

Fig. 34 - Carta della SDEQ riclassificata in 4 classi. NC = non classificata (area di affioramento del complesso dei flysch non considerata perché interessata da circolazione idrica sotterranea discontinua e localizzata); B = bassa; M = media; A = alta; E = elevata.  
 - SDEQ map reclassified in 4 classes. NC = not classified (flysch outcropping area not considered because characterized by discontinuous and localised groundwater flow); B = low; M = medium; A = high; E = very high.

Il confronto tra i punti della rete selezionati tramite la procedura e quelli selezionati dalla procedura GIS è evidenziato in figura 38. Il numero differente di punti delle due reti rende il confronto poco agevole, tuttavia si possono trarre le seguenti considerazioni:

- la rete selezionata attraverso la procedura GIS ha una distribuzione spaziale più omogenea rispetto alla rete esecutiva, con densità che aumenta con l'aumentare della SDEQ;
- la procedura GIS opera una discretizzazione dello spazio attraverso l'imposizione di griglie polidimensionali, per cui la valutazione dei punti avviene in modo discreto all'interno di ciascun elemento di griglia; la procedura empirica viceversa ha una visione continua e meno oggettivizzata dello spazio. Ne risulta che talvolta i punti scelti con i due metodi sono vicini ma non coincidenti (ad esempio nella zona del litorale);
- la procedura GIS non tiene conto al

momento di punti contigui con chimismo diverso: si potrebbe ovviare a tale criticità con un'implementazione che tenga conto delle diverse facies idrochimiche;

Da queste considerazioni risulta evidente che il risultato ottenuto in ambiente GIS può essere facilmente modificato alla luce di considerazioni basate sulla conoscenza generale dell'area in esame e di situazioni particolari non immediatamente schematizzabili nella procedura. D'altra parte questa deve essere calibrata accuratamente affinché l'algoritmo si adatti il più possibile all'assetto idrogeologico dell'area in esame.

## 8. - VALUTAZIONE DELLO STATO DELLE RISORSE

A conclusione della ricerca è possibile fornire alcune valutazioni sullo stato delle risorse idriche

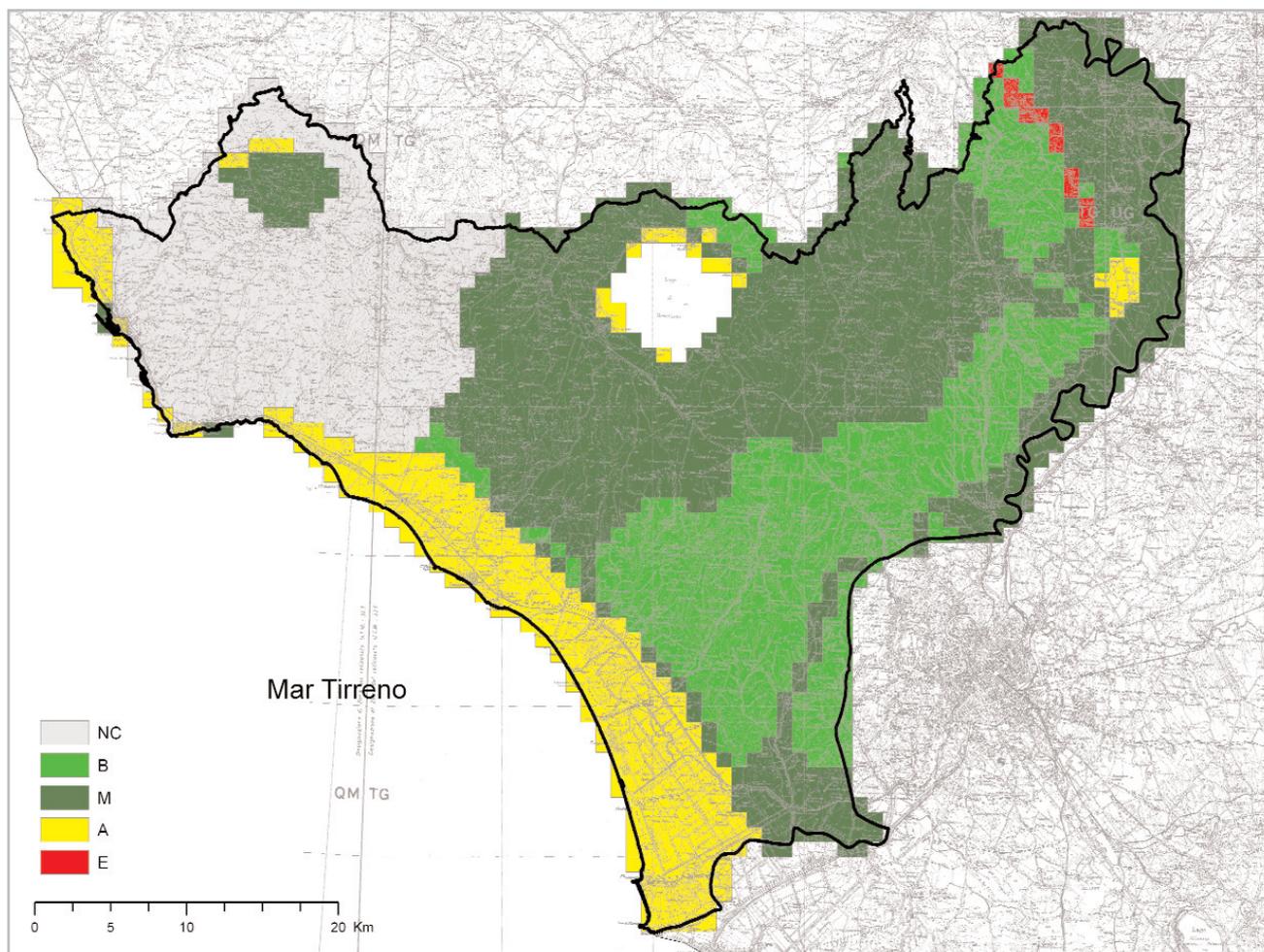


Fig. 35 - Carta della SDEQ generalizzata (mediante *ArcGis Spazial Analyst*) in macroaree omogenee. NC = non classificata (area di affioramento del complesso dei flysch non considerata perché interessata da circolazione idrica sotterranea discontinua e localizzata); B = bassa; M = media; A = alta; E = elevata.  
 - SDEQ map generalized by means of *ArcGIS Spatial Analyst* tools to identify homogeneous vulnerability macroareas. NC = not classified (flysch outcropping area not considered because characterized by discontinuous and localised groundwater flow); B = low; M = medium; A = high; E = very high.

sotterranee dell'area di studio quali applicazioni dirette, ancorché preliminari, dei risultati derivanti dall'individuazione della rete di monitoraggio. Le valutazioni, che ovviamente scontano i limiti insiti nel carattere metodologico e dimostrativo delle attività, sono state effettuate secondo criteri in linea col Dlgs. 152/1999 (nonché con il recente Dlgs 152/2006) per la definizione dello stato di qualità ambientale e col Dlgs. 31/2001 per l'idoneità all'uso potabile.

A tale scopo sono stati presi in considerazione i dati sperimentali acquisiti per i punti d'acqua selezionati per la cosiddetta rete esecutiva nella prima campagna di misure. I risultati delle determinazioni effettuate in campagna ed in laboratorio sono contenuti nel CD-ROM in tasca di copertina.

In particolare, per la valutazione dello stato chimico di qualità ambientale delle acque sotterranee sono stati considerati i parametri di base previsti nella tabella 20 dell'Allegato 1 del Dlgs.

152/1999 (Conducibilità elettrica, Cl, Mn, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ad eccezione del NH<sub>4</sub> e del Fe), e alcuni fra i parametri addizionali inorganici di tabella 21 dello stesso Decreto (NO<sub>2</sub>, F, As, B, Ba).

Queste tabelle permettono di attribuire le classi qualitative ai punti considerati in base al valore di concentrazione dei parametri citati. Come ben noto, il Decreto prevede una classificazione in 4 classi con impatto antropico da "nullo" (Classe 1) a "rilevante" (Classe 4); inoltre è prevista la Classe 0 nel caso in cui i limiti indicati vengono superati per cause naturali.

In mancanza di dati adeguati per la definizione dello stato quantitativo, attraverso l'attribuzione delle classi, ci si è limitati ad alcune considerazioni, utili ai sensi del Decreto citato, sui punti d'acqua (26 pozzi e 30 sorgenti) per i quali si disponeva di informazioni sui livelli idrici o sulla portata erogata, riportati nel CD-ROM in tasca di copertina.

Per la definizione della qualità delle acque ai

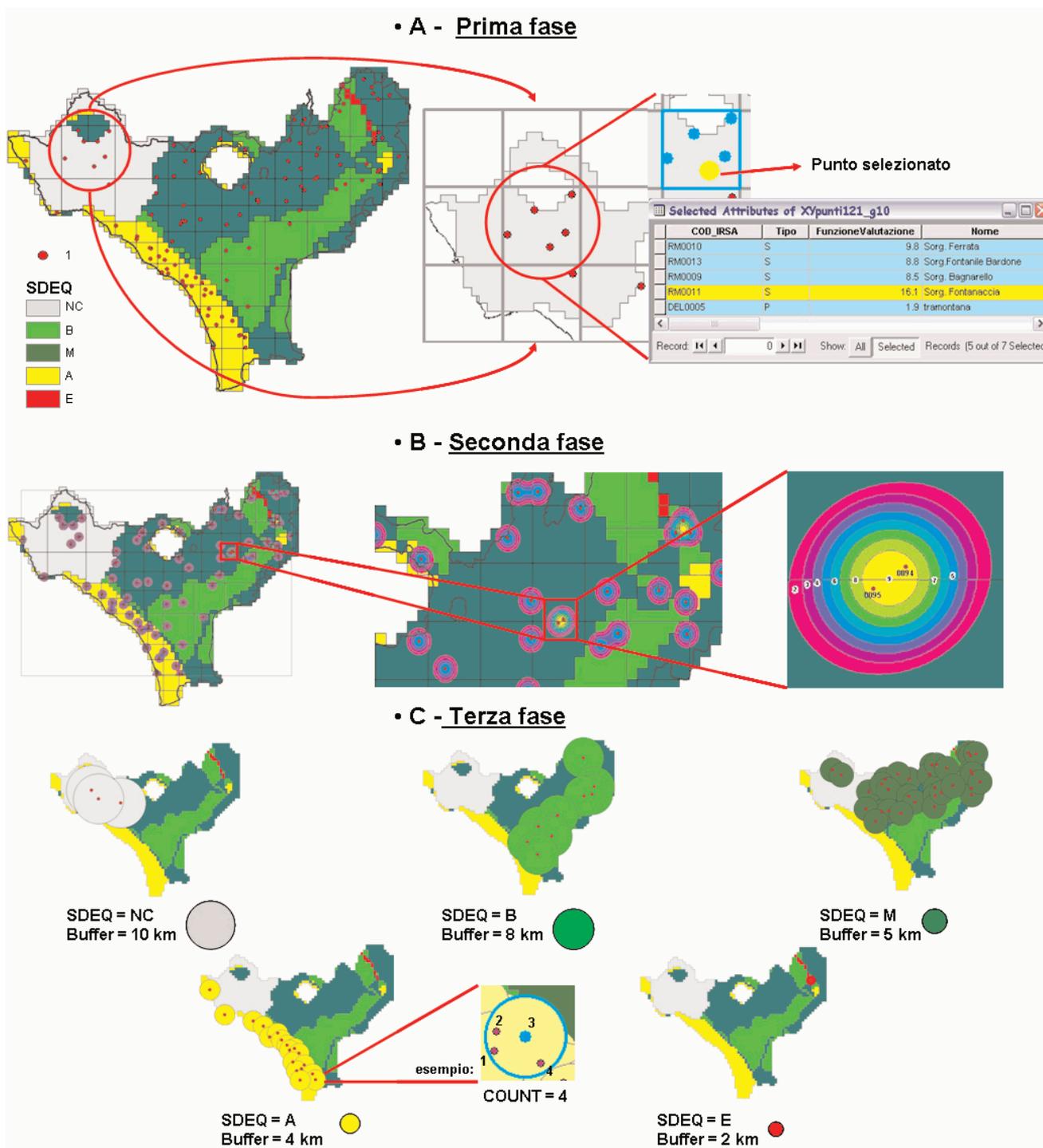


Fig. 36 - Fasi della procedura (GIS) di selezione della rete nella procedura GIS.

A) Prima fase. Analisi della distribuzione di punti mediante griglie di dimensioni variabili (10, 8, 5, 4, 2 km) applicate alla carta della SDEQ generalizzata; 1 = punti di campionamento; SDEQ: NC = Non Classificata; B = Bassa; M = Media; A = Alta; E = elevata.

B) Seconda fase. Analisi di densità.

C) Terza fase. Analisi di prossimità mediante buffer con raggio differenziato (10, 8, 5, 4, 2 km) in funzione della SDEQ.

- Phases of the network selection (GIS procedure).

A) First phase. Point distribution analysis by means of square grids in which cell size differs as a function of SDEQ. 1 = sampling points; SDEQ: NC = not classified; B = Low; M = Medium; A = High; E = Very High.

B) Second phase. Density analysis.

C) Third phase. Proximity analysis by means of the buffer tool with radius (10, 8, 5, 4, 2 km), decreasing with the SDEQ.

TAB. 19 - *Passo delle griglie applicate alle diverse classi della SDEQ.*

- Mesh size of the grids applied to the different classes of SDEQ and pertinent main lithologies.

Classe SDEQ	Litologia predominante	Passo della griglia (Km)
NC	flysch	10
B	sedimentario	8
M	vulcaniti, valle del Tevere	5
A	litorale	4
E	calcere del Monte Soratte	2

fini potabili sono stati considerati gli analiti As, B, F, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e V, indicati come “parametri chimici” e le relative soglie o limiti di potabilità indicati nell’Allegato 1 del Dlgs. 31/2001.

#### 8.1. - DEFINIZIONE DELLO STATO DI QUALITÀ AMBIENTALE

##### *Aspetti qualitativi*

Con riferimento allo schema di classificazione dello stato qualitativo si osserva che (fig. 39):

- a) per quello che riguarda i soli parametri di base:
- i. 1 solo punto rientra nella “Classe 1”;
  - ii. 27 sono in “Classe 2” prevalentemente a causa di valori elevati di conducibilità, nitrati, cloruri, solfati e manganese, da soli o associati;
  - iii. 3 ricadono in “Classe 3” a causa dei nitrati;
  - iv. 19 ricadono in “Classe 4” per la presenza di manganese, nitrati, cloruri e per la conducibilità elevata.

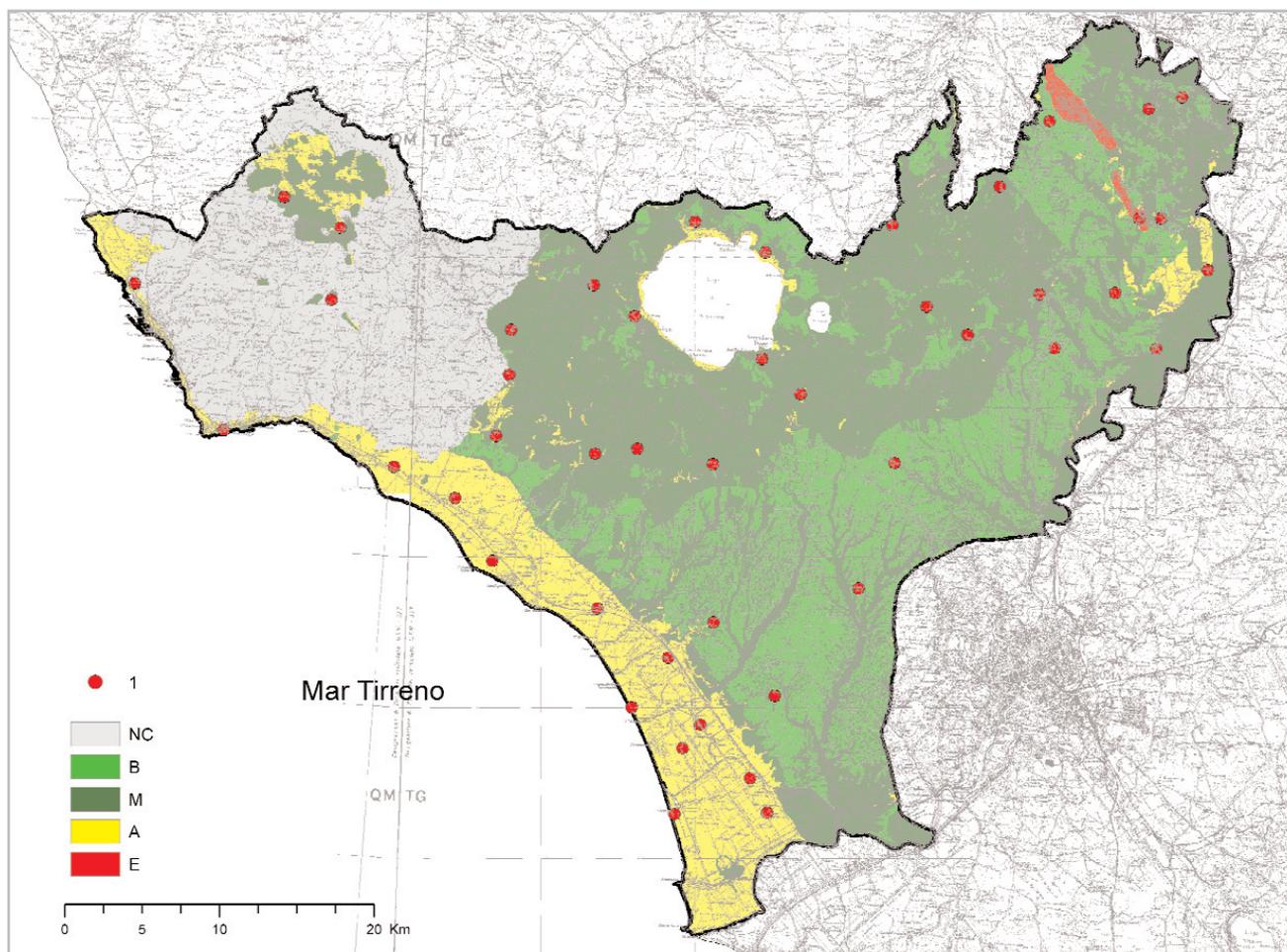


Fig. 37 - Ubicazione dei 46 punti selezionati dalla procedura GIS sulla carta della SDEQ. 1 = punti della rete; SDEQ: NC = Non Classificata (area di affioramento del complesso dei flysch non considerata perché interessata da circolazione idrica sotterranea discontinua e localizzata); B = Bassa; M = Media; A = Alta; E = Elevata. - *Location of the 46 points selected by the GIS procedure on the SDEQ map. 1 = network points; SDEQ: NC = Not Classified (flysch outcropping area not considered because characterized by discontinuous and localised groundwater flow); B = Low; M = Medium; A = High; E = Very high.*

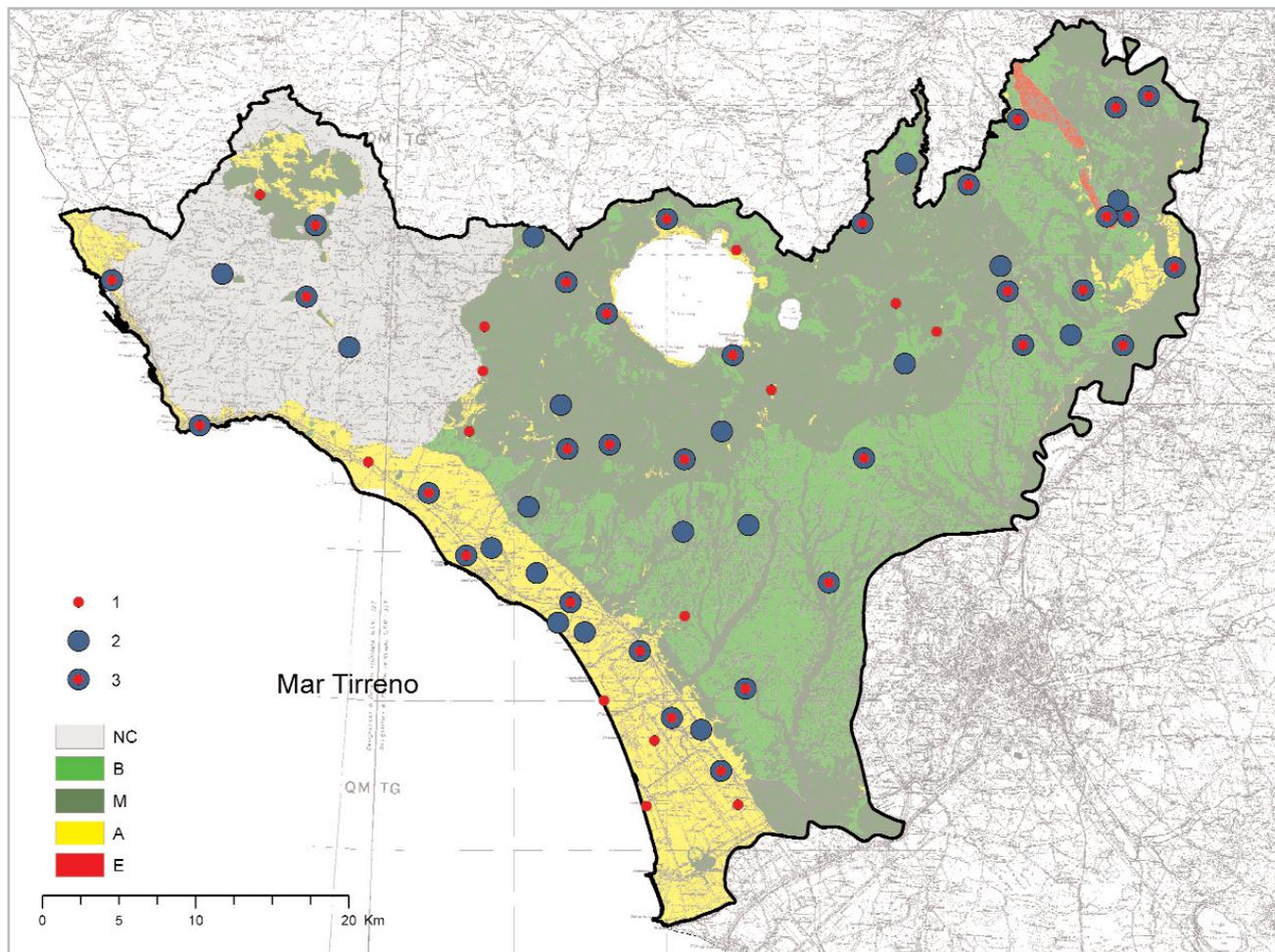


Fig. 38 - Confronto tra i punti selezionati nella rete di monitoraggio manuale e quelli ottenuti attraverso la procedura GIS. 1: punti selezionati solo dalla procedura (46); 2: punti selezionati solo nella rete di monitoraggio manuale (50); 3: punti selezionati da entrambe le procedure (37). SDEQ: NC = Non Classificata (area di affioramento del complesso dei flysch non considerata perché interessata da circolazione idrica sotterranea discontinua e localizzata); B = Bassa; M = Media; A = Alta; E = Elevata.

- Comparison of the points selected in the operational monitoring network and those selected by means of the GIS procedure. 1: points selected only by means of the GIS procedure; 2: points selected only in the operational monitoring network; 3: points selected by both procedures. SDEQ: NC = Not Classified (flysch outcropping area not considered because characterized by discontinuous and localised groundwater flow); B = Low; M = Medium; A = High; E = Very high.

b) per quello che riguarda i parametri addizionali in ben 35 punti d'acqua viene superata la soglia relativa ai parametri considerati.

c) considerando in definitiva la totalità dei parametri:

- i. scompare la "Classe 1";
- ii. scompare anche la "Classe 3";
- iii. i punti in "Classe 4" salgono a 41 (oltre l'80% del totale) a causa delle elevate concentrazioni di As, F e in 2 casi anche di B. Poiché questi elementi sono, come esposto in precedenza, di origine naturale nell'area è ammissibile l'applicazione della "Classe 0", almeno per i 22 casi determinati esclusivamente da queste sostanze (che tuttavia ricadrebbero altrimenti in "Classe 2" o "3" sulla base della concentrazione dei parametri di base citati al punto a).

Nella figura 40 è mostrata la distribuzione spaziale dei punti classificati. In sintesi emerge che il settore più impattato dalle attività antropiche è la

fascia della pianura costiera dove:

- la concentrazione di Cl è generalmente elevata ( $> 100$  mg/l), in due casi supera i 250 mg/l e in un terzo caso supera i 1300 mg/l;
- i nitrati superano i 50 mg/l in 5 casi;
- il manganese supera i 50 mg/l in 5 casi.

Nella zona collinare, in cui si imposta l'acquifero vulcanico, i parametri che risultano fuori norma sono prevalentemente quelli di origine endogena (arsenico, fluoro, boro) come mostrato dall'elevato numero di punti ricadenti in Classe 0.

#### Aspetti quantitativi

Alcune considerazioni sullo stato quantitativo delle falde sono state esposte già al Par. 5.6.; di seguito si confrontano le informazioni disponibili con la definizione dello stato di equilibrio quantitativo come definito dal Dlgs. 152/1999, per il quale "un corpo idrico è in condizioni di equi-

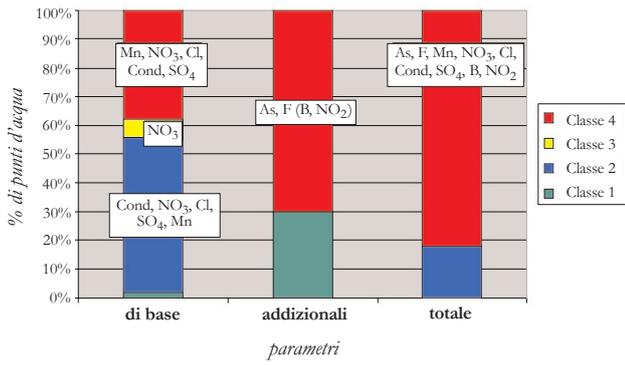


Fig. 39 - Valutazione dello stato qualitativo dei punti della rete esecutiva secondo il Dlgs. 152/1999.  
 - Chemical status evaluation (according to the Act 152/1999) of the points of the operational network.

brio quando le estrazioni o le alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili per lungo periodo (almeno 10 anni)”, inoltre “sulla base delle alterazioni misurate o previste di tale equilibrio viene definito lo stato quantitativo”. Per definire tale stato è necessario avere misurazioni per un periodo sufficientemente lungo da individuare eventuali *trend*. Lo stesso Decreto ritiene necessario un periodo di almeno 5 anni per poter definire le tendenze evolutive del corpo idrico.

Le misure relative ai livelli piezometrici effettuate durante questa ricerca (26 pozzi) sono state confrontate con i dati di bibliografia. Questo confronto, certamente non sufficiente a definire univocamente lo stato delle falde, ha tuttavia fornito alcune indicazioni di interesse.

Nel complesso sulla base dei dati acquisiti, relativamente alla zona collinare dell’acquifero vul-

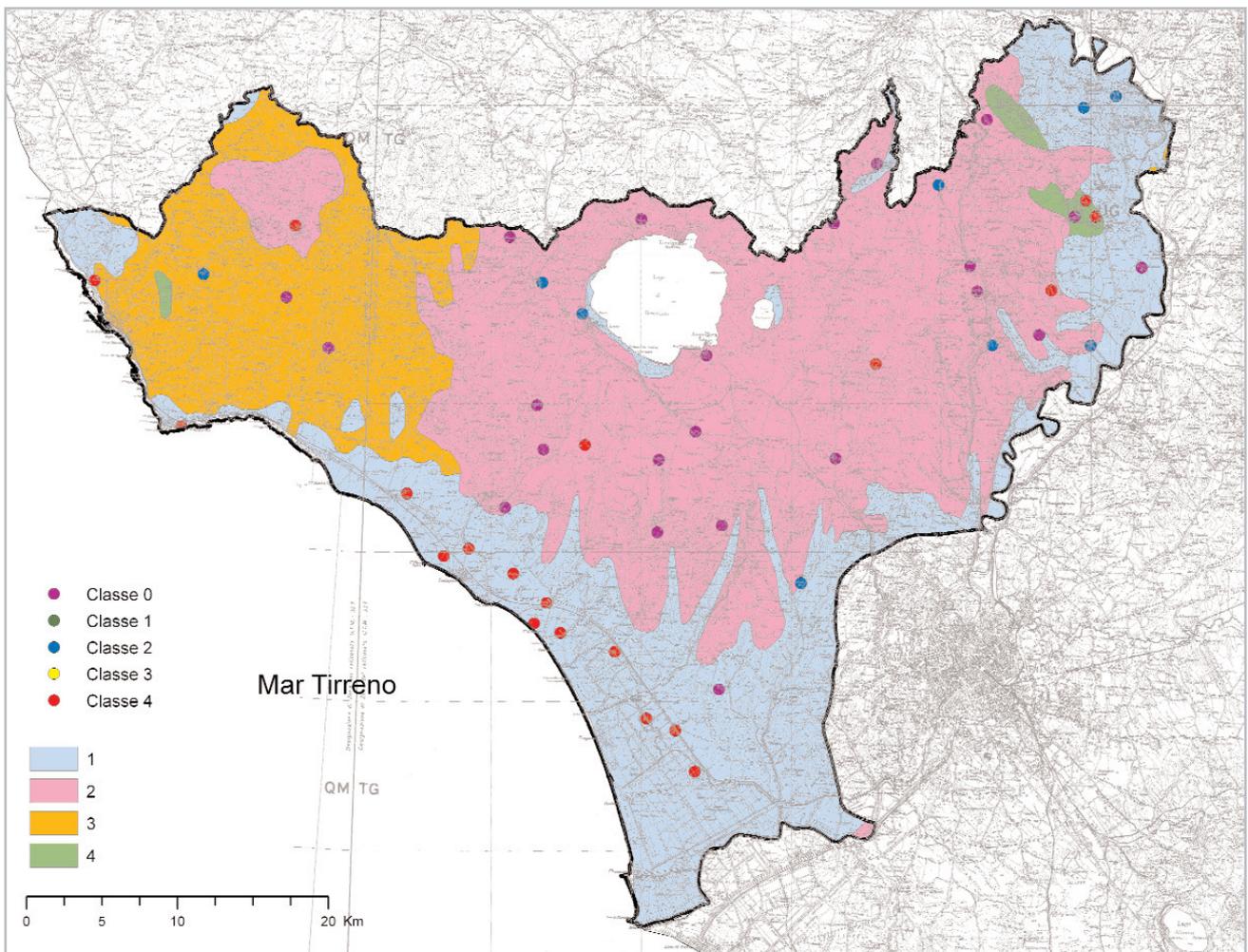


Fig. 40 - Classificazione dei punti della rete esecutiva secondo il Dlgs. 152/1999 e loro ubicazione. In legenda le classi da 0 a 4. Schema geolitologico: 1 = formazioni sedimentarie plio-quadernarie; 2 = vulcaniti plio-quadernarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche.  
 - Classification of the points (according to the Act. 152/1999) of the operational monitoring network and their location. In the caption classes are from 0 to 4. Geolithological scheme: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = Flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.

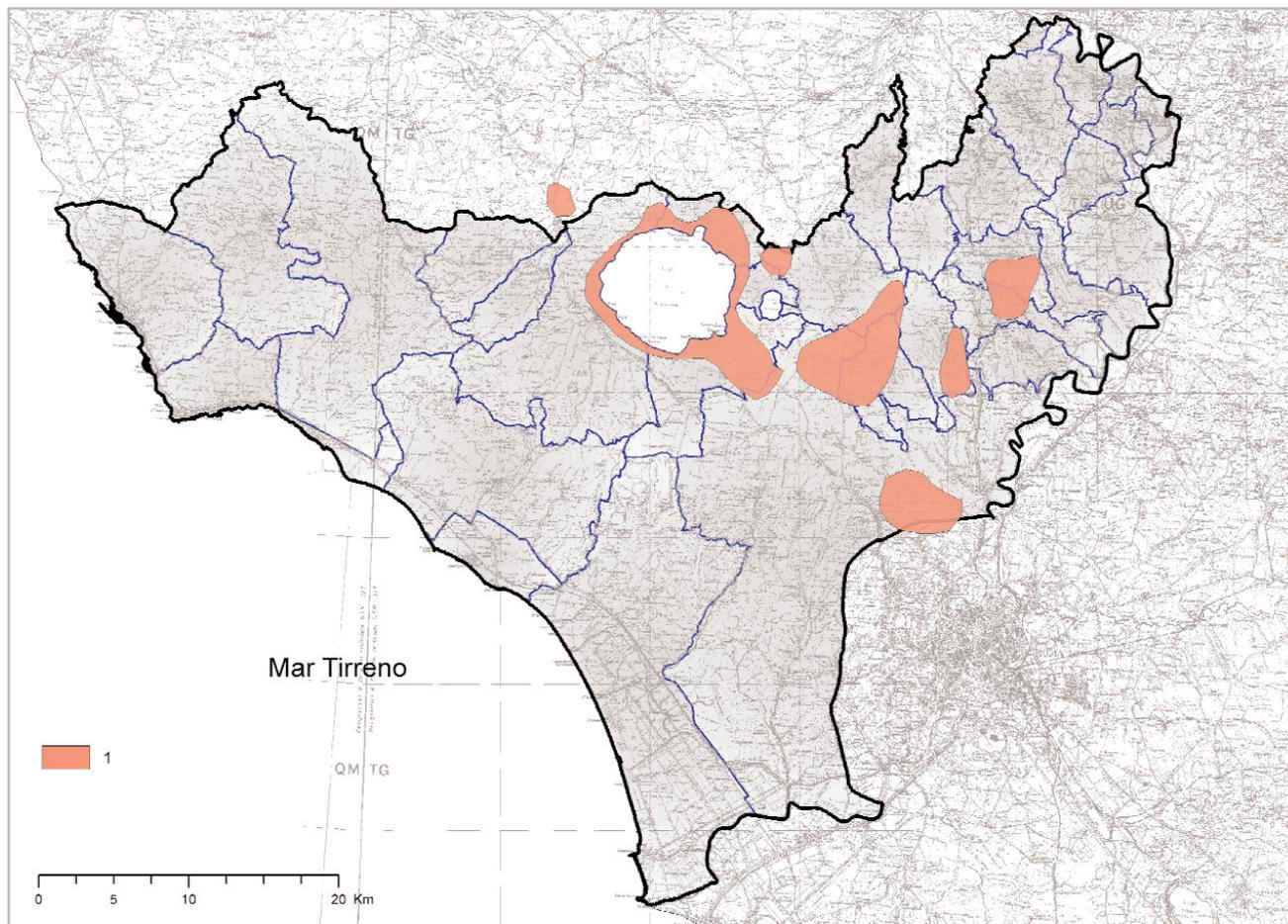


Fig. 41 - Aree per le quali sono state emanate misure di salvaguardia nella zona dei Monti Sabatini (Regione Lazio, 2004). 1: perimetri delle aree definite "a regime idraulico e idrogeologico alterato".  
 - Areas in the Monti Sabatini region for which safeguard measures have been issued (Regione Lazio, 2004). 1: boundaries of the areas defined as "with altered hydraulic and hydrogeological regime".

canico e alla scala regionale, non si evidenzia alcun *trend* generalizzato di abbassamento della superficie piezometrica misurata nei pozzi rispetto a quella ricostruita da VENTRIGLIA (1988-90) sulla base di misure effettuate negli anni '70 - '80. Pertanto ai sensi del Dlgs. 152/1999 l'acquifero potrebbe essere classificato presumibilmente in Classe A o B.

Lo scarso numero di punti utilizzato e l'approssimazione insita nelle elaborazioni svolte non permettono di individuare situazioni critiche locali, certamente esistenti, come segnalato dagli studi svolti dalla Regione Lazio e dalla Autorità dei bacini regionali del Lazio, e dalla Autorità del Bacino del fiume Tevere, a seguito dei quali sono state emanate delle misure di salvaguardia degli acquiferi in questione (delibera n. 3 del 21 novembre del 2003) relativamente alle aree "a regime idraulico ed idrogeologico alterato" (fig. 41).

Si osserva inoltre che la definizione corretta dello stato quantitativo non può escludere il monitoraggio della portata complessiva erogata

da tutte le sorgenti principali, che nell'area in studio sono prevalentemente di tipo lineare (corsi d'acqua drenanti), per un periodo di tempo sufficientemente lungo a definire l'esistenza di eventuali *trend*.

## 8.2. - DEFINIZIONE DELLA QUALITÀ AI FINI POTABILI

Sui 50 punti d'acqua considerati il 24 % risulta conforme ai limiti previsti dal Dlgs. 31/2001. I contaminanti che determinano la non potabilità rispetto al consumo umano sono l'As e il F, da soli (rispettivamente 18 e 6 %), in associazione tra loro (26 %) o associati con V, B, NO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub> (20 % dei casi). In 3 campioni (6 % dei casi) la non potabilità è determinata dai soli nitrati. I risultati sono mostrati in figura 42. I punti d'acqua utilizzati a scopo idropotabile che sono risultati non potabili sono 22 su un totale di 30 gestiti da enti pubblici, ai quali corrisponde un volume d'acqua distribuito di circa 300 l/s.

La localizzazione dei casi di superamento del limite di potabilità conferma lo scenario determinato dall'analisi dello stato di qualità ambientale delle acque. In figura 43 sono indicati i punti non conformi ai valori di concentrazione fissati dal Dlgs. 31/2001 rispetto ai parametri considerati; la non potabilità riguarda le acque campionate nel settore centrale dell'area in corrispondenza dell'apparato vulcanico, lungo la fascia costiera e nella zona del Monte Soratte. A differenza della valutazione rispetto al Dlgs. 152/1999 che definisce lo stato di qualità "buono" anche per le acque appartenenti alla classe 0, per le quali il superamento dei limiti di concentrazione è di origine naturale, la definizione della qualità ai sensi del Dlgs. 31/2001 risulta più restrittiva poiché considera esclusivamente il superamento della soglia di potabilità prescindendo dall'origine endogena o antropica della contaminazione.

## 9. - CONCLUSIONI

A conclusione della ricerca sembra utile effettuare alcune considerazioni sulle caratteristiche della metodologia sviluppata in ordine alla coerenza dell'impianto generale con la normativa vigente, alle proprietà intrinseche di flessibilità, aggiornabilità e trasferibilità, nonché alle condizioni di utilizzabilità da parte degli Enti pubblici interessati.

Il percorso metodologico proposto promuove l'integrazione fra la vulnerabilità alla contaminazione delle falde e la selezione dei punti di una rete per il monitoraggio, coerentemente col Dlgs 152/1999 che identifica la necessità di seguire l'e-

voluzione dello stato ambientale delle acque sotterranee anche in considerazione delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

Lo schema metodologico proposto di selezione della rete è del tutto in linea con la normativa europea, in particolare con la Direttiva Quadro sulle Acque (WFD 2000/60/EC) e soprattutto con la direttiva "figlia" sulle acque sotterranee, quest'ultima in fase di approvazione al Parlamento Europeo.

In particolare, la metodologia (peraltro sviluppata negli anni 2001-2003) trova una sostanziale corrispondenza nel percorso suggerito dalle Linee Guida sul monitoraggio delle acque sotterranee recentemente elaborate (2005-2006) a complemento della Direttiva Quadro (*Monitoring Guidance for Groundwater*). Queste linee guida prevedono l'integrazione funzionale delle caratteristiche del corpo idrico e la sua vulnerabilità intrinseca con le informazioni sulle pressioni e con i dati di monitoraggio esistenti in un modello concettuale, per fornire un disegno di rete in cui sia indicato il dove, cosa e quando monitorare (fig. 44) in relazione agli obiettivi.

La metodologia ha notevoli caratteristiche di flessibilità e adattabilità alle differenti esigenze degli Enti di controllo ambientale e alle differenti situazioni ambientali. La rete risultante riflette l'obiettivo specifico del monitoraggio attraverso i parametri ed i coefficienti di una funzione di valutazione dei punti d'acqua che rappresentano elementi decisionali della selezione dei punti d'acqua.

L'integrazione tra caratteristiche di vulnerabilità e di selezione della rete può essere effettuata mediante uno schema implicito nella procedura di carattere empirico o in modo esplicito nella originale procedura ottimizzata qui sviluppata.

La metodologia di selezione è comunque facilmente esportabile dato che impiega una tecnologia informatica (ArcGis) largamente diffusa, sia in Italia che all'estero.

Le basi informative sulle quali sono state svolte le elaborazioni nell'area pilota sono quelle che sono state rese disponibili al momento dello studio. Alcune basi si presentano alquanto obsolete, in particolare quelle relative alla freaticimetria e ad alcune variabili di assetto, e la qualità dei risultati potrebbe risentire di un'informazione non recente. Tuttavia la metodologia è stata elaborata in modo da permettere il rapido e sistematico aggiornamento dei risultati in funzione della disponibilità di nuove informazioni.

Per quanto riguarda il potenziale di impiego della metodologia, si osserva che essa può essere di utilità agli Enti territoriali per adempiere agli obblighi di legge ai fini del controllo e del monitoraggio delle acque sotterranee. In particolare, la

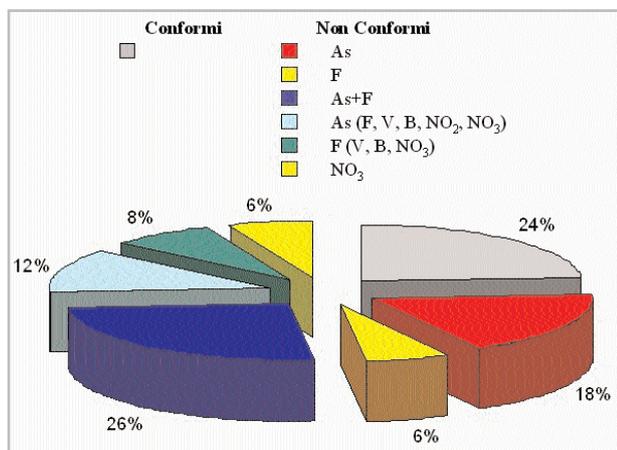


Fig. 42 - Valutazione della conformità dei punti della rete esecutiva rispetto al Dlgs. 31/2001. In legenda sono indicati i parametri chimici che determinano la non conformità.

- Quality evaluation (according to the Act 31/2001) for drinking supply of the operational network. In the legend the chemical parameters which determine the nonconformity are indicated.