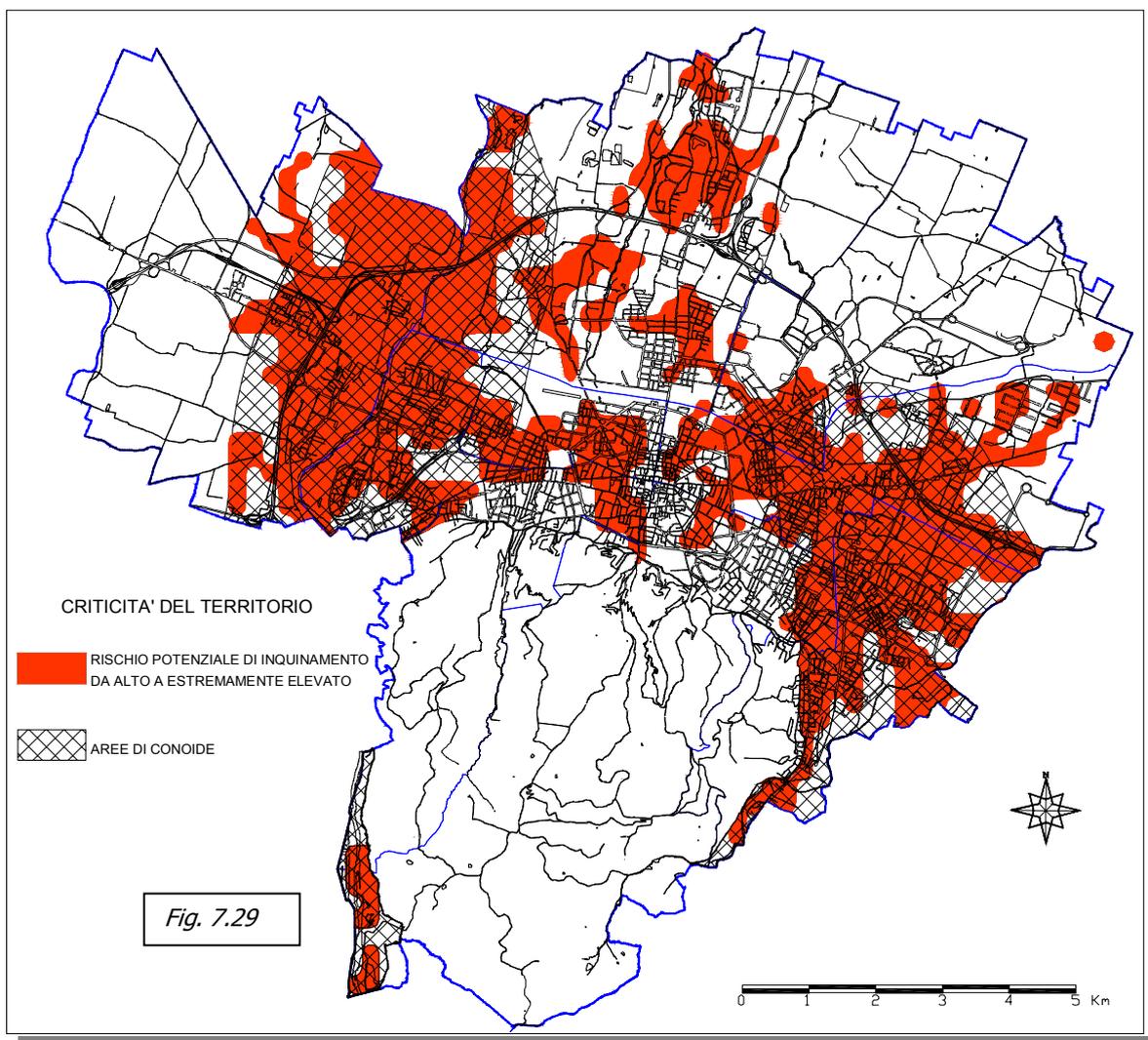


Tale cartografia ha il pregio di esprimere sinteticamente un giudizio delle sinergie tra elementi naturali e fattori antropici del territorio di alta pianura ricompreso nel Comune di Bologna, evidenziando come i rischi maggiori siano localizzati prevalentemente in corrispondenza delle aree di conoide del Fiume Reno e del Torrente Savena.

Si sono inoltre individuate sul territorio comunale (Fig. 7.29) le aree a maggiore criticità per quanto concerne il rischio di inquinamento degli acquiferi raggruppando le classi di rischio da alto ad



estremamente elevato, ottenendo un'area di superficie di circa 4.000 ettari pari al 38% della superficie totale del settore di alta pianura del Comune di Bologna, di cui 2.693 ettari (circa il 67 %) ricompresi delle zone di conoide principali.



L'attività di pianificazione dovrà necessariamente tenere in debito conto dei risultati delle elaborazioni eseguite, con lo scopo di ridurre i fattori di rischio evidenziati per la stabilità, nel tempo della risorsa idrica. Allo stesso modo potrà essere di riferimento per la pianificazione di attività di controllo e monitoraggio, ottimizzando l'efficacia dell'azione svolta.



8. SUBSIDENZA

8.1 GENERALITÀ.

La subsidenza è un fenomeno che va inteso come movimento della superficie del terreno che interessa aree relativamente estese, con direzione prevalentemente verticale (Viggiani, 1978). Si tratta di un movimento, generalmente lento, graduale e costante che può avere origini sia di tipo naturale sia antropico ma che, sempre più spesso, viene attivato o accelerato dalla compartecipazione delle due cause.

Le cause naturali possono così riassumersi:

- Correnti magmatiche subcrostali (moti convettivi);
- Risposta isostatica ad un sovraccarico che si verifica sulla crosta terrestre (imponente apporto sedimentario; crescita dei sistemi glaciali);
- Perdita dei fluidi interstiziali nei terreni non cementati;
- Costipamento negli accumuli di detriti;
- Assestamenti nelle aree vulcaniche a seguito di eventi che determinano fuoriuscite di masse magmatiche (bradisismo negativo).

Le cause antropiche in linea di massima sono:

- Estrazione di idrocarburi, sia fluidi che gassosi, presenti nel sottosuolo con costipamento dei sedimenti che li contengono;
- Emungimento della falda idrica con conseguente riduzione delle pressioni idrostatiche, incremento delle tensioni efficaci ed innesco di fenomeni di consolidazione nei terreni coesivi;
- Esecuzione di bonifiche idrauliche con allontanamento di acqua e conseguente compattazione dei terreni;
- Aumento del carico statico dovuto alla edificazione con addensamento del terreno sottostante.

La subsidenza derivante da cause naturali si presenta generalmente con ritmi gradualmente e tempi piuttosto lenti. Quella attivata invece da azioni antropiche si presenta con velocità di abbassamento elevate ed elementi di imprevedibilità circa gli sviluppi e gli effetti.

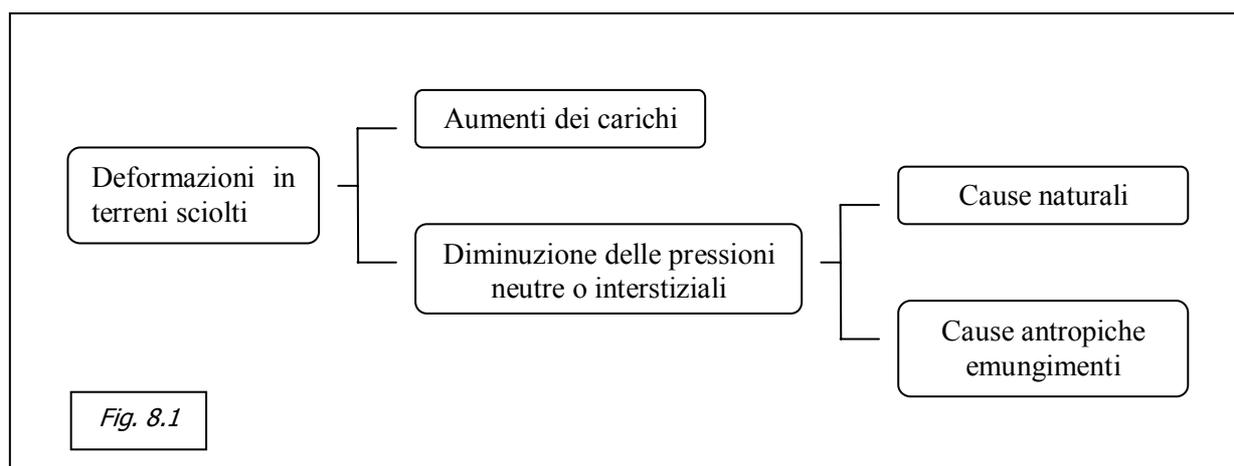
Spessissimo il fenomeno risulta indotto dalla azione integrata delle cause naturali e quelle antropiche ed in tal caso assume la connotazione del rischio ambientale e come tale occorre che venga valutato in un confronto con la vulnerabilità territoriale.

8.2 LA SUBSIDENZA A BOLOGNA.

Nel caso della pianura bolognese il fenomeno della subsidenza si presenta come effetto delle concause naturali e antropiche, con una prevalenza nettissima delle seconde sulle prime.



Rispetto alla schematizzazione delle cause operato in precedenza, si può a ragion veduta affermare che il fenomeno osservato è riconducibile, per quanto attiene le cause naturali, al costipamento dei depositi alluvionali. In una zona alluvionale come quella bolognese che ha già subito naturalmente fenomeni di compattazione e che quindi ha raggiunto da questo punto di vista una discreta stabilità la causa determinante delle deformazioni osservate è da ricercare negli emungimenti fluidi dal sottosuolo (fig. 8.1).



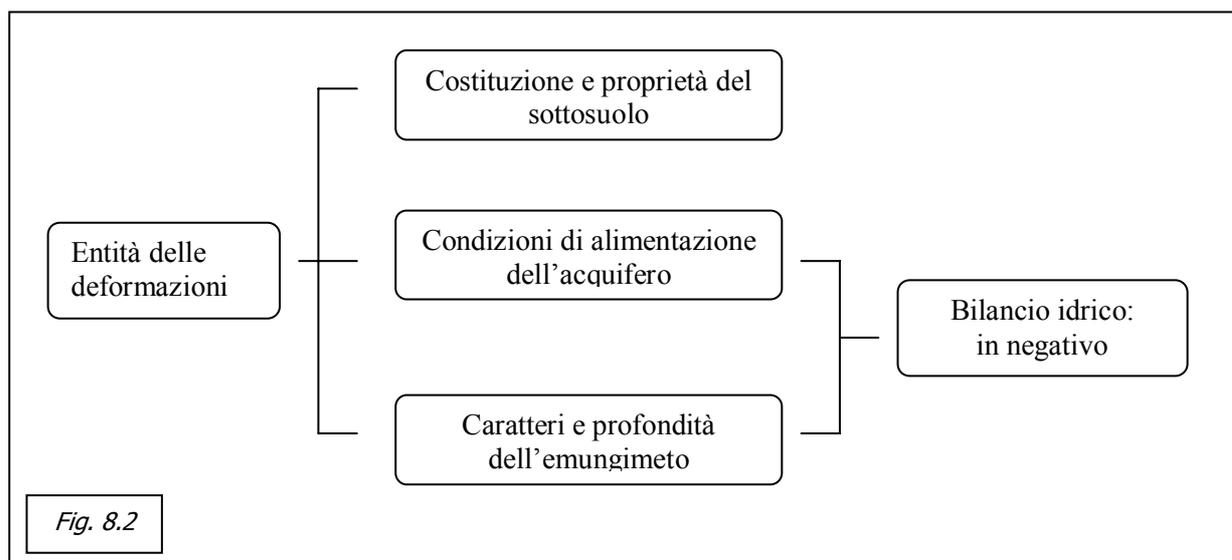
L'azione di costipamento indotta dal prelievo delle risorse idriche del sottosuolo, si verifica in seguito alla diminuzione della pressione neutrale presente nei pori. Infatti la presenza dell'acqua all'interno degli spazi intergranulari dei terreni, esercita una pressione "neutra" che si sviluppa in tutte le direzioni; partendo da queste condizioni, l'allontanamento dell'acqua determina una diminuzione della pressione neutra, con conseguente depressurizzazione del terreno ed aumento della tensione effettiva, quella cioè collegata al "peso" dei granuli che formano i terreni, con conseguente compattazione e deformazione del mezzo.

Analogo meccanismo si innesta nei casi di estrazione di idrocarburi dal sottosuolo, sia liquidi che gassosi, e lo sfruttamento di giacimenti di queste sostanze ha determinato l'abbassamento del suolo in molti casi, compreso situazioni verificatesi in altri siti della Pianura Padana. Tuttavia in tal caso i terreni "serbatoio" degli idrocarburi estratti subiscono un abbassamento pressoché immediato ed è inoltre limitato anche nello spazio, essendo tali giacimenti piuttosto confinati arealmente.

Gli effetti di un corposo emungimento idrico invece si risente su tutto il sistema di acquiferi ed acquitardi essendo l'acqua presente in tutti i mezzi permeabili, e inoltre il fenomeno assume ritmi più lenti con effetti notevolmente ritardati nel tempo. I meccanismi di compattazione e deformazione sono legati in modo molto stretto alla granulometria dei mezzi. I terreni a granulometria più grossolana risentono in misura notevolmente inferiore dell'azione del costipamento in quanto sono meno influenzati dalla pressione "neutra" di natura idrostatica. I terreni fini viceversa reagiscono in modo molto deciso avviando l'azione del costipamento.



Per quanto concerne l'entità delle deformazioni (Fig. 8.2) occorre tener presente due differenti aspetti : le caratteristiche costitutive e le proprietà fisiche dei terreni del sottosuolo e il bilancio idrico complessivo degli acquiferi.



Sotto il profilo geologico il sistema della pianura alluvionale, quale è quello della pianura bolognese, rappresenta un classico esempio di situazione predisponente all'abbassamento del suolo: i sedimenti alluvionali, apportati con abbondanza dal sistema idrografico superficiale, subiscono il processo più sopra illustrato legato alla loro natura di clasti sciolti privi di cementazione. L'entità e la rapidità di questa azione è direttamente connessa con il livello di compattazione dei terreni e con la loro granulometria. Dimostrazione di questo processo è la potenza degli strati alluvionali che si rinvengono in tali aree. A questa condizione fisica, che determina un abbassamento naturale di base, si è associata un'azione antropica, con connotazioni di aggressione ambientale, consistente nel crescente emungimento della falda idrica che ha destabilizzato gli equilibri preesistenti. Questa azione ha determinato una reazione del sistema piuttosto brusca concretizzatasi con il raggiungimento di valori di abbassamento e di velocità di abbassamento più che considerevoli i quali hanno determinato effetti diretti e dannosi sulle attività umane.

In particolare il territorio comunale è collocato immediatamente a ridosso del margine appenninico in una zona definibile come "alta pianura", caratterizzata da depositi alluvionali dei corsi d'acqua principali (Reno e Savena) e corsi minori intermedi. Si individuano abbastanza nettamente gli apparati di conoide dei corsi d'acqua principali caratterizzati da percentuali elevate di depositi grossolani (ghiaie e sabbie). Nel settore di interconoide, localizzata centralmente rispetto alla zona di interesse

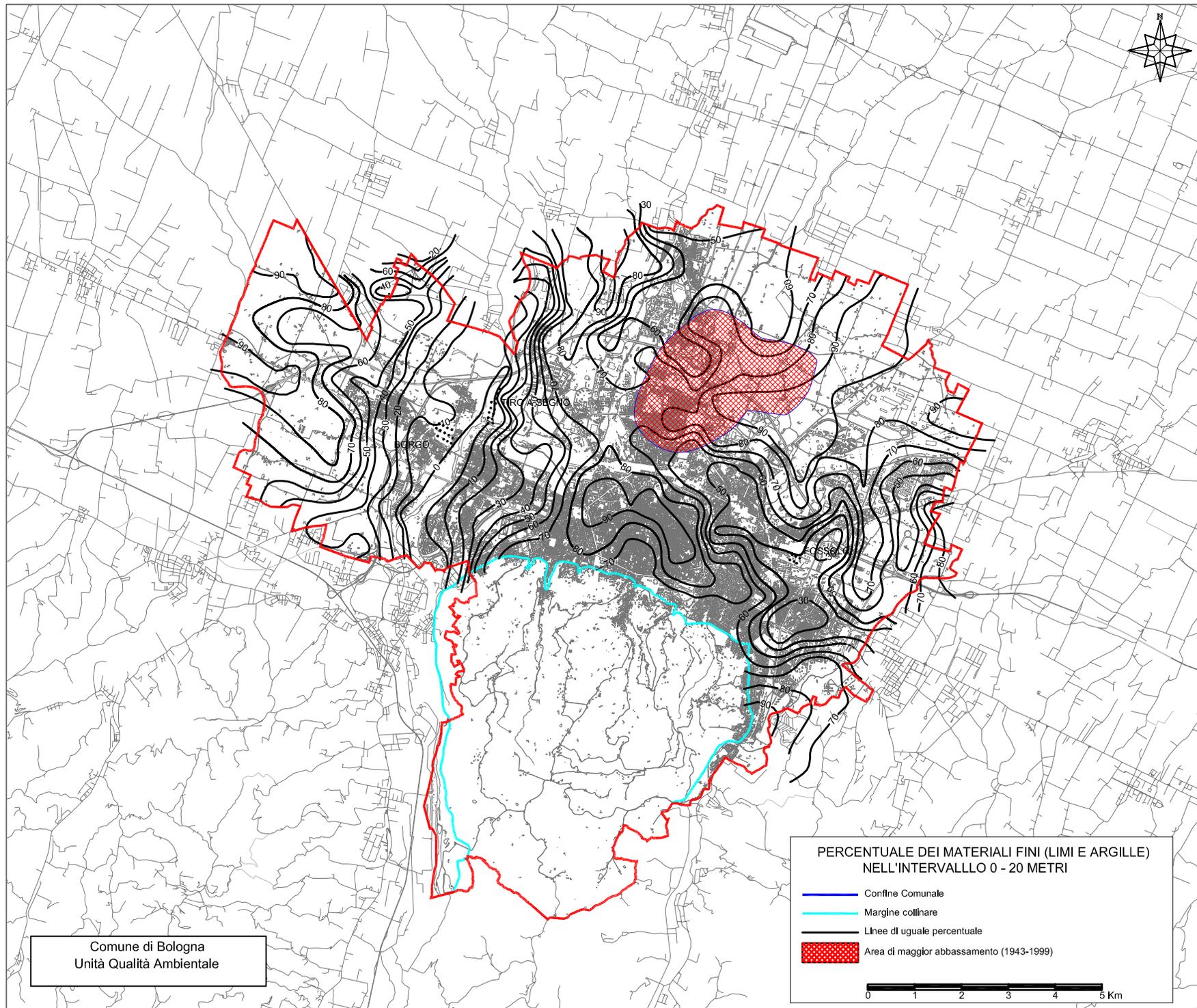


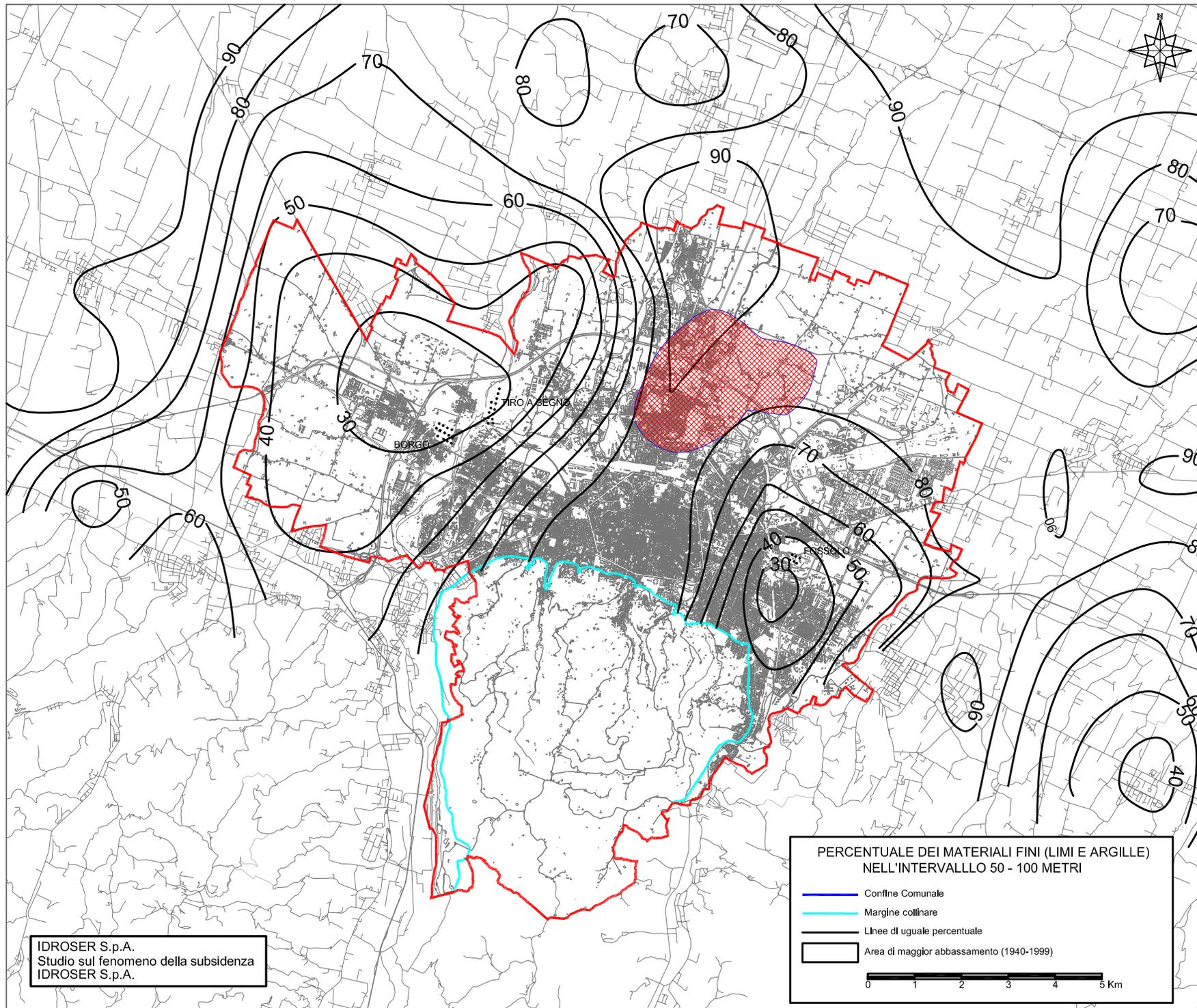
prevale la presenza di terreni prevalentemente limoso – argillosi, dovuto all’apporto di tutto il sistema idrografico collinare minore (torrente Ravone, rio Meloncello, torrente Aposa, fosso Cavallina) che, data la bassa energia di trasporto, fa recapitare comunque materiali dalla granulometria fine.

Questa differente natura granulometrica dei terreni affioranti nella parte centrale della pianura bolognese, determina effetti rilevanti sui movimenti verticali in atto, con un’accentuazione del fenomeno della compattazione proprio in corrispondenza dei terreni fini di interconoide.

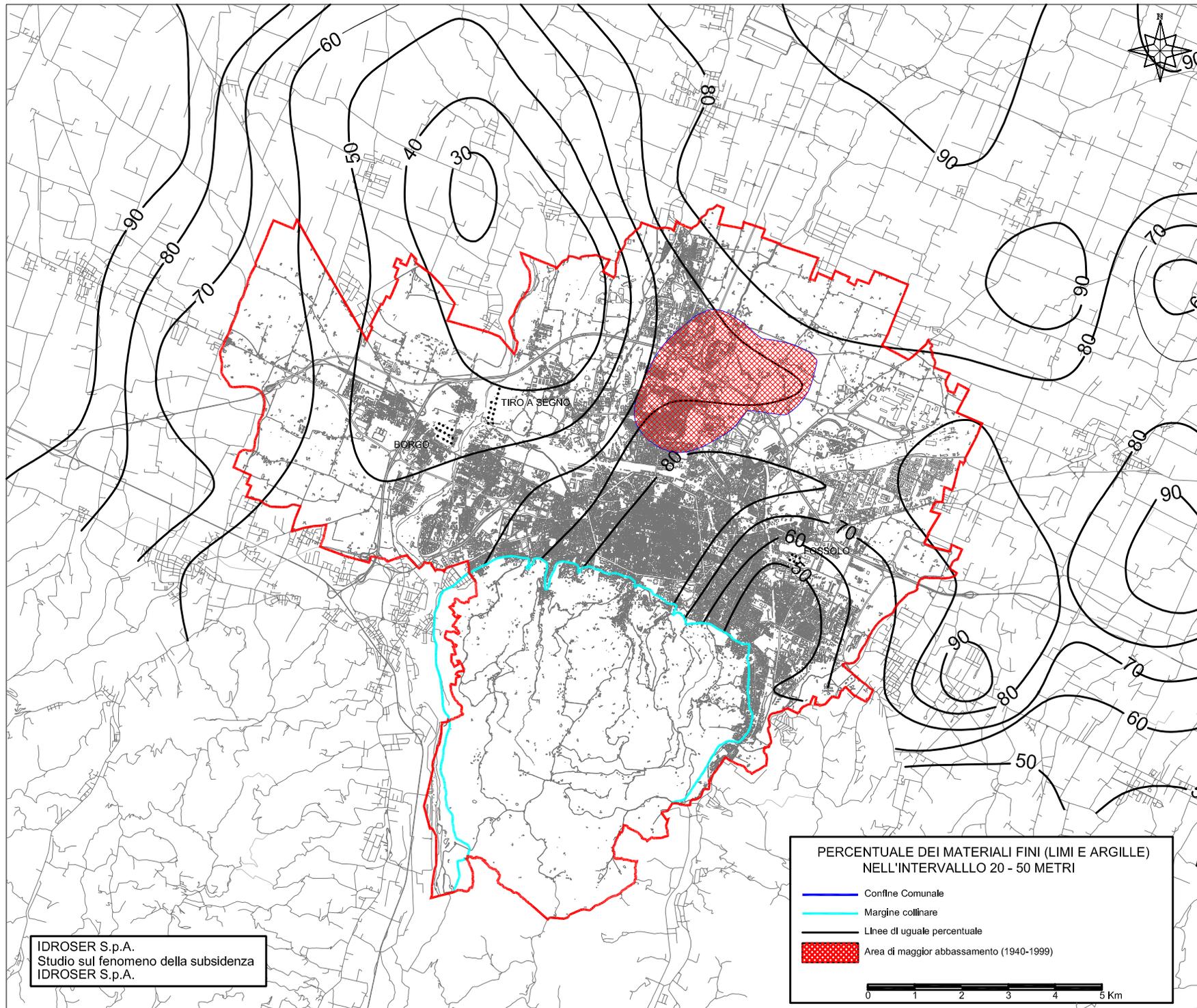
Nelle figure seguenti (Fig. 8.3, 8.4, 8.5 e 8.6), sono riportati le percentuali dei materiali fini (limi argille) in differenti intervalli di profondità desunti per quanto concerne l’intervallo 20-50, 50-100 e 100-200 metri dallo “Studio sul fenomeno della subsidenza nel territorio Bolognese” a cura dell’IDROSER, 1988.

Su tali elaborati è stata riportata la zona a maggior subsidenza registrata tra il 1940 e il 1999 caratterizzata, come vedremo in seguito, da valori massimi di abbassamento compresi tra 240 e 270 cm che evidenzia come quest’ultima risulti posizionata sul territorio Comunale nella zona di interconoide coinvolgendo maggiormente gli intervalli 20-50 m e 50-100 m.





IDROSER S.p.A.
Studio sul fenomeno della subsidenza
IDROSER S.p.A.

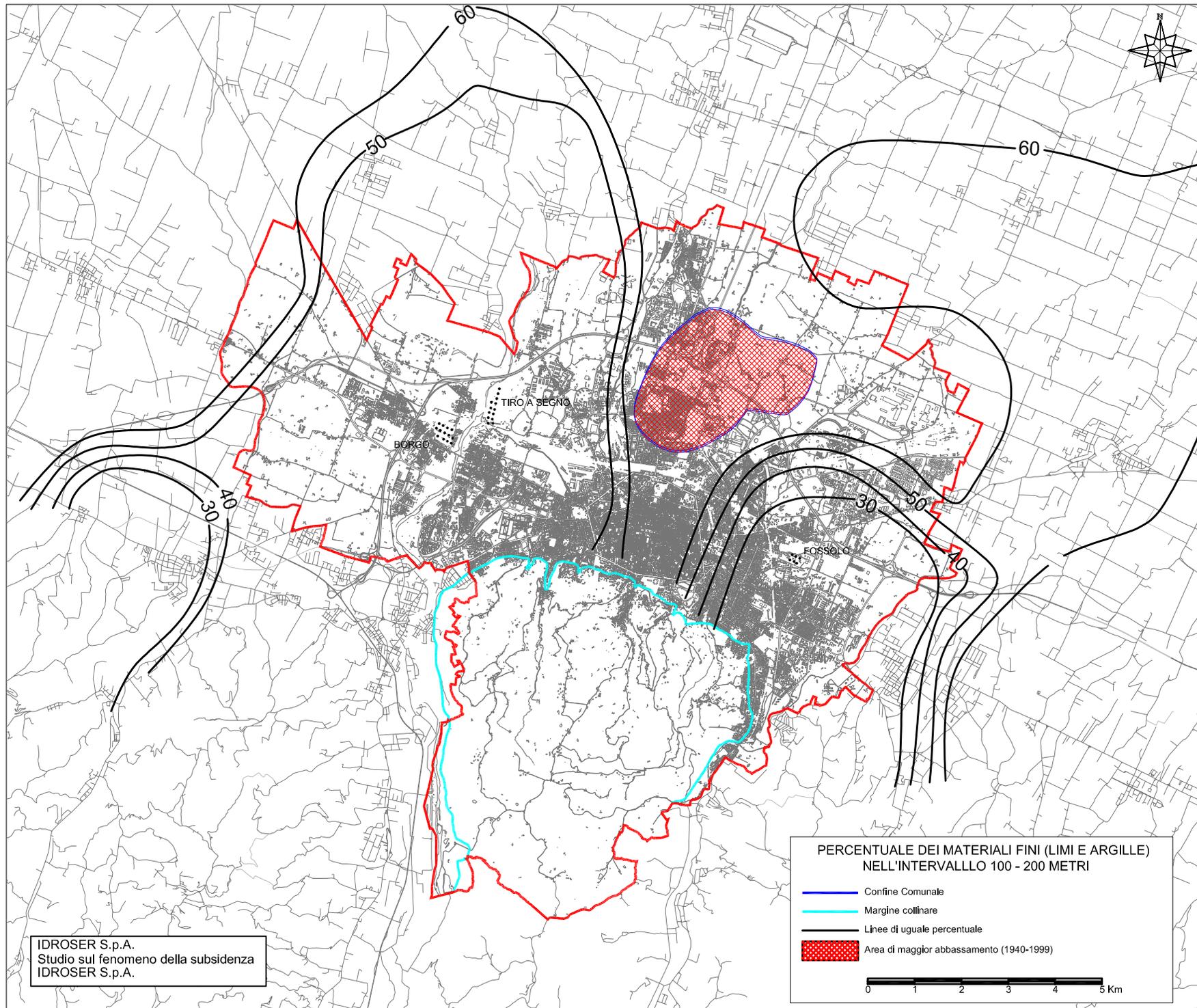


IDROSER S.p.A.
Studio sul fenomeno della subsidenza
IDROSER S.p.A.

**PERCENTUALE DEI MATERIALI FINI (LIMI E ARGILLE)
NELL'INTERVALLO 20 - 50 METRI**

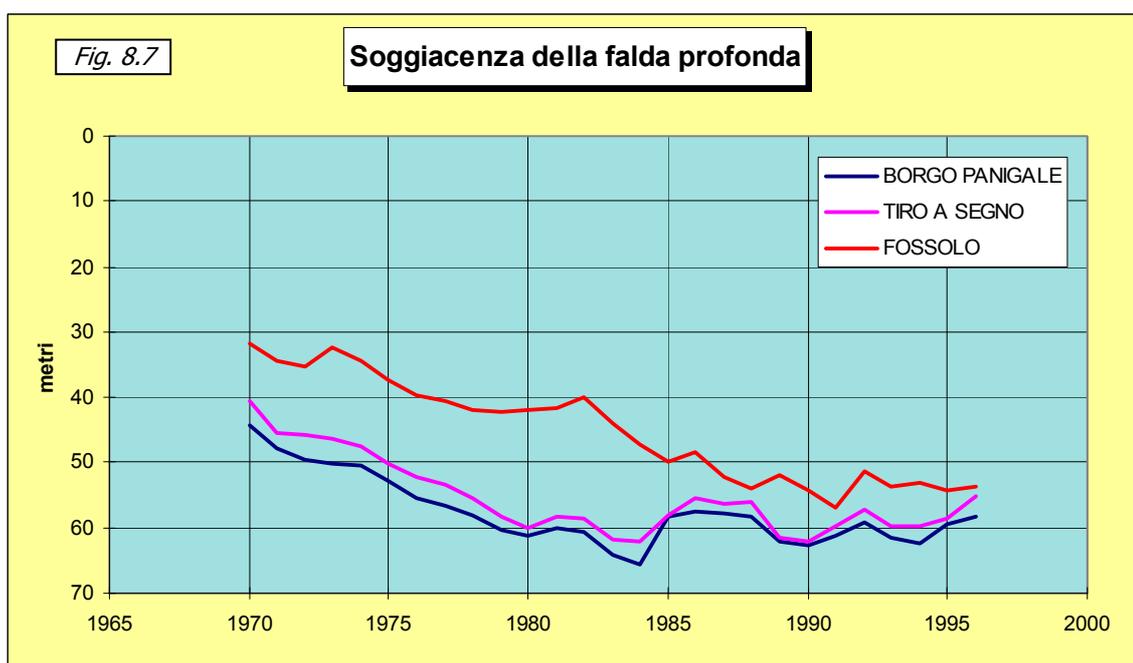
- Confine Comunale
- Margine collinare
- Linee di uguale percentuale
- Area di maggior abbassamento (1940-1999)

0 1 2 3 4 5 Km





Per quanto concerne il bilancio idrico delle conoidi appenniniche bolognesi i dati storici disponibili evidenziano come sino al 1985 si è assistito ad un costante abbassamento della superficie piezometrica delle falde captate soprattutto per usi civili ed industriali. Tale situazione è evidente nel diagramma seguente (Fig. 8.7) che riporta la soggiacenza media annua di alcuni pozzi delle centrali acquedottistiche attive sul territorio Comunale (Borgo Panigale, Tiro a segno sulla conoide del Reno e Fossolo in quella del Savena).



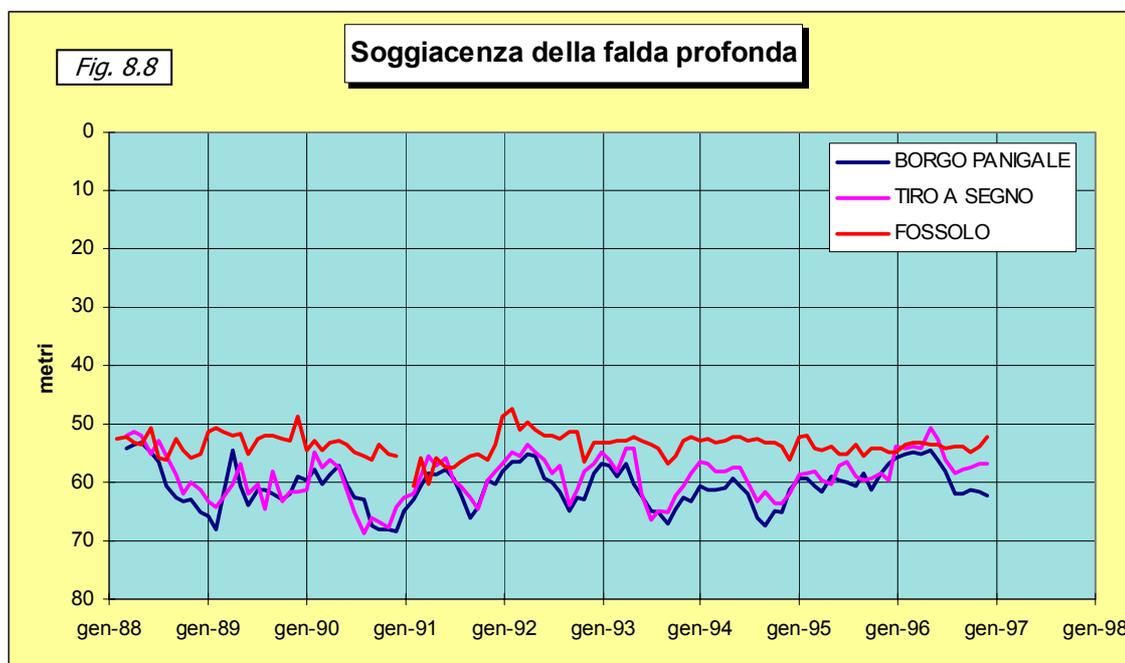
Tali dati confermano la presenza di abbassamenti annui medi tra 1970 e il 1985 variabili tra 1.4 m per Borgo e Tiro a segno e 1.2 m per la centrale acquedottistica di Fossolo. I valori di abbassamento annuo maggiori risultano pari a 3.6 m per Borgo (1971), 4.9 m per Tiro a segno (1971) e 3.9 per la centrale di Fossolo (1983).

A partire dal 1984-1985 si registra un arresto del trend di abbassamento generalizzato, collegato alle politiche di risparmio e di razionalizzazione nell'uso della risorsa idrica attivate in questi ultimi decenni.

Secondo quanto stimato nel documento "Criteri ed indirizzi per l'uso razionale e la tutela delle risorse idriche nel territorio della provincia di Bologna e della restante porzione del bacino del Fiume Reno", a cura della Regione Emilia-Romagna – dicembre 1999, il bilancio idrico presenta ancora un deficit tra prelievi e ricarica delle falde, che viene quantificato mediamente per l'area bolognese in circa 8 Mmc./anno.



In fig. 8.8 viene meglio dettagliato l'andamento della soggiacenza della falda profonda nei pozzi acquedottistici nell'intervallo 1988-1999, ricostruita su misurazioni mensili dei livelli, che conferma la loro sostanziale stabilizzazione.



8.3 GLI EFFETTI DELLA SUBSIDENZA A BOLOGNA.

le prime manifestazioni degli effetti della subsidenza sono state registrate a Bologna nel centro storico ed appare quasi emblematico che, nel corso degli anni '70, il campanello d'allarme sia scattato ad opera di uno dei simboli più riconosciuti della città di Bologna: la Torre degli Asinelli. Per la sua struttura architettonica, per le sue dimensioni ma anche per l'attenzione che le amministrazioni locali ad essa rivolgono, la Torre ha evidenziato un anomalo comportamento del sottosuolo su cui è fondata. La campagna di approfondimenti e di misurazioni che ne è derivata nella seconda metà degli anni '70, ha evidenziato che, ad un lento abbassamento del terreno di fondazione registrato "storicamente" secondo la direzione Est - Ovest, che ha determinato una leggera inclinazione della Torre verso la via Rizzoli, dovuto con ogni probabilità ad un naturale assestamento del sottosuolo provocato dal rilevantisimo sovraccarico determinato dal peso dell'edificio, si è sommato un ulteriore movimento indirizzato grosso modo secondo la direttrice Nord - Sud. La risultante di questi due movimenti simultanei del sottosuolo ha comportato una modifica della tendenza alla inclinazione della Torre, configurando un nuovo quadro dei movimenti di rotazione in atto sull'edificio aggiungendo una pendenza rivolta grosso modo verso via Zamboni.



Questa presa di coscienza di una modifica degli assetti del terreno attorno alla Torre ha spinto l'Amministrazione locale ad infittire la rete di monitoraggio sul monumento, ma ha anche avuto l'effetto di indagare le cause dell'insorgere di tale modifica estendendo il raggio di indagine a tutto il centro storico, e inquadrando, in modo sistematico, tutte le manifestazioni, dirette o indirette, di movimenti verticali del suolo. Contemporaneamente gli effetti della accelerazione della subsidenza nel tempo non hanno tardato a farsi sentire e in particolare si sono rivelati sulla maggior parte degli edifici ubicati lungo la via Zamboni. In particolare l'edificio monumentale della chiesa di S.Giacomo, a causa delle notevoli dimensioni, ha evidenziato un quadro fessurativo e di lesioni derivante da un movimento di abbassamento differenziale.

Di fatti l'accentuazione della subsidenza che si registra in direzione Nord, legato come detto all'accrescersi della potenza degli strati di terreni sensibili verso quella direzione, disegna in sostanza una curva di abbassamento del suolo crescente che causa dei cedimenti differenziali nelle strutture rigide quali sono gli edifici. Tra la fine degli anni '70 e gli anni '80 sono dunque visibili e noti gli effetti di questo fenomeno, testimonianza ne sono gli edifici che, in numero sempre crescente, rivelano fessurazioni e cedimenti nei propri elementi costitutivi.

Da sottolineare che i valori di distorsione angolare ($\Delta S/L$) rilevati a Bologna nel 1980 risultano pari a 1/1500 (Pieri e Russo, 1980), e quindi assai inferiori a limiti massimi tollerati dalle costruzioni ma che nel caso del centro storico di Bologna possono essere sufficienti a determinare lesioni e fessurazioni in relazione alle caratteristiche tipologiche e strutturali degli edifici coinvolti.

Tra le infrastrutture urbane coinvolte dalla subsidenza quelle idrauliche risultano nella maggior parte dei casi quelle più sensibili, ed in particolare canali, sistemi di irrigazione e fognature che possono perdere la loro funzionalità anche per assestamenti modesti ed in assenza di danni strutturali. Per quanto concerne le fognature non esistono studi che evidenzino danni riconducibili a tali fenomeni, mentre per quanto riguarda il reticolo idrografico superficiale vengono segnalati dal Consorzio della Bonifica Renana alcuni problemi di efficienza della rete di scolo della media e bassa pianura che possono essere amplificati dalla subsidenza ed incrementano di fatto il rischio idraulico. Nel territorio del Comune di Bologna in particolare problematiche di questo tipo sono state riscontrate per lo scolo Cannocchia superiore, immediatamente a nord dell'aeroporto.

8.4 MISURE E MONITORAGGI.

Come accennato in precedenza i problemi connessi con la subsidenza hanno manifestato i propri effetti a partire dalla seconda metà degli anni '70, ed è a quel periodo che risalgono i primi progetti e le prime iniziative volte a monitorare i movimenti verticali del suolo. Di seguito sarà fornita una breve cronistoria schematizzata delle ricostruzioni relative ai movimenti di abbassamento del suolo bolognese effettuate nel corso degli anni.



1887 – 1943 (Pieri L., Russo P., 1985): il primo approccio al problema ha indotto a quantificare il fenomeno della subsidenza naturale presente nell'area di studio. A questo scopo sono state reperite le misurazioni topografiche di precisione più antiche di cui si poteva entrare in possesso. La quota assoluta del livello del mare (l.m.) viene registrata da mareografi, strumenti di precisione atti allo scopo, che registrano la propria misura per un periodo minimo di 18,6 anni. Il mareografo fondamentale italiano è installato a Genova dal 1883. I dati riferiti a questo caposaldo assoluto sono stati registrati ed integrati, nel corso della costruzione di una rete di livellazione geografica di precisione, fino al 1902. Dal 1941 fu

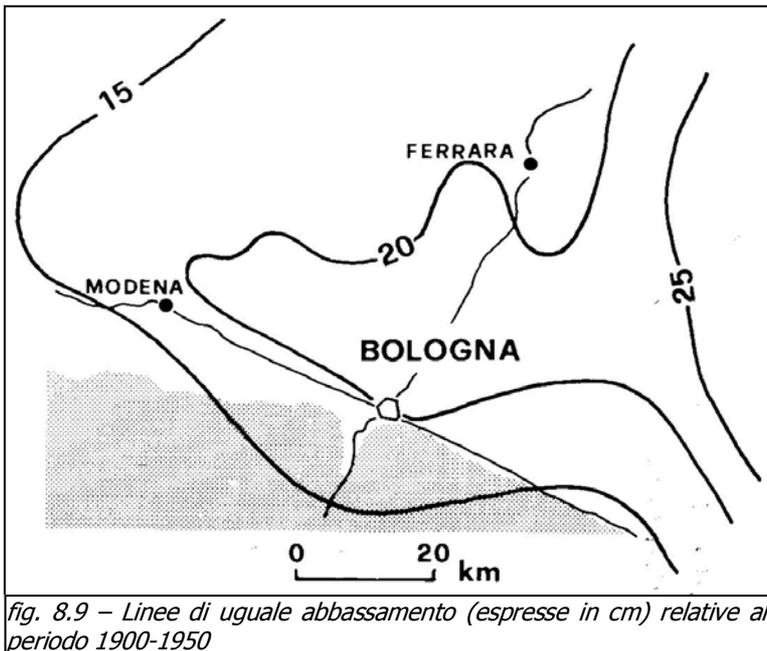
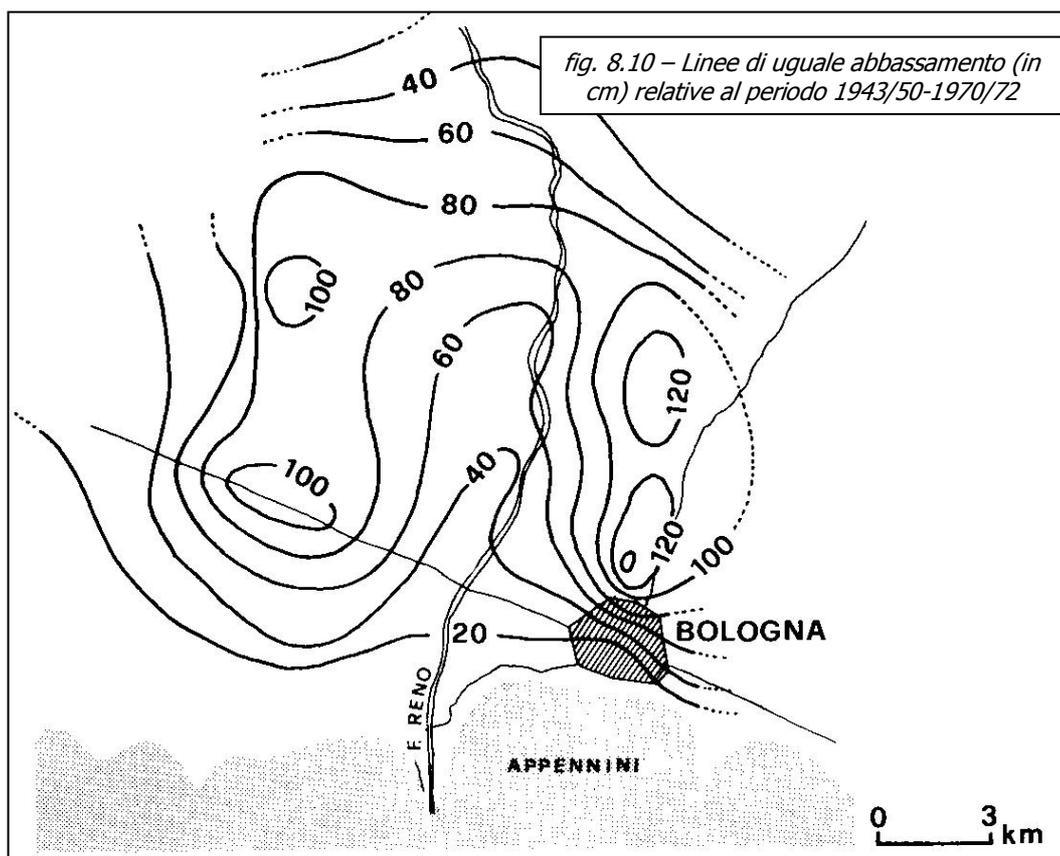


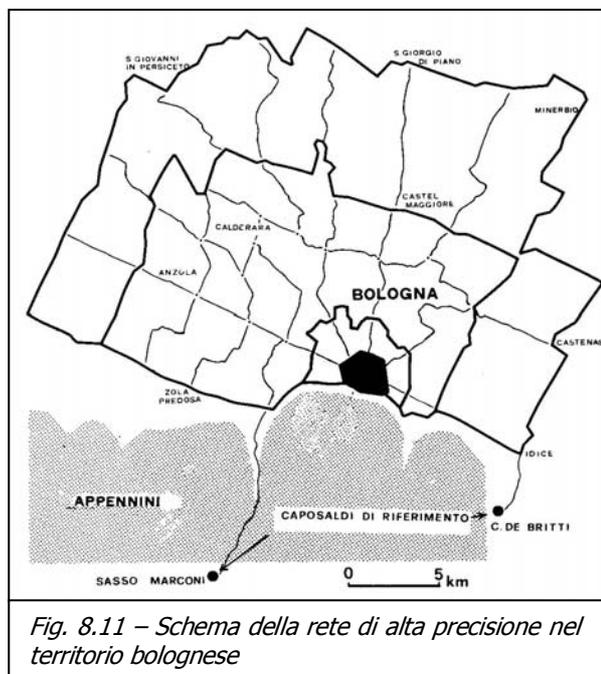
fig. 8.9 – Linee di uguale abbassamento (esprese in cm) relative al periodo 1900-1950

avviato un programma di ammodernamento e integrazione della rete così creata il quale fu portato a termine nel 1957. Con riguardo all'area bolognese, la prima campagna di misurazione fu effettuata nel 1887, mentre la seconda campagna nel 1943. Il confronto tra i due dati ha consentito di allineare il comportamento della pianura bolognese con quello della Pianura Padana in generale. Le registrazioni rilevano in tale periodo un abbassamento del suolo totale compreso tra i 15 e i 25 cm corrispondenti ad un ritmo annuo compreso tra i 0,2 e i 0,4 cm, che rappresenta quindi la quantificazione della subsidenza naturale dell'area bolognese (fig. 8.9).

1943 – 1972 (Pieri L., Russo P., 1985): i dati riferiti a questo periodo di tempo provengono dalle misurazioni effettuate dall'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) nel 1943-50 prima e nel 1970-1973 poi, a queste si aggiungono, quale verifica della tendenza generale, le livellazioni eseguite dal Catasto negli anni dal 1974 al 1976. L'esame di questi dati ha consentito l'elaborazione di una carta delle linee di uguale abbassamento del suolo espresse in cm (fig. 8.10). Si rileva una brusca accelerazione del fenomeno che in questo periodo ha registrato valori assoluti variabili dai 20 cm in prossimità del margine collinare, sino ad arrivare ad oltre 120 cm nella parte più settentrionale del territorio bolognese, con il raggiungimento del metro di abbassamento nel settore nord-occidentale. La velocità di subsidenza con riferimento annuale si è incrementata raggiungendo valori compresi tra il 0,6 cm/anno e i 4,1 cm/anno.



1973 – 1983 (Pieri L., Russo P., 1985): in questo periodo la ricostruzione del fenomeno deriva dall'analisi di più livellazioni e misure effettuati da diversi Enti ed in contesti differenti. Dal 1973 al 1978 il Catasto ha realizzato una campagna di misure; al 1973 risalgono livellazioni effettuate dall'IGM; tra il 1977 ed il 1978 il Comune di Bologna in collaborazione con l'Istituto di Topografia ha implementato le misure in tutto il centro storico con particolare attenzione alla zona della Torre degli Asinelli. La complessa e difficoltosa omogeneizzazione di tutti questi dati ha condotto a concludere che il processo in atto ha subito un ulteriore incremento. Per altro abbiamo visto come, proprio in questo lasso di tempo, si siano risentiti in maniera palese e preoccupante gli effetti del moto verticale sugli edifici del centro storico. La situazione così evolutasi ha spinto l'Amministrazione comunale a commissionare uno studio specifico ad una commissione di esperti. Obiettivo dello studio era il monitoraggio sistematico dei moti verticali del suolo attraverso l'installazione

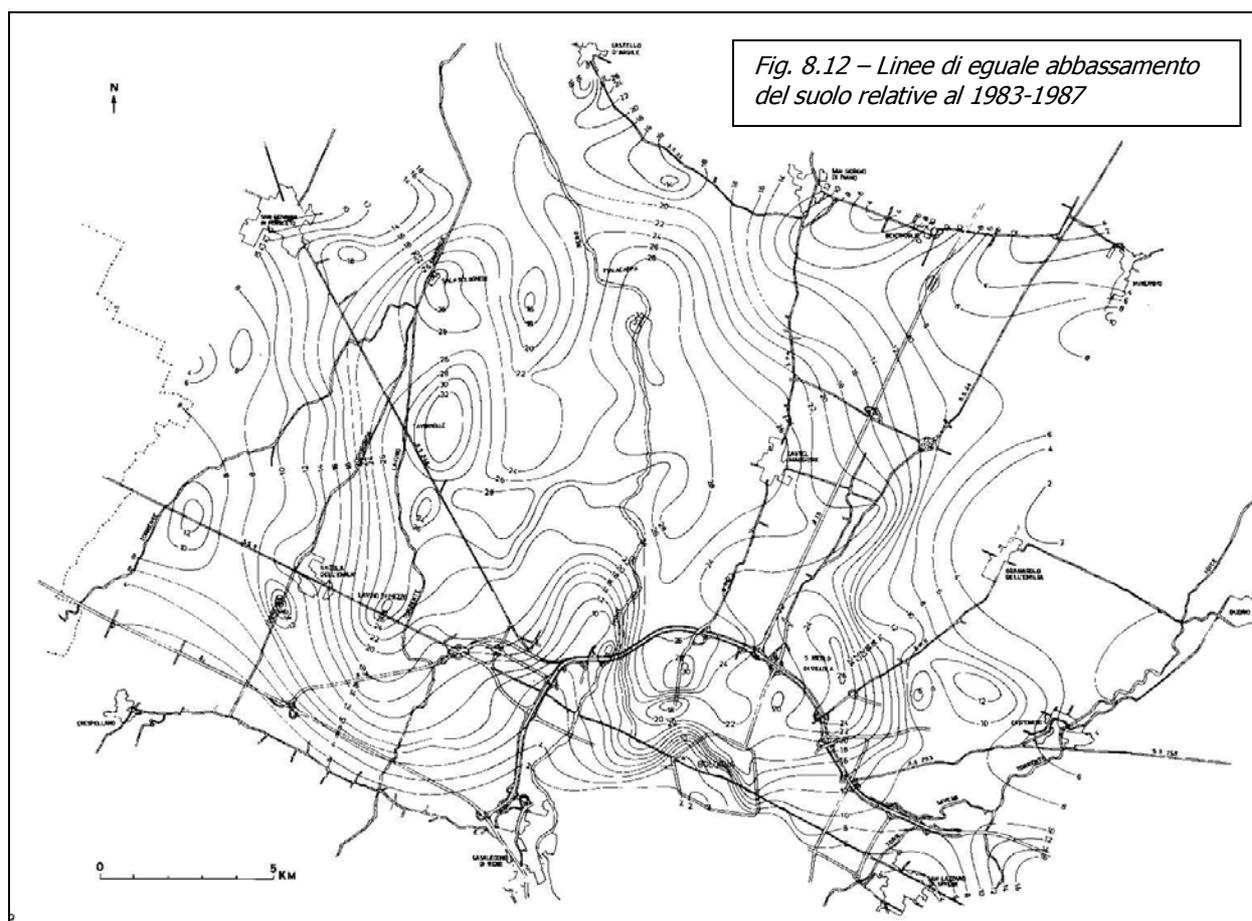




di una rete di controllo altimetrico, oltre che un approfondimento delle conoscenze relative alle cause dell'incremento del fenomeno ed a tutte le correlazioni possibili tra geologia, geomorfologia, stratigrafia, idrologia, idrogeologia e, naturalmente, uso del territorio. Lo studio è stato avviato nel 1980 e la prima misurazione di questa nuova rete di controllo, che ha esteso ed integrato quella esistente limitata essenzialmente al centro storico, è stata effettuata nel 1983. Il progetto di questa rete (fig. 8.11), ritenendo inopportuno collegarsi al caposaldo del mareografo di Genova a causa dell'elevata distanza, è stato condotto riferendosi a due capisaldi ritenuti sufficientemente stabili localizzati a Sasso Marconi ed a Castel dei Britti.

L'installazione dei complessivi 475 nuovi capisaldi è stata pensata prevedendo un infittimento della rete del centro storico, dove si è incrementata la densità delle misure, e una correlazione con le aree più distanti della pianura bolognese. La scelta delle ubicazione dei capisaldi ha privilegiato edifici storici che escludessero movimenti di assestamento del terreno di sottofondazione.

1983 – 1987: questo quinquennio racchiude il risultato del progetto appena illustrato. Ne deriva un quadro riassumibile in fig. 8.12 (Barbarella M., Pieri L., Russo P., 1990) con abbassamenti registrati tra il cm e i 32 cm.



Le zone maggiormente interessate sono localizzate ad Ovest – Nord/Ovest in un quadrante che va da Lavino di Mezzo a Sala Bolognese con un abbassamento di 28 - 32 cm; a Nord della città in posizione prossima alla sponda destra del Fiume Reno con il massimo registrato a Buonconvento



proprio sull'asta del Fiume (32 cm); all'interno della cintura della tangenziale all'altezza di via M. Polo anche qui con valori che superano i 30 cm; infine a Nord – Est della città, appena all'esterno dalla tangenziale in loc. S. Nicolò di Villola con punte di 26 cm. Le velocità registrate indicano valori massimi compresi tra i 6.5 e gli 8 cm/anno. La fig. 8.13 (Barbarella M., Pieri L., Russo P., 1990) focalizza l'attenzione sulla zona del centro storico dove risulta evidente un'anomalo infittimento delle isolinee dell'abbassamento nella direttrice Nord-orientale che corrisponde poi all'area percorsa da via Zamboni dove sono stati registrati i più grossi problemi statici sugli edifici.

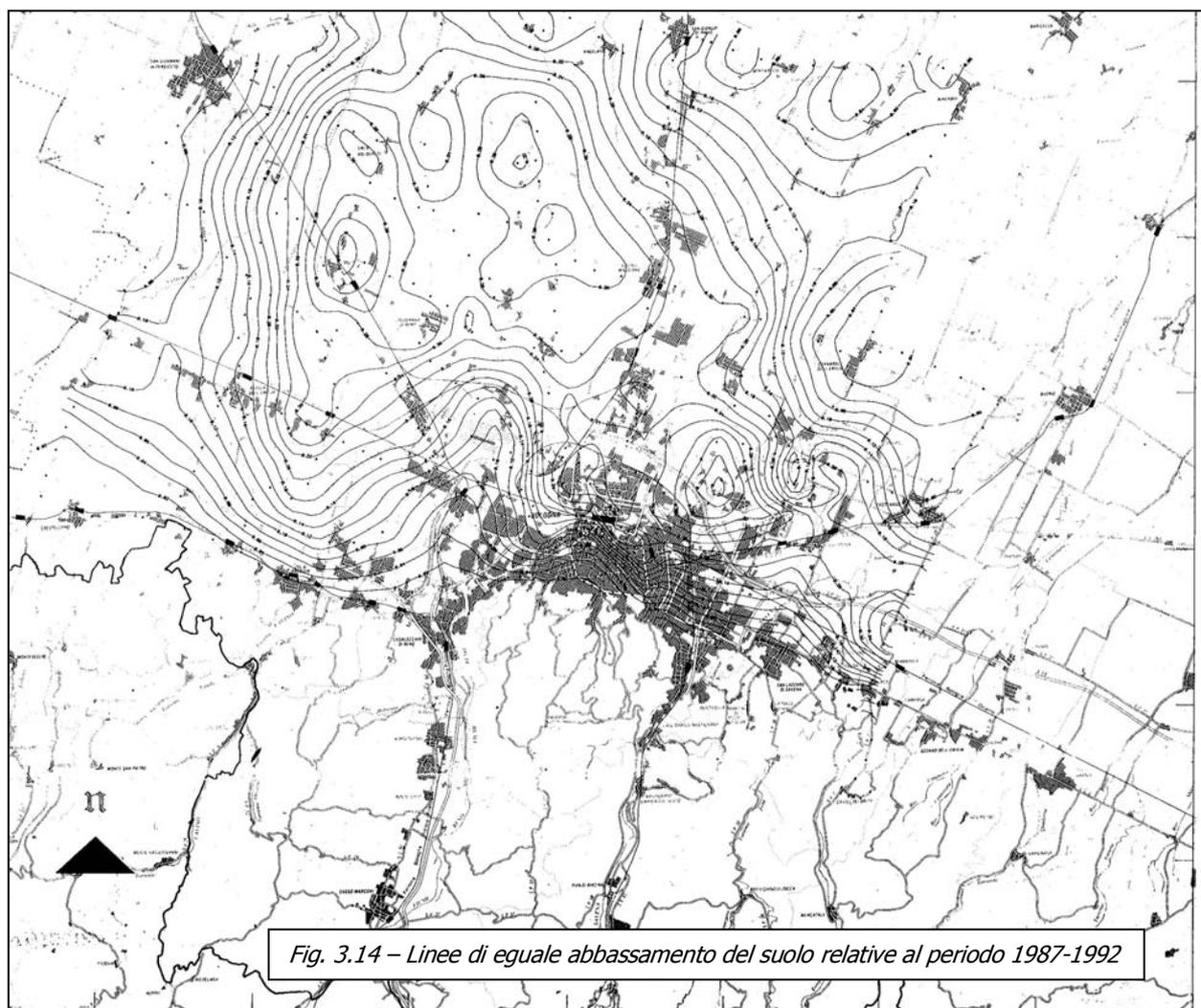


Fig. 8.13 – Linee di eguale abbassamento del suolo nel centro storico di Bologna relative al 1983-1987

Il confronto con i dati disponibili del passato, consente di concludere la disamina relativa a tale periodo registrando un moto verticale ampiamente in atto ma con una tendenza evolutiva di attenuazione del fenomeno. Di fatti, le misure su alcuni capisaldi preesistenti ha rivelato una velocità di abbassamento nel periodo compreso tra il 1970 ed il 1983 stimata in valori che hanno raggiunto anche i 15 cm/anno. Il periodo 1983 – 1987 presenta valori massimi nell'ordine degli 8 cm/anno.



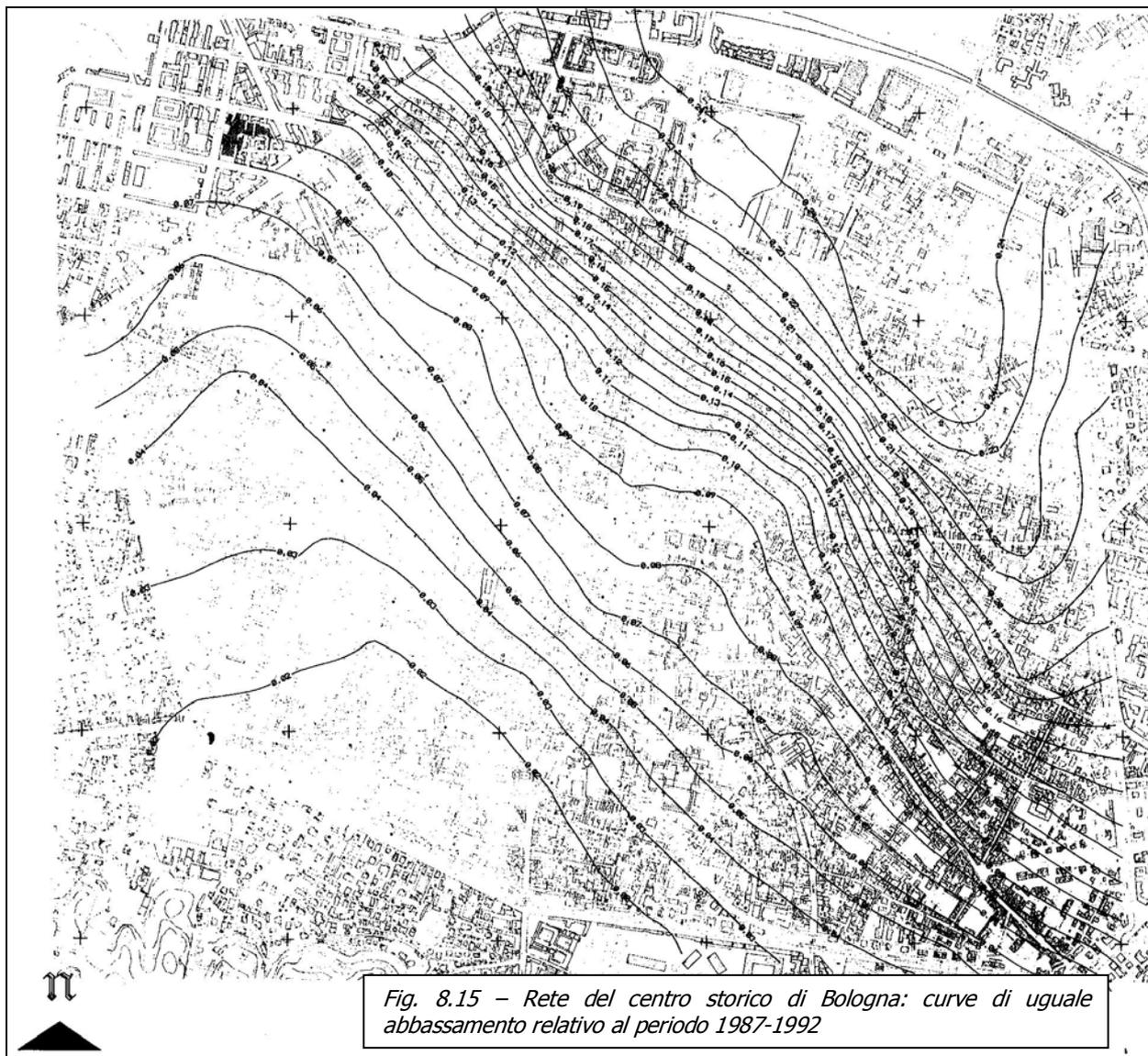
1987 – 1993: i risultati interessanti derivati dalle prime due campagne di misurazione hanno spinto l'Amministrazione comunale a proseguire la strada intrapresa. A partire dal 1990 è partita una nuova iniziativa che ha coinvolto il Comune e l'Istituto di Topografia, Geodesia, Geofisica Mineraria dell'Università di Bologna che hanno dato vita alla cosiddetta Rete di raffittimento che rappresenta appunto una implementazione delle stazioni di misurazione altimetriche rispetto alla rete realizzata tra il 1983 e il 1987 battezzata Rete Grande. La realizzazione della rete di raffittimento è stata ultimata nel 1991 e la campagna di misurazioni, effettuate sia sulla Rete grande che su quella nuova, è stata condotta nel 1992.



Ne è risultata la carta delle linee di uguale abbassamento misurato tra il 1987 e il 1992 relativa all'intera rete considerata Fig. 8.14 nonché la carta che focalizza i rilievi osservati ed elaborati con riferimento al centro storico Fig. 8.15. L'osservazione di queste elaborazioni fa rilevare che in questo arco di tempo l'abbassamento del suolo si è verificato in un range compreso tra pochi cm e un massimo di 36 cm secondo una velocità media di circa 7 cm/anno. La localizzazione dei massimi abbassamenti conferma quanto rilevato in occasione delle misure realizzate sulla rete grande con le seguenti zone



particolarmente colpite dal fenomeno: Tavernelle, Sala Bolognese, Buonconvento – Malacappa, S.Nicolò in Villola. Il centro storico si conferma subsidente con valori di abbassamento compresi tra i 2 e i 24 cm, e addensamento delle isolinee lungo la direttrice Sud –Est / Nord – Ovest.



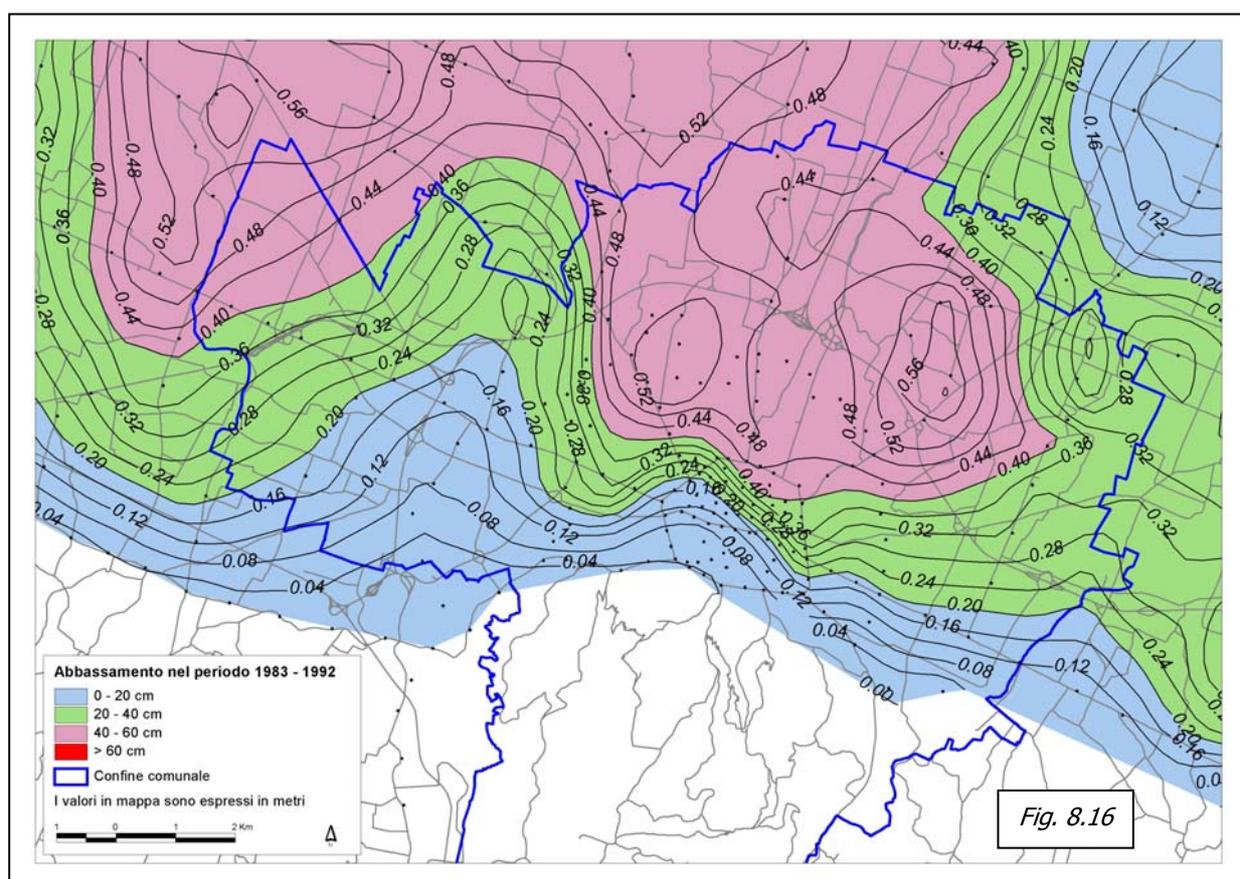
A completamento delle osservazioni risalenti a questo periodo è interessante osservare la risultante cartografica dei dati raccolti tra il 1983 ed il 1993 elaborata dall'Ufficio Suolo ed attività estrattive del Comune di Bologna. La Carta delle curve di uguale abbassamento (fig. 8.16) evidenzia i movimenti del suolo delle zone indagate. Particolarmente estesa risulta l'area in subsidenza intorno al conoide del Reno, che comprende i massimi valori di subsidenza totale (ampie aree misurano abbassamenti di 5-6 cm all'anno). Meno definito appare il complesso subsidente dei conoidi Savena-Idice, parzialmente al di fuori dell'area in esame.

La subsidenza assoluta arca difficoltà al sistema di scolo delle acque in pianura, in particolare ove le pendenze morfologiche sono molto basse e ove i corsi d'acqua sono pensili.



Un forte subsidenza differenziale interessa l'area del centro storico di Bologna, in particolare nella porzione est e nord est della città (Via Zamboni e Via Indipendenza), mentre lo stesso fenomeno nel lato Ovest presenta un gradiente più modesto.

La subsidenza differenziale può provocare lesioni su edifici, e in particolare sul patrimonio edilizio storico, con danni anche molto pronunciati.



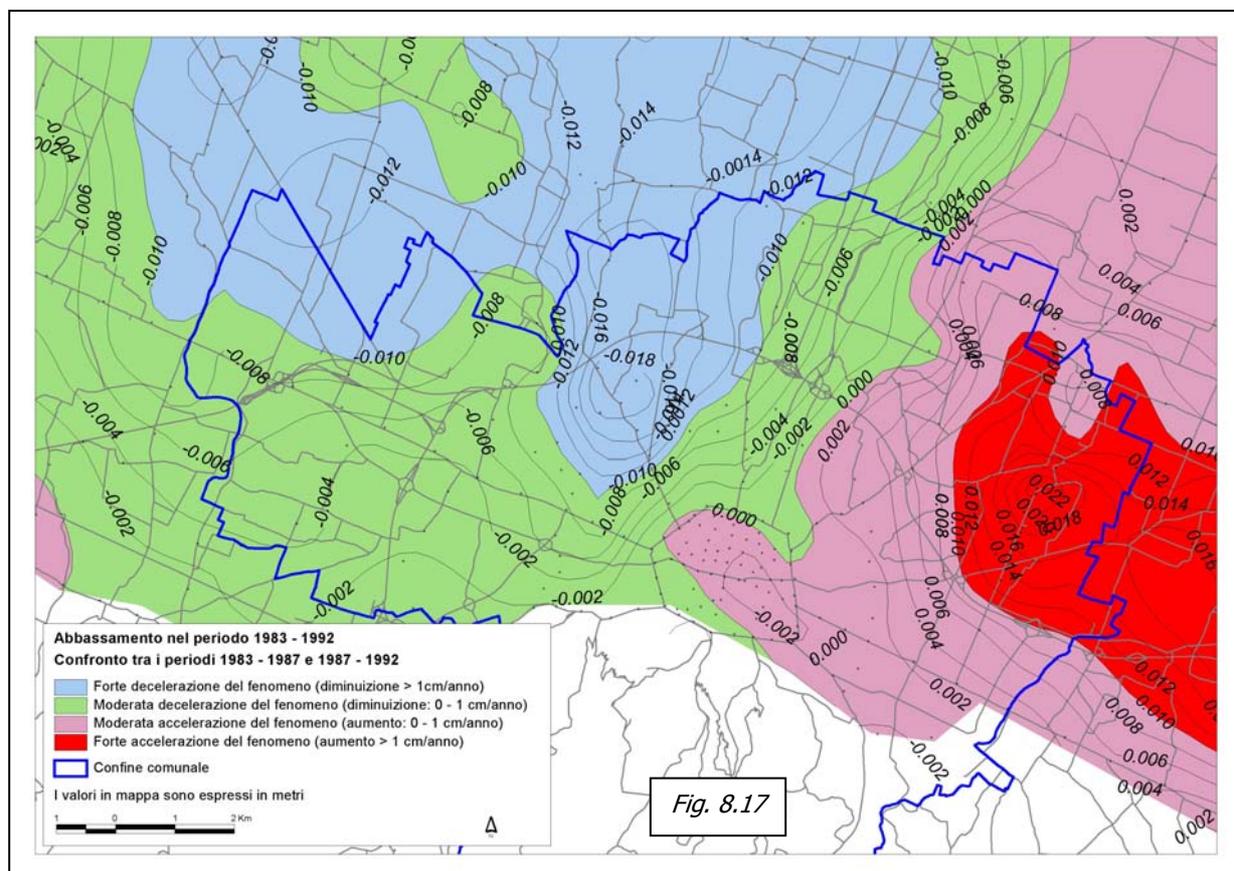
E' stato possibile anche valutare l'evoluzione temporale dei movimenti di abbassamento, avendo a disposizione tre rilievi effettuati negli anni 1983, 1987, 1992 e confrontando la velocità media annuale del periodo 1983-1987 e 1987-1992: si determinano infatti aree che mostrano rallentamento della velocità ed altre aree che mostrano aumento della velocità di subsidenza. La distribuzione spaziale della variazione di velocità è rappresentata nella Carta delle curve di ugual variazione di velocità media annua tra i periodi 1983-1987 e 1987-1992 (8.17).

A titolo esemplificativo, l'isolinea 4 mm indica che la velocità di abbassamento del periodo 1987-1992 è aumentata di 4 mm all'anno rispetto al periodo precedente (1983-1987); viceversa per l'isolinea -4 mm, ove si è verificata una diminuzione di velocità.

Dell'area del comune di Bologna, comprendente 101 km², un 64,2% del territorio presenta un rallentamento del fenomeno della subsidenza, concentrato nella zona ovest, mentre un 35,8%, posizionato nella zona est, evidenzia una crescita del fenomeno. Quanto emerge può essere messo in



relazione con l'evoluzione piezometrica delle falde acquifere: nelle aree ovest la depressione piezometrica delle falde profonde si è ormai stabilizzata, con lievi oscillazioni, a 40-50 metri di profondità, mentre a est l'apertura di nuovi punti di prelievo per il soddisfacimento dei fabbisogni idrici ha portato ad un approfondimento delle falde profonde molto marcato.



1993 – 1999: questo arco di tempo ha visto un'ulteriore integrazione ed implementazione della rete di controllo altimetrica esistente. Agli oltre 411 Km di linee di livellazione comunale si sono aggiunti i 216 Km di linee delle Rete Regionale di pertinenza del territorio comunale, i 280 Km istituiti dall'Autorità di Bacino del Fiume Reno messi in essere nel periodo 1995 – 1997 ed i 153 Km appartenenti alla Rete Provinciale realizzata quale raffittimento delle Rete Regionale. Un protocollo d'intesa siglato dalla provincia di Bologna, il Comune di Bologna, la SEABO, l'AMI e l'Autorità di Bacino del Fiume Reno nel corso del 1999 ha dato avvio ad una campagna di misurazione realizzata dall'ARPA. Questo risulta l'aggiornamento più recente ma anche il più documentato essendo stato effettuato su di una superficie complessiva di 1.894 Km² per uno sviluppo complessivo di 1.061 Km di collegamento dei 1.046 capisaldi totali misurati. La campagna ha anche compreso la verifica dei capisaldi più datati nell'intento di verificarne attendibilità e precisione delle misure. Le livellazioni si sono svolte tra l'agosto ed il novembre del 1999. La verifica e l'elaborazione della grossa mole dei dati in tal modo acquisita ha consentito di sintetizzare le informazioni acquisite attraverso cartografia tematica, focalizzando



l'interesse verso l'area del territorio comunale e del suo immediato intorno, la fig. 8.18 suddivide la pianura in aree caratterizzate da classi di abbassamento totale registrato nel periodo 1983 – 1999, mentre la fig. 8.19 riporta la visualizzazione 3d del fenomeno.

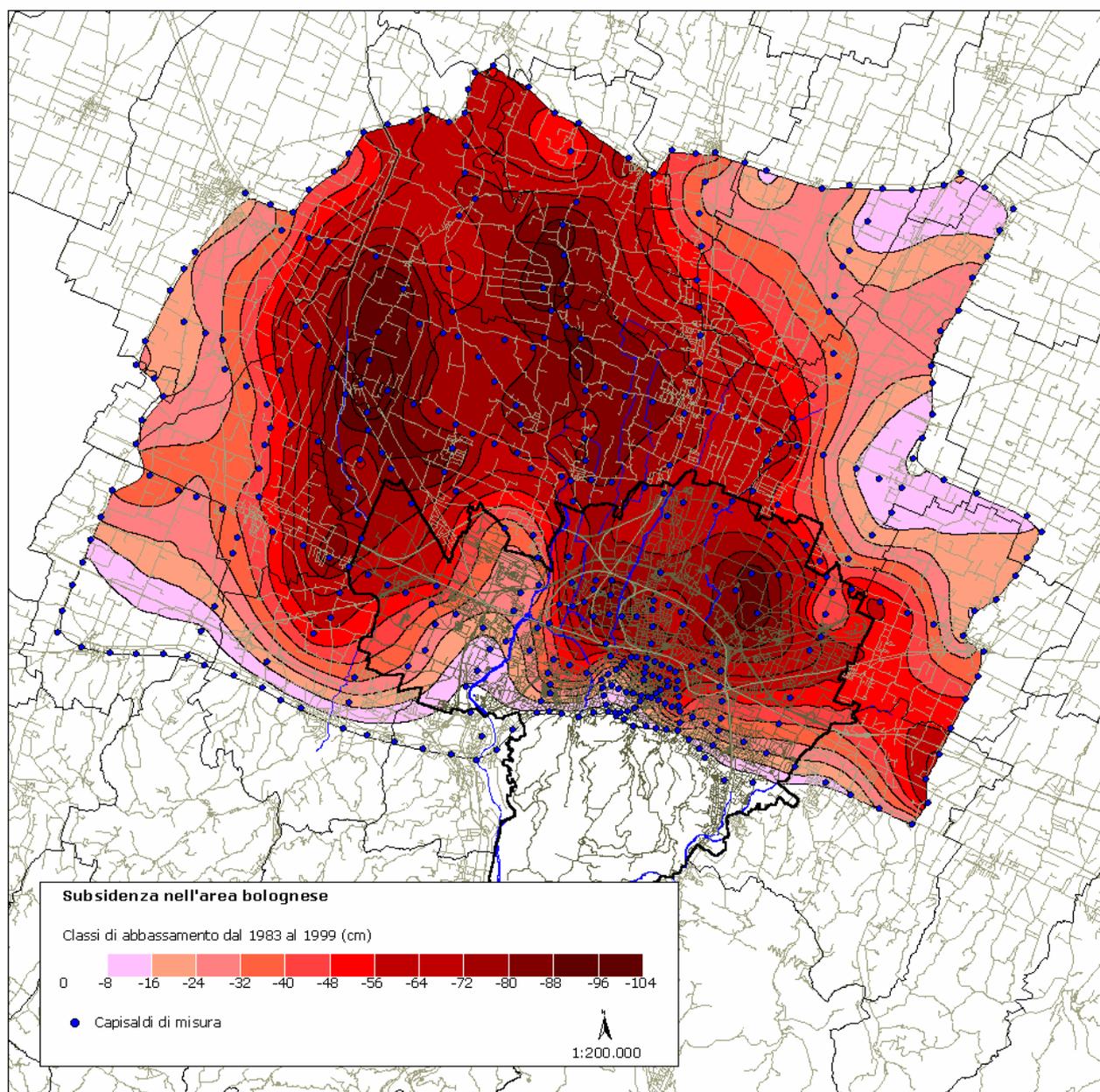


Fig. 8.18 – Subsidenza nell'area Bolognese (1983-1999)

SUBSIDENZA 1983-1999

Vista 3D - Abbassamenti del suolo in cm

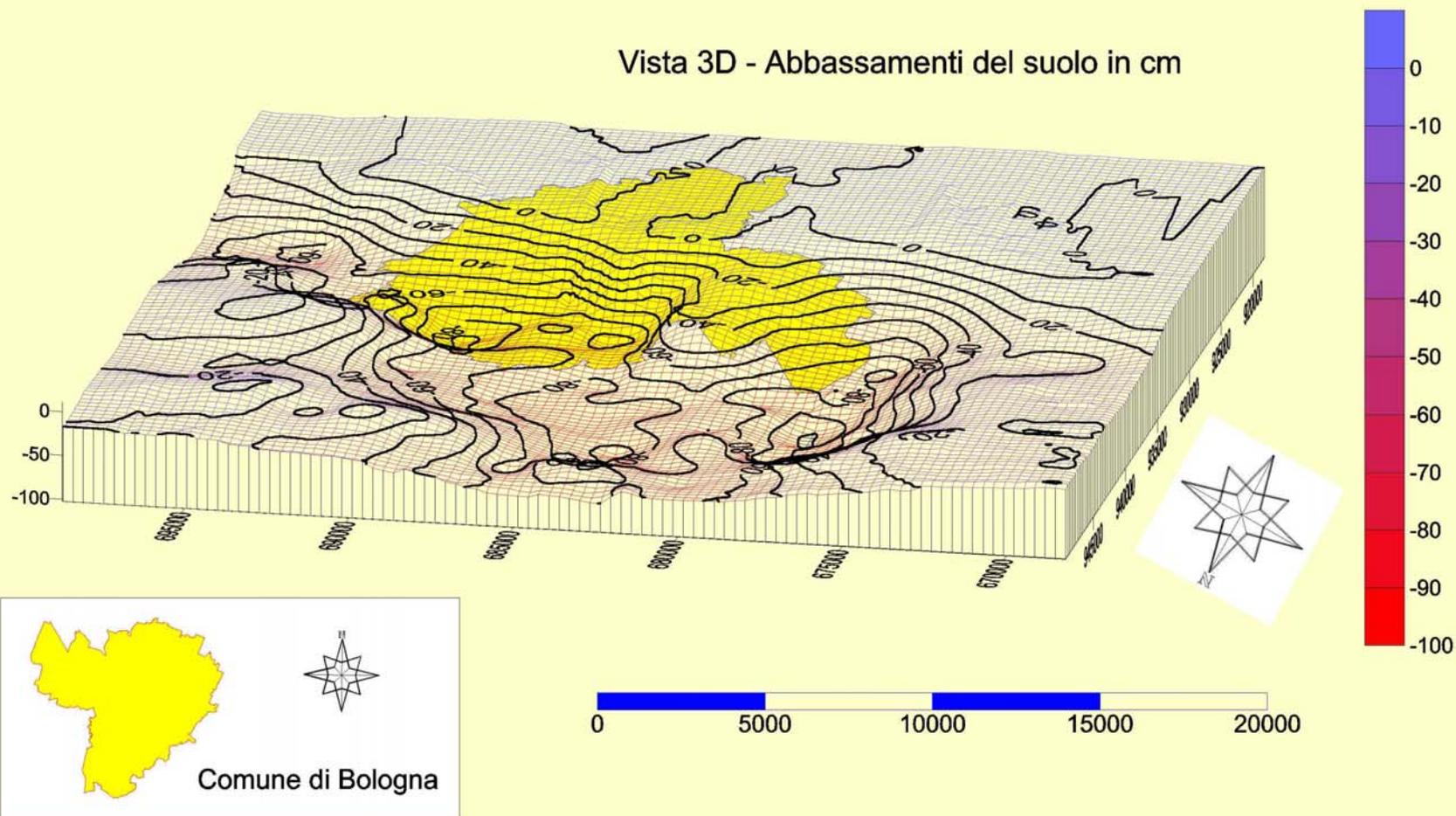


Fig. 8.19 - Vista 3d dell'abbassamento del suolo nell'area Bolognese (1983-1999)



Complessivamente si registrano sul territorio provinciale dal 1983 valori massimi di abbassamento che superano di poco il metro, testimoniando una continuazione del fenomeno della subsidenza. Le punte massime si rilevano lateralmente alla conoide del Fiume Reno, in prossimità dei centri abitati di Calderara di Reno ed Argelato, e nel Comune di Bologna immediatamente a Nord del centro storico in località Corticella (> 80 cm) e nel quartiere Savena in prossimità dei campi pozzi acquedottistici esistenti (> 88 cm).

Facendo riferimento all'area di analisi identificata da una poligonale chiusa che unisce i capisaldi esterni della rete di livellazione di area pari a circa 466 Km², si è quindi eseguita una valutazione percentuale delle superfici interessate dal fenomeno della subsidenza per classi di abbassamento totale, ottenendo i risultati riportati nella tabella seguente.

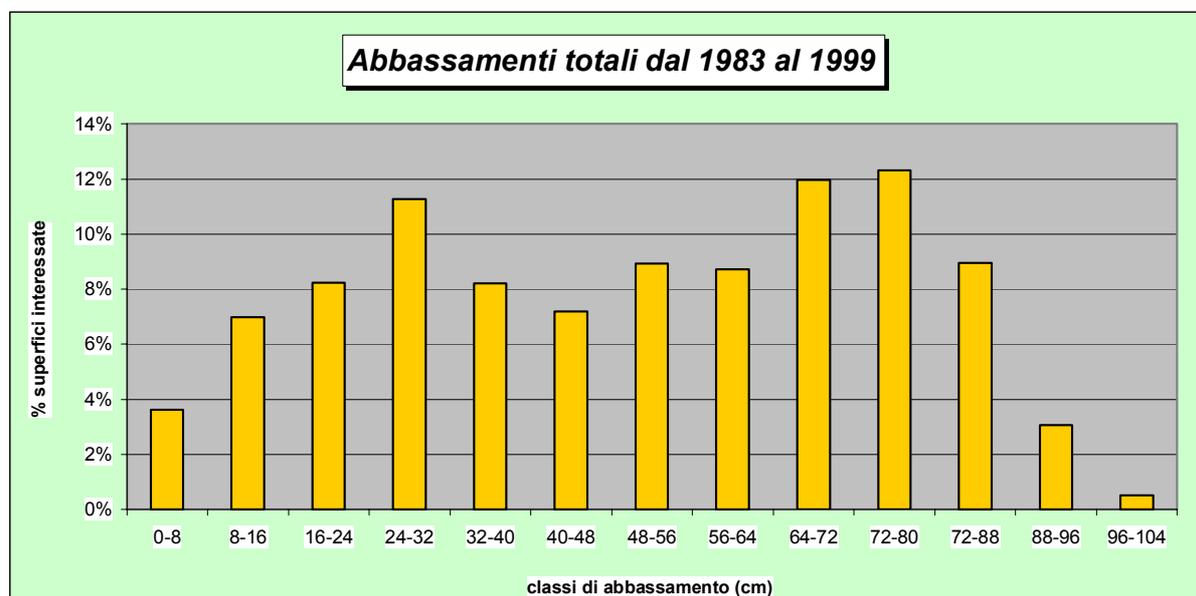


Fig. 8.20 – Abbassamenti totali dal 1983 al 1999

Si evidenzia quindi che oltre il 50% dell'area esaminata risulta caratterizzata da abbassamenti superiori a 50 cm.

Per quanto concerne le velocità di abbassamento registrate nell'intervallo 1992 e 1999 (Fig. n°8.21), si registra una sensibile riduzione, con valori massimi di poco superiori a 4,5 cm/anno che coinvolgono direttamente le aree prima citate, ed inferiori a quelli relativi al periodo precedente che presentava valori massimi di circa 7 cm/anno. Si registrano velocità medie ponderate in riferimento alle superfici coinvolte che vanno da 3,8 cm/anno del periodo 1987-1992 a 2,4 cm/anno del periodo 1992-1999.

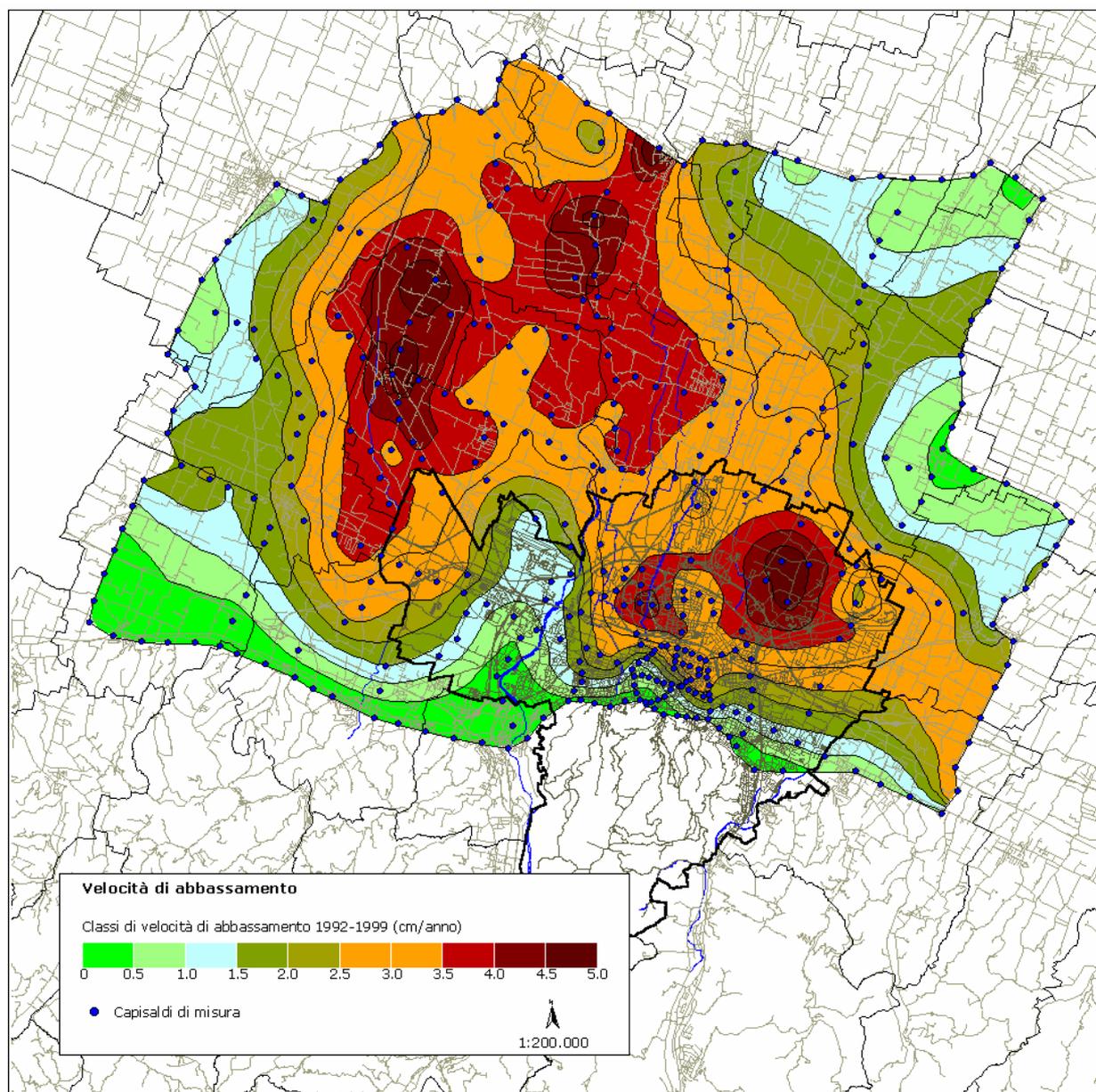


Fig. 8.21 – Velocità di abbassamento (1983-1999)

Significative risultano le variazioni di velocità di abbassamento a partire dai valori di velocità misurati negli intervalli temporali 87/92 e 92/99. Le variazioni tra le velocità medie annuali registrate nei periodi 1987-1992 e 1992-1999, (Fig. 8.22), indicano un rallentamento della subsidenza con valori di velocità che, nelle zone a maggior abbassamento, supera il valore di 2,4 cm/anno. E' significativo a tale proposito riportare nella fig. 8.23, il confronto tra le percentuali di aree coinvolte da variazioni delle velocità nei tre intervalli temporali definiti (1983-1987, 1987-1992, 1992-1999).

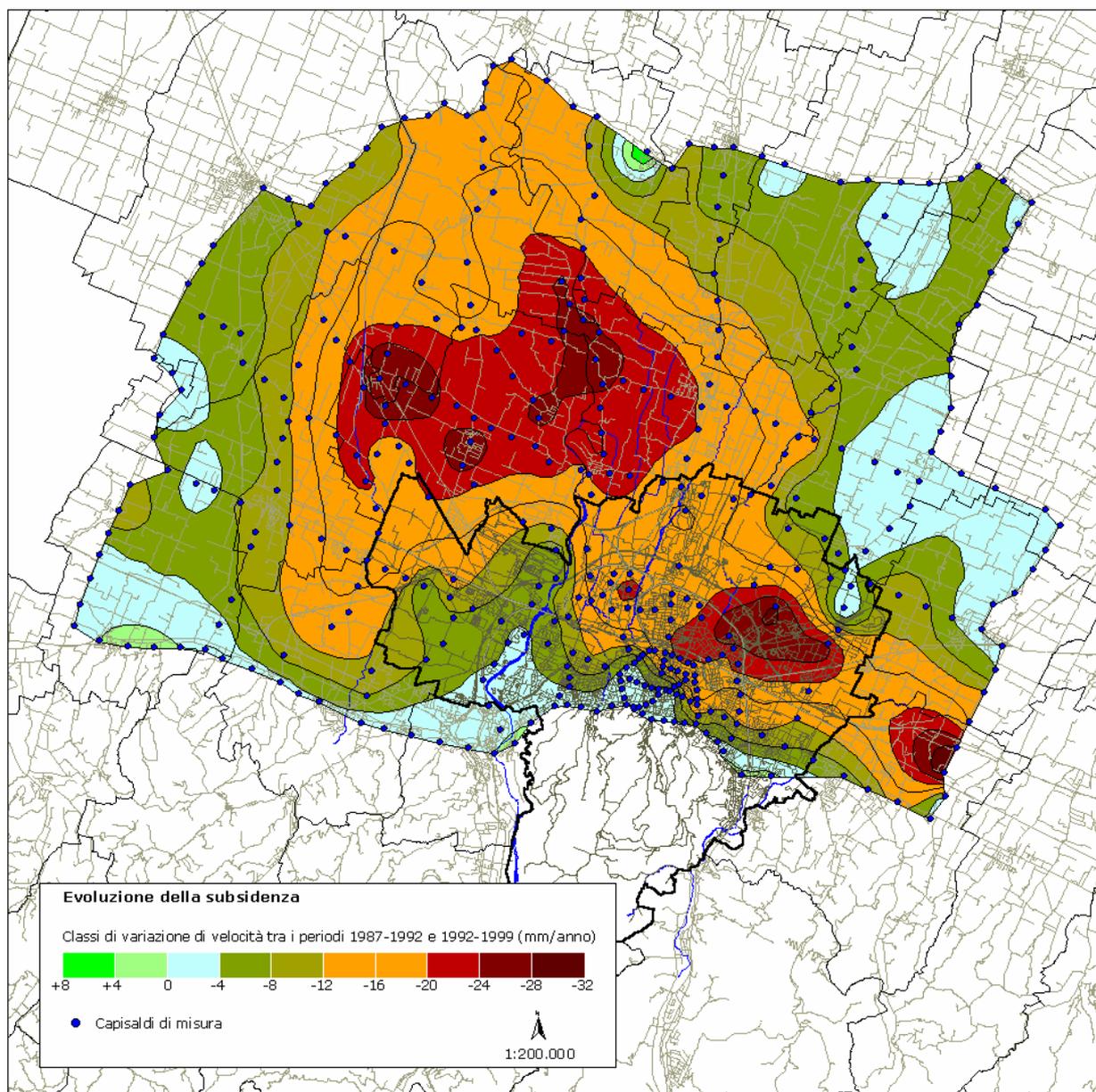
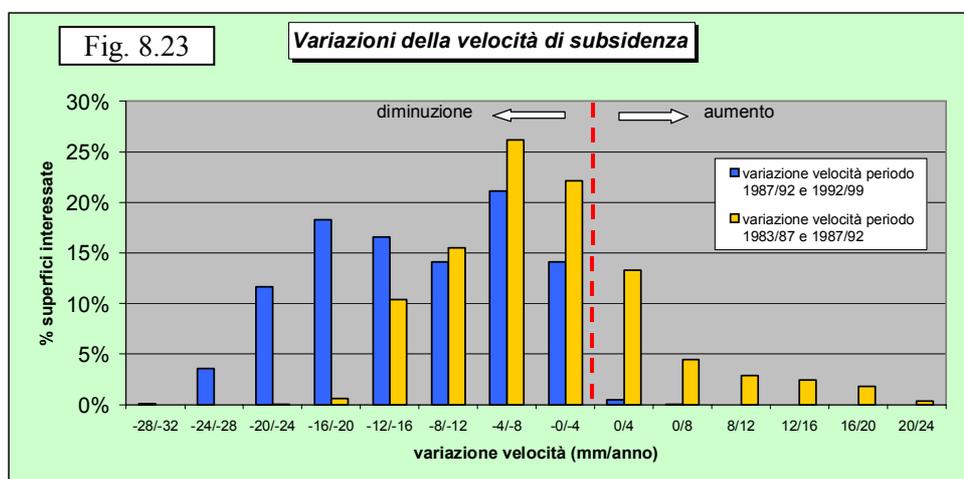


Fig. 8.22 – Evoluzione della subsidenza

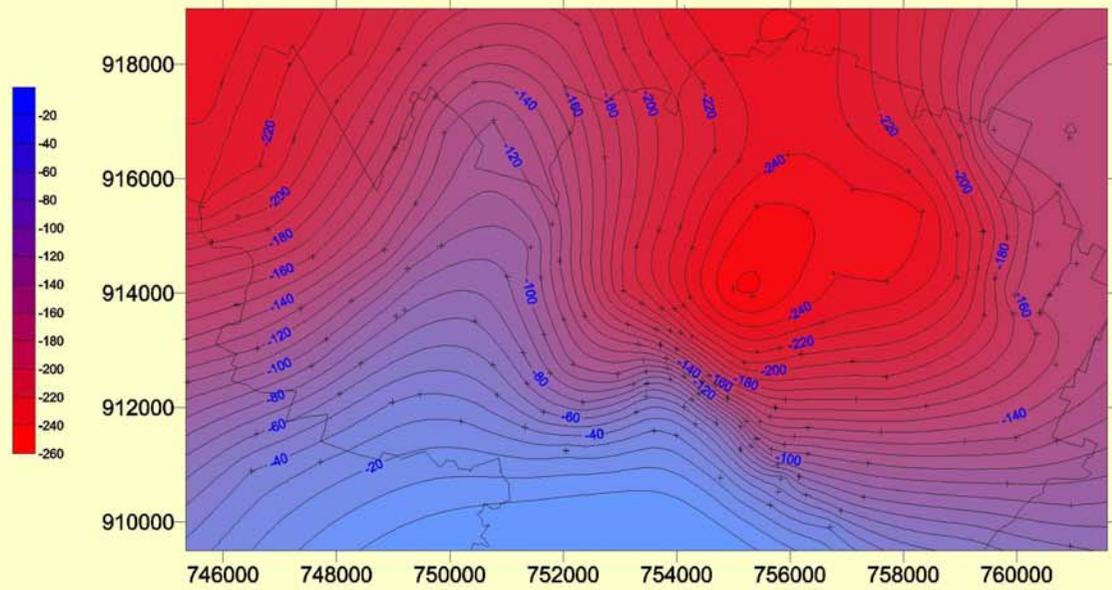




8.5 CONCLUSIONI

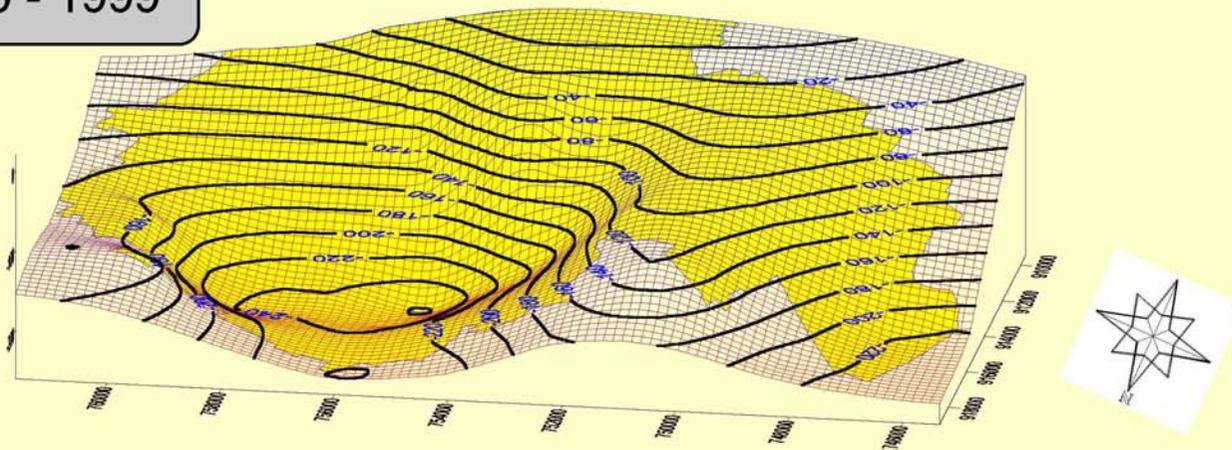
Le conclusioni che si possono raggiungere dalla disamina dei dati e dalle elaborazioni eseguite, rafforzano gli elementi emersi dai precedenti studi: i moti verticali del suolo bolognese procedono a ritmi sostenuti con una concentrazione nelle aree prossime agli assi Tavernelle – Sala Bolognese, Bonconvento – Malacappa, San Sisto – Dozza. Le punte massime si registrano lateralmente al Fiume Reno in prossimità del Comune di Calderara di Reno e a quello di Argelato, così come a Nord del centro storico di Bologna in località Corticella con approfondimenti rilevati pari a 80 cm negli ultimi 15 anni; analoga situazione si registra nella zona Est della città, quartiere Savena, in prossimità del campo pozzi per approvvigionamento acquedottistico. Gli ultimi dati però evidenziano una tendenza al rallentamento del fenomeno, infatti la velocità del movimento registrata nel periodo 1992 – 1999 raggiunge valori massimi dell'ordine dei 4,5 cm/anno per le zone maggiormente interessate e più sopra citate, a fronte di un ritmo di 7 cm/anno rilevato nel periodo precedente (1987 – 1992). Analogo comportamento si è registrato con riferimento alla velocità media ponderata che è attestata sui 2,4 cm/anno a fronte dei 3,8 cm/anno degli anni precedenti.

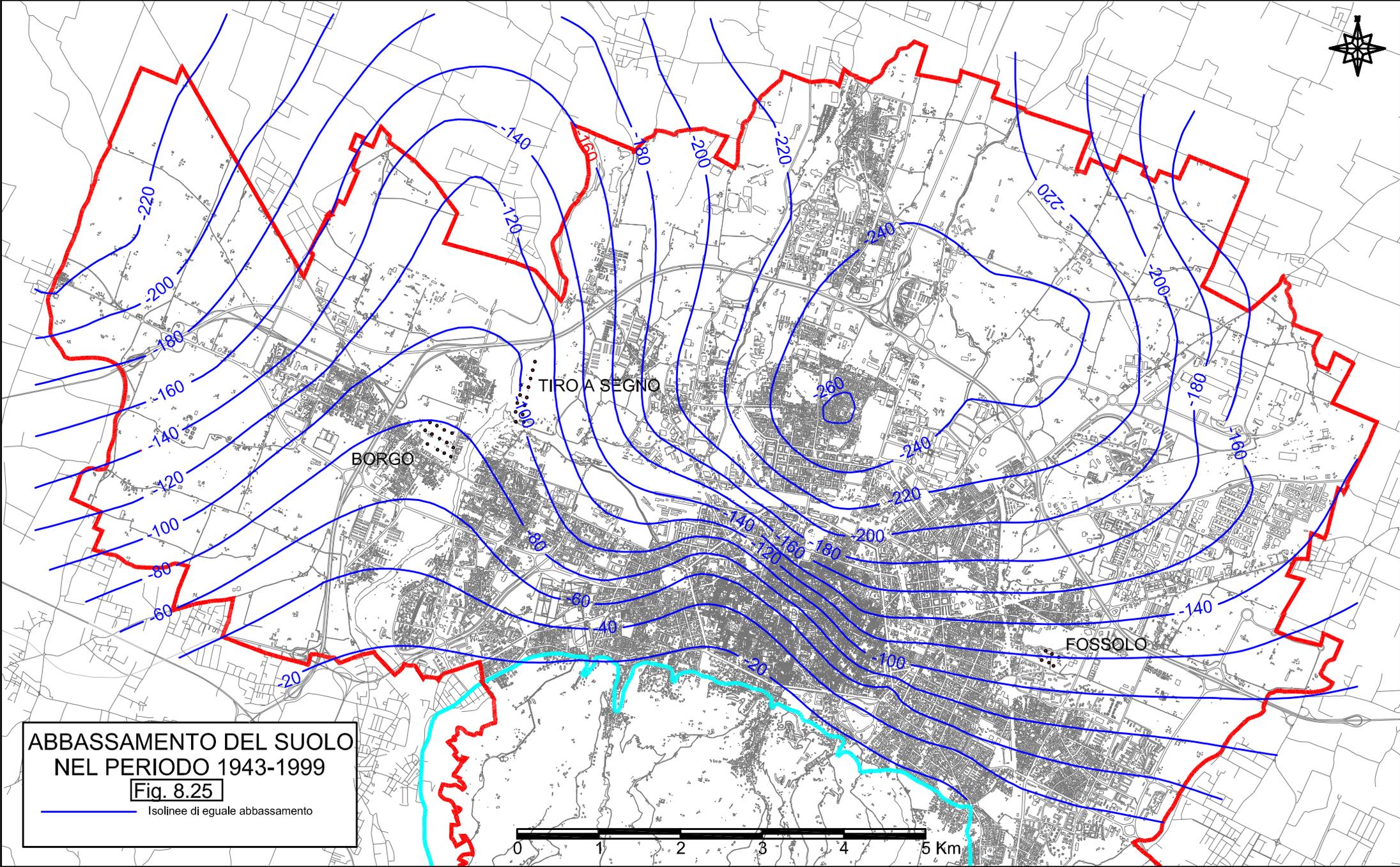
Sulla base dei dati raccolti ed elaborati si sono stimati (Fig. 8.24 e 8.25) i valori di abbassamento totali nel periodo compreso tra il 1940 e il 1999, sottolineando che per il periodo 1973 – 1983 non disponendo di elaborazioni territoriali complessivi si sono ipotizzate le velocità di abbassamento registrate per il periodo successivo immediatamente 1983 - 1987. I risultati ottenuti evidenziano valori massimi di abbassamento localizzati nel settore nord-orientale del territorio comunale che raggiungono i 240-270 cm in corrispondenza della zona caratterizzata dalla maggiore percentuale di depositi coesivi nell'intervallo di profondità 20-200 metri, che sono i terreni che maggiormente risentono del fenomeno. Particolarmente elevato risulta il gradiente di abbassamento nella zona del centro storico, responsabile dei dissesti degli edifici registrati in tale posizione.



SUBSIDENZA 1940 - 1999

Fig. 8.24





**ABBASSAMENTO DEL SUOLO
NEL PERIODO 1943-1999**

Fig. 8.25

— Isolinee di eguale abbassamento





9. SISMICA E NEOTETTONICA

9.1 GENERALITA'

L'analisi eseguita si pone l'obiettivo di raccogliere le informazioni esistenti relative agli eventi sismici che hanno direttamente interessato il territorio Comunale analizzando le strutture tettoniche che influenzano tali fenomeni. Si è affrontato il tema della classificazione sismica del territorio e i risultati degli studi recenti eseguiti dal Servizio Sismico nazionale finalizzati alla redazione di una nuova proposta di riclassificazione.

Si riporta di seguito la scala macrosismica MERCALLI-CANCANI-SIEBERG, direttamente connessa agli effetti che i terremoti producono sul territorio, al fine di consentire una migliore valutazione di quanto sarà detto nei paragrafi successivi relativamente ai terremoti che hanno direttamente coinvolto l'area Bolognese.

SCALA MERCALLI-CANCANI-SIEBERG

I°----> IMPERCETTIBILE: Rilevata solo dagli strumenti sismici.

II°---> MOLTO LIEVE: Avvertita quasi esclusivamente negli ultimi piani delle case, da singole persone particolarmente impressionabili che si trovano in assoluta quiete.

III°--> LIEVE: Avvertita da poche persone nelle case, con vibrazioni simili a quelle prodotte da un vettura veloce, senza essere ritenuta scossa tellurica, se non dopo successivi scambi d'opinione.

IV°---> MODERATA: Avvertita da molte persone all'interno delle case e da alcune all'aperto, senza però destar spavento, con vibrazioni simili a quelle prodotte da un pesante autotreno. Si ha un tremolio di suppellettili e oggetti sospesi, scricchiolio di porte e finestre, tintinnio di vetri e qualche oscillazione di liquidi nei recipienti.

V°----> ABBASTANZA FORTE: Avvertita da tutte le persone nelle case e da quasi tutti nelle strade con oscillazione di oggetti sospesi e visibili movimenti di rami e piante, come sotto l'azione di un vento moderato. Si hanno suoni di campanelli, irregolarità nel moto dei pendoli degli orologi, scuotimento di quadri alle pareti, possibile caduta di qualche soprammobile leggero appoggiato alle pareti, lieve sbattimento di liquidi nei recipienti, con versamento di qualche goccia, spostamento degli oggetti piccoli, scricchiolio di mobili, sbattere di porte e finestre; i dormienti si destano, qualche persona timorosa fugge all'aperto.

VI°---> FORTE: Avvertita da tutti con apprensione, parecchi fuggono all'aperto, forte sbattimento di liquidi, caduta di libri e ritratti dalle mensole, rottura di qualche stoviglia, spostamento di mobili leggeri con eventuale caduta di alcuni di essi, suono delle più piccole campane delle chiese; in singole case crepe negli intonaci, in quelle mal costruite o vecchie danni più evidenti ma sempre innocui; possibile caduta eccezionale di qualche tegola o comignolo.

VII°--> MOLTO FORTE: Considerevoli danni per urto o caduta delle suppellettili, anche pesanti nelle case, suono di grosse campane nelle chiese; l'acqua di stagni e canali s'agita e intorbidisce di fango, alcuni spruzzi giungono alla riva; alterazioni dei livelli nei pozzi; lievi frane in terreni sabbiosi e ghiaiosi. Danni moderati in case solide, con lievi incrinature delle pareti; considerevole caduta d'intonaci e stucchi; rottura di comignoli con caduta di pietre e tegole, parziale slittamento della copertura dei tetti; singole distruzioni in case mal costruite o vecchie.

VIII---> DISTRUTTIVA: Piegamento e caduta degli alberi; i mobili più pesanti e solidi cadono e vengono scaraventati lontano; statue e sculture si spostano; talune cadono dai piedistalli. Gravi distruzioni a circa il 25% degli edifici, caduta di ciminiere campanili e muri di cinta; costruzioni in legno vengono spostate o spazzate via. Lievi fessure nei terreni bagnati o in pendio. I corsi d'acqua portano sabbia e fango.

IX°---> FORTEMENTE DISTRUTTIVA: Distruzioni e gravi danni a circa il 50% degli edifici. Costruzioni reticolari vengono smosse dagli zoccoli, schiacciate su se stesse; in certi casi danni più gravi.

X°----> ROVINOSA: Distruzione a circa il 75% degli edifici gran parte dei quali diroccano; distruzione di alcuni ponti e dighe; lieve spostamento delle rotaie; condutture d'acqua spezzate; rotture ed ondulazioni del cemento e nell'asfalto; fratture di alcuni decimetri nel suolo umido, frane.

XI°---> CATASTROFICA: Distruzione generale di edifici e ponti coi loro pilastri; vari cambiamenti notevoli nel terreno; numerosissime frane.

XII°--> TOTALMENTE CATASTROFICA: Ogni opera dell'uomo viene distrutta. Grandi trasformazioni topografiche; deviazione di fiumi e scomparsa di laghi.



9.2 STORIA SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

L'analisi delle caratteristiche sismiche del territorio bolognese parte direttamente dall'analisi delle informazioni storiche esistenti. Tale rivisitazione deve necessariamente tenere conto di un quadro delle conoscenze che risulta particolarmente dettagliato negli ultimi 200 anni, ma che procedendo a ritroso diventa frammentario e parziale, con informazioni riferite prevalentemente ai centri urbani storicamente presenti sul territorio e meno alle aree limitrofe, all'epoca scarsamente abitate.

Dal database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno denominato DOM4.1, e che contiene circa 37.000 osservazioni macrosismiche relative a più di 900 terremoti, e a più di 10.000 località, sono state estratte le osservazioni sismiche disponibili per BOLOGNA [44.498, 11.34] riportate nella tabella seguente (n° 87 osservazioni), specificando l'area epicentrale e il relativo valore di intensità massima, e gli effetti nel territorio Comunale.

Is = intensità effetti al sito (x10)

Ix = intensità massima osservata (x10)

Ms = magnitudo calcolata sulle onde superficiali

Data						Effetti	in occasione del terremoto di:			
Ye	Mo	Da	Ho	Mi		Is (MCS)	Area epicentrale		Ix	Ms
1222	12	25	11		0	65	BRESCIANO		80	59
1323	2	25			0	65	BOLOGNA		65	47
1348	1	25			0	45	CARNIA		95	64
1352	12	25			0	35	MONTERCHI		90	62
1365	4	7	18		0	75	BOLOGNA		75	52
1399	7	20	23		0	70	MODENESE		70	50
1408					0	55	BOLOGNA		55	42
1414	8	7			0	30	TOSCANA OCC.		75	52
1433	5	4			0	65	BOLOGNA		65	47
1455	12	20	20	30	0	70	BOLOGNA		70	50
1501	6	5	10		0	40	SASSUOLO		90	59
1505	1	3	2		0	70	BOLOGNA		70	50
1505	5	15			0	55	BOLOGNA		55	42
1511	3	26	14	30	0	40	GEMONA		90	62
1542	6	13	2	15	0	45	SCARPERIA		90	62
1570	11	17			0	40	FERRARA		80	55
1591	7	10			0	35	FORLI		65	47
1624	3	18	19	30	0	40	ARGENTA		90	55
1661	3	22	12	45	0	40	CIVITELLA DI ROM.		90	62
1672	4	14	15	15	0	30	RIMINI		80	55
1688	4	11	11	30	0	60	ROMAGNA		90	62
1695	2	25	5	30	0	40	ASOLO		90	64
1779	7	14			0	70	BOLOGNA		70	50
1780	2	5	22		0	65	BOLOGNA		65	47
1781	4	4			0	40	FAENTINO		90	62
1786	12	25			0	40	RIMINI		80	55
1796	10	22			0	60	BASSA PADANA		70	50
1801	10	8			0	55	BOLOGNA		55	42
1806	2	12			0	45	NOVELLARA		70	50
1810	12	25	0	45	0	40	NOVELLARA		70	50
1811	7	15	22	44	0	40	SASSUOLO		70	50
1818	12	9	18	52	0	30	LANGHIRANO		75	52
1832	3	13	3	20	0	45	REGGIANO		75	52



1834	2	14	13	15	0	30	ALTA LUNIGIANA	85	59
1834	7	4	0	35	0	30	ALTA LUNIGIANA	65	47
1843	10	25	3	22	0	30	VERNIO	75	50
1850	9	18	6	10	0	55	MODENA	60	44
1861	10	16			0	40	FORLI`	70	47
1864	12	11	17	40	0	40	MUGELLO	70	50
1864	3	15			0	35	ZOCCA	65	47
1869	6	25			0	45	VERGATO	75	52
1870	10	30			0	40	MELDOLA	80	55
1873	6	29	3	55	0	50	BELLUNESE	100	64
1873	9	17			0	45	LIGURIA ORIENTALE	65	47
1874	10	7			0	45	IMOLESE	70	50
1875	3	17			0	35	RIMINI	80	52
1878	3	12			0	45	CASTEL S.PIETRO	65	47
1879	4	27			0	40	CASOLA VALSENIO	70	50
1881	1	24			0	65	BOLOGNESE	70	50
1881	9	28			0	30	CESENA	70	47
1885	2	26	20	48	0	40	SCANDIANO	60	44
1889	3	8	2	47	0	60	BOLOGNA	60	44
1889	12	8			0	30	APRICENA	70	50
1892	1	5			0	10	GARDA OCC.	75	47
1897	12	18			0	30	PIETRALUNGA	80	52
1898	1	16			0	35	ARGENTA	70	50
1898	3	4			0	35	CALESTANO	70	47
1901	10	30	14	49	0	20	SALO`	80	55
1904	2	25	18	47	0	30	APP. REGGIANO	75	53
1904	6	10	11	14	0	30	APP. MODENESE	80	52
1908	6	2	22	30	0	35	FRIGNANO	45	45
1909	1	13	0	45	0	60	BASSA PADANA	65	54
1911	2	19	7	18	0	30	FORLIVESE	75	52
1913	7	21	22	35	0	30	VALLE DEL LAMONE	60	47
1914	10	27	9	22	0	50	GARFAGNANA	70	58
1915	1	13	6	52	0	30	AVEZZANO	110	70
1916	8	16	7	6	0	50	RIMINESE	80	61
1916	5	17	12	50	0	40	RIMINESE	80	60
1918	11	10	15	12	0	40	S.SOFIA	80	58
1919	6	29	15	6	0	50	MUGELLO	90	63
1920	9	7	5	55	0	50	GARFAGNANA	100	65
1922	5	24	21	17	0	30	CENTO	35	44
1929	4	20	1	9	0	50	BOLOGNESE	75	54
1929	7	18	21	2	0	25	MUGELLO	70	47
1930	10	30	7	13	0	20	SENIGALLIA	85	60
1931	6	10	17	2	0	30	MODENESE	40	45
1935	6	5	11	48	0	30	FAENTINO	60	51
1936	10	18	3	10	0	30	BOSCO CANSIGLIO	90	58
1939	10	15	14	5	0	30	GARFAGNANA	70	49
1964	9	5	21	9	0	35	RONCOBILACCIO	50	46
1967	12	30	4	19	0	40	BASSA PADANA	60	53
1967	12	9	3	9	0	10	ADRIATICO MER.	50	44
1971	7	15	1	33	0	40	PARMENSE	80	54
1972	10	25	21	56	0	30	PASSO CISA	50	47
1976	5	6	20		0	45	FRIULI	95	65
1976	9	15	9	21	0	45	FRIULI	85	59
1980	11	23	18	34	0	30	IRPINIA-LUCANIA	100	69



Tale situazione viene schematizzata nel diagramma seguente (Fig. 9.1) nel quale in rosso sono riportati i risentimenti al sito con intensità I_s superiore alla soglia del danno (I_s (MCS) > 5).

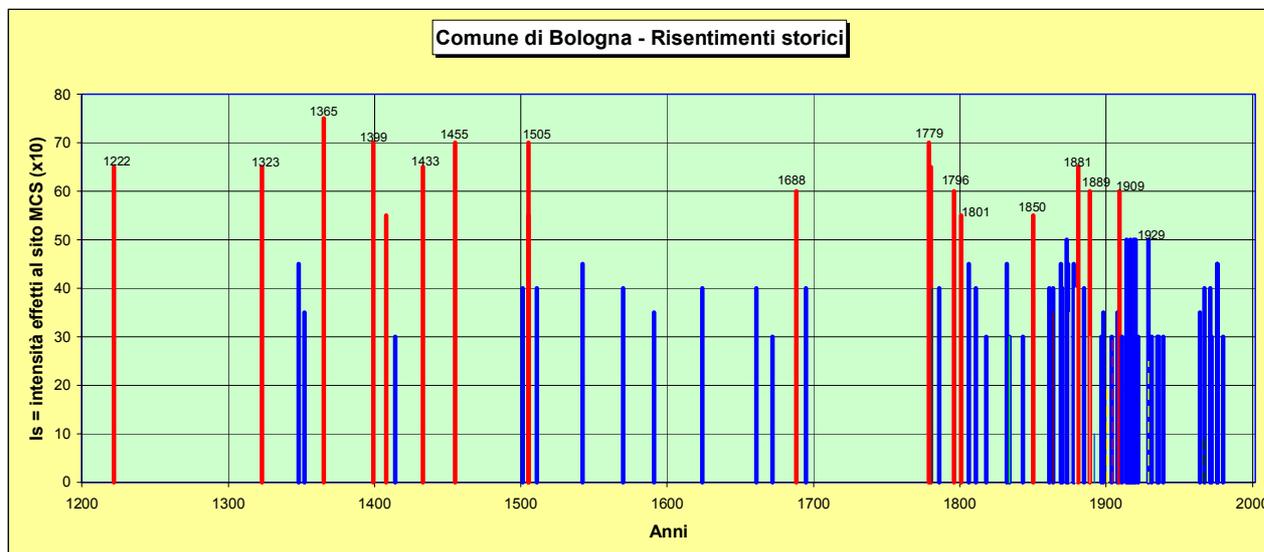


Fig. 9.1 – Risentimenti storici a Bologna

Tra gli episodi più significativi occorre ricordare quelli avvenuti tra il dicembre 1504 ed il gennaio 1505 con una serie di scosse che hanno raggiunto un'intensità massima riconducibile al VII grado MCS, si tratta di un fenomeno interessante in quanto la zona di origine risulta essere proprio l'area pedeappenninica bolognese.

Analoga localizzazione e massima intensità caratterizzarono i terremoti bolognesi registrati tra il giugno 1779 e il settembre 1780.

Maggiori dettagli ed informazioni sono disponibili in merito ai terremoti del 1929 che risultarono particolarmente intensi e perdurarono per diversi mesi.

La massima intensità del fenomeno è stata registrata tra il mese di aprile e il mese di luglio, anche in questo caso la dislocazione degli epicentri interessa la fascia pedeappenninica bolognese con due aree di concentrazione, una posta a Sud Est (Fig. 9.2) della città lungo i rilievi collinari tra Bologna ed Imola (10-18 Aprile), una posta a Ovest (Fig. 9.3) in direzione dei comuni di Zola Predona e Bazzano (19 Aprile-31 Maggio), con intensità massime registrate sono approssimabili al VII grado MCS.

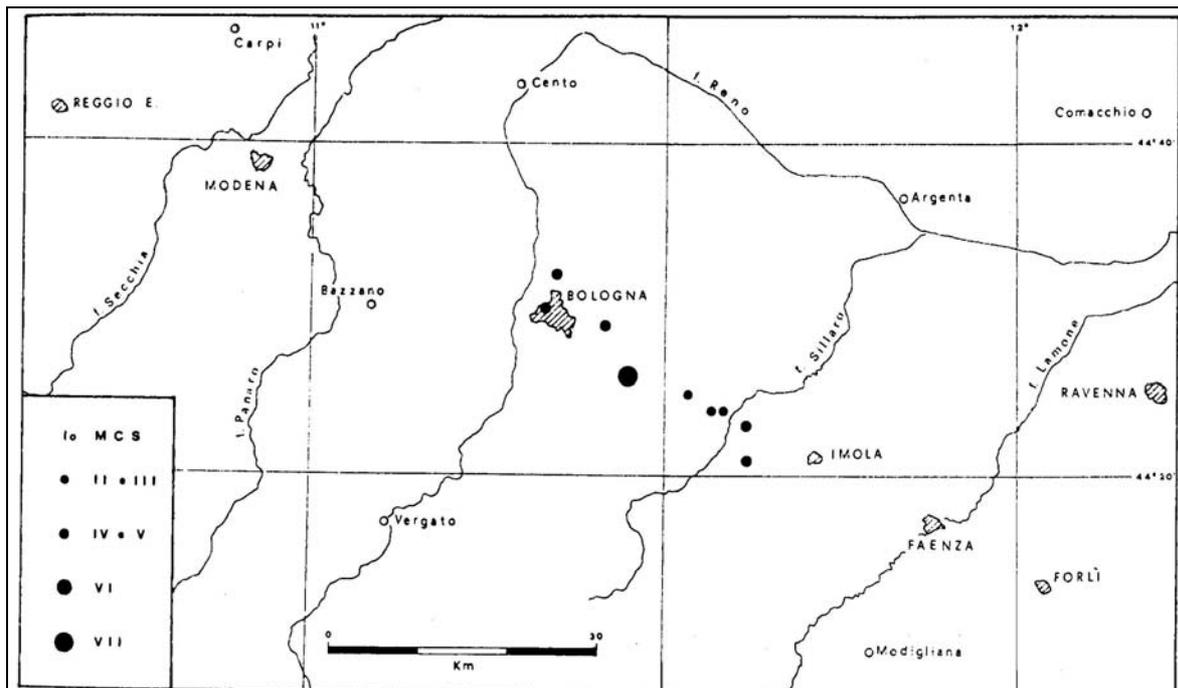


Fig.9.2 Carta degli epicentri, evidenziati per intensità massima, per il periodo 10-18 aprile 1929.

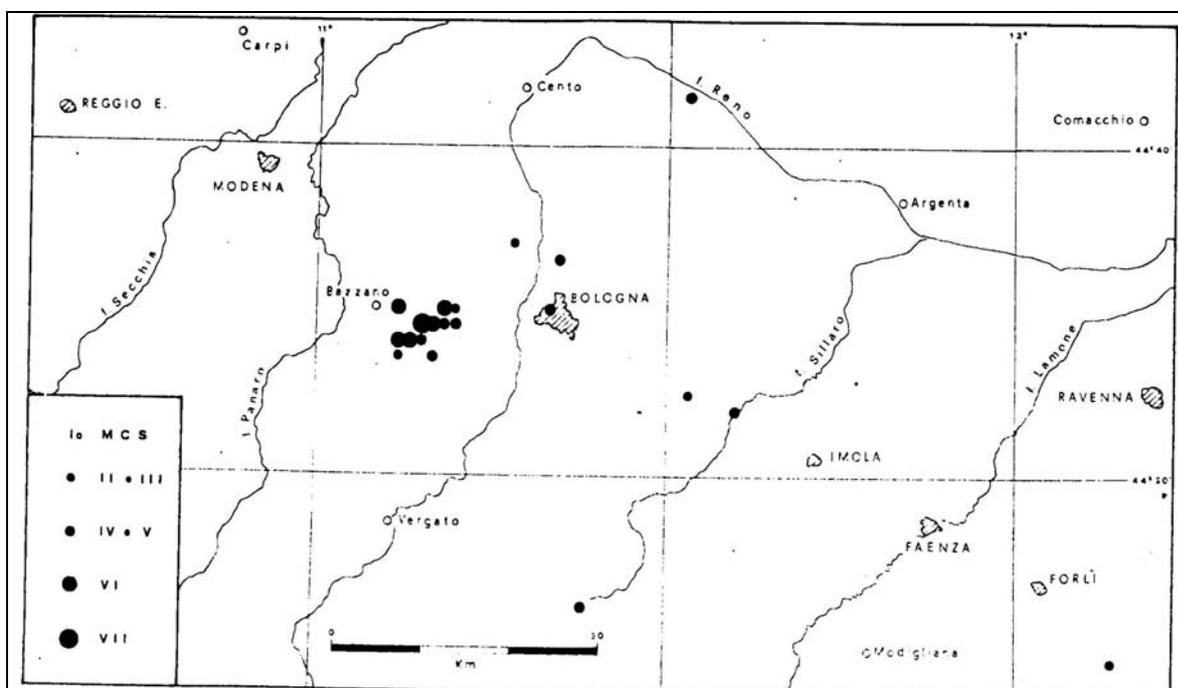
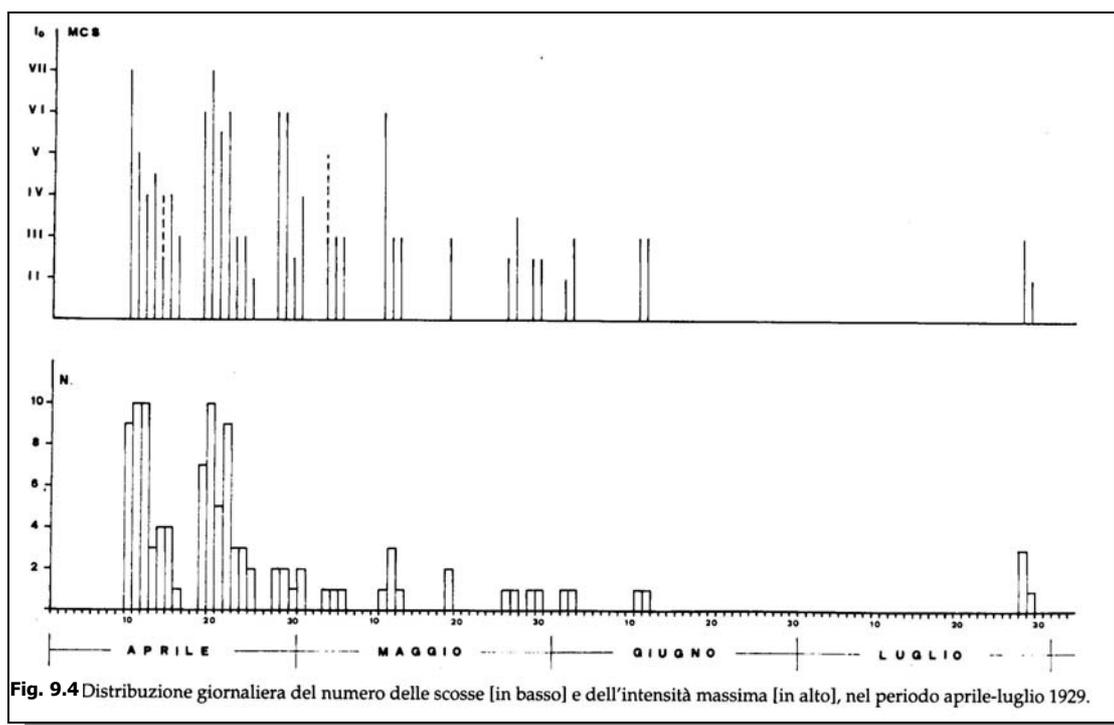


Fig. 9.3 Carta degli epicentri, evidenziati per intensità massima, per il periodo 19 aprile 1929 - 31 maggio 1930.



Tali figure mostrano inoltre come pochi epicentri risultino in questo caso localizzati in aree dell'Appennino e della Pianura Padana.

L'analisi della distribuzione giornaliera del numero delle scosse e delle intensità massime (Fig. 4) consente di individuare la presenza di una serie di sequenze sismiche "a sciame" relativamente brevi, intervallate da più brevi periodi di inattività.



La distribuzione delle isosisme (linea che congiunge i punti della superficie terrestre in cui un terremoto si manifesta con uguale intensità) relative agli episodi di maggiore intensità verificatisi nel 1929 (Figg. 9.5 e 9.6) consente inoltre di verificare come i campi macrosismici siano molto estesi interessando in buonissima parte tutta l'Italia settentrionale, con estensioni limitate delle aree di più elevata intensità (V grado o superiori) ed estensioni relativamente notevoli delle aree a più debole intensità (III e IV grado). Si noti inoltre nel caso delle isosisme più interne relative alle scosse del 10 Aprile si individuano (Fig. 9.5) propagazioni preferenziali in direzione WNW-ESE e negli altri tre in direzione NW-SE, lungo quelle che, come vedremo in seguito, rappresentano le principali strutture sismogenetiche presenti nell'area Bolognese.

I risentimenti a Bologna risultano generalmente del V grado MCS e del VI nel caso della scossa del 10 Aprile.

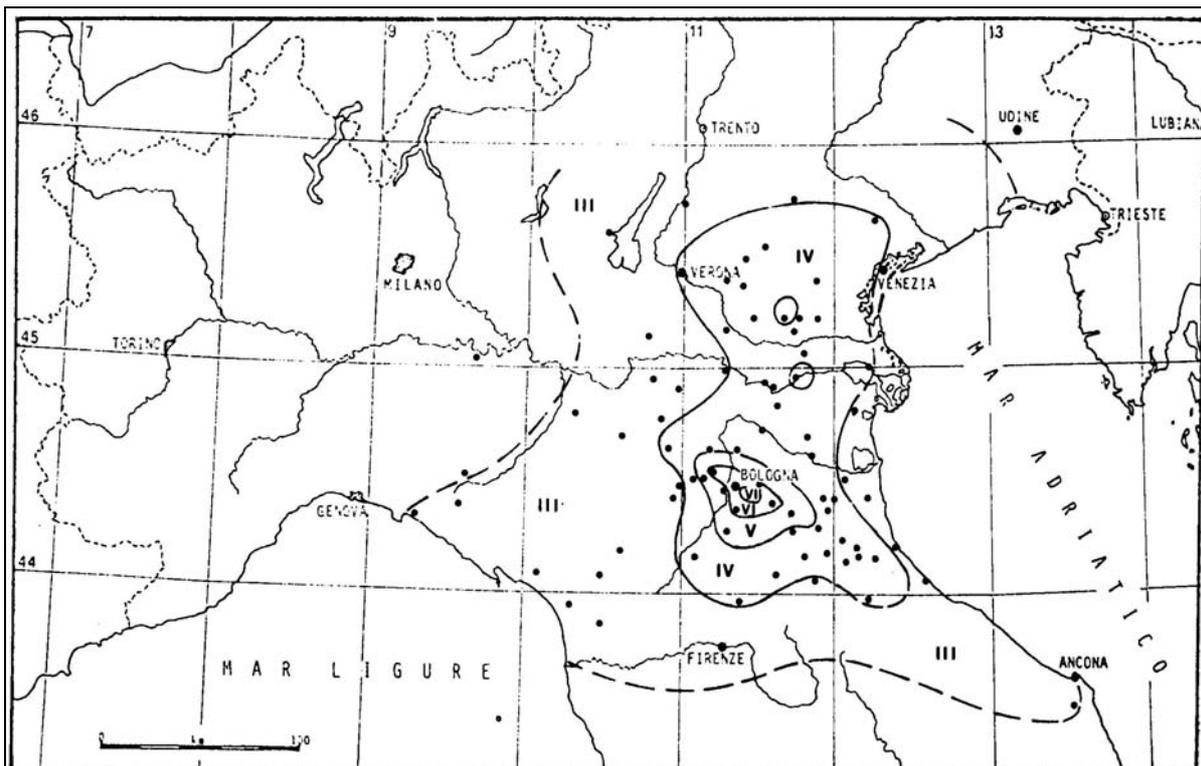


Fig.9.5 Terremoto del 10 aprile 1929, ore 6.44.

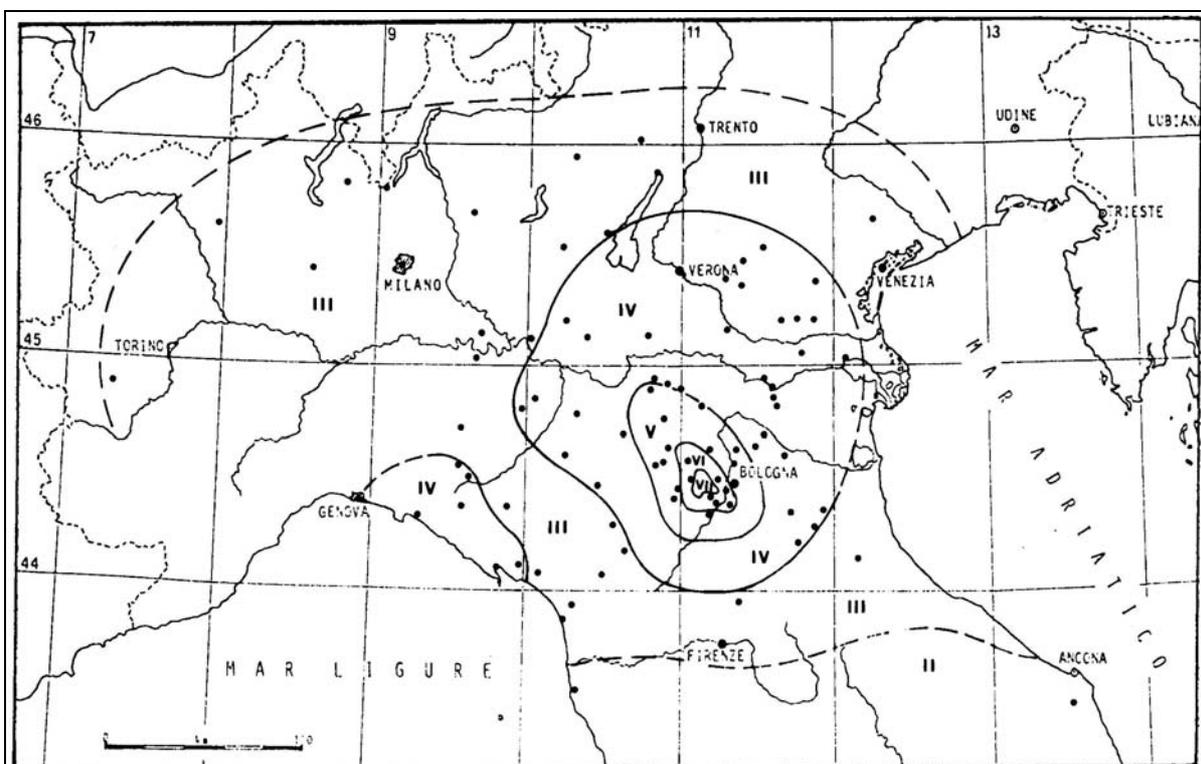
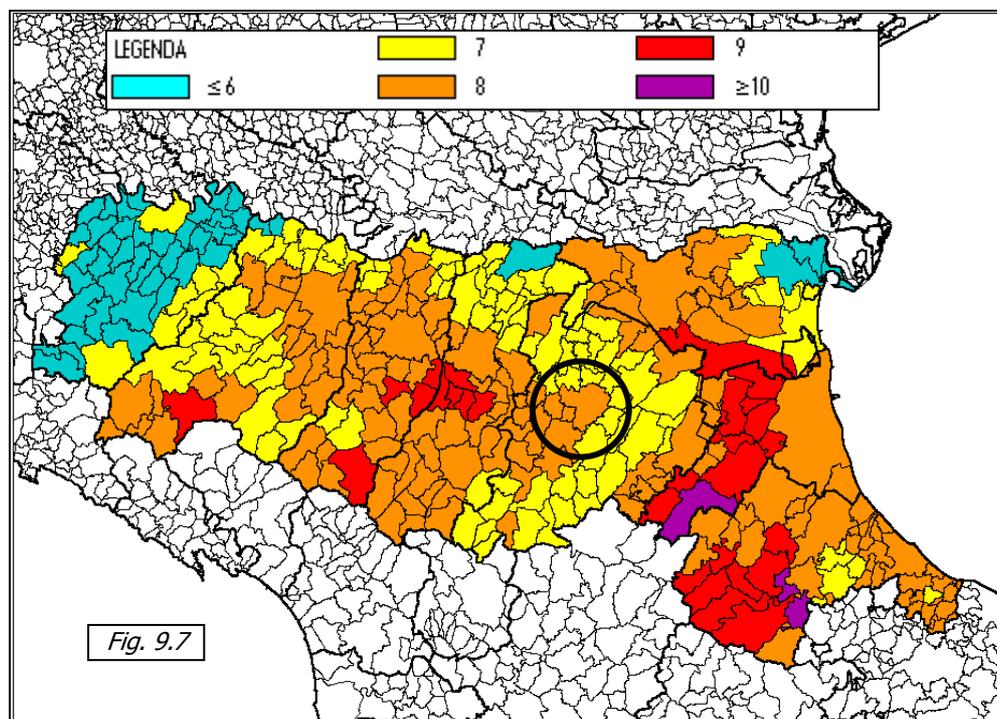


Fig. 9.6 Terremoto del 20 aprile 1929, ore 2.10.



In termini macrosismici, il catalogo DOM4.1, prima citato, è stato utilizzato, su incarico della Protezione Civile, da Molin et al. (1996) in combinazione con i dati di CFTI (Catalogo dei forti terremoti italiani di ING/SGA - Boschi et al., 1995) per la compilazione della "Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", di cui in fig. 9.7 viene riportato un estratto con la situazione della regione Emilia-Romagna



Dalla figura precedente si desume che il territorio Comunale di Bologna è caratterizzato da un'intensità macrosismica pari a 8.

9.3. INQUADRAMENTO SISMO-TETTONICO

Sulla base di un progetto pluriennale nel 1996 il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) ha prodotto una zonazione sismogenetica (ZS) del territorio nazionale che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale.

Questa zonazione rappresenta un documento interno del GNDT, realizzato in varie versioni a partire dal 1990 nell'ambito dell'attività della linea di ricerca Sismotettonica.

Quella presentata in questo paragrafo è l'ultima versione disponibile, denominata ZS 4.0, e completata nell'aprile 1996 (Fig. 9.8). La zonazione è stata realizzata seguendo l'approccio cinematico proposto da Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N., Santini U., 1990.

Il territorio nazionale risulta suddiviso in 80 aree e il territorio comunale di Bologna ricade all'interno della Zona sismogenetica 35, nella Fascia padano-adriatica in compressione legata al margine interno della piastra padano-adriatico-ionica in subduzione sotto la catena appenninica, con meccanismi di rottura attesi del tipo thrust e strike-slip.

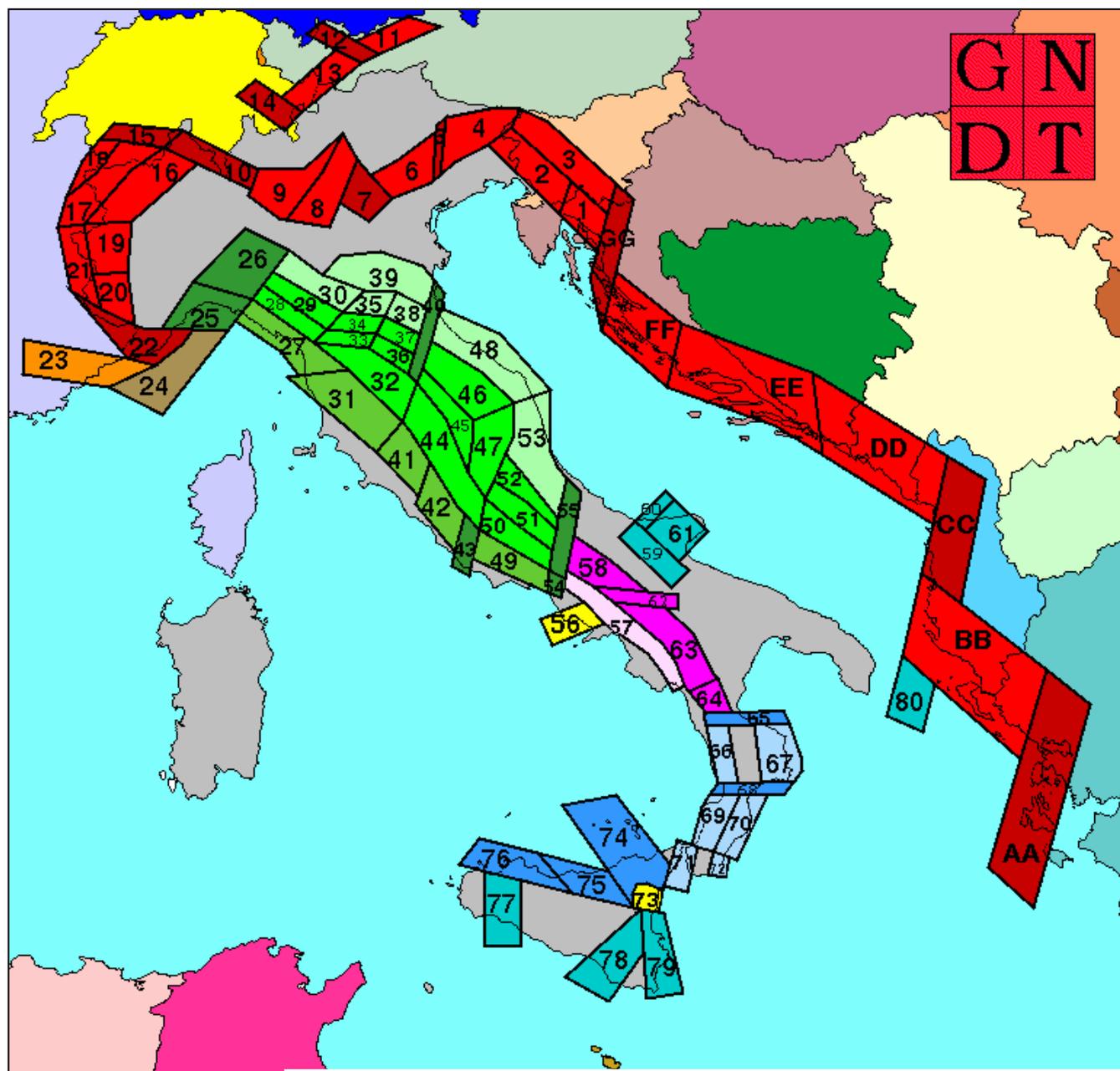


Fig. 9.8  Fascia padano-adriatica in compressione. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip

Sulla base di quanto contenuto nel NT4.1.1 luglio 1997, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, in tale zona sismogenetica sono stati registrati i seguenti terremoti.



Zona sismogenetica 35

N	Tr	Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Ax	Rt	Os	Nmo	Nip	Ix	Io	Lat	Lon	Pa	Sz	Ta	Agm	Ms	Td	Nio	Sd	Mm	H	
755	DB	1323	02	25				BOLOGNA	GDTMI	6U	1	1	65	65	44.500	11.333	35	G		47	M		45	47			
756	DB	1365	04	07	18			BOLOGNA	ENL85	1R	3	3	75	75	44.500	11.250	35	G		52	M		43	52			
757	DB	1399	07	20	23			MODENESE	ENL85	1R	5	4	70	70	44.450	11.083	35	G		50	M		40	50			
758	DB	1408						BOLOGNA	GDTMI	6U	1	1	55	55	44.500	11.333	35	G		42	M		31	42			
759	DB	1433	05	04				BOLOGNA	GDTMI	6U	3	3	65	65	44.500	11.333	35	G		47	M		45	47			
760	DB	1455	02	06				BOLOGNESE	ENL85	1R	1		75	44.400		11.250	PP	35	G		52	M		43	52		
761	DB	1455	12	20	20	30		BOLOGNA	ENL85	1R	5	5	70	70	44.500	11.317	35	G		50	M		40	50			
762	DB	1505	01	03	02	00		BOLOGNA	CFT95	3P	31	20	70	70	44.490	11.205	35	G		50	M		40	50			
763	DB	1505	05	15				BOLOGNA	ENL85	1R	1	1	55	55	44.483	11.333	35	G		42	M		31	42			
764	CP	1666	04	14	18	58		BOLOGNA	POS85	1P			60	44.500		11.333	35	G		44	M		35	44			
765	DB	1779	07	14				BOLOGNA	GDTBO	6U	5	5	70	70	44.500	11.367	35	G		50	M		40	50			
766	DB	1780	02	05	22			BOLOGNA	GDTBO	6U	8	5	65	65	44.483	11.333	35	G		47	M		45	47			
767	DB	1801	10	08				BOLOGNA	GDTSP	6U	1	1	55	55	44.483	11.333	35	G		42	M		31	42			
768	CP	1834	10	04	19			BOLOGNA	POS85	1P			70	44.500		11.417	35	G		50	M		40	50			
769	DB	1864	03	15				ZOCCA	GDTBO	6U	13	11	65	65	44.350	11.050	35	G		47	M		45	47			
770	DB	1869	06	25				VERGATO	CAA96	6U	16	15	75	75	44.317	11.050	35	G		52	M		43	52			
771	DB	1878	03	12				CASTEL S.PIETRO	GDTBO	6U	27	25	65	65	44.400	11.583	35	G		47	M		45	47			
772	DB	1881	01	24				BOLOGNESE	GDTSP	6U	21	20	70	70	44.450	11.517	35	G		50	M		40	50			
773	DB	1889	03	08	02	47		BOLOGNA	ENL85	1R	32	24	60	60	44.483	11.333	35	G		44	M		35	44			
774	DB	1929	04	20	01	09		BOLOGNESE	CAM94	6P	109	105	75	70	44.450	11.133	35	G	MAA93	54	O	18	21	50	H2		
775	DB	1957	08	27	11	54		ZOCCA	GDTSP	6U	58	36	60	60	44.350	11.017	35	G	MAA93	47	O	03	16	44	10		
776	CP	1966	05	26	18	07	14	MONTEVEGLIO	POS85				1P		60	44.500			11.200		35	G		44	M	35	44

PARAMETRI.

Cod. Descrizione del parametro

N Numero d'ordine del record

Tr Tipo di record

Ye Anno

Mo Mese

Da Giorno

Ho Ora

Mi Minuto

Se Secondo

Ax Area epicentrale

Rt Radice dei parametri, ovvero dataset da cui sono stati determinati i parametri

Os Origine e status del dataset

Nmo Numero di osservazioni macrosismiche

Nip Numero di punti di intensità

Ix Intensità massima osservata

Io Intensità epicentrale

Lat Latitudine

Lon Longitudine

Pa Modalità di determinazione dei parametri

Sz Zona sismogenetica cui appartiene l'evento

Ta modalità di assegnazione dell'evento alla zona

sismogenetica

Agm Agenzia o studio che fornisce la magnitudo

Ms Magnitudo calcolata sulle onde superficiali

Td Modalità di determinazione di Ms

Nio Numero di osservazioni utilizzate per la

determinazione di Ms

Sd Deviazione standard del valore di Ms

Mm Magnitudo macrosismica

H Profondità

9.4. NEOTETTONICA DELL'AREA BOLOGNESE

L'analisi sismica di un territorio non può che partire dall'individuazione dei lineamenti geologici e tettonici che lo caratterizzano. La neotettonica rappresenta lo studio delle strutture tettoniche recenti ed attive che influenzano l'evoluzione di un territorio caratterizzandone l'attività sismica. Nel territorio comunale di Bologna si distingue nettamente un'area pedeappenninica che ricomprende la zona i "colli bolognesi", e un'area di alta pianura caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali appartenenti alle conoidi dei fiumi e torrenti appenninici, mentre l'area appenninica più francamente montana lambisce marginalmente il territorio.

Dal punto di vista della sismica l'area di maggiore interesse, tralasciando la parte appenninica, è individuata nella fascia pedeappenninica. In questo settore si realizza la sovrapposizione di terreni appartenenti alla successione neoautoctona emiliana su formazioni caotiche dando luogo a due strutture tettoniche principali:

- La sinclinale intrappenninica (1 – figura 9.9) - È dislocata nei circa 40 Km compresi tra le valli del Panaro e dell'Idice, presenta un orientamento Nord-Ovest/Sud-Est, ed è caratterizzato da terreni del Pliocene medio – superiore che evolvono gradualmente, verso l'alto, in depositi continentali costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie.



- L'anticlinale di Monte Capra – S.Luca – Monte Calvo (2 – figura 9.9) . Si tratta di un elemento di separazione tra la sinclinale intrappenninica e la grande depressione padana, difficilmente individuabile a causa dalla presenza di abbondanti depositi caotici e per il raddrizzamento del fianco settentrionale.

L'area di alta pianura è costituita da una stretta fascia di alluvioni prevalentemente ghiaiose e sabbiose deposte dai sistemi fluviali allo sbocco in pianura sulle sabbie gialle pleistoceniche in giacitura monoclinale con direzione di immersione orientata Nord/Nord – Est.

L'area di pianura presenta potenti accumuli alluvionali Quaternari. Le alluvioni sono collegate con strutture plicative sottostanti interessate da sistemi di faglia:

- Anticlinale di Anzola (3 – figura 9.9) – Segue grosso modo parallelamente la Via Emilia ma entra solo molto marginalmente nell'area d'interesse;
- Sinclinale di Sala Bolognese Castel Maggiore Granarolo (4 – figura X) – si tratta di una grande depressione quasi completamente colmata dalle alluvioni in accumulo sui sedimenti marini plio-pleistocenici, si sviluppa secondo due direttrici, una ad andamento tipicamente appenninico che si dirige verso Castenaso, l'altra orientata E-W in direzione Budrio dove incontra l'Anticlinale di Budrio Imola in leggero sollevamento;
- Anticlinale di Budrio Imola (5 – figura 9.9) – Si tratta di un rilievo posto in profondità estremamente fagliato nella parte nord orientale;

Allontanandosi dall'area di studio in direzione Est ed Est Nord Est si possono riconoscere ulteriori strutture di notevole importanza ai fini tettonici:

- Anticlinale di Selva - Lugo (6 – figura 9.9) – struttura particolarmente estesa che presenta leggere ondulazioni riconducibili probabilmente a sollecitazioni generate da sistemi di pieghe e faglie profonde poste al substrato;
- Sinclinale di Conselice (7 – figura 9.9) – è una struttura plicativa molto simile a quella descritta come anticlinale di Selva Lugo anche per quanto riguarda l'orientamento e l'estensione, presenta però una dislocazione inversa nel substrato;
- Anticlinale di Argenta Alfonsine (8 – figura 9.9) – piega sepolta parallela alle precedenti, ubicata al margine Nord Est dell'area di pianura, il suo innalzamento ha determinato sensibili effetti sui depositi quaternari, riveste un discreto interesse geologico per la presenza di idrocarburi.

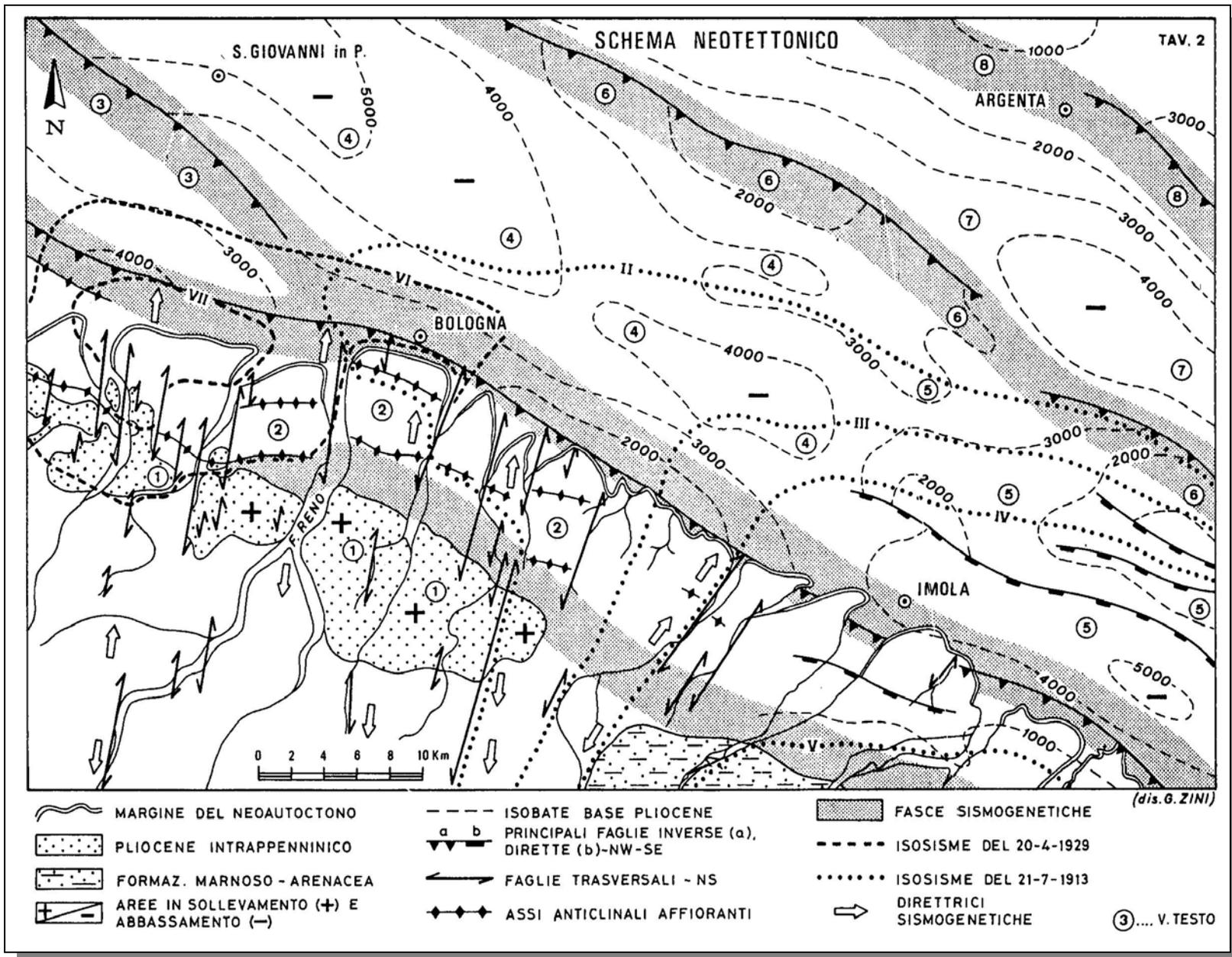


Fig. 9.9 – Schema neotettonico dell'area Bolognese (G.Carloni, F.Francavilla, R.Zecchi, 1978)



In termini neotettonici le più significative dislocazioni sono senza dubbio la faglia pedeappenninica e le faglie orientate in direzione Nord – Sud del margine padano.

- Faglia pedeappenninica – Si tratta di un lineamento tettonico che assume scala regionale in quanto si sviluppa attraverso Bazzano, Bologna, Castel S.Pietro, Imola e Faenza rappresentando l'elemento di separazione fra il margine appenninico e la pianura Padana. Nell'area pianeggiante si sono poi distinti ulteriori dislocazioni e strutture plicative che accompagnano l'approfondimento dei terreni appenninici.
- Faglie Nord Sud del margine padano – si tratta della prosecuzione in territorio pianeggiante del sistema di faglie a rigetto prevalentemente orizzontale che caratterizza gli assi vallivi dei fiumi Reno, Savena ed Idice. È un complesso di faglie a rigetto molto contenuto orientate in modo variabile ma prevalentemente influenzate dall'andamento generale dell'arco appenninico orientato in direzione NW – SE nel tratto a Sud di Bologna.

Nel complesso si può sottolineare che il margine padano dell'Appennino bolognese presenta un sollevamento recente testimoniato sia dai lineamenti dislocati in direzione N-S, responsabili dei moti disgiuntivi trasversali nonché della frastagliatura del margine padano. Da sottolineare che sia dalla distribuzione degli epicentri dei terremoti si raccordano coerentemente con le strutture sepolte della pianura.

9.5. STRUTTURE SISMOGENETICHE DEL BOLOGNESE

I fenomeni sismici che si registrano nel territorio in esame sono più o meno direttamente connessi con le strutture neotettoniche precedentemente illustrate. Gli eventi di maggior rilievo, in termini d'intensità, sono riconducibili ai movimenti in atto nell'area montana appenninica a sud del territorio del Comune di Bologna, in cui il sovrascorrimento del cosiddetto "Macigno" è causa dei terremoti che fanno registrare elevata intensità (IX – X grado MCS). I movimenti che interessano la formazione marnoso – arenacea sono responsabili di una sismica che si manifesta con un'intensità appena inferiore (IX grado MCS). Anche in questo caso siamo in aree prossime a quelle in esame ma ancora al di fuori di esse. Vi sono poi terremoti generati dalle strutture appenniniche sepolte della Pianura Padana che si manifestano con intensità leggermente più basse (VIII grado MCS). Infine si registrano eventi derivanti dai sistemi vallivi inferiori ad andamento antiappenninico che danno luogo ad una sismica definibile secondaria per intensità (VII grado MCS), per frequenza di manifestazione e per dinamica tettonica. In definitiva le strutture sismogenetiche presenti nell'area del territorio del comune di Bologna sono rappresentate dalle faglie che bordano il margine padano del sistema della catena appenninica. Tali faglie hanno andamento sia orizzontale che verticale e i sismi che originano si collocano in una fascia posta ad una profondità compresa tra i 14 e i 20 Km. che si estende in ampiezza da Bazzano fino a Faenza. Esiste poi una sismica secondaria che si sviluppa lungo lineamenti antiappenninici di rilevanza inferiore sia in ordine alla frequenza che in ordine alla intensità degli



eventi, i quali si collocano ad una profondità compresa tra i 5 e i 15 Km. Queste manifestazioni si registrano lungo le valli del Reno, del Savena, del Santerno (Figura 9.10).

Dunque la simsmogenetica riguardante il territorio comunale bolognese rientra nel più complessivo quadro relativo alla fascia pedeappenninica caratterizzata da attività individuabile in corridoi più o meno ampi in ragione della minore o maggiore verticalità dei sistemi di faglie che si rinvencono lungo tutto il margine padano. Per la sismica secondaria individuata nei sistemi di fratture con andamento antiappenninico (Nord Sud) si sottolinea che gli allineamenti dei fuochi risultano segmentati e non hanno le caratteristiche di continuità rintracciabili negli allineamenti del sistema principale orientato da Nord Ovest a Sud Est.

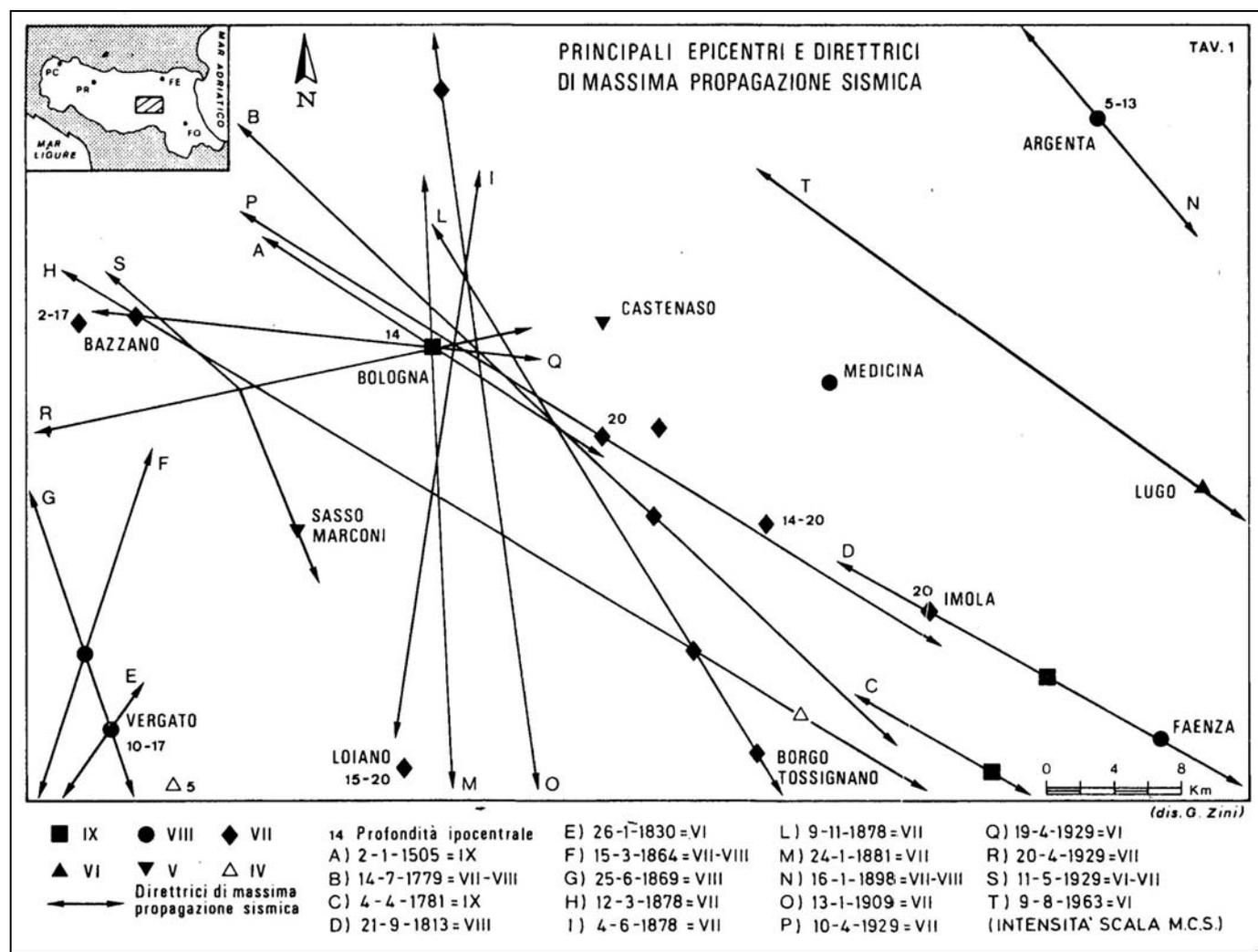


Fig. 9.10 - Principali epicentri e direttrici di massima propagazione sismica (G.Carloni, F.Francavilla, R.Zecchi, 1978)

Tuttavia, pur trattandosi di una sismica decisamente secondaria, quella antiappenninica delle valli minori orientate Sud Nord, rappresenta senza dubbio una peculiarità caratterizzante per l'area oggetto di studio. A tal proposito la letteratura riferisce di interessanti osservazioni operate in merito alla dislocazione delle isosisme rilevate in occasione di terremoti particolarmente significativi, come ad



esempio i terremoti bolognesi del 1929. Il rilievo riguarda la decisa deformazione che le isosisme hanno subito in corrispondenza proprio dei sistemi vallivi antiappenninici. Questo fenomeno viene interpretato in parte con la diversa velocità di propagazione delle onde sismiche in mezzi differenti (litotipi), ed in parte con la presenza di un rilevante sistema di fatturazione e diaclasi presente in queste aree. Dimostrazione ne è il fatto che la deformazione delle isosisme diventa più imponente in corrispondenza di deformazioni tettoniche più pronunciate. Con riferimento alla velocità di propagazione delle onde sismica è importante rilevare che essa differisce secondo particolari direzioni. In particolare la propagazione accelera preferenzialmente lungo la direttrice principale orientata NW SE, lungo la direttrice N S, nell'area collinare in corrispondenza con il confine settentrionale della formazione marnoso arenacea e lungo il bordo nord della sinclinale intrappenninica. Si registra invece un fenomeno di attenuazione della velocità di propagazione in direzione della pianura, dove evidentemente i potenti accumuli alluvionali causano una sensibile decelerazione.

9.6. PERICOLOSITA' E RISCHIO SISMICO

In tale paragrafo sono riportati i risultati degli studi più recenti relativi alla pericolosità e al rischio sismico eseguiti dal Servizio Sismico Nazionale (SSN) e indirizzati alla redazione di una nuova proposta di classificazione sismica dell'intero territorio nazionale.

La metodologia utilizzata riguardo alla valutazione della pericolosità si rifà al calcolo probabilistico di Cornell risalente alla fine degli anni '60 riconosciuto in campo internazionale come il più affidabile come dimostra anche la sua diffusione. Questo metodo di calcolo considera tutte le possibili sorgenti che possono influenzare il moto del terreno. La zonizzazione dell'ultima proposta tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche presentata nel paragrafo 9.3.

Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1000 anni con intensità epicentrale maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

La costruzione della carta della pericolosità sismica è avvenuta attraverso l'utilizzo dei parametri MCS e PGA, con quest'ultimo che rappresenta l'accelerazione attesa al suolo, un parametro utilizzato storicamente per questo genere di valutazioni in quanto utilizzato come dato progettuale.

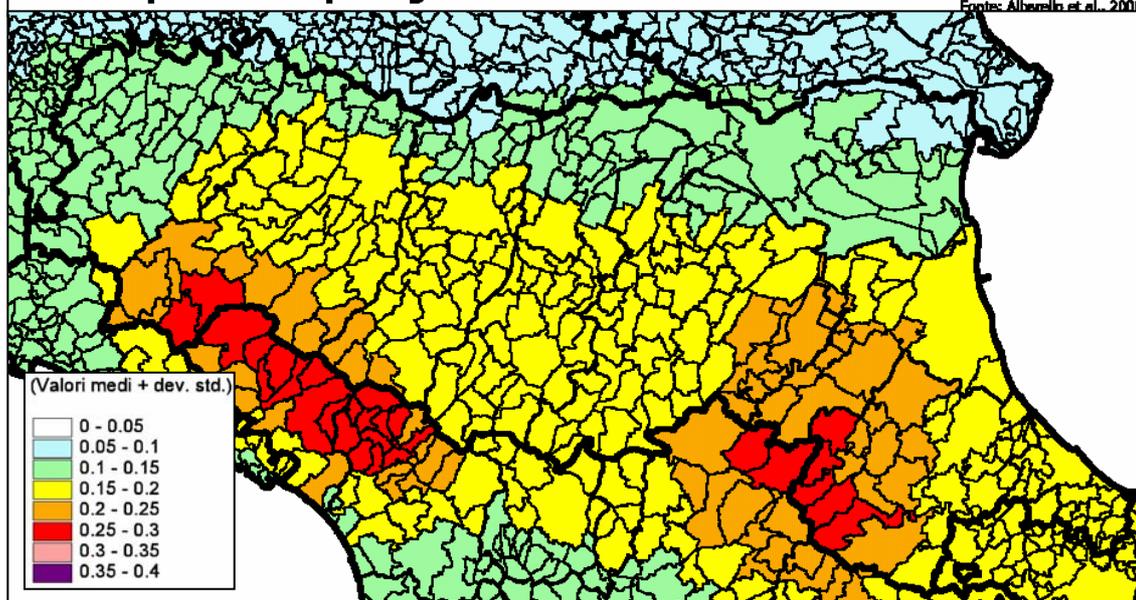
Le Fig 9.11 e 9.12 riportano i valori di PGA e MCS con una probabilità di superamento del 10% in un periodo di 50 anni (con un periodo di ritorno di 475 anni), e la loro frequenza di occorrenza annua. Questi parametri evidenziano le aree ove si possono verificare sismi di elevata intensità e dunque quelle in cui la pericolosità è maggiore. Modificando i tempi di ritorno presi in considerazione si possono evidenziare le aree dove l'attività sismica presenta caratteri di frequenza maggiore ma intensità complessivamente più contenuta (Fig. 9.13 e 9.14).



PGA (g) con una probabilità di superamento del 10 % in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni). Valori riportati ai capoluoghi comunali.

Fig. 9.11

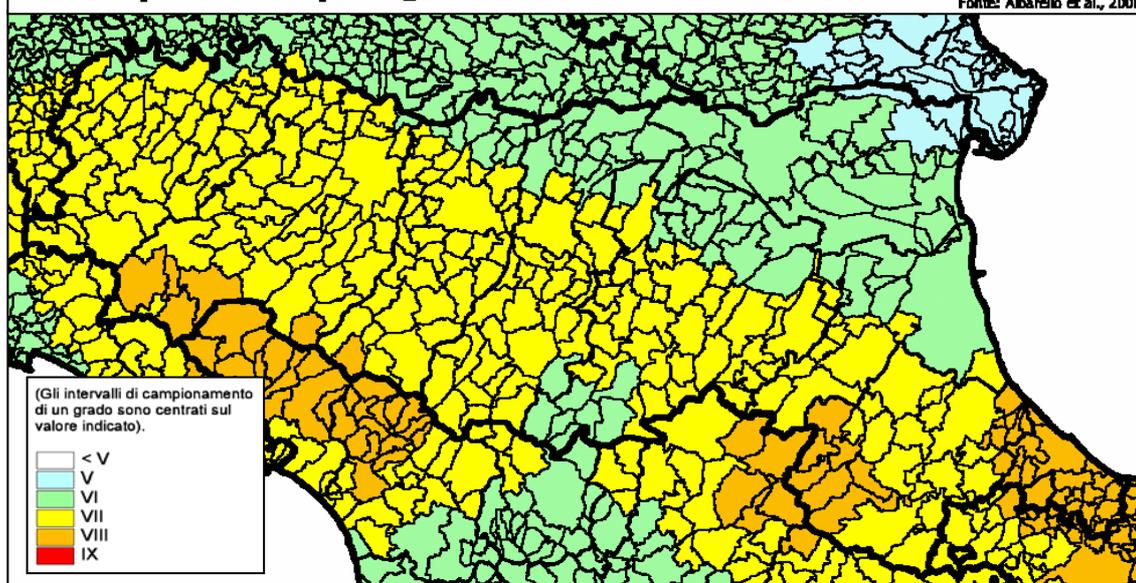
Fonte: Albarelli et al., 2000.



Intensità macrosismica (scala MCS) con una probabilità di superamento del 10 % in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni). Valori riportati ai capoluoghi comunali.

Fig. 9.12

Fonte: Albarelli et al., 2000.



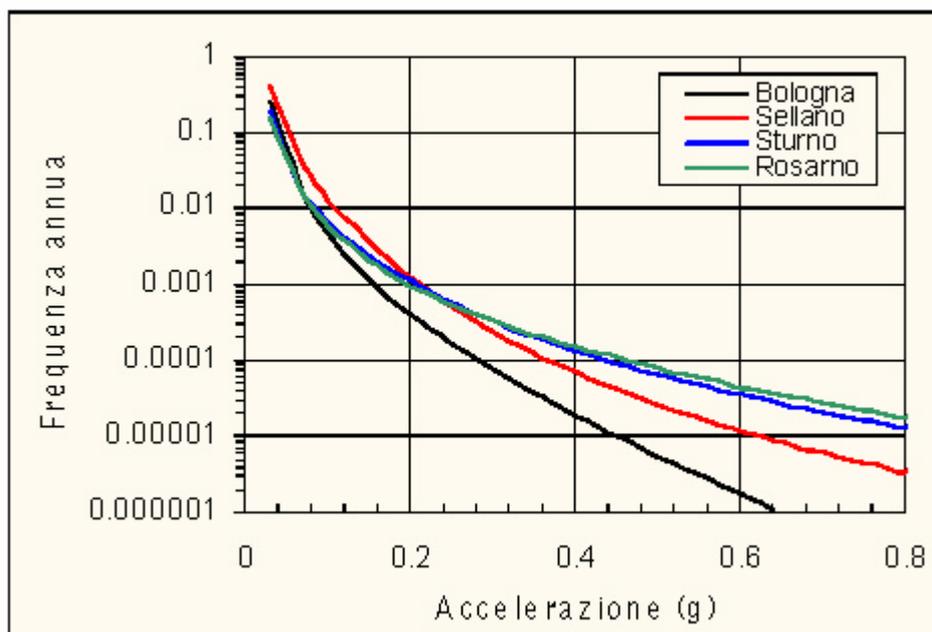


Figura 9.13 - Frequenza di occorrenza dell'accelerazione (PGA) per alcuni comuni italiani a diversa pericolosità.

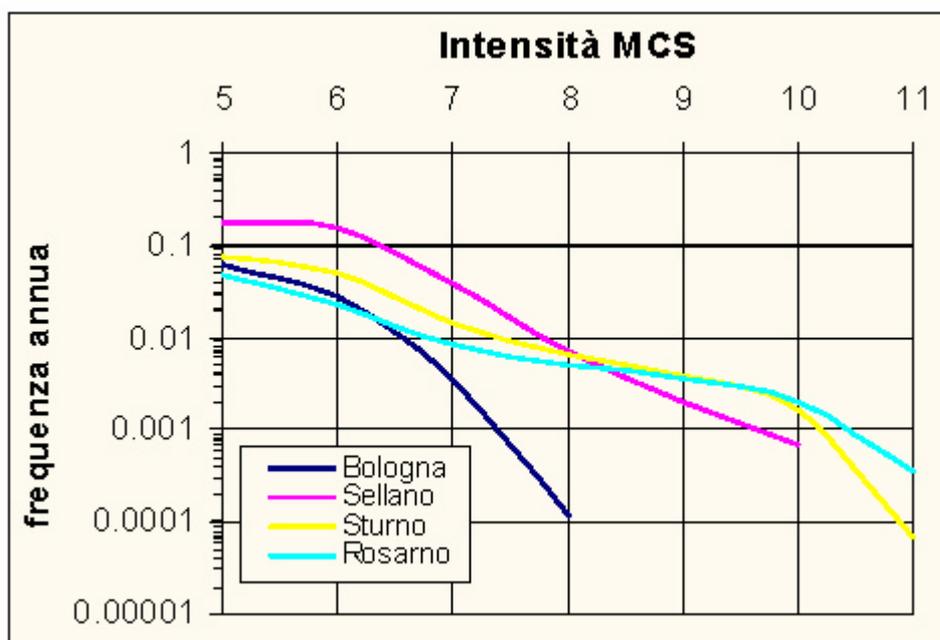
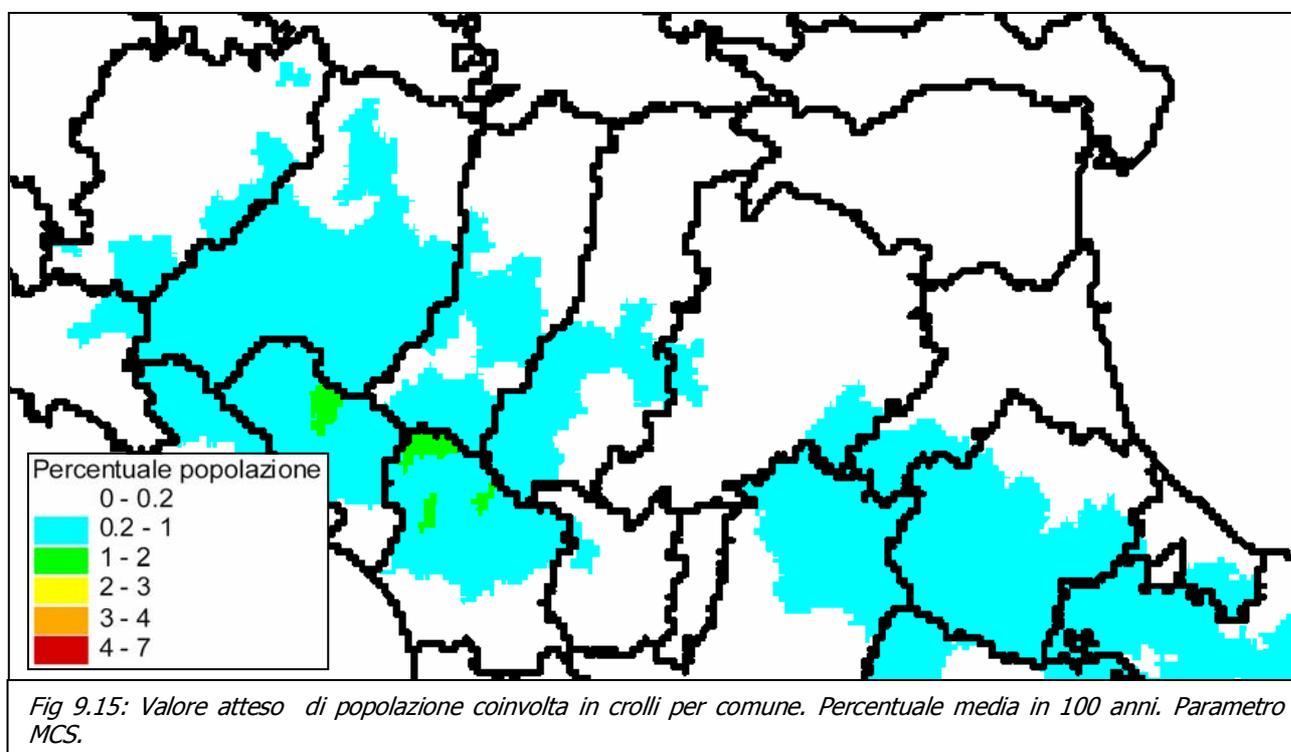


Figura 9.14 - Frequenza di occorrenza dell'intensità (MCS) per alcuni comuni italiani a diversa pericolosità.

Da tali elaborati si evince come il Comune di Bologna risulti collocato in zone con valori di PGA compresi tra 0.15 e 0.20 g, mentre l'intensità macrosismica risulta pari al 7° grado con periodo di ritorno pari a 475 anni.



Partendo dalle valutazioni della pericolosità sismica, lo studio congiunto del SSN del GNTD e dell'ING ha realizzato anche delle carte del rischio sismico. Si tratta del primo caso di cartografia sismica nazionale che riporta, su base comunale e su base annua, l'ammontare atteso dei danni relativi al patrimonio edilizio abitativo e il numero medio di persone coinvolte in termini crolli di edifici abitativi. Per valutare la vulnerabilità del patrimonio edilizio esistente è stato utilizzato un approccio tipologico - statistico che suddivide gli edifici in tre classi (A, B e C) suddivise in base alla tipologia costruttiva e all'anno di costruzione, con una ulteriore differenziazione in seno alla classificazione C dove viene operata la distinzione tra edifici costruiti in muratura di buona qualità ed edifici costruiti in cemento armato. La base di riferimento per questa suddivisione sono i dati del censimento ISTAT del 1991. La stima dei danni riportati dal patrimonio edilizio è stata fatta considerando 4 livelli di effetti verificati che vanno dal crollo al danno medio totale che rappresenta il costo di ripristino di un edificio danneggiato. È stato poi inserito nella valutazione l'indice relativo alla popolazione coinvolta in crolli. Il risultato finale è sintetizzato nella carta del valore atteso di popolazione coinvolta in crolli per comune stimato in una percentuale media in un periodo di 100 anni, e nella carta del valore atteso di superficie abitativa danneggiata per comune espresso in percentuale media annua riferita sia al parametro PGA che MCS (Fig. 9.15, 9.16, 9.17 e 9.18). Nella valutazione del numero di vittime entrano in modo determinante parametri come l'ora dell'evento, l'attività prevalente della popolazione coinvolta, la tipologia degli edifici, l'efficienza dei soccorsi ecc.



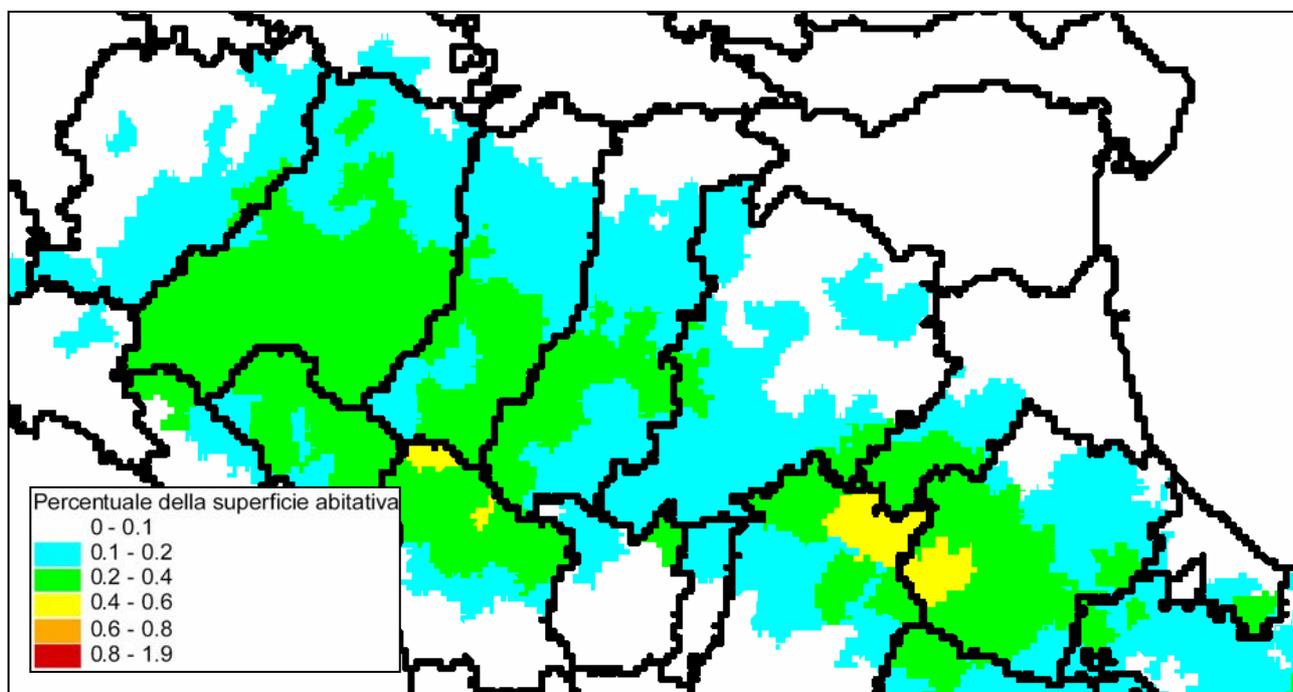
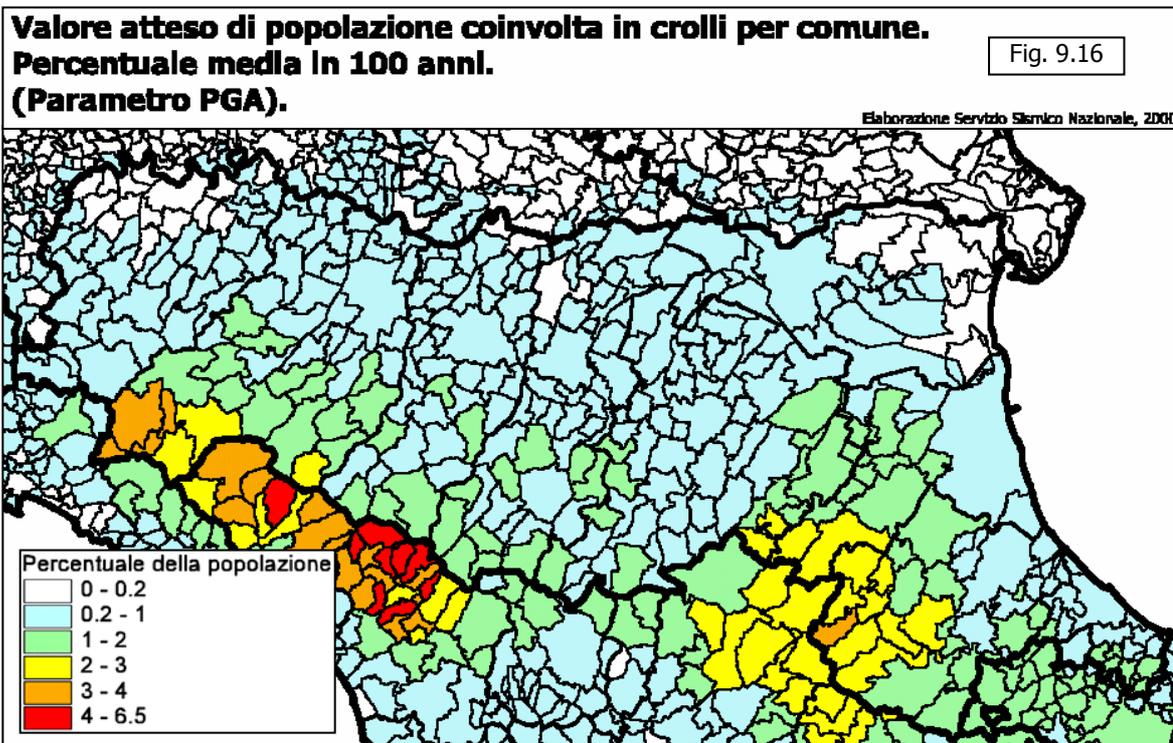
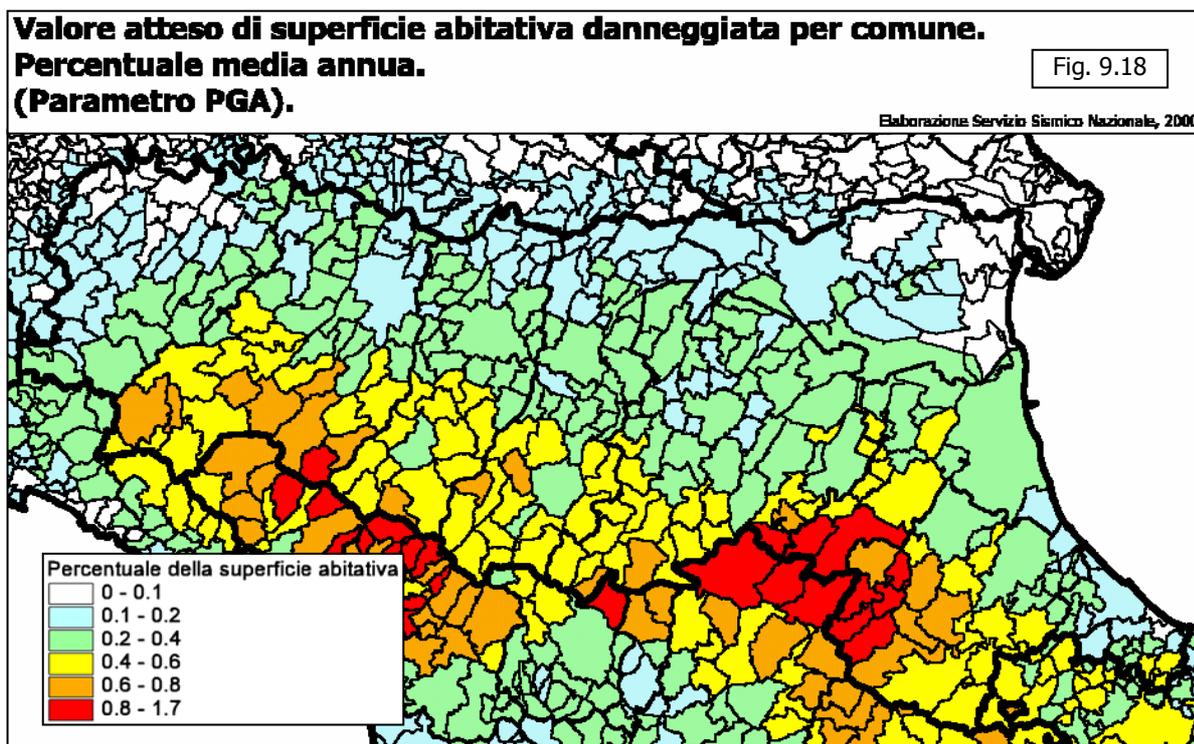


Fig 9.17: Valore atteso di superficie abitativa danneggiata per comune. Percentuale media annua. Parametro MCS



9.7. CLASSIFICAZIONE SIMICA ATTUALE

Fondamentale importanza riveste in materia di sismica le azioni concrete che vengono poste in essere in materia di conoscenza e prevenzione. A tal proposito è utile inquadrare il problema da punto di vista giuridico esaminando i provvedimenti e le leggi che regolano la condotta delle amministrazioni ed in generale della popolazione che si trova a gestire il territorio nei confronti di questo delicato aspetto.

In Italia, i provvedimenti normativi si sono succeduti per quasi un secolo sempre in seguito ad eventi catastrofici che hanno messo a nudo il problema. Possiamo trovare una data di nascita precisa per la normativa sismica italiana ed è senza dubbio il 1908, anno in cui si è verificato il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina. Il RD 193/09 introduce per la prima volta delle norme nel sistema giuridico italiano volte a operare una prevenzione rispetto agli eventi sismici, attraverso precise direttive in materia di normativa tecnica di edilizia antisismica associate alla classificazione del territorio tesa ad individuare le aree maggiormente a rischio ove far applicare quelle direttive. Nella sostanza le norme dettavano prescrizioni in merito ai terreni su cui edificare, alle tecnologie da utilizzare per l'edificazione, alle altezze massime degli edifici, agli spazi e le distanze da considerare tra i diversi edifici, ai calcoli statici da effettuare.

Fino al 1927 le norme di settore si limitano a integrare il Regio Decreto sia in merito alla classificazione dei comuni considerati sismici, integrando la classificazione in seguito ad eventi



catastrofici, sia con riguardo alla normativa tecnica che viene modificata ed arricchita di verifiche. Poi con il RD 431/27 viene introdotta la differenziazione nella classificazione del territorio riferendosi a due categorie di pericolosità. Questa novità di fatto amplia le aree da assoggettare a normativa tecnica antisismica differenziando i metodi di calcolo e le prescrizioni costruttive in base alla valutazione di rischio effettuata sul territorio. Con il RD 640/35 viene operata una significativa integrazione della normativa tecnica che viene imposta quale obbligo di recepimento all'interno dei regolamenti edilizi comunali. Mentre con il RD 2125/37 alcune regole costruttive in materia antisismica vengono estese a tutti i comuni anche se non classificati.

Passando per ulteriori disposizioni tecniche e variazioni nella classificazione dei comuni, si arriva agli anni '70 quando la Legge 64/74, attualmente vigente, affida allo strumento del decreto del Ministero dei Lavori Pubblici l'aggiornamento della normativa tecnica e della classificazione delle aree a rischio che deve essere operata su basi tecnico - scientifiche. Si tratta in definitiva di una legge di indirizzo che non detta essa stessa disposizioni di natura tecnica ma che intende disciplinare il modus operandi per giungere alla corretta azione di prevenzione nel settore. La prima conseguenza di questa nuova impostazione normativa, è rappresentata dal Decreto ministeriale del 3/3/1975, che introduce lo spettro di risposta degli edifici valutati nel tempo, nonché la possibilità di prevedere l'esecuzione di analisi dinamica la qual è lasciata alla valutazione di opportunità del progettista. Nel 1979 parte intanto il primo tentativo di razionalizzazione nell'ambito della zonizzazione sismica del territorio: un progetto del CNR si pone l'obiettivo di realizzare le carte di scuotibilità volte a valutare il livello di esposizione al terremoto attraverso il confronto con i dati relativi alla massima intensità macrosismica registrata per siti osservata nel periodo lungo (a partire dall'anno 1000), i dati relativi all'intensità osservata nell'ambito di un periodo di tempo stabilito (50, 100, 200, 500 e 1000 anni), infine il valore dei coefficienti utilizzati per la verifica progettuale delle costruzioni. Nel frattempo il DM 515 del 3/6/1981 modifica ulteriormente l'impianto normativo esistente introducendo la terza categoria sismica nell'ambito della classificazione territoriale sismica. In accordo con la legge 64/74 e con il decreto ministeriale del 1975, parte del territorio italiano ricade nella neonata terza categoria che comprende aree a minore sismicità rispetto alle prime due. Quindi la conclusione del progetto CNR trova un'applicazione diretta con la ridefinizione dei limiti di classificazione sismica del territorio nazionale realizzato su scala di territorio comunale. La carta della classificazione, attualmente in vigore (Fig 5 sis), risente dunque dei parametri più sopra individuati (massima intensità macrosismica per il sito, intensità osservata in un dato periodo, valore del coefficiente C per la verifica progettuale delle costruzioni), e del criterio utilizzato per individuare le classi di sismicità sulla base della normativa tecnica vigente (1^ classe coefficiente sismico $C = 0.1$; 2^ classe $C = 0.07$; 3^ classe $C = 0.04$).

Il Comune di Bologna non rientra attualmente in nessuna delle categorie sismiche individuate dagli strumenti legislativi ricordati (Fig. 9.19).

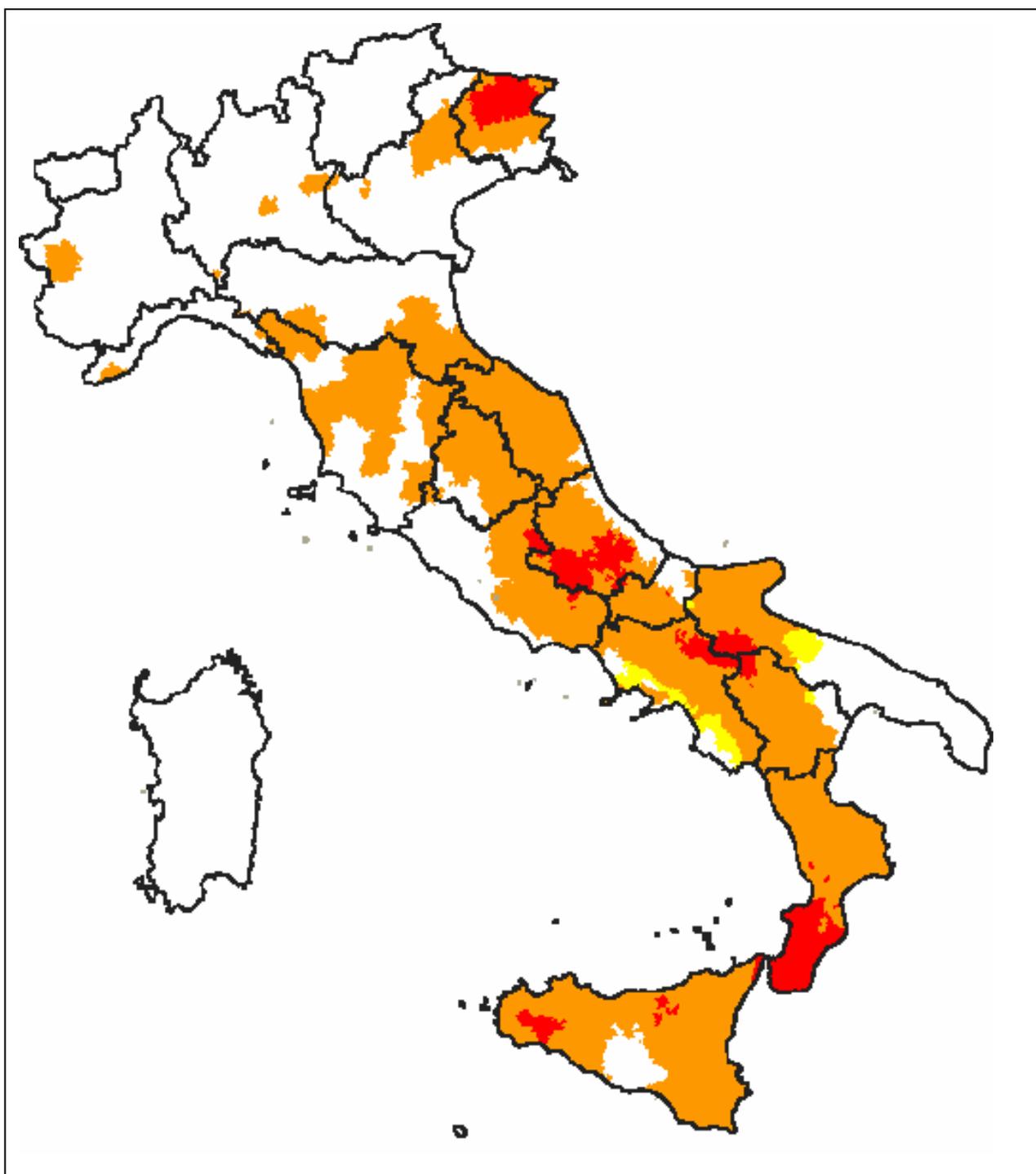


Figura 9.19 - Classificazione sismica attualmente vigente





Riassumendo dunque, allo stato attuale in Italia il combinato disposto delle norme prevede una classificazione del territorio, effettuata su base comunale, in merito alla sismicità, che comprende tre diversi livelli, il parametro utilizzato per definire la classificazione è rappresentato dal grado di sismicità *S* che risulta pari a 6 per le aree di terza classe, a 9 nelle zone in seconda classe e a 12 nel territorio ricadente nella prima classe. Le attività edilizie sono vincolate ad una serie di normative tecniche esecutive che vanno dall'altezza massima degli edifici, allo spessore dei muri, alle distanze minime da rispettare tra fabbricati fino a disciplinare tutte i calcoli le verifiche necessarie in sede di progettazione e di realizzazione.

9.8. PROPOSTE DI RICLASSIFICAZIONE

L'attuale classificazione, i cui contenuti salienti sono stati precedentemente esposti, rappresenta il risultato della stratificazione normativa di quasi un secolo di storia. Come si è visto però tutto il sistema di regole in campo di prevenzione e governo degli eventi sismici, è stato costruito procedendo per salti e, quasi nella totalità dei casi, in situazioni di emergenza quando cioè la contingenza del fenomeno ha reso indispensabile l'adozione di misure che hanno inevitabilmente risentito del carattere di urgenza. Con queste premesse ne è derivato un quadro complessivo che presenta più di qualche incoerenza e che non è mai riuscito ad uscire da una logica ristretta nella trattazione del tema. Dimostrazione ne è il fatto che, sin dalla sua origine, il complesso di regole prodotte in materia è stato sempre riferito al binomio "classificazione – normativa tecnica per nuove costruzioni". L'inefficacia di questa impostazione deriva dal fatto che, con riguardo alla classificazione, essa è tornata di attualità sempre a seguito di eventi sismici particolarmente significativi condizionandone la ridefinizione, con riguardo alla normativa tecnica essa è sempre stata riferita alla ricostruzione e, in generale, alla nuova edificazione, laddove storicamente i peggiori danni si sono verificati sul patrimonio edilizio antico e nei centri storici.

Le proposte di riclassificazione che sono state recentemente formulate sulla base di studi specifici del Servizio Sismico Nazionale (SSN), del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (GNDT) e dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), escono da questa logica ristretta e si propongono di analizzare il rischio sismico partendo da osservazioni oggettive di carattere scientifico, scevre dai condizionamenti che le emergenze inevitabilmente esercitano.

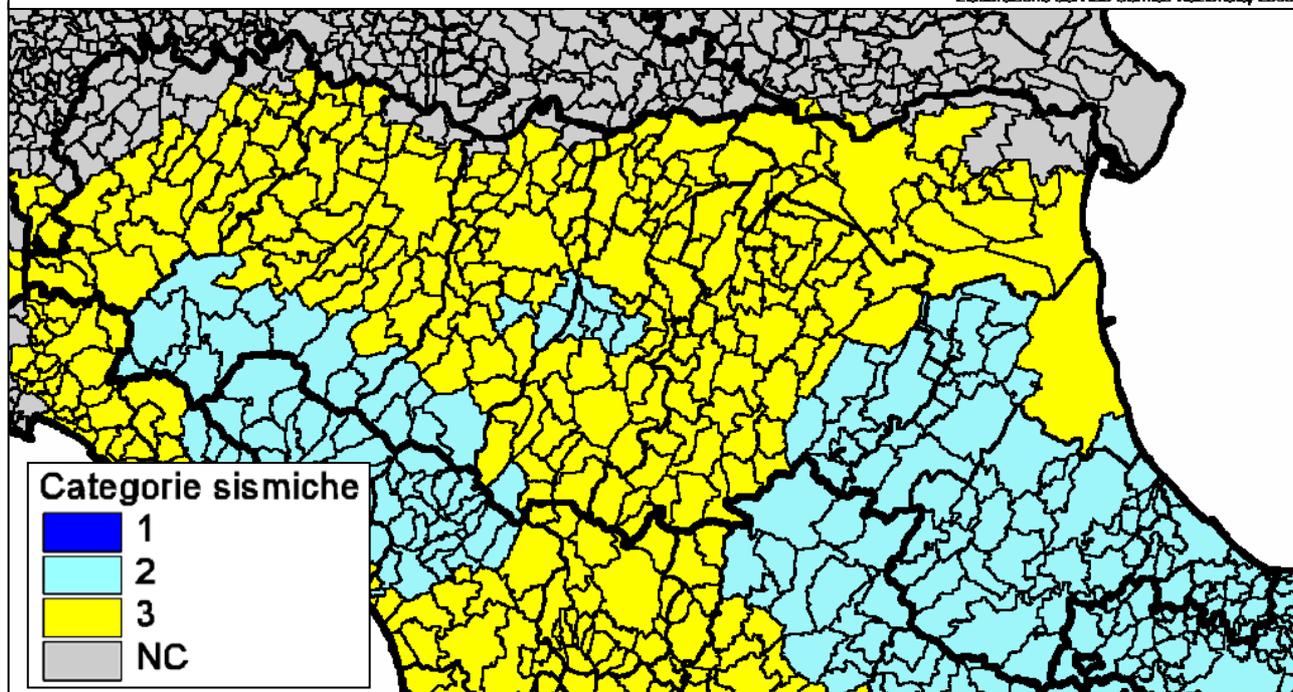
In particolare il SSN ha prodotto una proposta di riclassificazione nel 2000 che viene riprodotta nella figura 9.20 limitatamente alla Regione Emilia Romagna.



PROPOSTA DI RICLASSIFICAZIONE SISMICA

Fig. 9.20

Elaborazione Servizio Sismico Nazionale, 2000.



Si rileva come il Comune di Bologna in tale proposta risulti ricompreso all'interno della 3° categoria sismica.



BIBLIOGRAFIA

- A.A. vari, 1978** – I problemi della subsidenza nella politica del territorio e della difesa del suolo – Pisa 9-10 Novembre 1978 a cura di Comune di Pisa, Comune di Ravenna, Regione Emilia Romagna, Regione Toscana;
- A.A. vari, 1987** - L'Ipsoantropo – Bollettino del Gruppo speleologico paleontologico Gaetano Chierici di Reggio Emilia – Guida alle più note cavità dell'Emilia Romagna" – 3° circoscrizione Circolo "Casino dell'orologio";
- A.A. vari, 1989** – Problematiche connesse con gli interventi di emergenza da effettuare su edifici pericolanti (Comune di Bologna, Febbraio 1989) ;
- Amorosi A., Farina M., 1995** – "Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (northern Italy) – Rivista di geologia sedimentaria e geologia marina, Serie 3^a, Vol 57 n. 1-2, 1995;
- Artioli G.P., U.Baldini et al., 1997** – "Area metropolitana di Bologna : stato di avanzamento delle ricerche". In atti del convegno "Geologia delle grandi aree urbane", Progetto strategico CNR, Bologna 4/5 Novembre 1997;
- Balbiano d'Armengo C., 2002** - La formazione delle grotte – "La rivista del Club Alpino Italiano" Settembre – ottobre 2002. Ed.;
- Barbarella M., Pieri L., Russo P., 1990** – Studio dell'abbassamento del suolo nel territorio bolognese mediante livellazioni ripetute: analisi dei movimenti e condizioni statistiche (INARCOS N. 506 Bologna 1990);
- Bergonzoni A., Elmi C., 1999** - "Geologia del territorio urbano di Bologna"; Atti del Convegno "Geologia delle grandi aree urbane" (1999), PP. 265-271.;
- Bergonzoni F., 1976** - Quindici secoli di selenite. Inarcos, n. 363, p. 3-7.;
- Cancelli A., 1986** – Aspetto geotecnico della subsidenza (Ambiente: Protezione e risanamento, a cura di Adriano Zavatti, Pitagora Editrice, 1986 – Volume 1 : Le Acque);
- Camassi R., Molin D., 1984** – I terremoti bolognesi del 1929 (Comune di Bologna, Università di Bologna Facoltà di Ingegneria, Bologna, 1984);
- Carlioni G.C., Francavilla F., Zecchi R. 1978** – "Neotettonica del margine padano dell'Appennino Bolognese in relazione agli indizi geomorfologici ed alle strutture sismogenetiche" - Mem.Soc.Geol.It., 19 (1978), 627-634, I tab., 2 tavv.;
- Centro Villa Ghigi, 1996** - "Parchi e giardini di Bologna – una guida sul verde della città", , Editrice Compositori, 1996;
- Ciabatti M., Francavilla F., Giorni G., 1992** – "Vulnerabilità degli acquiferi in rapporto all'attività estrattiva nella pianura Bolognese", Grafis Edizioni – Casalecchio di Reno, 1992;
- Comune di Bologna, 1984** – "Studio sulla rete di scolo e sulla protezione delle falde nel Comune di Bologna";



- Comune di Bologna, 1993** – “Riqualificazione del sistema idrico di superficie nel territorio Comunale – 1° fase lettura tipologica e strutturale” a cura di Bianchi V. e Toschi V.;
- Comune di Bologna, 1999** – 1° relazione sullo stato dell’ambiente (Bologna, 1999);
- Comune di Bologna, 2002** – 2° aggiornamento sullo stato dell’ambiente (Bologna, 2002);
- De Marco R., Martini M.G., 2000** - La classificazione e la normativa sismica italiana dal 1909 al 1984”;
- Elmi C., 1987** – “Rilevamento geologico della zona collinare del Comune di Bologna”;
- Elmi C., Bergonzoni A., Massa T. & Montaletti V., 1984** - con contributi di Baratella P.L. e Ronchi A., 1984 - “Il territorio di pianura del Comune di Bologna: aspetti geologici e geotecnici”. *Giornale di Geologia*, sr. 3°, 46/2, (1984), pp. 127-152.;
- Fantini L., 1934** – “Le grotte Bolognesi”, Bologna 1934;
- Farina M., Simoni M., Passuti I., 1998** – Il complesso idrogeologico superficiale nel contesto della città di Bologna”, in “*Il Geologo dell’Emilia-Romagna*”, anno III n. 11, pag. 4-14;
- Fracavilla F., D’Onofrio S. & Toni G., 1980** – “Caratteri idrogeologici, strutturali e paleoecologico-stratigrafici del conoide del Fiume Reno” – *Quaderni dell’Istituto di Ricerca sulle Acque 51 (I)*, (1980);
- Fracavilla F., Colombetti A., 1980** – “Lineamenti idrogeologici della pianura della Provincia di Bologna, *Quaderni dell’Istituto di Ricerca sulle Acque 51 (I)*, (1980);
- Folloni G., Radicioni F., Russo P., 1996** – La subsidenza del territorio bolognese dal 1983 al 1993 (INARCOS N. 571 Bologna 1996);
- Fregni P., Panini F., 1966** - “I depositi Messiniani superiori di Settefonti e Mercatale (sinclinale intrappenninica bolognese, Appennino Settentrionale)”; *Accad. Naz. Sci. Lett. Arti di Modena, Collana di Studi*, 15 (1996) – *Miscellanea Geologica*, pp. 143-157.;
- Gelmini R., 1986** – La Subsidenza (Ambiente: Protezione e risanamento, a cura di Adriano Zavatti, Pitagora Editrice, 1986 – Volume 1 : Le Acque);
- GeoLOG, 1980** – “Progetto di studio per il riassetto fisico ed urbanistico del tratto urbano dell’alveo del Fiume Reno”;
- Gozzadini G., 1875** - Torri gentilizie di Bologna e delle famiglie alle quali prima appartennero. N. Zanichelli Ed., Bologna, pp. 772.;
- Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia, 1993** - “Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo”; *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 16 (1993), 129-152, 1 carta.;
- IDROSER S.p.A., 1989** – Studio sul fenomeno della subsidenza nel territorio bolognese – Stato di Avanzamento dei lavori;
- Lugli S., 1996** - “ Il gesso in natura e nell’arte”. *Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena*, 127 (1996), 31-47.;
- Panini F., Fregni P., 2002** - “The upper Messinian deposits of the Bologna foothills (Sabbiuno Area-Reno valley, Italy); *Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale n.1 (2002)*, 417-423, 7ff.;
- Pellegrini M., 1998** - “la geomorfologia appenninica in Emilia” – in: *Il mondo della natura in Emilia-Romagna*. Amilcare Pizzi. Cinisello Balsamo (MI);



- Pesci G., Ugolini C., Venturi G. 1994** – “Bologna d’acqua – L’energia idraulica nella storia della città”, Editrice Compositori, Bologna, 1994;
- Poggiali A., 1999** - “Processi di versante nel territorio collinare del Comune di Bologna tra il Fiume Reno e il Torrente Savena – Zona est” – Tesi di Laurea, Università degli studi di Bologna – Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico – Ambientali; Anno Accademico 1998-1999.;
- Provincia di Bologna, 2002** – “2° rapporto sullo stato dell’Ambiente”, Bologna, 2002;
- Varani L., 1974.** Evoluzione dei rapporti uomo-ambiente nei gessi bolognesi e romagnoli. Boll. Soc. Geogr. It., ser. X, v. 111, fasc. 7-12, pp. 325-347.;
- Veggiani, 1979** - La tradizione dei gessi. In: “Cultura popolare dell’Emilia Romagna - Mestieri della terra e delle acque”, Silvana Ed., Milano, pp. 85-93.;
- Vianelli M., 1989** - “I gessi di Bologna – Il Farneto, La Croara, Monte Donato, gaibola, Zola Predosa” – Nuova Alfa Editoriale;
- Pieri L., Russo P., 1985** – Situazione attuale delle ricerche sull’abbassamento del suolo nel territorio bolognese (INARCOS N. 456 Bologna 1985);
- Pieri L., Russo P., 1980** – Abbassamento del suolo nella zona di Bologna: considerazioni sulle probabili cause e sulla metodologia per lo studio del fenomeno (Pitagora editrice - Bologna 1980);
- Regione Emilia Romagna, Federazione Speleologica Regionale, 1980** – Il catasto delle cavità naturali dell’Emilia-Romagna;
- Regione Emilia Romagna, 1980** – Guida per la realizzazione di una carta sismotettonica e del rischio sismico;
- Regione Emilia Romagna, 2001** – Ufficio Geologico “Itinerari geologico – ambientali nelle colline bolognesi”; scala 1/50.000 – Edizione 2001;
- Regione Emilia Romagna, 1999** - “Documentazione base dati dalla Carta Geologica dell’Appennino Emiliano Romagnolo scala 1:10.000 – versione 2 (giugno 1996, revisione dicembre 1999) Sezione 220120 “Casalecchio di Reno”; scala 1/10.000 - Sezione 221090 “Bologna sud”; scala 1/10.000 - Sezione 221130 “Rastignano”; scala 1/10.000 - Sezione 221160; scala 1/10.000;
- Regione Emilia Romagna, ENI – AGIP, 1998** “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G.Di Dio. S.EL.CA (Firenze), 120 pp.;
- Regione Emilia Romagna, 1999** – “I numeri sulle frane”;
- Saselli S., 1999** - “Processi di versante nel territorio collinare del Comune di Bologna tra il Fiume Reno e il Torrente Savena – Zona Ovest” – Tesi di Laurea, Università degli studi di Bologna – Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico – Ambientali; Anno Accademico 1998-1999.;
- Zecchi R., 1980** – Guida per la realizzazione di una carta sismotettonica e del rischio sismico (Pitagora Editrice, 1980);