

PIANO STRUTTURALE COMUNALE

VARIANTE 2017

L.R. 24 MARZO 2000 n.20

CITTA' DI MOLINELLA
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Buriane
Sindaco:
Segretario comunale:

Dario Mantovani
Danilo Fricano

Progettista:
Collaboratori interni:
Collaboratori esterni:

Ing. Angela Miceli
Ing. Irene Evangelisti
Arch. Carlo Santacroce (MATE Soc. Coop.)

RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATO PSC 2.ALL.

PSC Approvato con Delibera di Consiglio Comunale n.43 del 25/09/2010
e variante adottata con Delibera di Consiglio Comunale n.34 del 08/06/2017
Controdeduzione e Approvazione con Delibera comunale n. ___ del ___

Febbraio
2018

P S C

ELABORATO
IN FORMA
ASSOCIATA

QUADRO CONOSCITIVO

Sistema naturale e ambientale
Relazione geologica

elab. **AC.2.REL**

CONFERENZA DI PIANIFICAZIONE

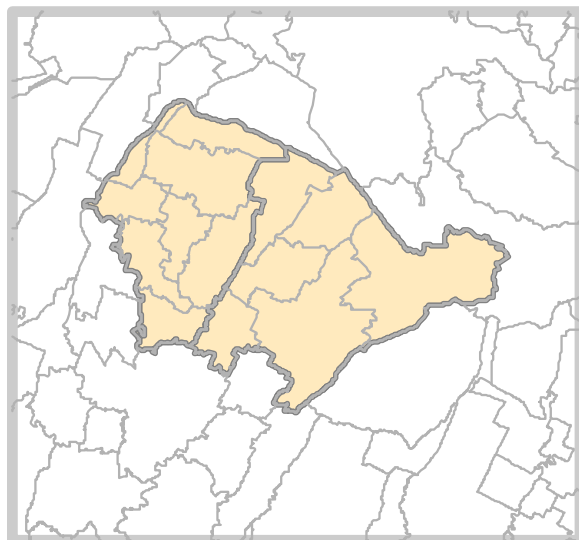
Presidente Associazione
Loretta Lambertini

Sindaci
Carlo Castelli - Loretta Lambertini
Bruno Selva - Giacomo Simoni
Massimiliano Vogli - Luigi Zanardi

Responsabile di progetto
Giovanni Viel (Studio di Geologia Applicata)

Ufficio di Piano
Tiziana Draghetti (coordinamento)
Aldo Ansaloni - Federico Ferrarato
Chiara Girotti - Enrico Sabatini - Tiziana Sicilia

data: 10 giugno 2006



INDICE

1. MORFOLOGIA DI PIANURA

1.1 IL CONTESTO MORFOLOGICO

- 1.1.1 Introduzione metodologica**
- 1.1.2 Ragioni strutturali dell'evoluzione della pianura**
- 1.1.3 Note illustrative della tavola 1**

1.2 LA ZONIZZAZIONE GEOTECNICA

- 1.2.1 Introduzione metodologica**
- 1.2.2 I riferimenti normativi**
- 1.2.3 La banca dati geognostica**
- 1.2.4 Le carte di zonizzazione geotecnica**

2. ACQUE SOTTERRANEE: QUANTITÀ E QUALITÀ

2.1 LA MORFOLOGIA DELLA PRIMA FALDA

- 2.1.1 Introduzione metodologica**
- 2.1.2 Note illustrative della carta idrogeologica**
- 2.1.3 Proposta di scomposizione territoriale**

2.2 LA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

- 2.2.1 Lo stato conoscitivo sulle prime falde**
- 2.2.2 Introduzione metodologica**
- 2.2.3 I riferimenti normativi**
- 2.2.4 La banca dati idrochimica**
- 2.2.5 Note illustrative sulla distribuzione dei parametri idrochimici**
 - 2.2.5.1 Distribuzione della Condizibilità*
 - 2.2.5.2 Distribuzione dei Cloruri*
 - 2.2.5.3 Distribuzione dei Solfati*
 - 2.2.5.4 Distribuzione dell'Ammoniaca*
 - 2.2.5.5 Distribuzione dei Nitrati*
 - 2.2.5.6 Distribuzione del Ferro e Manganese*
 - 2.2.5.7 Carta di Sintesi della qualità delle acque sotterranee*
- 2.2.6 Conclusioni**

3. INTERPRETAZIONE SOTTOSUOLO

3.1 METODOLOGIA E LIMITI DI RESTITUZIONE

- 3.1.1 Area industriale di Quarto Inferiore (Com. di Granarolo)**
- 3.1.2 Area industriale di Cento, (Comune di Budrio)**

4. POLITICHE ED INDIRIZZI



1. MORFOLOGIA DI PIANURA

1.1 IL CONTESTO MORFOLOGICO E LITOLOGICO

1.1.1 Introduzione metodologica

L'evoluzione della pianura olocenica è riconducibile ad un modello semplice, almeno nelle linee generali. I corsi d'acqua appenninici, a valle delle conoidi pedemontane, poco attive durante l'Olocene (ultimi 15.000 anni), oggi prevalentemente in erosione, tendono a proseguire verso il collettore principale su alvei pensili, formati da sedimenti che il corso d'acqua non è più in grado di portare in carico.

Nel caso di rotte e tracimazioni, in natura frequente, le acque invadono la pianura circostante depositando dapprima i sedimenti più grossolani nelle vicinanze dell'alveo, più lontano i sedimenti più fini (limi sabbiosi e limi) e nelle conche morfologiche, ove le acque possono rimanere a lungo e decantare, si depositano limi argillosi ed anche argille.

A seconda delle condizioni di drenaggio locale le acque possono permanere per tempi più o meno lunghi nelle aree esondate, fino a formare paludi e laghi permanenti, presupposto alla formazione di potenti depositi di argille di decantazione e torbe.

Per corsi d'acqua di pianura non arginati artificialmente, rotte e tracimazioni sono un fenomeno ricorrente che crea le condizioni per modifiche e divagazioni dell'alveo, ciò avviene con frequenza assai alta nei bacini subsidenti che caratterizzano la pianura padana. La velocità di subsidenza naturale (circa 2 millimetri/anno nel bolognese) condiziona la velocità di accrezione verticale, ma la sua variazione geografica condiziona anche la distribuzione spaziale dei corsi d'acqua.

L'accrezione della pianura emiliano-romagnola avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente a causa dei continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Un immaginario profilo verticale della pianura risulterebbe dunque costituito da un intrecciarsi di lenti sabbiose - corrispondenti a corpi d'alveo sepolti (argini naturali) - e da sedimenti a tessitura fine, determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente legati ai processi strutturali e di sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo. La figura 1.1.1.1 riporta la situazione geografica della pianura bolognese attorno al 1760. Come si vede la presenza di vaste aree occupate da zone di espansione dei corsi d'acqua superficiali (paludi, acquitrini stagionali) testimonia delle



difficoltà di drenaggio connesse all'evoluzione geostrutturale profonda della pianura ed alla presenza dei rilievi costituiti dai depositi sabbiosi (argini naturali) dei maggiori fiumi: Reno e Po di Primario.

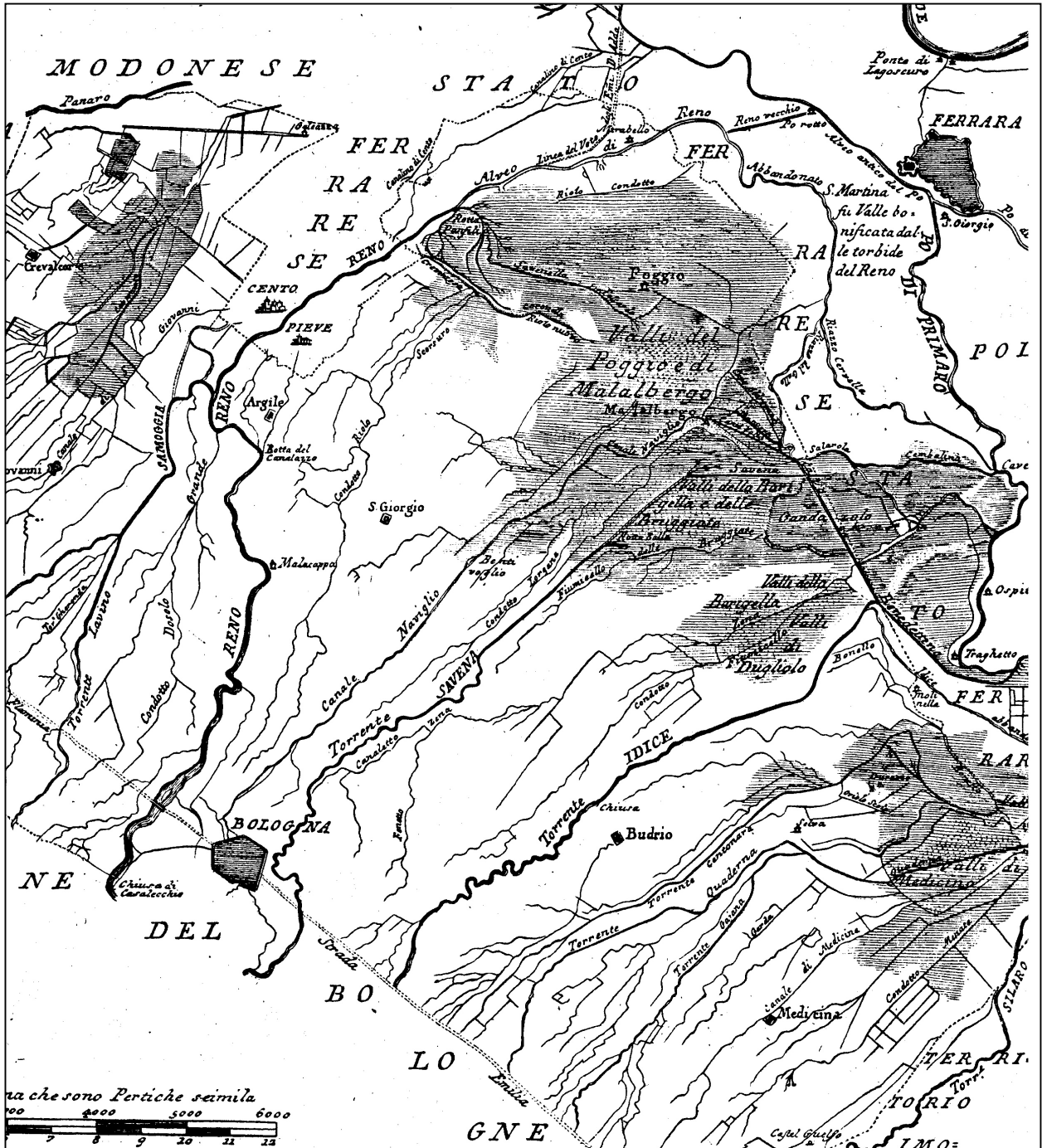


Figura 1.1.1.1 – Stralcio di cartografia risalente al 1761 che riporta la delimitazione delle “valli” distribuite a ridosso del Reno e del Po di Primario.



Questo vasto sistema di zone umide è stato oggetto delle bonifiche che si sono succedute fino a produrre l'assetto attuale della pianura, assetto caratterizzato dalla "pensilità" dei corsi d'acqua, dalla necessità di sollevamento delle acque dei bacini interfluviali per il loro drenaggio, dalla presenza di vaste aree di pianura depressa di forma per lo più ellissoidica (conche morfologiche), ed infine da morfologie allungate nella direzione del drenaggio e topograficamente rilevate sulla restante pianura: gli argini naturali fossili (paleoalvei) . Questa ripartizione topografica riproduce la geografia di un passato storico (dal preromano a ciò che si può ricostruire con le cartografie dei secoli scorsi: dall'Atlante Magini, 1620, alle IGMI di primo impianto, 1890).

L'analisi delle foto aeree, in particolare se ottenute in periodi dell'anno privi di vegetazione, consentono di individuare le zone a maggiore (sabbie) e minore (limi ed argille) permeabilità superficiale, e quindi di ricostruire gli andamenti e le geometrie degli ambienti deposizionali del passato più vicino a noi. La cartografia morfologica è dunque anche cartografia tessiturale, o se si vuole, litologica, relativa ai primi pochi metri di sottosuolo.

Alla fine degli anni settanta, i geologi dell'allora "Servizio Cartografico" erano impegnati nel rilevamento pedologico della pianura, attraverso la realizzazione di sporadiche trincee e raccolta di campioni superficiali con trivella manuale. Chiunque abbia raccolto informazioni tessiturali e pedologiche con la trivella a mano, comprende immediatamente quanto forte fosse lo stimolo a trovare un metodo di estrapolazione dei dati.

La sedimentologia fornì lo schema di base per effettuare le prime considerazioni, correlazioni e verifiche dirette. Iniziò così la ricostruzione degli ambienti deposizionali recenti attraverso la interpretazione di foto aeree (R. Pignone e D. Preti). Le prime ricostruzioni cartografiche avevano la finalità di fornire un supporto allo studio pedologico della pianura, ma ben presto l'importanza che rivestiva questa ricerca nell'interpretazione anche storico-geologica della pianura emiliana, rese autonoma la ricerca.

La prima ricostruzione completa della morfologia del sottosuolo dell'intera pianura regionale, venne completata nel 1987 da D. Preti, ed ebbe un'impostazione di legenda conforme alle tavole geologiche della "Matrice Ambientale" del PTR: fondata sugli ambienti deposizionali e ambiti morfostrutturali (G. Viel, 1987).

Successivamente vennero integrate le informazioni cartografiche storiche, ed interpretati i dati archeologici, ottenendo così una possibile datazione dei corpi sedimentari della pianura. Nel 1994 venne pubblicata la carta del "Rischio Geoambientale" (G. Viel e D. Preti, 1994), in cui la carta morfologica di pianura, rivista e corretta, viene per la prima volta utilizzata per dedurre la vulnerabilità idrogeologica. Le successive edizioni della carta morfologica,

sempre aggiornate e corrette, comprenderanno anche le datazioni storiche di probabile formazione dei corpi geologici.

L'edizione attuale, curata da D. Preti, disponibile anche in formato numerico, costituisce la base conoscitiva unitaria per l'intera Regione, ed è stata utilizzata in questo lavoro. La maggiore definizione di scala e la possibilità di controllare le tessiture del primo sottosuolo con gli esiti delle indagini geognostiche, ha consentito di modificare le situazioni in cui si sono dimostrate contraddizioni tra i dati puntuali e quelli riportati in cartografia. In sostanza della carta regionale viene accettata l'impostazione di metodo e la struttura dei dati, mentre, a scala di dettaglio locale, vengono confrontati i dati tessiturali noti con le conclusioni sintetiche della stessa cartografia.

La tavola 1 risulta pertanto quella prodotta in quasi 20 anni di attività dalla Regione Emilia-Romagna, le modifiche apportate rispondono alle evidenze locali desunte da indagini puntuali di sottosuolo.

1.1.2 Ragioni strutturali dell'evoluzione storica della pianura

L'andamento dei paleoalvei e degli alvei attuali a scala regionale è stato condizionato dall'evoluzione strutturale profonda della Pianura Padana. Ciò è dimostrato a scala regionale dallo stesso andamento del fiume Po che, in corrispondenza delle propaggini occidentali delle Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1982), vede deviato il suo corso verso Nord Est: subisce in modo assai vistoso la dinamica degli elementi strutturali ad "arco" paralleli alla catena appenninica. I fiumi minori, affluenti del Po, sono a loro volta condizionati anche dagli elementi secondari trasversali alle grandi pieghe fagliate.

Se le strutture tettoniche profonde hanno influito in modo preponderante, rispetto ad altri parametri, sull'andamento del reticolato idrografico a grande scala della pianura, l'insieme dei parametri climatici ha certamente avuto un ruolo importante nel gioco delle esondazioni, nella formazione delle paludi e soprattutto nella distribuzione temporale degli eventi. Ciò ha naturalmente influito sulla distribuzione locale delle litologie di superficie, soprattutto negli ultimi millenni.

In particolare, per gli ultimi 4000 anni gli studi di molti Autori (S. Cremonini, 1980; Cremaschi & Alii, 1980; Veggiani 1985, Ortolani e Pagliuca, 1996) hanno consentito di individuare cicli climatici di piovosità, che si articolano in quattro eventi certi ed uno dubbio:

- 1400-1300 a.C.
- 700-300 a.C.
- 400-700 d.C.
- 1150-1350 d.C. (?)
- 1550-1850 d.C.

Questi cicli, associati ai fattori tettonici di cui si è trattato in precedenza, sono stati responsabili di esondazioni e di considerevoli modifiche dell'assetto idromorfologico della pianura fino a tempi a noi vicini.

L'intervento antropico di bonifica che dall'età preromana è andato sempre intensificandosi ha in gran parte modificato e poi interrotto l'evoluzione degli eventi naturali: il reticolato idrografico, via via sempre meno dinamico, risulta ai nostri giorni in pratica cristallizzato.

Dai tempi preromani al XIV secolo si osserva Fig 1.1.2.1 come principale "trend" evolutivo uno spostamento verso occidente degli assi drenanti provenienti dalle valli del Reno e del Panaro, diretti verso nord per la confluenza nel Po. L'idice pare avere un comportamento opposto: il suo alveo "migra" verso oriente per la confluenza dapprima nel Po e dal XIV secolo nel Reno. Così tra Reno ed Idice va aprendosi un grande spazio che sarà occupato dalle divagazioni dei fiumi minori della collina del pedecollina bolognese. Questa anomalia potrebbe avere una spiegazione strutturale.

In tempi romani il Panaro abbandona il percorso S.Giovanni in Persiceto - Cento (P1, vedi Figura 1.1.2.1), per spostarsi lungo un asse Castelfranco Emilia - Nonantola - Finale Emilia (P2); analogamente, il Reno subisce una netta divagazione verso Ovest lungo un alveo Trebbo - S. Giorgio di Piano - S. Pietro in Casale - Ferrara, indicato in Figura 4 come R2, abbandonando un percorso preromano lungo l'asse Castelmaggiore - Bentivoglio (R1), mentre l'Idice pare mantenersi in asse sul proprio alveo (I1 e I2).

Questi spostamenti, che pare culminino nell'alto medioevo, è possibile siano stati provocati da una fase di particolare intensità della subsidenza tettonica del modenese, il cui centro è da ubicarsi probabilmente a nord della Via Emilia. Questo processo, sviluppato dal preromano fino al XVII secolo, avrebbe prodotto rotte e nuove divagazioni verso il centro di abbassamento relativo. Osservando la figura 1.1.2.1 si nota che allo spostamento dell'asse del Panaro, lungo il tracciato P3, corrisponde la medesima deriva del Reno che occupa un paleoalveo del Panaro abbandonato (R3).

L'asta dell'Idice, invece, continua a permanere approssimativamente nella medesima posizione, a testimonianza che lo spostamento degli assi di drenaggio di Reno e Panaro può essere dovuto a processi strutturali localizzati e non di "basculaggio" generale della pianura. Un'ulteriore testimonianza si ha osservando, nel medesimo intervallo temporale, il decorso del Secchia, del Tresinaro e del Crostolo: Secchia e Tresinaro spostano il loro corso verso oriente, mentre il Crostolo segue un'evoluzione geografica inversa divagando verso occidente.

La ricostruzione del reticolo idrografico del basso Po e dei suoi affluenti principali di destra idrografica, realizzata da vari Autori, presentata nella figura

consente di avere un'immagine dell'evoluzione idrografica dell'Emilia-Romagna

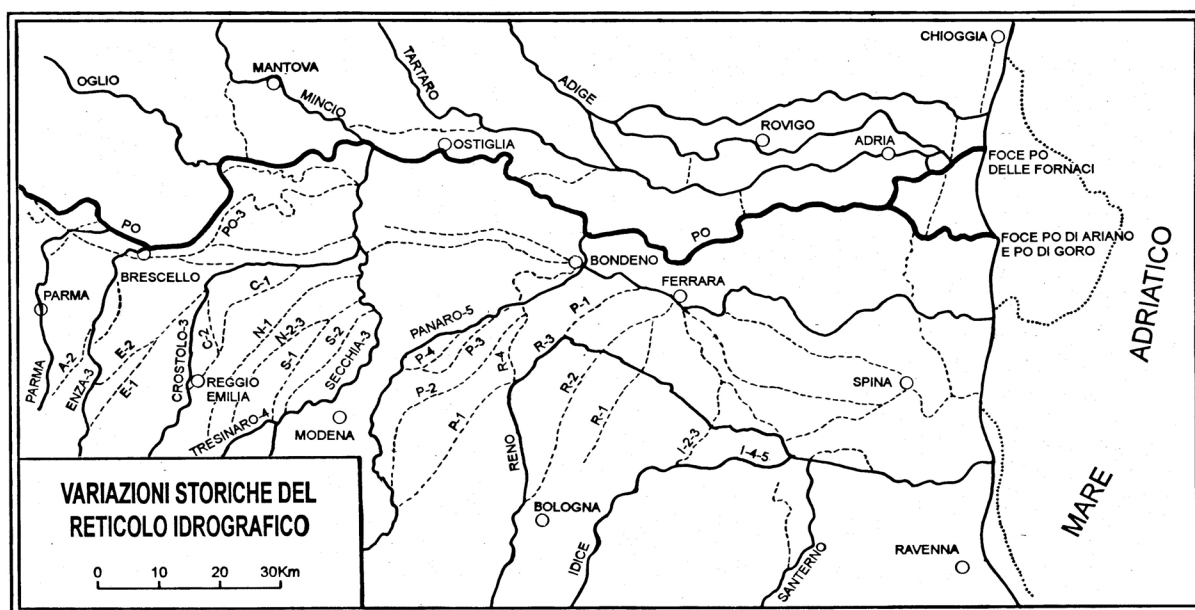


Figura 1.1.2.1 – Ricostruzione del reticolo storico del basso Po e dei suoi affluenti di destra idrografica realizzata da vari Autori, lo schema di lettura dei dati nella pagina seguente.

Età	Idice	Reno	Panaro	Secchia	Tresinaro	Crostolo	Enza
Preromano	I1	R1	P1	S1	T1	C1	E2
Romano	I2	R2	P2	S2-S3	T2	C1	E2-3
Alto medioevo	I3	R3	P3-P4	S3	T3	C2	E3
XIV secolo	I4-5	R4	P5	S3			

Il quadro evolutivo si completa considerando l'allineamento Brescello – Bondeno che pare abbia costituito una importante “gronda” di drenaggio dell'alta pianura fino all'Alto Medioevo, quando la probabile attività delle pieghe ferraresi ha provocato leggeri sollevamenti differenziali delle cerniere con allineamento ovest – est. Questi processi, possono essere alla base dello spostamento verso oriente del punto di divaricazione del delta del Po: in età preromana e romana forse collocato nei pressi di Brescello, mentre dal Medioevo a Bondeno e Ferrara. Come si è già detto, la formazione di un alto strutturale ad ovest di Ferrara produrrà lo spostamento verso settentrione anche di parte del corso principale del Po.



L'Alto medioevo coincide con un regime pluviale piuttosto abbondante ed è associato a fenomeni di generale innalzamento degli alvei, con difficoltà di scolo e di drenaggio: ciò comporta la formazione di grandi aree palustri con ristagni d'acqua, sottoposte a bonifica intensiva solamente nei secoli più vicini a noi. Dopo i grandi dissesti idrogeologici del periodo alto medioevale, che provocarono rotte e imponenti cambiamenti di corso dei fiumi nei loro tratti di pianura, ricerche climatologiche ritengono che si instauri un optimum climatico dal 800 d.C al 1200 d.C per tornare poi ad un nuovo deterioramento.

L'ampia area compresa tra il Reno e l'Idice costituisce l'ambito in cui si attua l'inversione delle direzione tendenziale delle divagazioni d'alveo, ed è solcata da numerosi alvei minori. La storia evolutiva di questi piccoli alvei non pare però risentire dei medesimi condizionamenti strutturali. Nel bolognese, i corsi d'acqua che trovano origine nell'elemento idrografico pedecollinare, hanno decorso condizionato più dai corpi alluvionali depositati dai fiumi maggiori (Reno e Idice - Savena), che da elementi strutturali. La ricostruzione di sottosuolo effettuata per la città di Bologna (Viel G., in Artioli et Al. 1997) offre un panorama convincente nel grande dettaglio della situazione locale.

Forse solamente il Savena pare seguire il decorso verso occidente in una fase della sua evoluzione medioevale, ma gli elementi sono troppo incerti per poter fare affermazioni certe. In tutti i casi la tendenza ad una permanenza così prolungata dell'Idice nel suo alveo preromano (o se si preferisce il suo mancato spostamento verso occidente) corrisponde, e forse ne è causa aggiuntiva, la conservazione della "centuriazione romana" nei comuni della pianura orientale bolognese.

Ecco che allora cause delle divagazioni o delle permanenze degli alvei trovano prove e motivazioni anche nei segni territoriali archeologici ancora ben riconoscibili nel nostro quadrante di pianura.

1.1.2 Note illustrative della tavola 1

Il lungo lavoro di controllo della carta regionale, che è stato effettuato in base ai criteri esposti nel paragrafo metodologico, è tutto rivolto alle tessiture a livello locale nei primi 3 – 5 metri di profondità dal piano di campagna. In ogni situazione in cui sono note prove geognostiche in numero e qualità tale da garantire una ragionevole sicurezza, si sono confrontati gli esiti delle indagini dirette con le conclusioni dedotte dall'interpretazione delle foto aeree e riprodotte nella cartografia regionale. In tutti i casi in cui si sono riscontrate discrepanze significative, si sono operate le correzioni che sono apparse più congrue, caso per caso.

La tavola 1 riporta l'esito finale di questo confronto, le correzioni apportate alla carta regionale, assunta come base, devono essere considerate contestualmente all'elenco delle prove geognostiche utilizzate, ed alla zonizzazione geomeccanica presentata nelle figure inserite nel testo, comune per comune. Quest'ultima, tuttavia, è riferita all'intero intervallo dei primi 10 metri di sottosuolo, e non solamente ai primi 3 o 4 metri, deve pertanto essere integrata con la lettura dei diagrammi penetrometrici.

In sintesi, le variazioni apportate sono:

Comune di Pieve di Cento, una parte del Capoluogo è stata inclusa nella zona delle alluvioni sabbiose (legenda 6), a scapito dell'area a sabbie fini (5), come dimostrerebbero gli esiti delle prove penetrometriche di repertorio. Anche gli esiti delle penetrometrie che interessano la parte più centrale del corpo litologico, mostrano valori geomeccanici scadenti, si tratta con probabilità di zone di intercanale, allungate nel senso della corrente. Si è così modificata la carta litologica inserendo corpi allungati di sabbie fini o di limi.

Comune di Castello d'Argile, attorno al Capoluogo ed a località Case Filippetti si è modificata la cartografia regionale a seguito degli esiti geognostici di repertorio che indicano presenza di substrato con scarse caratteristiche geomeccaniche. Anche in questo caso si sono indicate tessiture limose o sabbioso finissime assai poco dense.

Comune di Argelato, ad ovest e ad est del Capoluogo sono state apportate alcune correzioni al limite di zona per adeguarlo agli esiti delle prove penetrometriche di repertorio, anche se la sostanza della carta regionale non è stata modificata.

Comune di Castel Maggiore, modeste variazioni al limite tra le zone tessiturali dettate dagli esiti delle penetrometrie, si tratta di variazioni in diminuzione dell'area indicata come sabbiosa. Esiste inoltre un'ampia zona di dubbio, corrispondente al territorio ad occidente del Capoluogo, in cui sono rappresentate sia sabbie, per lo più fini, a basso addensamento e limi. La lettura delle tessiture con la punta meccanica del penetrometro è assai approssimativa, si è così ritenuto mantenere l'aperta discrepanza tra carta geomeccanica e carta tessiturale e morfologica.

Comune di Galliera, una sola modesta variazione all'ambito sabbioso legato all'Argine Naturale del Reno, in corrispondenza della zona sud ovest di S. Venanzio. Anche in questo caso la variazione è connessa alla zonizzazione geomeccanica ed agli esiti delle prove geognostiche locali. Si è inserito anche una piccola area a prevalente tessitura limosa (bacino interfluviale).

Comune di S. Pietro in Casale, quello che con probabilità doveva essere un apparato distributore che scaricava in una zona palustre, o comunque di espansione delle piene, è stato ridimensionato nelle sue apofisi laterali, sono

stati costruiti nuovi “golfi” con sabbie fini, per giustificare le stratigrafie delle prove esistenti. Anche nel corpo centrale esistono differenziazioni note e registrate dalle stratigrafie: maggiore presenza di livelli sabbiosi, si tratta con ogni probabilità di paleo alvei sepolti (vedasi lo specifico lavoro di ricostruzione fatto per il PRG) che è impossibile in questa sede inquadrare, se non sconvolgendo la stessa natura logica della carta regionale.

Comune di S. Giorgio di Piano, si sono fatte modifiche solamente per un piccolo ampliamento dell’area a tessitura limosa in corrispondenza Osteria due Ponti.

Comune di Bentivoglio, anche per questo comune esiste una sufficiente coerenza tra la carta regionale e gli esiti delle prove geognostiche, la variazione più consistente è stata realizzata in corrispondenza di Castagnolo Minore, ove le indagini di sottosuolo forniscono tessiture sabbiose fini e meno prevalenti di quelle che normalmente si rinvencono nei complessi di argine naturale. Anche in corrispondenza della zona industriale si è ricavato una lunga apofisi dotata di tessiture sabbiose fini, come dimostrerebbe anche il precedente lavoro di analisi di dettaglio eseguito per la direttrice nord.

Comune di Malalbergo, Nessuna variazione di rilievo;

Comune di Barricella, si sono dovute apportare tre modifiche di modesto rilievo, sempre a seguito degli esiti contraddittori delle analisi di sottosuolo: in località Palazzina da tessiture sabbiose prevalenti 5 a tessiture limose; a S. Gabriele al contrario ove erano indicate tessiture in prevalenza limose 9 sono risultate in qualche penetrometria sabbie a basso addensamento, ma sabbie; Infine nel Capoluogo una parte del margine tra sabbie e limi (tra Argine Naturale e Bacino) è stato variato spostandolo verso l’esterno;

Comune di Minerbio, si sono dovute apportare modifiche di sostanza, e probabilmente un più attento esame potrebbe al rifacimento della carta litologica o morfologica regionale. Tutto il settore compreso tra la zona ovest del Capoluogo e Ca de Fabbri ha un numero considerevole di prove geognostiche che offrono esiti in forte contrasto con la cartografia. Probabilmente la relativa maggiore vicinanza all’Alta Pianura ed un probabile maggior OCR dei sedimenti, possono aver prodotto locali sovrastime tessiturali della punta dello strumento meccanico, in tutti i casi si sono apportate modifiche “misurate” alla cartografia spostando a sabbie fini un intero settore di bacino interfluviale. Invece si è ampliati il bacino (limi) verso il Capoluogo ed a ovest di Ca de Fabbri;

Comune di Granarolo, apportata solo una modesta variazione a sud della zona industriale;



Comune di Budrio, Tra il Capoluogo e Vedrana si è introdotta una lunga apofisi di bacino interfluviale (tessiture limose prevalenti), la modifica è forse un poco forzata, ma spiega la presenza di tante penetrometrie allineate con tessiture limose e geomeccanica scadente;

Comune di Molinella, si sono apportate discrete variazioni, anche se il fattore interpretativo è nella pianura bassa assai preponderante, quasi tutte in diminuzione, cioè si sono trasformate zone di sabbie in zone di limi. Solo in località Fornace SNAM si sono rinvenute sabbie invece dei previsti limi. Certamente le tessiture di superficie risentiranno pesantemente delle bonifiche per colmata operate nei secoli scorsi.

1.2 LA ZONIZZAZIONE GEOTECNICA

1.2.1 Introduzione metodologica

Una zonizzazione della qualità geomeccanica di sottosuolo, è certamente utile ai fini di previsione edificatoria preliminare, anche a scala sovracomunale. Si è pertanto riproposta la metodologia, già utilizzata dal nostro Studio per diverse Amministrazioni comunali della Provincia di Bologna.

Il criterio utilizzato, permette di fare riferimento a parametri e standard che consentono un confronto diretto e semplice non solo tra prove geognostiche vicine, ma anche tra comparti diversi, distanti, situati in altre parti della Provincia.

Come base informativa, si sono utilizzati gli esiti delle prove penetrometriche statiche (CPT) effettuate direttamente dallo Studio Viel, gli esiti delle prove d'archivio da noi raccolte nel corso degli anni ed, infine, gli esiti penetrometrici desunti dalle relazioni geotecniche che i singoli Comuni ci hanno fornito per il presente lavoro (indagini geologico - tecniche eseguite per Piani Regolatori, Varianti Specifiche e Piani Particolareggiati Pubblici e Privati, ecc..).

Per ogni penetrometria statica (CPT) si sono considerati i valori di resistenza specifica alla punta (rp), nei due intervalli utili ai fini geotecnici:

- da -1 a -5 metri sotto il piano campagna (p.c.)
- da -5 a -10 metri sotto il p.c.

Il primo intervallo (da -1 a -5 m), è quello entro cui si collocano le strutture di fondazione superficiali. La sua conoscenza ha quindi attinenza con la quantificazione (il limite di “rottura” meccanica) della pressione unitaria che può essere distribuita nei sedimenti, ed anche per la valutazione dell'interazione terreni – struttura.

Il secondo intervallo (da -5 a -10 m), costituisce l'intervallo entro cui normalmente si esaurisce il cedimento provocato dalla sovrappressione imposta al “terreno”, sempre per fondazioni superficiali.

In conclusione, la zonizzazione geologico – tecnica presentata è riferita ad edifici di normale impegno costruttivo, intendendo pressioni di esercizio compatibili con i “terreni”, distribuzioni omogenee delle sovrappressioni e strutture superficiali, a geometria semplice.

In tutti i casi in cui non siano verificate le condizioni di cui sopra, la zonizzazione proposta può costituire comunque una discreta “guida” preliminare alla campagna geognostica specifica, comunque obbligatoria (D.M. 11/03/1988). Infine si ricorda che la nuova classificazione sismica impone la definizione di alcuni parametri meccanici, tra questi ha rilevanza la propensione alla liquefazione dei sedimenti saturi.

Benchè la normativa non sia ancora definitiva, è opportuno considerare che la definizione del fuso granulometrico dei livelli sabbiosi è uno dei principali indicatori di possibili fluidificazioni. In questo senso, può essere rilevante predisporre un direttiva (norma) che richieda l'esecuzione di almeno un fuso granulometrico ogni ettaro indagato, per ogni livello sabbioso saturo di potenza superiore al metro attraversato, e per un intervallo massimo di 15 metri dal p.c.

Gli esiti delle penetrometrie statiche permettono di ricavare, in modo indiretto, la litologia prevalente mediante le note correlazioni statistiche del rapporto delle resistenze alla punta "rp" e laterale "rl" (Begemann, Schmertmann, ecc.). Bisogna sottolineare che le correlazioni tessiturali, quando riferite ai dati di resistenze dell'intervallo non saturo (sopra il livello di falda), sono scarsamente attendibili.

Per le estrapolazioni tra le prove, a volte anche molto distanti tra loro, ci si è basati su criteri di correlazione litologico - tessitoriale e di ambiente deposizionale, e sulle informazioni litologiche ricavate direttamente da sondaggi geognostici in sito (trivellazioni e carotaggi). I confini incerti tra zone a differente qualità meccanica, mancando informazioni dirette, sono spesso tracciati basandosi sulla semplice sovrapposizione dei limiti delle classi tessiturali, desunti dalla Carta della Litologia di Pianura regionale.

Nella valutazione della qualità meccanica, tutti i valori di "rp" vengono mediati in modo cautelativo (enfaticizzando i valori bassi) entro i due intervalli considerati.

Per la zonizzazione, si propongono le seguenti classi:

A = Zone caratterizzate da terreni di qualità scadente ($rp < 1.000$ kPa) sia nel primo che nel secondo intervallo considerato. Possono essere considerate edificabili con le normali tecniche costruttive (fondazioni superficiali a "nastro" - trave rovescia continua legata -), per insediamenti di modesto impegno (pressioni di esercizio non superiori a 10 t/ml). Per edifici anche di normale impegno (p. esercizio di $10 \div 12$ t/ml), possono presentarsi limitazioni dovute sia all'interazione struttura - sedimenti (cedimenti assoluti e differenziali), sia all'entità della pressione di esercizio, tali da richiedere fondazioni particolari;

B = Zone caratterizzate da terreni di qualità scadente ($rp < 1.000$ kPa) nel primo intervallo (fino a - 5 m dal p.c.), e da terreni di qualità da normale ($1.000 < rp < 1.500$ kPa) a discreta (> 1.500 kPa) nel secondo strato. Sono zone edificabili con normali tecniche costruttive, per insediamenti di modesto impegno; le caratteristiche meccaniche dei terreni benché complessivamente migliori della classe "A" richiedono comunque cautela ed analisi geognostiche dettagliate. Per edifici di un certo impegno (pressioni di esercizio > 12 t/ml) possono rivelarsi necessarie fondazioni che trasferiscano i carichi statici al secondo intervallo di qualità migliore. I comparti interessati da questa zona di



edificabilità possono presentare limitazioni, all'impiego di fondazioni superficiali, legate all'entità della pressione di esercizio e dei cedimenti assoluti e differenziali;

C = Zone caratterizzate da terreni dotati di qualità meccaniche da normali ($1.000 < r_p < 1.500$ kPa) a discrete (> 1.500 kPa) nel primo intervallo (fino a - 5 m dal p.c.), e da qualità scadente ($r_p < 1.000$ kPa) nel secondo strato. Sono aree edificabili con normali tecniche costruttive (fondazioni superficiali a "nastri-formi" continue e legate), per insediamenti di normale impegno (edifici residenziali fino a due piani, con pressioni fino a 12 t/ml di fondazione). In questa zona di edificabilità, per alcuni comparti, possono presentarsi limitazioni legate all'interazione sedimenti-struttura, cioè ai cedimenti assoluti o differenziali ed all'entità delle pressioni di esercizio;

D = Zone dotate di terreni di qualità meccaniche da normali ($1.000 < r_p < 1.500$ kPa) a discrete (> 1.500 kPa) per entrambi gli strati considerati. In questa zona di edificabilità, le possibili variazioni di caratteristiche tra il primo ed il secondo intervallo possono essere molto grandi, tali da richiedere ulteriori suddivisioni in sottoclassi. Le due sottoclassi "D1", "D2", rappresentano rispettivamente un andamento del parametro meccanico (r_p) vicino, rispettivamente, alle situazioni della classe "B", oppure della classe "C". L'edificabilità con normali tecniche costruttive è in genere assicurata, per questa classe. Nei casi in cui sono verificate caratteristiche meccaniche classificabili come classe "D1" o classe "D2", vi possono essere limitazioni anche per edifici di normale impegno o a causa dei cedimenti assoluti o differenziali, oppure alle pressioni di esercizio. La sottoclasse "D3", rappresenta le situazioni di distribuzione omogeneamente più che discreta (>1.500 kPa) dei valori meccanici.

Il criterio proposto, come già ricordato, consente una prima, preliminare, definizione della qualità geomeccanica dei "terreni", utile ai fini previsionistici di espansione edificatoria. Si rammenta che solamente prove geognostiche specifiche, effettuate nella dovuta densità, potranno definire correttamente le caratteristiche meccaniche dei terreni, noti i parametri strutturali degli interventi insediativi, definiti nelle successive fasi progettuali (cfr. D.M. 11, marzo, 1988).

1.2.2 I riferimenti normativi

Per il presente lavoro si è tenuto conto delle prescrizioni e dei criteri contenuti nelle seguenti norme nazionali:

- il D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 n. 49 (G.U. 1/06/1988, n. 127 suppl.), *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le*



prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

- la successiva Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 settembre 1988 n.30483, "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione*".

Esse definiscono i criteri e le prescrizioni connesse all'esecuzione delle analisi e delle indagini geognostiche in sito ed in laboratorio, necessarie per la caratterizzazione del sottosuolo in funzione delle opere previste e delle relative fasi progettuali.

Si è tenuto conto, infine, dell'ordinanza P.C.M. 3274/03 e della successiva ord. P.C.M. 3316/03. Queste recenti normative, seppur ancora discusse in termini di applicabilità (e probabilmente subiranno ulteriori integrazioni), aggiornano la classificazione sismica dei Comuni, anche del bolognese, e introducono prescrizioni nella progettazione in aree sismiche, con ovvie ripercussioni anche nella pianificazione territoriale.

1.2.3 La banca dati geognostica

Le relazioni geologico tecniche forniteci dalle Amministrazioni comunali, e quelle già raccolte nell'archivio del nostro Studio, hanno consentito di preparare una prima, sistematica, banca dati geognostica, di tipo numerico. L'archivio informatizzato presenta innumerevoli vantaggi rispetto alla semplice catalogazione cartacea, tra questi la rapida accessibilità ed il confronto dei dati inseriti, la possibilità di un continuo aggiornamento, ecc.

L'elaborazione della cartografia geomeccanica (§ 1.2.1), ha consentito di catalogare tutte le prove geognostiche reperite in formato numerico. Con il programma G.I.S. "Arcview", le prove sono state inserite come punti georeferenziati (shapefile <<Prove_Geognostiche>>), associando ad esse una tabella dati. Sono stati immessi numericamente, come shapefile lineare (<<Comparti>>), i limiti delle aree di progetto in cui ricadono le prove inserite. Le seguenti tabelle (2.3.1 e 2.3.2), descrivono i metadati contenuti nelle rispettive tabelle.

<<ID_PROVA>>	→ N° identificativo univoco di ricerca della prova geognostica
<<COMUNE>>	→ Comune in cui ricade la prova
<<TIPO_PROVA>>	→ Tipo di prova geognostica I tipi di prove sono state raggruppate nelle seguenti categorie: - <i>Penetrometria Statica</i> - <i>Penetrometria Dinamica</i> - <i>Campagna penetrometrica statica</i> (se è ignota la localizzazione precisa delle singole prove) - <i>Sondaggio geognostico</i> - <i>Trivellazione a secco</i> - <i>Campagna trivellazione a secco</i> (se è ignota la localizzazione precisa delle prove)
<<CLS_GEOT>>	→ Classe geotecnica attribuita
<<COMPARTO>>	→ Sigla del comparto in cui ricade la prova (da Fonte)
<<FONTE>>	→ Fonte bibliografica (Titolo relazione e Autore) dalle terebrazioni
<<DT_FONTE>>	→ Anno di stesura della relazione
<<NOTE>>,	→ Note relative alla relazione, ai risultati delle prove, ecc..

Tabella 2.3.1 – Metadati relativi alla banca dati geognostica: attributi shapefile <<Prove_Geognostiche>>

<<COMUNE>>	→ Comune in cui ricade la prova
<<COMPARTO>>	→ Sigla/nome del comparto in cui ricade la prova (da Fonte)
<<FONTE>>	→ Fonte bibliografica (Titolo relazione e Autore) dalle terebrazioni
<<NOTE>>,	→ Note relative alla relazione, ai risultati delle prove, ecc..

Tabella 2.3.2 – Metadati relativi alla banca dati geognostica: attributi shapefile <<Comparti>>

1.2.4 Le carte di zonizzazione geotecnica

La zonizzazione geotecnica, è interpretata in un intorno significativo dei capoluoghi, delle principali frazioni e aree produttive, ove sono stati reperiti sufficienti dati geomeccanici di sottosuolo.

La figura 1.2.4.1, propone il quadro d'insieme delle aree studiate. Il numero in figura corrisponde al numero in grassetto riportato nella seguente tabella 1.2.4.1, ove sono elencate tutte le aree esaminate.

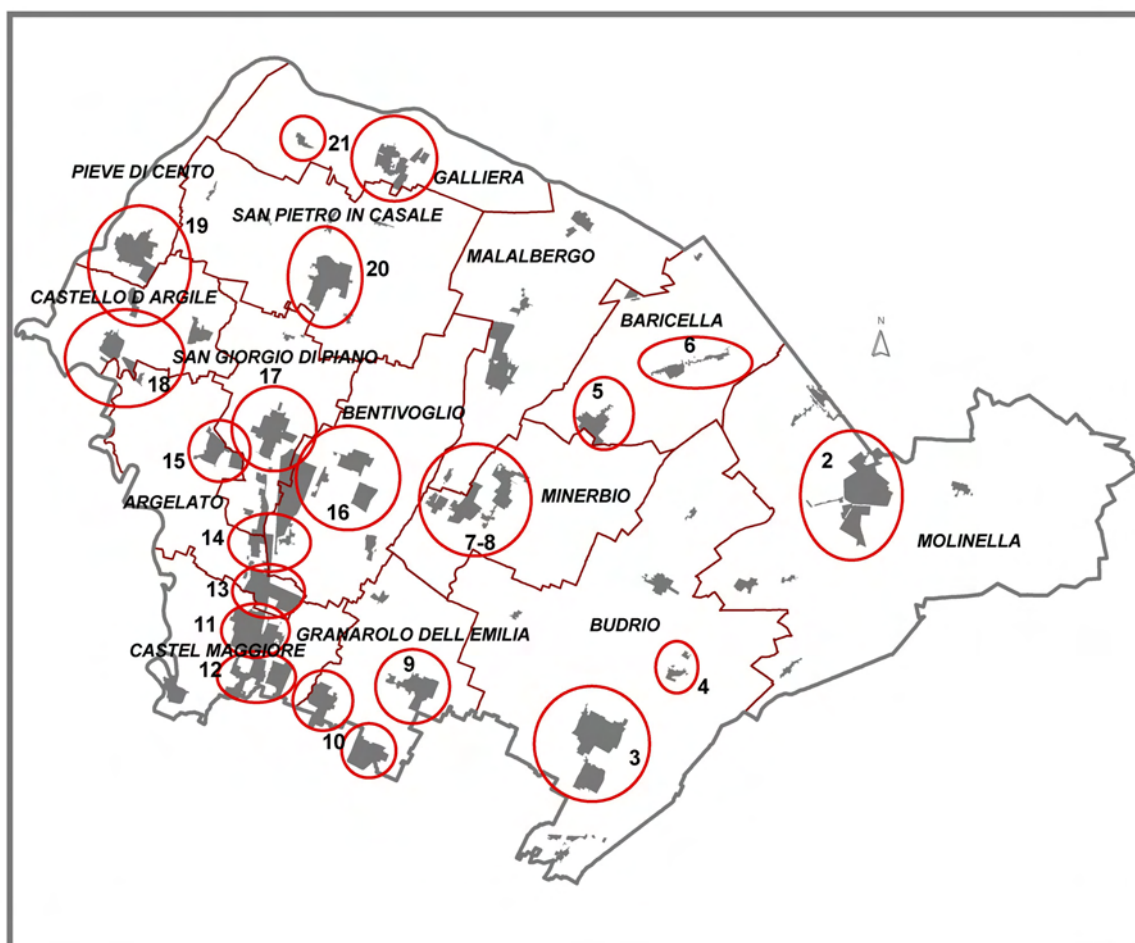


Figura 1.2.4.1 – Quadro d'insieme delle aree con zonizzazione geotecnica di sottosuolo: il numero indica il riferimento nelle specifiche Tavole del testo

Aree di interesse	Figura
Molinella capoluogo	1.2.4.2
Budrio capoluogo e Zona Industriale Cento	1.2.4.3
Vedrana (Budrio)	1.2.4.4
Baricella capoluogo	1.2.4.5
San Gabriele (Baricella)	1.2.4.6
Minerbio capoluogo	1.2.4.7
Zona Industriale di Minerbio e Ca' de Fabbri	1.2.4.8
Granarolo capoluogo	1.2.4.9
Quarto Inferiore e Cadriano (Granarolo)	1.2.4.10
Castel Maggiore capoluogo	1.2.4.11
Zona industriale di Castel Maggiore	1.2.4.12
Funo di Argelato	1.2.4.13
Zona industriale di Argelato	1.2.4.14
Argelato capoluogo	1.2.4.15



Bentivoglio capoluogo e S. Maria in Duno	1.2.4.16
San Giorgio di Piano capoluogo	1.2.4.17
Castello d'Argile capoluogo	1.2.4.18
Pieve di Cento capoluogo	1.2.4.19
San Pietro in Casale capoluogo	1.2.4.20
Galliera capoluogo e San Venanzio	1.2.4.21

Tabella 1.2.4.1 – Aree con zonizzazione geotecnica di sottosuolo

La zonizzazione geomeccanica è infine presentata cartograficamente nelle seguenti tavole di dettaglio (figure da 1.2.4.2 a 1.2.4.21), in formato A3 e scala 1:10.000. Nelle tavole, i numeri in grassetto indicano l'identificativo della prova geognostica riportata nel catalogo relativo.

Le carte di zonizzazione rappresentano il risultato non solo delle estrapolazioni dei puntuali dati geomeccanici, ma anche dell'interpretazione della carta morfologico – litologica (vedi paragrafi 1). Molti dei limiti sottesi tra le zone sono ricavati direttamente dall'interpretazione della carta litologica.

I limiti di attendibilità delle zonizzazioni geomeccaniche sono in sostanza connessi alla rarefazione delle prove: già oltre i 50 metri dal punto di controllo di frequente si possono riscontrare differenze tessiturali di rilievo. La correlazione tra punti di controllo spesso distanti più di 200 metri, è quindi affidata alla capacità di interpretare l'andamento geometrico dei corpi sedimentari nel sottosuolo, ed alla isotropia delle loro caratteristiche meccaniche.

In situazioni caratterizzate dalla presenza di microambienti deposizionali, si possono riscontrare variazioni sostanziali anche a distanze di venti metri tra le penetrometrie. Pertanto non deve sorprendere se l'esecuzione di nuove prove geognostiche determina la definizione di nuove zone geomeccaniche, o modifica l'andamento o il perimetro di quelle disegnate per il presente lavoro.

La sintesi operata per ogni comune, non può e non deve essere assunta come esito finale ed esaustivo, ma solamente come un'indicazione di lavoro utile per localizzare consapevolmente eventuali nuove scelte insediative, per la definizione preliminare di edificabilità di nuovi comparti, ma anche per fornire un quadro d'insieme di questo quadrante di pianura bolognese, in termini di variazioni delle caratteristiche meccaniche medie.

In particolare bisogna segnalare che in alcuni casi la zonizzazione è stata spinta molto lontana da prove note, per comprendere l'intera area urbana o produttiva, così come ampi spazi limitrofi, non ancora edificati. Naturalmente gli esiti della zonizzazione devono essere assunti nella loro reale prospettiva: molto affidabili nei dintorni delle aree di indagine, sempre meno affidabili man mano ci si allontana dai punti di controllo. In effetti la cartografia si presenta “aperta”



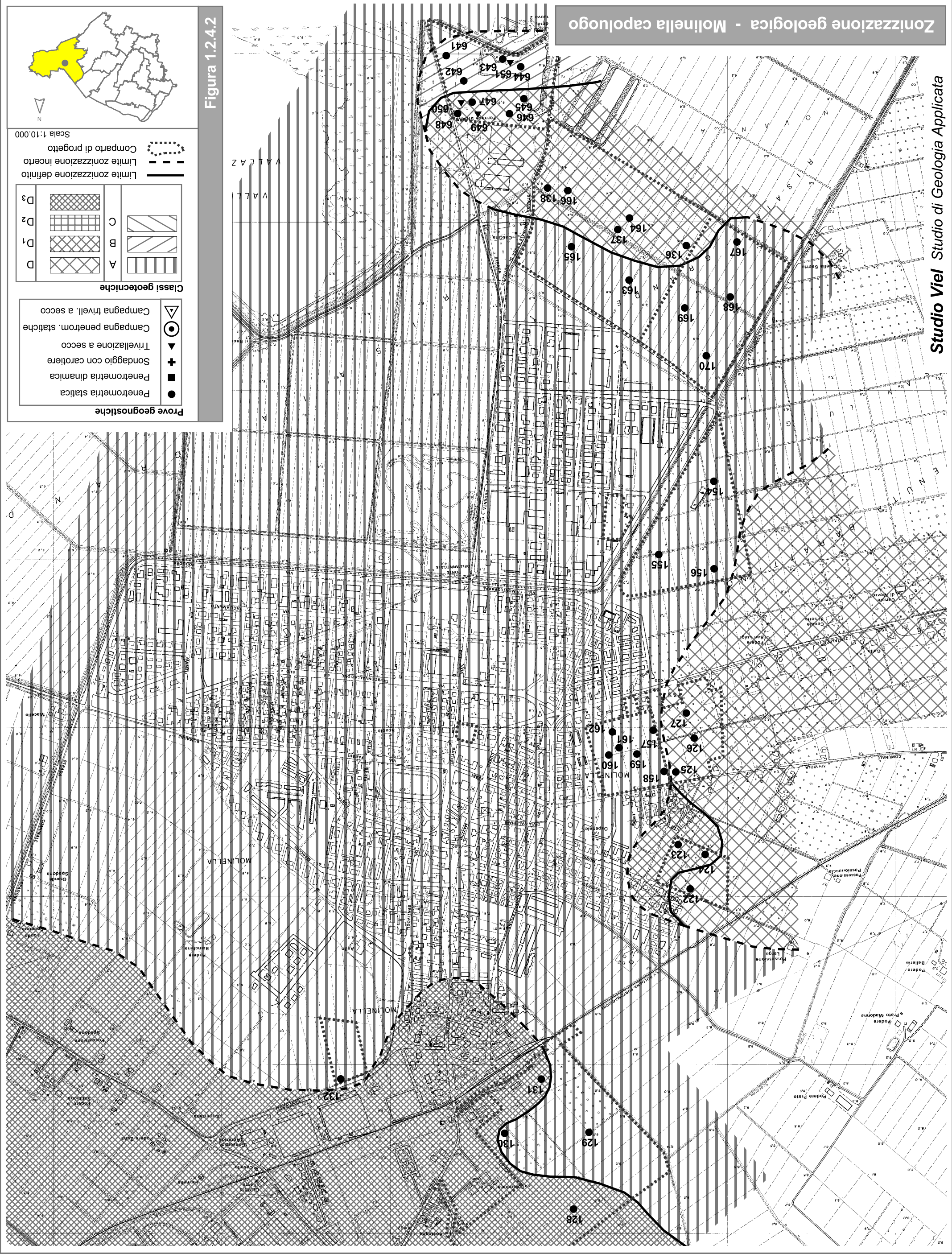
anche nella grafica: mancano i limiti esterni della zonizzazione, ed i perimetri interni sono stati indicati con due grafie diverse secondo il grado di confidenza dei dati noti.

La scelta di estendere le estrapolazioni a ricomprendere anche aree prive di ogni dato meccanico e di sottosuolo, è dettata da motivazioni diverse nei diversi contesti:

- a) ove la continuità di un corpo litologico unitario è documentata ai due estremi da numerose prove geognostiche che forniscono esiti equiparabili, si è estrapolata questa interpretazione anche per distanze superiori ai 500 metri. Ad esempio a Minerbio (figura 1.2.4.7) e tra San Giorgio di Piano e Bentivoglio (1.2.4.17 e 1.2.4.16);
- b) ove l'esistenza documentata di depositi di Bacino Interfluviale, o di antiche zone acquitrinose ha una continuità laterale significativa, ci si è affidati all'estrapolazione dei dati meccanici, anche se presenti solamente lungo un lato dell'area. Esempi sono Molinella (1.2.4.2) e Pieve di Cento (1.2.4.19);
- c) a Budrio (1.2.4.3), numerosi gruppi di prove geognostiche, rarefatti in uno spazio di pianura insediata, che dimostrano una discreta omogeneità meccanica anche se forniscono dati tessiturali differenti, hanno consigliato di imporre i limiti meccanici non coincidenti con quelli litologici o morfologici. Le estrapolazioni sono state spinte fino a comprendere ampie porzioni territoriali tra gli insediamenti.

In conclusione, la zonizzazione proposta, fornisce un'utile supporto in sede progettuale, preliminare, per nuovi comparti da edificare soltanto quanto è costruita sulla base di un deguato numero di prove geognostiche. La densità delle prove, è bene ricordarlo, deve essere valutata anche in funzione dell'omogeneità dei dati di sottosuolo ottenuti (tessiture, resistenze strumentali, ecc..). In tutti i casi in cui manca una preventiva sicurezza sulla continuità delle caratteristiche meccaniche dei terreni (nelle figure, i limiti incerti sono indicati in tratteggio), si devono prevedere indagini geognostiche di sottosuolo, così come prescritto dalle normative vigenti (D.L. 49/1988). Nelle aree ove mancano dati di sottosuolo, la zonizzazione meccanica, si propone come strumento utile nelle fasi di dibattito relative alla scelta di aree idonee ad espansioni.

Figura 1.2.4.2



Prove geostatiche

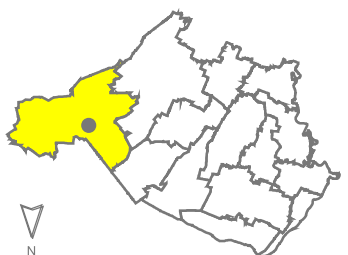
- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▼ Trivellazione a secco
- Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

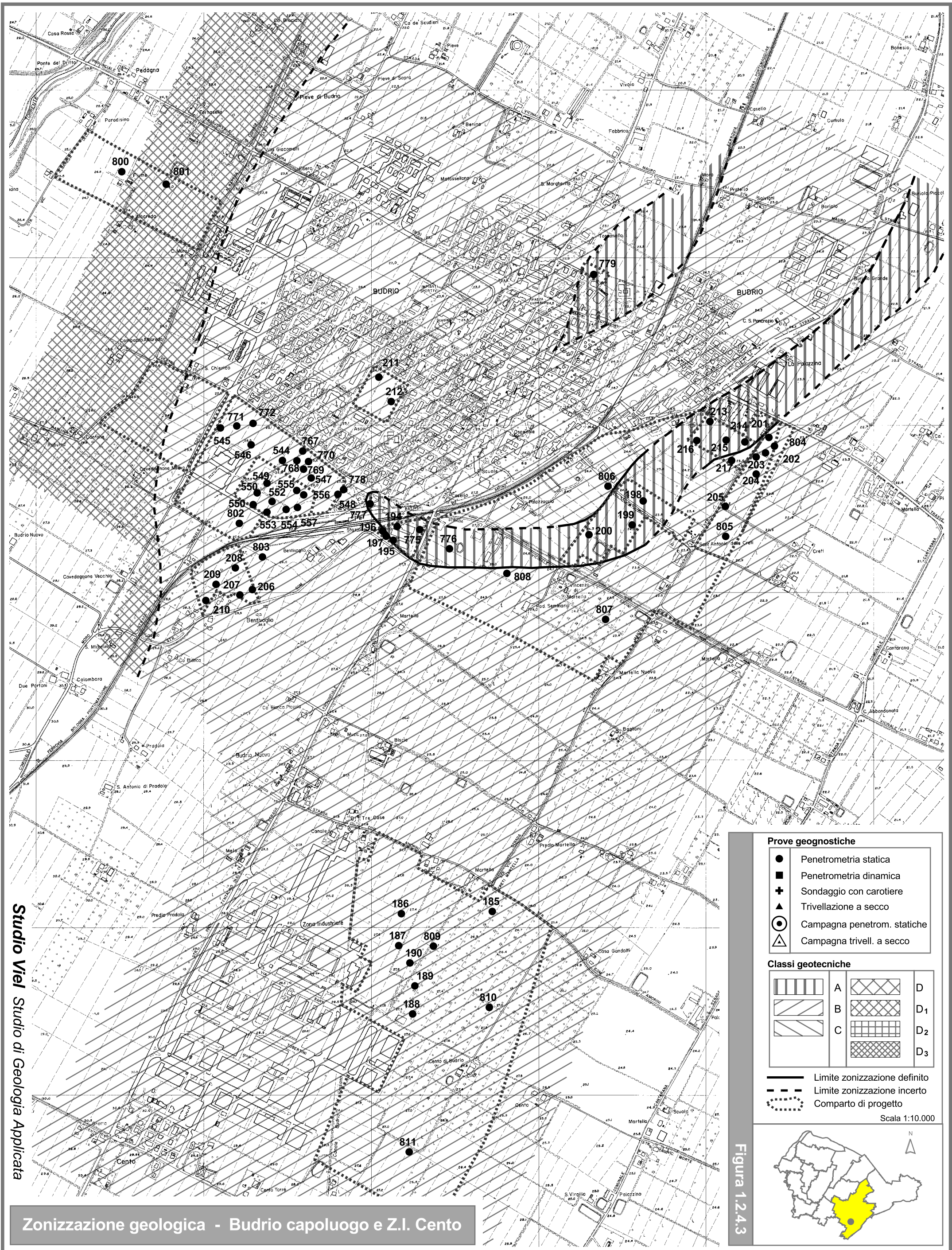
Classi geotecniche

A	[diagonal lines /]
B	[diagonal lines \]
C	[diagonal lines / and \]
D	[cross-hatch]
D1	[diagonal lines /]
D2	[diagonal lines \]
D3	[cross-hatch]

--- Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ... Comparto di progetto

Scala 1:10.000





Studio Viei Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Budrio capoluogo e Z.I. Cento

Prove geognostiche

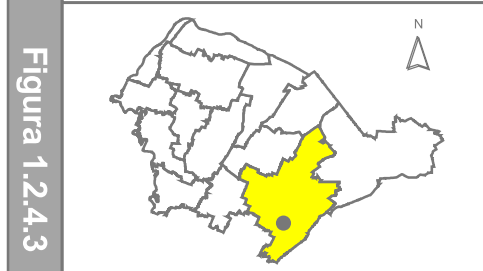
- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- ⊕ Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

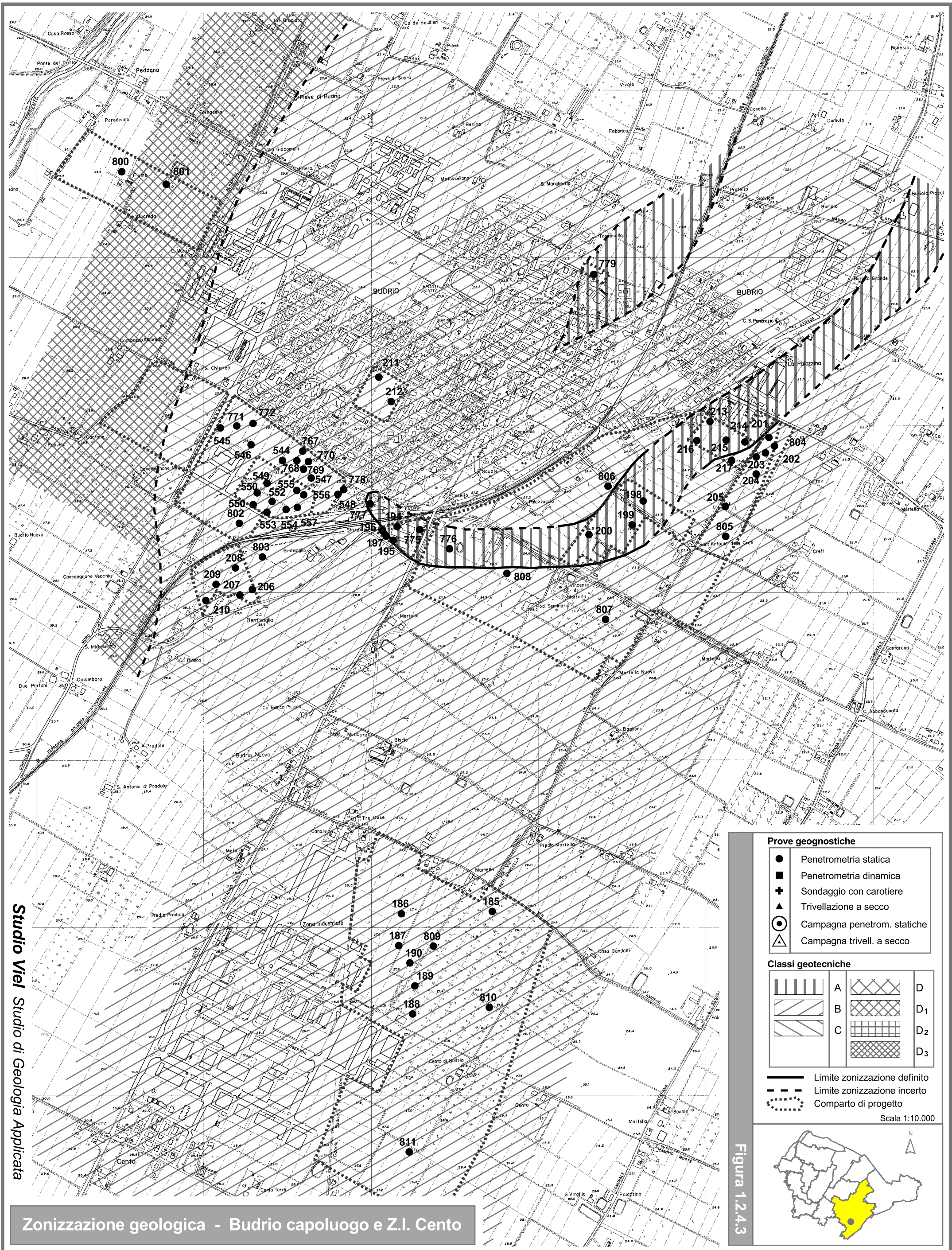
Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ⊙ Comparto di progetto

Scala 1:10.000





Studio Viei Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Budrio capoluogo e Z.I. Cento

Prove geognostiche

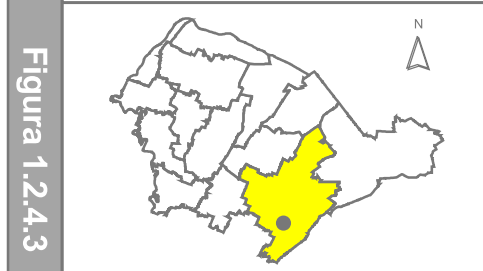
- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- ⊕ Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

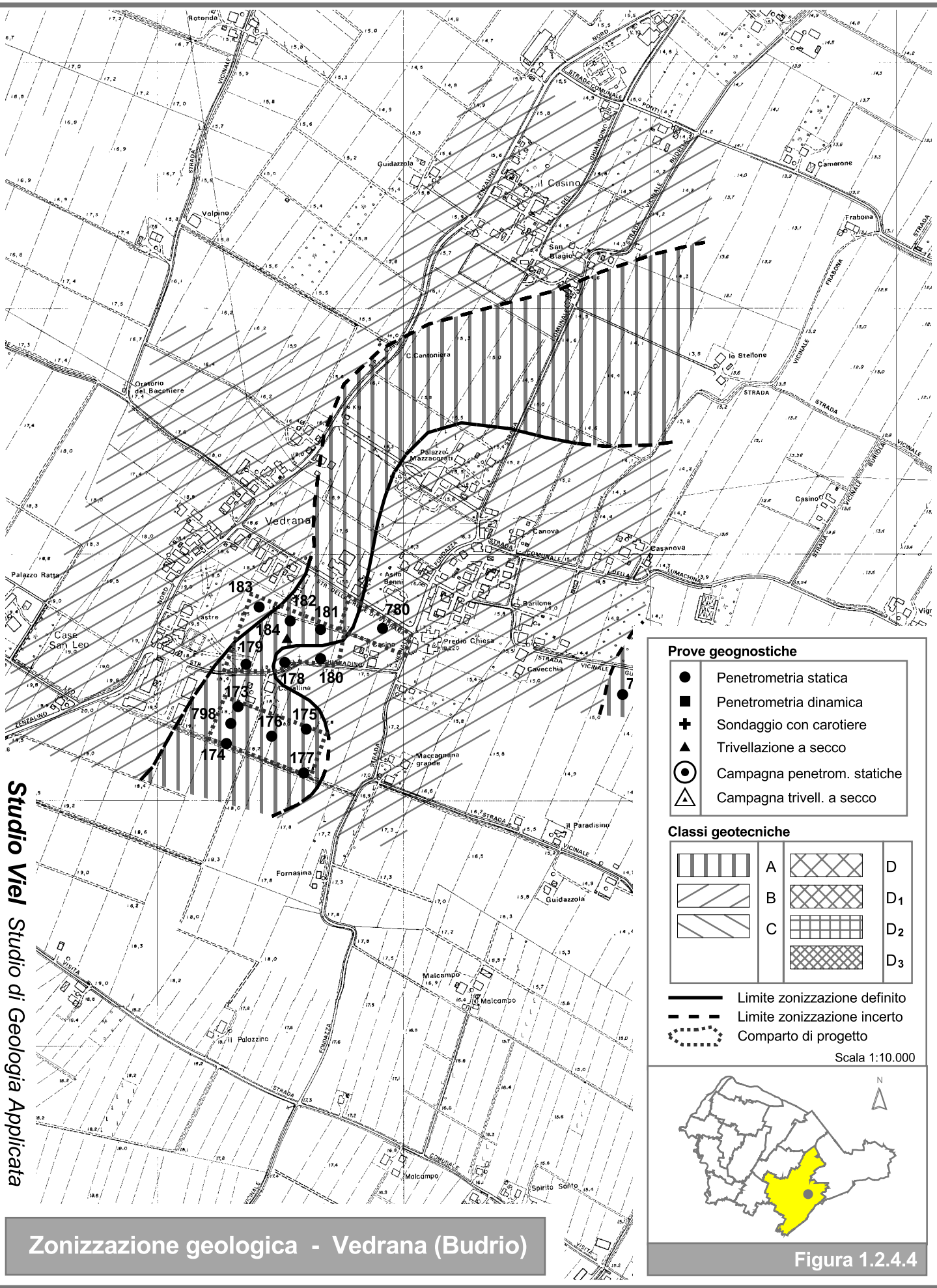
Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ⊙ Comparto di progetto

Scala 1:10.000





Studio Viel Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Vedrana (Budrio)

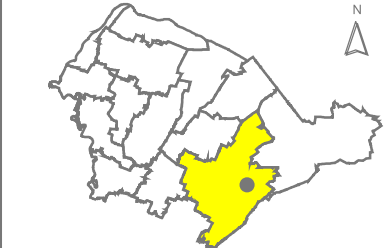
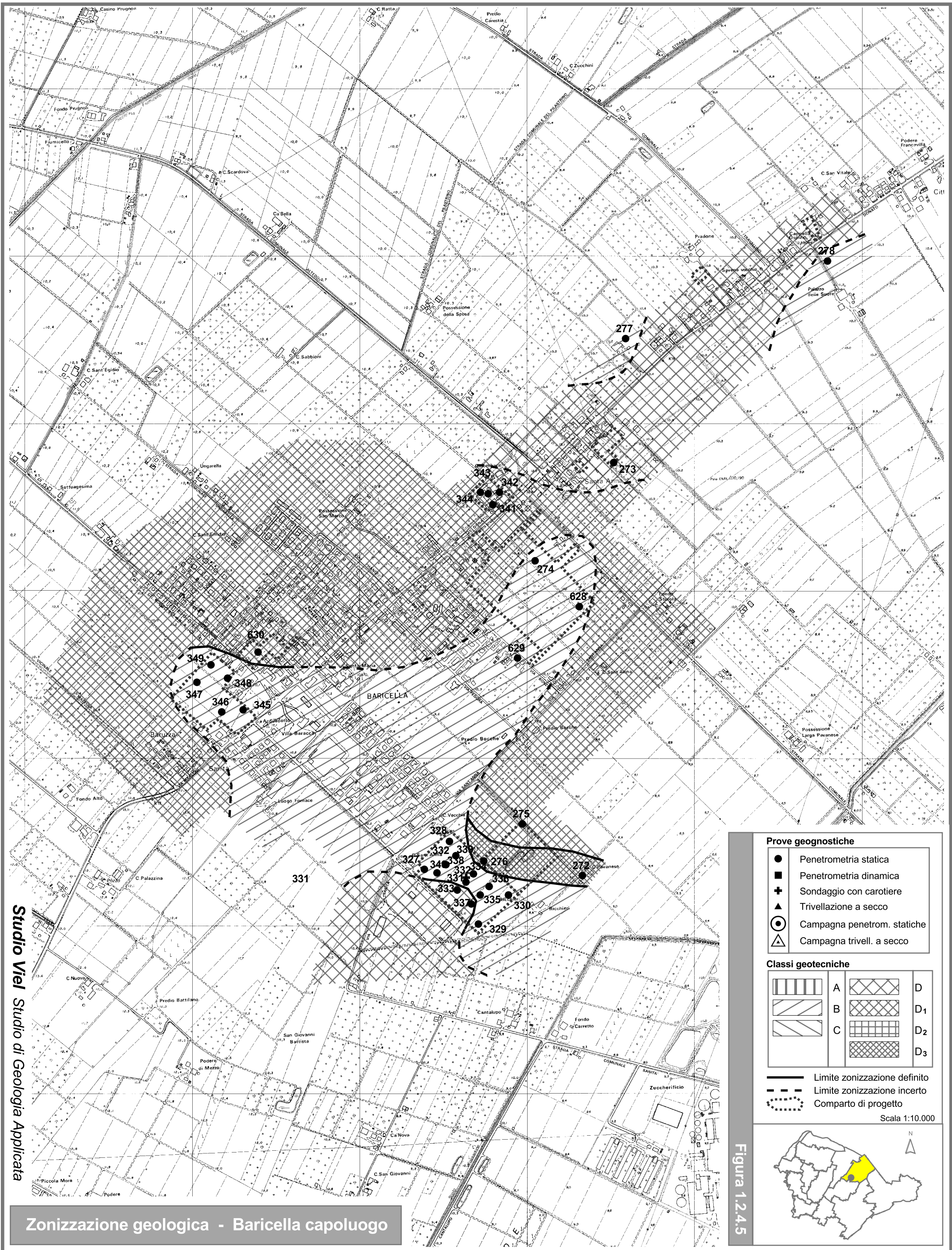


Figura 1.2.4.4



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

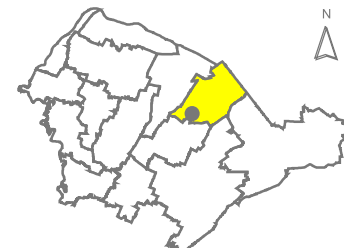
Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

- Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
- ⋯ Comparto di progetto

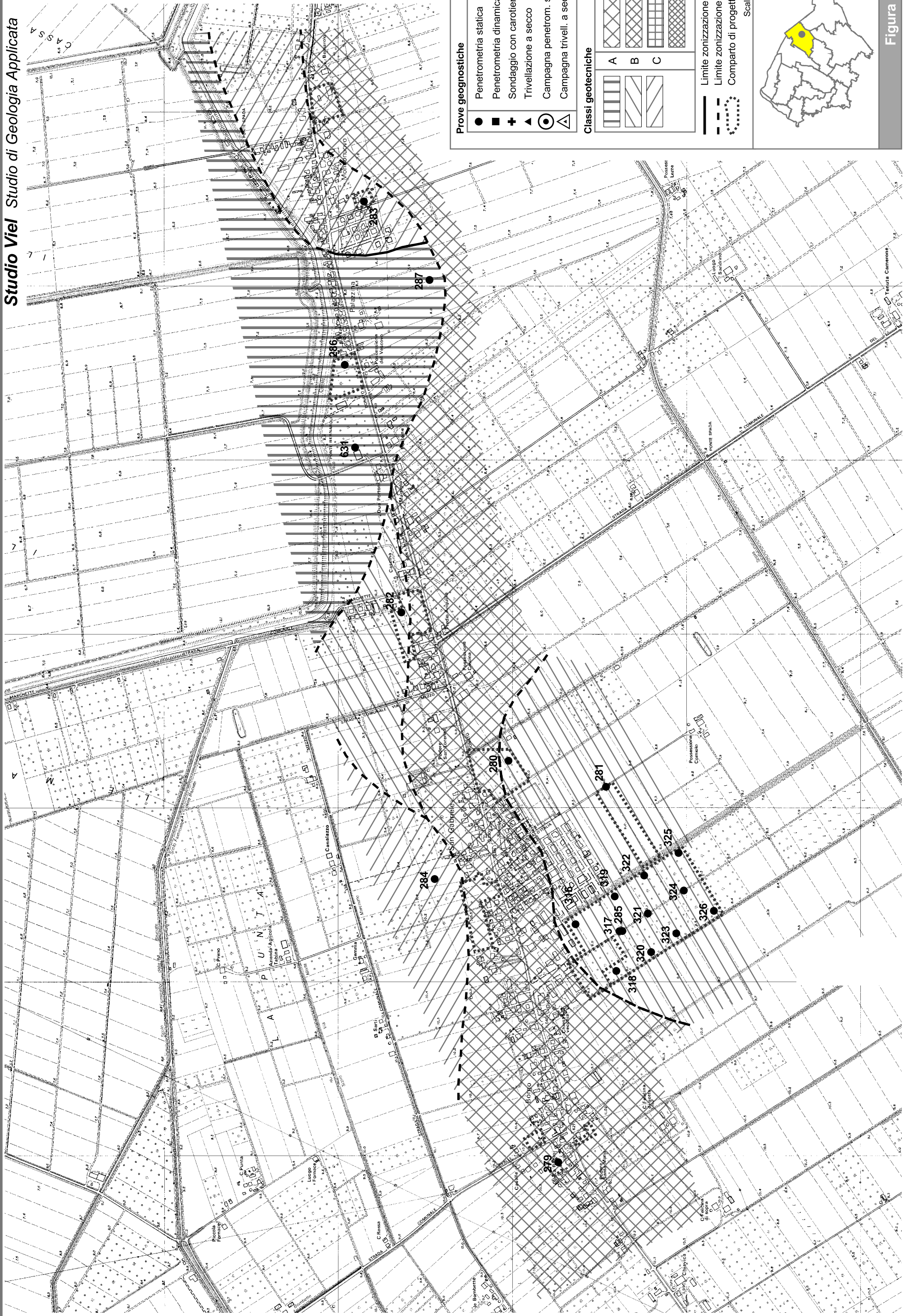
Scala 1:10.000

Figura 1.2.4.5



Studio Viel Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Baricella capoluogo



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

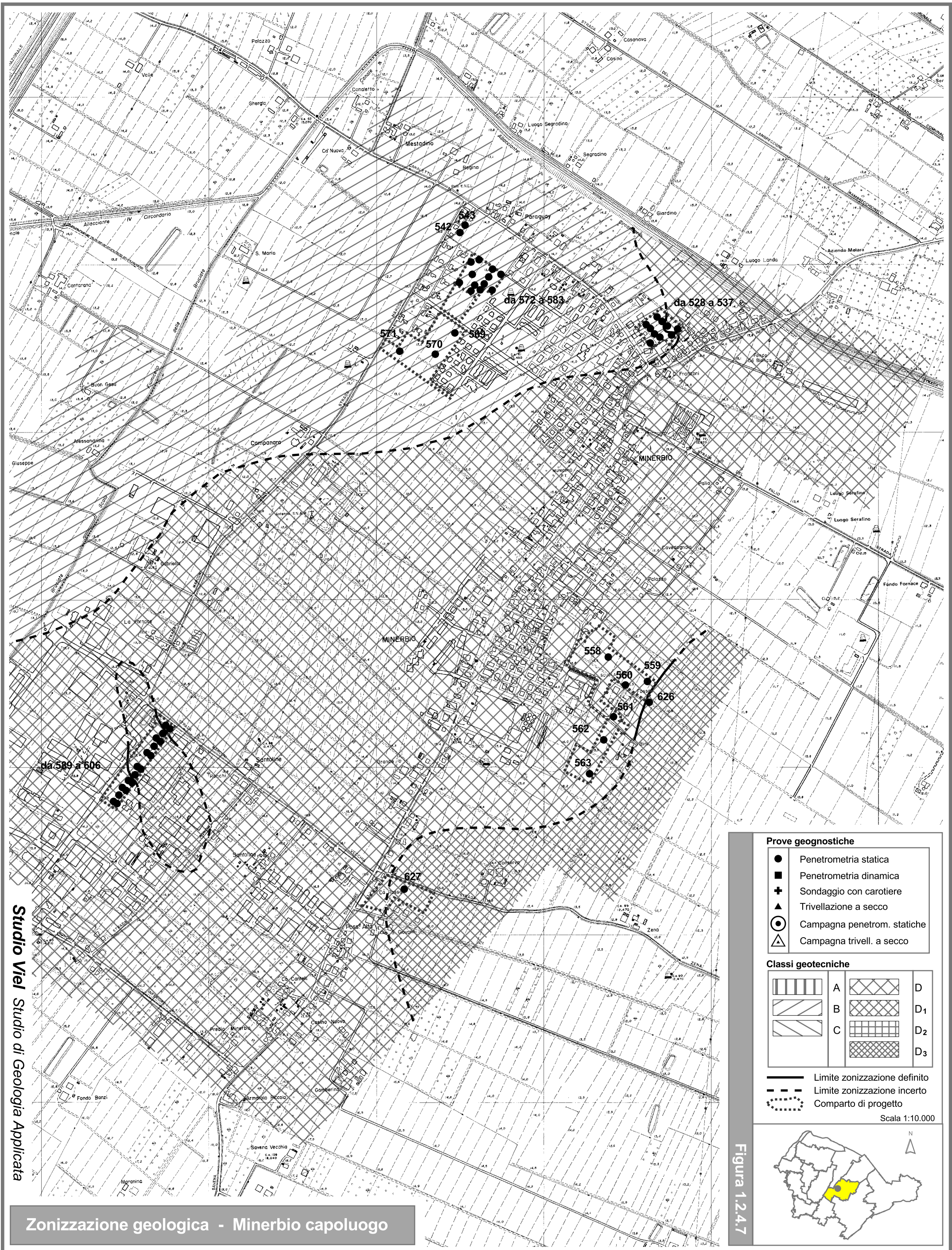
Classi geotecniche

A	B	C	D	D1	D2	D3
[Pattern A]	[Pattern B]	[Pattern C]	[Pattern D]	[Pattern D1]	[Pattern D2]	[Pattern D3]

— Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
⋯ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

Figura 1.2.4.6



Studio Viel Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Minerbio capoluogo

Figura 1.2.4.7

Prove geognostiche

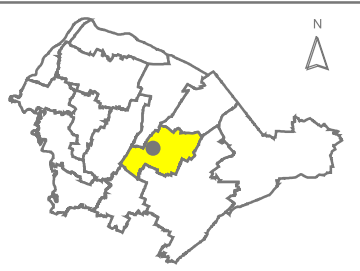
- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- ⊕ Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- ⊚ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

▨	A	▩	D
▧	B	▨	D ₁
▩	C	▧	D ₂
		▩	D ₃

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ⊚ Comparto di progetto

Scala 1:10.000





Prove geogostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

A	B	C
D	D ₁	D ₂
D ₃		

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ○ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

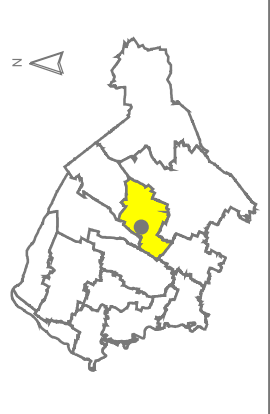
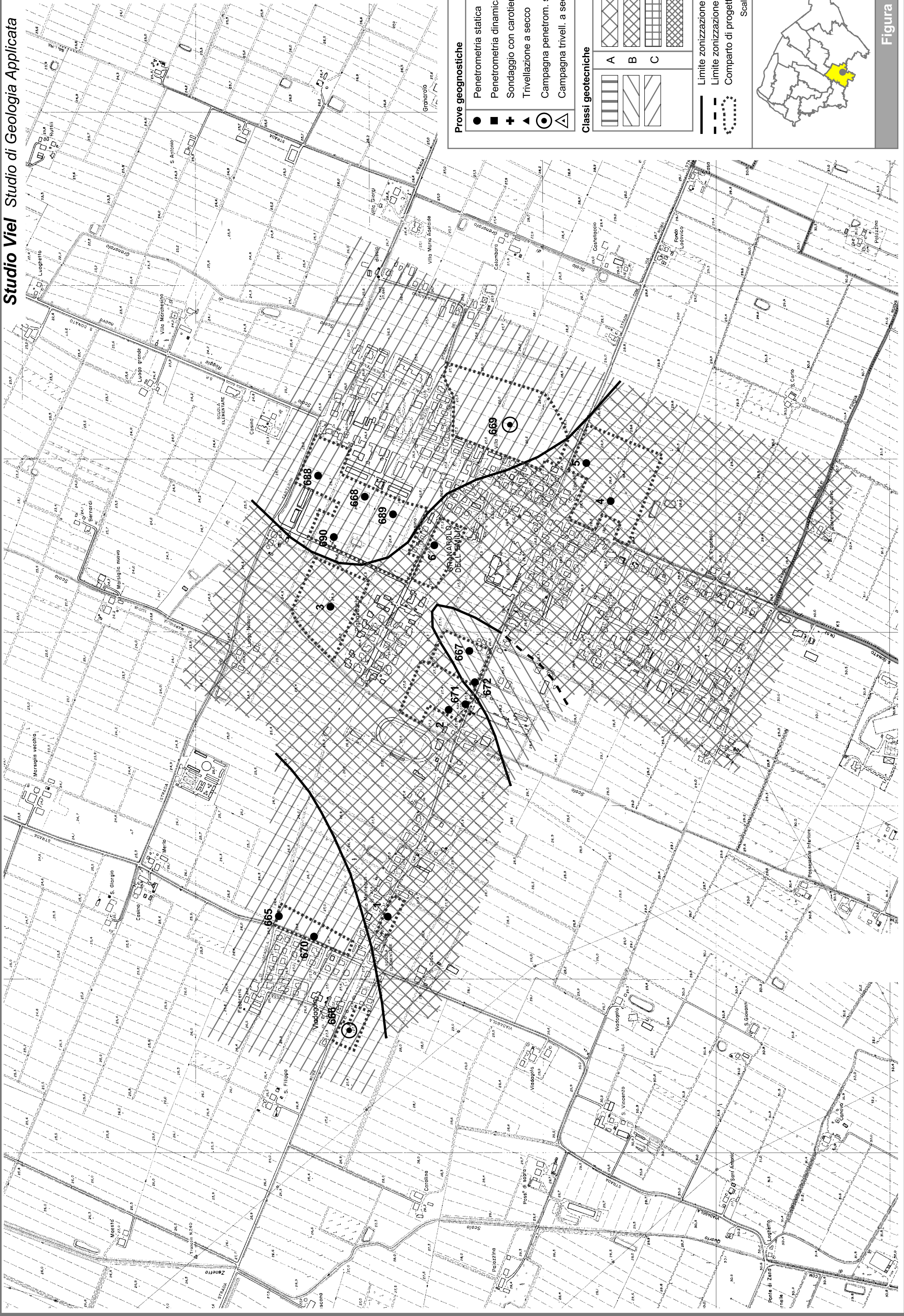


Figura 1.2.4.8



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

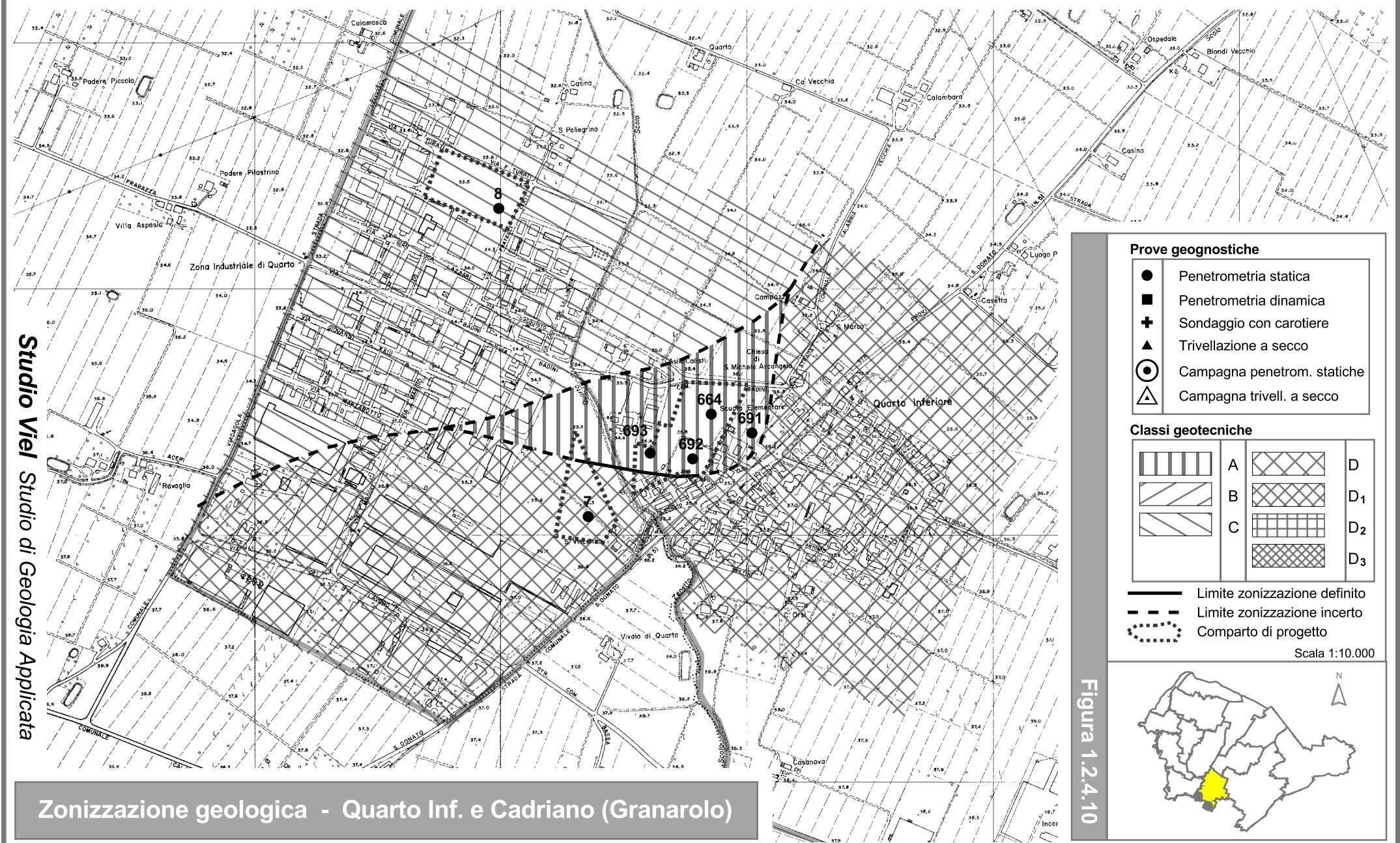
Classi geotecniche

A	B	C	D	D1	D2	D3
[Pattern A]	[Pattern B]	[Pattern C]	[Pattern D]	[Pattern D1]	[Pattern D2]	[Pattern D3]

— Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
⋯ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

Figura 1.2.4.9



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- ⊕ Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

- Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
- ⊙ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

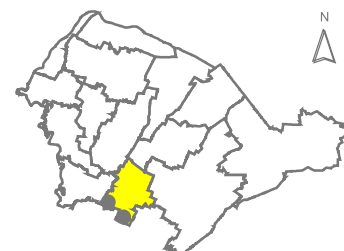


Figura 1.2.4.10

Studio Viel Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Quarto Inf. e Cadriano (Granarolo)



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

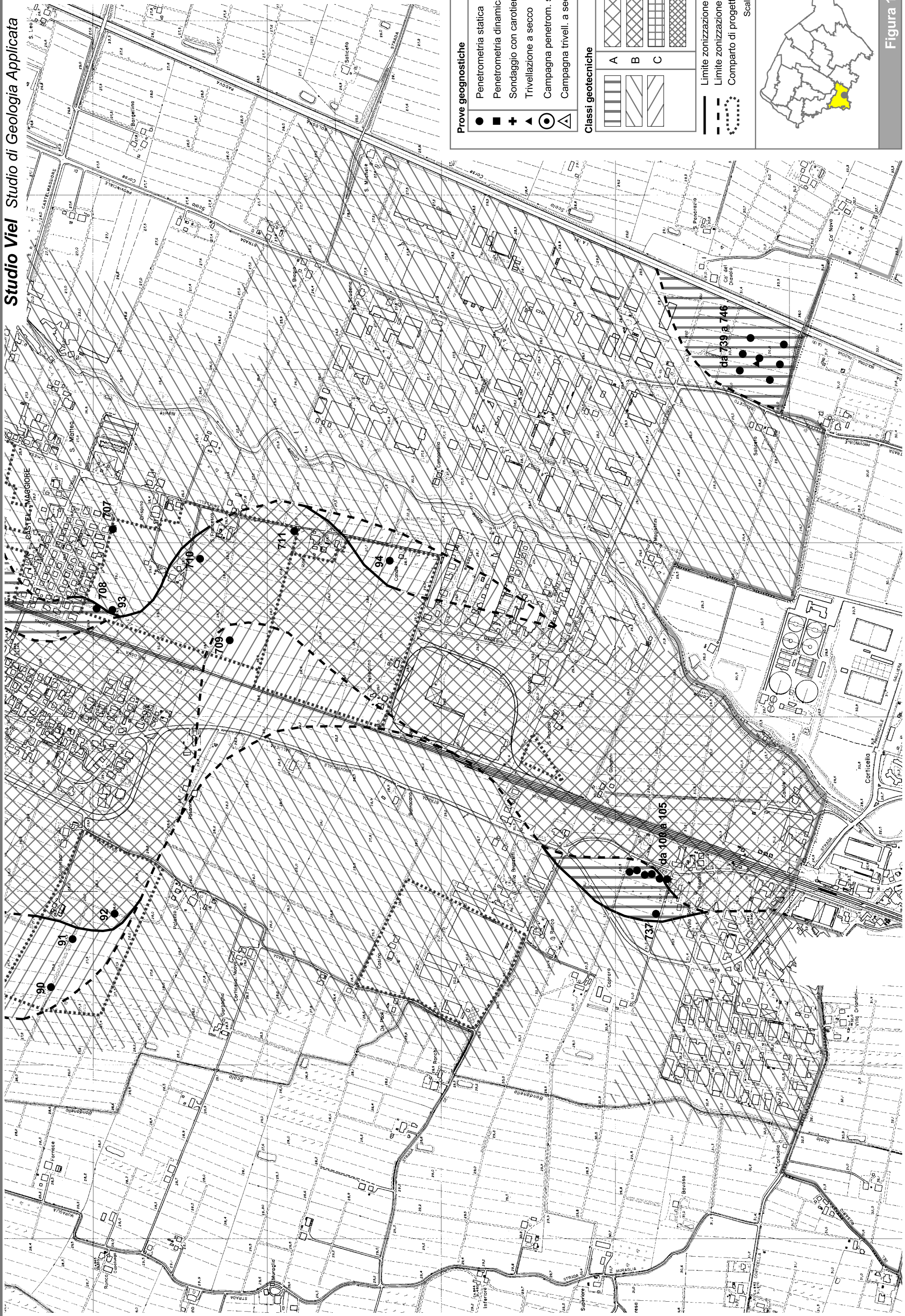
Classi geotecniche

A	B	C	D	D1	D2	D3
[Symbol: vertical lines]	[Symbol: diagonal lines /]	[Symbol: diagonal lines \]	[Symbol: cross-hatch]	[Symbol: horizontal lines]	[Symbol: vertical lines]	[Symbol: diagonal lines /]

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ○ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

Figura 1.2.4.11



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- ⊚ Campagna trivell. a secco

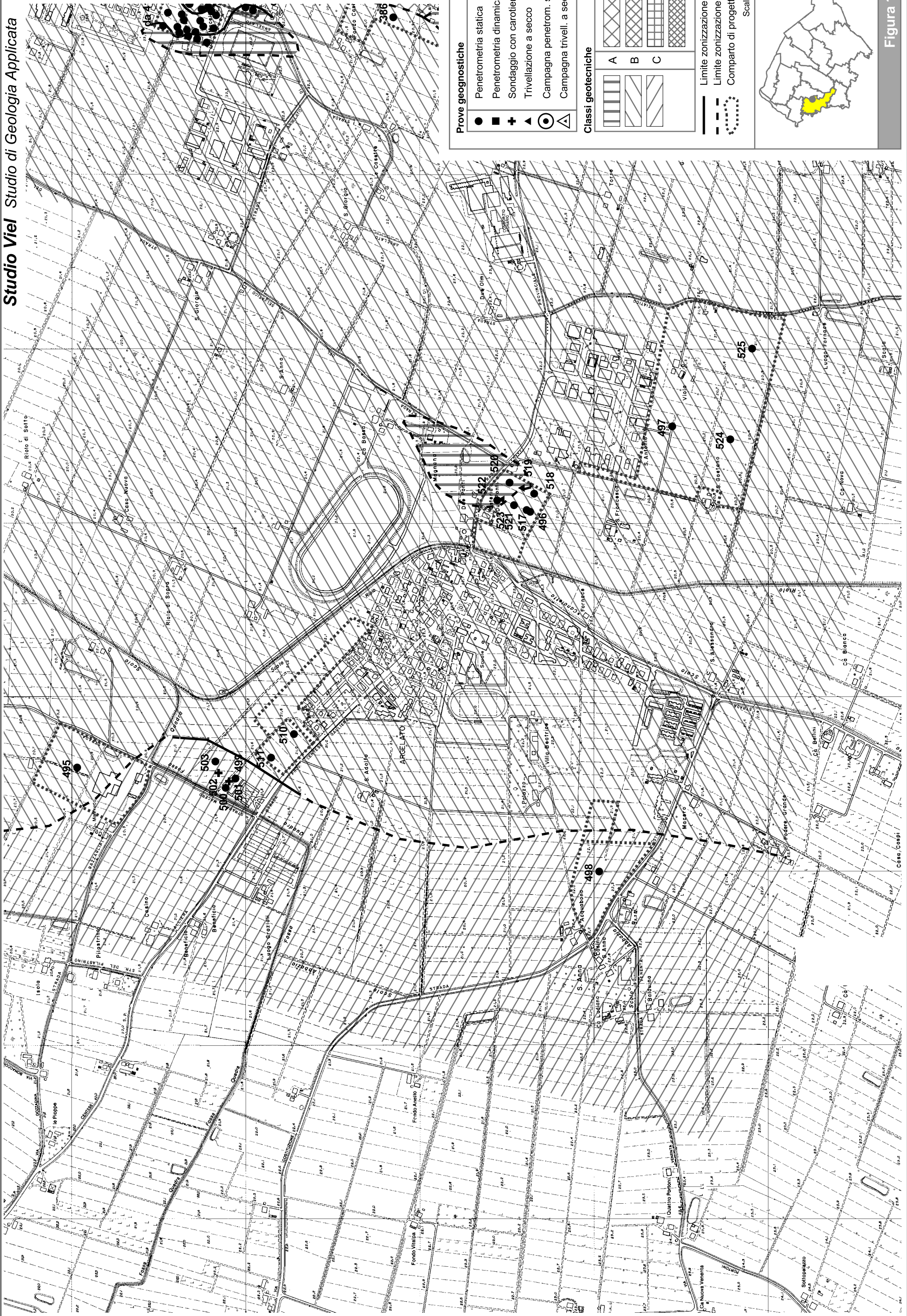
Classi geotecniche

A	B	C	D	D1	D2	D3
[Pattern A]	[Pattern B]	[Pattern C]	[Pattern D]	[Pattern D1]	[Pattern D2]	[Pattern D3]

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ○ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

Figura 1.2.4.12



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

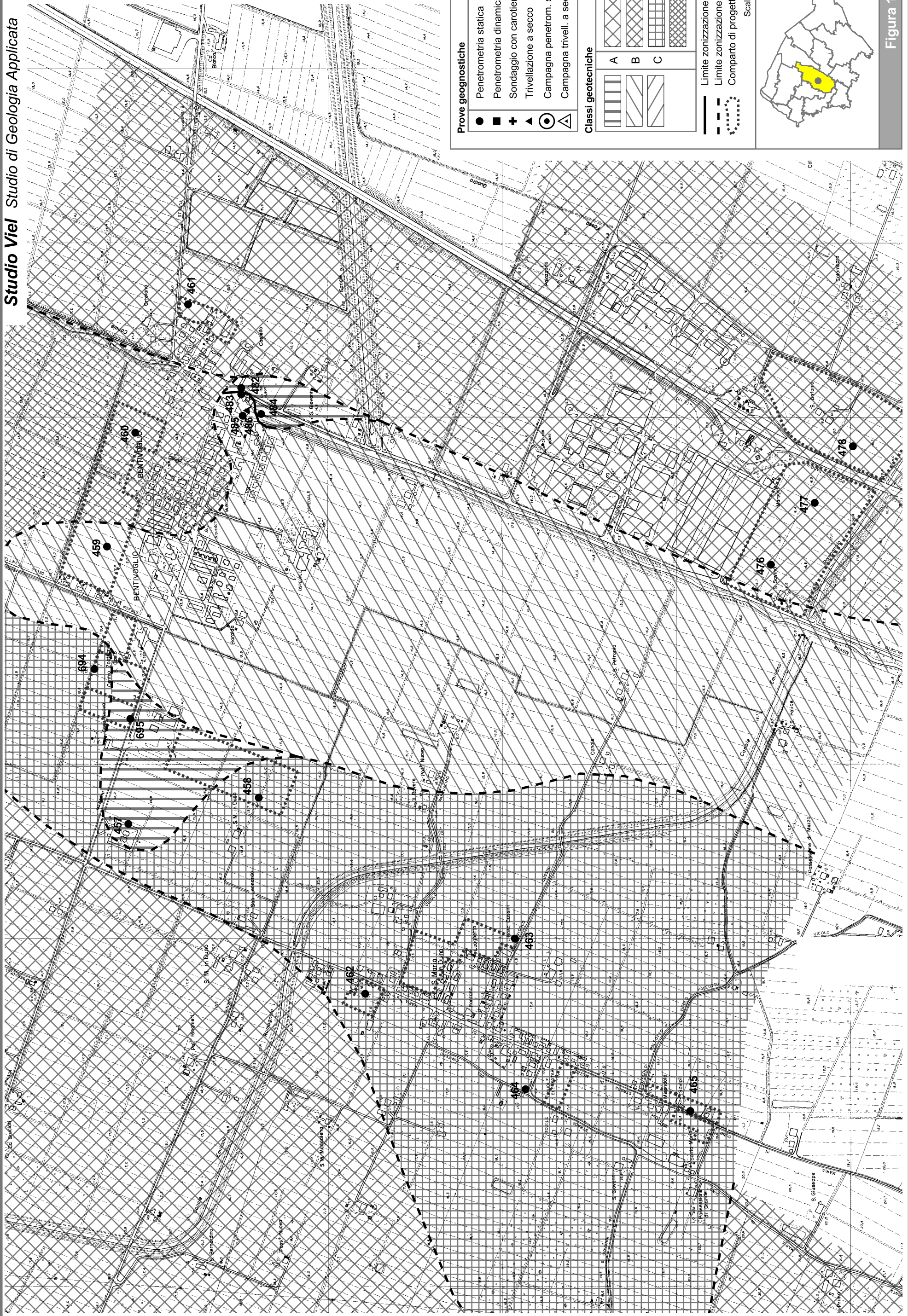
Classi geotecniche

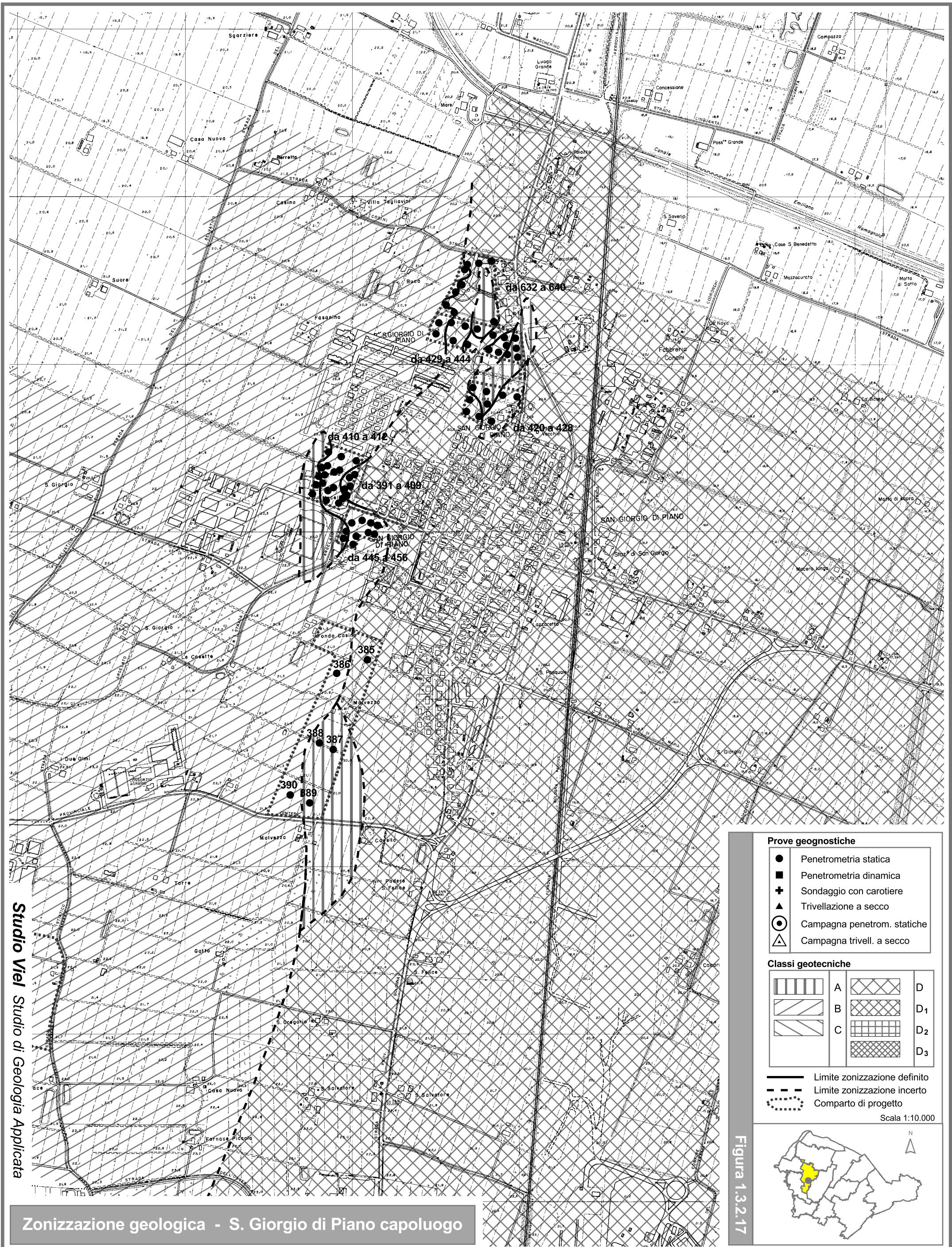
A	B	C	D
D1	D2	D3	

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ○ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

Figura 1.3.2.15





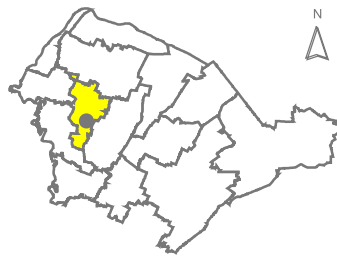
- Prove geognostiche**
- Penetrometria statica
 - Penetrometria dinamica
 - + Sondaggio con carotiere
 - ▲ Trivellazione a secco
 - ⊙ Campagna penetrom. statiche
 - △ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

- Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
- ⋯ Comparto di progetto

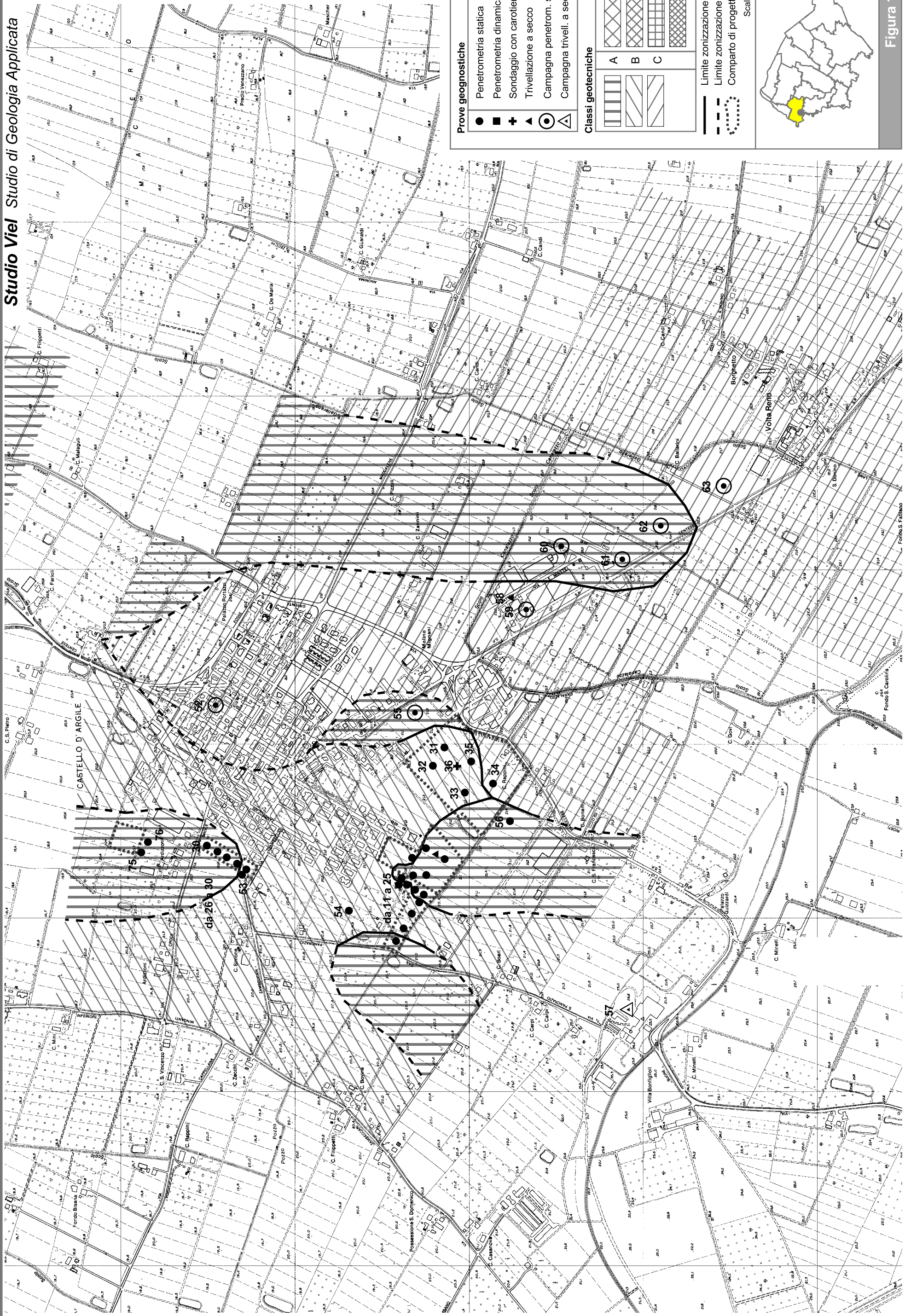
Scala 1:10.000



Studio Viel Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - S. Giorgio di Piano capoluogo

Figura 1.3.2.17



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- △ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

A	B	C	D	D1	D2	D3
[Hatched pattern A]	[Hatched pattern B]	[Hatched pattern C]	[Hatched pattern D]	[Hatched pattern D1]	[Hatched pattern D2]	[Hatched pattern D3]

— Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
⊙ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

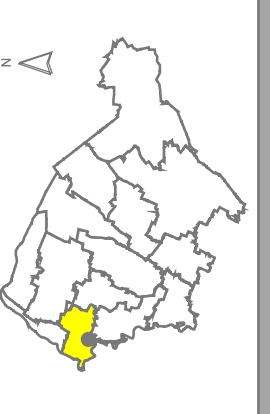
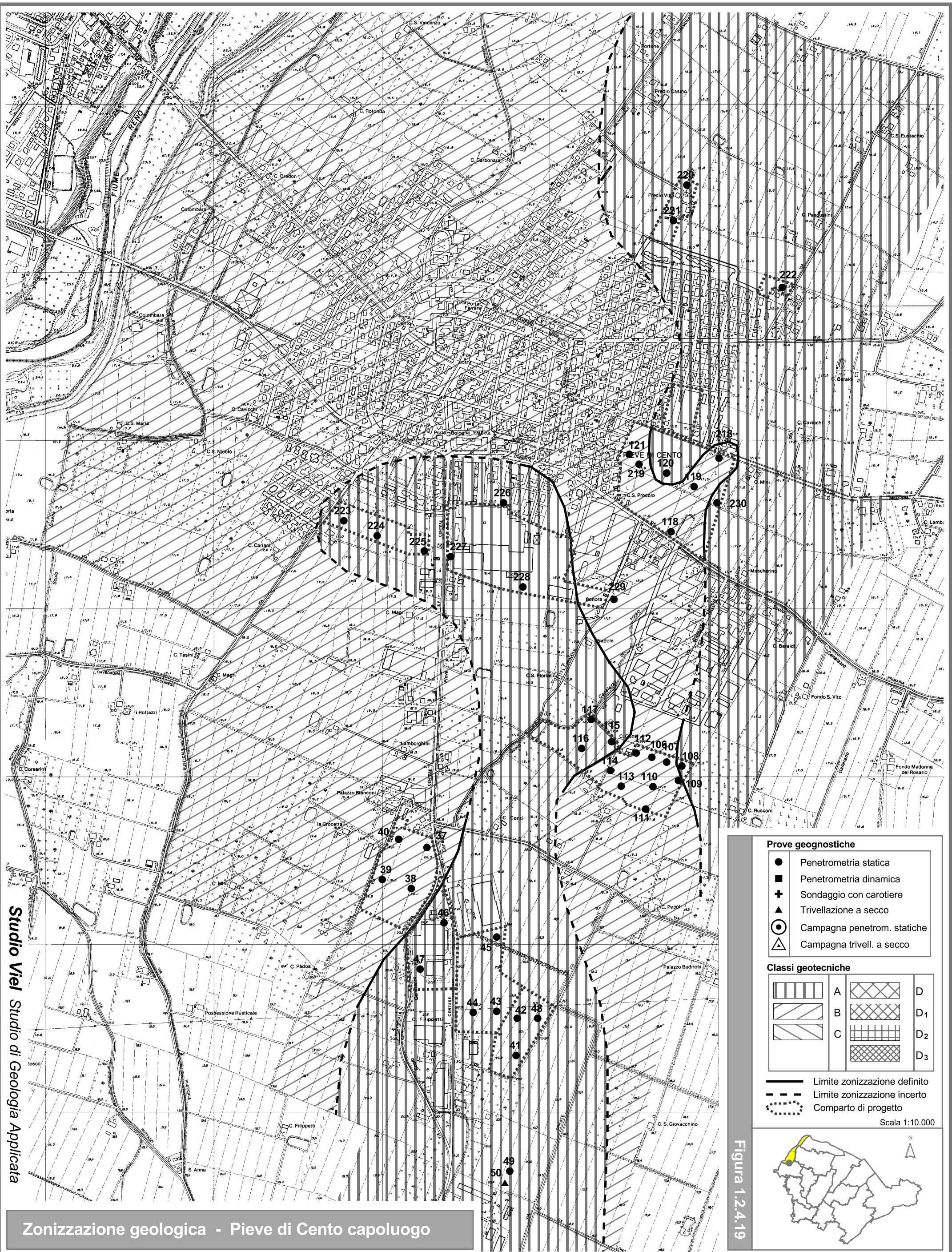


Figura 1.2.4.18



Studio Viel Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - Pieve di Cento capoluogo

Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penetrometria dinamica
- ⊕ Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Campagna penetrom. statiche
- ⊚ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

— Limite zonizzazione definito
 - - - Limite zonizzazione incerto
 ⋯ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

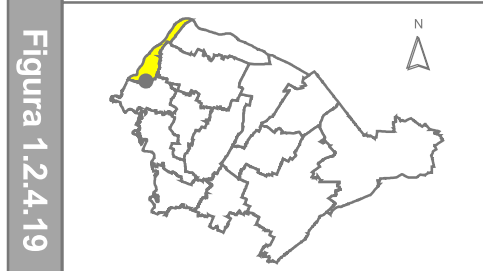
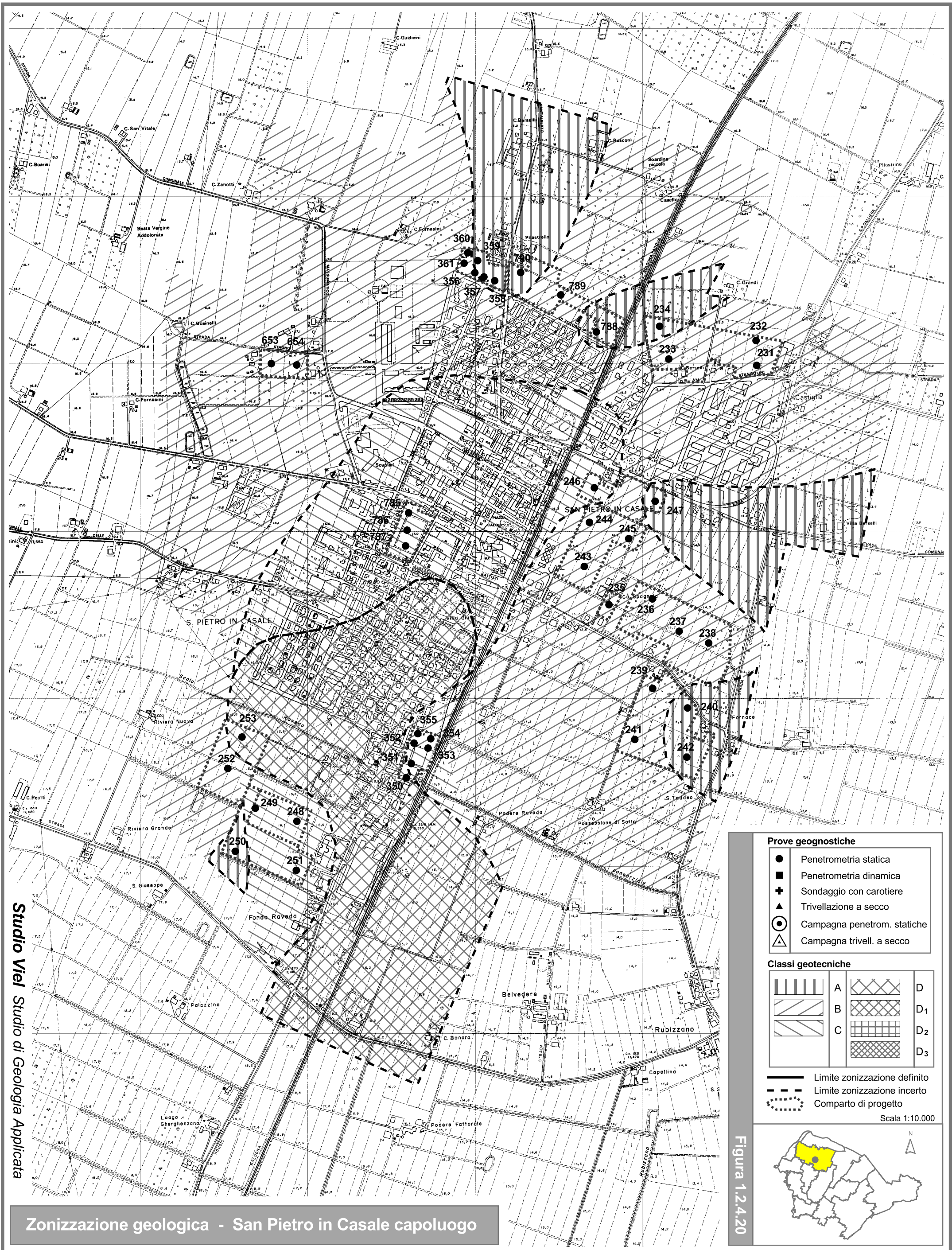


Figura 12.4.19



- Prove geognostiche**
- Penetrometria statica
 - Penetrometria dinamica
 - + Sondaggio con carotiere
 - ▲ Trivellazione a secco
 - ⊙ Campagna penetrom. statiche
 - △ Campagna trivell. a secco

Classi geotecniche

	A		D
	B		D ₁
	C		D ₂
			D ₃

- Limite zonizzazione definito
- - - Limite zonizzazione incerto
- ⋯ Comparto di progetto

Scala 1:10.000

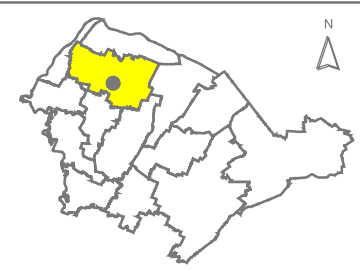


Figura 1.2.4.20

Studio Viè Studio di Geologia Applicata

Zonizzazione geologica - San Pietro in Casale capoluogo

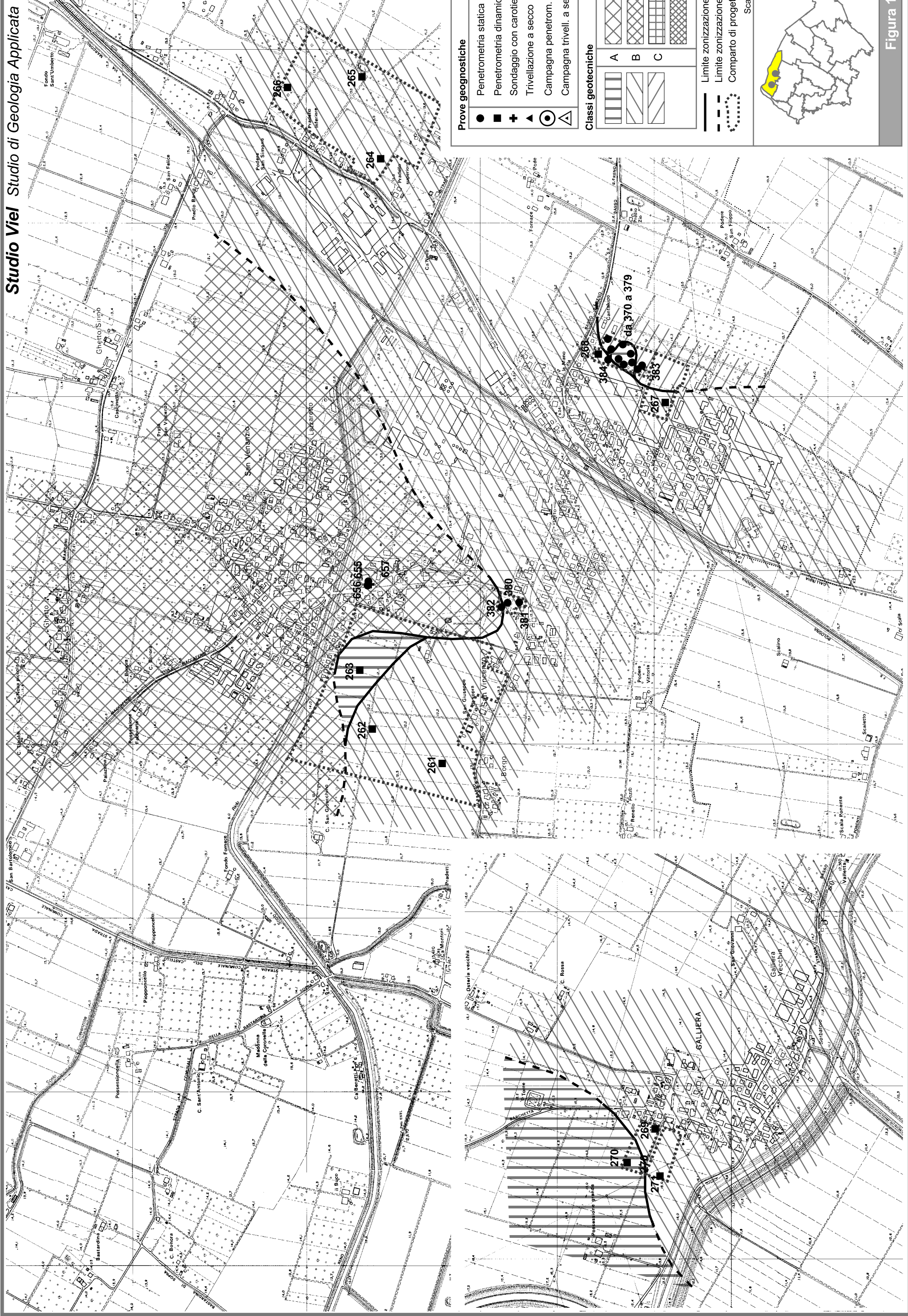


Figura 1.2.4.21

2 - ACQUE SOTTERRANEE: QUANTITÀ E QUALITÀ

2.1 LA MORFOLOGIA DELLA PRIMA FALDA

2.1.1 Introduzione metodologica

La conoscenza della geometria del tetto della falda più superficiale, ed il suo tipo (libera o confinata), è utile nei processi decisionali associati alle scelte localizzative delle aree insediabili, e ad una loro qualificazione di sicurezza e di compatibilità ambientale, perché pone condizioni di fattibilità idrogeologica per:

- realizzazione di vani scantinati o interrati,
- opere d'ingegneria sotterranee,
- edificazione antisismica (valutazione degli effetti: liquefazione),
- tutela qualità e quantità delle acque sotterranee.

Le zone di ricarica della falda superficiale, i rapporti tra acque sotterranee e superficiali (torrenti e fiumi) e tra diversi acquiferi, l'individuazione delle zone di maggior deflusso sotterraneo ed il loro andamento, vengono evidenziate dalla carta delle isopieze a livello territoriale. Sulla scorta di queste informazioni è possibile pianificare le zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei, fare una prima valutazione di bilancio delle acque sotterranee, ed impostare il monitoraggio qualitativo e quantitativo (variazioni del chimismo e del livello statico stagionale e nelle serie storiche).

Il primo passo è quindi eseguire un accurato e rapido (per evitare disturbi dovuti ad eventuali variazioni delle condizioni meteorologiche) rilevamento dei pozzi a largo diametro, di profondità tale da interessare solamente gli acquiferi freatici, o comunque la falda più superficiale. Estrapolando tra i punti noti, una sorta di "fotografia" della geometria del livello piezometrico, che può essere interpretato e confrontato con altre situazioni. Si sottolinea che questa carta restituisce la geometria del sedimento saturo (acquifero) solamente nell'area a falda freatica (libera), infatti nei casi in cui l'acquifero sia confinato al tetto, la quota piezometrica coincide con la pressione espressa dalla falda, e non con l'altezza dell'acqua dentro i sedimenti.

Nell'intervallo temporale di poco più di trenta giorni (nel mese di settembre 2003), si tratta di un mese che chiude un periodo particolarmente siccitoso, continuato da giugno. Le sporadiche precipitazioni piovose che si sono verificate durante il rilevamento non hanno influito sui livelli piezometrici misurati.

Si sono rilevati oltre 850 pozzi freatici o comunque di profondità in genere non superiore ai 15 metri. Di questi circa la metà nei Comuni mai indagati precedentemente, e l'altra metà nei Comuni già dotati di censimento dei pozzi e



di carta idrogeologica. Considerando anche le diverse campagne di rilevamento effettuate nel decennio precedente, i pozzi di cui si dispone di quote di confronto sono circa 400, disposti soprattutto nella zona a falda freatica, più prossima al passaggio alla collina.

Per ogni pozzo è stata stimata visivamente la quota s.l.m. del piano campagna (d'ora in poi p.c.) in base ai punti quotati della Carta Tecnica Regionale (d'ora in poi CTR), la profondità del pozzo (fino a 15 metri), la quota statica dell'acqua s.l.m., la presenza assenza di pompa, la sua potenza, il tempo di svuotamento e/o di riempimento, ed è stata compilata una scheda che comprende una serie di domande ai proprietari o agli utilizzatori del pozzo, quando presenti nel giorno del rilevamento.

L'impiego delle quote statiche rilevate per ricavare le isolinee di eguale pressione (isopieze) da trasporre sulla base topografica, non è stato un processo lineare, e quindi tanto meno si sono utilizzati strumenti automatici, così in voga in questi anni. La carta delle isopieze è il frutto di una elaborazione che ha integrato i dati precedenti, e filtrato le singole informazioni, anche depurando gli errori dovuti a:

- presenza di pompe attive durante o immediatamente prima la misurazione,
- errata o possibili imprecisioni nella valutazione della quota di campagna,
- diversi periodi di effettuazione del rilevamento.

Bisogna anche rammentare che le informazioni rilevate sono riferite ad un insieme di acquiferi superficiali, più o meno in rapporto reciproco, cioè che l'immagine della falda più superficiale, dedotta dal rilevamento dei pozzi, costituisce sempre un'approssimazione alla realtà. Molti acquiferi dotati di caratteristiche geometriche ed idrodinamiche assai diverse, e variamente comunicanti tra loro, sono rappresentati nei primi 10 – 15 metri di sottosuolo. Lo stesso risultato del rilevamento dimostra questo asserto: l'andamento sinuoso delle isolinee indica l'anisotropia che caratterizza il campo di moto misurato. In effetti, le irregolarità nella geometria delle isopieze sono rappresentative delle variazioni dei parametri idrodinamici degli acquiferi, o dell'insieme degli acquiferi che rappresentano.

Variazioni nella densità delle isopieze indicano passaggi tessiturali, o, se si preferisce, variazioni nella trasmissività dell'acquifero, cadenti idrauliche regolari suggeriscono condizioni isotrope, se poi le isolinee sono più rade e regolari ci si può trovare in condizioni di confinamento al tetto.

La lettura delle idroisopse consente di interpretare anche i rapporti tra falda ed acque superficiali, di individuare la direzione del deflusso sotterraneo, le zone di probabile ricarica, e, come visto sopra, di valutare indirettamente alcuni parametri idrogeologici. Resta comunque implicito che una sola campagna di rilevamento offre risultati solo parziali ed affetti da incertezze, ad esempio non



consente di conoscere l'escursione stagionale della falda freatica e le sue variazioni nello spazio. Unica possibilità di colmare questa lacuna è di confrontare i dati raccolti con gli esiti di altri precedenti lavori, ad esempio quelli ottenuti nelle indagini per i PRGC (Autori Vari), o la precedente campagna idrogeologica eseguita da chi scrive per la Provincia di Bologna nel 1995.

I rilievi precedenti sono stati eseguiti in varie stagioni dell'anno, quindi in condizioni di piena e di magra delle falde, ed inoltre distribuiti su un arco temporale di oltre 10 anni, quindi nelle più varie contesti climatico pluviometrici. I confronti finalizzati a desumere dati di escursione, e/o di modificazione del campo di moto, mantengono dunque un ampio margine di incertezza.

Lo Studio scrivente, ad ogni rilevamento effettuato in anni e stagioni diverse, ha mantenuto una zona di contorno tanto ampia da ricoprire parte delle aree già precedentemente indagate, aggiornando così le quote di pozzi, già rilevati anni prima, in modo da avere differenziali credibili per i confronti. Questo metodo, certamente approssimativo, ha consentito di realizzare una cartografia unitaria di parte dell'area indagata per il presente lavoro, e di controllarla unitariamente in occasione della pubblicazione della prima carta idrogeologica della falda superficiale del bolognese (G. Viel, *Metronomie*, v. 12, 1998).

Per la ricostruzione di confronto si è utilizzato questo documento. I dati desumibili da altri Autori sono stati considerati in modo marginale, sia per la loro sporadicità, sia per l'impossibilità di controllare i medesimi punti di controllo (spesso non riportati nelle cartografie).

La definizione delle zone in cui la falda superficiale è libera (freatica) o confinata (saliente) non è lineare. In particolare per le falde più superficiali questa ripartizione non può essere definita con una linea perché in realtà il passaggio da una condizione all'altra avviene gradualmente e con modalità, diciamo, a "macchia di leopardo". Le condizioni freatiche o confinate non si possono desumere dal p.c., occorre conoscere la distribuzione nel sottosuolo delle tessiture. In questo senso l'unico modo per desumere correttamente le condizioni locali è quello di eseguire una terebrazione finalizzata a questo scopo.

Nel corso degli anni, in numerosi comuni durante l'esecuzione delle prove penetrometriche di rito, per le indagini relative alle fasi preliminari o esecutive dei progetti, si sono adottate modalità esecutive tali da poter definire esattamente l'intervallo di reale comparsa del livello saturo. Si è sollevata la punta penetrometrica per verificare l'eventuale presenza di acqua ogni metro di avanzamento dello strumento, in vicinanza della quota piezometrica teorica.

Con questo metodo è stato possibile dedurre, in condizioni di falda confinata, la corretta altezza dell'intervallo saturo, mentre per la quota di risalita ci si è



comunque affidati ai livelli statici misurati nei pozzi, trascurando il dato ricavato dal foro piezometrico. Quest'ultimo infatti è quasi sempre errato a causa del disturbo nel sedimento, provocato dall'avanzamento del puntale, ed ancor più dalla sua estrazione, che produce, in sedimenti a tessitura fine, un indesiderato effetto "pompa".

2.1.2 Note illustrative della carta idrogeologica

La falda superficiale del bolognese è insediata in più acquiferi, per lo più sabbiosi, tra loro comunicanti, in genere dotati di modesta conducibilità e bassa trasmissività. A questa conclusione si perviene anche semplicemente osservando la geometria della falda come ricavata dal rilevamento dei pozzi a largo diametro effettuato nel 2003, ed anche dai rilevamenti effettuati negli anni novanta. La densità dei punti di controllo (pozzi rilevati per questo impianto conoscitivo) è disomogenea, infatti si sono concentrati gli sforzi nei comuni in cui non erano mai state effettuate misure del livello statico da parte dello Studio Scrivente. Inoltre la porzione più orientale (Budrio e Molinella) hanno una minore densità assoluta di pozzi rispetto ai Comuni più centrali ed occidentali. La tavola 2 riporta la distribuzione sia dei pozzi rilevati con la campagna del 2003, sia quelli rilevati nelle molteplici campagne degli anni novanta.

La grande articolazione delle isolinee, riportate nella tavola 2 con un passo di due metri, testimonia delle variazioni fisiche che caratterizzano gli acquiferi dei primi 10 o 15 metri di sottosuolo. La tavola 1 riporta la grande variazione degli ambienti deposizionali e delle tessiture nel primo sottosuolo, ma tutte le ricostruzioni geologiche di sottosuolo effettuate in questi ultimi anni riproducono anche per maggiori profondità una grande complessità nell'alternanza delle tessiture.

Le cadenti idrauliche seguono le medesime tendenze, e diviene difficile individuarne la ragione generale, tuttavia la parte più meridionale dell'area di indagine presenta cadenti in genere più alte, mentre la fascia settentrionale mostra intervalli piezometrici più diradati. Ciò è parzialmente dovuto alla variazione indotta sul campo di moto dalle diverse condizioni idrogeologiche prevalenti negli acquiferi: liberi a sud, confinati a nord.

La linea di separazione tra falda freatica e saliente, riportata nella tavola 2, costituisce la sintesi di dati raccolti direttamente (vedi paragrafo 2.1.1), di informazioni desunte da lavori di altri geologi, e di estrapolazioni ricavate dalla carta morfologica / litologica di tavola 1. Questa linea costituisce solamente il limite tra aree a prevalenza salienti ed aree in prevalenza freatiche, ed in genere tende ad essere cautelativa, cioè ad essere spostata verso le aree a falda confinata. La porzione più settentrionale della pianura bolognese è caratterizzata dalla presenza di una fascia a falda libera che delimita un vasto plateau a falda in

prevalenza saliente. Il freatico, in questo caso, è correlato ai depositi sabbiosi del Reno, che hanno formato un acquifero sabbioso complesso, in connessione con diversi acquiferi della bassa pianura.

La tavola 2 riporta anche gli spartiacque idrogeologici, il cui andamento segue naturalmente gli alti piezometrici. Si tratta di zone in cui la pressione della falda è più elevata determinando una situazione di deflusso stabile laterale, verso le aree con minore valore piezometrico. Queste zone divengono “non valicabili” dai deflussi sotterranei e quindi costituiscono ottimi limiti idrogeologici, ad esempio per individuare le aree di possibile distribuzione di eventuali sostanze idro – inquinanti. Ma gli spartiacque rappresentano anche apparati distributori di acque sotterranee alle falde superficiali: essi ricevono la risorsa, per lo più dalla zona di Pedecollina – Alta Pianura, e dai corsi d’acqua superficiali, la trasportano e distribuiscono lateralmente agli acquiferi che attraversano lungo tutto il loro percorso. Naturalmente perché questo processo avvenga occorre che le trasmissività abbiano valori diversi nelle diverse direzioni: minori lateralmente, e che frontalmente lo spartiacque sia in rapporto con un acquifero a conducibilità minore. Condizioni queste quasi sempre verificate lungo gli Argini Naturali di tutta la pianura bolognese.

La tavola 2 riporta anche le zone, o gli assi, di deflusso idrogeologico di maggiore rilevanza e continuità. Le isolinee documentano la presenza di acquiferi a maggiore trasmissività (cadenti idrauliche minori), in genere si tratta di paleoalvei sepolti, posti a profondità maggiori con coperture poco permeabili. Queste strutture caratterizzano lo spazio tra gli spartiacque e forniscono l’andamento dei deflussi di maggiore importanza, pur sempre rimanendo nell’ambito di falde assai poco “spingenti”, cioè di acquiferi dotati di parametri idrodinamici modesti.

La tavola individua le aree che nel periodo di rilevamento hanno consentito di delimitare come alti e bassi piezometrici. Si tratta di situazioni in cui il livello piezometrico rilevato presenta una quota anomala rispetto alle zone circostanti. Può trattarsi di “fughe” (processi di drenanza negli acquitardi che confinano al letto gli acquiferi superficiali) o di altre cause non direttamente connesse all’insieme di falde studiate.

Tra le indicazioni di “basso” piezometrico due casi paiono connessi alla presenza di impianti idrovori che mantengono artificialmente depressi i livelli idraulici dei canali di superficie nel comune di Galliera (impianto di Scolo Sant’Alberto), e nel Comune di Malalbergo ove una grande ansa dell’isolinea degli otto metri ha al suo centro l’impianto del Canale Calcara, ed il Capoluogo che ha la sua idrovora. Altre zone di anomala bassa quota piezometrica, localizzati nei Comuni di Bentivoglio, Malalbergo e S. Pietro in Casale, possono essere legate a processi di fuga verticale (non molto probabili) oppure ad errori di attribuzione delle quote di terreno dei rilevatori, associati alle

approssimazioni topografiche insite nelle quote CTR, in aree in cui differenze di quota di 50 centimetri si riflettono pesantemente sulla geometria delle isopieze. In alcuni casi queste aree ripropongono le condizioni topografiche della pianura: le conche morfologiche. Solamente in due casi (Altedo, tra Bentivoglio e Malalbergo) il numero di pozzi censiti (maggiore di 4) consente di mantenere anche l'ipotesi di una drenanza verticale, anche se poco probabile nella bassa pianura.

Le anomalie piezometriche positive si spiegano in molti casi con la presenza di canali o corsi d'acqua pensili che hanno tratti d'alveo infiltranti, almeno in questa fase di magra della falda superficiale. Esempi di queste situazioni li abbiamo lungo il Savena Abbandonato nei Comuni di Malalbergo (Località Casoni, nord di Altedo) e di Baricella (Località Boschi); mentre a Bentivoglio in località S. Maria in Duno una probabile perdita di fondo nel Canale Emiliano – Romagnolo provoca un'altra locale anomalia positiva. Anche tratti di Reno pensile determinano la presenza di alti localizzati come in località Possessione Palazzo (Pieve di Cento).

Nella porzione più prossima all'Alta Pianura ove la falda principale ha caratteristiche più spiccatamente libere, la presenza di un significativo alto piezometrico compreso tra Fondo Lirone e S. Teresa (Comune di Castel Maggiore) non trova una facile spiegazione. Si tratta di una struttura, riconfermata in parecchi rilevamenti successivi ripetuti anche in anni diversi, limitrofa ad una depressione piezometrica molto grande ed allungata verso sud, che inverte il senso di deflusso delle acque sotterranee, legata agli eccessivi prelievi dei campi di sollevamento Hera di Borgo Panigale e Tiro a Segno. Il Reno non pare influire direttamente, non si sono reperite aree di possibile ricarica in superficie, si ritiene pertanto che questo polo piezometrico positivo possa in effetti corrispondere ad una fuga verticale da falde sottostanti ancora debolmente salienti.

In confronto tra gli esiti di questo rilevamento, eseguito con una falda in condizioni di magra accentuata (quasi 4 mesi di scarsa precipitazione), e le cartografie precedenti, redatte in condizioni per lo più di morbida, o anche di piena, conferma ancora le acque sotterranee più superficiali sono insediate in un insieme di acquiferi variamente comunicanti. Infatti, assumendo la ricostruzione, del 1996 (G. Viel, 1998), della falda in condizioni di piena normale, che costituisce un riferimento unitario per una parte della zona indagata in questo lavoro, si può ottenere l'immagine della geografia delle escursioni freatiche. La figura 2.1.2.1 è stata ricavata con procedimento automatico con il gird dell'estensione Spatial Analyst di ArcView.

L'esito dell'incrocio tra i due strati viene pubblicato nella figura senza alcuna correzione "logica", l'esito visibile, quindi è il frutto delle estrapolazioni effettuate dal programma di calcolo tra i due "grid" introdotti.

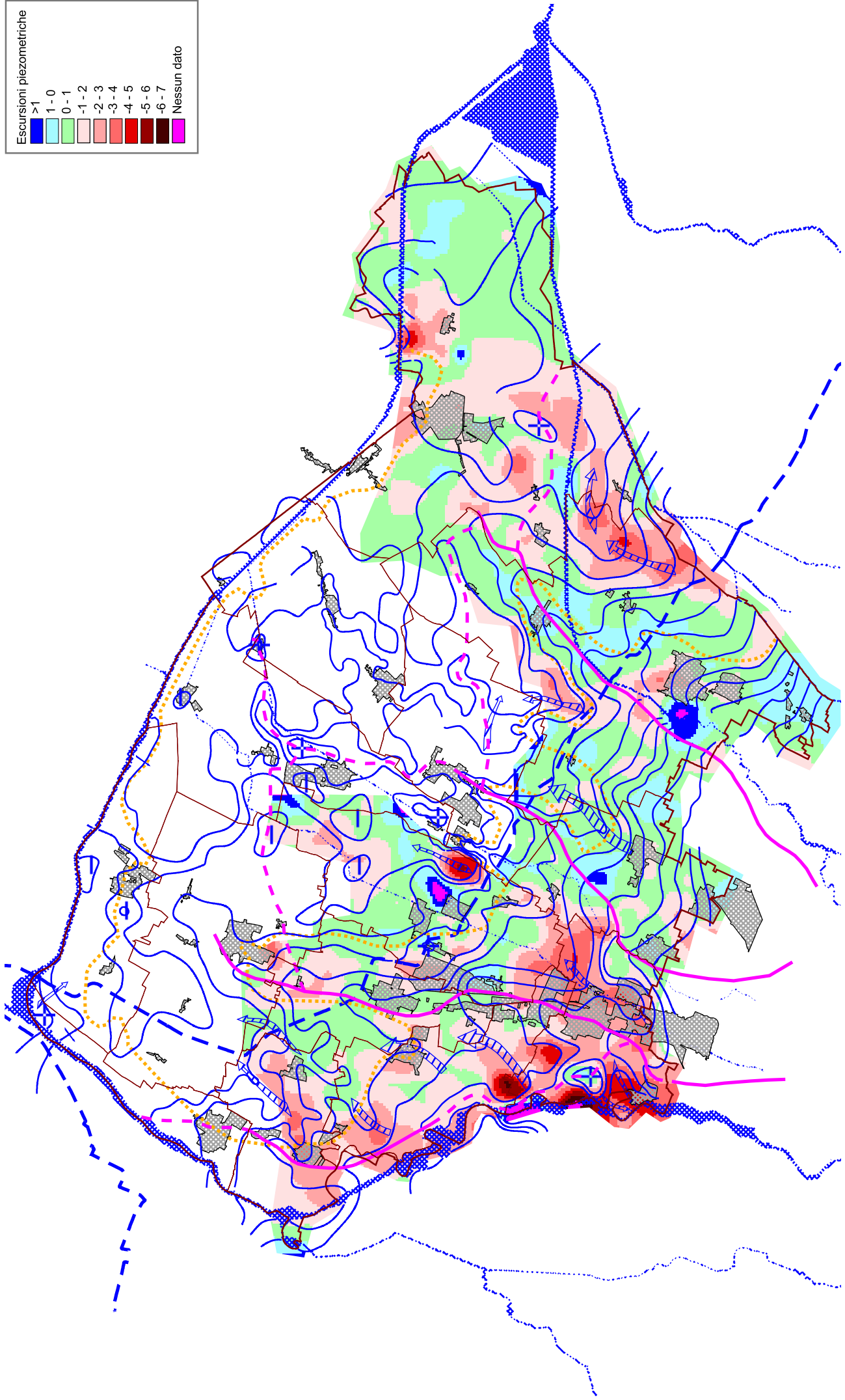


Figura 2.1.2.1 - Ricostruzione delle escursioni piezometriche ricavate dal confronto tra il rilevamento del 1996 (condizioni di piena) e quello del settembre 2003 (condizioni di eccezionale magra)

Il confronto tra le due superfici piezometriche corrispondenti ad una situazione di piena ed una di magra spinta, dimostra che nell'insieme la falda più superficiale risponde discretamente allo "stress" di una prolungata siccità. Buona parte del territorio occupato dalla falda freatica (l'unico in cui esistono le informazioni del 1996) ha infatti valori di escursione relativamente modesti (entro il metro), mentre appaiono due grandi comparti di escursione negativa (diminuzione del livello statico del 2004 rispetto a quello del 1996). Uno ad oriente (Budrio e Molinella), l'altro ad occidente, lungo il F. Reno.

Nella figura 2.1.2.1 sono riportate alcune aree di colore bleu, che indicherebbero le situazioni in cui la falda del 2003 ha quote maggiori rispetto alla falda del 1996. Si tratta di zone in cui mancando le informazioni il programma ha estrapolato i dati di un ampio intorno prefissato per la precisione del modello di correlazione, oppure si tratta di modeste discrepanze nel tracciato delle isopieze in zone in cui non si hanno sostanziali modifiche di livello piezometrico. Bisogna anche rammentare che persino modestissime differenze nell'andamento geometrico delle isolinee producono l'inserimento del quadrato del grid nella categoria da 0 a 1 metro (azzurro nella figura). In realtà tutto l'intervallo compreso tra 1 e -1 (azzurro e verde) può essere considerato come modesta escursione della falda, e comunque rientra nei limiti di errore del rilevamento stesso. Ad esempio l'escursione positiva collocata in prossimità della stazione di servizio "Castello di Bentivoglio" è ricavata dal modello matematico, in realtà si tratta di un'anomalia del campo di moto di probabile origine antropica che dilata il passo tra le isolinee.

La figura delimita anche aree in cui si hanno escursioni negative di entità decisamente significativa: maggiore di 3 metri. La zona più significativa è quella che borda il F. Reno con punti notevoli a Trebbo (Castel Maggiore), in località Fondo S. Giorgio (Argelato), nei pressi dello Zuccherificio di Argelato, a Castell D'Argile. Evidentemente il Reno in questa prolungata siccità svolge un ruolo drenante della falda così accentuato da diminuirne drasticamente il livello medio in un ambito la cui ampiezza è direttamente proporzionale alla conducibilità dei sedimenti dell'acquifero. Importante ricordare che sono assai pochi i punti di controllo rilevati in sinistra Reno, limite di cui la cartografia automatica risente pesantemente, sono infatti appena visibili, al margine della figura e dell'area di studio, piccole zone di escursione superiori a 5 metri che non corrispondono alla realtà e che sono il frutto di errate interpolazioni automatiche.

Altri centri di escursione negativa superiori ai 3 metri sono localizzati lungo il Navile sia in corrispondenza del Center Gross (Castel Maggiore), sia della zona industriale. Ancora, Ponte Centonara (Budrio) rappresenta il depocentro di una escursione negativa assai estesa, analogo al depocentro di Fondo Bosco (Molinella).

Le implicazioni legate all'escursione della falda sono simili a quelle relative all'andamento delle soggiacenze, ad esempio sulla rete fognante, ma in genere su tutte le opere sotterranee, possono essere considerevoli.

La rete fognante può essere totalmente immersa nella falda, con ingresso delle acque di falda nei collettori stessi, drenaggio continuo che produce l'abbassamento locale del livello statico e, in rari casi, danneggiamenti agli edifici. Se invece la rete fognante è collocata a quote assai prossime al tetto della falda freatica si può verificare nuovamente il caso di totale immersione e drenaggio stagionale dell'acquifero, ad esempio nei mesi di piena; oppure, più gravemente, quando il ramo di fognatura è sottoposto a pressioni idrauliche, può disperdere con maggiore facilità e rapidità negli acquiferi da poco tempo insaturi, o parzialmente saturi (insomma con alto grado di umidità naturale), parte dei suoi fluidi inquinanti.

2.1.3 Proposta di scomposizione territoriale

Nella tavola 3 riprodotta anche in figura 2.1.3.1 si propone una prima schematizzazione idrogeologica dell'intero quadrante bolognese, comprensivo delle possibili aree di ricarica della fascia pedecollinare. I rapporti idrogeologici tra sedimenti alluvionali della pianura e formazioni geologiche della catena sono regolati sia dalle proprietà intrinseche degli ammassi rocciosi del margine appenninico, sia dalle strutture tettoniche.

Il margine della catena appenninica, al suo immergersi sotto la pianura costituisce il più evidente limite naturale al complesso di sedimenti porosi che formano gli acquiferi in cui si insediano le falde più significative della Regione. Si tratta di un complesso di Formazioni geologiche marine o paraliche, caratterizzate da conducibilità idraulica in genere bassa, la struttura visibile è monoclinale, immergente verso la pianura. Nel sottosuolo queste unità plio – pleistoceniche sono variamente deformate e tettonizzate, il ricoprimento più prossimo alla catena (PTF), suturato da depositi alluvionali recenti, attraversa il centro storico di Bologna circa in corrispondenza della Stazione Centrale, e separa il margine appenninico dalla pianura. Ipotesi di possibile attività recente di questa struttura tettonica, stanno emergendo proprio nel centro storico di Bologna, a seguito delle rilevazioni per la subsidenza (M. T. De Nardo, in Artioli et Al. 1997). Questo ricoprimento, dunque, separa le Formazioni antiche del margine appenninico dalle alluvioni quaternarie più antiche, ma non pare avere alcuna influenza sui sedimenti più recenti che passano in continuità fino a sovrapporsi alle unità geologiche del margine della catena.

Pertanto per i nostri scopi si può senza dubbio sostenere che esiste continuità tra gli acquiferi dei primi 100 metri di alluvioni in pianura, i sedimenti del pleistocene superiore ed i fondovalle e conoidi alluvionali appenninici. Con estrema semplificazione, dal punto di vista idrogeologico il quadrante di pianura



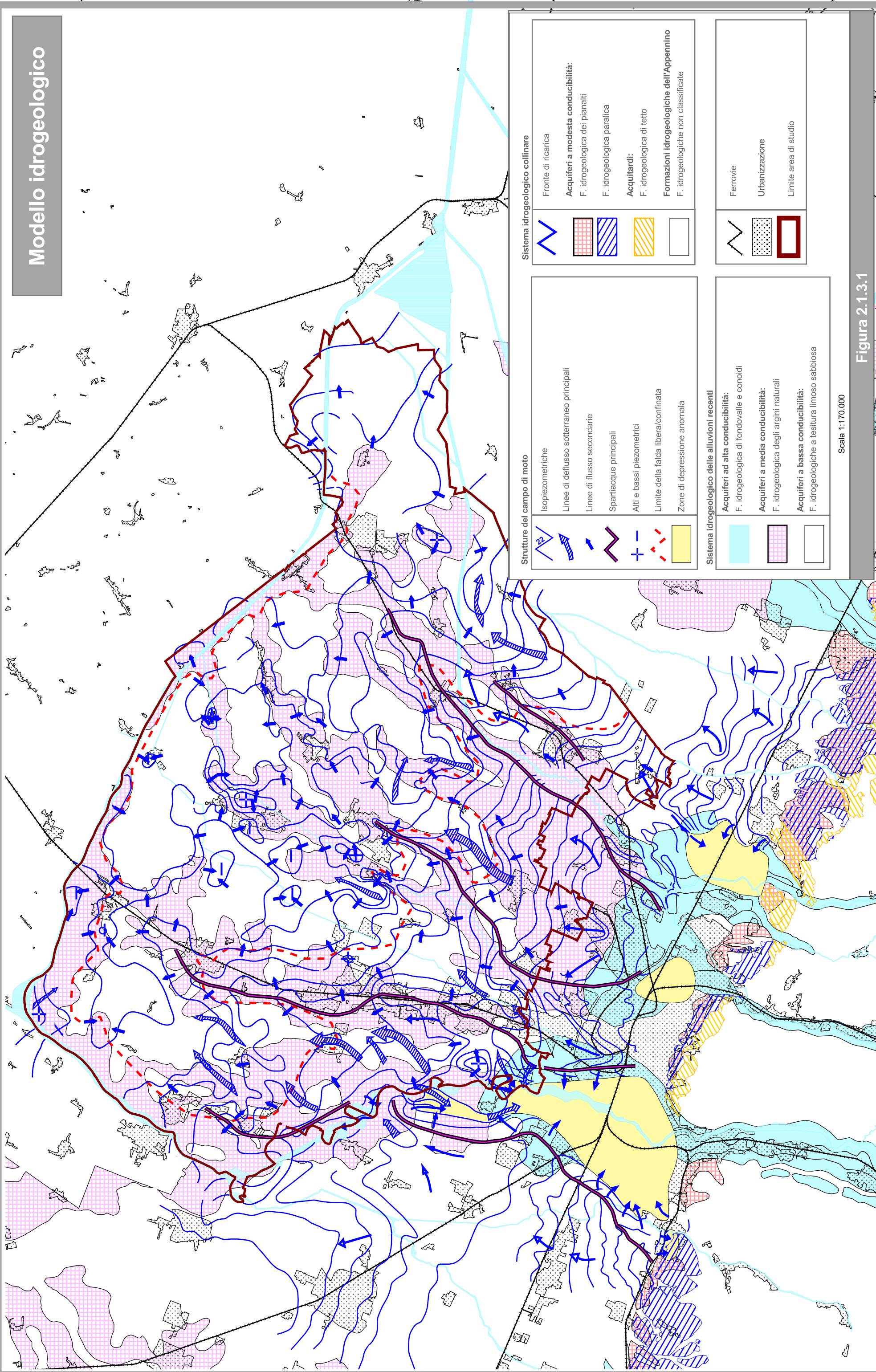
in studio, può essere incluso in un unico sistema idrogeologico, che denominiamo: "Sistema Idrogeologico delle Alluvioni Recenti"; al suo letto troviamo un complesso di Formazioni geologiche di età compresa tra il Messiniano ed il pleistocene, virtualmente impermeabili: il "Sistema Idrogeologico Collinare".

Il *Sistema Idrogeologico Collinare* è costituito da Formazioni geologiche caratterizzate da povertà di circolazione idrica sotterranea, a causa della bassa conducibilità. Il Sistema può consentire locali connessioni tra i sedimenti a permeabilità primaria e secondaria che lo costituiscono e gli acquiferi profondi della pianura, anche se il loro reale potenziale di ricarica appare molto modesto. Il Sistema idrogeologico è scomponibile in diverse Formazioni idrogeologiche, tra queste interessa qui l'acquitarzo più alto costituito dalle unità plioceniche Lugagnano e Argille di Riolo Terme, riportato solo per il margine appenninico nella tavola 3 e nella figura 2.1.3.1. Si tratta di Unità geologiche di potenza considerevole e conducibilità primaria e secondaria molto bassa. Nella stessa ricostruzione sono riportate anche le più recenti rocce magazzino del margine appenninico, formate dai delta conoidi antichi, e dalle terrazze prospicienti la pianura, Formazioni idrogeologiche di modesta conducibilità che comunque costituiscono il fronte di ricarica sotterraneo degli acquiferi più superficiali.

Il *Sistema Idrogeologico delle Alluvioni Recenti* è formato dai sedimenti alluvionali del Wurm ed al successivo post glaciale fino all'attualità, e cioè a circa 70.000 anni. Si tratta degli acquiferi dei primi circa 100 metri di sottosuolo della pianura bolognese. L'approvvigionamento idrico avviene dal fronte di ricarica del margine appenninico, dai fondovalle e conoidi appenninici, dai corsi d'acqua di superficie in tutta la porzione di Alta Pianura, ed infine anche dall'infiltrazione superficiale. Una valutazione corretta delle partecipazioni al rifornimento delle diverse fonti non è mai stata fatta per l'appennino bolognese, ma sono stati effettuati bilanci parziali per altri segmenti di pianura. E' noto che il contributo dell'infiltrazione dalla superficie, anche nell'alta pianura, raramente supera il 5% dell'ammontare complessivo della ricarica annua. Il contributo fornito dal fronte di ricarica del margine appenninico (Sabbie Gialle e pianalti) nell'appennino reggiano e modenese pare non superare il 20 - 25% del totale. La principale fonte di ricarica è rappresentata dai corsi d'acqua superficiale, attraverso l'infiltrazione subalveo, dai fondovalle ed apici dei grandi conoidi. Questa considerazione è tanto più vera per le falde superficiali trattate in questo lavoro.

L'insieme delle falde più superficiali di questo Sistema Idrogeologico è limitato verso la catena (sud – sudovest) dal fronte di ricarica profonda coincidente con gli acquiferi del margine appenninico, verso ovest e nord dal corso del F. Reno che svolge funzioni drenanti nella sua porzione di Alta Pianura, ed infiltranti nella pianura media e bassa (oltre il Trebbo). I flussi a

Modello idrogeologico



Strutture del campo di moto Isopiezometriche Linee di deflusso sotterraneo principali Linee di flusso secondarie Spartiacque principali Alti e bassi piezometrici Limite della falda libera/confinata Zone di depressione anomala	Sistema idrogeologico collinare Fronte di ricarica Acquiferi a modesta conducibilità: F. idrogeologica dei pianali F. idrogeologica paratlica Acquittardi: F. idrogeologica di tetto Formazioni idrogeologiche dell'Appennino F. idrogeologiche non classificate
Sistema idrogeologico delle alluvioni recenti Acquiferi ad alta conducibilità: F. idrogeologica di fondovalle e conoidi Acquiferi a media conducibilità: F. idrogeologica degli argini naturali Acquiferi a bassa conducibilità: F. idrogeologiche a testitura limoso sabbiosa	Ferrovie Urbanizzazione Limite area di studio

Scala 1:170.000

Figura 2.1.3.1



nord dipendono probabilmente dalle quote piezometriche stagionali, ma difficilmente potranno invertirsi se anche in condizioni di magra eccezionale la falda superficiale è ricaricata da nord. Ad est il Sistema è limitato dallo spartiacque che fiancheggia l'Idice, struttura che impedisce o limita molto i rapporti verso est, con probabilità attorno a Mezzolara in condizioni di piena parte dell'alto piezometrico può perdere la sua funzione. Le uscite dal sistema avvengono:

- ad est – nordest con flussi univoci verso Marmorta (Molinella),
- verso gli acquiferi sottostanti a causa del richiamo dovuto alla depressurizzazione delle falde profonde.

Nel modello di tavola 3 sono rappresentate anche le aree di depressione anomala del freatico, ampie zone in cui la depressurizzazione delle falde profonde ha provocato il richiamo in profondità anche delle acque sotterranee più superficiali (G. Viel, 1998). L'eccessivo sfruttamento delle acque sotterranee profonde, nei campi di sollevamento HERA di Borgo Panigale, Tiro a Segno e S. Vitalino (conoide del Reno), Fossolo (conoide del Savena), Mirandola (conoide Idice), ha prodotto una depressione piezometrica di molte decine di metri, e di conseguenza un richiamo di compensazione che distorce la geometria di tutto il campo di moto nell'alta pianura bolognese.

Nel Sistema delle alluvioni recenti è riportato anche il limite tra falde libere e confinate, questa linea, come già scritto, è solamente indicativa della prevalenza di una condizione rispetto l'altra.

La somma delle informazioni raccolte sulle acque sotterranee permettono di proporre una zonizzazione idrogeologica delle falde superficiali che consenta di scomporre il Sistema delle alluvioni recenti in subsistemi caratterizzati da limiti relativamente stabili. La figura 2.1.3.2 mostra 5 zone idrogeologiche:

- <Reno 1> zona che comprende la porzione drenante del F. Reno, nel nostro caso solo la sponda destra. Nella sua porzione più meridionale è rappresentato anche l'apice della zona di depressione anomala ed il richiamo verso sud prodotto dai campi di sollevamento HERA. La ricarica avviene principalmente dall'apice del conoide del Reno. In questa zona ogni contaminazione delle acque sotterranee ha diretta destinazione all'alveo del Reno, e, verso sud, alle falde idropotabili profonde;
- <Reno 2> zona che borda l'intero Sistema idrogeologico ad ovest ed a nord, fino all'area del suo deflusso verso est nordest. Il Reno svolge un ruolo infiltrante fino alla sua estremità orientale ove diviene indifferente rispetto al tetto della falda, segno questo di impermeabilità dell'alveo e di salienza della falda. L'alimentazione delle falde superficiali avviene dall'alveo del

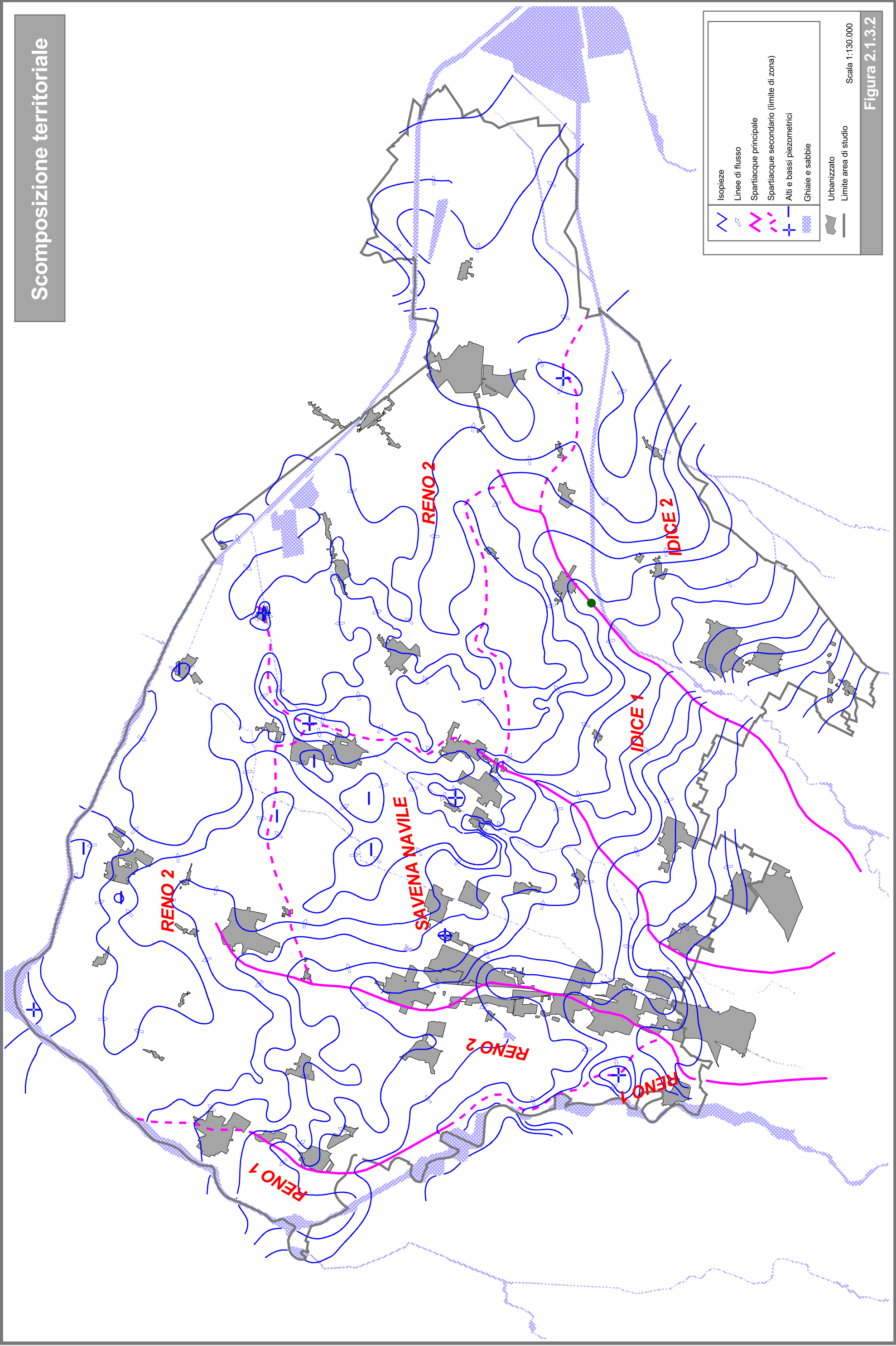


Reno e dal limite con le altre zone idrogeologiche. La zona Reno 2 rappresenta quindi la “gronda” di raccolta delle acque più meridionali, quindi anche di ogni contaminazione;

- <Savena Navile> zona caratterizzata dalla presenza di un asse di drenaggio centrale relativamente significativo, nella sua porzione più settentrionale, con prevalenti condizioni di falda confinata, sono presenti numerose modeste depressioni piezometriche, di cui si è già discusso in precedenza, le cui cause sono antropiche. La ricarica avviene principalmente dal conoide del Savena e dal fronte di ricarica appenninico, inoltre da qualche tratto d'alveo del Navile. Eventuali contaminazioni delle acque sotterranee si diffonderanno verso nord;
- <Idice 1> zona con asse deflusso evidente e rivolto a nord, il suo limite verso la zona Reno 2 è normale alle linee di deflusso in qualche tratto ed in particolare verso est. La ricarica della zona ha origine in corrispondenza dell'insieme di conoidi sabbiosi del Savena – Idice, proprio nell'area ancora poco deformata dai campi pozzi di HERA. Eventuali contaminazioni delle acque sotterranee sono convogliate direttamente al limite nord orientale della zona, verso Reno 2;
- <Idice 2> zona solo parzialmente definita in questo lavoro, esterna al Sistema delle alluvioni recenti, il deflusso avviene verso est nordest, praticamente verso la confluenza tra Idice e Quaderna. La ricarica dipende dal conoide Idice (in gran parte ora depresso dagli eccessivi prelievi), dal fronte di ricarica appenninico (settore tra Idice e Quaderna) e naturalmente dall'alveo dell'Idice che nel suo tratto di alta pianura ha funzione infiltrante. Eventuali contaminazioni sarebbero dirette, come il deflusso verso nord poi verso est nordest.

La figura 2.1.3.2 riproduce sinteticamente la disposizione ed i limiti delle zone proposte direttamente sulla rappresentazione schematica del campo di moto, risulta così che ogni zona può essere considerata come un acquifero relativamente indipendente. L'utilità della zonizzazione è connessa alle possibilità di realizzare politiche di controllo, monitoraggio e di difesa della qualità delle acque sotterranee, politiche di intervento attivo sulle cause delle contaminazioni.

Scomposizione territoriale



Scala 1:130.000

Figura 2.1.3.2

2.2 LA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

2.2.1 Lo stato conoscitivo sulle prime falde

Dal 1976 la Regione Emilia-Romagna, nell'ambito della preparazione del Progetto di Piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche, dispone di una capillare rete di monitoraggio quantitativo delle acque sotterranee, tuttora in continuo miglioramento. Nei pozzi monitorati, vengono effettuate quattro campagne annuali di rilevamento della piezometria e della conducibilità elettrica specifica.

In tempi più recenti, a partire dagli anni 1987-88, la Regione ha deciso di avviare anche un monitoraggio qualitativo delle acque sotterranee, con la misurazione di un ampio spettro di parametri fisico-chimici e microbiologici. Queste analisi, proseguono tuttora con due campagne annuali di prelievi a cura dell'ARPA Emilia-Romagna.

I dati qualitativi delle acque sotterranee, sono ottenuti da campioni che naturalmente rappresentano la qualità media delle acque di tutte le falde captate dal singolo pozzo scelto per la campagna di controllo. Si tratta sempre di pozzi di profondità variabile, che attraversano molteplici acquiferi più o meno comunicanti tra loro. Le informazioni chimico fisiche andrebbero pertanto lette in funzione degli acquiferi intercettati da ogni punto di controllo.

Una selezione dei pozzi della rete regionale di controllo per la Provincia di Bologna, dimostra tuttavia che non vi sono differenze sostanziali tra le acque campionate in pozzi che attraversano gli acquiferi fino a 100 metri e quelle che intercettano anche le falde più profonde (oltre i 300 metri), in tutti casi la classe zero è quella più diffusamente attribuita. Anche il Piano di Tutela della Acque, di recentissima adozione classifica le acque sotterranee della pianura bolognese in classe zero, per le alte concentrazioni di ammoniaca ($>0,5$ mg/l), ferro (>200 µg/l) e manganese (>50 µg/l).

Non è mai stato realizzato però il controllo delle acque sotterranee più a diretto contatto con la superficie e quindi con lo "strato insediato" che costituisce la principale fonte di possibili contaminazioni. La falda superficiale, proprio perché costituisce un facile bersaglio deve essere difesa e deve essere monitorata con grande attenzione.

Le acque sotterranee dell'insieme delle falde più superficiali (fino a 15 – 20 metri dal p.c.) hanno, dal punto di vista della qualità, molti requisiti esclusivi ed importanti:

- sono semplici ed economiche da campionare anche in diversi idro-strati,
- forniscono la misura dello stato qualitativo alla data del campionamento,
- hanno tempi di rinnovamento relativamente brevi,
- i costi di eventuale bonifica sono tra i più contenuti.



La considerazione che la qualità delle acque delle falde superficiali sia “ormai perduta”, è profondamente errata dal punto di vista sia strategico (tutela della qualità delle falde più profonde), sia tattico (usi diretti). In particolare nella situazione bolognese, caratterizzata da una forte depressurizzazione delle falde profonde che richiama verso il basso le falde superficiali, queste ultime devono assolutamente essere difese e tutelate dal punto di vista qualitativo. La programmazione degli interventi di tutela delle acque sotterranee deve quindi riferirsi alle falde superficiali per gli interventi e per le opere di ingegneria che possano diminuire le difese naturali degli acquiferi, in particolare sarà importante attuare politiche di miglioramento dell’efficienza delle reti di fognatura che rappresentano la maggiore causa di contaminazione.

La volontà di effettuare un primo controllo della qualità delle falde superficiali del bolognese è dettata proprio dalla necessità di “fare il punto” della situazione territoriale nella pianura bolognese. Pur nella consapevolezza che una sola campagna di campionamento non può essere considerata significativa, questo lavoro costituisce un primo, indispensabile momento di conoscenza su cui proporre indirizzi di tutela e politiche di intervento.

2.2.2 Introduzione metodologica

Il rilevamento dei pozzi, effettuato per questo lavoro, al fine di determinare la piezometria delle falde più superficiali, ha consentito anche la scelta di un significativo numero (101) di pozzi (punti di controllo di profondità mai superiore ai 15 metri), in cui si è intrapresa la campagna di prelievo di campioni, per una prima valutazione dello stato qualitativo della falda più superficiale.

Il contesto idrogeologico e morfologico dell’area, la localizzazione dei principali nuclei abitati, degli ambiti produttivi consolidati o con potenzialità di sviluppo strategico, hanno condizionato la selezione dei punti di controllo. La scelta ha tenuto conto anche della loro facile accessibilità, della presenza o meno di pompa di attingimento e della disponibilità dei proprietari (accertate durante il primo rilevamento delle quote d’acqua), fattori non trascurabili che hanno permesso di completare il più rapidamente possibile il lavoro e, pertanto, di effettuare il prelievo in condizioni idrogeologiche omogenee.

Si è inoltre scelto di avere un maggior numero di punti di controllo nella porzione più meridionale del territorio, in modo da ottenere una migliore definizione della qualità dell’acqua laddove l’insieme delle falde più superficiali è ancora freatico e caratterizzato da una maggiore vulnerabilità intrinseca.

Le analisi su campioni, si sono svolte in parte direttamente sul luogo del prelievo, ed in parte in studio, con strumenti di laboratorio, entro poche ore dal prelievo.

Le analisi effettuate al momento del prelievo, sono state eseguite con misuratore portatile (T° , pH, EC) e con fotometro a batteria e reagenti utilizzabili in campagna, per l'Ammoniaca. Le misure sono state condotte secondo la usuale procedura standard, consistente nel compiere il prelievo soltanto dopo la fuoriuscita completa dell'acqua contenuta nella pompa di attingimento, nelle tubature di risalita e la stabilizzazione del livello piezometrico, cioè almeno dopo dieci minuti di tempo (per la falda freatica). Nel caso di pozzi sprovvisti di pompa, si è utilizzato un idoneo prelevatore, e avuta cura di effettuare il prelievo sempre a metà della colonna d'acqua. Queste accortezze, hanno permesso di ottenere dati il più possibile omogenei e di ridurre il rischio di rilevare parametri fisico chimici falsati, in particolare la temperatura, la quale esercita notevoli influenze anche sul pH, sulla solubilità dei sali e sulla conducibilità elettrica, determinando la naturale "stratificazione" chimico-fisica nella colonna d'acqua del pozzo.

I campionatori con acqua prelevata, sono poi stati trasportati in studio per le rimanenti analisi di laboratorio, tutte completate entro 12 ore dal momento del prelievo. Le analisi di laboratorio, sono state effettuate con strumentazione fotometrica, tranne per i Cloruri, determinati per titolazione.

In vari pozzi localizzati nella porzione più ad Est del territorio studiato, sono state misurate T° , pH ed EC sempre con punta strumentata, e senza prelievo di campioni, durante il rilevamento delle quote d'acqua effettuato nel settembre 2003. Questo primo controllo, è stato interrotto per l'esigenza di completare nel più breve tempo possibile il rilevamento delle quote d'acqua. In alcuni pozzi, pertanto, sono state effettuate due diverse misure, mentre in altri sono noti soltanto i valori di T° , pH ed EC misurati durante questo primo rilevamento della piezometria.

Il grado di approssimazione strumentale del misuratore portatile e dei fotometri utilizzati sul campo ed in laboratorio, è variabile per ogni elemento, e comunque il "range" è sempre ampiamente compatibile con le finalità di analisi preliminare e territoriale del lavoro.

Vengono qui di seguito fornite le caratteristiche di precisione e di risoluzione strumentali per ogni parametro studiato.

2.2.2.1 Analisi eseguite direttamente in campagna con misuratori portatili

o temperatura (in $^{\circ}$ C), pH, conducibilità EC (in μ S/cm), TDS (in ppm), valori ricavati da misuratore portatile multiparametro della Hanna Instruments (mod. HI98129). Lo strumento è dotato di display visualizzatore digitale, termometro (scala di lettura da 0 a 60° , risoluzione $0,1^{\circ}$ C, precisione a 20° di $\pm 0,5^{\circ}$ C), elettrodo pHmetro (scala di lettura da 0 a 14, risoluzione di 0,01 pH e precisione a 20° di $\pm 0,05$ pH), sonda EC/TDS in grafite (scala di lettura EC/TDS rispettivamente di $0\div 3.999$ μ S/cm e $0\div 2.000$ ppm, risoluzione pari a 1 μ S/cm e 1 ppm, precisione a 20° di $\pm 2\%$ F.S.);

○ Ammoniaca (NH₃), la cui misura (in mg/l) è ottenuta con fotometro portatile della Hanna Instruments (mod. HI93715). Lo strumento è caratterizzato da sensore luce con fotocellula al silicio e display digitale per la lettura diretta del valore. Il sistema di analisi di riferimento è il metodo Nessler adattato. La scala di lettura strumentale è compresa tra 0 e 9,99 mg/l, la risoluzione è di 0,01 mg/l, la precisione pari a ±0,05 mg/l, deviazione tipica EMC di ±0,01 mg/l.

2.2.2.2 *Analisi eseguite con strumentazione di laboratorio*

L'indagine fotometrica si basa sul principio che molte sostanze, combinandosi con opportuni reagenti, danno luogo alla formazione di un particolare colore, la cui intensità è proporzionale alla concentrazione della sostanza da analizzare. Il colore che caratterizza ogni oggetto è il risultato di un processo di assorbimento e di emissione di radiazioni elettromagnetiche (luce) da parte delle molecole che lo costituiscono. Se una sostanza è investita da un fascio di luce (I_0), una parte di tale radiazione verrà assorbita dalle molecole di cui è composta, pertanto la sostanza emetterà una radiazione di intensità minore (I). L'entità della radiazione assorbita è data dalle seguenti relazioni:

$$A = \log I_0/I \quad (\text{legge di Lambert-Beer})$$

$$A = \varepsilon_\gamma c d$$

con: ε_γ = coeff. estinzione molare, caratteristico della sostanza

c = concentrazione molare della sostanza

d = percorso ottico della radiazione nel campione

La concentrazione “c” si calcola in funzione del colore della sostanza (radiazione emessa “I”), noti gli altri parametri. Nel fotometro, il fascio luminoso sorgente è dato da LED che emettono luce a lunghezza d'onda nota, a seconda della sostanza da analizzare. Inoltre, il percorso ottico è determinato dalle dimensioni della “cuvetta” che contiene il campione. Una cella fotoelettrica raccoglie la radiazione “I” emessa dal campione convertendola in corrente e successivamente in potenziale (mV). Infine, un microprocessore interno converte tale potenziale in concentrazione (ppm o mg/l).

Le analisi eseguite in studio, completate entro 12 ore dal prelievo, hanno determinato i seguenti parametri:

○ Cloruri (Cl⁻), la cui quantità (in mg/l) è ricavata con test kit per titolazione con nitrato mercurico, della Hanna Instruments. Il test chimico utilizzato è caratterizzato da scala di valori di lettura compresa tra 0 e 1000 mg/l, con incrementi minimi (risoluzione) fino a 1 mg/l.

○ Solfati (SO₄²⁻), misurati (in mg/l) con fotometro monoparametrico della Hanna Instruments (mod. HI93751). Lo strumento è dotato di sensore luce con fotocellula al silicio e display digitale per la lettura immediata del valore. Il metodo consiste nel far reagire (precipitazione) i Solfati con cloruro di Bario e misurare l'assorbanza luminosa della sospensione ottenuta. La scala di lettura strumentale è compresa tra 0 e 150 mg/l, la risoluzione è di 1 mg/l, la precisione e la deviazione tipica EMC sono pari a ±1 mg/l.



- Durezza Ca (espressa in mg/l di CaCO_3), è misurata con fotometro multiparametrico della Hanna Instruments (mod. C200), anch'esso caratterizzato da sensore luce con fotocellula al silicio e display digitale per la lettura diretta del valore. Il fotometro è inoltre dotato di porta seriale per data transfert in tempo reale a computer. L'analisi effettuata dallo strumento si basa sul metodo della calmagite. La scala di lettura è compresa tra 0 e 2,7 mg/l, la risoluzione è di 0,01 mg/l, la precisione risulta pari a $\pm 0,11$ mg/l, la deviazione tipica EMC di $\pm 0,01$ mg/l.
- Durezza Mg, (espressa in mg/l di CaCO_3), viene anch'essa misurata con fotometro multiparametrico della Hanna Instruments (mod. C200). Il fotometro utilizza il metodo di analisi colorimetrico EDTA. La scala di lettura strumentale è compresa tra 0 e 2,0 mg/l, la risoluzione è di 0,01 mg/l, la precisione risulta pari a $\pm 0,11$ mg/l, la deviazione tipica EMC di $\pm 0,02$ mg/l.
- Nitrati (misurati in mg/l di NO_3^-), la cui quantità è sempre misurata con fotometro multiparametrico Hanna Instruments (mod. C200). L'analisi dello strumento si basa sull'adattamento del metodo di riduzione del cadmio. La scala di lettura strumentale è compresa tra 0 e 30,0 mg/l, la risoluzione è di 0,1 mg/l, la precisione risulta pari a $\pm 0,5$ mg/l, la deviazione tipica EMC di $\pm 0,01$ mg/l.
- Ferro (in $\mu\text{g/l}$), il contenuto è misurato ancora con fotometro multiparametrico Hanna Instruments (mod. C200). L'analisi strumentale si basa sull'adattamento del metodo TPTZ. La scala di lettura supportata dal fotometro è compresa tra 0 e 400 $\mu\text{g/l}$, la risoluzione è di 1 $\mu\text{g/l}$, la precisione risulta pari a ± 10 $\mu\text{g/l}$, mentre la deviazione tipica EMC è di ± 1 $\mu\text{g/l}$.
- Manganese (in $\mu\text{g/l}$), determinato sempre con fotometro multiparametrico Hanna Instruments (mod. C200). L'analisi fotometrica si basa sull'adattamento del metodo PAN. La scala di lettura strumentale è compresa tra 0 e 300 $\mu\text{g/l}$, la risoluzione è di 1 $\mu\text{g/l}$, la precisione risulta pari a ± 2 $\mu\text{g/l}$, mentre la deviazione tipica EMC è di ± 1 $\mu\text{g/l}$.

I risultati ottenuti dalle analisi, hanno permesso di comporre la distribuzione nello spazio per ogni singolo parametro idrochimico indicato dalla legge nazionale n.152/99 nella tab.20 “parametri di base” (allegato 1).

La distribuzione è ottenuta attraverso l'elaborazione di curve di uguale concentrazione (isocone). Le isocone sono state costruite mediante calcolo automatico di interpolazione, utilizzando il programma estensione di Arcview “Spatial Analyst”.

Per ottenere la distribuzione spaziale, non si è tentata un'analisi geostatistica di “kriging” dei dati di partenza, perché questa tecnica tende a correggere la forte variabilità locale del singolo parametro per ottenere una variabile naturale regionalizzata.

Nel nostro caso, invece occorre un modello di interpolazione automatico che conservi la “discretizzazione” del dato, al fine di evidenziarne le “anomalie”.

I campioni, provenienti da pozzi freatici a largo diametro, in cui la variabilità idrochimica non è dovuta solamente ad errori statistici di misura, ma può essere emblematica di fattori intrinseci “non naturali”, come ad esempio cause di inquinamento, più o meno puntuale che devono essere evidenziate. Punti o zone caratterizzate da tenori positivi o negativi rispetto alla situazione di contorno,

infatti, non possono definirsi soltanto come incertezze puramente statistiche ma, nel nostro caso, possono essere indicatori di contaminazione.

Successivamente, si è proceduto ad una correzione manuale, ragionata, delle isocone automatiche, per tenere conto, ad esempio, dell'idromorfologia (spartiacque e principali linee di deflusso sotterraneo), delle probabili cause di inquinamento puntuale, della differente densità di punti di controllo.

2.2.3 I riferimenti normativi

Per gli aspetti qualitativi fisico-chimici delle acque sotterranee, si fa riferimento ai contenuti della legge nazionale n. 152/99. Questa normativa, determina i principali parametri idrochimici (“parametri di base”) da considerare nella valutazione della qualità delle acque sotterranee, qui di seguito riportati (tabella 20, allegato 1):

Parametri	Unità di misura	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 0 (*)
Conducibilità elettrica	μS/cm (20°)	≤400	≤2.500	≤2.500	>2.500	>2.500
Cloruri	mg/l	≤25	≤250	≤250	>250	>250
Manganese	μg/l	≤20	≤50	≤50	>50	>50
Ferro	μg/l	<50	<200	≤200	>200	>200
Nitrati	mg/l di NO ₃	≤5	≤25	≤50	>50	
Solfati	mg/l di SO ₄	≤25	≤250	≤250	>250	>250
Ione ammonio	mg/l di NH ₄	≤0,05	≤0,5	≤0,5	>0,5	>0,5

(*) se la presenza di tali sostanze è di origine naturale, così come appurato dalle regioni o dalle provincie autonome, verrà automaticamente attribuita la classe 0.

I valori quantitativi limite dei parametri contenuti nella tabella 20, permettono una classificazione chimica delle acque sotterranee, secondo classi così definite:

- CLASSE 1 → Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche
- CLASSE 2 → Impatto antropico ridotto o sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
- CLASSE 3 → Impatto antropico significativo e con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione
- CLASSE 4 → Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti
- CLASSE 0 → Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies

idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra del valore della classe 3

Per ogni valore medio del parametro misurato, viene attribuita la classe qualitativa secondo lo schema indicato nella tabella 20. La classificazione complessiva dell'acqua è determinata dal valore di concentrazione peggiore riscontrato nelle analisi dei diversi parametri di base o degli eventuali parametri chimici "addizionali". Per gli scopi prefissati dal presente lavoro, non sono stati analizzati ulteriori parametri supplementari.

2.2.4 La banca dati idrochimica

Gli esiti idrochimici, per poterne elaborare automaticamente le distribuzioni, sono stati organizzati numericamente come shapefile, in punti georeferenziati che corrispondono ai pozzi di prelievo. Ai punti, è associata una tabella, contenente tutte le informazioni (tab. 2.3.1) relative al prelievo e agli esiti delle analisi.

<<ID_POZZO>>	→ Numero identificativo univoco di ricerca del punto di controllo (pozzo)
<<COMUNE>>	→ Comune in cui ricade il pozzo di prelievo
<<T°(1)>>, <<PH(1)>>, <<EC(1)>>	→ Temperatura, Ph e conducibilità misurate in occasione del rilevamento delle quote d'acqua senza prelievo (vedi testo)
<<DT_MISUR1>>	→ Data della prima misura (vedi sopra)
<<T°(2)>>, <<PH(2)>>, <<EC(2)>>	→ Temperatura, Ph e conducibilità misurate in occasione della campagna di prelievo dei campioni (vedi testo)
<<DT_MISUR2>>	→ Data della seconda misura (vedi sopra) e del prelievo
<<CLOR(2)>>, <<SOLF(2)>>, <<AMM(2)>>, <<NITR(2)I>>, <<MN(2)>>, <<FE(2)>>	→ Concentrazioni rispettivamente dei Cloruri, Solfati, Ammoniaca, Nitrati, Manganese e Ferro misurate nei campioni
<<CLS_SUM2>>	→ Classe di qualitativa (L.152/99, tab. 20) complessiva del campione analizzato
<<NOTE(2)>>	→ Note relative al prelievo dei campioni d'acqua, ai risultati delle analisi, etc..

Tabella 2.3.1 – Metadati relativi alle misure idrochimiche effettuate nei pozzi di controllo e nei campioni

I dati sopracitati sono pure riassunti qui di seguito, nella tabella 2.3.2:

ID_POZZO	COMUNE	T°(1)	PH_1_	EC_1_	DT_MISUR1	T°(2)	PH(2)	EC(2)	DT_MISUR2	CLOR(2)	SOLF(2)	AMM(2)	NITR(2)	FE(2)	MN(2)	CLS_SUM2	NOTE(2)
1	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	18,6	7,06	1368	29/09/2003	24	150	0,00	49,2	0	22	3	Ferro non determinato
2	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,8	6,91	1292	29/09/2003	38	150	0,17	10,2	55	1200	4	
3	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	19,6	7,12	2263	29/09/2003	124	270	0,18	47,4	14	50	4	
4	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	19,5	7,19	1094	29/09/2003	28	103	0,67	14,2	18	280	4	
5	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	20,3	7,36	1261	29/09/2003	37	114	0,01	11,1	132	133	2	
6	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	16,3	7,19	1604	25/09/2003	54	90	0,10	0,0	301	329	2	Nitrati assenti
7	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	16,6	6,95	2231	25/09/2003	61	1000	3,11	265,8	85	93	4	
8	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	16,9	7,02	1321	25/09/2003	17	122	0,09	146,2	204	139	4	
9	Argelato	23,9	7,16	1523	02/09/2003	19,4	7,01	1697	25/09/2003	57	127	0,00	10,6	191	133	2	
10	Argelato	25,3	7,06	1930	02/09/2003	19,1	7,06	2098	25/09/2003	58	380	0,00	31,9	69	251	4	
11	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	17,9	7,19	1523	03/10/2003	44	210	0,00	5,3	343	25	2	Ammoniaca assente
12	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	19,2	7,36	2420	03/10/2003	81	372	0,00	34,5	353	398	4	
13	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	17,8	7,11	1214	03/10/2003	24	66	1,99	0,0	900	1360	4	Nitrati assenti
14	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,6	6,78	3999	03/10/2003	514	1350	9,99	9,3	300	1930	4	EC ed Ammoniaca fuori scala
15	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	19,5	7,05	1986	03/10/2003	155	165	0,06	27,9	660	360	4	
16	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	19,1	7,04	2062	08/10/2003	68	264	0,00	167,5	223	129	4	Ammoniaca assente
17	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	15,7	7,18	2406	08/10/2003	293	141	3,90	0,0	334	900	4	Nitrati assenti; Mn fuori scala
18	Molinella	0,0	0,00	0	00000000	15,0	7,41	2280	07/11/2003	166	141	3,09	0,0	960	285	4	Nitrati assenti
19	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	18,4	6,91	3999	06/10/2003	230	840	0,05	32,3	375	162	4	EC fuori scala
20	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	17,3	7,13	1480	06/10/2003	44	102	0,07	5,8	265	600	4	Mn fuori scala
21	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	20,2	7,12	1401	06/10/2003	36	144	0,02	71,3	234	31	4	
22	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	17,3	7,03	1558	06/10/2003	55	150	0,00	14,5	339	900	4	Amm. assente; Mn fuori scala
23	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	18,2	7,48	1356	06/10/2003	32	146	0,07	13,3	305	300	4	
24	Argelato	25,9	7,12	1763	01/09/2003	14,3	7,13	1764	17/10/2003	62	195	0,00	14,2	270	10	2	Ammoniaca assente
25	Argelato	25,9	7,13	1960	01/09/2003	16,5	7,24	2100	17/10/2003	80	450	0,12	49,6	90	174	4	Solfati fuori scala
26	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	16,9	7,00	1551	06/10/2003	50	148	0,17	7,1	352	900	4	Mn fuori scala
27	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	16,9	7,08	1362	06/10/2003	40	144	0,36	9,8	337	300	4	Mn fuori scala
28	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	17,7	7,04	2155	06/10/2003	154	376	0,06	23,5	387	300	4	
29	Bologna	0,0	0,00	0	00000000	18,8	7,27	1498	08/10/2003	45	246	0,26	35,0	196	257	4	
30	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	18,9	7,35	1351	08/10/2003	38	147	0,09	29,2	260	247	4	
31	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,8	7,45	1183	08/10/2003	38	150	0,00	11,5	227	363	4	Ammoniaca assente; Mn fuori scala
32	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	18,7	7,44	1139	08/10/2003	42	114	0,17	2,7	189	179	2	
33	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	21,0	7,20	1488	08/10/2003	20	213	0,16	15,5	156	30	2	
34	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,9	7,11	1288	08/10/2003	50	126	0,19	14,6	197	870	4	
35	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	17,3	6,95	1852	08/10/2003	27	126	0,06	404,0	119	123	4	
36	Bologna	0,0	0,00	0	00000000	18,9	7,10	1586	13/10/2003	63	213	0,38	45,6	194	900	4	Mn fuori scala
37	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	20,8	7,74	1074	13/10/2003	35	99	0,11	16,8	119	32	2	
38	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	18,3	7,12	1552	13/10/2003	65	132	0,68	7,5	221	900	4	Mn fuori scala
39	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	20,6	7,22	1407	13/10/2003	32	84	0,15	10,2	70	381	2	
40	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	19,6	7,04	1555	13/10/2003	68	126	1,81	0,0	226	900	4	Mn fuori scala; nitrati assenti
41	Calderara di Ren	0,0	0,00	0	00000000	15,8	7,12	1476	15/10/2003	47	105	1,80	19,9	388	222	4	
42	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	17,1	7,47	2119	15/10/2003	95	306	0,00	81,1	323	38	4	Ammoniaca assente
43	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	16,0	6,95	2077	15/10/2003	88	396	0,01	25,7	375	181	4	
44	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	15,6	7,42	681	15/10/2003	17	15	0,29	2,2	267	636	4	
45	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	15,2	7,28	1318	15/10/2003	68	105	0,24	8,0	295	345	2	
46	Argelato	0,0	0,00	0	00000000	17,4	7,79	905	15/10/2003	23	75	0,02	18,2	92	18	2	
47	Argelato	0,0	0,00	0	00000000	15,5	7,40	1532	17/10/2003	53	174	0,06	37,2	202	29	3	Campionatore

Tabella 2.3.2 - Dati fisico chimici misurati

ID_POZZO	COMUNE	T°(1)	PH_1_	EC_1_	DT_MISUR1	T°(2)	PH(2)	EC(2)	DT_MISUR2	CLOR(2)	SOLF(2)	AMM(2)	NITR(2)	FE(2)	MN(2)	CLS_SUM2	NOTE(2)
48	Argelato	0,0	0,00	0	00000000	15,7	7,43	862	17/10/2003	30	48	0,00	16,4	119	93	2	Ammoniacca assente; Campionatore
49	Argelato	0,0	0,00	0	00000000	15,9	7,40	1855	17/10/2003	90	381	0,23	0,0	313	300	4	Nitrati assenti; Mn fuori scala; Campionatore
50	Argelato	0,0	0,00	0	00000000	16,1	7,12	1222	17/10/2003	28	147	0,22	22,6	109	300	2	
51	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	14,6	7,12	1102	22/10/2003	23	93	0,06	44,7	185	15	3	CorrISP."Budrio 536"
52	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	14,9	7,41	1134	22/10/2003	37	108	0,00	42,5	289	11	3	CorrISP."Budrio 577"; Ammoniacca assente
53	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	13,5	7,59	2024	22/10/2003	60	312	0,02	19,9	61	57	4	
54	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	16,2	7,05	1538	22/10/2003	36	192	0,24	30,6	179	900	4	Mn fuori scala
55	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	13,9	7,04	1589	22/10/2003	93	147	0,00	24,8	301	330	4	Ammoniacca assente
56	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	14,6	7,37	1825	22/10/2003	69	195	0,16	307,0	15	152	4	
57	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	13,1	7,23	1567	22/10/2003	68	198	0,08	89,0	325	900	4	Mn fuori scala
58	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,4	7,58	1208	21/10/2003	68	90	0,01	2,2	341	9	2	Campionatore
59	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	18,0	7,25	869	21/10/2003	20	63	0,02	11,1	221	23	2	
60	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,4	7,47	1344	21/10/2003	62	93	3,13	0,9	84	699	4	Campionatore
61	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	15,5	7,03	1539	21/10/2003	47	66	0,46	0,4	380	900	4	Mn fuori scala
62	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,1	7,16	1594	21/10/2003	45	141	0,05	98,8	316	318	4	
63	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	15,7	7,37	1719	21/10/2003	35	441	0,01	66,0	58	45	4	Campionatore
64	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	17,5	6,82	1530	21/10/2003	48	69	0,57	4,0	340	900	4	
65	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	14,1	7,05	1631	21/10/2003	60	198	0,22	12,4	191	900	4	Mn fuori scala
66	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	11,8	6,85	3605	21/10/2003	225	33	0,16	5,3	324	854	4	
67	Castel Maggiore	0,0	0,00	0	00000000	15,4	7,44	1169	21/10/2003	53	30	0,44	4,4	340	900	4	Mn fuori scala
68	Minerbio	0,0	0,00	0	00000000	16,7	7,42	692	21/10/2003	32	30	0,49	12,0	20	287	2	
69	Granarolo	0,0	0,00	0	00000000	16,5	7,21	1628	21/10/2003	60	207	0,00	21,7	387	42	2	
70	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	10,2	6,89	2097	27/10/2003	46	474	0,68	0,0	750	900	4	Mn fuori scala; Nitrati assenti
71	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	14,5	7,30	1664	27/10/2003	54	330	0,00	31,5	174	56	4	Ammoniacca assente;Campionatore
72	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	13,7	7,51	2010	27/10/2003	72	366	0,00	5,8	316	63	4	Ammoniacca assente;Secchio
73	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	14,4	7,44	1209	27/10/2003	36	21	1,75	0,4	394	900	4	Mn fuori scala
74	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	14,0	6,99	1420	27/10/2003	38	225	0,35	5,3	283	900	4	Mn fuori scala
75	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	13,7	7,23	807	27/10/2003	26	81	0,00	7,5	249	59	2	CorrISP."Budrio 75";Ammoniacca assente
76	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	10,5	7,30	1431	27/10/2003	70	156	0,90	0,0	284	900	4	Mn fuori scala; Nitrati assenti
77	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	12,7	7,52	834	27/10/2003	28	15	0,18	7,5	157	83	2	Vasche di "decantazione" tra pozzo e punto di p
78	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	14,3	7,51	1753	27/10/2003	58	252	0,00	129,3	179	175	4	Ammoniacca assente;Secchio
79	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	10,3	7,04	1472	27/10/2003	66	174	0,85	0,0	286	900	4	Nitrati assenti
80	Budrio	0,0	0,00	0	00000000	13,9	7,32	1882	27/10/2003	60	327	0,00	82,0	242	114	4	Ammoniacca assente
81	S. Giorgio	0,0	0,00	0	00000000	16,8	6,86	3999	03/11/2003	1000	450	9,99	0,0	1200	900	4	Nitrati assenti; tutti parametri fuori scala!
82	Argelato	19,3	7,18	1486	00000000	13,7	7,27	1202	03/11/2003	50	192	0,00	1,8	230	273	2	Ammoniacca assente
83	Bentivoglio	0,0	0,00	0	00000000	16,6	7,32	1597	03/11/2003	56	204	0,00	27,0	172	63	3	Ammoniacca assente; secchio
84	Bentivoglio	0,0	0,00	0	00000000	16,3	7,78	1199	03/11/2003	124	108	0,00	0,0	58	27	2	Ammoniacca e nitrati assenti; campionatore
85	Bentivoglio	0,0	0,00	0	00000000	15,8	6,88	1460	03/11/2003	34	165	0,00	5,3	223	276	2	Ammoniacca assente
86	Bentivoglio	0,0	0,00	0	00000000	17,9	7,52	1318	03/11/2003	50	156	0,00	4,9	143	45	2	Ammoniacca assente; secchio
87	S. Giorgio	0,0	0,00	0	00000000	16,5	7,15	1576	03/11/2003	52	186	0,00	17,7	344	477	2	Ammoniacca assente
88	Castello d'Argil	0,0	0,00	0	00000000	16,6	7,03	1628	03/11/2003	74	135	0,13	0,0	143	900	4	Nitrati assenti; Mn fuori scala
89	Castello d'Argil	18,1	7,31	1095	00000000	15,3	7,85	1124	03/11/2003	28	135	0,00	0,0	177	99	2	Ammoniacca e nitrati assenti
90	Pieve di Cento	18,6	7,90	953	00000000	15,1	7,84	1029	03/11/2003	34	51	0,00	0,0	204	423	4	Ammoniacca e nitrati assenti; campionatore
91	S. Pietro in C.	0,0	0,00	0	00000000	15,5	7,62	1657	05/11/2003	47	168	0,00	0,0	40	96	2	Ammoniacca e nitrati assenti; secchio
92	S. Pietro in C.	0,0	0,00	0	00000000	17,1	7,21	1687	05/11/2003	108	207	0,00	0,0	91	28	2	Ammoniacca e nitrati assenti; secchio
93	Pieve di Cento	0,0	0,00	0	00000000	14,8	7,31	1336	05/11/2003	94	57	0,00	0,0	250	225	2	Ammoniacca e nitrati assenti; campionatore
94	Galliera	17,7	7,13	1094	00000000	15,9	7,05	1350	05/11/2003	54	120	0,35	0,0	64	900	4	Nitrati assenti; Mn fuori scala

Tabella 2.3.2 - Dati fisico chimici misurati

ID_POZZO	COMUNE	T°(1)	PH_1_	EC_1_	DT_MISUR1	T°(2)	PH(2)	EC(2)	DT_MISUR2	CLOR(2)	SOLF(2)	AMM(2)	NITR(2)	FE(2)	MN(2)	CLS_SUM2	NOTE(2)
95	Galliera	19,0	7,11	1868	00000000	14,8	7,05	2070	05/11/2003	292	126	0,00	2,2	69	297	4	Ammoniaca assente
96	Malalbergo	0,0	0,00	0	00000000	16,6	7,03	1798	05/11/2003	66	207	0,04	0,0	81	900	4	Nitrati assenti; Mn fuori scala
97	Malalbergo	0,0	0,00	0	00000000	16,2	7,61	1363	05/11/2003	90	156	0,00	0,0	126	102	2	Ammoniaca e nitrati assenti
98	Minerbio	0,0	0,00	0	00000000	15,9	7,04	1678	05/11/2003	94	222	0,04	2,2	46	399	4	
99	Baricella	0,0	0,00	0	00000000	15,0	7,84	821	05/11/2003	22	51	0,00	0,0	122	22	2	Ammoniaca e nitrati assenti; secchio
100	Baricella	0,0	0,00	0	00000000	16,1	7,91	827	05/11/2003	30	132	0,05	0,0	1	567	4	Nitrati assenti; campionatore
101	Molinella	0,0	0,00	0	00000000	15,7	7,76	1161	07/11/2003	52	195	0,00	16,4	19	62	2	Ammoniaca assente; campionatore
102	Bentivoglio	21,3	7,32	1335	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
103	S. Giorgio	18,4	7,13	1380	03/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
104	Pieve di Cento	18,8	7,07	1547	11/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
105	Pieve di Cento	21,6	7,87	2012	11/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
106	Pieve di Cento	21,0	7,05	3191	11/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
107	Pieve di Cento	21,5	7,07	1235	12/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
108	Galliera	26,0	7,10	1702	15/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
109	Galliera	15,7	7,54	711	15/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
110	Galliera	24,5	9,38	1774	16/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
111	Galliera	17,5	7,26	1258	16/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
112	Castello d'Argil	18,0	7,16	1482	10/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
113	Castello d'Argil	18,0	7,40	1489	10/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
114	Castello d'Argil	21,8	7,37	1542	09/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
115	Castello d'Argil	22,3	6,97	1523	09/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
116	Castello d'Argil	21,3	7,96	1474	09/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
117	Castello d'Argil	18,3	7,44	834	10/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
118	Castello d'Argil	21,9	7,18	1469	10/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
119	Castello d'Argil	23,2	6,94	2363	10/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
120	S. Pietro in C.	19,1	7,26	1132	17/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
121	S. Pietro in C.	20,6	6,99	1698	17/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
122	S. Pietro in C.	25,8	6,90	1442	17/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
123	S. Pietro in C.	16,3	7,30	1004	18/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
124	S. Pietro in C.	20,3	7,16	1184	18/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
125	S. Pietro in C.	20,8	7,35	1002	18/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
126	S. Pietro in C.	18,5	7,59	1370	19/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
127	S. Pietro in C.	20,5	7,13	1845	19/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
128	Bentivoglio	19,9	7,20	1156	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
129	S. Giorgio	17,6	7,05	980	03/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
130	S. Giorgio	17,2	7,25	1261	03/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
131	S. Giorgio	21,8	7,78	606	04/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
132	S. Giorgio	18,2	7,09	1472	04/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
133	S. Giorgio	19,8	7,49	1212	04/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
134	S. Giorgio	20,5	7,15	1571	04/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
135	S. Giorgio	19,5	7,08	1149	04/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
136	S. Giorgio	20,9	7,10	1847	03/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
137	S. Giorgio	23,1	7,18	1739	03/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
138	Bentivoglio	17,2	7,17	1811	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
139	Bentivoglio	20,4	7,61	1094	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
140	Argelato	22,8	7,36	2581	01/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
141	Argelato	22,8	7,08	2132	01/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		

Tabella 2.3.2 - Dati fisico chimici misurati

ID_POZZO	COMUNE	T°(1)	PH_1_	EC_1_	DT_MISUR1	T°(2)	PH(2)	EC(2)	DT_MISUR2	CLOR(2)	SOLF(2)	AMM(2)	NITR(2)	FE(2)	MN(2)	CLS_SUM2	NOTE(2)
142	Argelato	19,0	7,02	2240	02/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
143	Bentivoglio	19,5	7,67	1157	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
144	Bentivoglio	22,6	7,20	1617	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		
145	Bentivoglio	29,8	7,01	1417	05/09/2003	0,0	0,00	0	19000100	0	0	0,00	0,0	0	0		

2.2.5 Note illustrative sulla distribuzione dei parametri idrochimici

Le distribuzioni spaziali dei parametri idrochimici, ottenute dalle analisi dei campioni prelevati, sono mostrate nelle figure, da 2.2.5.1 a 2.2.5.8. Le carte, riportano l'identificativo del pozzo di prelievo.

2.2.5.1 Distribuzione della conducibilità E.S. (figure 2.2.5.1 e 2.2.5.2)

Durante la campagna di rilevamento delle quote d'acqua (agosto 2003) si è cominciata la lettura, con punta strumentata, dei parametri T°, pH e EC. Questa prima verifica, è stata effettuata soltanto in alcuni pozzi della porzione Nord-Occidentale dell'area studiata (53 pozzi, vedi figura 2.2.5.1). Il controllo è stato interrotto per la necessità di avere, nel minor tempo possibile, i dati piezometrici dell'insieme delle falde superficiali. La completa misura della conducibilità e degli altri parametri, è stata ripresa nel mese di settembre, con la campagna di prelievo estesa all'intero territorio in esame, nei pozzi riportati in figura 2.2.5.1

La conducibilità rappresenta il risultato finale dei complessi equilibri chimici dei vari ioni contenuti nelle acque. Essa dipende dalla T° (aumenta in modo direttamente proporzionale ad essa), pertanto la sua misura viene riferita a temperature standard.

La conducibilità fornisce una valutazione del grado di mineralizzazione dell'acqua: essa permette di verificare gli arricchimenti dovuti sia a cause naturali, sia a cause antropiche, oppure impoverimenti dovuti all'arrivo di acque di infiltrazione recente. La conducibilità delle acque sotterranee generalmente aumenta con il permanere delle acque a contatto con i sedimenti dell'acquifero, nelle aree con minore circolazione idrica, e con lenta alimentazione che avviene prevalentemente attraverso il suolo agrario. Valori minori si hanno, viceversa, nelle acque di acquiferi dotati di maggiore trasmissività, più vicine alle zone di ricarica per il freatico in situazioni di forte infiltrazione locale.

Le due campagne hanno dato valori di conducibilità molto simili, in ragione delle condizioni meteorologiche che si sono mantenute sostanzialmente stabili nel periodo intercorso: freatico con modesta infiltrazione dalla superficie, basso tenore di ricarica dal pedecollina e dai corsi d'acqua. Il primo controllo, ha fornito esiti di conducibilità compresi nella classe 2 (figura 2.2.5.1). Soltanto due misure (pozzi 106 e 140), ricadono nella classe 4 ma i risultati sono falsati, con probabilità, dalla presenza di fonti inquinanti puntuali probabilmente legate ad attività agricole.

La media matematica dei valori di conducibilità ottenuti dalla la seconda campagna (figura 2.2.5.2), è di 1594 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Anche in questa campagna tutte le misure sono comprese nella classe 2 tranne quattro campioni (su 102), ricadenti nella classe 4. Il controllo statistico, dimostra come il confronto tra la media dei valori rilevati nella zona freatica, rispetto a quelli misurati nella zona a falda

saliente, non presenti lo scarto che ci si potrebbe attendere. Questa incongruenza, costituisce un esito statistico falsato dalla probabile presenza di sorgenti contaminanti locali.

Le misure mediamente più basse dell'area meridionale, sono infatti compensate dai valori di conducibilità più elevati (classe 4), ottenuti nei pozzi di Prunaro (Budrio) e a NE di S. Giorgio di Piano, e tra Lovoleto e San Marino (Granarolo). I dati ottenuti dal campione di Prunaro (pozzo 19) e da quello più a Nord di Lovoleto (pozzo 14), indicano una contaminazione puntuale in ambito agricolo. Il secondo campione, in particolare, è caratterizzato anche da altissime concentrazioni degli altri parametri (tranne i Nitrati).

Gli altri due valori di classe 4, sono registrati da campioni prelevati entro o immediatamente a valle di zone urbane, nella direzione di deflusso della falda. Analoghi campioni, raccolti invece a monte dell'insediamento, hanno sempre fornito esiti medi inseribili nella classe 2. Se a questi esiti si associano gli alti valori dell'Ammoniaca, ottenuti sempre a valle degli insediamenti, si compone un quadro di possibile contaminazione locale dovuta alle dispersioni della rete fognante.

Il valore fuori scala (pozzo 81) a valle (nord - nordest) dell'abitato di S. Giorgio di Piano può essere un esempio di quanto asserito sopra. I risultati idrochimici ottenuti da questo campione, se confrontati con gli esiti ricavati dai pozzi vicini, anche nella prima campagna di misura, indicano che alla contaminazione locale, comunque presente, si sovrappone una probabile sorgente inquinante puntuale (rete fognante?).

Alti valori, ma compresi nei limiti della classe 2, sono misurati a valle di Cadriano e Quarto inferiore, rispetto a quelli ottenuti nei campioni prelevati più a monte delle stesse aree urbanizzate, e negli abitati di Marmorta e San Venanzio più a Nord.

Nel territorio compreso tra il F. Reno (ad est) e Castel Maggiore (a Ovest) si è rilevata una anomalia positiva (pozzi 7, 12, 42 e 43), interpretabile come conseguenza del naturale mescolamento di acque più ricche di sali (acque forse più profonde) con quelle più superficiali, provocata da probabile salienza (vedi l'alto piezometrico nell'area) di acque in pressione dell'acquifero sottostante.

Gli esiti della prima parziale campagna di rilevamento (fig. 2.2.5.1) e della seconda (fig. 2.2.5.2), più rarefatta ma anche più completa, non forniscono significative variazioni di classificazione, secondo gli intervalli imposti dalla legge. Il confronto tra le due figure, tuttavia, mostra un quadro di riferimento delle isocone assai differenziato: ciò è dovuto alla diversa densità dei punti di controllo, in particolare nell'area settentrionale; qui infatti la prima campagna ha rilevato un numero maggiore e più omogeneamente distribuito di campioni. Se si osservano i risultati dei medesimi pozzi, si nota la sostanziale identità degli



esiti a fronte di una ben diversa distribuzione denunciata dalle isocone; ad esempio, tra San Venanzio e Galliera – Poggetto la maggiore densità dei controlli consente un'articolazione assai maggiore e offre un'immagine della realtà molto più vicina alle variazioni spaziali del parametro. Ancor più significativa, in questo senso, l'area tra Bentivoglio e Pieve di Cento.

In conclusione, pur ribadendo che la classificazione complessiva vede il permanere in classe 2 dell'intera area, e la sostanziale identità degli esiti, ottenuti per i medesimi pozzi, si sottolinea l'importanza di avere una rappresentazione dettagliata della realtà locale. La rarefazione dei campioni può condurre ad errori di stima territoriale e/o gravi sottovalutazioni.

2.2.5.2 Distribuzione dei Cloruri (figura 2.2.5.3)

È uno dei parametri che contribuiscono maggiormente alla conducibilità, anche se non sempre il tenore dei Cloruri rappresenta interamente il grado di mineralizzazione delle acque. La presenza naturale di Cloruri è legata alle caratteristiche petrochimiche degli acquiferi attraversati e a possibili processi di concentrazione (per dissoluzione o altro). Il contenuto di Cloruri nelle acque sotterranee, è legato anche a contaminazioni da liquami urbani che, in particolare i reflui industriali, possono contenere sostanze organoclorurate, anche in concentrazioni elevate.

Le analisi dei campioni prelevati, hanno misurato concentrazioni prevalentemente comprese in classe 2 (88 pozzi), ed in minor numero anche in classe 1 (10 pozzi). Quattro campioni hanno fornito valori di concentrazione di classe 4. In questi ultimi, sono associati anche elevati valori di conducibilità, di Ammoniaca, Ferro e Manganese (ambiente riducente).

È significativo il fatto che tra i primi dieci campioni con alte concentrazioni di Cloruri, sette sono stati prelevati in pozzi compresi entro zone urbanizzate o subito a valle delle stesse, rispetto alla direzione di deflusso della falda (Prunaro di Budrio, Quarto Inferiore, Cadriano, Lovoleto, S. Giorgio di Piano e, più a Nord, San Venanzio e Marmorta). Anche in altri nuclei insediati (S. Pietro in Casale, Castello d'Argile, Budrio e nella zona industriale di Funo), sono state misurate concentrazioni più che doppie di Cloruri nei campioni prelevati a valle rispetto a quelli a monte del flusso di falda, a dimostrazione della probabile contaminazione locale legata a possibili perdite di liquami fognari.

Le alte concentrazioni misurate nei campioni 14 e 17, sembrano invece attribuibili a contaminazioni puntuali, nei pozzi di prelievo che si collocano in aperta campagna ed in un contesto agricolo. A questo proposito, è importante sottolineare che raramente le case coloniche sono coltivate dalla rete fognaria. Lo smaltimento dei liquami domestici e aziendali avviene tramite fossa a dispersione. Non è indifferente il posizionamento del pozzo rispetto al luogo di dispersione dei liquami, o alla localizzazione delle concimaie. Le ristrutturazioni

delle case coloniche, in particolare nei casi di modificazione della destinazione d'uso, non sono rispettose della posizione e della possibile utilizzazione dei pozzi esistenti: la dispersione delle acque nere è posizionata senza alcuna cura del senso di deflusso delle acque sotterranee. I nostri padri avevano invece grande attenzione a questi particolari: l'acqua del pozzo era l'unica risorsa potabile dell'area.

Le minori concentrazioni di Cloruri sono state tutte misurate nella porzione più meridionale dell'area studiata, caratterizzata da falde a maggior ricambio e velocità di deflusso. Soltanto un campione a Nord (pozzo 99 in località Boschi, Barricella) è invece inserito in classe 1, probabilmente per l'effetto diluente delle acque di infiltrazione dello scolo Savena Abbandonato, che qui alimenta la prima falda locale. In alcuni casi, le analisi hanno fornito esiti positivi anche per campioni prelevati in aree insediate: l'abitato di Funo e quello di Granarolo, la zona industriale a sud di Castel Maggiore, conservano basse concentrazioni di Cloruri (classe 1) anche a valle, nella direzione di deflusso della falda.

2.2.5.3 Distribuzione dei Solfati, (figura 2.2.5.4)

I Solfati sono una forma ossidata, presenti naturalmente dove l'acquifero è in condizioni libere e in ambiente redox ossidante. I valori dei Solfati decrescono rapidamente alla progressiva comparsa di fenomeni redox negativi, all'aumentare delle condizioni di confinamento dell'acquifero, alla sua minore trasmissività, per la presenza di batteri solfato-riduttori. In queste condizioni, i Solfati scompaiono per lasciare specie ioniche ridotte (solfuri, solfiti..). Alti tenori naturali di Solfati sono correlabili a dissoluzione di rocce e deflusso in acquiferi con elevato contenuto di gesso o anidride e argille connesse (presenti nell'area pedecollinare). Alti valori possono essere legati a percolazione e infiltrazione di acque inquinate per dilavamento del terreno agricolo concimato, e di scarichi industriali ed urbani.

Nella zona meridionale del territorio, caratterizzato dalla presenza di falde superficiali libere o sporadicamente confinate, si sono misurate le maggiori concentrazioni di Solfati, in particolare tutte quelle attribuite alla classe 4 (20 campioni). Verso Nord, le concentrazioni idrochimiche tendono nella media a diminuire ma non a divenire nulle, per il modesto grado di confinamento e profondità che ancora caratterizzano le prime falde da cui attingono i pozzi di prelievo.

Dal controllo statistico, ponderando gli esiti ottenuti¹, si deriva che le maggiori concentrazioni di Solfati ricadono in buona prevalenza nelle aree agricole. Soltanto in due pozzi, situati a valle degli insediati di Cadriano e San Giorgio di Piano (rispettivamente i pozzi 3 e 81) il contenuto aumenta tanto da

¹ I punti di controllo situati entro le zone insediate (urbane e produttive) oppure immediatamente a valle, della direzione di flusso della falda sono il 35% circa dei punti totali.

rientrare in classe 4. Un aumento dei Solfati, ma in concentrazioni assolute minori (comprese ancora nella classe 2), si riscontra a Castel Maggiore e nella sua zona industriale Sud.

Nella fascia meridionale, l'idrochimica dei solfati fornisce risultati comparabili con le attese teoriche: valori del parametro più alti nelle falde freatiche a maggiore ricambio (più ossidate), rispetto agli acquiferi confinati. Gli esiti statistici dimostrano che le saltuarie concentrazioni puntuali possono essere imputate più alle attività agricole che quelle legate agli insediamenti.

2.2.5.4 Distribuzione dell'Ammoniaca (figura 2.2.5.5)

L'Ammoniaca si concentra nelle acque e nei suoli per processi di degradazione microbiologica di composti organici contenenti azoto, oppure per riduzione dei Nitrati.

Per comprendere i motivi della presenza di Ammoniaca nelle acque sotterranee, bisogna esaminare distintamente i processi e le condizioni che avvengono nelle acque più profonde e confinate, da quelli che accadono nelle acque meno profonde e libere.

Nelle acque più profonde, meglio protette e antiche, negli acquiferi confinati in continuità, caratterizzati da ambienti redox negativi, il contenuto di Ammoniaca tende progressivamente ad accrescersi.

Elevati tenori di Ammoniaca, e di altri elementi come Ferro, Manganese e sostanze organiche, sono stati correlati anche a probabili cause singenetiche come, ad esempio, elevate cariche batteriche presenti nei sedimenti, livelli torbosi che possono cedere sostanza organica alle acque profonde.

Dove esistono invece condizioni di falda freatica, o comunque di acque sotterranee poco profonde e protette, l'azoto Ammoniacale risulta naturalmente assente: in un ambiente ossidato (condizioni redox positive), si trasforma dapprima in nitriti (forma meno stabile), poi rapidamente in Nitrati.

La presenza di azoto Ammoniacale nelle acque sotterranee meno profonde, come sono quelle studiate nel presente lavoro, è quindi connessa a fenomeni di inquinamento organico-biologico in atto e ne costituisce un preciso indicatore. Per quanto detto sopra, l'Ammoniaca presenta anche il vantaggio di essere un "marker" di contaminazione relativamente puntuale e locale: in un'areale di dimensioni variabili ma raramente superiore al chilometro questo indicatore si trasforma in Nitrati. La presenza di valori alti di Ammoniacale se puntuale indica contaminazione prossimale, se diffusa denuncia contaminazione distribuita ma sempre molto vicina ai luoghi di campionamento.

Le analisi chimiche, hanno riscontrato un più alto contenuto di Ammoniaca nel settore meridionale dell'area studiata, in quantità spesso attribuibile alla classe 4 (14 campioni su 16 complessivi). Le maggiori concentrazioni sono



misurate nei campioni prelevati entro le zone insediate (zona industriale Sud di C. Maggiore ed abitato di Granarolo) o subito a valle, con un aumento di Ammoniaca nella direzione di flusso della falda (abitati di Castel Maggiore, e Budrio). Altri significativi contenuti di Ammoniaca, ma compresi in classe 2, si sono misurati nei campioni prelevati entro gli insediati di Cadriano, Quarto, e Cento. Nei campioni d'acqua prelevati invece più a Nord, le maggiori quantità di Ammoniaca sono state misurate ancora nei pozzi situati entro gli abitati di San Giorgio di Piano, Marmorta (entrambi nella classe 4), e San Venanzio (classe 2).

La presenza di Ammoniaca nelle acque prelevate da pozzi poco profondi, può essere un segnale di contaminazione locale di fuoriuscite di liquami fognari (come dimostrano anche gli alti tenori degli altri parametri associati), più evidente nel territorio meridionale per la maggiore densità dell'urbanizzazione.

2.2.5.5 Distribuzione dei Nitrati (figura 2.2.5.6)

Rappresentano la forma più ossidata dell'azoto. I Nitrati sono molto significativi sia dal punto di vista della valutazione di potabilità delle acque sotterranee (il limite massimo di legge, per l'utilizzo potabile, è 50 mg/l), sia come indicatore qualitativo del grado di compromissione o di potenziale inquinamento delle falde idriche.

I Nitrati sono naturalmente presenti nelle zone in cui l'acquifero è freatico e ove dominano condizioni redox nulle o positive. Gli apporti dei corpi idrici superficiali, producono di norma un effetto diluente sulle concentrazioni dei Nitrati in falda, in quanto i fiumi presentano tenori di azoto generalmente molto minori rispetto a quelli che sono veicolati in falda direttamente da percolazione ed infiltrazione dal suolo.

Nelle falde superficiali più vulnerabili, lontane dalle aste fluviali, i Nitrati sono in maggior misura presenti con tenori elevati, a causa del dilavamento dei terreni agrari, intensamente concimati con fertilizzanti azotati o arricchiti dall'azione azoto-fissatrice degli apparati radicali di alcune colture. Sempre in ambito agricolo, attività agrozootecniche possono contaminare le falde più superficiali e vulnerabili. Nelle zone urbane e produttive, alti valori di Nitrati sono generalmente connessi a contaminazioni locali prodotte da perdite di liquami fognari.

Le analisi sui campioni hanno dimostrato che la maggiore concentrazione di Nitrati è distribuita nelle acque della porzione meridionale del territorio studiato: qui sono misurati tutti i valori compresi in classe 4 (12 campioni). Il controllo ha evidenziato, in particolare, come i più alti tenori di Nitrati siano prevalentemente misurati nei campioni prelevati da pozzi situati in piena campagna. Questo risultato, è interpretabile come un significativo segnale di contaminazione delle acque meno profonde, legata alle attività agricole e zootecniche.

Nei campioni prelevati entro aree insediate, si sono misurati valori medi più contenuti di Nitrati, comunque presenti: l'unica concentrazione attribuibile alla classe 4 si è misurata soltanto a valle della zona industriale di Castel Maggiore. Altri tenori significativi sono riscontrati a Quarto e Cadriano (classe 3). Anche a Funo, pur con quantità misurate comprese in classe 2, la concentrazione di Nitrati aumenta a valle dell'abitato. È probabile che, il contenuto dei Nitrati nelle zone insediate sia falsato da condizioni di ossidoriduzione negative, come si può facilmente comprendere in relazione a quanto scritto nel paragrafo relativo all'Ammoniaca.

2.2.5.6 Distribuzione del Ferro e del Manganese (figure 2.2.5.7 e 2.2.5.8)

Il Ferro è un elemento molto diffuso in natura, il quarto in termini quantitativi nella crosta terrestre. La distribuzione naturale del Ferro nelle acque sotterranee, sembra condizionata prevalentemente dalla dissoluzione e dalla precipitazione dei minerali Ferrosi presenti nella matrice dell'acquifero.

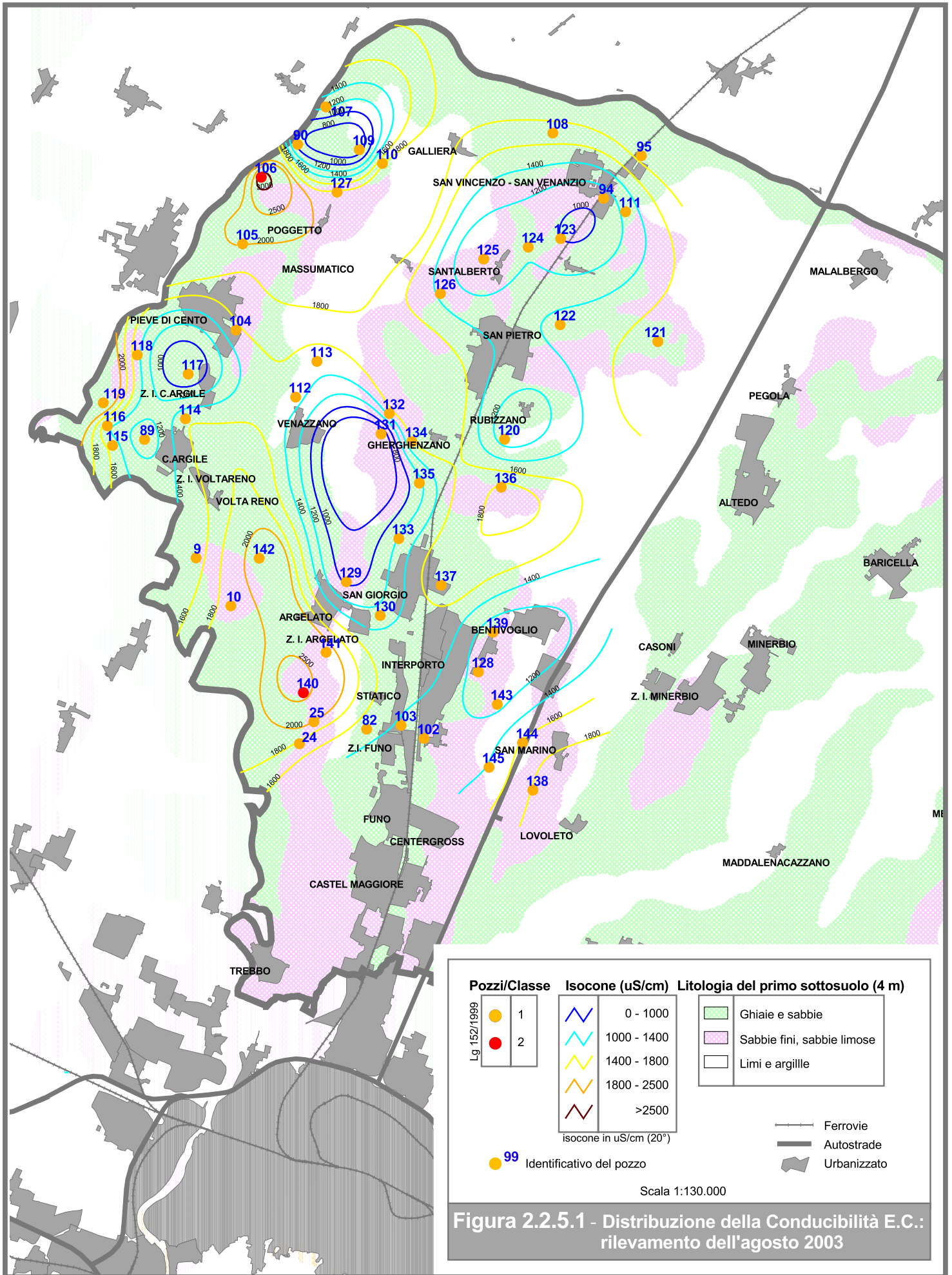
Il Manganese è caratterizzato da un comportamento molto simile a quello del Ferro, anche se in natura è presente in quantità inferiore.

Il Ferro ed il Manganese assumono, nelle acque sotterranee, tenori naturali più elevati con la profondità, quando l'acquifero diventa confinato e caratterizzato da un più lento ricambio. La maggiore concentrazione dipende da un ambiente Redox negativo e da un pH favorevole all'esistenza di specie chimiche ridotte, solubili.

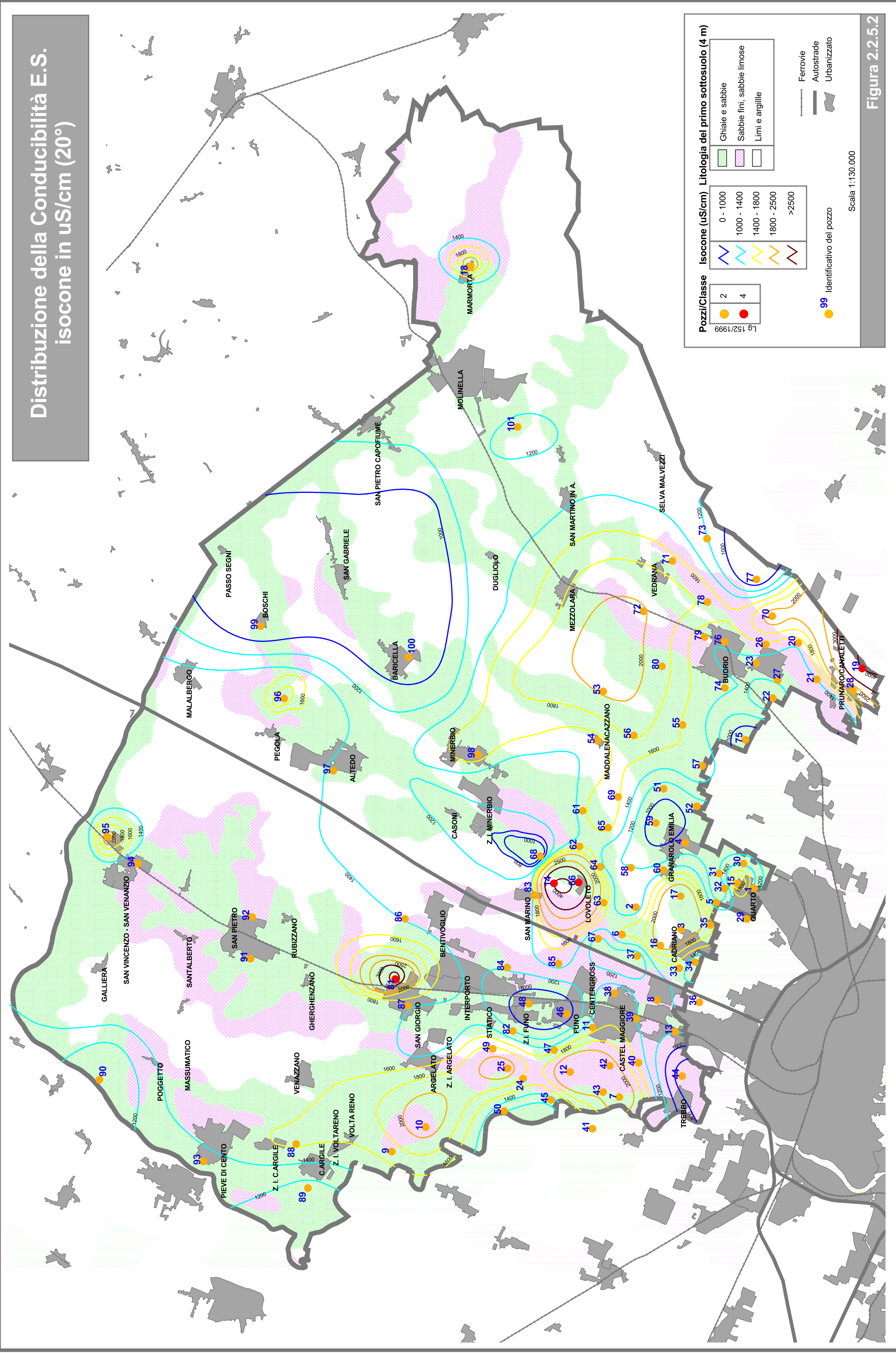
Negli acquiferi superficiali, più sfruttati e quindi a maggior rinnovamento, meno protetti, più areati e dotati di maggiore trasmissività, le concentrazioni di Ferro e Manganese sono relativamente basse, in quanto essi tendono a precipitare in forma di idrossidi poco solubili o insolubili. In queste condizioni, concentrazioni elevate sono quindi da imputarsi a contaminazioni del suolo e dell'acqua (scarichi industriali, tubazioni, serbatoi, presenza di Ferro-batteri ecc..).

I campioni analizzati forniscono concentrazioni di Ferro e Manganese molto elevate. Alti tenori di Ferro sono misurati prevalentemente nel territorio meridionale, con 50 pozzi attribuiti alla classe 4 (su 55 complessivi), mentre le maggiori concentrazioni di Manganese (ben 81 campioni sono classificati in classe 4) sono distribuite in tutta l'area studiata.

Interpretare le cause di queste elevate concentrazioni di Ferro e Manganese nelle falde sotterranee meno profonde, è difficile e complesso: modeste variazioni nel potenziale di ossido-riduzione (che non sempre rappresentano il segnale sicuro di un'eventuali contaminazioni), o di acidità dell'acqua, aumentano sensibilmente la solubilizzazione di questi due elementi.



Distribuzione della Conducibilità E.S. isocone in uS/cm (20°)



Pozzi/Classe

●	2
●	4

Lg 152/1999

Isocone (uS/cm)

—	0 - 1000
—	1000 - 1400
—	1400 - 1800
—	1800 - 2500
—	>2500

Litologia del primo sottosuolo (4 m)

■	Ghiaie e sabbie
■	Sabbie fini, sabbie limose
■	Limi e argille

Identificativo del pozzo

● 99

Infrastrutture

—	Ferrovie
—	Autostrade
—	Urbanizzato

Scala 1:130.000

Figura 2.2.5.2

Distribuzione dei Cloruri - isocone in mg/l

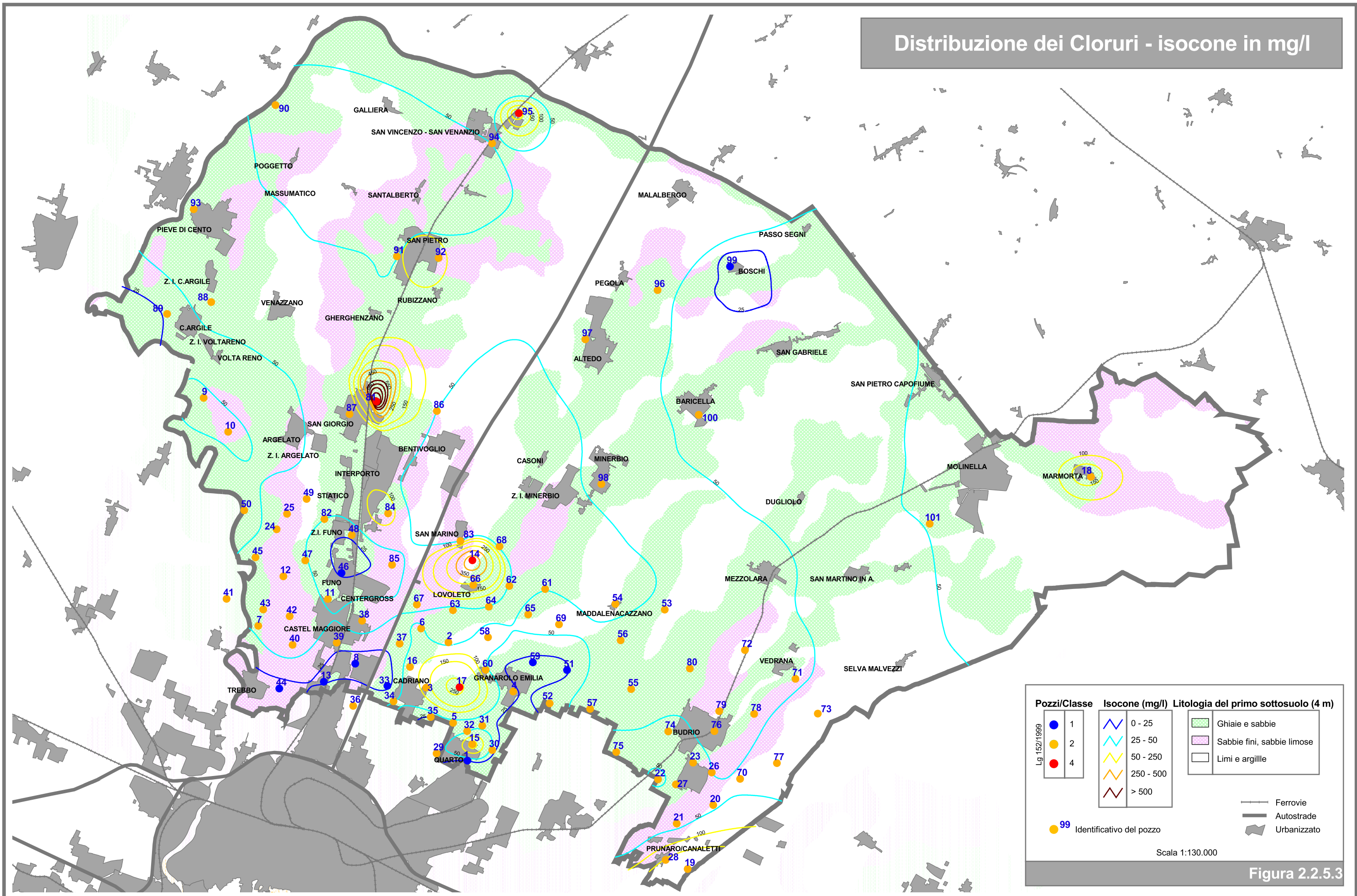


Figura 2.2.5.3

Distribuzione dei Solfati - isocone in mg/l

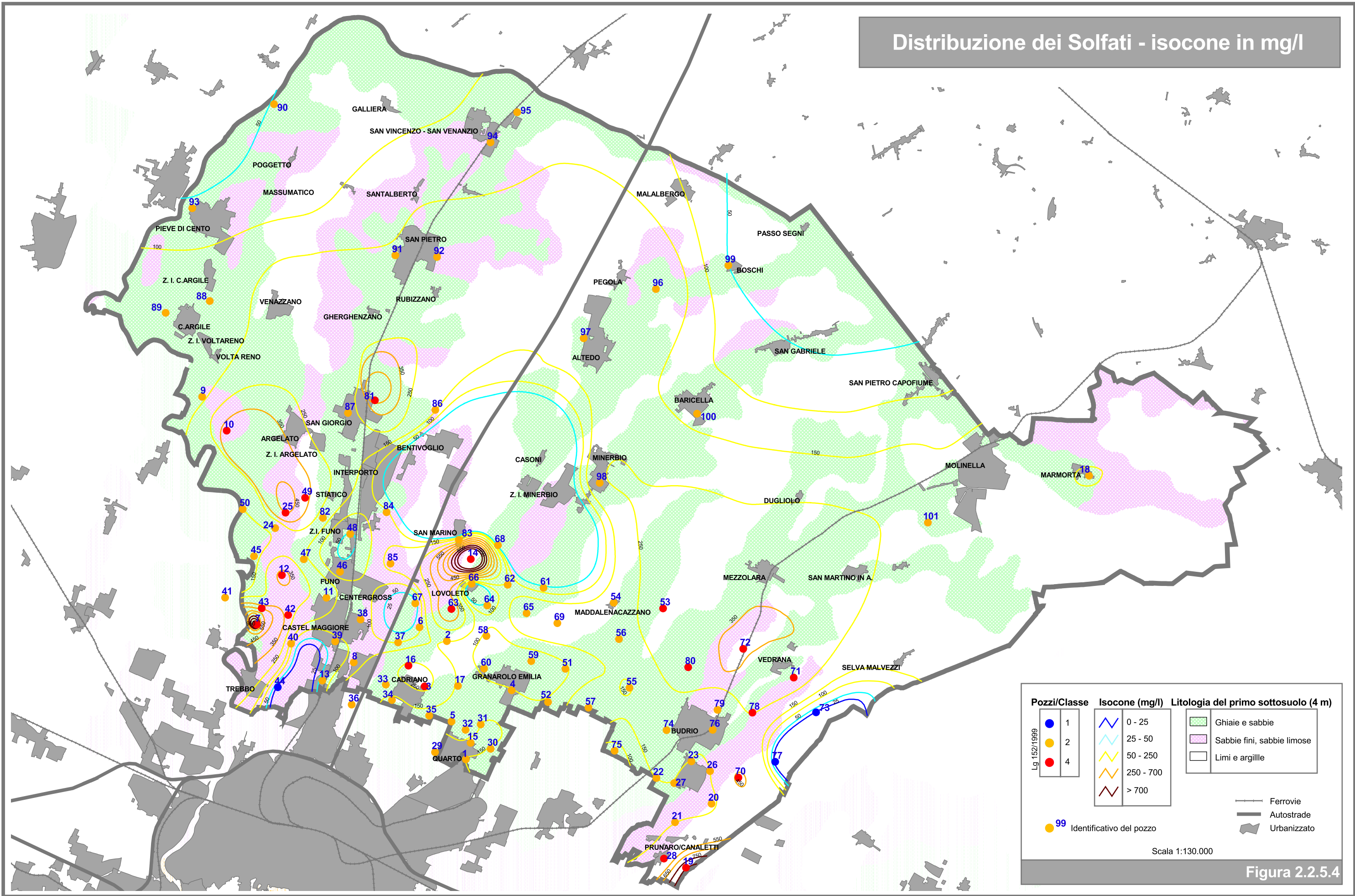


Figura 2.2.5.4

Distribuzione dell'Ammoniacia - isocone in mg/l

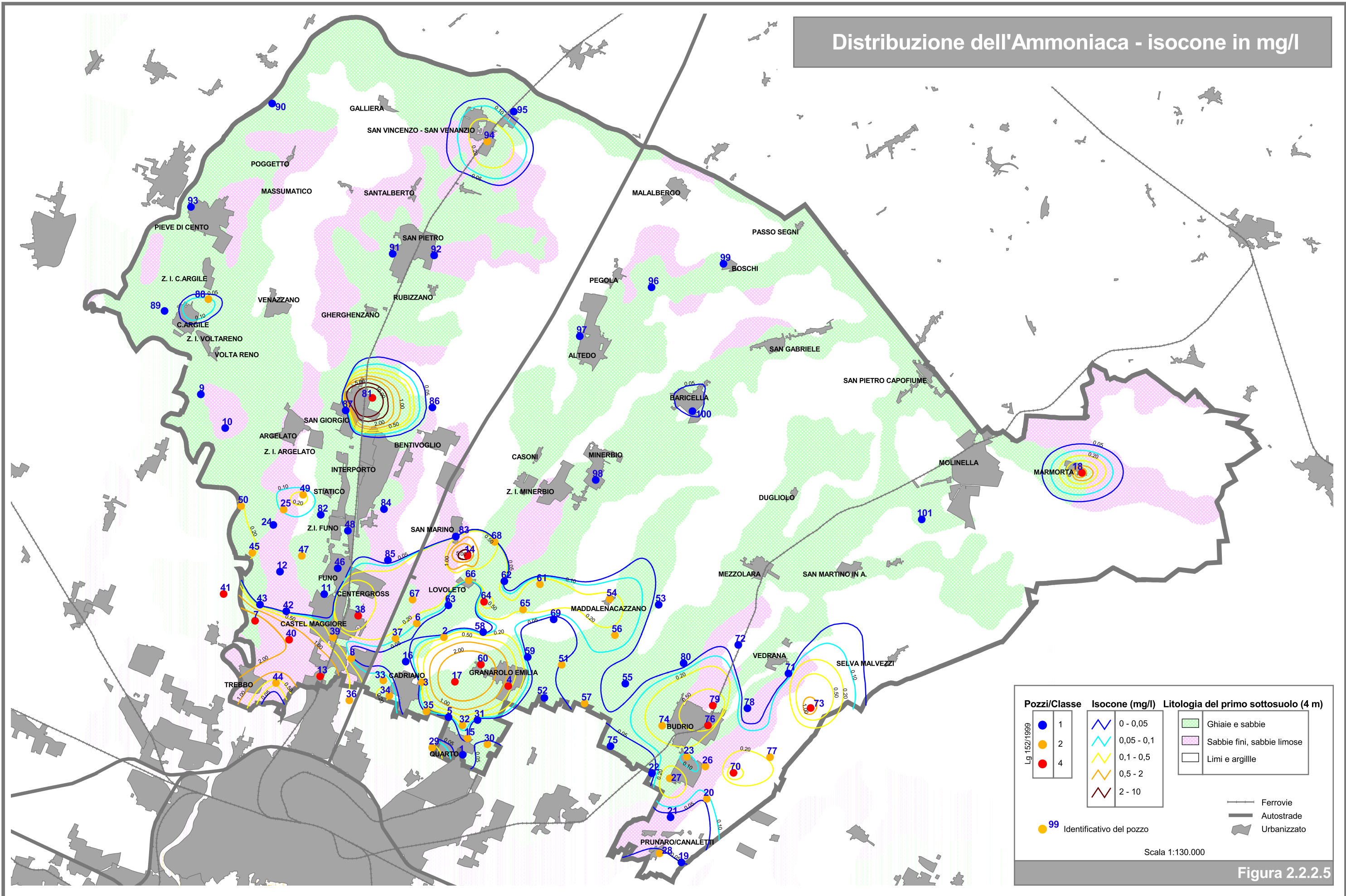
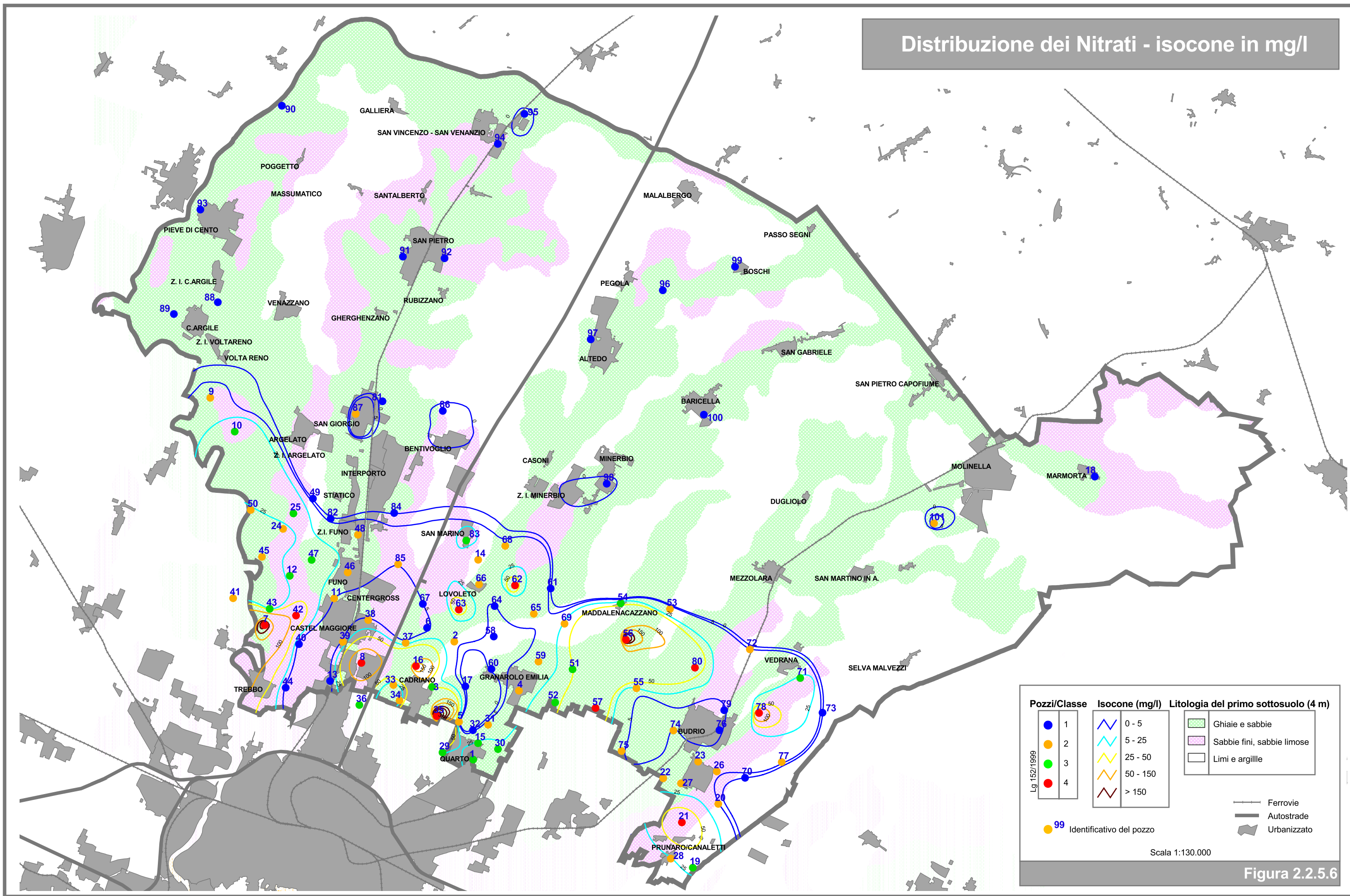


Figura 2.2.2.5

Distribuzione dei Nitrati - isocone in mg/l



Distribuzione del Ferro - isocone in ug/l

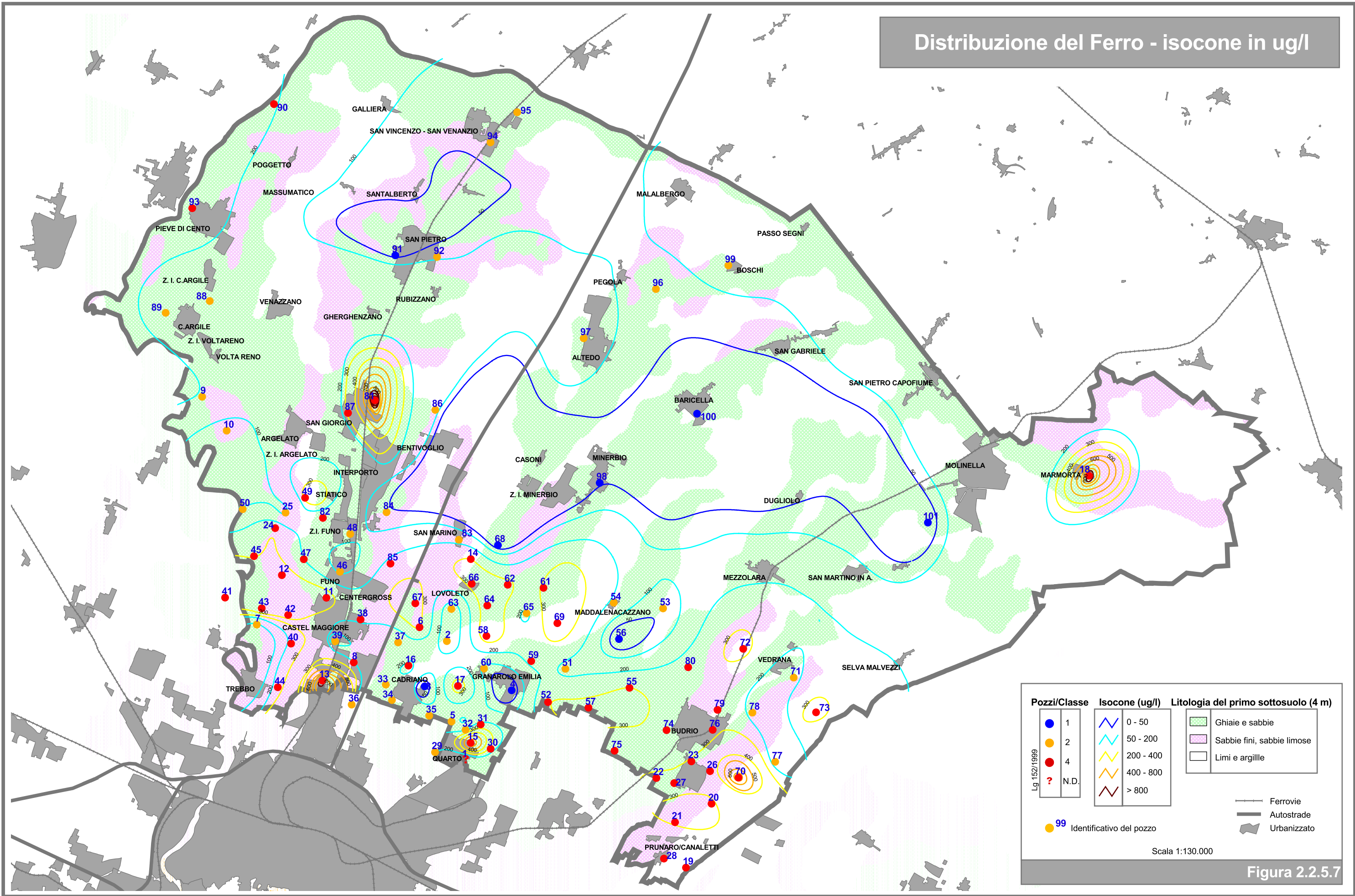
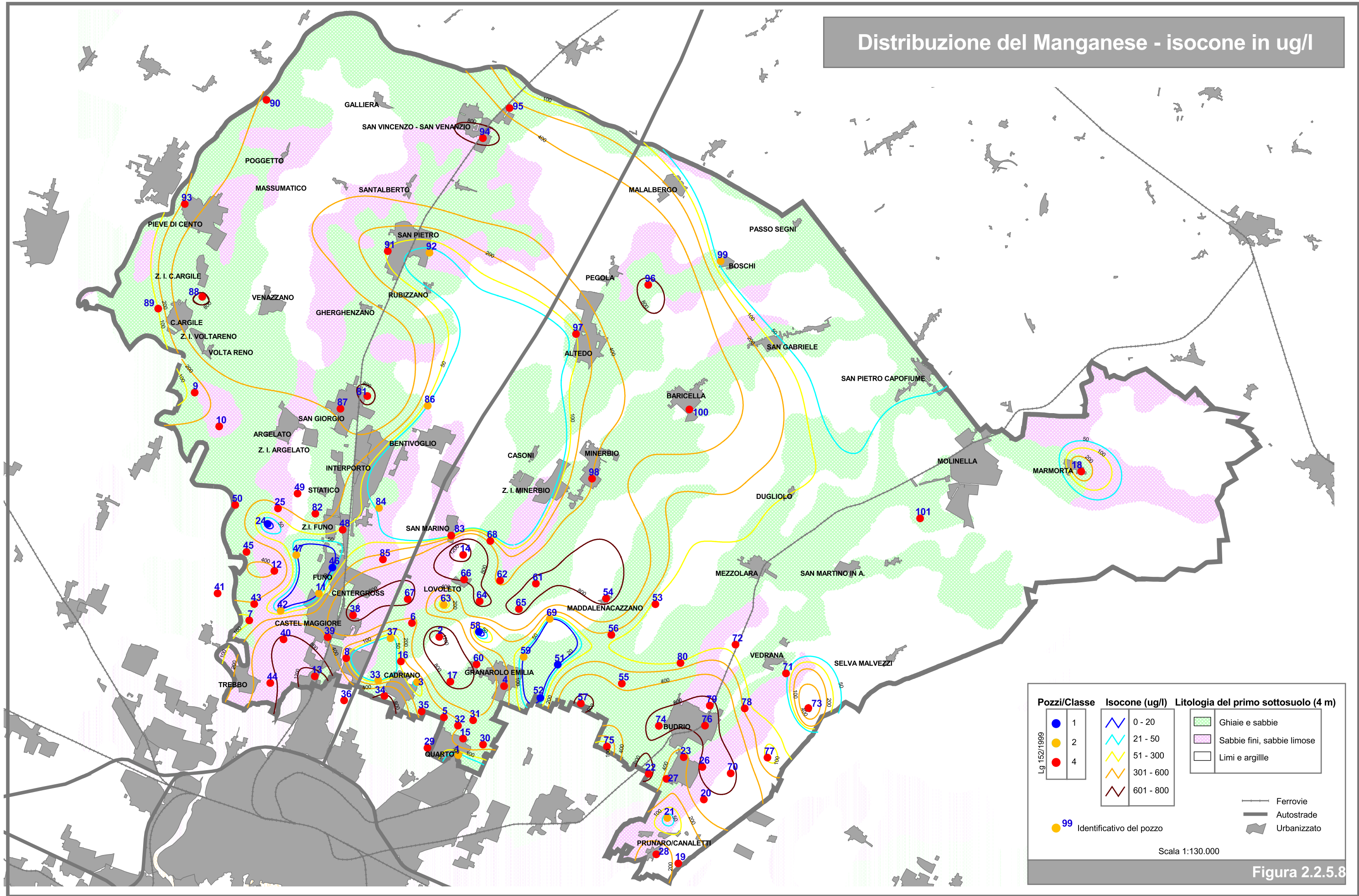


Figura 2.2.5.7

Distribuzione del Manganese - isocone in ug/l





Questi parametri, pertanto, non possono essere utilizzati di per sé come traccianti di contaminazione antropica, solo in associazione con l'intero contesto idrochimico locale hanno utilità di indicatore. La presenza di alte concentrazioni di Ferro e Manganese è limitante per l'utilizzazione industriale e civile delle acque sotterranee: l'ossidazione ne provoca la precipitazione.

2.2.6 Carta di Sintesi della qualità delle acque sotterranee

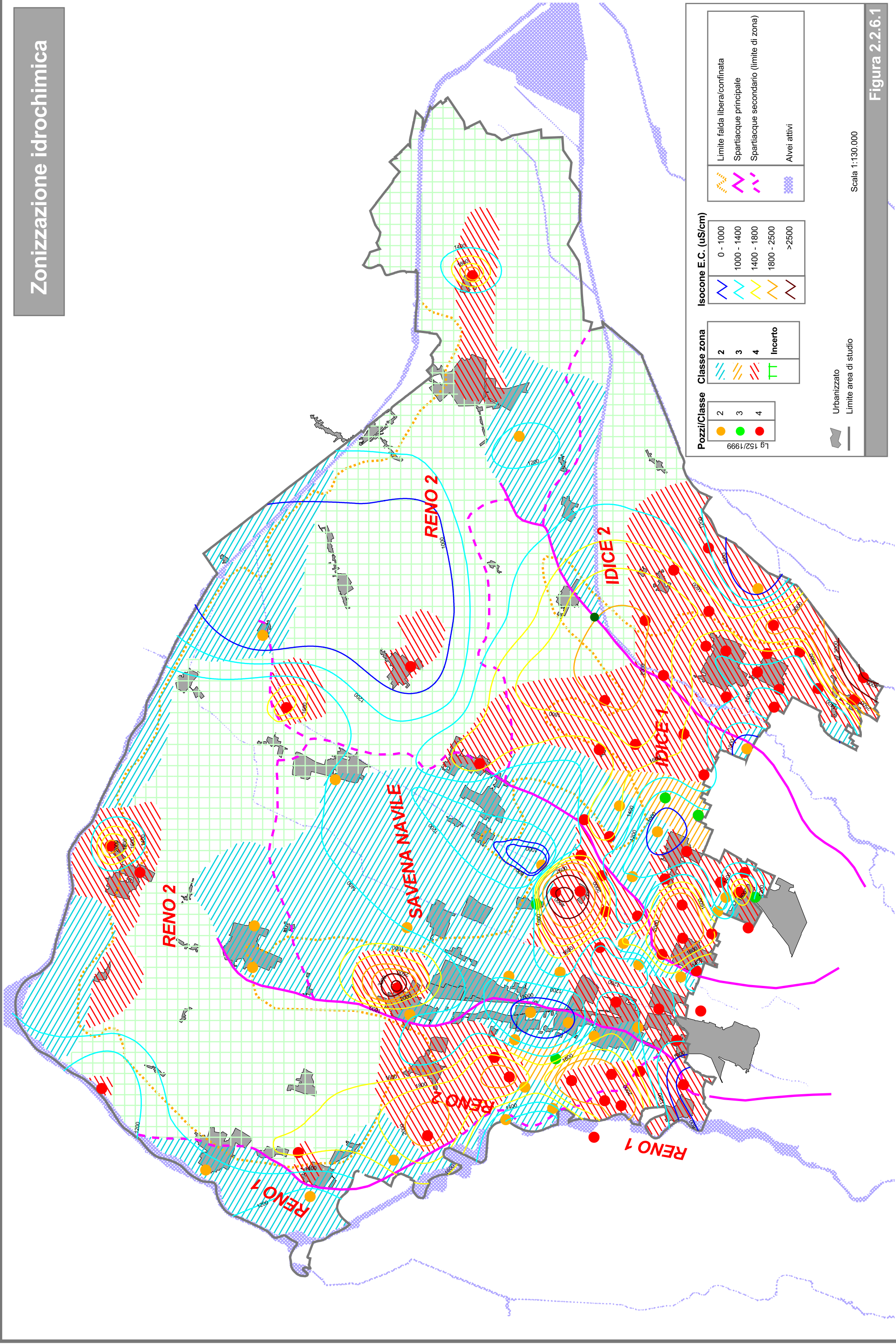
A conclusione del lavoro di analisi idrogeologica la figura 2.2.6.1 raccoglie gli elementi più significativi per la definizione di indirizzi e politiche di tutela ed intervento attivo sulla falda superficiale.

Nella figura sono sovrapposti la zonizzazione idrogeologica, la classificazione dei campioni secondo la legge 152/99, e le isocone della conducibilità elettrica che rappresenta il più sintetico dei parametri studiati. Nella figura sono estrapolati i risultati della classificazione delle acque sotterranee in modo da ricavare aree di probabile estensione della qualità rilevata nei singoli punti di controllo. Le estrapolazioni sono state fatte sulla scorta della distribuzione dei centri di pericolo idrogeologici, delle direzioni di flusso della falda, e dell'andamento delle isocone dei parametri più significative.

La prima considerazione che si può fare è che la classe 4 (impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti) tende a distribuirsi in coincidenza con i centri di pericolo industriali o urbani, raramente in corrispondenza di nuclei sparsi. Le considerazioni fatte per la valutazione della qualità delle acque sotterranee sui campioni prelevati dalla rete di controllo regionale (falde profonde) che portano ad includere in classe zero anziché in classe 4 l'intera pianura bolognese, non sono valide per le acque della falda superficiale anche per la rapidità del loro ricambio.

La figura mostra una forte concentrazione delle contaminazioni nella zona meridionale, più vicina a Bologna ed a maggiore densità insediata, la zona Reno 2 è quella in cui la classe 4 appare concentrarsi in alcune aree discrete, ma bisogna sottolineare che i punti di controllo campionati hanno densità minore rispetto al territorio meridionale. Le due zone Idice hanno una discreta densità di campioni analizzati, e l'estensione delle aree contaminate appare significativa e compatta.

Zonizzazione idrochimica



	2	Pozzi/Classe
	3	
	4	
	Incerto	

Urbanizzato
 Limite area di studio

Scala 1:130.000

Figura 2.2.6.1



L'ampiezza delle aree di classe 2 (impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche) e delle aree incerte (con probabilità classe 2) è molto maggiore delle aree contaminate di classe 4, e costituisce la maggiore estensione del Sistema idrogeologico delle alluvioni recenti, ciò significa che la falda superficiale ha ancora ampie possibilità di riqualificazione. La massiccia presenza di classe 4 nei Comuni della prima cintura attorno a Bologna indica la necessità di avviare al più presto politiche di riqualificazione della falda superficiale e di tutela delle acque sotterranee, ad iniziare dalla rete di fognatura di Bologna.

3 – RICOSTRUZIONE DI SOTTOSUOLO

3.1 METODOLOGIA E LIMITI DI RESTITUZIONE

Le conoscenze di sottosuolo sono per lo più puntuali, o meglio si tratta di stratigrafie verticali ricavate da prove geognostiche effettuate su un punto, raramente è possibile disporre anche di conoscenze bidimensionali (lungo un profilo). I costi relativi a queste conoscenze sono in genere alti, poiché l'intorno di "validità" degli esiti delle indagini puntuali è in genere assai modesto (da poche decine a qualche centinaio di metri), e dipende dagli scopi che l'analisi si prefigge. La ricerca di una discreta affidabilità della ricostruzione porterebbe a richiedere una densità di 25 "punti di conoscenza" ogni chilometro quadrato, situazione questa quasi mai raggiunta fuori delle aree urbane densamente edificate.

Nelle aree considerate per questo lavoro le prove disponibili sono numericamente molto scarse, anche adottando tutti gli archivi noti (Regionale - Servizio Geologico, dei Suoli e Sismico; Comuni integrando i lavori di geotecnica eseguiti in questi anni per vari scopi; Studio scrivente con il proprio catasto di prove geognostiche). Alla rarefazione dei punti di controllo si deve aggiungere la variabile attendibilità dei dati forniti dalle prove stesse. La maggior parte delle informazioni derivano dell'Archivio Regionale consistono in stratigrafie dei pozzi scavati per l'estrazione di acque sotterranee, e queste raramente riportano correttamente le variazioni nelle prime decine di metri. In molti casi sono genericamente riportate dizioni letterarie tipo "terre" oppure "coperture". Invece proprio i primi 10 metri di sottosuolo rappresentano l'oggetto di questo studio, e costituiscono l'interfaccia con lo strato pedologico, più strettamente correlato alle attività umane.

Pertanto nell'interpretazione non si sono considerate alcune stratigrafie di pozzi per acqua, in particolare quelle incongruenti con altre informazioni più sicure, o prive di attribuzioni significative per i primi 10 metri. La distribuzione delle prove (visibile nelle figure riportate nel seguito) mostra la densità dei punti di conoscenza per tipo di analisi geognostica.

L'affidabilità delle informazioni è per il 70% dei casi molto scarsa, solamente per un 10% decisamente buona. Il risultato finale risente pesantemente di questi alti livelli di incertezza, e si deve sottolineare che l'affidabilità complessiva del lavoro di interpretazione è molto modesta.

Le ricostruzioni di sottosuolo sono in genere realizzate con modelli bidimensionali che consentono di rappresentare le geometrie dei corpi geologici secondo un immaginario profilo spinto ad una determinata profondità dalla superficie topografica.



Questi profili, anche se organizzati secondo tracce tra loro perpendicolari, non riescono a fornire un quadro coerente delle dimensioni, forma e continuità delle tessiture rilevate, e non consentono verifiche rispetto l'ampiezza delle geometrie lenticolari. La possibilità di disporre di una rappresentazione tridimensionale planimetrica dei corpi a tessitura granulare, almeno dei primi 10 metri di sottosuolo consentirebbe di accedere a livelli interpretativi più raffinati, controllabili ed anche modificabili nel tempo, man mano si acquisiscono nuove informazioni. Una discussione di confronto tra le rappresentazioni bi e tri dimensionali è riportata in <Il sottosuolo della Città di Bologna> G. Viel, in G. Artioli et Al, 1997 <Geologia delle Grandi Aree Urbane>.

Nelle valutazioni di vulnerabilità idrogeologica e nelle considerazioni relative ad eventuali scelte di aree di ricarica freatica o insediative per attività particolarmente pericolose la rappresentazione planimetrica ha una maggiore facilità di lettura e di controllo. Per questi motivi si presta meglio agli scopi programmatori territoriali.

Le difficoltà ed i limiti del metodo adottato sono fondamentalmente connessi alla quantità e qualità delle informazioni di partenza, ed alle conoscenze di contorno. Nei due casi trattati in questo lavoro il contesto di analisi è, per la zona industriale di Cento (Budrio) molto distante da aree già studiate (Direttrice Nord e zona urbanizzata di Bologna), invece per la zona produttiva di Quarto inferiore (Granarolo) riferibile al contesto della Direttrice Nord.

3.1.1 Area industriale di Quarto Inferiore (Comune di Granarolo)

L'analisi è stata realizzata per tre intervalli (step 1, 2, 3). Il primo che interpreta il pacco di sedimenti compresi tra la superficie di campagna e la profondità di 2,5 – 3 metri (secondo le necessità); il secondo rappresenta l'intervallo fino a 5 metri circa; il terzo interpreta l'intervallo fino a 9 – 10 metri dal piano campagna.

I punti di controllo presenti sono riportati in tutte le figure, ripartiti secondo la tipologia della prova geognostica. In particolare si rammenta ancora che le stratigrafie dei pozzi per il sollevamento delle acque sotterranee costituisce il dato meno attendibile, anche le penetrometrie statiche-dinamiche (presenti solo qui) non sono idonee a valutare le tessiture dei sedimenti attraversati (manca l'entità dell'attrito laterale). Considerando che per la zona in esame sono state esaminate 44 prove geognostiche per una superficie pari a circa 2,6 kmq, e cioè circa 16 prove per kmq, considerando anche che sul totale dei punti di controllo 22 sono costituiti da stratigrafie di pozzi (scarsa attendibilità) e 4 da penetrometrie statiche dinamiche (non desumibile la tessitura), si comprende facilmente come l'esito dell'interpretazione sia incerto e scarsamente attendibile.

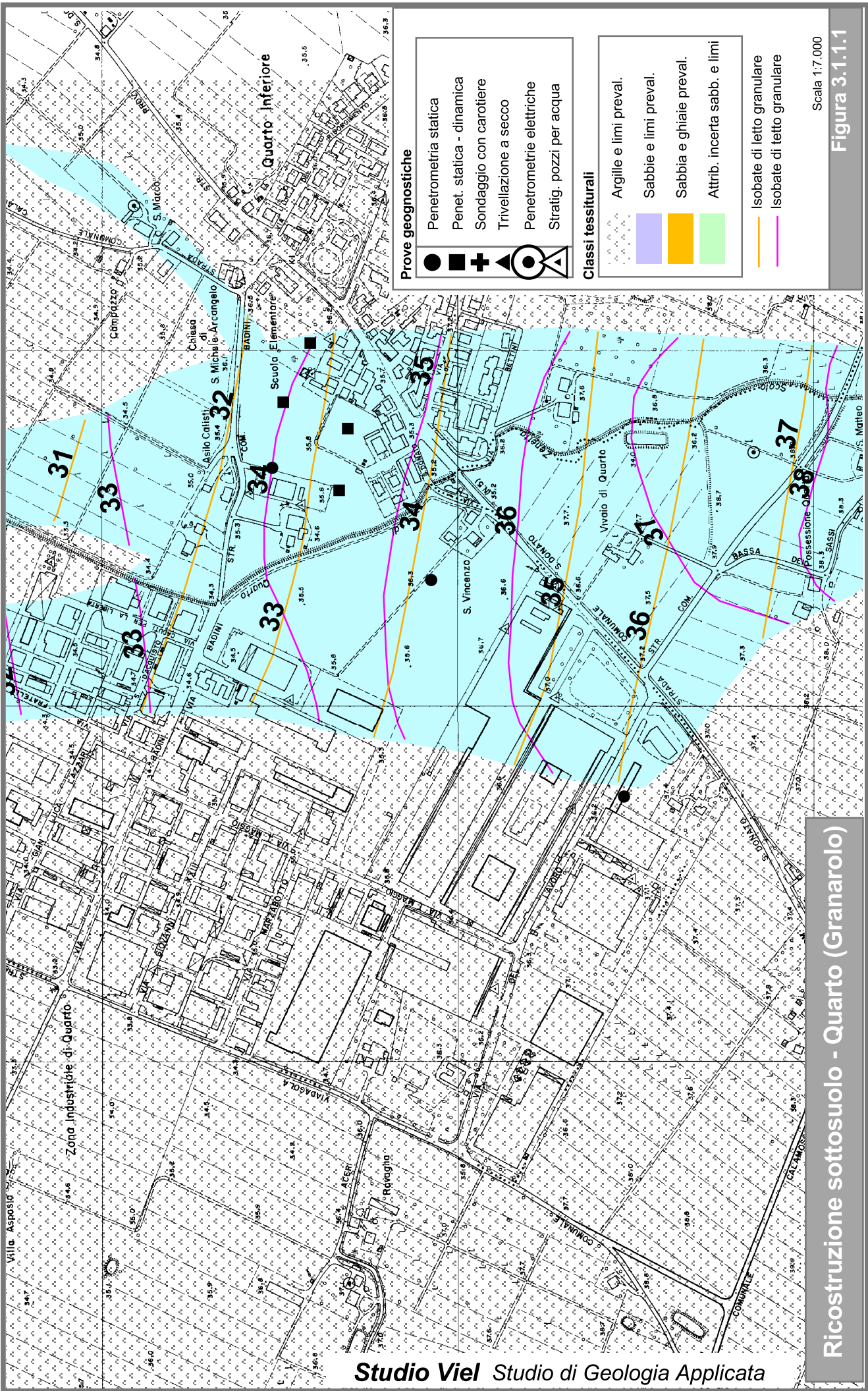
In particolare i limiti delle aree interessate da sedimenti in prevalenza sabbioso – limosi sono poco documentate. Il confronto con l'ampia zona analizzata per i Comuni della Direttrice Nord e per l'area urbana di Bologna (assai più documentata), consente di percepire che in quest'area si può avere una certa continuità di depositi granulari derivanti da vecchie rotte, tracimazioni del Savena. Resta comunque difficile l'attribuzione dei sedimenti ad uno specifico corso d'acqua.

La figura 3.1.1.1 riporta l'interpretazione dell'intervallo di sottosuolo fino a 2,5 – 3 metri di profondità. Come si vede è indicata un'ampia area occidentale in cui dovrebbero prevalere i sedimenti a tessitura limosa ed argillosa. Questa attribuzione è assai dubitativa, infatti esiste una sola prova penetrometrica, i restanti punti di controllo, oltre ad essere decisamente rarefatti hanno anche scarsa attendibilità.

La porzione centrale ed orientale, circa corrispondente al corso del canale Zenetta, presenta invece numerosi indizi di depositi granulari a varie quote. L'osservazione dello scavo, effettuato per la realizzazione della platea compensata dell'albergo di Quarto (platea di 50 x 50 x 3 metri, Relaz. Viel, 1989), ha consentito di rilevare la presenza di un livello superficiale sabbioso, costituito da lenti più francamente granulari entro sabbie più limose. La direzione rilevabile di trasporto del sedimento è da sud-sudest verso nord-nordovest. Nell'insieme pare trattarsi di uno "sheet" sabbioso limoso. Questa interpretazione è contraddetta dalle stratigrafie dei pozzi per acqua e dagli esiti delle prove poste ad occidente e a sud dell'area di sedime dell'albergo. Queste prove forniscono esiti, a mio avviso, così poco attendibili da non considerarli in tre casi (sud di S. Vincenzo), ma diviene difficile ritenere errate (o meglio lacunose) anche le stratigrafie di altre 7 prove localizzate nella zona industriale.

In conclusione la figura 3.1.1.1 costituisce un'interpretazione con probabilità riduttiva dell'estensione geografica delle sabbie più o meno limose presenti realmente, ma con le informazioni disponibili non è possibile estrapolare maggiormente l'unica area di rinvenimento certo.

L'attendibilità delle curve di eguale profondità (isobate), con quote indicate in metri nella figura, è conseguente l'interpretazione un poco "forzata" di cui si è discusso sopra, in alcuni casi la presenza dell'intervallo granulare è riscontrabile in superficie (in qualche caso in corrispondenza del Zenetta), in questi casi la quota indicata può non coincidere con la quota di campagna. La scarsità dei punti di controllo anche in questo caso indica l'elevato grado di incertezza.



Ricostruzione sottosuolo - Quarto (Granarolo)



La figura 3.1.1.2 (step. 2) propone l'interpretazione dell'intervallo di sottosuolo compreso tra circa 2,5 e 5 metri di profondità. Anche in questo caso, come per il precedente, la modesta densità delle prove non consente di avere un sufficiente grado di certezza nelle delimitazioni e nella continuità delle attribuzioni tessiturali.

Questo step pare registrare una situazione geografica relativamente definita: permane un corso d'acqua di modeste proporzioni che ripete a tratti l'attuale tracciato del Zenetta e forse si scompone verso nord est in una doccia di piena, molto ipotetica. Come si vede nella figura, i punti di controllo che consentono questa interpretazione sono molto pochi: appena 6 su 44, però di qualità in genere discreta. L'insieme delle informazioni indicherebbe un intervallo litologico in larga prevalenza limoso e argilloso.

Impossibile tracciare isobate con le scarse informazioni esistenti, ed anche l'ampiezza dei canali è desunta praticamente solo dagli spessori assai modesti di sabbie riscontrati.

Tutta l'interpretazione fornita appare assai problematica, ma risolve la presenza di segnali sabbiosi registrati nelle citate sei penetrometrie, e quelli assai più incerti di limi sabbiosi sporadicamente presenti.

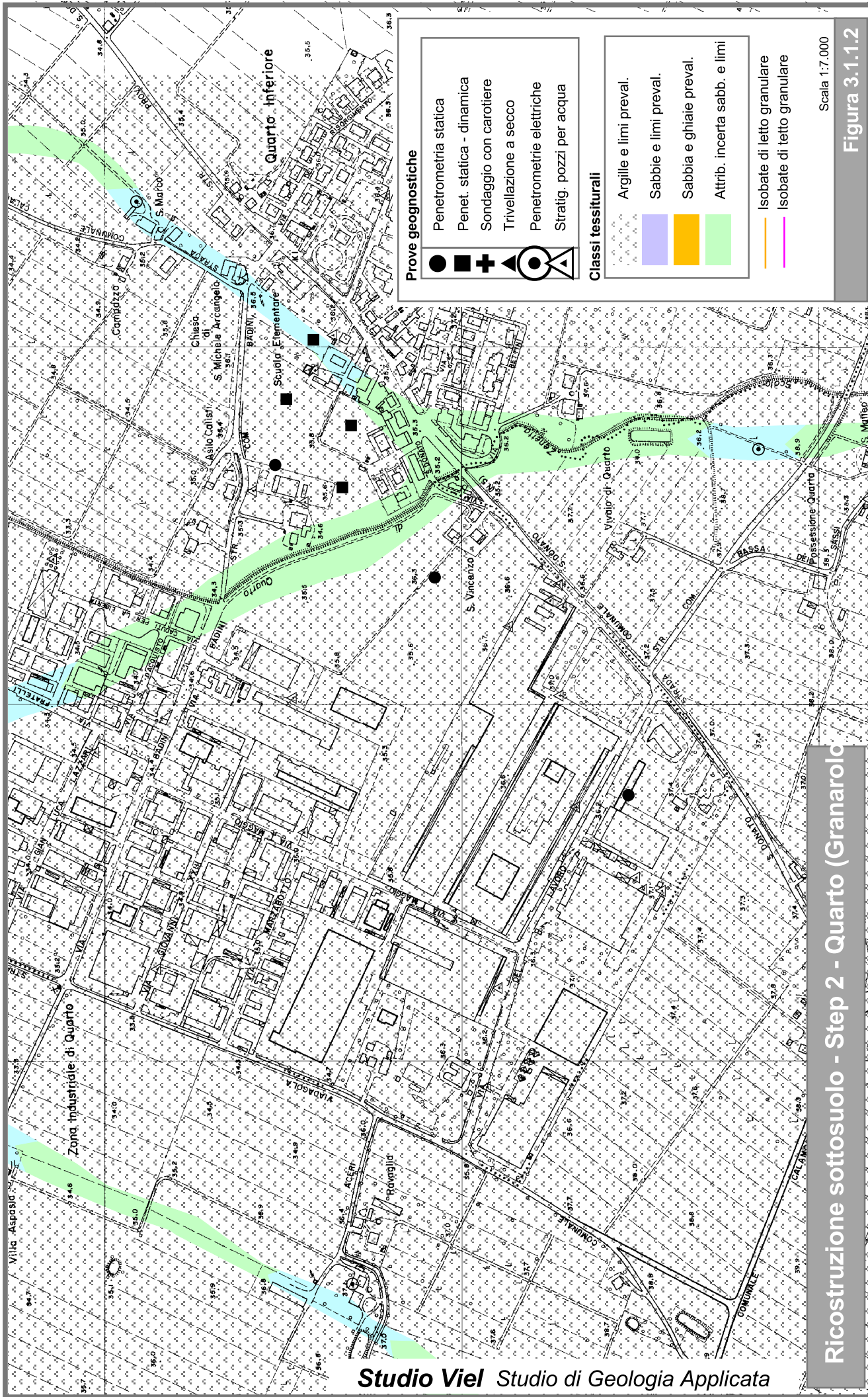


Figura 3.1.1.2

Ricostruzione sottosuolo - Step 2 - Quarto (Granarolo)



La figura 3.1.1.3 mostra un panorama più documentato e complesso, l'intervallo di sottosuolo analizzato è compreso tra 5 e 10 metri, anche per questo step restano valide le considerazioni generali sulla modesta attendibilità della restituzione interpretativa, limitata dalla scarsità delle informazioni di base.

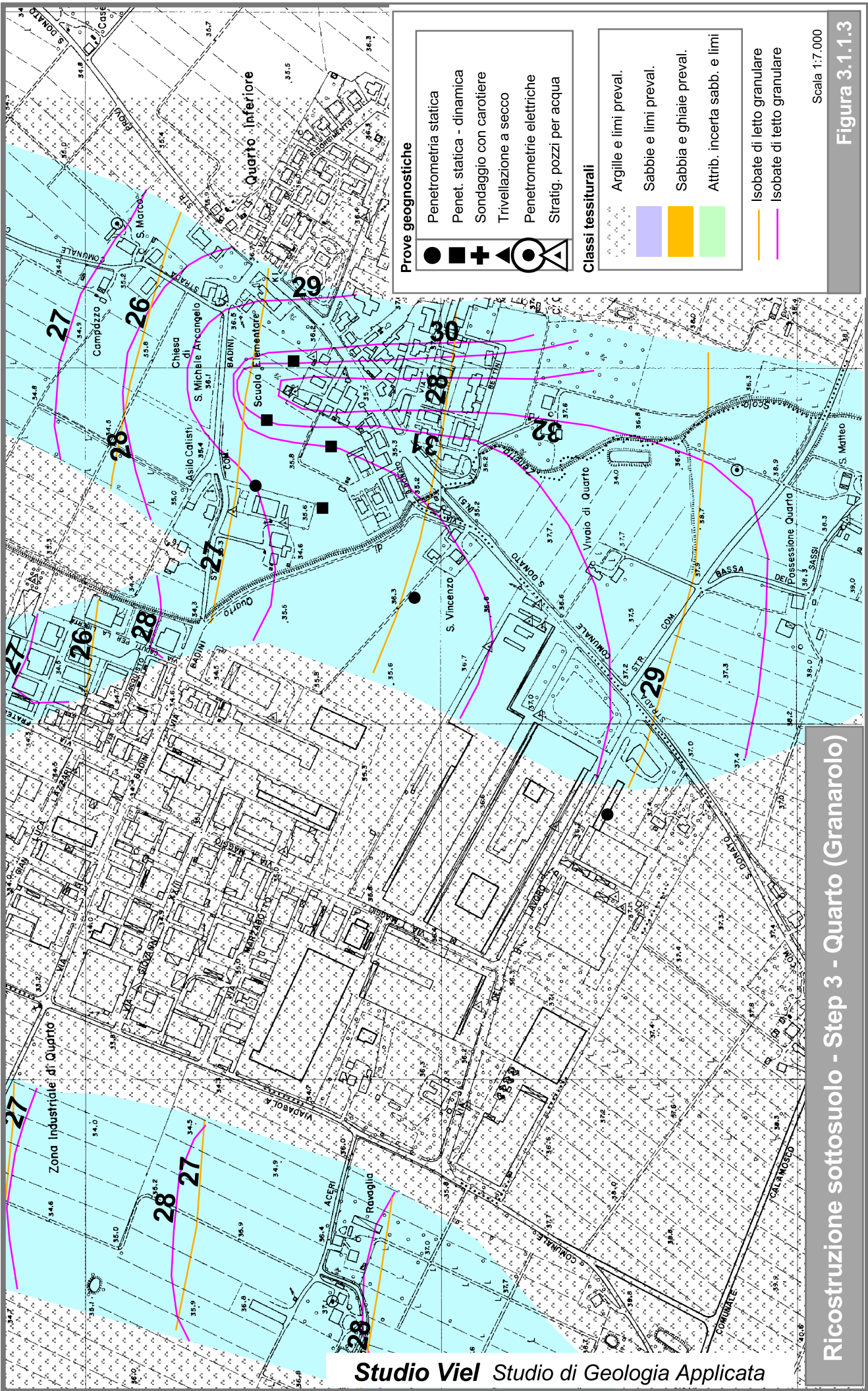
L'interpretazione proposta ripete lo schema dello step 1, individuando però il percorso di un argine naturale assai stretto e rilevato, diretto circa nord sud, che si arresta bruscamente verso nord, con uno scarto di acclività caratteristico del passaggio ad ambienti di divagazione dell'alveo. Si tratta di una situazione del tutto innaturale in questa porzione di pianura, non resta dunque che ritenere ci siano errori nelle quote di tetto rilevate nelle prove geognostiche considerate. Acclività superiori al 0,5% possono riscontrarsi solamente per apparati distributori (anche se piccoli apparati di rotta) ed in genere sono caratteristiche di tessiture granulari miste (ghiaie e sabbie).

Interpretazioni alternative non sono facili da reperire, quindi o si considerano errate le quote di tetto delle sabbie in almeno due prove oppure occorre ammettere la presenza di un argine naturale sabbioso rilevato e passante lateralmente a sabbie limose e limi sabbiosi, che verso nord si attenua.

L'osservazione delle isobate, ricostruite sui pochi punti certi disponibili, dimostrano un discreto approfondimento verso nord del letto dell'intervallo granulare, con acclività media di 0,3%, acclività ancora molto elevata, che dovrebbe corrispondere a quella della piana alluvionale dell'epoca di formazione di questi piccoli canali.

Il ramo che si apre verso nord ovest è documentato da un solo punto, è quindi assai dubbio e restano incerte anche le sue dimensioni, si è preferito dare maggior importanza al "ramo" rivolto verso oriente sia per la maggiore documentazione, sia per rispettare il naturale senso del drenaggio.

Ad occidente due prove riportano sabbie correlabili, anche se con qualche dubbio, come al solito, si è pertanto ipotizzata la presenza di un altro apporto locale. Le quote, come si vede, possono essere compatibili con quelle dell'area produttiva di Quarto, si potrebbe facilmente ritenere che si tratti in realtà di un unico sheet sabbioso, questa interpretazione semplificherebbe enormemente tutta l'interpretazione e la renderebbe congrua con un ambiente di depositi di rotta o tracimazione, già più volte richiamata. Ma tutte le stratigrafie interposte non riportano segnali di presenza di sabbia. Forse si tratta di semplificazioni nell'osservazione delle tessiture, forse di errori, ma forse invece manca effettivamente la continuità, insomma occorre qualche prova di verifica.



- Prove geognostiche**
- Penetrometria statica
 - Penet. statica - dinamica
 - ⊕ Sondaggio con carotiere
 - ▲ Trivellazione a secco
 - ⊙ Penetrometrie elettriche
 - ⊗ Stratig. pozzi per acqua

- Classi tessiturali**
- Argille e limi preval.
 - Sabbie e limi preval.
 - Sabbia e ghiaie preval.
 - Attrib. incerta sabb. e limi
- Isobate di letto granulare
— Isobate di tetto granulare

Scala 1:7.000
Figura 3.1.1.3

Ricostruzione sottosuolo - Step 3 - Quarto (Granarolo)

3.1.2 Area industriale di Cento, (Comune di Budrio)

L'analisi è stata realizzata, anche qui, su tre intervalli distinti (step 1, 2, 3). Il primo interpreta il pacco di sedimenti compresi tra la superficie di campagna e la profondità di 2,5 – 3 metri (secondo le necessità); il secondo rappresenta l'intervallo fino a 5 metri circa; il terzo interpreta l'intervallo fino a 9 – 10 metri dal piano campagna.

I punti di controllo presenti sono riportati in tutte le figure, secondo la tipologia della prova geognostica. In particolare si rammenta ancora che le stratigrafie dei pozzi per il sollevamento delle acque sotterranee rappresentano il dato meno attendibile, spesso le informazioni sono approssimate e lacunose, a volte anche errate. Considerando che nella zona in esame sul totale di 30 punti di controllo 15 sono costituiti da stratigrafie di pozzi (scarsa attendibilità), e 15 da buone penetrometrie statiche elettriche e no, si comprende facilmente come l'esito dell'interpretazione abbia forti margini di incertezza, almeno in tutte le zone in cui sono assenti le prove geognostiche di discreta qualità.

la superficie esaminata pari a circa 2,6 kmq, è interessata da 30 punti di controllo, una media di appena 12 prove per kmq, ma la distribuzione delle prove geognostiche è tale da concentrarsi nella porzione centrale ed occidentale, raggiungendo qui una densità media di 24 punti kmq. Le figure seguenti quindi presentano scarsa attendibilità nella porzione di territorio priva o molto carente di punti di indagine. Inoltre anche la zona occupata essenzialmente da pozzi per acqua resta dubbia, la distanza dalle aree già analizzate (Direttrice Nord e zona urbanizzata di Bologna) non consente di sopperire all'incertezza ed alla locale carenza di informazioni con la continuità dei corpi tessiturali altrove individuati.

La figura 3.1.2.1 riporta l'interpretazione del primo sottosuolo (step 1). L'intero contesto della figura è attribuito ad una divagazione (?), oppure alla formazione di un canale di tracimazione (?) del T. Idice, più probabile si tratti di divagazioni. Da un corso principale si dipartono tre "rami" corrispondenti con probabilità a: il primo, rivolto verso sud est, ad un sormonto con formazione di apparato distributore, il secondo, rivolto a est (S. Virgilio, Martello), ancora ad una rotta, il terzo, rivolto a nord est, che probabilmente costituisce l'argine naturale dotato di continuità.

Come si può notare dalla figura la distribuzione delle prove più utili (penetrometrie statiche) consente di definire l'ampiezza dell'argine naturale, anche se con qualche dubbio causato dalle tessiture tra loro relativamente vicine (sabbie più o meno limose e limi più o meno sabbiosi) spesso il passaggio laterale è segnato da alternanze.

Le informazioni disponibili non hanno consentito di tracciare isobate credibili di tetto e di letto dei depositi prevalentemente granulari.



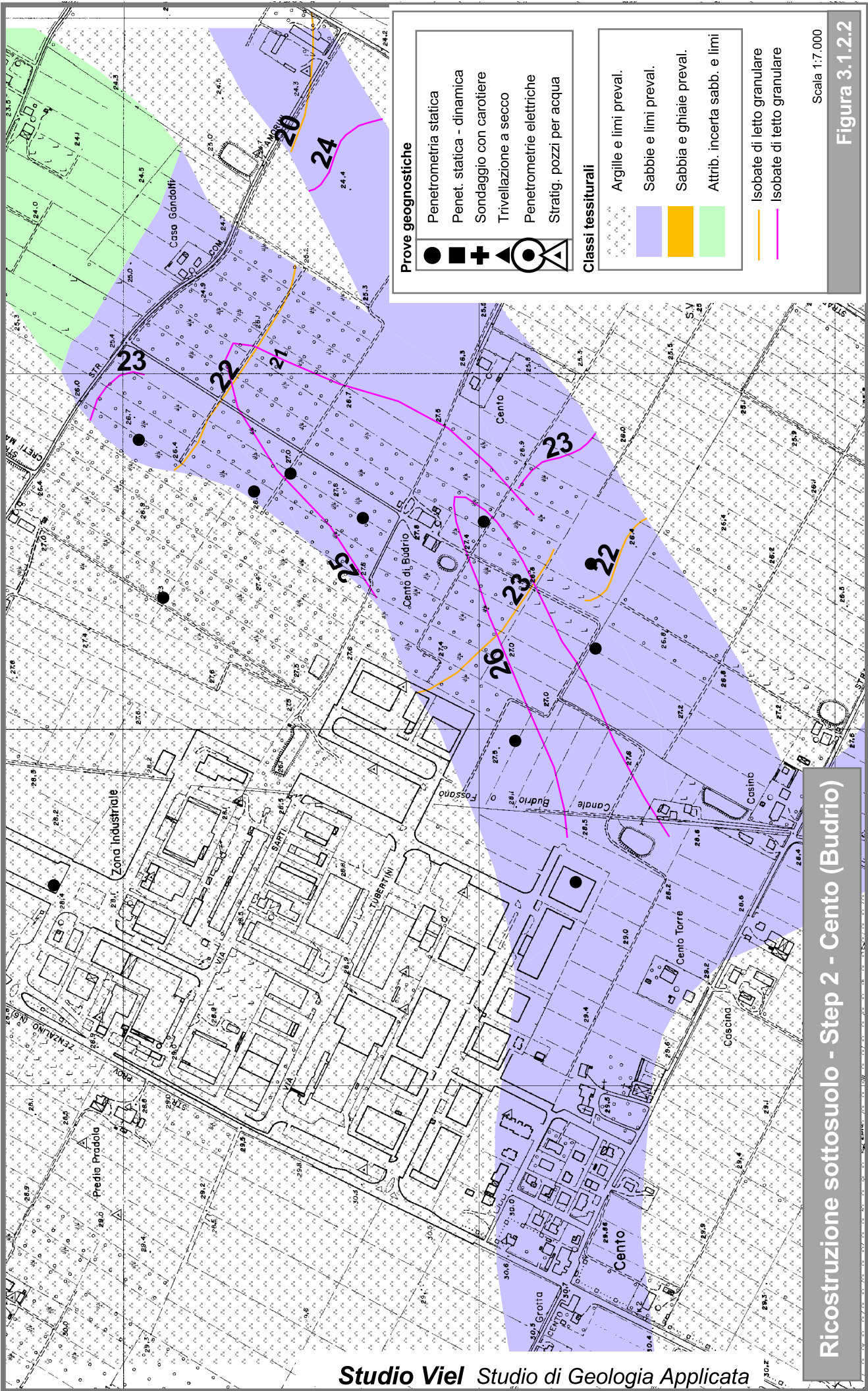
La figura 3.1.2.2 proietta l'interpretazione del secondo step di sottosulo assieme al primo. Come si vede nella figura, è ancora riproposto il medesimo schema del primo step, ma qui le isobate consentono di individuare anche l'evoluzione locale delle divagazioni: sono tentativamente separati gli argini naturali in base alle quote di letto.

Il ramo probabilmente più antico, a sud est, ha quote di letto tra 22 e 20 m slm, viene abbandonato ed il corso d'acqua si sposta più a settentrione, quote di letto 23 e 22 con quote di tetto assai prossime alla superficie che individuano una ristretta zona di "colmo".

Lo spostamento del canale pare abbia comportato anche una consistente deviazione di percorso: il secondo, più recente, ha andamento più marcatamente settentrionale. La presenza di una differenziazione nelle quote di tetto della porzione più occidentale e settentrionale dell'argine naturale può essere imputabile ad errori nelle quote delle prove, o alla presenza di una barra laterale.

Le incertezze interpretative sono per questi due step (1 e 2) minori rispetto a quelle viste per l'area di Quarto inferiore, anche se, anche in questo caso l'estensione delle prove penetrometriche alle zone circostanti potrebbe senza dubbio a variazioni della ricostruzione geografica.

L'ampia porzione di argine naturale indicata con il retino dell'incertezza (a settentrione) non trova documentazione attendibile neppure in un intorno dell'area esaminata, occorre giungere fino alla porzione orientale di Budrio per rinvenire alcuni punti di controllo significativi a questo proposito.



Ricostruzione sottosuolo - Step 2 - Cento (Budrio)

Figura 3.1.2.2

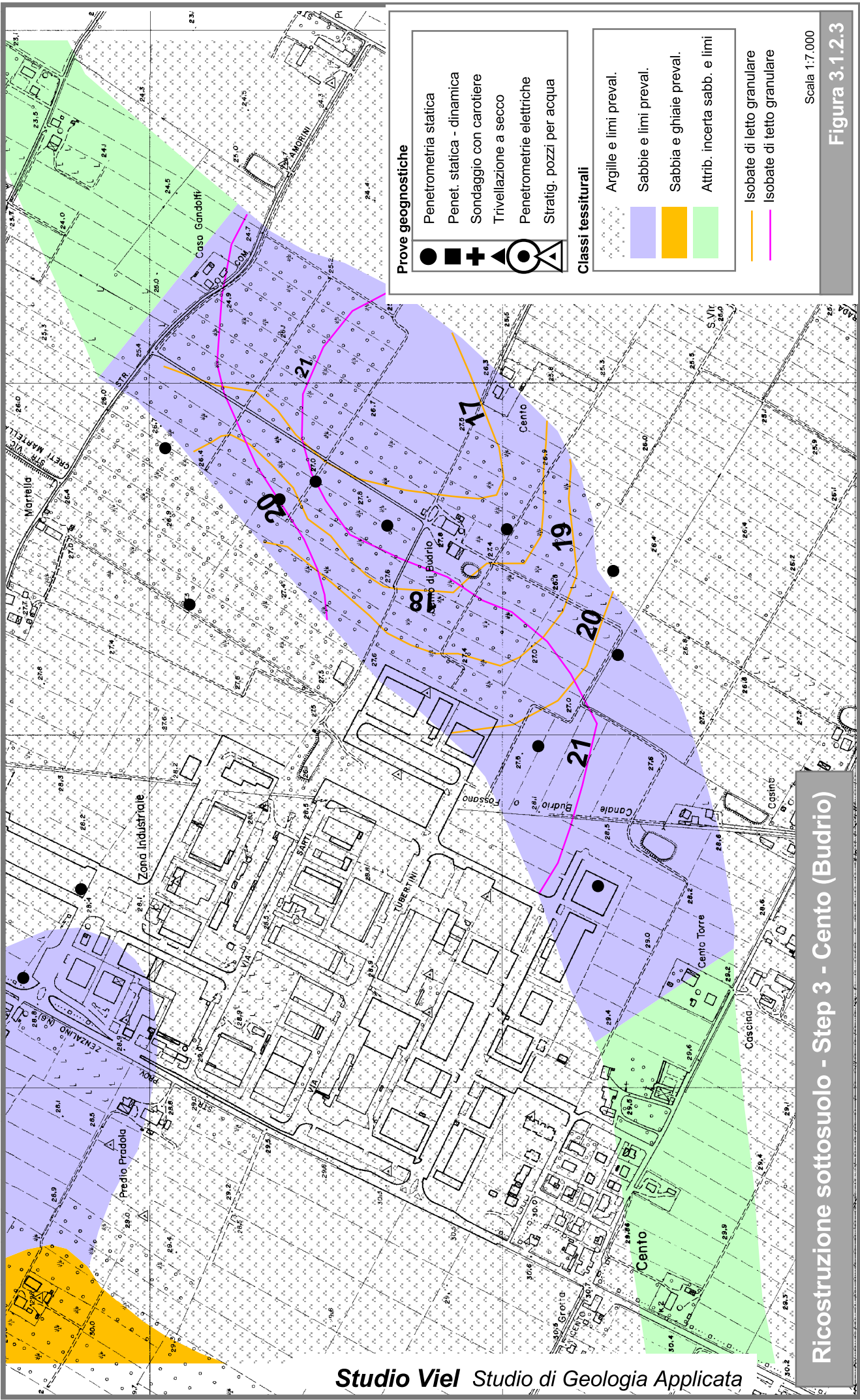
La figura 3.1.2.3 propone il paesaggio ricostruito con lo step 3. Come si vede si ripropone l'argine naturale già visti negli step 1 e 2, sia pure con le incertezze che vedremo nel seguito, e compare, all'angolo nord occidentale dell'area in esame, un episodio granulare grossolano (ghiaioso) passante a sabbie. Potrebbe trattarsi di un apparato distributore formato da una rotta d'argine dell'Idice, il cui corrispondente argine naturale pare condurre anche tessiture ghiaiose fino a questa quota di pianura media. La direzione che pare assumere il deposito è nord est, le isobate non sono tracciate a causa del modestissimo numero di punti di controllo disponibili. La presenza di sabbie risulta troppo modestamente estesa per giustificare l'energia sufficiente a trasportare ciottoli e ghiaia, a meno che la direzione non sia rivolta più marcatamente verso settentrione.

L'argine naturale, che mantiene circa il medesimo asse visto negli steps precedenti, è ricostruito nella geometria ed andamento sulla scorta di penetrometrie che consentono anche di indicare le quote di tetto e letto dell'intervallo granulare in prevalenza sabbioso.

Le isobate di tetto paiono caratteristiche di un andamento caratteristico di uno "sheet" più che di un argine naturale, in questo senso l'interpretazione più congrua sarebbe quella di pensare ad un'ampia area di espansione della rotta citata precedentemente. Questa ipotesi è contraddetta da tutte le stratigrafie dei pozzi per acqua interposte tra le due aree, stratigrafie che non dichiarano mai presenza di sabbie.

Le isobate di letto invece denunciano una notevole differenziazione di quota con la formazione di una vera incisione di "canale", incisione difficile da ipotizzare per questa parte della pianura alluvionale, se non per portate fluviali considerevoli (insomma occorre un corso d'acqua considerevole, ad esempio l'Idice stesso). Ma se il corso d'acqua fosse l'Idice i depositi dovrebbero essere assai più marcati e distinti (sabbie medie e grosse, magari con ciottoli) e non misti o alternati a limi come quelli attraversati dalle prove di repertorio. La ricostruzione della geometria di letto può risentire sia di errori interpretativi, sia della carenza di informazioni (presenza di più livelli non sufficientemente distinti). Una possibilità alternativa può consistere nella presenza di almeno due diversi livelli sovrapposti e mal separati.

L'insieme delle informazioni porterebbe a considerare le stratigrafie dei pozzi per acqua poco accurate ed a distribuire le sabbie verso est e verso sud fino a ricongiungersi con l'apporto del più volte citato argine naturale, ma in questo caso le isobate di letto dovrebbero essere riviste e mantenute tra 20 e 19 metri slm. Oppure occorre pensare ad un antico alveo dell'Idice che, dopo la rotta che ha prodotto l'evento ghiaioso citato, si sposta verso sud est e trova un momentaneo nuovo percorso presto colmato ed abbandonato.



Prove geognostiche

- Penetrometria statica
- Penet. statica - dinamica
- + Sondaggio con carotiere
- ▲ Trivellazione a secco
- ⊙ Penetrometrie elettriche
- ⊗ Stratig. pozzi per acqua

Classi tessiturali

- Argille e limi preval.
- Sabbie e limi preval.
- Sabbia e ghiaie preval.
- Atrib. incerta sabb. e limi
- Isobate di letto granulare
- Isobate di tetto granulare

Scala 1:7.000

Figura 3.1.2.3

Ricostruzione sottosuolo - Step 3 - Cento (Budrio)



3.1.3 Conclusioni

Entrambe le aree investigate dimostrano un modesto grado di affidabilità dovuto tanto al numero e qualità delle prove disponibili, quanto alla decontestualizzazione dalla ricostruzione geografica locale.

Per realizzare questo tipo di analisi tridimensionale con una discreta confidenza alla realtà è essenziale disporre di grandi superfici d'indagine su cui si realizzano le condizioni di conoscenza idonee a definire alcuni parametri fondamentali all'interpretazione:

- a) continuità dei corpi granulari e riconoscimento del canale idraulico che li ha prodotti;
- b) ampiezza media del canale naturale all'epoca di formazione, quindi anche valutazione delle portate liquide;
- c) topografia (in particolare acclività) del contesto geografico d'epoca;
- d) definizione della tipologia d'alveo (meandriforme, braided, ecc).

Le interpretazioni prodotte scontano la “dispersione” territoriale, e devono pertanto essere considerate solamente come semplici ipotesi di soluzione locale, in attesa che venga realizzata una più ampia campagna di ricostruzione paleo-geografica.

4. INDIRIZZI E POLITICHE

Le norme che seguono vogliono rappresentare un primo contributo alla realizzazione di un quadro di comportamenti coerenti tra i diversi comuni del PSC associato, rispetto alle scelte di :

- localizzazione di nuovi comparti più consapevole rispetto alle criticità territoriali presenti;
- comportamenti progettuali più attenti alla tutela delle risorse naturali locali.

Alcune delle norme presentate costituiscono proposte di scala decisamente sovra – ordinata rispetto ai Comuni interessati da questo PSC, in altri casi (allagamenti) la norma recupera segmenti di conoscenza non direttamente presenti nel quadro conoscitivo ma tratti da repertori e banche dati realizzati da Servizi ed Uffici Regionali o Provinciali.

4. 1. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEL SOTTOSUOLO

La zonizzazione presentata nelle figure da 1.2.4.2 a 1.2.4.21 costituisce uno dei criteri generali da considerare nella scelta di localizzazione di nuovi insediamenti, almeno per edifici civili o produttivi di normale impegno costruttivo (vedi relazione). Infatti edifici con distribuzioni disomogenee delle pressioni di esercizio, o che trasmettono al terreno sovraccarichi di grande entità richiedono analisi geognostiche specifiche da eseguirsi almeno durante la fase di massima della progettazione.

I risultati ottenuti con la zonizzazione geotecnica formano il quadro teorico delle distribuzioni delle caratteristiche geomeccaniche dei sedimenti fino alla profondità di 10 metri dal p.c.. Essi possono essere utilizzati come riferimento nella definizione preliminare di edificabilità di nuovi comparti di espansione solamente se associati agli esiti di nuove indagini geognostiche che confermino la zonizzazione stessa. Le prove geognostiche selezionate per le estrapolazioni su cui si fonda la zonizzazione devono essere utilizzate per la definizione delle “condizioni preliminari” di edificabilità di nuova edificazione in un intorno geometrico non superiore ai 100 metri. Sarà il giudizio e l’esperienza del tecnico abilitato a stabilire, in base alla correlabilità degli esiti delle prove di repertorio e di nuova esecuzione, le dimensioni dell’intervallo tra i punti di controllo sufficienti a stabilire con sicurezza le condizioni di edificabilità nelle varie fasi di progettazione.

In tutti i casi in cui sia indispensabile fornire parametri geomeccanici dei terreni, utili ad applicazioni dirette in ingegneria civile, le prove geognostiche di qualificazione dei sedimenti attraversati dovranno essere eseguite con



attrezzature rispondenti agli standard riconosciuti dalle normative europee e nazionali. In Italia non sono ancora obbligatorie le caratteristiche delle attrezzature e le condizioni di esecuzione delle prove geomeccaniche utili a calcolare l'interazione struttura – terreno. Nel lavoro di interpretazione della zonizzazione meccanica presentata, sono state infatti scartate molte delle analisi documentate dai Comuni Associati per questo PSC, a causa della loro scarsa affidabilità, o della loro non comparabilità.

Per le prove in sito, è stata recentemente pubblicata sulla “Gazzetta Ufficiale” (n. 69 del 23/03/2000) la Circolare del Ministero L.L. P.P. del 16 dicembre 1999 n. 349/STC. Questo documento richiama l'utilizzazione soltanto di alcune tra le più diffuse prove geotecniche in sito <<per le quali esiste un consolidato bagaglio di conoscenze tecniche>>. Per gli standards di fabbricazione di questi strumenti d'indagine e per le norme d'esecuzione delle prove, la Circolare fa riferimento alle “raccomandazioni” dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.), pubblicate nel 1977. In appendice al presente testo è allegata la parte cogente della citata Circolare, per chi volesse verificare o approfondire l'argomento.

In questo senso è opportuno che le Amministrazioni Comunali richiedano esplicitamente prove geognostiche in sito realizzate con attrezzature rispondenti agli standard richiamati nella Circolare 349/99. Al minimo dovrà essere richiesto che:

- le **penetrometrie statiche** siano eseguite con puntale meccanico tipo Begemann, di forma, dimensioni, velocità penetrazione standard, con attrezzature dotate di capacità di spinta di 200 kN (20 tonnellate). Ancora meglio penetrometrie, con la medesima attrezzatura, eseguite con punta elettrica, oppure ove necessario con piezocono, dotate di controllo della verticalità;
- le **prove dinamiche** effettuate nel foro di sondaggio (di norma da eseguirsi in presenza di sedimenti granulari –ghiaie e sabbie-) denominate S.P.T. (Standard Penetration Test) siano eseguite con attrezzatura di dimensioni, forma e peso standard (campionatore aperto oppure chiuso, aste, maglio e sua corsa).
- le **penetrometrie dinamiche continue** S.C.P.T. (Standard Cone Penetration Test) devono essere eseguite con attrezzatura standard (punta con diametro di 50,8 mm e angolo di apertura di 60°, aste del peso di 4,6 kg/m, maglio del peso di 73 kg e sua corsa libera di 75 cm), non possono essere ammessi in pianura penetrometri dinamici così detti leggeri, cioè dotati di maglio di peso minore dello standard richiesto.

I penetrometri dinamici leggeri possono essere utilizzati per effettuare ricerche non direttamente connesse a realizzazioni di ingegneria civile

(definizione della profondità dello strato alterato, rinvenimento di trovanti, ecc.), oppure in situazioni particolari (luoghi angusti, interni di edifici, ecc.) in cui attrezzature normali non possono accedere.

La profondità delle prove geognostiche da eseguire in sito, comprese quelle finalizzate alla sola indagine stratigrafica, dovrà essere commisurata alla problematica da affrontare (D.M.L.P. 11/03/88, G.U. n. 127 1/06/88, S.O.; e D.M. 14/9/2005 n. 159). In particolare, anche nella fase preliminare alla progettazione (definizione di edificabilità), sarà indispensabile che la stratigrafia di sottosuolo (anche meccanica) venga ricostruita almeno per uno spessore sufficiente per la stima del possibile grado di amplificazione sismica locale. La profondità da raggiungere dipende da vari parametri, tra cui la tessitura e la densità relativa dei sedimenti attraversati, essa resta quindi una scelta ed una responsabilità del tecnico incaricato, tuttavia, indicativamente, nella nostra pianura, 30 metri di spessore devono essere indagati fin dalla fase preliminare della progettazione (Norme tecniche per le costruzioni al punto 3.2.1 del D.M. 14/9/2005 n. 159).

Occorre venga definita, oltre alla “categoria di suolo di fondazione” (Norme tecniche per le costruzioni al punto 3.2.1 D.M. 14/9/2005 n. 159), la posizione stratigrafica, la distribuzione planimetrica, la potenza e le caratteristiche meccaniche di tutti gli *intervalli sabbiosi saturi* presenti nel sottosuolo dei comparti di progetto. In alcuni casi può essere indispensabile prelevare campioni per effettuare verifiche di laboratorio. Infatti sabbie sature, a tessitura fine ed omogenea, se sottoposte a ripetuti cicli di carico (simulazione delle condizioni sismiche) sono suscettibili di liquefazione, cioè alla perdita di resistenza e di rigidità, in altre parole tendono a perdere la loro forma. Questo fenomeno può produrre cedimenti delle strutture di fondazione degli edifici sovrastanti, e comprometterne quindi la stabilità.

Nella nostra pianura non sono noti eventi di liquefazione significativi, almeno per la storia sismica tramandata storicamente, tuttavia le superfici investite da nuovi insediamenti nel secondo dopoguerra hanno estensioni almeno 5 volte superiori a quelle presenti all’inizio del Novecento. La registrazione e la memoria degli effetti dei sismi è invece strettamente legata ai danni agli edifici, pertanto questo tipo di accertamento (colonna stratigrafica per definire amplificazione sismica e possibile liquefazione di intervalli sabbiosi saturi) riveste grande importanza per la prevenzione del rischio sismico.

4.2. ACQUE SUPERFICIALI E SUBSIDENZA

Per le acque superficiali si applicano le norme di cui al titolo 4 del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Bologna. Al fine di migliorare la condizione di sicurezza di eventuali nuovi insediamenti di progetto si propone

di integrare, al corpo normativo citato sopra, la seguente direttiva relativa agli allagamenti degli ultimi cinquanta anni.

Motivazione e obiettivi della direttiva

Il reticolo di drenaggio della pianura (naturale ed artificiale) rappresenta il portato di un'epoca in cui gli spazi agricoli e permeabili erano largamente preponderanti su quelli impermeabilizzati, in cui l'agricoltura si sviluppava con scarsità di attrezzature meccaniche e secondo criteri certo non industriali. In "quella pianura" (pare di riferirsi ad un'epoca remota mentre invece si parla degli anni cinquanta e sessanta) la capacità d'invaso dei piccoli fossi di drenaggio che solcavano regolarmente i campi, assieme al reticolo di capofossi, canali (acque alte e basse) a scolo naturale o artificiale – misto che fosse, era capace di contenere piogge prolungate per 72 ore senza scaricare in Reno e senza produrre allagamenti particolarmente dannosi.

Oggi la pianura vede il ripetersi continuo di crisi dovute ad allagamenti o a esondazioni. Le tabelle seguenti, ricavate dai dati della Protezione Civile, e tratte da Viel et Al., 2002 e da Viel, in AA.VV., 2003¹

Decennio	A	C [kmq]	D [kmq]	F [kmq]	G [kmq]	H [kmq]	L [kmq]
1950-59	3	45	45				45
1960-69	3	105	111	6,01			105
1970-79	4	22	23	0,65			22
1980-89	4	1,7	2,6	0,88			2,6
1990-99	9	293	352	47,00	5,7	0,04	299

Tabella riferita all'intera Provincia di Bologna, chiave di lettura delle colonne: A = numero episodi climatici che hanno prodotto allagamenti; C = superfici allagate indipendentemente dalle ricorrenze; D = superfici allagate comprese le aree ripetutamente inondate nel periodo di 47 anni; F = superfici allagate due volte nel decennio; G = superfici allagate tre volte nel decennio; H = superfici allagate quattro volte nel decennio; L = superfici allagate al netto delle ricorrenze nel decennio.

La tabella indica un incremento molto grande delle superfici allagate nell'ultimo decennio, rispetto sia all'intero arco temporale dei 50 anni considerati, sia al decennio precedente. Nel complesso le superfici allagate nell'ultimo decennio rappresentano circa il doppio della somma di tutte quelle allagate nei decenni precedenti. Anche il semplice numero delle aree allagate della Provincia di Bologna documenta un incremento molto grande per il decennio 1990-99 rispetto ai decenni precedenti: 237 aree allagate rispetto alle 58 del periodo 1950 – 1989.

¹ "Schema Direttore della Pericolosità Geo-Ambientale", Servizio Geologico d'Italia e Regione Emilia Romagna.

"Riorganizzazione del Sistema Autostradale – Tangenziale del Nodo di Bologna. Studio di Fattibilità", Provincia di Bologna

I Comuni delle due Associazioni costituiscono circa il 60% delle aree interessate da allagamenti ricorrenti, il restante 40% è distribuito (a parte il Circondario Imolese) nei comuni di Anzola, S. Giovanni in Persiceto, Sala Bolognese, e marginalmente Crevalcore e S. Agata.

Il confronto tra le provincie della nostra regione (op. cit.), offre un'ulteriore prova dell'incremento di pericolosità idraulica della pianura bolognese per gli ultimi dieci anni, rispetto al passato ed alle altre Provincie.

Decennio	Superfici allagate in percentuale sul totale per decennio									Totali [kmq] Regione
	BO	FE	FO	MO	PI	PR	RA	RE	RM	
1950-59	6,55	23,60	0,00	3,47	1,90	0,73	5,95	58,11	0,00	825
1960-69	8,95	8,17	0,22	25,67	5,14	1,03	21,55	29,27	0,00	1.176
1970-79	1,37	8,50	0,17	6,67	4,57	5,29	9,39	62,10	1,92	1.701
1980-89	1,42	1,20	0,00	18,38	10,45	65,6	0,00	2,93	0,00	107
1990-96	18,47	0,15	0,60	1,60	3,18	0,17	19,53	52,30	3,97	1.583

In questa tabella l'ultimo decennio è incompleto (1990 – 1996), eppure malgrado manchino i significativi eventi del 1999 la Provincia di Bologna vede un incremento notevole e si colloca, per la prima volta nella sua storia, al terzo posto nella graduatoria regionale per ampiezza delle superfici allagate.

La traduzione planimetrica delle aree di allagamento, tratta dalle informazioni della Protezione Civile Regionale, è riportata in forma sintetica nelle figure 4.1.1.1 e 4.1.1.2. In queste figure le aree allagate sono qualificate secondo una scansione di "pericolosità" ricavata in base alla ripetizione degli eventi (ricorrenze) ed alla distribuzione della subsidenza (valori cumulati).

La figura 4.1.1.1 consente di confrontare le aree allagate con i bacini drenanti differenziati secondo le modalità di scolo, come desunti da varie fonti, tutte riferite al Consorzio di Bonifica Renana. La figura 4.1.1.2 sovrappone alle aree di allagamento le urbanizzazioni ed il reticolo idrografico, in modo da dare un riferimento cartografico migliore.

In entrambe le figure gli allagamenti non sono classificati in funzione delle cause che li hanno determinati (le necessarie informazioni non sono in nostro possesso), ma solamente in relazione alle ricorrenze degli eventi sulle medesime aree, nell'intervallo indagato (1950 – 1999). Le ricorrenze sono utilizzate come scansione di pericolosità, in questo caso solamente statistica, il criterio di valutazione utilizzato è ponderale.

Agli allagamenti degli anni Cinquanta e Sessanta si è attribuito un peso basso, poiché le cause di questi eventi sono già state rimosse, se non si sono verificate ripetizioni dell'evento nei successivi decenni. Agli eventi degli anni Ottanta e Novanta, per lo più legati al reticolo drenante minore (Samoggia a

parte), si è attribuito un peso doppio. In tutti i casi di ripetuti allagamenti della stessa area nel medesimo anno solare, si è considerato un solo valore. L'età dell'evento e la sommatoria degli eventi occorsi sulla stessa area nei vari anni fornisce la ricorrenza, e cioè la pericolosità statistica riportata nella carta delle figure citate. Le legende delle figure infatti riportano, accanto alla valutazione qualitativa (ricorrenza bassa, modesta, ecc.) anche l'esito della sommatoria ottenuta dalla sovrapposizione degli eventi nei vari anni ($0,1 \div 0,5$).

Le estensioni allagate sono definite in relazione ai bacini scolanti (fig. 4.1.1.1) al fine di migliorare la definizione statistica di pericolosità. Anche se questa procedura non è completamente corretta poiché l'acqua, per qualunque causa esondata, tenderà ad accumularsi nei bacini topograficamente più depressi, tuttavia essa può fornire, in assenza di indicazioni di migliore definizione, un indicatore di pericolosità significativo.

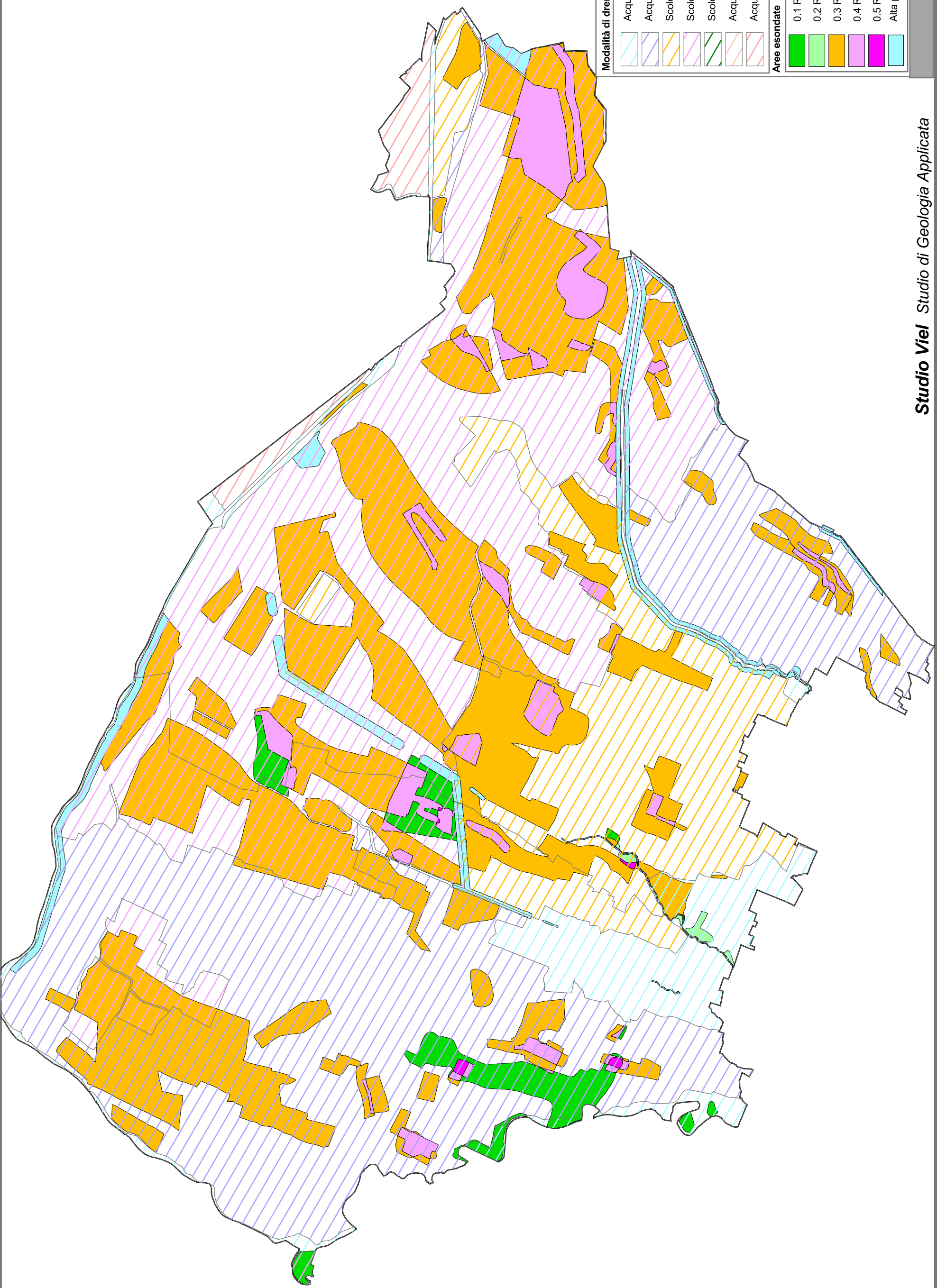
L'esito della sovrapposizione tra aree esondate e bacini scolanti fornisce, alla scala provinciale, la densità di accadimento come rapporto tra superficie (kmq) allagata rispetto all'estensione (kmq) del tipo di bacino scolante:

- (a) “scolo alternato con prevalenza di meccanico” e tutti i bacini delle “acque basse” indicatore $(1/2,32) = 0,43$; d'ora in poi denominati “bacini tipo (a)”;
- (b) “scolo alternato pre-sollevamento meccanico” indicatore $(1/3,33) = 0,30$; d'ora in poi denominati “bacini tipo (b)”;
- (c) “scolo alternato prevalentemente naturale” indicatore $(1/4,6) = 0,21$; d'ora in poi denominati “bacini tipo (c)”;
- (d) “acque alte con pericolo di rigurgito” indicatore $(1/8,2) = 0,12$; d'ora in poi denominati “bacini tipo (d)”.

La densità delle aree allagate è dunque molto elevata in tutti i territori interessati da bacini a scolo meccanico (a) (b) molto meno elevata nei bacini tipo (c), media nei bacini tipo (d).

Questa scansione denuncia già almeno tre diversi gradi di attenzione idraulica per le scelte insediative, ma l'ampiezza dei bacini scolanti che richiedono l'intervento esterno per il drenaggio (meccanici) è tale da non consentire l'attuazione di una direttiva generica applicabile all'intero territorio drenato. Resta comunque chiaro che la realizzazione di vani interrati nei territori drenati da bacini (a) e (b) dovrà essere regolamentata per puri motivi di sicurezza.

Nelle figure citate il quadro delle limitazioni idrauliche è completato dall'indicazione delle fasce ad “alta probabilità d'inondazione” tratte direttamente dal PTCP. Anche queste, riferite ai corsi d'acqua maggiori ed arginati, si concentrano quasi interamente entro o al confine di bacini (a) oppure (b), solamente qualche tratto ricade entro bacini tipo (d).

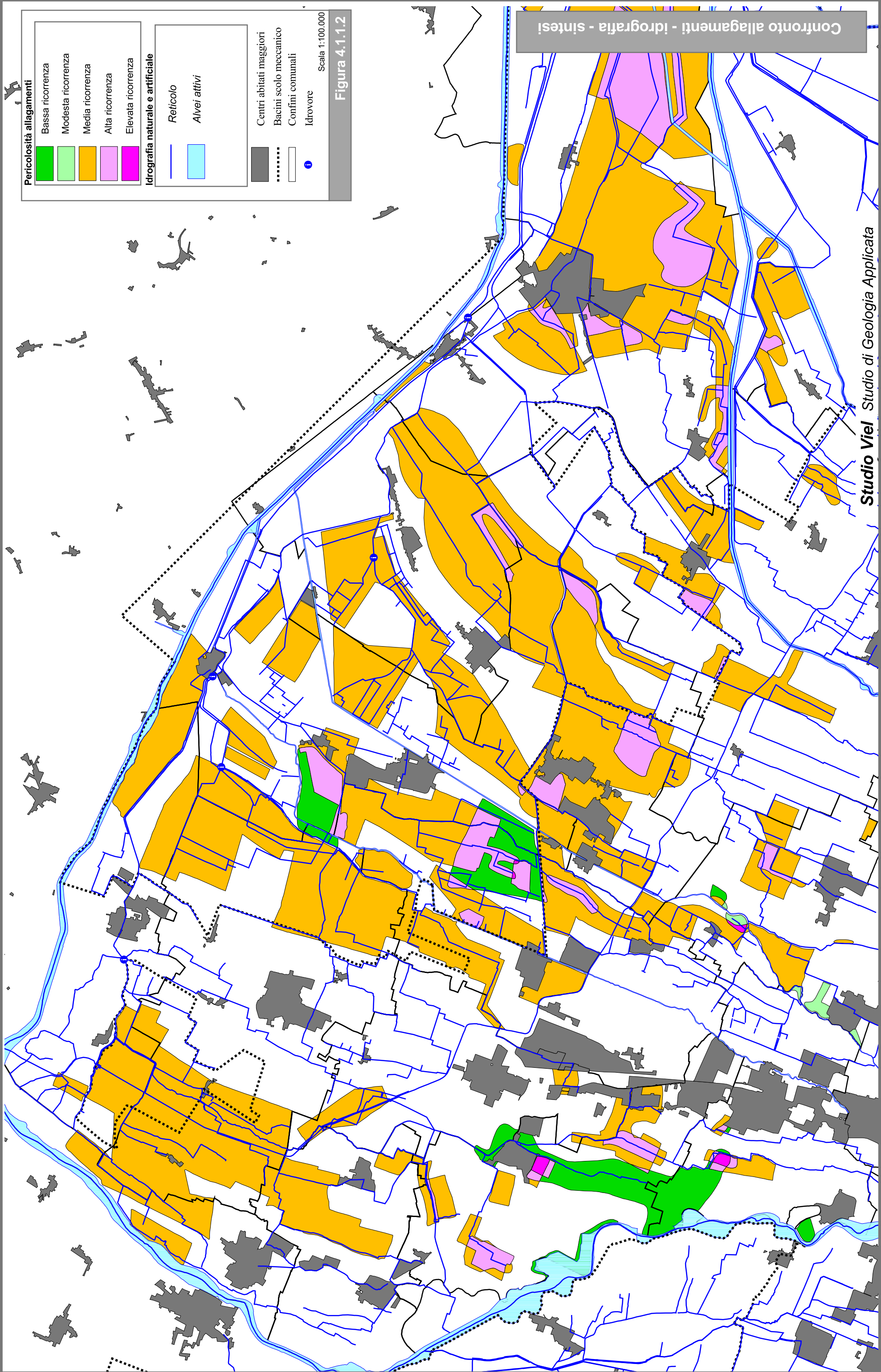


Modalità di drenaggio Scala 1:120.000

- Acque alte
- Acque alte, poss. rigurgito
- Scolo alter., presollev.
- Scolo alter., prev. mecca.
- Scolo alter., prev. nat.
- Acque basse, presollev.
- Acque basse, meccanico

Aree esondate

- 0.1 Ricorrenza bassa
- 0.2 Ricorrenza modesta
- 0.3 Ricorrenza significativa
- 0.4 Ricorrenza alta
- 0.5 Ricorrenza elevata
- Alta probabilità inondazione



Scala 1:100.000
Figura 4.1.1.2



L'Autorità di Bacino sta provvedendo a diminuire la pericolosità idraulica della pianura, con l'attuazione di:

- un programma di realizzazione di opere (nuovi bacini di laminazione per circa 8,2 kmq di superficie e 50 Mm³ d'invaso) in parte già in corso di realizzazione, in parte non interamente finanziato, in parte ancora da iniziare e finanziare;

- applicazione delle norme relative alle aree da impermeabilizzare (PSAI, PTCP);

- delimitazione delle fasce di tutela fluviale (PSAI, PTCP) che contengono anche le aree passibili di esondazione in riferimento ad eventi di pioggia con tempi di ritorno di 100 - 200 anni o le aree ad alta probabilità di esondazione (riportate nelle figure 4.1.1.1, e 4.1.1.2).

Obiettivo di questa normativa è soprattutto quello di integrare il già ampio e motivato contesto normativo esistente sulle acque di superficie.

Oggetto e strumenti della direttiva

L'assetto morfologico della pianura alluvionale bolognese è caratterizzato dalla ripartizione topografica tra zone leggermente più rilevate e zone invece depresse. Le zone più depresse di norma sono caratterizzate dalla presenza di sedimenti superficiali a tessitura argilloso-limosa o limosa (bacini interfluviali), le zone topograficamente più alte da sedimenti a prevalente scheletro granulare (argini naturali) tavola 1.

L'assetto morfologico e topografico condiziona anche le possibilità di drenaggio del reticolo minore: le arginature naturali ed artificiali dei corsi d'acqua maggiori impediscono il deflusso naturale delle acque, ed hanno determinato la formazione di grandi estensioni territoriali occupate da paludi. La possibilità di sollevare meccanicamente le acque ha consentito di bonificare queste aree, ma ha determinato la presenza di bacini il cui drenaggio è dipendente, appunto, dallo scolo meccanico. La tavola 4.1.1.1 riporta la scansione territoriale da cui si può facilmente desumere questa ripartizione.

Tutti i comparti di progetto (nuova edificazione) posti, anche parzialmente, entro le aree che hanno già subito allagamenti negli ultimi 50 anni devono:

1) verificare le perimetrazioni indicate dalla protezione civile e riportate nelle figure 4.1.1.1 e 4.1.1.2 (fornite anche in formato numerico e quindi confrontabili a qualunque scala), gli anni di accadimento (tabella associata alla localizzazione georeferenziata, fornita dalla protezione civile), e le cause che lo hanno determinato. Le zone allagate classificate "0,1 ricorrenza bassa" sono il frutto di eventi precedenti agli anni Ottanta le cui cause dovrebbero già essere state rimosse. Le zone classificate "0,2 ricorrenza modesta" rappresentano eventi degli anni Ottanta, non più ripetuti in seguito

2) verificare se le cause degli eventi di esondazione o allagamento siano state già rimosse. Le zone allagate classificate “0,1 ricorrenza bassa” sono il frutto dell’evento del 1966 in alcuni casi ripetuti nel 1969, e pochi altri negli anni Settanta, mai più ricorrenti nei decenni successivi, molto probabile che le loro cause siano già state rimosse. Le zone classificate “0,2 ricorrenza modesta” rappresentano eventi accaduti nel 1982, e ripetuti nel 1984, ma non più ricorrenti in seguito. Molto probabile che le cause degli allagamenti classificati bassi e modesti non siano più in essere. Per le altre aree classificate da “0,3 ricorrenza significativa” a “0,5 ricorrenza elevata”, occorre controllare con grande attenzione se le cause degli eventi siano state rimosse:

- 2.1) in caso affermativo le aree stesse possono, ovviamente, essere trattate alla stessa stregua del restante territorio, ferme restando alcune limitazioni come: nelle aree interne ai bacini tipo (a) e (b) esclusione dei vani interrati e sotterranei, edificazione rilevata rispetto al p.c. di alcune decine di centimetri;
- 2.2) in caso negativo devono sottostare a preventiva indagine di coerenza idraulica (simulazioni) riferita anche al reticolo artificiale e minore per condizioni straordinarie (arresto impianti sollevamento, tempi di ritorno di 50 anni). Se la verifica idraulica, approvata dall’Autorità competente (Bacino Reno, per fiumi maggiori; Consorzio Bonifica, per rete scolante) fornisce esiti negativi (cioè comparto esondabile o allagabile), allora il comparto non potrà essere interessato da insediamenti fino all’avvenuta rimozione di ogni causa di pericolo idraulico. Se la verifica idraulica fornisce esiti positivi (cioè comparto non esondabile per le cause determinate e le condizioni di simulazione) occorre rivedere il punto 1 e comunicarlo alla protezione civile.

4.3 ACQUE SOTTERRANEE DELLE FALDE PIÙ SUPERFICIALI

4.3.1 Competenze

Competenze della Provincia

La Provincia ha funzioni autorizzatorie di vigilanza sulla qualità delle acque e di rilevamento, disciplina e controllo sull’inquinamento delle acque [L. 142/90 art.14 lettera g; confermata dalla 61/94 art. 2; ripresa dal testo unico 267/2000]

Inoltre ha competenza sugli insediamenti ed i relativi scarichi ad esclusione degli scarichi diretti in fognatura [art. 45 comma 6 DL. 152/99].



Competenze dei Comuni

Gestione attraverso l'ATO della rete acquedottistica, di fognatura, depurazione, e autorizzazioni di scarico in fognatura (attribuzioni consolidate dalla legislazione, e specificamente art 45 comma 6 DL. 152/99). L'art. 33 comma 1 attribuisce all'ente gestore della depurazione delle acque è titolare di potestà regolamentare e prescrittiva sugli scarichi per quanto concerne norme tecniche e valori limite di emissione (restano comunque inderogabili i limiti della tabella 5 dell'allegato 5), ma impone comunque l'approvazione da parte dell'Amministrazione pubblica responsabile.

Competenze ARPA, ANPA

E' riconosciuto l'esercizio delle funzioni strumentali di controllo tecnico. L'art. 49 che impone un programma di controlli e attribuisce responsabilità alla regione (anche con sanzioni) esclude un ruolo autonomo delle Aziende sia per funzioni ispettive sia per quelle analitiche. *[la formula organizzatoria prescelta dalla legge 61/94, per quanto concerne i profili relazionali tra provincie (titolari della funzione) e strutture tecniche di vigilanza e controllo (ARPA), non è quella della delega, ma quella dell'avvalimento, tale impostazione esclude una autonoma sfera operativa di cui sia titolare l'ente avvalso, che può effettuare esclusivamente le attività che vengono ad esso formalmente richieste dall'ente avvalente].*

4.3.2 Motivazione e obiettivi della politica

Le falde più vicine alla superficie (freatiche o libere) non sono utilizzate perché poco produttive, ed inoltre hanno acque di qualità in genere peggiore rispetto alle falde salienti, o confinate. La ricerca, lo sfruttamento e, di conseguenza, la tutela, tendono a concentrarsi sulle falde e sugli acquiferi utilizzati (cioè su quelli salienti).

In condizioni naturali, la pressione che caratterizza gli acquiferi profondi e confinati rispetto quelli superficiali, costituisce la migliore garanzia di tutela da eventuali contaminazioni provenienti dalla superficie, e dalla falda più superficiale in contatto diretto con le attività umane.

Solamente la zona di Alta Pianura, quasi interamente esterna all'area interessata dai Comuni oggetto del presente studio (porzione più interna dei conoidi e del pedecollina, porzione di pianura dei Comuni di Imola, Castel S. Pietro Terme, Dozza, Ozzano, S. Lazzaro, Bologna, Casalecchio, Zola Predosa, Crespellano, Monteveglio, Bazzano, e parti del territorio dei Comuni di Calderara, Castel Maggiore, Granarolo e Castenaso), fa eccezione perché è

caratterizzata dalla presenza di falda freatica insediata in acquiferi potenti anche decine di metri, e dotati di alta trasmissività.

La situazione idrogeologica bolognese ha caratteristiche innaturali, provocate dal fortissimo deficit di bilancio idrogeologico delle acque sotterranee che ha depressurizzato le falde profonde (oltre i 100 metri). L'eccessivo prelievo, protratto per molti decenni, valutato ottimisticamente nel PTA in 9 milioni di mc/anno, ha determinato una situazione di ampliamento delle superfici di ricarica delle falde depressurizzate, fino a coinvolgere le zone di fuga presenti nel complesso di sedimenti fini (drappo del conoide del Reno posto tra i 90 ed i 120 metri di profondità), che caratterizza l'intera stratigrafia della pianura (separazione tra acquiferi denominati "A" e "B" dal Servizio Geologico, Sismico e del Suoli della Regione Emilia-Romagna), e quindi a ricevere un cospicuo contributo anche dalle falde superficiali.

Il rilevamento di numerosi pozzi freatici (profondi non oltre i 20 metri) dell'alta e media pianura bolognese ha consentito, fin dal 1994, di identificare le zone in cui il richiamo in profondità ha determinato il forte abbassamento o la scomparsa del freatico (Viel G., *Metronomie* n. 12, 1998), in vaste zone dell'alta pianura. In particolare le aree più ampie ed evidenti coincidono con quelle in cui sono localizzati i campi di sollevamento idropotabile di HERA.

Il richiamo in profondità delle acque delle falde più superficiali dimostra, senza possibilità di equivoci, la provenienza superficiale degli agenti inquinanti che hanno gradualmente peggiorato la qualità delle acque d'uso potabile sollevate nei campi pozzi di Borgo Panigale e Tiro a Segno (Conoide del Reno) negli ultimi 10 anni.

Nel conoide del Reno, il richiamo in profondità è così violento da provocare l'inversione del senso di deflusso naturale, nelle acque delle falde più superficiali, anche alla distanza di alcuni chilometri dai centri di pompaggio. Ma anche negli altri due centri di sollevamento (conoide del Savena e dell'Idice), di più recente potenziamento, si notano effetti simili, sia pure di minore ampiezza.

È possibile che anche nella pianura appena più distale, in particolare in corrispondenza del conoide del Reno (Parte di Bentivoglio, Sala Bolognese, Argelato), si verifichino analoghi fenomeni di drenanza delle falde superficiali verso il basso, quindi con inesorabile trascinarsi degli inquinanti verso l'acquedotto. Possibili, ma meno probabili, analoghi fenomeni anche per la conoide Idice-Savena.

La tutela della qualità delle falde più superficiali della pianura, anche se di modeste potenzialità e scarsamente sfruttabili, è importante in se, ma in più riveste una particolare importanza nel bolognese, anche in vista della tutela della qualità delle acque sotterranee degli acquiferi più profondi.

Per la pianura dei Comuni oggetto di questo studio la politica che si propone dovrebbe prevedere i seguenti obiettivi:

- a) Incentivazione del risparmio idrico;
- b) Tutela acque sotterranee;
- c) Conservazione pozzi freatici esistenti ed incentivazione alla loro utilizzazione;
- d) Attivazione campi di ricarica del freatico superficiale;
- e) Controlli e monitoraggio di qualità delle acque sotterranee 1° falda;
- f) Incentivazione delle azioni di miglioramento delle reti di collettamento;

4.3.3 Articolazione della politica

4.3.3.1 *Incentivazione Risparmio Idrico*

Si tratta di una politica da articolare in varie azioni di scala Provinciale, ed Intercomunale, e quindi anche in varie direttive alla pianificazione comunale. Questo complesso di norme dovrebbe avere lo scopo di razionalizzare i consumi civili e produttivi, e le fonti di approvvigionamento, come lo stesso PTA regionale di recente approvazione richiede. Una politica che mentre agisce subito ove possibile, ad esempio sui consumi civili attraverso l'impiego di riduttori di portata ai rubinetti, sappia anche guardare in prospettiva a diversi piani ed azioni di attuare:

- a) incentivazione nell'uso dei riduttori di portata per gli usi civili, anche attraverso premi economici alle Amministrazioni Comunali che ottengono il maggiore differenziale di risparmio annuo (cfr. l'esperienza di Bagnacavallo);
- b) acqua per scarichi igienici ricavati direttamente dai pluviali, o da fonti alternative all'acquedotto (pozzi freatici, cisterne), e quindi imposizione di reti duali nelle nuove costruzioni (direttiva ai comuni, regolamento edilizio, RUE); incentivi per la loro realizzazione negli edifici esistenti pubblici o privati con funzioni idroesigenti importanti (alberghi, ospedali, caserme, scuole);
- c) progettazione di acquedotti che prelevino acque di riciclo o non pregiate da distribuire alle attività produttive (anche agro zootecniche), e contemporaneo censimento e chiusura dei pozzi scavati abusivamente;
- d) usi differenziati dell'acqua secondo la sua qualità idrochimica, quindi reimpiego a cascata delle acque già utilizzate ad esempio nei cicli produttivi;
- e) incentivazioni alla razionalizzazione dei cicli produttivi idroesigenti, tra cui in particolare quelli irrigui (passaggio da scorrimento superficiale o aspersione, a metodi localizzati a bassa



- pressione) come già la Regione sta facendo con discreto successo, magari premiando i comportamenti corretti, anche creando specifici marchi di qualità da immettere sul mercato;
- f) miglioramenti nell'efficienza e gestione delle reti acquedottistiche, già oggi è stato fatto molto nel bolognese, credo ci siano ancora margini di miglioramento ma sono ristretti;
 - g) ricostruzione del legame tra popolazione ed acqua: sotterranea (incentivi all'uso del pozzo freatico come risorsa aggiuntiva per usi non potabili), o superficiale (fiume sotto casa), sia culturalmente, sia attuando percorsi partecipativi, anche attraverso la sistemazione di parchi fluviali.

La politica di risparmio idrico potrebbe trovare, come prima azione a scala provinciale, ma anche solamente tra i 14 comuni coinvolti in questo processo di pianificazione associata, l'introduzione di un incentivo da assegnare alle Amministrazioni che ottengono, in un intervallo temporale di due anni, una diminuzione dei consumi idrici civili superiore al 5%, a parità di popolazione considerata. Il risparmio può essere raggiunto con l'introduzione dei riduttori di portata da applicare ai rubinetti domestici (esperienza di Bagnacavallo), da proporre da parte dei Comuni alla propria popolazione con vari metodi di sensibilizzazione e/o di incentivi alle famiglie (ad esempio una diminuzione dell'ICI ai condomini che ottengano un differenziale di risparmio idrico maggiore del 5% annuo per i primi due anni di applicazione della direttiva). Il controllo dei consumi civili annuali può essere facilmente realizzato attraverso un opportuno controllo dei contatori effettuato da HERA all'inizio ed alla fine di ogni anno di controllo (esperienza di Bagnacavallo).

La possibilità di utilizzare le acque di depurazione può contribuire a realizzare un risparmio idrico non indifferente. La quota di scarico nelle acque di superficie del depuratore di Bologna (circa 25 m slm) limita le possibilità di riutilizzo ad un ristretto quadrante (Castel Maggiore, Funo, Bentivoglio). Una preliminare stima delle necessità industriali presenti in questo quadrante, e dei requisiti idrochimici e biologici dell'acqua per essere utilizzabile, costituisce un passo essenziale per stabilire se procedere o meno all'elaborazione di un progetto di fattibilità di un locale acquedotto industriale.

La politica di risparmio idrico potrebbe vedere il suo avvio con una sperimentazione da attuare proprio nei comuni delle due Associazioni oggetto del presente PSC. La sperimentazione può essere l'oggetto di un distinto accordo istituzionale, i cui soggetti dovrebbero essere, oltre alle due Associazioni, la Provincia di Bologna, ATO, fondato su tempi di attuazione differenziati secondo gli obiettivi.

4.3.3.2 Tutela acque sotterranee

La recente approvazione del PTA apre la stagione della traduzione a livello locale di questo essenziale strumento di controllo e gestione delle acque. Il quadro conoscitivo di questo PSC associato offre, in questo senso, un contributo che può essere utilizzato per articolare le politiche di tutela in direttive per la pianificazione comunale. L'applicazione degli articoli del titolo 5 delle norme del PTC, è da perseguire ovviamente anche in questo PSC associato.

Il PTC riferisce il proprio corpo normativo alla tavola 1 (tutela e pertinenza fluviale) ed alla tavola 3 (Vulnerabilità idrogeologica) allegate al piano stesso, in particolare la vulnerabilità idrogeologica della pianura può essere variata solamente da elaborazioni che vengano prodotte a scala regionale o almeno di bacino. Molto difficile quindi modificare la superficie di applicazione delle tutele come strutturate nel PTC, anche perché non essendo dichiarati i criteri e le informazioni su cui si basano le scelte cartografiche fatte, esse risultano di fatto indiscutibili. Dall'area di tutela resta tuttavia esclusa una porzione di territorio di grande fragilità idrogeologica provocata dall'andamento delle quote piezometriche dinamiche dell'insieme delle falde del conoide del Reno.

La proposta di tutela che facciamo, riferita al territorio indagato, tiene conto del quadro idrogeologico concettuale presentato nella tavola 3 del presente lavoro (allegata fuori testo) e nella figura 2.1.3.1, soprattutto per la conoide del Reno.

➤ *Tutela della falda freatica certamente connessa alle falde profonde oggetto di prelievo idropotabile.*

Si propone di mantenere, per i Comuni di Castel Maggiore ed Argelato, le delimitazioni dell'ampia area di tutela indicata con la lettera "C" nella legenda della cartografia <TAV. 2 -Zonizzazione Idrogeologica-> allegata alla <Analisi idrogeologica e tutele> dei Comuni della Diretrice Nord, Provincia di Bologna 2001. In detta fascia si propone di applicare le tutele indicate nel PTC all'articolo 5.3, estendendole anche a comprendere il divieto alla distribuzione agronomica del letame e delle sostanze ad uso agrario, nonché dei reflui trattati provenienti da civili abitazioni, o da usi assimilabili.

Inoltre si propone che non siano ammesse nuove cave di inerti, a qualunque titolo, i vani e le opere interrato; e che le opere di ingegneria sotterranee non altrimenti eseguibili (sottopassi, gallerie, ...), debbano essere accompagnate da uno studio di impatto idrogeologico. Quest'ultimo, oltre a quantificare l'entità del danno provocato sull'acquifero insaturo e sulle acque sotterranee nel tempo, dovrà concludersi indicando gli accorgimenti necessari a ridurre al minimo l'impatto, anche nella fase di cantiere, oltre che in quella di esercizio.



Si propone che l'ampiezza di questa zona di tutela (la "C" del lavoro citato sopra), delimitata verso est dalla presenza di uno spartiacque idrogeologico, che chiude la zona di richiamo della falda freatica in profondità, sia oggetto di una verifica periodica. Detta verifica consiste nel semplice rilevamento delle quote d'acqua nei pozzi freatici e nella ricostruzione delle isofreatiche così da consentire l'aggiornamento ed adeguamento planimetrico della zona di tutela alla realtà fisica.

Alla Provincia si propone, invece, di estendere questa tutela (almeno quella dell'articolo 5.3 delle norme PTC) anche ai territori interessati dei comuni di Sala Bolognese e Calderara (ampia fascia in sinistra Reno, per la sua parte non già compresa nella zona a vulnerabilità "alta" della tavola 3 del PTCP), secondo quanto riportato nella figura 2.1.3.1, o nella tavola 3 del presente lavoro.

La tutela della falda freatica e della falda di superficie, anche se parzialmente saliente, può essere estesa, senza l'applicazione delle norme del PTC, ma semplicemente per le direttive di seguito elencate.

➤ *Tutela delle falde più vicine alla superficie della pianura a falda prevalentemente libera.*

Si tratta di tutta la porzione meridionale dell'area di studio in destra Reno, cioè l'ampia zona compresa tra i confini amministrativi meridionali dei Comuni dell'Associazione e la linea di separazione tra la falda superficiale libera e quella confinata.

La profondità di realizzazione di eventuali vani interrati è condizionata dalla quota statica della falda locale, che non deve essere superata, essa infatti condiziona anche la quota delle reti di fognatura e scarico. Il superamento del livello piezometrico locale impone l'impermeabilizzazione dei vani, ma, nel tempo, questa inizia a cedere e diviene indispensabile deprimere la quota della falda per mantenere l'uso dei vani interrati. A questo scopo, si solleva l'acqua della falda più superficiale sprestando così energia elettrica, ed immettendo nel reticolo di superficie acqua altrimenti stoccata nei sedimenti, provocando così un considerevole danno pubblico. Si propone che venga presentato, contestualmente alla relazione geologica di edificabilità, anche la definizione del livello statico della falda locale, per tutte le nuove costruzioni che prevedano vani interrati, e che questi ultimi non vengano concessi se incastrati a quote tali da interferire con la quota statica locale.

Il progetto di impegnative opere d'ingegneria sotterranee (sottopassi con la parte sotterranea di lunghezza superiore ai 300 metri, gallerie, ecc.) deve essere accompagnato da uno studio idrogeologico che specifichi le conseguenze

provocate dall'opera sul deflusso della/e falde interferite in termini di sollevamento e di abbassamento ad opera realizzata.

L'utilizzazione dei pozzi freatici (identificabili con la profondità non superiore ai 20 metri) costituisce un importante fattore di tutela della qualità delle acque sotterranee. Infatti la falda freatica, per definizione aperta allo scambio con la superficie, è quella che ha il ricambio maggiore dell'acqua contenuta nello scheletro solido dell'acquifero. Ciò significa che i prelievi dalla falda più superficiale contribuiscono ad aumentare il ricambio delle acque contenute nell'acquifero e a migliorare la pulizia dello stesso scheletro poroso. Se al mantenimento dei prelievi da pozzo si associa la possibilità di incrementare il volume di ricarica si può ottenere un discreto sistema locale di rigenerazione e addirittura miglioramento della qualità delle acque sotterranee.

I prelievi da pozzo devono essere finalizzati ad usi compatibili con la qualità idrochimica verificata a scala locale, le figure da 2.2.5.1 a 2.2.5.8, e più sinteticamente la figura 2.2.6.1, offrono una prima scansione generale anche di questa problematica.

4.3.3.3 Conservazione dei pozzi freatici esistenti

I pozzi freatici devono essere mantenuti nelle condizioni di sicurezza dettate dai relativi regolamenti, e sono tutelati per un uso congruo alla qualità delle acque della falda locale (l'uso potabile deve essere specificamente autorizzato e periodicamente controllato).

L'eventuale chiusura per interrimento di un pozzo freatico, dovrà essere segnalata all'Ufficio Tecnico del Comune in cui è localizzato il pozzo stesso. Prima della chiusura e successivo tombamento, il pozzo dovrà essere bonificato mediante lo svuotamento dell'acqua e l'accurata ripulitura del fondo fino al raggiungimento del sedimento in posto (espurgo anche del fango di fondo).

E' fatto assoluto divieto di utilizzare pozzi freatici a largo diametro (vecchio pozzo con il secchio, in genere di profondità non superiore ai 15 ÷ 20 metri dal p.c.) come "avanpozzo" di prelievi effettuati in acquiferi confinati sottostanti (a profondità superiori ai 20 metri), o comunque di perforare il fondo con nuovi pozzi di piccolo diametro. Questa pratica è particolarmente pericolosa perché apre una via di comunicazione tra la falda freatica, in genere di qualità più scadente, con gli acquiferi confinati sottostanti, più trasmissivi, e sede di falde di migliore qualità.

4.3.3.4 Attivazione di campi di ricarica artificiale della falda superficiale

Dal punto di vista del bilancio idrogeologico, il campo di ricarica può essere collocato in qualunque punto (anche in Comuni diversi) della medesima unità idrogeologica (vedi figure 2.1.3.2; 2.2.6.1) in cui si realizza l'intervento di



impermeabilizzazione, che deve essere compensato. Ma anche in tutte le situazioni in cui sia possibile. Cioè in tutte le situazioni che abbiano i seguenti requisiti: acquifero idoneo, sufficiente distanza da costruzioni esistenti, presenza di possibili concentrazioni di acqua di precipitazione di qualità idonea alle acque del freatico locale, impianti di separazione prima pioggia.

Scopi della realizzazione dei campi di ricarica sono:

- a) compensazione della mancata infiltrazione verticale,
- b) azione di ricambio delle acque della falda superficiale, spesso contaminate, con quelle di precipitazione meteorica, certamente di migliore qualità.

Per quanto concerne il primo obiettivo nella pianura bolognese si avrebbe un'infiltrazione efficace pari al più il 5% della precipitazione pluviometrica annuale (Supino, 1965 ed edizioni successive). La maggior parte della precipitazione infiltrata ritorna in superficie per capillarità, dopo la cessazione della pioggia, i contributi efficaci maggiori si hanno con le precipitazioni nevose. Quindi la parte di precipitazione che si infiltra nel sottosuolo oltre i due metri di profondità, e dunque può giungere alla falda, raramente supera il 5% dell'afflusso annuo, questa quantità è quella che deve essere compensata dagli impianti di ricarica della falda superficiale. La compensazione può dunque essere stimata con facilità: la superficie di un tetto di 200 mq, completamente utilizzato per concentrare l'acqua da immettere in falda, compensa una superficie impermeabilizzata pari a 4.000 mq.

Per quanto concerne il secondo obiettivo, la falda superficiale è quella che può avere il ricambio più rapido (comunque occorrono sempre tempi notevolmente lunghi) attuando prelievi a valle ed immissioni a monte. La conoscenza delle zone contaminate, e la consapevolezza delle cause che le hanno determinate (vedi § 2.2.4 e 2.2.5, con le relative figure), può davvero consentire di attuare nel tempo vere e proprie bonifiche a costi assai contenuti, migliorando così a scala locale la qualità complessiva delle acque sotterranee più vicine alla superficie. Per ottenere questi risultati occorre incentivare i prelievi dai pozzi freatici (rigorosamente entro 15 metri di profondità), e contemporaneamente promuovere le immissioni managari anche solo per sub irrigazione di acque meteoriche di buona qualità

Le aree per cui ha senso proporre la compensazione sono, ovviamente, quelle in cui la falda superficiale è raggiungibile per infiltrazione dal piano di campagna: questa parte della pianura è stata delimitata, con ampio margine di sicurezza, nella tavola idrogeologica allegata fuori testo ed in figura 2.1.3.1 (vedi "Limite falda libera/confinata"). Questa linea è più ampia della delimitazione della carta di vulnerabilità idrogeologica (tavola 3 del PTC) che costituisce il riferimento della normativa provinciale. L'ambito indicato nel PTC è quello in cui con maggiore probabilità si può trovare la condizione necessaria alla realizzazione degli impianti di ricarica del freatico: presenza di un acquifero



idoneo. Tuttavia esiste la possibilità che anche più a settentrione del limite indicato nelle tavole del PTC si possano rinvenire siti idonei come quelli di Castel Maggiore (i.e. a Granarolo, Budrio).

La Provincia dovrebbe promuovere l'attuazione di campi di ravvenamento della falda superficiale anche a compensazione delle nuove impermeabilizzazioni (entro la medesima unità idrogeologica) in luoghi appositamente organizzati e controllati dall'Amministrazione Comunale con pozzi drenanti oppure, se impossibile, con sub irrigazione dimensionata in modo da smaltire l'afflusso calcolato.

Condizioni generali di realizzazione:

- acquifero freatico relativamente vicino alla superficie e dotato di spessore superiore a 3 metri, con rendimento specifico maggiore del 18%;
- distanza da abitazioni proporzionale alla conducibilità dell'acquifero. L'impianto di ricarica artificiale produrrà un cono d'infiltrazione, rilevato verso il piano campagna (sollevamento del tetto del freatico), la cui geometria dipenderà dalla forma dell'opera infiltrante (pozzi <relativamente piccolo>, sub irrigazione <più ampio>, o lago), dal volume d'acqua infiltrata, dalle caratteristiche dell'acquifero locale (immagazzinamento, trasmissività), per questo motivo l'impianto deve avere uno spazio libero da edifici e strutture di almeno un centinaio di metri;
- vicini edifici dotati di coperture non transitabili e non calpestabili, costituite da materiali esenti da processi di lisciviazione: non devono cedere elementi allo scorrimento dell'acqua, anche se leggerissimamente acida (possibile effettuare test di cessione, nei casi dubbi), tubazione sotterranea di trasferimento delle acque continua (tubazioni per acquedotti in cui non sia possibile realizzare immissioni sotterranee), realizzazione impianto di separazione acque di prima pioggia, impianto di separazione dei fanghi e filtraggio, ispezionabile;
- recinzione dell'impianto nel suo insieme, chiuso e gestito da Amministrazione Pubblica.

I calcoli effettuati per la realizzazione simulata di impianti di sub irrigazione nella pianura bolognese, sulla scorta delle modeste informazioni disponibili sulla falda superficiale, dimostrano che il metodo è insufficiente a smaltire l'acqua in ingresso durante le normali piogge. Se quindi si vuole procedere con il ravvenamento per sub irrigazione, l'impianto deve essere provvisto di grandi serbatoi, che poi smaltiscono lentamente l'acqua accumulata verso le tubazioni della sub irrigazione anche nei giorni di assenza di precipitazione. In generale



gli impianti di sub irrigazione hanno efficienza infiltrante troppo modesta per poter essere utilizzati nella pianura dell'area studiata, tranne la zona più meridionale del Comune di Castel Maggiore (vicino al Reno), e forse di Granarolo.

In questo senso appare molto più economico e semplice il ravvenamento tramite batteria di pozzi infiltranti realizzati direttamente dentro l'acquifero di interesse.

4.3.3.5 Controlli e monitoraggio di qualità

Idrochimica degli acquiferi superficiali, attivare un controllo specifico di qualità delle acque con priorità di attuazione e densità dei punti di campionamento differenziata, in funzione della pericolosità delle diverse situazioni idrogeologiche:

- a1 - nelle fasce perimetrali delle zone di maggiore richiamo in profondità della falda già note (vedi § 4.3.3.2, figura 2.1.3.1), per un'ampiezza variabile in relazione alla direzione di deflusso, fino a comprendere l'intera area coinvolta nella ricarica (per i Comuni oggetto dello studio: Castelmaggiore sudovest e Argelato sud, Budrio sud – Prunaro-);
- a2 - nelle aree ad insediamento denso, se dotate di reti di fognatura vecchie, e/o derivate da consorzi industriali privati, poste immediatamente a nord di Bologna entro la zona a prevalente falda freatica (per i Comuni oggetto dello studio: Castel Maggiore, Argelato, Bentivoglio, S. Giorgio di Piano, Granarolo, Minerbio, Budrio);
- a3 – il restante territorio di pianura provinciale.

Controllo degli scarichi nel suolo e in acque di superficie, controllo di buona officiosità delle reti di collettamento, controllo più rigoroso nelle aree caratterizzate da forte abbassamento del freatico, oltre i 15 metri dal p.c. (fascia del Reno, vedi § 4.3.3.2), cioè nelle aree in cui non sempre sono presenti le acque sotterranee del freatico, ma è presente l'acquifero privo di protezione naturale, e nelle aree residenziali ed industriali. Attuazione prioritaria della separazione bianche – nere (se non già realizzata), divieto di nuovi scarichi nel e sul suolo.

Sulla scorta dei controlli effettuati realizzare una rete stabile di monitoraggio del freatico, almeno per le aree a maggiore sensibilità e pericolosità per le falde ad uso idropotabile.



4.3.3.6. Incentivazione al miglioramento delle reti di collettamento

Nelle aree industriali ed in quelle densamente insediate, il controllo di qualità delle acque del freatico sarà impostato con il prelievo di campioni sia a monte, sia a valle dell'insediamento, nella direzione di deflusso della falda. Se le analisi dimostreranno una significativa perdita di qualità delle acque sotterranee, verrà impostato un monitoraggio per il tempo indispensabile a verificare il reale e permanente stato di variazione di qualità delle acque di falda (al minimo quattro stagioni).

Tutte le aree in cui il monitoraggio dimostri la perdita di qualità delle acque sotterranee nella direzione di deflusso, l'Ente Gestore dovrà verificare la reale impermeabilità delle reti di collettamento se già separate, oppure procedere con lo sdoppiamento (la priorità dell'azione di controllo e di intervento è proposta nell'art. precedente).

**ALLEGATO:****MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI****CIRCOLARE 16 dicembre 1999 n. 349/STC D.P.R. n. 246 del 21.4.93, art. 8 comma 6 –
Concessione ai laboratori per lo svolgimento delle prove geotecniche sui terreni e sulle
rocce ed il rilascio dei relativi certificati ufficiali.**

Il D.P.R. n.246 del 21.04.93 di attuazione della Direttiva 89/106 CEE sui prodotti da costruzione, al comma 6 dell'art.8 che tratta degli organismi di certificazione, ispezione e prova e del loro accreditamento, nel precisare che "*Restano ferme le competenze del Ministero dei lavori pubblici e del Consiglio Superiore dei lavori pubblici per l'applicazione dell'art.20 della legge 5 novembre 1971 n.1086*", ha prescritto che "L'autorizzazione prevista da detto articolo riguarderà altresì le prove geotecniche sui terreni e sulle rocce".

Per il settore delle prove geotecniche l'attività di esecuzione di prove in sito e/o in laboratorio è stata finora svolta al di fuori di qualsiasi controllo, da parte di questo Ministero o di altri organismi dello Stato, che potesse garantire una sufficiente affidabilità ai risultati forniti.

Il progresso delle conoscenze maturate sia in ambito scientifico nazionale ed internazionale che durante l'esecuzione di importanti opere di ingegneria, ha sempre più evidenziato l'importanza che riveste la corretta esecuzione delle prove geotecniche al fine di garantire la necessaria affidabilità alla caratterizzazione del comportamento meccanico dei terreni, sia per la sicurezza delle opere che per le relative valutazioni di carattere economico. Tali esigenze, atteso anche il moltiplicarsi di strutture operanti in questo settore, alcune delle quali prive di qualsiasi sistema di controllo di qualità, hanno reso sempre più necessaria l'introduzione di una regolamentazione tecnico-amministrativa anche per i laboratori geotecnica.

Nell'ambito del nuovo quadro normativo si rende pertanto necessaria la definizione di una apposita circolare che indichi i requisiti richiesti nonché le modalità istruttorie finalizzate al rilascio della concessione ai laboratori che svolgono prove geotecniche sui terreni e sulle rocce.

Per quanto attiene i contenuti della suddetta Circolare, il cui testo è qui allegato, si precisa che la concessione è stata articolata in tre settori: quello delle prove di laboratorio sui terreni, quello delle prove di laboratorio sulle rocce ed infine quello delle prove geotecniche in sito. L'istanza di concessione potrà riferirsi ad uno o più settori di prove.

Sono state elencate, per ciascun settore le prove che ogni laboratorio deve essere in grado di eseguire. In particolare per quel che riguarda le terre, sono state inserite le prove di riconoscimento e determinazione delle proprietà indice per la classificazione delle stesse, le principali prove di caratterizzazione del comportamento meccanico dei terreni, le prove di permeabilità, nonché le prove di compattazione. Non sono state contemplate le prove di carattere dinamico sui terreni.

Per le rocce sono state inserite le principali prove di riconoscimento e classificazione, nonché le più comuni prove di tipo meccanico.

Per quanto riguarda le prove in sito, trattandosi di un settore articolato e complesso, sono state previste soltanto alcune delle prove geotecniche in sito più diffuse e per le quali esiste un consolidato bagaglio di conoscenze tecniche.



I requisiti soggettivi ed oggettivi richiesti per il rilascio delle concessioni, sono stati specificati in dettaglio, precisando anche i casi di incompatibilità con l'attività del soggetto gestore del laboratorio.

In particolare, per i casi in cui nel capitale sociale o fra gli amministratori vi siano soggetti in qualche modo coinvolti nell'industria delle costruzioni, è stata introdotta la figura del "garante", il quale certifica, attraverso la sua azione di controllo, la correttezza dell'operato del laboratorio, contribuendo ad assicurare il rispetto delle condizioni di imparzialità, indipendenza ed integrità del laboratorio stesso. Il garante, di provata esperienza e riconosciuta autorevolezza, viene proposto dal laboratorio ed è soggetto al gradimento dell'Amministrazione.

Sono stati definiti i requisiti richiesti al direttore del laboratorio ed al personale, nonché le caratteristiche di idoneità dei locali.

Sono state, infine, specificate in dettaglio le procedure tecnico-amministrative da seguire nell'attività di prova e certificazione.

Alla circolare sulle prove geotecniche è allegato infine un elenco delle norme di riferimento. In particolare per quanto attiene le prove geotecniche sui terreni, sono state richiamate le *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio*, recentemente (1994) messe a punto dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), una serie di norme C.N.R./UNI che sono tuttora ritenute valide, nonché le raccomandazioni dell'A.G.I. per lo svolgimento delle prove in sito che, seppur datate 1977, rappresentano a tutt'oggi un valido riferimento.

Per tutto ciò che riguarda le prove sulle rocce, nella circolare si è scelto di fare riferimento alle raccomandazioni messe a punto dalla I.S.R.M. (International Society of Rock Mechanics), alcune delle quali sono state recentemente pubblicate in traduzione italiana sulla Rivista Italiana di Geotecnica.

Infine, per tutte le altre prove, per le quali non esistono documenti di normalizzazione italiani, si è ritenuto di consigliare come riferimento le norme British Standard e A.S.T.M. che provengono da paesi in cui l'attività relativa al settore geotecnico, e quindi la normativa relativa, sono certamente ben aggiornate.

ALLEGATO

CIRCOLARE 16 dicembre 1999 n. 349/STC

D.P.R. n. 246 del 21.4.93, art. 8 comma 6 – Concessione ai laboratori per lo svolgimento delle prove geotecniche sui terreni e sulle rocce ed il rilascio dei relativi certificati ufficiali.

PARTE I

1) PREMESSE

Ai sensi dell'art. 8 comma 6 del D.P.R. n. 246 del 21.4.93, il Ministro dei lavori pubblici ha la facoltà di rilasciare, con apposito decreto, concessioni ad emettere certificazioni ufficiali relative all'esecuzione di prove geotecniche sui terreni e sulle rocce per la determinazione delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo, secondo quanto previsto ai punti A.2 e B.2 del D.M. 11/3/88 relativo alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Si rende necessaria in tal senso la definizione di una regolamentazione tecnico-amministrativa per assicurare un adeguato livello qualitativo alle prove geotecniche e per conferire loro carattere di certificazione ufficiale.

Scopo della presente circolare è pertanto la definizione dei requisiti richiesti ai laboratori geotecnici al fine di garantire condizioni di qualità, affidabilità ed indipendenza; ciò anche tenendo conto degli orientamenti europei in materia.

2) CAMPO DI APPLICAZIONE DELLA CIRCOLARE

Con riferimento al combinato disposto dal comma 6 dell' art. 8 del D.P.R. n.246/93 e dal punto c) dell'art.1 della legge 2.02.74 n. 64 e relative Norme tecniche, le concessioni disciplinate dalla presente Circolare riguardano i seguenti settori di prova e certificazione:

- a) prove di laboratorio sui terreni;
- b) prove di laboratorio sulle rocce;
- c) prove in sito.

La richiesta di concessione potrà riguardare uno o più settori fra quelli sopra indicati.

Le prove specifiche di ciascun settore sono elencate nella parte II della presente circolare.

I laboratori autorizzati per lo svolgimento e la certificazione delle prove geotecniche devono essere in grado di effettuare, elaborare e certificare tutte le prove geotecniche elencate nella parte II per i settori prescelti, ed essere dotati delle relative apparecchiature ed i macchinari indicati nella stessa parte II. Nell'istanza i laboratori possono chiedere l'estensione della concessione anche ad altre prove geotecniche non comprese negli elenchi.

3) SOGGETTO GESTORE

(omissis)

4) REQUISITI RICHIESTI ALL'ATTO DELL'ISTANZA

(omissis)



5) DOCUMENTAZIONE DA ALLEGARE ALL'ISTANZA

(omissis)

6) ISTRUTTORIA E CONTROLLI

(omissis)

7) DURATA E RINNOVO DELLA CONCESSIONE

(omissis)

8) SOSPENSIONE E REVOCA DELLA CONCESSIONE

(omissis)

9) DISPOSIZIONI TRANSITORIE

(omissis)

PARTE II

A - ELENCO DELLE PROVE PER LE QUALI E' RICHIESTA CERTIFICAZIONE UFFICIALE

1 PROVE DI LABORATORIO SUI TERRENI

(omissis)

2 PROVE DI LABORATORIO SULLE ROCCE

(omissis)

3 PROVE IN SITO

3.1 PERFORAZIONI

3.1.1 Perforazione a rotazione per il carotaggio continuo o a distruzione di nucleo;

3.1.2 Prelievo di campioni indisturbati (a pressione e a rotazione) e a disturbo limitato;

3.2 PROVE DI PERMEABILITA'

3.2.1 Rilievi di falda nel sondaggio e installazione di piezometri;

3.2.2 Prova di pompaggio con foro centrale e piezometri disposti a raggiera;

3.2.3 Prove di permeabilità in foro nei terreni (prove Lefranc);

3.2.4 Prova di permeabilità in foro nelle rocce (Prova Lugeon);

3.3 PROVE DI DEFORMABILITA' E RESISTENZA MECCANICA

3.3.1 Prove penetrometriche statiche;

3.3.1.a) Prove con punta meccanica;

3.3.1.b) Prove con punta elettrica;

3.3.2 Prove con piezocono;

3.3.3 Prove penetrometriche dinamiche;

3.3.3.a) Standard Penetration Test (S.P.T.);

3.3.3.b) Continue a punta chiusa (S.C.P.T.);

3.3.4 Prove scissometriche (vane test);

3.3.5 Prove di carico su piastra;

3.3.6 Misura del peso dell'unità di volume;

3.3.6.a) Volumometro a sabbia;

3.3.6.b) Volumometro a palloncino (acqua);



3.3.7 Prova per la determinazione dell'indice C.B.R.

3.4 ALTRE PROVE IN SITO SULLE ROCCE

- (* 3.4.1 Prova di carico con piastra su roccia;
- (* 3.4.2 Prova con dilatometro;
- (* 3.4.3 Prova con martinetto piatto in parete;
- (* 3.4.4 Prova di taglio diretto in sito;
- (* 3.4.5 Prova di fratturazione idraulica;
- (* 3.4.6 Prova di resistenza al punzonamento (point load strength);

3.5 ALTRE PROVE IN SITO

- (* 3.5.1 Prove dilatometriche;
- (* 3.5.2 Prove pressiometriche:
 - 3.5.2.a) con pressiometro tradizionale;
 - 3.5.2.b) con pressiometro autoperforante
- (* 3.5.3 Prova di carico su pali;

Le attrezzature per lo svolgimento delle prove contrassegnate da asterisco, seppure auspicabili, non sono da ritenersi obbligatorie.

B ELENCO DELLE ATTREZZATURE

Tutte quelle necessarie all'esecuzione delle prove di cui sopra e comunque almeno:

1 Prove di laboratorio sui terreni

(omissis)

2 Prove di laboratorio sulle rocce

(omissis)

3 Prove in sito

- 3.01 n.2 sonde a rotazione complete di pompa per fluido di circolazione e di pompa ad alta pressione per campionamento, di aste di perforazione e di tubazione di rivestimento provvisorio, di campionatori tipo semplice e doppio, tipo Shelby, Osterberg e Denison; le sonde devono avere capacità di perforazione rispettivamente fino a 30 e 50 m;
- 3.02 accessori vari : freatimetro, scandaglio, pocket penetrometer, torvane ed una dotazione di non meno di 20 fustelle portacampioni;
- 3.03 attrezzatura per prova scissometrica;
- 3.04 attrezzatura per prova penetrometrica statica con penetrometro meccanico con capacità di spinta non inferiore a 200 KN;
- 3.05 sistema per prove penetrometriche statiche con punta elettrica e con piezocono, con controllo della verticalità;
- 3.06 attrezzatura per prove S.P.T.;
- 3.07 attrezzatura per prova S.C.P.T.;
- 3.08 attrezzatura per prove di carico con piastre di diametro compreso tra 30 e 75 cm, completa di tutte le apparecchiature per la misura degli spostamenti;
- 3.09 martinetto per l'applicazione dei carichi;
- 3.10 attrezzatura per la misura della densità in sito;

Tutte le attrezzature devono essere conservate con cura; debbono essere altresì attuate appropriate procedure periodiche di manutenzione.

Per perforazioni di profondità superiore, e per eventuale necessità di elettropompe sommerse per prove di pompaggio, il laboratorio può utilizzare anche attrezzature non di proprietà del



laboratorio stesso, rimanendo comunque direttamente responsabile dell'esecuzione dei sondaggi e delle prove.

Per ogni attrezzatura importante di prova e di misura deve essere tenuta aggiornata una scheda che deve riportare:

- a) il nome dell'attrezzatura;
- b) il nome del fabbricante, l'identificazione del tipo ed il numero di serie;
- c) la data di ricevimento, di installazione e di inizio dell'attività;
- d) la collocazione abituale;
- e) lo stato al momento del ricevimento (nuova, usata, ..);
- f) i dettagli sulle manutenzioni effettuate;
 - g) la storia dei danni subiti, di tutti i malfunzionamenti relativi, di tutte le eventuali modifiche apportate, di tutte le riparazioni effettuate;
 - h) il programma di taratura e di controllo nel tempo, e tutte le conseguenti operazioni.

B1 ELENCO DELLE ATTREZZATURE PREVISTE IN FASE TRANSITORIA

1 Prove di laboratorio sui terreni

(omissis)

2 Prove di laboratorio sulle rocce

(omissis)

3 Prove in sito

3.01 n.1 sonda a rotazione completa di pompa per fluido di circolazione e di pompa ad alta pressione per campionamento, di aste di perforazione e di tubazione di rivestimento provvisorio, di campionatori tipo semplice e doppio, tipo Shelby, Osterberg e Denison; la sonda deve avere capacità di perforazione almeno fino a 30 m;

3.02 accessori quali: freatimetro, scandaglio, pocket penetrometer, torvane ed una dotazione di fustelle portacampioni per sonda;

3.03 attrezzatura per prova scissometrica;

3.04 attrezzatura per prova penetrometrica statica con penetrometro meccanico con capacità di spinta non inferiore a 200 KN.

3.05 sistema per prove penetrometriche statiche con punta elettrica e con piezocono, con controllo della verticalità;

3.06 attrezzatura per prove S.P.T.;

3.07 attrezzatura per prova continua S.C.P.T.;

3.08 attrezzatura per prove di carico con piastre di diametro compreso tra 30 e 75 cm, completa di tutte le apparecchiature per la misura degli spostamenti;

3.09 martinetto per l'applicazione dei carichi;

3.10 attrezzatura per la misura della densità in sito;

Tutte le attrezzature devono essere conservate con cura; debbono essere attuate appropriate procedure periodiche di manutenzione.

Per perforazioni di profondità superiore, e per eventuale necessità di elettropompe sommerse per prove di pompaggio, il laboratorio può utilizzare anche attrezzature non di proprietà del laboratorio stesso, rimanendo comunque direttamente responsabile dell'esecuzione dei sondaggi e delle prove.

Per ogni attrezzatura importante di prova e di misura deve essere tenuta aggiornata una scheda nella quale si deve riportare:

- a) il nome dell'attrezzatura;



- b) il nome del fabbricante, l'identificazione del tipo ed il numero di serie;
- c) la data di ricevimento, di installazione e di inizio dell'attività;
- d) la collocazione abituale;
- e) lo stato al momento del ricevimento (nuova, usata, ..);
- f) i dettagli sulle manutenzioni effettuate;
 - g) la storia dei danni subiti, di tutti i malfunzionamenti relativi, di tutte le eventuali modifiche apportate, di tutte le riparazioni effettuate;
 - h) il programma di taratura e di controllo nel tempo, e tutte le conseguenti operazioni.

C LOCALI

(omissis)

D DIRETTORE E PERSONALE DEL LABORATORIO

(omissis)

Direttore:

(omissis)

Personale del laboratorio

(omissis)

Riservatezza e sicurezza

(omissis)

Imparzialità, indipendenza e integrità

(omissis)

E GARANZIA DI QUALITA'

(omissis)

Metodi di prova e procedure

(omissis)

Certificati di prova

(omissis)

Per le prove in sito, al rapporto di prova va allegata una corografia in scala opportuna in cui siano indicate l'ubicazione della zona di indagine ed una planimetria in scala opportuna con l'indicazione planoaltimetrica dei punti di indagine.

(omissis)

Inoltre, specificatamente per le prove in sito:

- a) l'ubicazione dettagliata dei punti di indagine (corografia e planimetria di dettaglio) ;
- b) l'identificazione della specifica di prova o la descrizione del metodo o della procedura di prova;
- c) l'attrezzo di perforazione, il metodo di perforazione ed il tipo di rivestimento;
- d) per le prove penetrometriche e per le prove scissometriche il tipo e le caratteristiche dell'attrezzatura;
- e) la descrizione, se necessario della procedura di campionamento;
- f) il rilievo stratigrafico con la data di inizio e di fine della perforazione, il diametro di perforazione, il diametro degli eventuali rivestimenti, i campioni prelevati ed il tipo di campionatore usato, la profondità e la data di prelievo;



g) il rilievo della falda nel corso della perforazione.

(omissis)

Manipolazione dei campioni e degli oggetti sottoposti a prove

(omissis)

F GARANTE ESTERNO

(omissis)

G DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALLA GESTIONE DEL LABORATORIO

(omissis)

H RIFERIMENTI NORMATIVI

Le prove oggetto della presente circolare devono essere eseguite in ottemperanza ai seguenti riferimenti normativi:

- R.D. n. 2232 del 16.11.39 "Norme per l' accettazione delle pietre naturali da costruzione";
- R.D. n. 2234 del 16.11.39 "Norme per l' accettazione dei materiali per pavimentazioni";
- A.G.I. (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";
- A.G.I. (1994) - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio";
- CNR UNI 10008/64 "Prove sui materiali stradali. Umidità di una terra";
- CNR UNI 10009/64 "Prove sui materiali stradali. Prova C.B.R.";
- CNR UNI 10010/64 "Prove sulle terre. Peso specifico di una terra";
- CNR UNI 10013/64 "Prove sulle terre. Peso specifico dei grani";
- CNR UNI 10014/64 "Prove sulle terre. Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra".
- I.S.R.M. (1974) "Determinazione della resistenza a taglio in laboratorio ed in situ";
- I.S.R.M. (1975) "Indagini tecniche in sito";
- I.S.R.M. (1978) "Determinazione della resilienza dell' abrasività e della resistenza all' abrasione delle rocce" (IJRMMS, 15, 89-97);
- I.S.R.M. (1978) "Determinazione della resistenza a trazione dei materiali rocciosi" (IJRMMS, 15, 99-103);
- I.S.R.M. (1978) "Descrizione quantitativa delle discontinuità negli ammassi rocciosi" (IJRMMS, 15, 319-368) - in traduzione italiana sulla R.I.G. 2/93;
- I.S.R.M. (1979) "Determinazione della resistenza a compressione uniassiale e della deformabilità dei materiali rocciosi" (IJRMMS, 16, 135-140) - in traduzione italiana sulla R.I.G. 3/93;
- I.S.R.M. (1979) "Determinazione di : Contenuto d' acqua, porosità, densità, imbibizione e proprietà relative, rigonfiamento, indici di durezza" (IJRMMS, 16, 141-156);
- I.S.R.M. (1979) "Determinazione della deformabilità in situ della roccia con prove di carico su piastra in superficie ed in foro" (IJRMMS, 16, 195-214) - in traduzione italiana sulla R.I.G. 4/93.
- I.S.R.M. (1981) "Descrizione geotecnica degli ammassi rocciosi" (IJRMMS, 18, 85-110);
- I.S.R.M. (1983) "Determinazione della resistenza di materiali rocciosi in prove di compressione triassiale" (IJRMMS, 20, 283-290);
- I.S.R.M. (1985) "Determinazione della resistenza a carico puntuale (Point Load Test)" (IJRMMS, 22, 51-60) - in traduzione italiana sulla R.I.G. 1/94;
- I.S.R.M. (1988) "Determinazione della tenacità della roccia" (IJRMMS, 25, 71-96) - in traduzione italiana sulla R.I.G. 3/93;



I.S.R.M. (1989) "Prove di laboratorio su rocce argillitiche rigonfianti (IJRMMS, 26, 415-426);

I.S.R.M. (1989) "Prelievo di grandi campioni e prove triassiali su rocce fratturate" (IJRMMS, 26, 427-434);

Per tutte le prove non comprese nei riferimenti normativi predetti potrà farsi riferimento ad altre normative tecniche ed in particolare ai seguenti riferimenti normativi:

- U.K. (Gran Bretagna) - B.S. 1377 - B.S. 5930
- U.S.A. - A.S.T.M.

Per le prove per le quali non è disponibile una normativa italiana o straniera di riferimento nel certificato di prova si deve esporre il processo decisionale che ha portato all'adozione della particolare procedura di prova e l'eventuale letteratura scientifica di riferimento.

INDICE DELLE SIGLE RELATIVE ALLA NORMATIVA

A.G.I.=Associazione Geotecnica Italiana;

I.S.R.M.=International Society of Rock Mechanics;

IJRMMS=International Journal of Rock Mechanics & Mining Science & Geomechanical Abstract - Pergamon Press;

R.I.G.=Rivista Italiana di Geotecnica - Napoli;

B.S.=British Standard;

A.S.T.M.=American Society of Testing Materials.