



ELABORAZIONE DATI E MODELLISTICA PER  
L'INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE  
VULNERABILI DA NITRATI E DA  
FITOFARMACI E PER LA DEFINIZIONE E  
ATTUAZIONE DEI PROGRAMMI D'AZIONE  
*Attività Arpa*

Relazione Finale

*Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia ambientale*  
*Struttura Semplice Qualità acque superficiali e sotterranee*

Codice documento: SS02.06-D04/05

Data: gennaio 2005

Autori:

Dott. Elio Sesia

Dott. Riccardo Balsotti

Dott. Stefano Buratto

Dott. Teo Ferrero

Dott. Tommaso Niccoli (\*)

D.ssa Alessandra Terrando

Approvazione:

Dott. Elio Sesia

(\*) *Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento rischio industriale e sviluppo economico compatibile*

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PREMESSA .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Acquisizione dei dati ambientali.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Spazializzazione dei dati territoriali e loro rielaborazione.....</b>                   | <b>7</b>  |
| <b>Individuazione e valutazione di modelli di simulazione ad indici qualitativi .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1. ACQUISIZIONE DEI DATI AMBIENTALI .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.1. Dati di stato e cartografie relative alle acque superficiali e sotterranee ...</b> | <b>9</b>  |
| <b>1.1.1. Acque superficiali .....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1.1.1. <i>Caratteristiche dei dati di dettaglio .....</i>                                | 10        |
| 1.1.1.2. <i>Caratteristiche dei dati elaborati.....</i>                                    | 12        |
| 1.1.1.3. <i>Caratteristiche dei dati anagrafici.....</i>                                   | 12        |
| 1.1.1.4. <i>Caratteristiche dei dati cartografici.....</i>                                 | 12        |
| 1.1.1.5. <i>Aggiornamento.....</i>   | 13        |
| <b>1.1.2. Acque sotterranee.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1.2.1. <i>Caratteristiche dei dati di dettaglio .....</i>                                | 13        |
| 1.1.2.2. <i>Caratteristiche dei dati elaborati.....</i>                                    | 15        |
| 1.1.2.3. <i>Caratteristiche dei dati anagrafici.....</i>                                   | 16        |
| 1.1.2.4. <i>Caratteristiche dei dati cartografici.....</i>                                 | 16        |
| 1.1.2.5. <i>Aggiornamento.....</i>   | 16        |
| <b>1.2. Dati idrogeologici .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.3. Dati pedologici.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>1.4. Dati agronomici .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>1.5. Dati cartografici di base.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2. SPAZIALIZZAZIONE DEI DATI TERRITORIALI E LORO RIELABORAZIONE ...</b>                 | <b>21</b> |
| <b>2.1. Spazializzazione dei dati di stato .....</b>                                       | <b>21</b> |
| <b>2.1.1. Costruzione della base dati alfanumerica.....</b>                                | <b>21</b> |
| 2.1.1.1. <i>Ricerca dei valori estremi.....</i>  | 22        |
| <b>2.1.2. Analisi geostatistica .....</b>  | <b>23</b> |
| 2.1.2.1. <i>Descrizione della metodologia utilizzata .....</i>                             | 23        |
| 2.1.2.1.1. <i>Variogrammi .....</i>  | 24        |
| 2.1.2.1.2. <i>Modelli .....</i>  | 25        |
| 2.1.2.1.3. <i>Validazione dei modelli tramite analisi geostatistica .....</i>              | 25        |
| 2.1.2.1.4. <i>Spazializzazione dei dati puntuali .....</i>                                 | 26        |
| 2.1.2.2. <i>Applicazione del modello alle aree idrogeologicamente separate.....</i>        | 26        |

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| 2.1.2.2.1.    | Area Idrogeologica AL04 .....  | 28        |
| 2.1.2.2.2.    | Area Idrogeologica AT01 .....  | 31        |
| 2.1.2.2.3.    | Area idrogeologica CN02.....   | 32        |
| 2.1.2.2.4.    | Area idrogeologica CN03.....   | 35        |
| 2.1.2.2.5.    | Area idrogeologica NO01.....   | 37        |
| 2.1.2.2.6.    | Area idrogeologica TO07 .....  | 39        |
| 2.1.2.2.6.    | Area idrogeologica VC01 .....  | 41        |
| 2.1.2.2.7.    | Area idrogeologica VC02.....   | 44        |
| 2.1.2.2.8.    | Area idrogeologica VC03.....   | 47        |
| 2.1.2.3.      | <i>Applicazione del modello alle macroaree.....</i>  | 50        |
| 2.1.2.3.1.    | Macroarea MS1 .....  | 50        |
| 2.1.2.3.2.    | Macroarea MS2 .....  | 52        |
| 2.1.2.3.3.    | Macroarea MS5 .....  | 55        |
| 2.1.2.3.4.    | Macroarea MS6 .....  | 56        |
| 2.1.2.3.5.    | Macroarea MS8 .....  | 58        |
| 2.1.2.3.6.    | Macroarea MS10 .....   | 60        |
| 2.1.2.3.7.    | Macroarea MS11 .....   | 61        |
| 2.1.2.3.8.    | Macroarea MS12 .....   | 63        |
| 2.1.2.3.9.    | Macroarea MS13 .....   | 66        |
| 2.1.2.4.      | <i>Aree non spazializzate.....</i>   | 69        |
| 2.1.2.5       | <i>Valutazioni conclusive sulla spazializzazione .....</i>                                     | 69        |
| 2.1.2.5.1.    | Approfondimento: individuazione di sub-aree all'interno della stessa area idrogeologica .....  | 70        |
| 2.1.2.5.2.    | Confronto dei dati triennali con la designazione delle aree vulnerabili (Regolamento 9/R)..... | 73        |
| <b>2.2.</b>   | <b>Trasformazione dei dati cartografici vettoriali in formato raster (grid) ....</b>           | <b>74</b> |
| <b>2.2.1.</b> | <b><i>Definizione di una unità cartografica minima comune .....</i></b>                        | <b>74</b> |
| <b>2.2.2.</b> | <b><i>Trasformazione dei dati in raster (grid).....</i></b>                                    | <b>74</b> |
| 2.2.2.1.      | <i>Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF) .....</i>                   | 75        |
| 2.2.2.1.1.    | Carta dello Spessore del Livello Saturo dell'acquifero superficiale... ..                      | 75        |
| 2.2.2.1.2.    | Considerazioni sulla permeabilità .....  | 80        |
| 2.2.2.1.3.    | Definizione dell'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF) ... ..                     | 80        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>3. INDIVIDUAZIONE E VALUTAZIONE DI MODELLI DI SIMULAZIONE AD INDICI QUALITATIVI.....</b> | <b>83</b>  |
| <b>3.1. Elenco dei dati cartografici disponibili.....</b>                                   | <b>84</b>  |
| <b>3.2 Definizione IPV .....</b>  | <b>87</b>  |
| <b>3.2.1. Selezione dei temi .....</b>  | <b>88</b>  |
| 3.2.1.1. <i>Surplus di azoto .....</i>  | 89         |
| 3.2.1.2. <i>Capacità protettiva del suolo.....</i>  | 89         |
| 3.2.1.3. <i>TOT (Time of Travel) .....</i>  | 89         |
| 3.2.1.4. <i>Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF) .....</i>       | 89         |
| 3.2.1.5. <i>GOD.....</i>  | 90         |
| <b>3.2.2. Trasformazione dei dati originali in raster (grid).....</b>                       | <b>91</b>  |
| <b>3.2.3. Categorizzazione dei temi .....</b>   | <b>91</b>  |
| 3.2.3.1 <i>Assegnazione delle classi.....</i>   | 91         |
| <b>3.2.4. Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione ( IPV) .....</b>                    | <b>94</b>  |
| 3.2.4.1. <i>IPV1 .....</i>  | 96         |
| 3.2.4.1.1. <i>Indice di pericolo integrato legato all'attenuazione (IPI).....</i>           | 96         |
| 3.2.4.1.2. <i>Calcolo dell'IPV1.....</i>  | 98         |
| 3.2.4.2. <i>IPV2.....</i>   | 101        |
| 3.2.4.3. <i>IPV3.....</i>   | 104        |
| <b>3.3. Definizione dell'indice di stato per i nitrati .....</b>                            | <b>106</b> |
| <b>3.3.1. Integrazione spazializzazione .....</b>   | <b>106</b> |
| <b>3.3.2. Trasformazione dei dati in raster.....</b>  | <b>106</b> |
| <b>3.3.3. Categorizzazione del tema .....</b>   | <b>106</b> |
| <b>3.4. Confronto tra lo stato riferito ai nitrati e i vari indici/indicatori.....</b>      | <b>108</b> |
| <b>3.4.1. Confronto IPV con lo stato a scala Regionale .....</b>                            | <b>110</b> |
| <b>3.4.2. Confronto stato con i temi di base .....</b>                                      | <b>111</b> |
| 3.4.2.1. <i>Confronto a scala Regionale.....</i>  | 112        |
| 3.4.2.2. <i>Confronto a livello di area idrogeologicamente separata .....</i>               | 113        |
| 3.4.2.2.1. <i>AL04 .....</i>  | 114        |
| 3.4.2.2.2. <i>CN02.....</i>   | 116        |
| 3.4.2.2.3. <i>NO01 .....</i>  | 118        |
| 3.4.2.2.4. <i>TO07.....</i>   | 120        |
| 3.4.2.2.5. <i>VC01.....</i>   | 122        |
| 3.4.2.2.6. <i>VC02.....</i>   | 124        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.4.2.2.7. VC03.....   | 126        |
| <b>3.4.3. Valutazione dei livelli di concordanza (LC) a scala regionale.....</b> | <b>128</b> |
| <b>3.4.4 Confronto stato con il SINTACS .....</b>                                | <b>130</b> |
| <b>4. CONCLUSIONI .....</b>  | <b>133</b> |
| <b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>  | <b>135</b> |

#### **ALLEGATO: Cartografie tematiche**

| <b>Carta</b> | <b>Descrizione</b>   |
|--------------|--|
| A3/0         | Inquadramento Geografico   |
| A3/1         | Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF)  |
| A3/2         | Spazializzazione dei dati di stato relativi al valore medio di nitrati dei punti della Rete Regionale di monitoraggio – Falda superficiale (con spazializzazione sperimentali per MS11 e AT01) |
| A3/3         | Indice di Pericolo Integrato legato ai fattori di attenuazione (IPI)   |
| A3/4         | Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV1 mod.)  |
| A3/5         | Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV2)   |
| A3/6         | Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV3)   |
| A3/7         | Livello di Concordanza (LC): Stato – IPV1 mod.   |
| A3/8         | Livello di Concordanza (LC): Stato – IPV2  |
| A3/9         | Livello di Concordanza (LC): Stato – IPV3  |
| A3/10        | Livello di Concordanza (LC): Stato – Surplus di azoto  |
| A3/11        | Livello di Concordanza (LC): Stato – IPDF  |
| A3/12        | Livello di Concordanza (LC): Stato – Capacità Protettiva dei suoli   |
| A3/13        | Livello di Concordanza (LC): Stato – Time of Travel (TOT)  |
| A3/14        | Livello di Concordanza (LC): Stato – GOD   |

## **PREMESSA**

Nell'ambito del progetto "Elaborazione dati e modellistica per l'individuazione delle zone vulnerabili da nitrati e da fitofarmaci e per la definizione e attuazione dei programmi d'azione" l'ARPA era responsabile di tre principali attività:

- Acquisizione dei dati ambientali - Attività 1.2.2
- Spazializzazione dei dati territoriali e loro rielaborazione - Attività 2.1.3
- Individuazione e valutazione di modelli di simulazione ad indici qualitativi - Attività 2.2.1

### **Acquisizione dei dati ambientali**

Questa attività, svolta con il contributo di CSI (Consorzio per il Sistema Informativo), Agroselviter (Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e gestione del territorio – Università degli studi di Torino), I.P.L.A. (Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente – Torino) e DST (Dipartimento Scienze della Terra – Università degli studi di Torino), è inserita, nell'ambito generale del progetto, nel Filone 1 "Miglioramento della disponibilità di dati territoriali e della precisione nella stima dei carichi di nutrienti", Obiettivo 2 "Miglioramento della disponibilità di dati territoriali".

L'obiettivo è acquisire e organizzare i dati ambientali e geografici necessari ai diversi filoni di studio derivanti da altri progetti od attività e dalla gestione delle reti di monitoraggio, quali ad esempio dati idrogeologici, dati idrologici, dati di stato (qualità delle acque sotterranee e superficiali), dati pedologici.

Il prodotto di questa attività è un nucleo di base dati decisionale con integrati i dati ambientali; i dati alfanumerici e cartografici selezionati costituiscono il nucleo di una base dati decisionale sulla problematica nitrati e più in generale sulla vulnerabilità delle falde.

### **Spazializzazione dei dati territoriali e loro rielaborazione**

Questa attività, svolta con il contributo di CSI e Agroselviter, è inserita, nell'ambito generale del progetto, nel Filone 2 "Integrazione delle informazioni per l'individuazione delle zone vulnerabili", Obiettivo 1 "Allineamento e rielaborazione delle informazioni".

L'obiettivo è rendere congruente il dettaglio territoriale al quale sono riferiti i dati disponibili, facendo ricorso a tecniche di spazializzazione dei dati, riferire i dati stessi ad unità territoriali diverse da quelle di acquisizione originaria e infine integrare le informazioni geografiche mancanti o carenti. L'attività prevede di prendere in

considerazione i dati più significativi e le principali partizioni territoriali disponibili, fra cui quelle ricavabili dall'elaborazione di informazioni di fonte amministrativa ad elevato grado di dettaglio territoriale.

### **Individuazione e valutazione di modelli di simulazione ad indici qualitativi**

Questa attività, svolta con il contributo di CSI e Agroselviter, è inserita, nell'ambito generale del progetto, nel Filone 2 "Integrazione delle informazioni per l'individuazione delle zone vulnerabili", Obiettivo 2 "Individuazione e valutazione di modelli di simulazione".

Gli obiettivi sono individuabili nella ricerca e nella consultazione della letteratura e dei lavori sperimentali disponibili, ed infine nell'elaborazione dei dati e nel calcolo di indici areali per i vari elementi considerati: il carico inteso come surplus di azoto, la capacità protettiva e le caratteristiche pedologiche dei suoli, derivanti dai lavori degli esperti IPLA, la soggiacenza della falda e la produttività dell'acquifero. La finalità di questa attività è anche valutare la correlazione tra fattori di pressione e attenuazione con lo stato delle acque sotterranee, tramite la definizione di un modello concettuale e definire ove possibile aree omogenee per i vari elementi considerati all'interno delle aree idrogeologicamente separate (di seguito anche definite aree idrogeologiche). I dati ottenuti saranno organizzati, strutturati e visualizzati con l'ausilio di cartografie tematiche.



## **1. ACQUISIZIONE DEI DATI AMBIENTALI**

Si è operato attraverso il censimento dei dati ambientali e delle elaborazioni disponibili che si sono ritenuti utili per lo sviluppo del progetto, presso l'ARPA, la Regione Piemonte e gli Enti di ricerca operanti sul territorio Regionale.

I dati ambientali selezionati sono stati fatti confluire in un "repository" gestito dal CSI e accessibile ai diversi soggetti operanti all'interno del progetto.

Alcuni di questi dati, in particolare quelli di stato, selezionati e organizzati sono stati inseriti, ad opera del CSI, in un DataWare House, che andrà a implementare la "Banca Dati Acque ed Agricoltura" consentendo l'accesso ad un gruppo di utenti più ampio.

Il DW-House sarà aggiornato con differenti modalità a seconda della tipologia dei dati.

Tutti i dati acquisiti (alfanumerici e/o cartografici) messi a disposizione del gruppo di lavoro, hanno costituito la base dati su cui si è sviluppato il progetto.

I dati sono individuabili in:

- Dati di stato e cartografie relative alla qualità delle acque superficiali e sotterranee
- Dati idrogeologici
- Dati pedologici
- Dati agronomici
- Dati cartografici di base

### **1.1. Dati di stato e cartografie relative alle acque superficiali e sotterranee**

I dati di stato per le acque superficiali e sotterranee derivano dalle Reti di Monitoraggio Regionali gestite dall'ARPA per conto della Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche della Regione Piemonte (con modalità previste dal D.Lgs 152/99 e s.m.i.). Tra tutti i parametri rilevati nelle attività di monitoraggio è stata effettuata una selezione di quelli ritenuti utili ai fini del presente progetto.

#### **1.1.1. Acque superficiali**

Per le acque superficiali sono stati messi a disposizione i seguenti dati:

- Dati di stato alfanumerici:
  - di dettaglio (nitrati, ortofosfati e prodotti fitosanitari) per gli anni 2000, 2001, 2002
  - elaborati

- 75° percentile di azoto nitrico e di fosforo totale per gli anni 2000, 2001, 2002
- 75° percentile di azoto nitrico e di fosforo totale medie biennali (nitrati) per i bienni 2000-2001 e 2001-2002

- anagrafica dei punti di monitoraggio

➤ Dati di stato cartografici

1.1.1.1. *Caratteristiche dei dati di dettaglio*

I dati alfanumerici di dettaglio sono rappresentati dai dati dei 12 prelievi annuali per ogni punto della rete di monitoraggio.

Nella tabella 1-1 per ogni parametro è riportato il codice (nome del campo SIRI), l'unità di misura completa di modalità di espressione.

| <b>NOME CAMPO</b> | <b>DESCRIZIONE PARAMETRO</b> | <b>UNITA' DI MISURA</b> |
|-------------------|------------------------------|-------------------------|
| COD_FIUME         | CODICE FIUME                 |                         |
| COD_PUNTO         | CODICE PUNTO                 |                         |
| DATA_PREL         | DATA PRELIEVO                |                         |
| NITRATIX          | AZOTO NITRICO                | mg/L N                  |
| AZOTO_AX          | AZOTO AMMONIACALE            | mg/L N                  |
| AZOTO_TO          | AZOTO TOTALE                 | mg/L N                  |
| FOSFTOTA          | FOSFORO TOTALE               | mg/L P                  |
| FOSFATI1          | ORTOFOSFATI                  | mg/L P                  |
| ERBALACH          | ALACLOR                      | µg/L                    |
| ERBATRAZ          | ATRAZINA                     | µg/L                    |
| BENDIOC           | BENDIOCARB                   | µg/L                    |
| BENFLURA          | BENFLURALIN                  | µg/L                    |
| BENMET            | BENSULFURON METILE           | µg/L                    |
| ERBBENTA          | BENTAZONE                    | µg/L                    |
| CINOSULF          | CINOSULFURON                 | µg/L                    |
| ERB_DIME          | DIMEPIPERATE                 | µg/L                    |
| DIMETAMM          | DIMETENAMIDE                 | µg/L                    |
| ERB_HEXA          | EXAZINONE                    | µg/L                    |
| ERB_LIN           | LINURON                      | µg/L                    |
| MCPA              | MCPA                         | µg/L                    |
| MCPB              | MCPB                         | µg/L                    |
| ERB_MET           | METOLACLOR                   | µg/L                    |

|          |                    |      |
|----------|--------------------|------|
| METSALFU | METSULFURON        | µg/L |
| ERBMOLIN | MOLINATE           | µg/L |
| ERB_OXA  | OXADIAZON          | µg/L |
| ERB_PEN  | PENDIMETALIN       | µg/L |
| PRETILAC | PRETILACLOR        | µg/L |
| N1_001   | PROCIMIDONE        | µg/L |
| ERBPROP1 | PROPANIL           | µg/L |
| QUINCLOR | QUINCLORAC         | µg/L |
| ERBSIMAZ | SIMAZINA           | µg/L |
| ERB_TER  | TERBUMETON         | µg/L |
| ERB_TERB | TERBUTILAZINA      | µg/L |
| ERB_TIOC | TIOCARBAZIL        | µg/L |
| TRICICLA | TRICICLAZOLO       | µg/L |
| TRICLOPI | TRICLORPIR         | µg/L |
| ERB_TRI  | TRIFLURALIN        | µg/L |
| D24      | 2.4D               | µg/L |
| CARBENDA | CARBENDAZIM        | µg/L |
| ERB_CIA  | CIANAZINA          | µg/L |
| N1_041   | CLOPPIRIFOS        | µg/L |
| N1_042   | CLOPPIRIFOS METILE | µg/L |
| DDT      | DDT                | µg/L |
| N1_044   | DIAZINONE          | µg/L |
| DICLOFLU | DICLOFLUANIDE      | µg/L |
| DICOFOL  | DICOFOL            | µg/L |
| N1_045   | DIMETOATO          | µg/L |
| ENDOSULF | ENDOSULFAN         | µg/L |
| ESACONAZ | ESACONAZOLO        | µg/L |
| FENARIMO | FENARIMOL          | µg/L |
| N1_059   | FOSALONE           | µg/L |
| IPROD    | IPRODIONE          | µg/L |
| N1_020A  | LINDANO            | µg/L |
| N1_053   | MALATION           | µg/L |
| METALAX  | METALAXIL          | µg/L |
| N1_054   | METIDATION         | µg/L |
| OXADIX   | OXADIXIL           | µg/L |

|          |                      |      |
|----------|----------------------|------|
| PARATI   | PARATION             | µg/L |
| N1_055   | PARATION METILE      | µg/L |
| PENCONAZ | PENCONAZOLO          | µg/L |
| PIRIMIC  | PIRIMICARB           | µg/L |
| N1_062   | PIRIMIFOS METILE     | µg/L |
| PROPARGI | PROPARGITE           | µg/L |
| PROPOXUR | PROPOXUR             | µg/L |
| QUINALFO | QUINALFOS            | µg/L |
| TETRADIF | TETRADIFON           | µg/L |
| TIABENDA | TIABENDAZOLO         | µg/L |
| VINCLOZ  | VINCLOZOLIN          | µg/L |
| N2_013   | ESACLOROBENZENE      | µg/L |
| ESACLORC | ESACLOROCICLOESANO   | µg/L |
| DESEATRA | DESETILATRAZINA      | µg/L |
| DESETERB | DESETILTERBUTILAZINA | µg/L |

**Tabella 1-1 – Parametri acque superficiali**

#### *1.1.1.2. Caratteristiche dei dati elaborati*

I dati elaborati (75° percentile di azoto nitrico e di fosforo totale) sono disponibili per singolo punto di monitoraggio, come dati medi del singolo anno e come dati medi per bienni sovrapposti.

#### *1.1.1.3. Caratteristiche dei dati anagrafici*

Per tutti i punti di monitoraggio, identificati dal codice del punto, sono raccolti gli attributi anagrafici (comune, località, corso d'acqua, ecc.) e le coordinate che ne consentono l'ubicazione.

#### *1.1.1.4. Caratteristiche dei dati cartografici*

Le cartografie, in formato shapefile (puntuale), si riferiscono ai dati analitici elaborati sopraelencati.

E' inoltre possibile rappresentare con cartografie tematiche anche i dati di dettaglio riferiti ad un singolo campionamento, attraverso una operazione di collegamento del campo del codice punto con il file di anagrafica.

#### 1.1.1.5. *Aggiornamento*

Il DataWare House potrà essere aggiornato trimestralmente o annualmente; potranno anche essere aggiornati i dati per biennio con anni sovrapposti (2002/2003, 2003/2004...).

#### 1.1.2. *Acque sotterranee*

Per le acque sotterranee sono stati selezionati i seguenti dati:

- Dati di stato alfanumerici
  - di dettaglio (nitrati, ortofosfati e prodotti fitosanitari) per gli anni 2000, 2001, 2002
  - elaborati
    - medie annuali (nitrati)
    - medie biennali (nitrati) per i bienni 2000-2001, 2001-2002
    - medie areali (nitrati) per i bienni 2000-2001, 2001-2002
  - anagrafica dei punti di monitoraggio
- Dati di stato cartografici

#### 1.1.2.1. *Caratteristiche dei dati di dettaglio*

Per ogni campione di acqua sotterranea analizzato sono stati considerati i dati analitici di dettaglio relativi a nitrati, ortofosfati e prodotti fitosanitari, la soggiacenza, la data di prelievo e il codice del punto che consente di associare le coordinate e altri attributi presenti nella tabella anagrafica.

Nella tabella 1-2 sono riportati, per ogni parametro considerato, il nome del campo (SIRI), la modalità di espressione e l'unità di misura.

| <b>NOME CAMPO</b> | <b>DESCRIZIONE PARAMETRO</b> | <b>UNITA' DI MISURA</b> |
|-------------------|------------------------------|-------------------------|
| CODICE_REG        | CODICE PUNTO                 |                         |
| DATA              | DATA PRELIEVO                |                         |
| SOGGIACE          | SOGGIACENZA                  | m                       |
| NITRATI           | NITRATI                      | mg/L NO <sub>3</sub>    |
| ORTOFOSF          | ORTOFOSFATI                  | mg/L PO <sub>4</sub>    |
| ERBALACH          | ALACLOR                      | µg/L                    |
| ERBATRAZ          | ATRAZINA                     | µg/L                    |
| ERB_MET           | METOLACLOR                   | µg/L                    |
| ERBSIMAZ          | SIMAZINA                     | µg/L                    |

|          |                    |      |
|----------|--------------------|------|
| ERB_TERB | TERBUTILAZINA      | µg/L |
| BENMET   | BENSULFURON METILE | µg/L |
| ERBBENTA | BENTAZONE          | µg/L |
| CINOSULF | CINOSULFURON       | µg/L |
| ERB_DIME | DIMEPIPERATE       | µg/L |
| DIMETAMM | DIMETENAMIDE       | µg/L |
| ERBHEXA  | EXAZINONE          | µg/L |
| ERBMOLIN | MOLINATE           | µg/L |
| ERB_OXA  | OXADIAZON          | µg/L |
| ERB_PRET | PRETILACLOR        | µg/L |
| ERBPROP1 | PROPANIL           | µg/L |
| QUINCLOR | QUINCLORAC         | µg/L |
| ERB_TIOC | TIOCARBAZIL        | µg/L |
| D24      | 2.4D               | µg/L |
| BENDIOC  | BENDIOCARB         | µg/L |
| BENFLURA | BENFLURALIN        | µg/L |
| CARBENDA | CARBENDAZIM        | µg/L |
| ERB_CIA  | CIANAZINA          | µg/L |
| N1_041   | CLORPIRIFOS        | µg/L |
| N1_042   | CLORPIRIFOS METILE | µg/L |
| DDT      | DDT                | µg/L |
| N1_044   | DIAZINONE          | µg/L |
| DICLOFLU | DICLOFLUANIDE      | µg/L |
| DICOFOL  | DICOFOL            | µg/L |
| N1_045   | DIMETOATO          | µg/L |
| ENDOSULF | ENDOSULFAN         | µg/L |
| N2_013   | ESACLOROBENZENE    | µg/L |
| ESACONAZ | ESACONAZOLO        | µg/L |
| FENARIMO | FENARIMOL          | µg/L |
| N1_059   | FOSALONE           | µg/L |
| IPROD    | IPRODIONE          | µg/L |
| N1_020A  | LINDANO            | µg/L |
| ERB_LIN  | LINURON            | µg/L |
| N1_053   | MALATION           | µg/L |
| MCPA     | MCPA               | µg/L |

|          |                      |      |
|----------|----------------------|------|
| MCPB     | MCPB                 | µg/L |
| METALAX  | METALAXIL            | µg/L |
| N1_054   | METIDATION           | µg/L |
| METSALFU | METSOLFURON          | µg/L |
| OXADIX   | OXADIXIL             | µg/L |
| PARATI   | PARATION             | µg/L |
| N1_055   | PARATION METILE      | µg/L |
| PENCONAZ | PENCONAZOLO          | µg/L |
| ERB_PEN  | PENDIMETALIN         | µg/L |
| PIRIMIC  | PIRIMICARB           | µg/L |
| N1_062   | PIRIMIFOS METILE     | µg/L |
| N1_001   | PROCIMIDONE          | µg/L |
| PROPARGI | PROPARGITE           | µg/L |
| PROPOXUR | PROPOXUR             | µg/L |
| QUINALFO | QUINALFOS            | µg/L |
| ERB_TER  | TERBUMETON           | µg/L |
| TETRADIF | TETRADIFON           | µg/L |
| TIABENDA | TIABENDAZOLO         | µg/L |
| TRICICLA | TRICICLAZOLO         | µg/L |
| TRICLOPI | TRICLORPIR           | µg/L |
| ERB_TRI  | TRIFLURALIN          | µg/L |
| VINCLOZ  | VINCLOZOLIN          | µg/L |
| DESEATRA | DESETILATRAZINA      | µg/L |
| DESETERB | DESETILTERBUTILAZINA | µg/L |

**Tabella 1-2 – Parametri acque sotterranee**

#### *1.1.2.2. Caratteristiche dei dati elaborati*

I dati analitici elaborati si riferiscono ai nitrati e sono rappresentati dai valori medi annuali e biennali.

Sono disponibili sia come medie annuali e biennali dei valori riscontrati nel periodo di riferimento per ogni punto di monitoraggio, che come medie annuali e biennali per ogni area idrogeologicamente separata calcolate come media dei valori medi dei punti che ricadono nell'area per il periodo di riferimento.

### *1.1.2.3. Caratteristiche dei dati anagrafici*

Sono disponibili per tutti i punti di monitoraggio, identificati dal codice del punto, gli attributi anagrafici (comune, località, tipo di rete, ecc.) e le coordinate che ne consentono l'ubicazione.

### *1.1.2.4. Caratteristiche dei dati cartografici*

Sono stati raccolti in formato shapefile (.shp) le cartografie relative alle concentrazioni medie puntuali (shape puntuale tematizzato sulla media puntuale) e areali (shape areale tematizzato sulla media areale) dei nitrati suddivise negli anni e bienni considerati con le relative legende.

Inoltre, come ulteriore possibilità, è possibile creare cartografie tematiche partendo dai dati di dettaglio opportunamente associati all'anagrafica per la georeferenziazione.

### *1.1.2.5. Aggiornamento*

Il DataWare House potrà essere aggiornato semestralmente o annualmente con i dati di dettaglio.

Le elaborazioni saranno aggiornate annualmente con i dati elaborati riferiti all'anno precedente e al biennio precedente; i bienni risulteranno così parzialmente sovrapposti (es. 2002/2003, 2003/2004 ecc.).

## **1.2. Dati idrogeologici**

I dati idrogeologici sono rappresentati da cartografie tematiche prodotte dal Dipartimento Scienze della Terra dell'Università di Torino (DST) allegate a studi effettuati per conto della Regione Piemonte. Altri dati, ritenuti utili, sono stati forniti dal CSI Piemonte, e da Hydrodata per il Piano di Tutela delle Acque (PTA).

- Carta della Base dell'acquifero superficiale (autore DST): Shapefile (polyline) con le isolinee della base dell'acquifero. Scala 1:100.000
- Carta delle Isopiezometriche della falda idrica a superficie libera relativa al territorio di pianura della Regione Piemonte (autore DST): Shapefile (polyline) con le isopieze. Scala 1:100.000
- Carta della Soggiacenza della falda idrica a superficie libera relativa al territorio di pianura della Regione Piemonte (autore DST): Grid che riporta la distanza tra il livello medio della falda e la quota della superficie topografica. Scala: 1:100.000
- Aree idrogeologicamente separate della falda superficiale (autore DST): Shapefile (area). Scala: 1:250.000.



- Carta delle Macroaree della falda superficiale (autore Hydrodata - elaborazione per il Piano di Tutela delle Acque): Shapefile (area). Scala 1:250.000.
- Dati geomorfologici in formato raster come file grid (autore CSI):
  - modello digitale delle quote (esprese in metri) ricavato a partire dall'originale con celle di 50 metri, ricampionato a 100 metri.
  - modello digitale delle pendenze (esprese in percentuale) ricavato a partire dall'originale con celle di 50 metri, ricampionato a 100 metri.

Le aree idrogeologicamente separate sono state ricostruite dal DST, in ambiente GIS, utilizzando le seguenti basi cartografiche:

- Carta Piezometrica della Regione Piemonte alla scala 1:250.000 derivata dai progetti regionali PRISMAS, PRISMAS II, VAL TANARO
- Carta dell'Idrografia della Regione Piemonte alla scala 1:100.000 redatta in ambito del Sistema Informativo Territoriale Ambientale della Regione
- fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (a tutt'oggi l'unica che copra l'intero territorio regionale), nella versione informatizzata ad opera del DST
- Carta dei Paesaggi Agrari e Forestali alla scala 1:250.000 redatta da IPLA nel 1992

La definizione dei limiti areali è stata dedotta dalla interpretazione della Carta Piezometrica e dalla Carta dell'Idrografia.

Dall'esame dei fogli della Carta Geologica sono state inoltre delimitate ulteriori aree idrogeologicamente separate, corrispondenti ai terrazzi fluviali con scarpata superiore a 10 m rispetto al livello basale della pianura. Si può ipotizzare che tali terrazzi siano interessati da una circolazione di acque sotterranee differenziata rispetto a quella caratteristica delle zone di pianura s.s.

Infine, per la delimitazione del territorio oggetto di studio, il limite a monte della pianura piemontese è stato ricavato dalla Carta dei Paesaggi Agrari e Forestali.

Le macroaree relative alla falda superficiale sono raggruppamenti di aree idrogeologicamente separate definite per consentire l'ottimizzazione degli ambiti di applicazione del modello idrogeologico, implementato da Hydrodata nel quadro delle elaborazioni del PTA.

Nella tabella 1-3 e 1-4 sono elencate e sinteticamente descritte le aree idrogeologicamente separate e le macroaree della falda superficiale.

| <b>CODICE</b> | <b>DESCRIZIONE</b>   |
|---------------|--|
| AL01          | Pianura alessandrina in Tanaro da Cerro Tanaro                           |
| AL02          | Pianura alessandrina tra Tanaro e Bormida                                |
| AL03          | Pianura alessandrina tra Bormida e Orba                                  |
| AL04          | Pianura alessandrina tra Orba e Scrivia                                  |
| AL05          | Pianura alessandrina in Scrivia  |
| AL06          | Pianura casalese tra Po e Sesia  |
| AT01          | Valle del Tanaro tra confluenza Tanaro - Stura di Demonte e Cerro Tanaro |
| CN01          | Pianura cuneese tra Po e Maira   |
| CN02          | Pianura cuneese tra Maira e Stura di Demonte                             |
| CN03          | Pianura cuneese tra Stura di Demonte e Tanaro                            |
| IV01          | Pianura inframorenica d'Ivrea  |
| NO01          | Pianura novarese tra Ticino e Agogna                                     |
| NO02          | Pianura novarese tra Agogna e Sesia                                      |
| TE01          | Terrazzo - spartiacque idrogeologico                                     |
| TE02          | Terrazzo   |
| TE03          | Terrazzo   |
| TE04          | Terrazzo   |
| TE05          | Terrazzo   |
| TE06          | Terrazzo   |
| TE07          | Terrazzo   |
| TE08          | Terrazzo   |
| TE09          | Terrazzo   |
| TE10          | Terrazzo   |
| TE11          | Terrazzo   |
| TE12          | Terrazzo   |
| TE13          | Terrazzo   |
| TE14          | Terrazzo   |
| TE15          | Terrazzo   |
| TE16          | Terrazzo   |
| TE17          | Terrazzo   |
| TE18          | Terrazzo   |
| TE19          | Terrazzo   |
| TO01          | Pianura torinese tra Dora Baltea, Po e Orco                              |

|      |   |
|------|---|
| TO02 | Pianura torinese tra Orco, Po e Malone  |
| TO03 | Pianura torinese tra Malone, Po e Stura di Lanzo                                |
| TO04 | Pianura torinese in ds Po da confluenza Po - Stura di Lanzo a Gabiano           |
| TO05 | Pianura torinese tra Stura di Lanzo, Po e Sangone                               |
| TO06 | Pianura torinese tra Sangone e Chisola  |
| TO07 | Pianura torinese tra Chisola e Po   |
| TO08 | Altopiano di Poirino in ds Banna - Rioverde                                     |
| TO09 | Pianura torinese tra Ricchiardo, Po e Banna - Rioverde                          |
| VC01 | Pianura vercellese tra Sesia e Cervo  |
| VC02 | Pianura vercellese tra Elvo - Cervo, Sesia, Marcova - spartiacque idrogeologico |
| VC03 | Pianura vercellese tra Marcova - spartiacque idrogeologico, Po e Dora Baltea    |
| VC04 | Pianura biellese tra Cervo e Elvo   |

**Tabella 1-3 – Aree idrogeologicamente separate**

| <b>CODICE</b> | <b>DENOMINAZIONE</b>                       |
|---------------|--|
| MS7           | Pianura Pinerolese                         |
| MS9           | Pianura Cuneese in destra Stura di Demonte |
| MS13          | Pianura Casalese                           |
| MS5           | Pianura Canavese                           |
| MS1           | Pianura Novarese                           |
| MS4           | Anfiteatro morenico di Ivrea               |
| MS2           | Pianura Biellese                           |
| MS3           | Pianura Vercellese                         |
| MS12          | Pianura Alessandrina Orientale             |
| MS11          | Astigiano-Alessandrino occidentale         |
| MS8           | Pianura Cuneese                            |
| MS10          | Altopiano di Poirino e colline Astigiane   |
| MS6           | Pianura Torinese                           |
| MS14          | Fondovalle Tanaro                          |

**Tabella 1-4 – Macroaree**

### **1.3. Dati pedologici**

- Carta Pedologica (autore IPLA): copertura vettoriale della Carta Pedologica alla scala 1:250000
- Carta della Capacità Protettiva dei suoli (autore IPLA): copertura vettoriale della Carta della Capacità Protettiva dei suoli alla scala 1:250000, derivata dalla carta pedologica

### **1.4. Dati agronomici**

- Carta del Surplus d'azoto (autore: Agro.Selvi.Ter):  
Carta del Surplus d'azoto minerale a scala di foglio di mappa e Surplus d'azoto organico a scala di area agronomica omogenea. Scala: 1:250.000.

### **1.5. Dati cartografici di base**

- Uso del Suolo (CORINE): copertura vettoriale CORINE Land Cover (anno 1992). Scala: 1:250.000
- Carta dei fogli di mappa (autore CSI): copertura vettoriale dei fogli di mappa catastale
- Limiti amministrativi (autore CSI): copertura vettoriale dei limiti comunali da foglio di mappa catastale.
- Idrografia (autore CSI): copertura vettoriale dell'ingombro areale e degli elementi lineari dei corsi d'acqua naturali e artificiali rappresentati sulla CTR 1:10.000.
- Bacini idrografici (autore Hydrodata): copertura areale relativa ai bacini idrografici. Scala: 1:250.000

## 2. SPAZIALIZZAZIONE DEI DATI TERRITORIALI E LORO RIELABORAZIONE

L'attività si è articolata con lo sviluppo delle seguenti tematiche:

- Spazializzazione dei dati di stato
- Trasformazione dei dati vettoriali in raster (grid)

La spazializzazione dei dati puntuali relativi ai nitrati consente di visualizzare in modo più adeguato il fenomeno su base areale.

La trasformazione in grid è principalmente finalizzata alla definizione di un modello ad indici qualitativi che permetta di valutare in modo integrato, in relazione alla problematica dei nitrati, i fattori di pressione e di attenuazione con lo stato delle acque sotterranee.

### 2.1. Spazializzazione dei dati di stato

#### 2.1.1. Costruzione della base dati alfanumerica

Sono stati considerati i dati dei nitrati acquisiti nel corso dei monitoraggi regionali del triennio 2001-2002-2003 per quanto riguarda la falda superficiale. Dei complessivi 790 pozzi monitorati, sono stati definiti rilevanti e statisticamente rappresentativi, ai fini delle elaborazioni successive, quelli con almeno quattro misure nell'arco del triennio di riferimento, per un totale di 449 pozzi.

Per valutare la rappresentatività di ciascun pozzo sono stati esaminati due indicatori:

- variabilità relativa % (RSD)
- valore massimo dei nitrati per ciascun pozzo (MAX).

Il primo indicatore evidenzia i pozzi con misure molto disperse intorno alla media, il secondo esprime invece il grado di contaminazione della falda captata dal pozzo. Utilizzando questi due indicatori sono stati classificati i pozzi come riportato nella tabella 2-1.

|               | RSD < 30%                 | RSD ≥ 30%             |
|---------------|---------------------------|-----------------------|
| MAX < 25 µg/L | Categoria 3:<br>302 pozzi | Categoria 2: 69 pozzi |
| MAX ≥ 25 µg/L |                           | Categoria 1: 78 pozzi |

Tabella 2-1 – Classificazione pozzi

Si è posta l'attenzione soprattutto ai pozzi che presentano valori alti per entrambi gli indicatori, in quanto i pozzi con variabilità bassa sono comunque rappresentativi e i

pozzi con variabilità alta, ma valori misurati bassi, non possono perturbare le elaborazioni successive.

In seguito sono state attribuite le classi di accettabilità del pozzo, analizzando nel dettaglio i singoli valori di nitrati. Le classi definite sono tre, ovvero:

A: pozzo accettabile, con tutte le sue misure.

B: pozzo nel complesso accettabile, ma con al massimo due valori analitici anomali nel triennio. Tali misure, correttamente rilevate, ma anomali rispetto al trend di medio periodo, vengono escluse dalle elaborazioni successive.

C: pozzo da escludere. Le oscillazioni dei valori analitici sono troppo ampie. Il pozzo viene considerato non idoneo alla costruzione di un modello areale in quanto troppo “perturbato”.

L’attribuzione delle classi di accettabilità è riportata nella tabella 2-2.

|               | RSD < 30%                   | RSD ≥ 30%                            |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| MAX < 25 µg/L | 302 pozzi tutti in classe A | 68 classe A, 1 classe B              |
| MAX ≥ 25 µg/L |                             | 48 classe A, 21 classe B, 9 classe C |

**Tabella 2-2 – Classi di accettabilità**

La banca dati alfanumerica è quindi costituita da 440 pozzi rappresentativi e costituisce la base per le successive elaborazioni e rappresentazioni.

#### 2.1.1.1. Ricerca dei valori estremi

Per ciascun pozzo è stata calcolata la media del valore di nitrati. Successivamente sono stati determinati i parametri statistici di base per le 37 aree idrogeologicamente separate in cui è stata suddivisa la pianura piemontese.

Contestualmente sono stati evidenziati i valori estremi (outliers) per ciascuna area idrogeologica ove il numero di pozzi è risultato sufficientemente alto. A tale scopo si sono applicati i risultati del diagramma Stream-and-Leaf (tabella 2-3).

Nella tabella 2-3 sono riportati, a titolo di esempio, i diagrammi ottenuti per le aree CN02, CN03, VC02.

I valori estremi evidenziati sono stati successivamente esaminati insieme ai dati provenienti dall’analisi geostatistica, come descritto nei paragrafi successivi.

| Area Idrogeologica CN02         | Area Idrogeologica CN03        | Area Idrogeologica VC02                             |
|---------------------------------|--------------------------------|---|
| Minimo: 4.833                   | Minimo: 0.000                  | Minimo: 1.725                                       |
| Mediana: 27.000                 | Mediana 32.883                 | Mediana: 7.103                                      |
| Massimo: 61.667                 | Massimo: 147.667               | Massimo: 50.250                                     |
| 0 4                             | 0 01779                        | 0 H 12223344  |
| 0                               | 1 4778                         | 0 M 556677779                                       |
| 1                               | 2 H 1122345556778              | 1 4   |
| 1 H 777889                      | 3 M 05599                      | 1 H 5   |
| 2 44                            | 4 11288                        | 2 4   |
| 2 M 56779                       | 5 H 00002469                   | 2   |
| 3 H 013344                      | 6 3                            | 3 12  |
| 3                               | 7 3                            | *** Outside Values ***                              |
| 4 0                             | 8 0                            | 3 57  |
| 4                               | 9 01                           | 5 0   |
| 5 1                             | *** Outside Values ***         |   |
| *** Outside Values ***          | 14 7                           |   |
| 6 1                             |                                |   |
| <b>Outlier il valore 61.667</b> | <b>Outlier il valore 147.7</b> | <b>Outliers i valori (approssimati) 35, 35 e 50</b> |

**Tabella 2-3 – Diagrammi Stream-and-Leaf**

### **2.1.2. Analisi geostatistica**

L'analisi geostatistica ha lo scopo di verificare se sussistono le condizioni per la definizione di un modello di distribuzione nello spazio della concentrazione dei nitrati attraverso l'analisi variografica e la successiva spazializzazione dei dati puntuali tramite la tecnica del kriging ordinario. Sono state considerate come unità geografiche le aree idrogeologicamente separate.

#### **2.1.2.1. Descrizione della metodologia utilizzata**

Sono stati analizzati inizialmente i pozzi suddivisi per area idrogeologicamente separata, ma solamente laddove la numerosità dei pozzi nell'area non risulta inferiore a 18, in quanto per una corretta analisi geostatistica ci devono essere un numero sufficiente di punti. Per queste aree idrogeologiche è stata condotta l'analisi variografica di seguito descritta. Quando è stato possibile individuare una correlazione tra varianza e distanza dei singoli pozzi, indice di stazionarietà e omogeneità statistica dei dati considerati, è stata sviluppata la funzione del modello con la migliore approssimazione al variogramma individuato. Il modello è stato poi sottoposto ad operazioni di validazione, in particolare attraverso la tecnica della cross-validazione, descritta successivamente.

L'analisi dei dati prodotti dalla cross-validazione ha consentito di valutare per quali aree i modelli sono sicuramente applicabili (errori contenuti), non applicabili (errori troppo

elevati), applicabili ma con evidente presenza di anomalie isolate o di individuare porzioni di area difformi rispetto all'area idrogeologica o macroarea di appartenenza.

I modelli validati consentono di effettuare la spazializzazione vera e propria dei dati puntuali delle singole aree con funzioni di kriging ordinario e la definizione dei parametri statistici medi che contraddistinguono la spazializzazione.

Analogo tipo di operazione è stato effettuato rispetto alle macroaree, per trattare le porzioni di territorio appartenenti ad aree idrogeologiche numericamente poco consistenti, per le quali non è stato possibile definire un modello. Le elaborazioni per macroarea, tuttavia, implicano il trattamento congiunto di pozzi potenzialmente appartenenti a popolazioni differenti e pertanto possono essere gravate fin dall'inizio di un maggior errore.

#### 2.1.2.1.1. Variogrammi

Il variogramma esprime l'andamento della varianza campionaria al variare della distanza dei punti di campionamento presi a coppie e raggruppati per intervalli determinati di distanza (lag). Idealmente la varianza dovrebbe aumentare all'aumentare della distanza tra le coppie di punti fino a raggiungere un valore più o meno costante (sill) ad una certa distanza di separazione (range). In teoria il semivariogramma dovrebbe passare per l'origine per distanze tra i campioni tendenti a zero, ma la variabilità su microscala o rispetto ad una scala inferiore a quella del campionamento, insieme ad eventuali errori di misura, comportano una varianza non nulla per distanze tendenti a zero (effetto nugget). I campioni separati spazialmente da una distanza superiore al range possono considerarsi spazialmente non correlati.

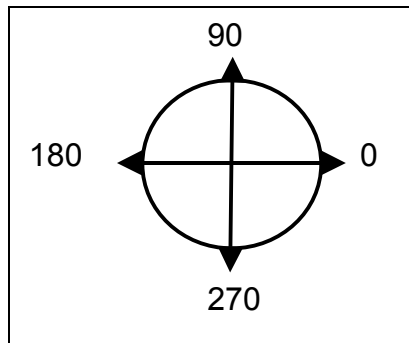
Per ogni area idrogeologicamente separata e, a seguire, per ogni macroarea in cui è stato possibile calcolarli, si riportano i variogrammi sperimentali (rappresentati dai punti nel grafico) e il modello adattato (rappresentati da una linea continua).

Alcuni variogrammi sperimentali non presentano range e sill ben definiti, bensì un andamento monotono, che sta ad indicare un trend nei dati e l'assenza di stazionarietà; ne consegue l'impossibilità di trattare i dati con metodi geostatistici di tipo parametrico.

E' interessante sottolineare che, in molti casi, i variogrammi mostrano una correlazione tra varianza e distanza tra i punti lungo la direzione di scorrimento della falda.

Per una corretta lettura delle direzioni dei variogrammi è da tener presente che il programma utilizzato misura gli angoli di direzione come riportato nella figura 2-1.





**Figura 2-1 – Angoli di direzione dei variogrammi**

#### 2.1.2.1.2. Modelli

Dopo aver calcolato il semivariogramma sperimentale sui valori campionati, è necessario adattare un modello matematico alla serie di punti del grafico per ottenere una funzione continua. I software di geostatistica propongono alcuni modelli teorici predefiniti tra i quali scegliere, quali il gaussiano, il lineare, lo sferico, l'esponenziale, con possibilità di combinazione lineari tra due o più di essi (modelli nested).

Per ogni area spazializzata si riporta la funzione del modello e la correlazione tra punti del variogramma e modello adattato (IGF).

#### 2.1.2.1.3. Validazione dei modelli tramite analisi geostatistica

La validazione dei modelli viene effettuata secondo tre passaggi: cross-validazione, analisi statistica dei dati prodotti dalla cross-validazione, interpretazione dei risultati statistici.

La cross-validazione consente di determinare lo scostamento tra il valore reale misurato di ogni singolo pozzo e il valore che si otterrebbe applicando il modello in esame. Si basa quindi sull'esclusione di un punto alla volta dalla popolazione di dati georiferiti e sulla sua stima, come se il punto non fosse stato campionato.

L'analisi statistica successiva esamina, per ciascuna area idrogeologica e macroarea i valori degli scostamenti (detti anche, non del tutto propriamente, errori). In particolare, è stata analizzata, con tecniche statistiche, la distribuzione degli scostamenti tra valori predetti e valori misurati, la simmetria rispetto allo zero, l'ampiezza degli scostamenti, la presenza di valori estremi tra gli scostamenti e le eventuali correlazioni con valori estremi delle misure analitiche di nitrati nell'area.

L'interpretazione dei risultati ottenuti ha consentito di valutare l'applicabilità del modello, evidenziandone l'attendibilità nelle operazioni di spazializzazione. Conseguentemente sono state messe in evidenza le anomalie locali e le criticità dovute alla scarsa rappresentatività di alcuni pozzi per l'area di appartenenza, nonché l'eventuale

presenza di “isole” omogenee al loro interno, ma disomogenee rispetto all’area di appartenenza. Sia le anomalie locali, che le isole comportano scostamenti significativi dai rispettivi valori attesi e predetti dal modello.

#### 2.1.2.1.4. Spazializzazione dei dati puntuali

L’elaborazione del semivariogramma riveste importanza oltre che per l’analisi strutturale dei dati anche per il suo utilizzo in una delle tecniche di interpolazione dei dati nota come “Kriging”.

Il kriging consiste essenzialmente in una media mobile pesata per la stima di un punto non campionato a partire da punti vicini noti. La forma più comune di kriging è quello ordinario, che tiene conto delle fluttuazioni locali della media, limitando la condizione di stazionarietà del dato ad un intorno del punto da stimare secondo l’algoritmo di seguito riportato.

$$z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

Nell’algoritmo  $x_0$  è il punto da stimare,  $N$  numero dei valori campionati  $z(x_i)$  che intervengono sulla stima del valore interpolato e  $\lambda_i$  sono i pesi attribuiti ad ogni singolo campione  $x_i$ .

Tra le altre caratteristiche il kriging determina i pesi da applicare tramite l’esatta inferenza del modello teorico adattato al variogramma sperimentale.

La spazializzazione del dato in un punto non noto avviene considerando un raggio di ricerca nel quale ricadono i punti campionati che contribuiscono a definire il valore stimato. Per ogni spazializzazione effettuata è stato scelto il vicinaggio che minimizza la media standardizzata dell’errore di stima per tutta l’area. Inoltre la stima non è stata estesa all’area che va oltre l’ultimo punto utile campionato, lasciando così scoperte quelle zone di area idrogeologica, o macroarea, non indagate dai pozzi di monitoraggio.

#### 2.1.2.2. *Applicazione del modello alle aree idrogeologicamente separate*

Sono di seguito descritte tutte le aree idrogeologiche, ma solo per quelle dove è stata possibile eseguire la spazializzazione, verranno presentati il cartogramma, il modello, l’analisi statistica, il cartogramma e un breve commento sulle criticità emerse.

Nella tabella 2-2 è riportata la legenda dei cartogrammi.

|  | <b>Concentrazione di nitrati</b> |
|--|----------------------------------|
|  | 0-25 mg/L                        |
|  | 25-40 mg/L                       |
|  | 40-50 mg/L                       |
|  | > 50 mg/L                        |

**Figura 2-2 – Legenda cartogrammi**

### 2.1.2.2.1. Area Idrogeologica AL04

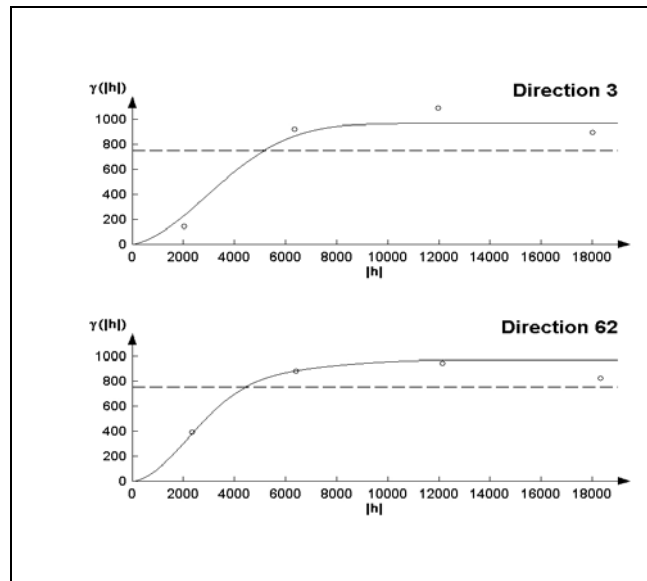


Figura 2-3 – Variogramma

Modello

Gamma(h): 705.584 Gauss. 5320 (h) + 269.3947 Sph. 12042.83 (h)

Dir.(1): 62 | anis.(1): 1.7 | Dir.(2): 62 | anis.(2): 0.

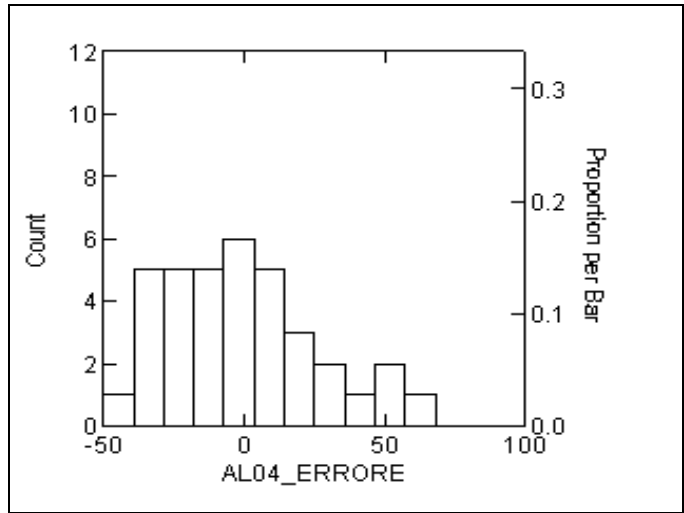
IGF: 2.3085e-02

Modello nested composto da un gaussiano (Gauss.) e uno sferico (Sph.) con un coefficiente di correlazione con il variogramma sperimentale non troppo elevato.

Validazione statistica del modello

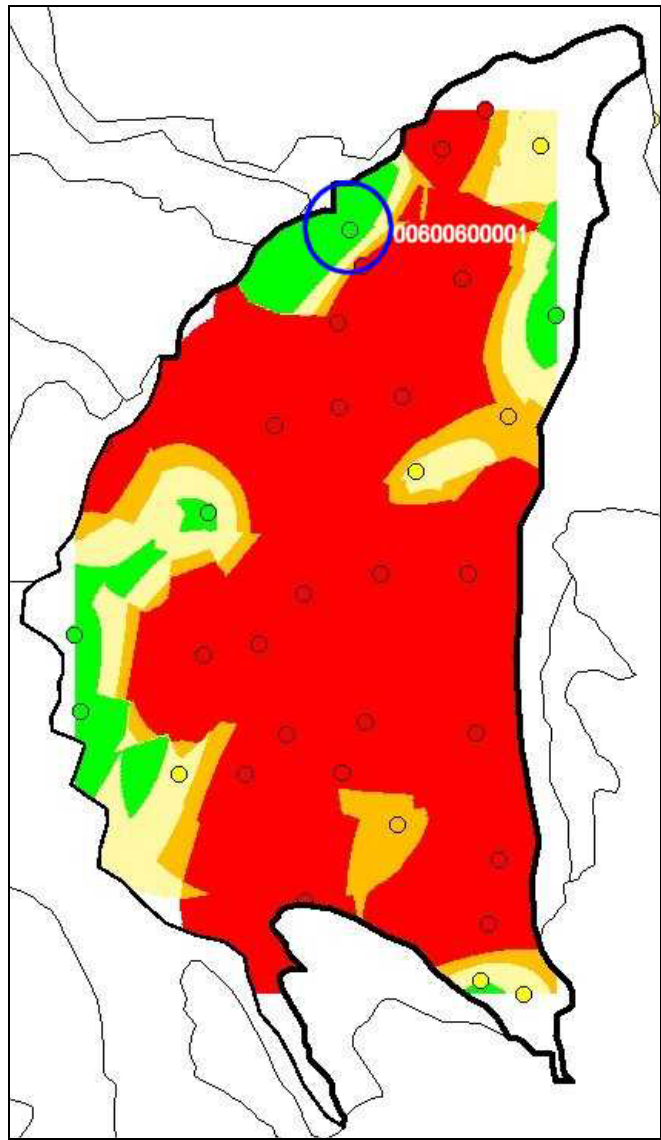
Gli scostamenti hanno range [-41.3; 65], quindi un intervallo piuttosto ampio, non riconducibile a valori isolati. L'area infatti non presenta outliers, sia tra gli scostamenti che nei valori di nitrati.

Tuttavia l'istogramma (figura 2-4) evidenzia che gli scostamenti sono ben raggruppati intorno allo zero, di conseguenza il modello costituisce una buona rappresentazione se consideriamo le zone più omogenee (zone vulnerate, in rosso nel cartogramma in figura 2-5), ed è meno attendibile nelle altre.



**Figura 2-4 – Istogramma scostamenti**

Spazializzazione



**Figura 2-5 – Cartogramma**

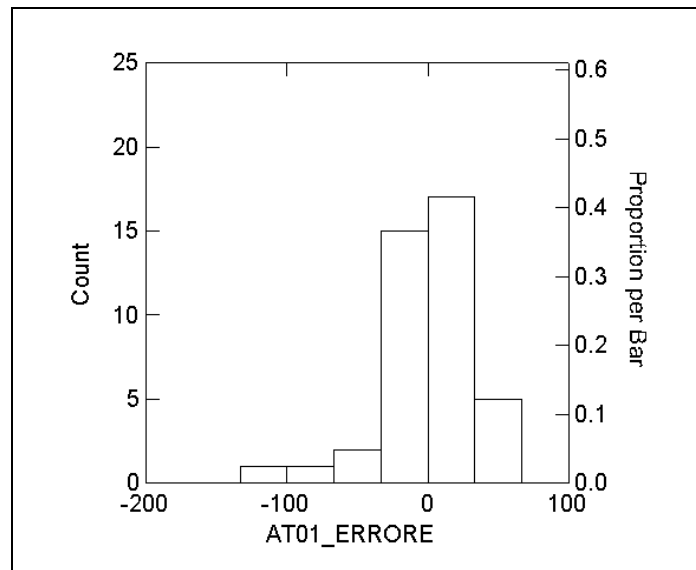
## Criticità

L'area a concentrazione di nitrati molto bassa, localizzata a nord, deriva dal pozzo 00600600001, ubicato nella zona in cui il modello risulta in assoluto meno rappresentativo. Le verifiche svolte sui dati analitici dei campionamenti effettuati non hanno evidenziato criticità per quanto riguarda il bilanciamento cationi/anioni mentre hanno evidenziato, un'alta conducibilità (media circa 2000 uS/cm), con alte concentrazioni di cloruri (circa 700 mg/L) e sodio (circa 350 mg/L). Sono assenti nitrati e nitriti ma è presente ione ammonio con concentrazioni di un certo rilievo (media di circa 3,5 mg/L NH<sub>4</sub>). Questi dati risultano di difficile interpretazione, tuttavia si ritiene che il pozzo in questione non sia rappresentativo dell'area idrogeologicamente separata AL04.

Queste considerazioni saranno approfondite nell'ambito della revisione della rete di monitoraggio che l'ARPA sta effettuando.

#### 2.1.2.2.2. Area Idrogeologica AT01

La forma particolarmente allungata dell'area idrogeologica non consente una distribuzione dei pozzi nello spazio tale da ritenere applicabile un modello geostatistico. Il tentativo di effettuare una spazializzazione con il metodo IDW (Inverse Distance Weighting) comporta, come evidenziato nell'istogramma (figura 2-6), errori non trascurabili.



**Figura 2-6 – Istogramma scostamenti**

Per tale motivo non viene riportato il cartogramma relativo alla spazializzazione dei dati puntuali. Analogamente, per mantenere la coerenza rispetto al metodo seguito, non sembra opportuno applicare modelli differenti.

### 2.1.2.2.3. Area idrogeologica CN02

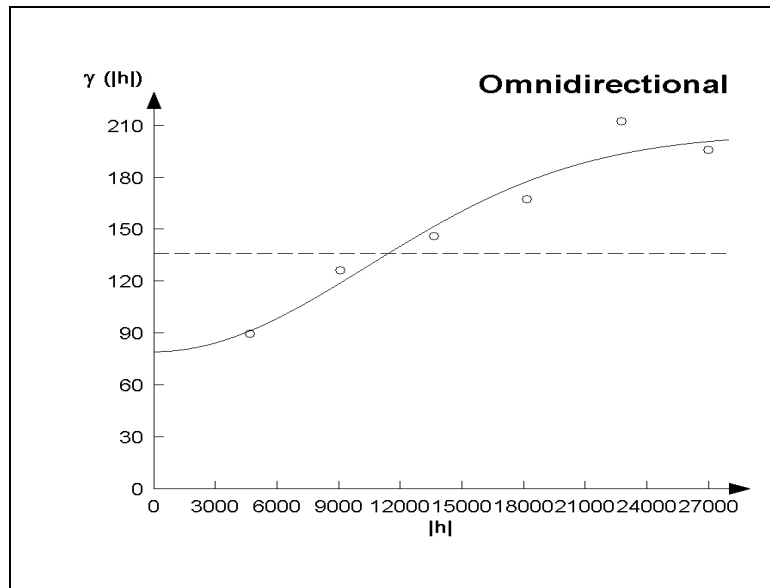


Figura 2-7 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $79.478 + 125.9907 \text{ Gauss. } 27000 (h)$

Dir.(1): 1 | anis.(1): 0.05

IGF:  $6.6480e-03$

Modello gaussiano che interpola il variogramma sperimentale con un buon coefficiente di correlazione.

Validazione statistica del modello

L'istogramma in figura 2-8 mostra la presenza di due scostamenti superiori, in valore assoluto, a tutti gli altri. Tali scostamenti sono isolati e corrispondono ai valori più grandi di nitrati dell'area, indicati con i due punti rossi nel successivo cartogramma (uno dei quali outliers in modo significativo).

Prescindendo da tale coppia di pozzi il modello è stabile e la rappresentazione dell'area più continua.



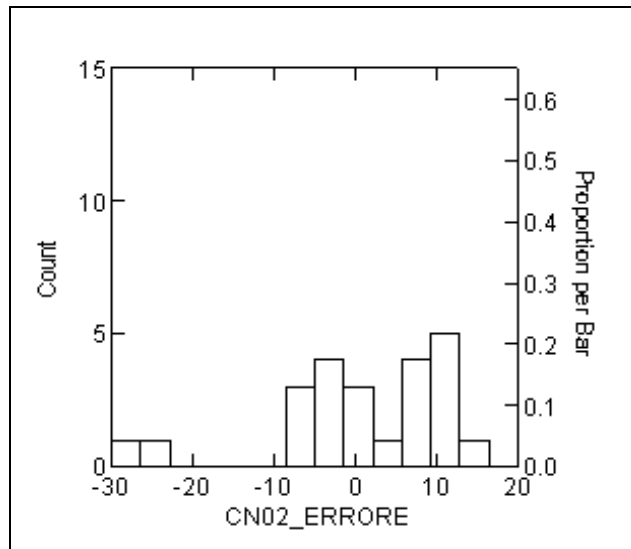


Figura 2-8 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

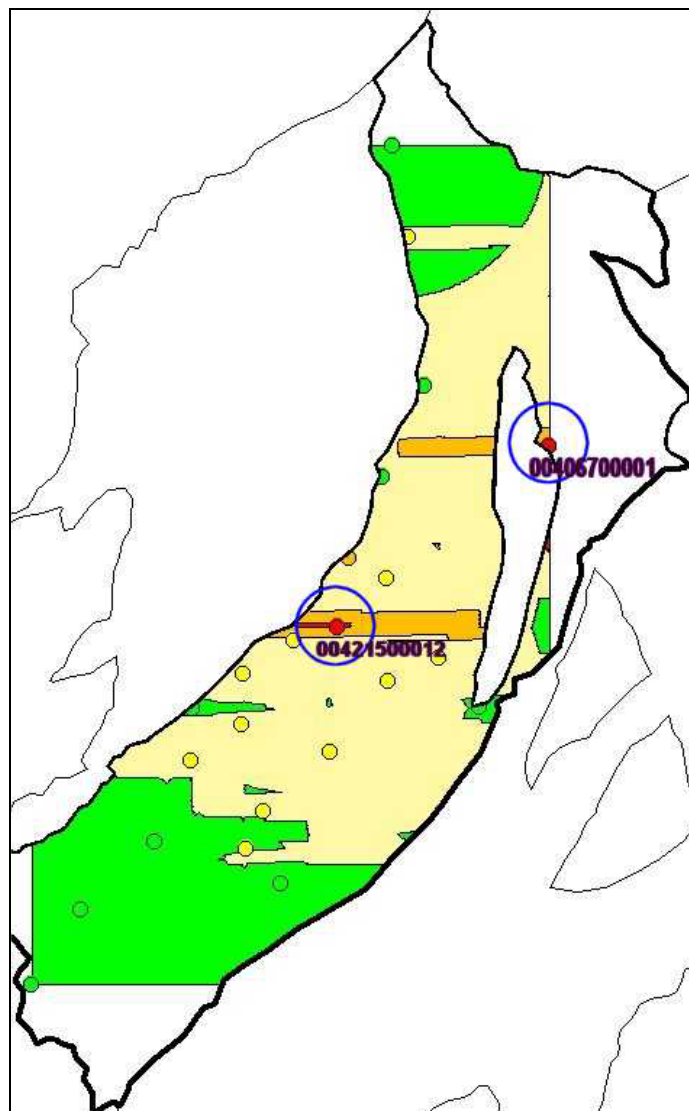


Figura 2-9 – Cartogramma

## Criticità

Il pozzo 00406700001 è da considerarsi poco rappresentativo dell'area idrogeologicamente separata CN02, data la sua ubicazione marginale, a ridosso del terrazzo. E' previsto comunque un approfondimento per verificare l'esatta ubicazione e le caratteristiche costruttive del pozzo.

Per il pozzo 00421500012, già rilevato come valore estremo (outlier) per l'area considerata, è necessario reperire ulteriori informazioni, considerando elementi quali caratteristiche costruttive e contestualizzazione ambientale specifica.

#### 2.1.2.2.4. Area idrogeologica CN03

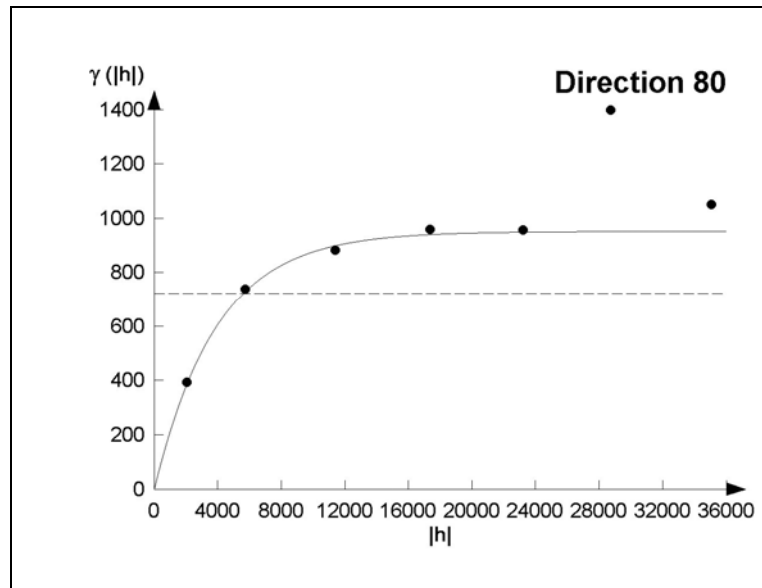


Figura 2-10 – Variogramma

Modello

Gamma(h): 715.351 Exp.12257 (h) + 238.053 Exp.11040 (h)

Dir.(1): 37 | anis.(1): 0.97 | Dir.(2): 82 | anis.(2): 0.45

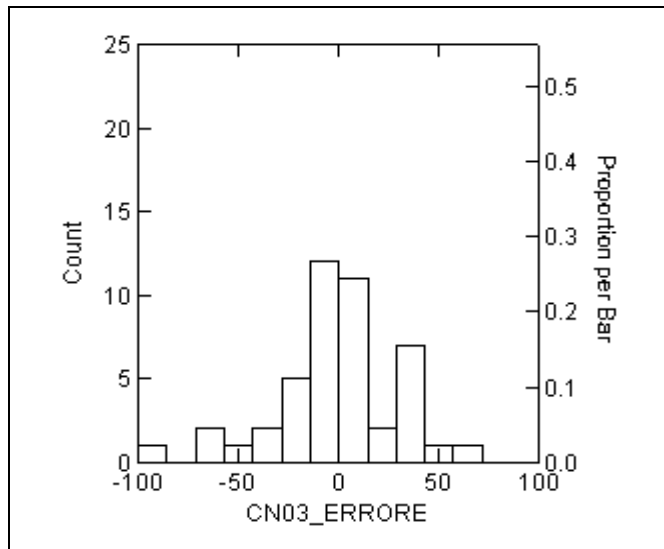
IGF: 4.0315e-02

Modello composto da due esponenziali (Exp.) che presenta il coefficiente di correlazione peggiore tra tutte le aree indagate.

Validazione statistica del modello

Nell'area è presente un pozzo identificato come anomalia forte (valore di nitrati 147.7 mg/L). Tuttavia, anche escludendo tale valore, il range degli scostamenti rimane comunque troppo ampio [-60÷65].

Ne consegue che, pur in presenza di distribuzione piuttosto simmetrica degli errori (figura 2-11), l'approssimazione introdotta dal modello risulta essere troppo forte.



**Figura 2-11 – Istogramma scostamenti**

Il modello non fornisce una valida rappresentazione e per tale motivo non viene riportato il cartogramma relativo alla spazializzazione dei dati puntuali.

2.1.2.2.5. Area idrogeologica NO01

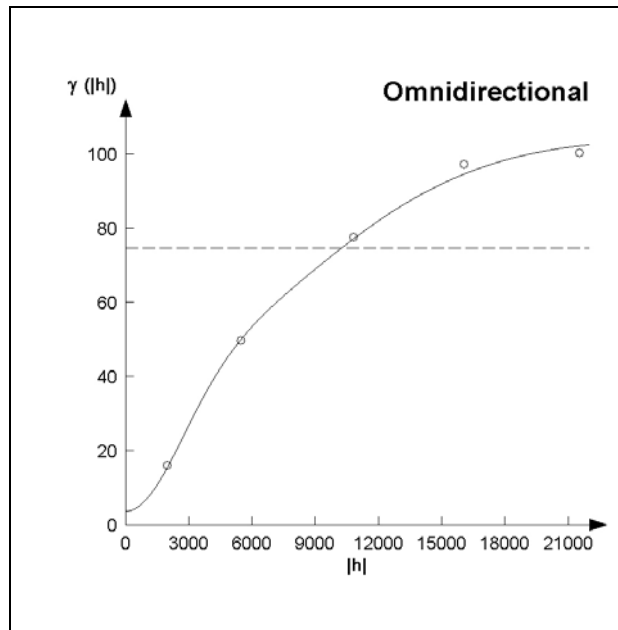


Figura 2-12 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $3.75 + 63.52 \text{ Gauss.}20443.13 (h) + 37.27 \text{ Gauss.} 22000 (h)$

Dir.(1): 7 | anis.(1): 0.83 | Dir.(2): 2 | anis.(2): 0.01

IGF:  $6.0817e-04$

Modello composto con un buon coefficiente di correlazione

Validazione statistica del modello

Il modello è stabile, l'area non presenta anomalie di rilievo e gli scostamenti sono molto bassi; per questo motivo non è riportato l'istogramma degli scostamenti.

Spazializzazione

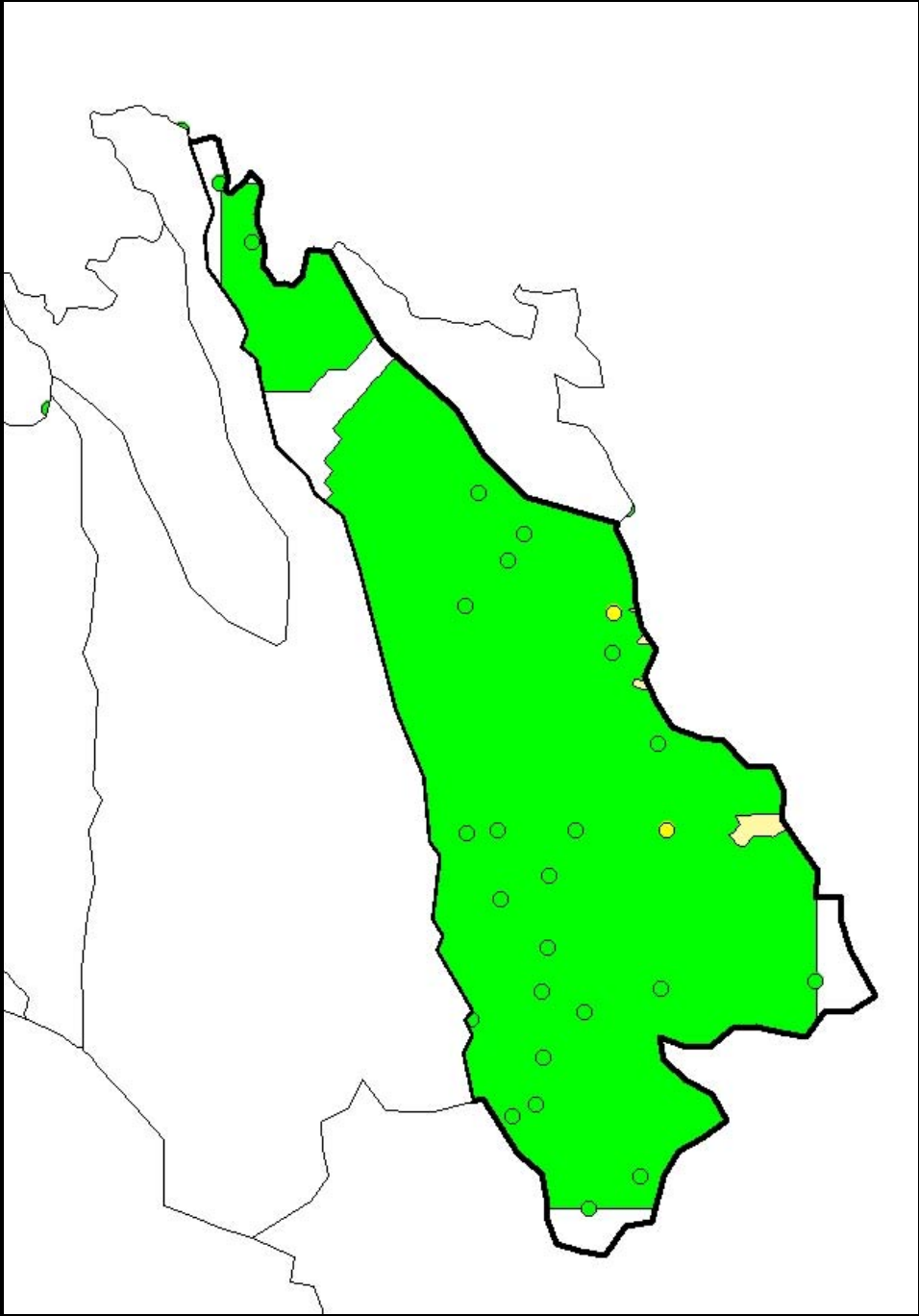


Figura 2-13 – Cartogramma

#### 2.1.2.2.6. Area idrogeologica TO07

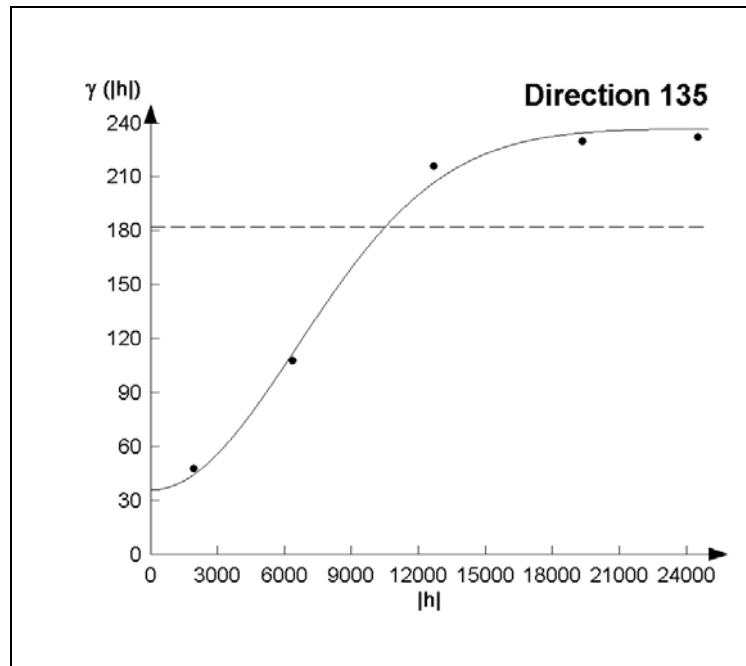


Figura 2-14 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $36.08733 + 184.2873 \text{ Gauss}.16306.67 (h) + 16.95433 \text{ Gauss}. 16019.17 (h)$

Dir.(1): 144 | anis.(1): 0.58 | Dir.(2): 0 | anis.(2): 1

IGF:  $2.8868e-03$

Modello composto con un buon coefficiente di correlazione.

Validazione statistica del modello

L'area presenta scostamenti molto contenuti con range rappresentato dall'intervallo  $[-11 \div 18]$ . Nessun valore di nitrati risulta anomalo. Il modello è stabile. Per questi motivi non viene riportato l'istogramma degli scostamenti.

Spazializzazione

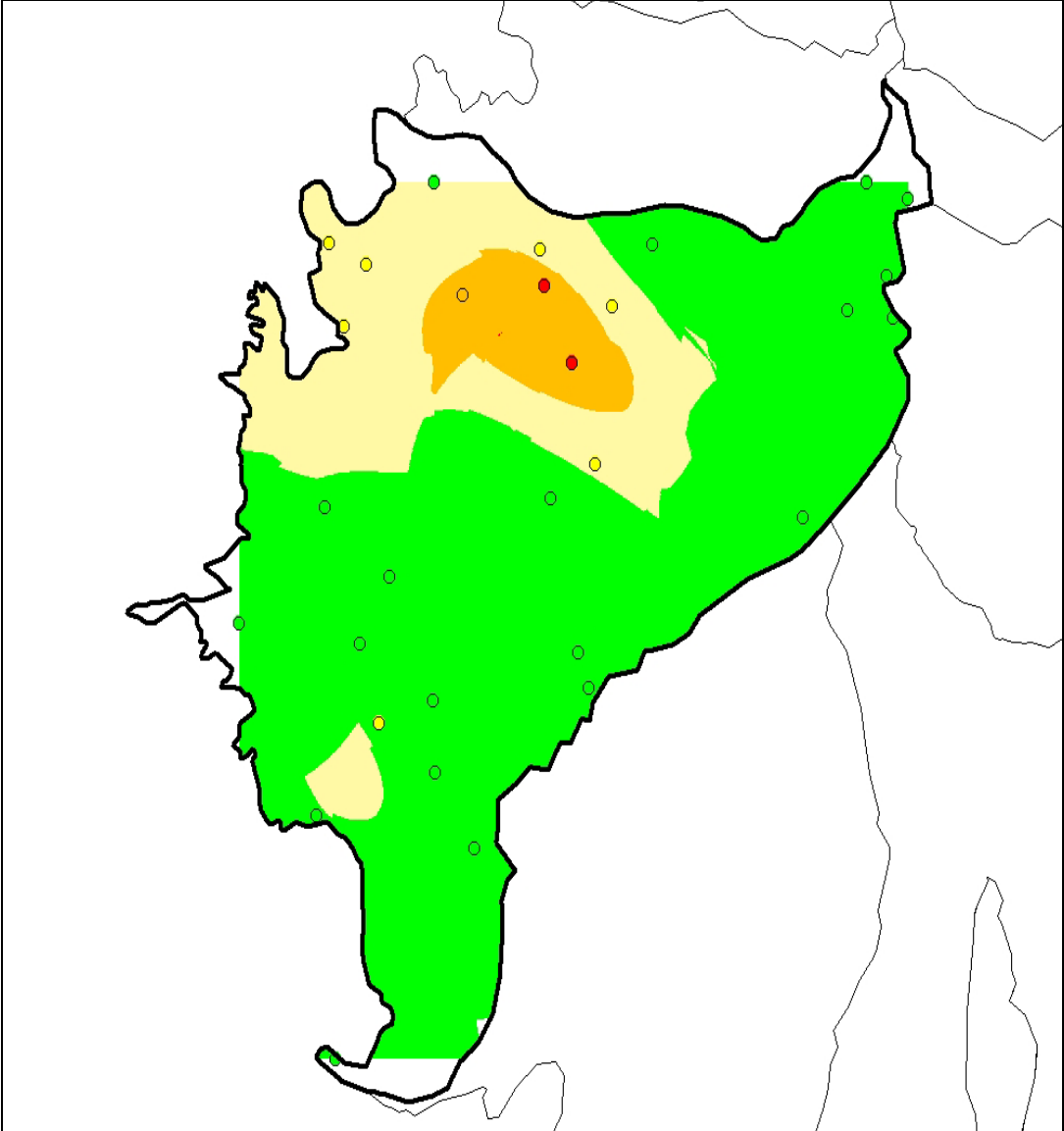


Figura 2-15 – Cartogramma



#### 2.1.2.2.6. Area idrogeologica VC01

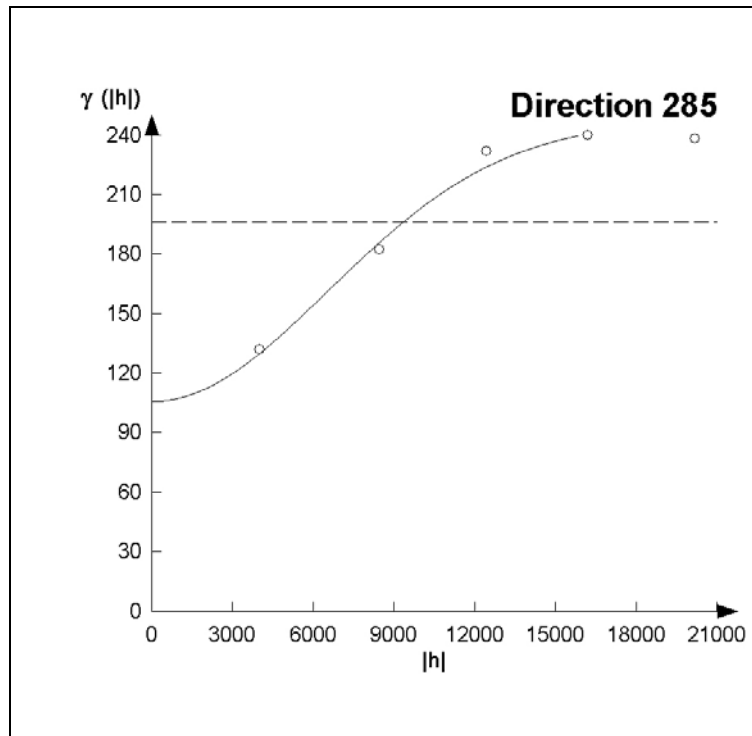


Figura 2-16 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $106 + 141.38 \text{ Gauss. } 15960 (h)$

Dir.(1): 114 | anis.(1): 1.1

IGF:  $1.1833e-03$

Modello gaussiano con un buon coefficiente di correlazione

Validazione statistica del modello

In quest'area non sono presenti valori estremi di nitrati, quindi l'elevato range degli scostamenti,  $[-39 \div 33]$  (figura 2-17), evidenzia una variabilità intrinseca all'interno dell'area. Per tale motivo il modello è stabile nelle zone più omogenee, mentre deve essere utilizzato con cautela nelle altre zone, localizzate a nord dell'area idrogeologica.

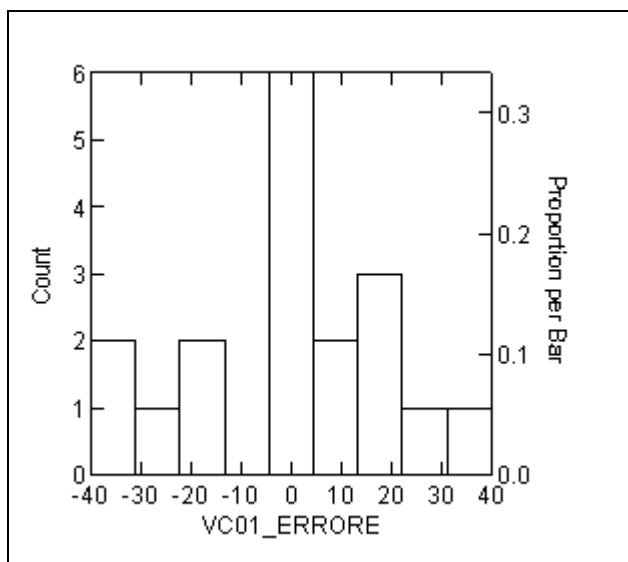


Figura 2-17 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

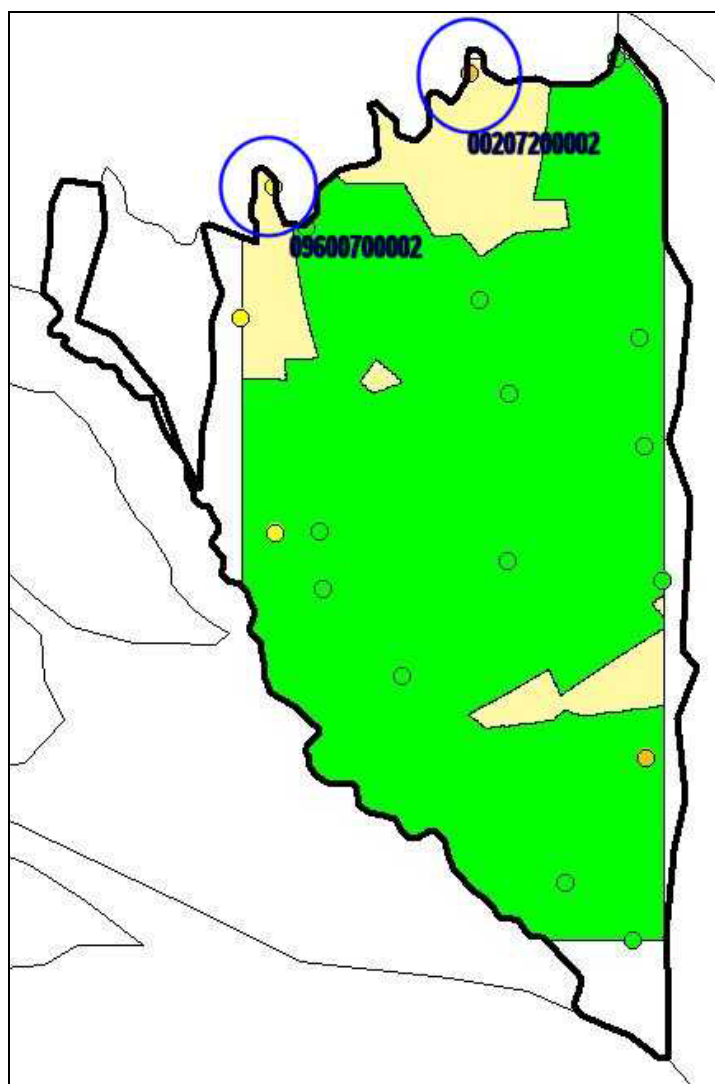


Figura 2-18 – Cartogramma

## Criticità

Per quanto riguarda i punti 09600700002 e 00207200002, localizzati nella zona in cui il modello risulta in assoluto meno rappresentativo, si può ipotizzare una anomalia locale determinata da condizioni particolari dell'area ristretta intorno ai pozzi e caratteristiche costruttive non idonee.

Queste considerazioni saranno approfondite nell'ambito della revisione della rete di monitoraggio che l'ARPA sta effettuando.

Pertanto, il dato sulla concentrazione di nitrati per questi pozzi non si ritiene utilizzabile per valutazioni generali sull'area in questione.

### 2.1.2.2.7. Area idrogeologica VC02

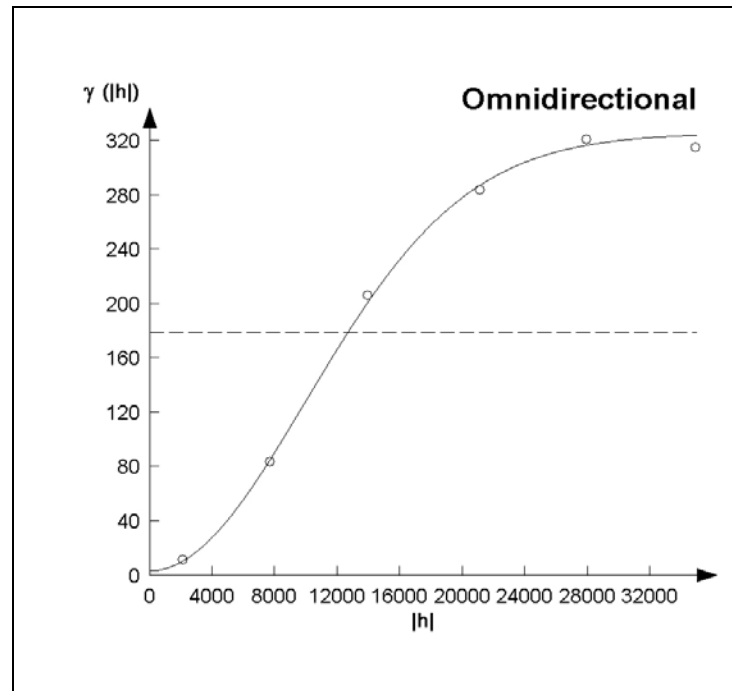


Figura 2-19 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $3.594 + 142.182 \text{ Gauss.}29559.83 (h) + 179.994 \text{ Gauss.} 21509.83 (h)$

Dir.(1): 197 | anis.(1): 0.61 | Dir.(2): 20 | anis.(2): 2.6

IGF:  $1.0296e-03$

Modello composto con un buon coefficiente di correlazione.

Validazione statistica del modello

Il range degli scostamenti è contenuto (figura 2-20), pertanto il modello fornisce una buona approssimazione areale.

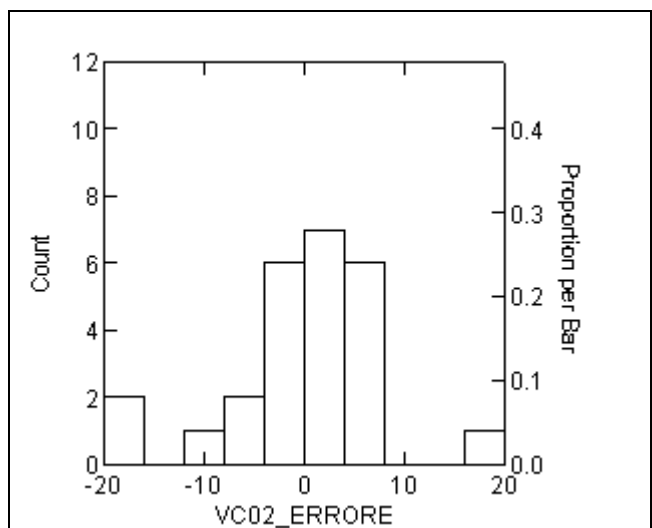


Figura 2-20 – Istogramma scostamenti

### Spazializzazione

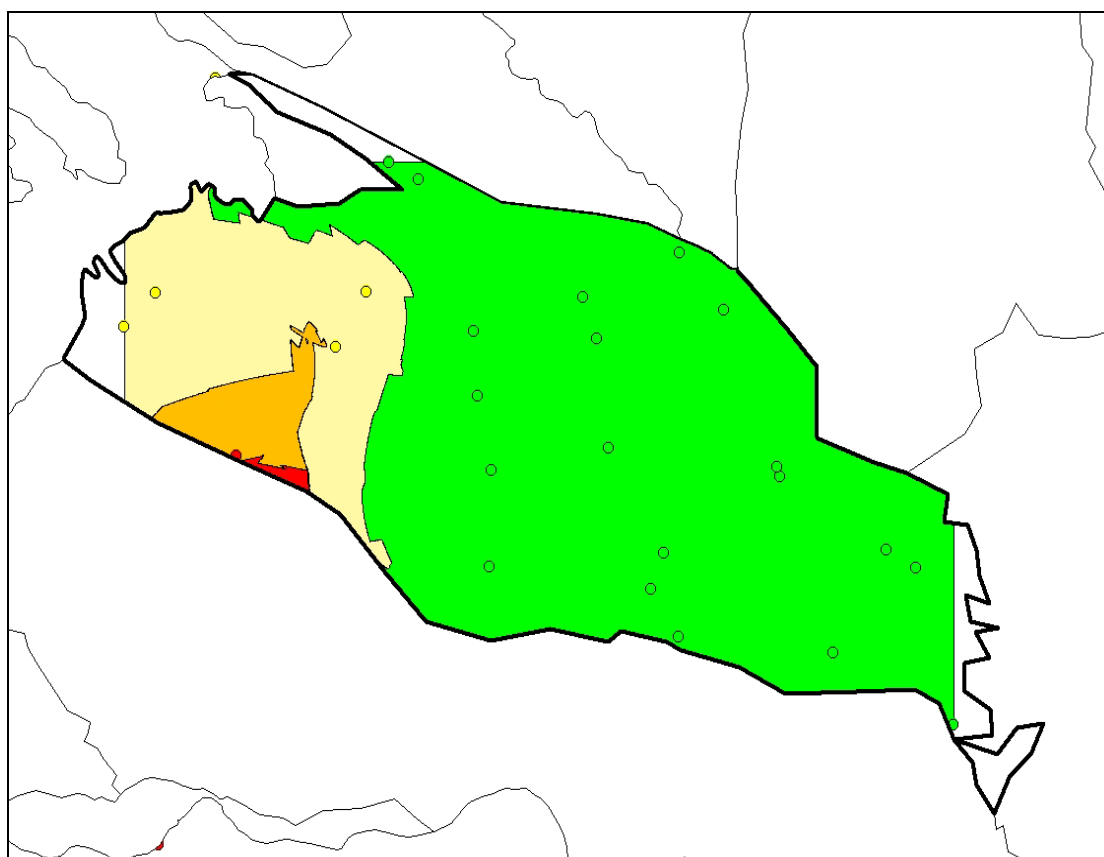


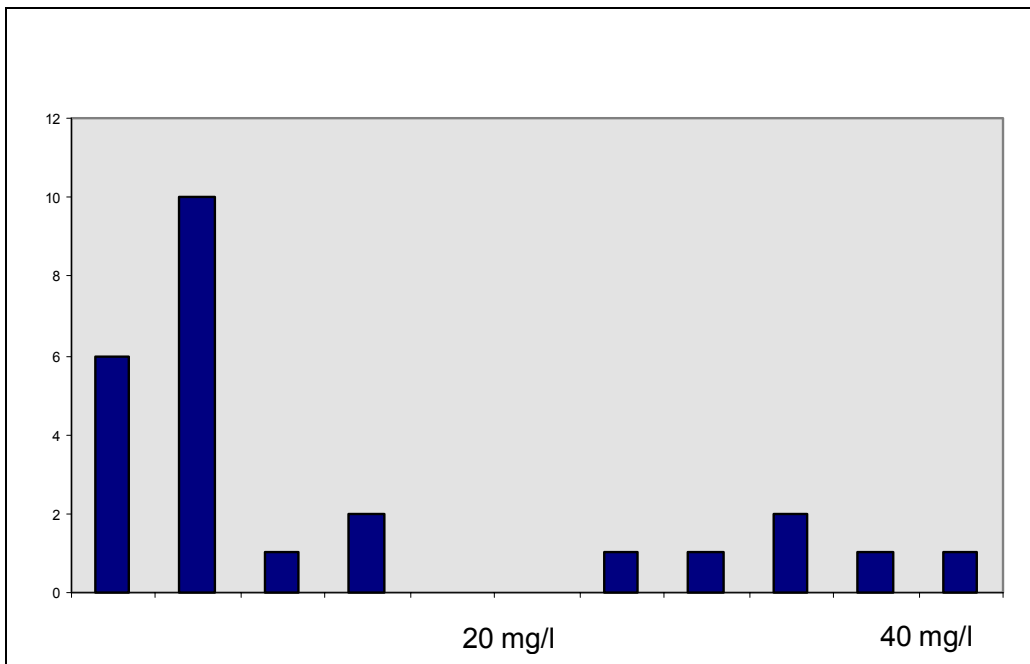
Figura 2-21 – Cartogramma

### Criticità

La ricerca dei valori estremi (outliers) ha individuato la presenza di un gruppo di misure di nitrati significativamente maggiore degli altri.

La presenza di due raggruppamenti all'interno dell'area in esame è anche suggerita dalla distribuzione dei valori di nitrati nell'area, come evidenziato dall'istogramma in figura 2-22.

Anche l'analisi territoriale e cartografica (figura 2-21) mette in evidenza l'esistenza di due "sottoaree" distinte, caratterizzate da raggruppamenti geograficamente "vicini" tali da far pensare a due distinte popolazioni di dati.



**Figura 2-22 – Distribuzione dei valori di nitrati**

#### 2.1.2.2.8. Area idrogeologica VC03

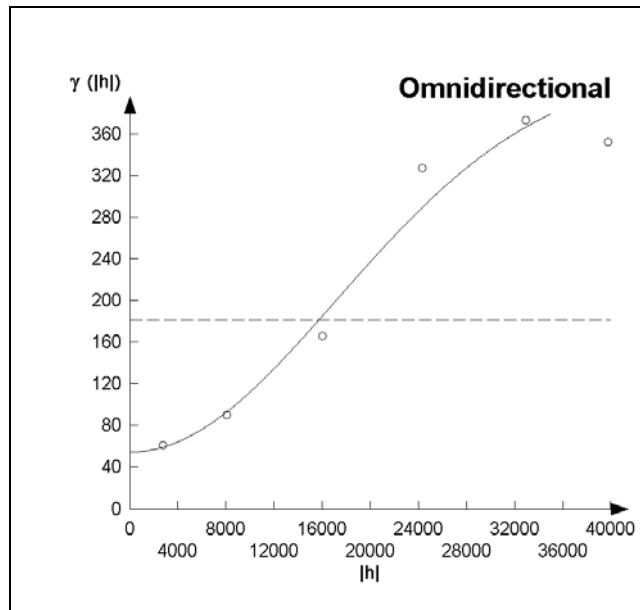


Figura 2-23 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $55.1 + 181.792 \text{ Gauss}.35660 (h) + 190 \text{ Gauss}. 40000 (h)$

Dir.(1): 35 | anis.(1): 57 | Dir.(2): 11 | anis.(2): 13

IGF:  $2.3713e-02$

Modello composto con uno scarso coefficiente di correlazione con il variogramma sperimentale.

Validazione statistica del modello

Gli scostamenti sono complessivamente limitati. Tuttavia, poiché nell'area non sono stati individuati pozzi con valori estremi, è interessante esaminare la posizione dei pozzi che producono gli scostamenti più importanti (figura 2-24).

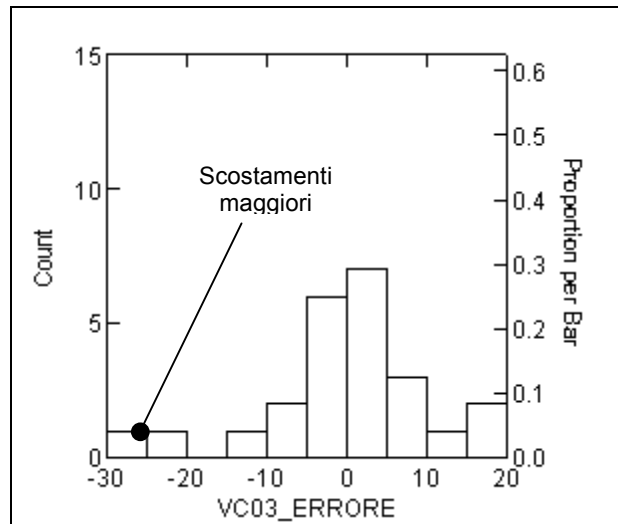


Figura 2-24 – Istogramma scostamenti

### Spazializzazione

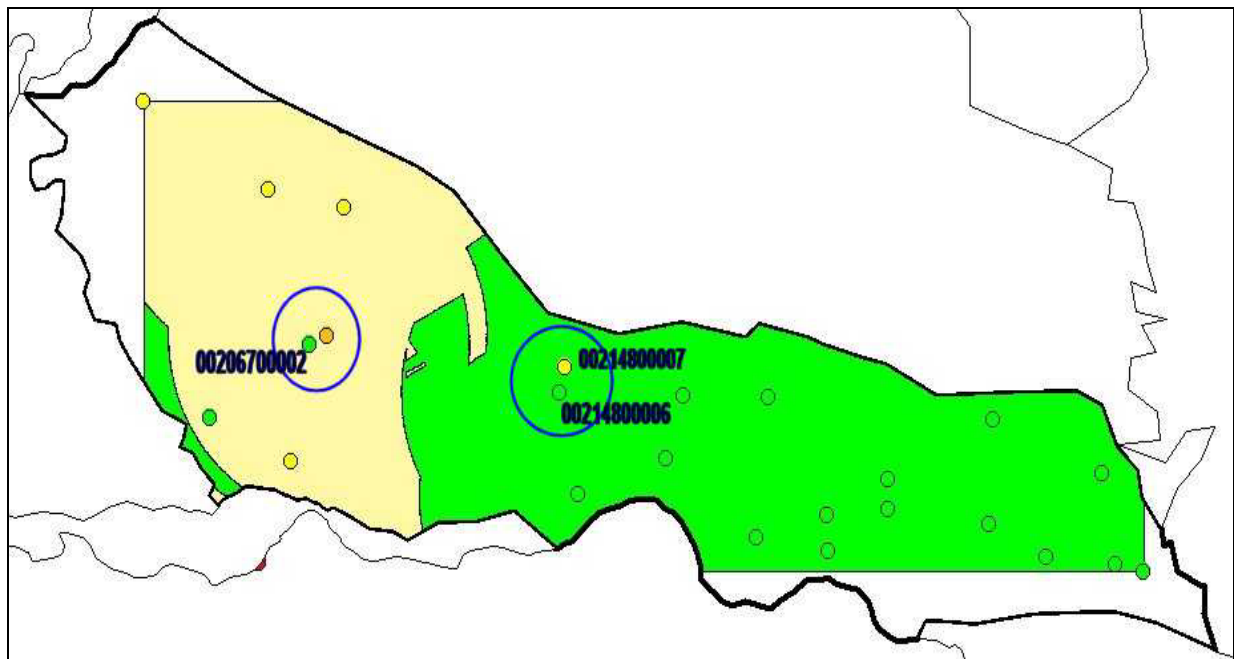


Figura 2-25 – Cartogramma

### Criticità

I pozzi con le criticità maggiori evidenziati dalla cross validation sono “coppie” di pozzi posti a limitata distanza ma che presentano valori misurati di nitrati che si scostano notevolmente.

Per quanto riguarda i pozzi 00214800006 e 00214800007, si rileva che pur essendo vicini appartengono a due diversi contesti idrogeologici (anche se all’interno della stessa area idrogeologicamente separata). Le diverse circolazioni sono testimoniate anche dalle diverse profondità e differenti caratteristiche idrochimiche.



Per il pozzo 00206700002 si ipotizza che il fenomeno possa essere attribuibile alla tipologia dell'opera.

Queste considerazioni saranno approfondite nell'ambito della revisione della rete di monitoraggio che l'ARPA sta effettuando.

### 2.1.2.3. Applicazione del modello alle macroaree

L'analisi geostatistica applicata ai pozzi raggruppati per macroarea implica il trattamento congiunto di dati appartenenti ad aree idrogeologiche differenti e quindi con una notevole difformità ipotizzabile a priori. Tale difformità si traduce in una maggiore approssimazione dei modelli.

Per le macroaree in cui parte dell'area è stata spazializzata come area idrogeologica si riporta solo l'estensione territoriale della parte rimanente. L'analisi non è stata effettuata per le macroaree coperte interamente dall'indagine precedente e per la macroarea MS4 che non prevede un numero sufficiente di pozzi per qualunque operazione di analisi spaziale.

#### 2.1.2.3.1. Macroarea MS1

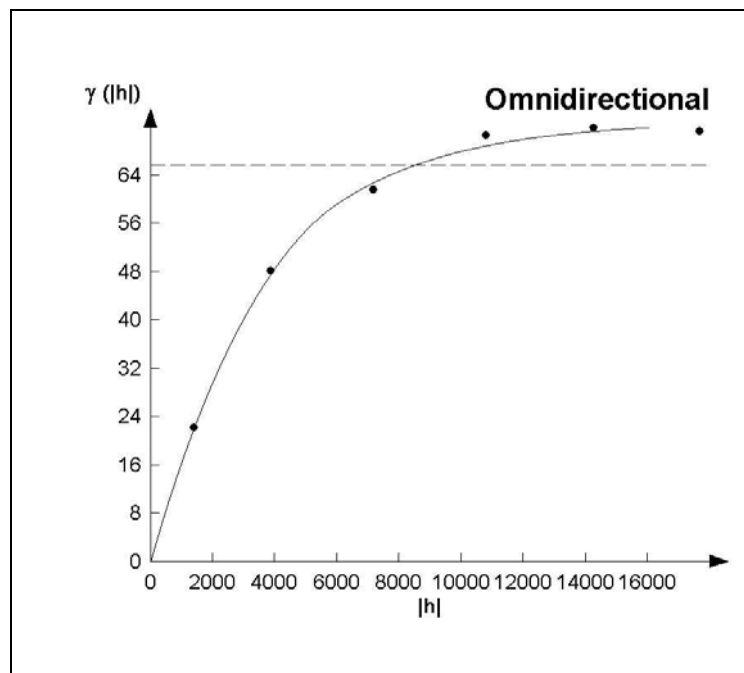


Figura 2-26 – Variogramma

Modello

Gamma(h): 62.0378 Exp.11838.6 (h) + 11.0638 Sph.6051 (h)

Dir.(1): 165 | anis.(1): 1.2 | Dir.(2): 0 | anis.(2): 1

IGF: 5.2263e-04

Modello combinato con un esponenziale e uno sferico con coefficiente di correlazione buono.

Validazione statistica del modello

Gli scostamenti sono abbastanza contenuti e omogenei, ben raggruppati attorno allo 0.  
Non si evidenziano problemi nell'uso del modello.

Spazializzazione

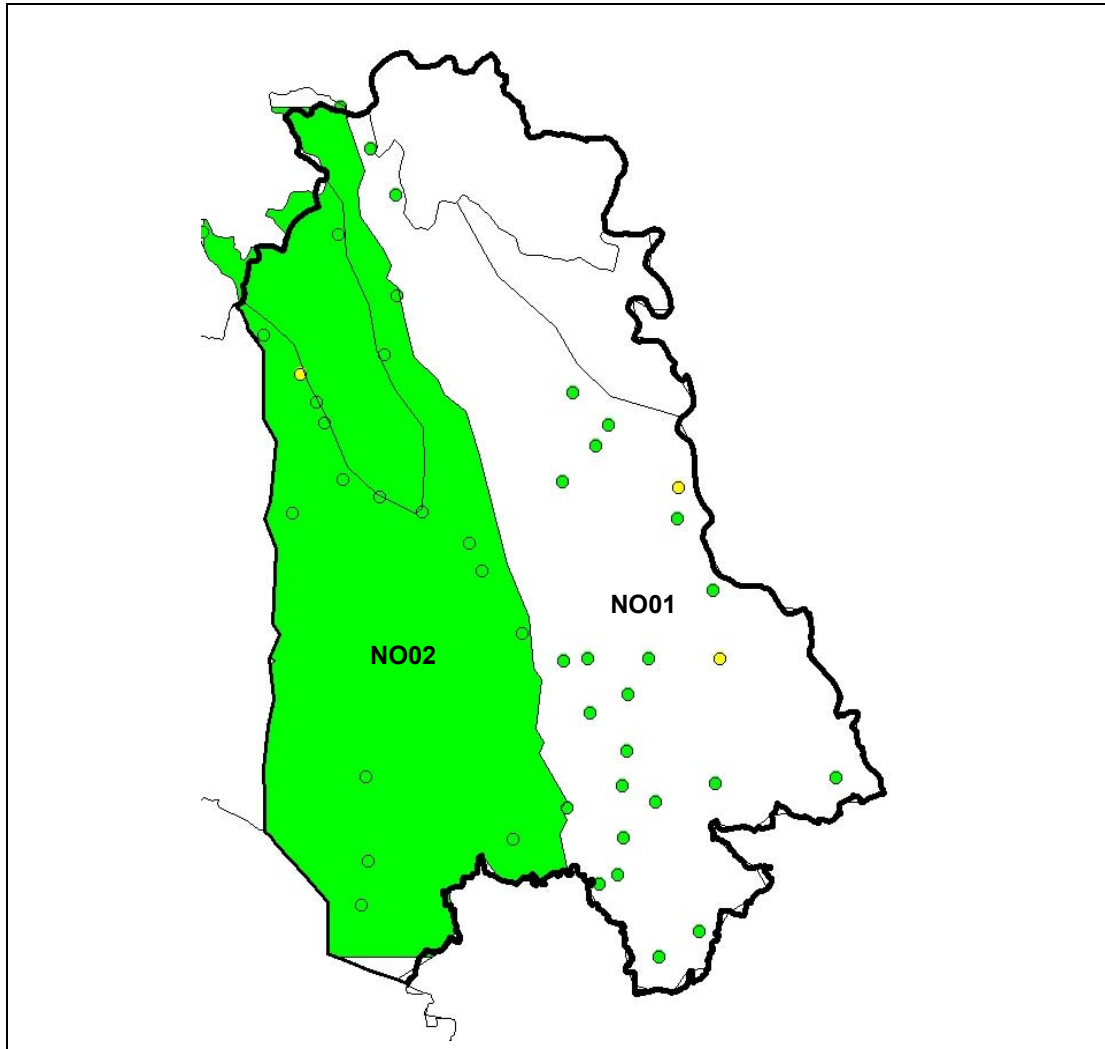


Figura 2-27 – Cartogramma

### 2.1.2.3.2. Macroarea MS2

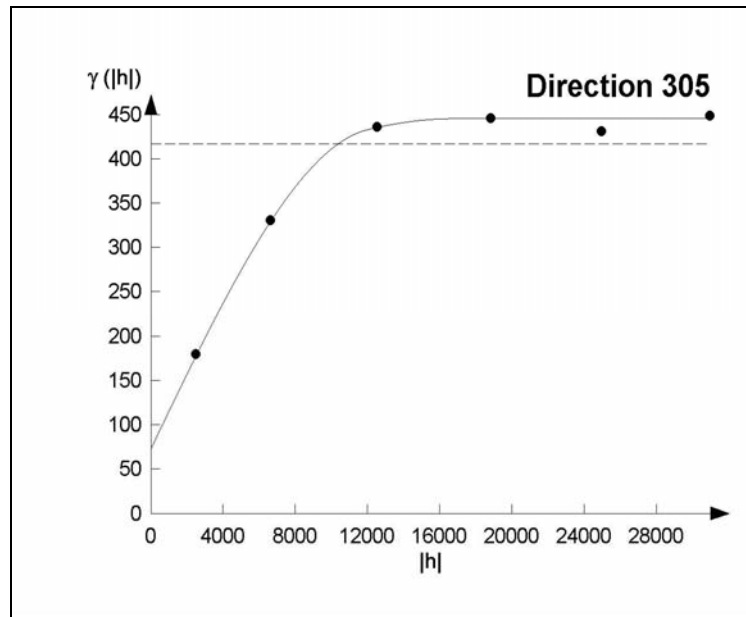


Figura 2-28 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $74.312 + 258.79 \text{ Sph}.11994.93 (h) + 112.756 \text{ Sph}.16787.53 (h)$

Dir.(1): 0 | anis.(1): 1 | Dir.(2): 0 | anis.(2): 1

IGF:  $2.0175e-04$

Modello combinato con coefficiente di correlazione buono.

Validazione statistica del modello

Si evidenziano scostamenti abbastanza ampi verso la direzione negativa, e contestualmente una anomalia positiva forte, il cui valore è più vicino a 100 che a 50 (figura 2-29). L'esame della spazializzazione, fornirà informazioni su tale anomalia e anche sulla dislocazione dei pozzi con scostamenti negativi "grandi".

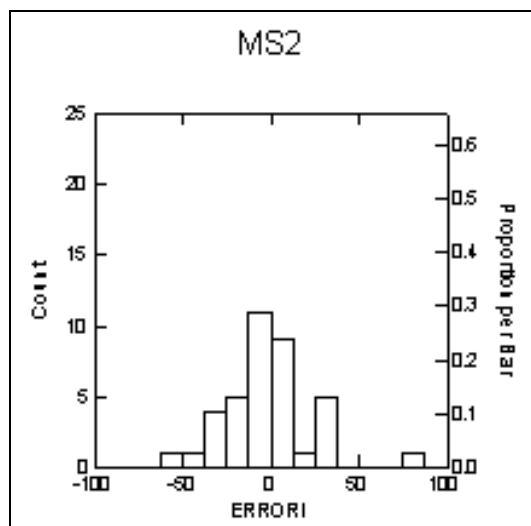


Figura 2-29 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

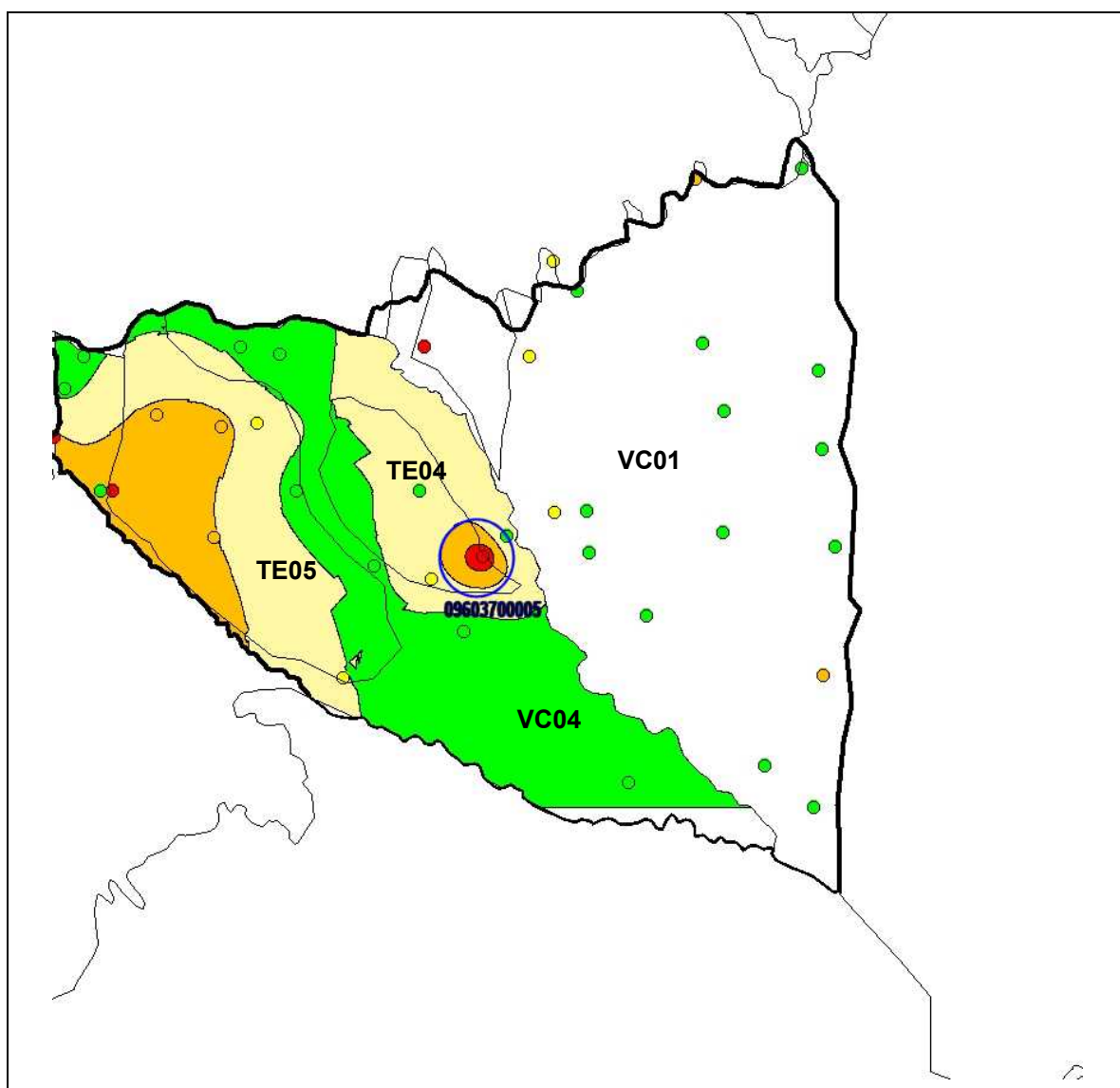


Figura 2-30 – Cartogramma

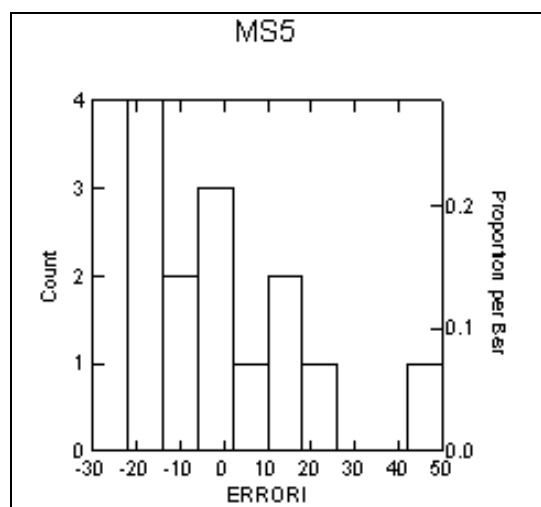
## Criticità

Da uno studio di dettaglio per il pozzo 09603700005, che è quello localizzato nella zona in cui il modello risulta in assoluto meno rappresentativo, è stata riscontrata un'interferenza non riconducibile ad un'origine diffusa. Si tratta quindi di un pozzo che, testimoniando una contaminazione da origine puntuale, non è rappresentativo dell'area. Di queste considerazioni si terrà conto nell'ambito della revisione della rete di monitoraggio che l'ARPA sta effettuando.

### 2.1.2.3.3. Macroarea MS5

Alcuni variogrammi sperimentali non presentavano alcun range e sill ben definiti, ma mostravano un andamento monotono, indice di un trend nei dati e di mancanza di stazionarietà, che implica la impossibilità di trattare i dati dal punto di vista della geostatistica parametrica.

Il tentativo di effettuare una spazializzazione con il metodo IDW (Inverse Distance Weighting) comporta, come emerge dall'esame degli scostamenti tra valori predetti e misurati, errori non trascurabili e, soprattutto, non bilanciati attorno al valore zero, come evidenziato nell'istogramma in figura 2-31.



**Figura 2-31 – Iistogramma scostamenti**

Per tale motivo non viene riportato il cartogramma relativo alla spazializzazione dei dati puntuali.

Infine, per mantenere la coerenza rispetto al metodo seguito, non sembra opportuno applicare modelli differenti.

#### 2.1.2.3.4. Macroarea MS6

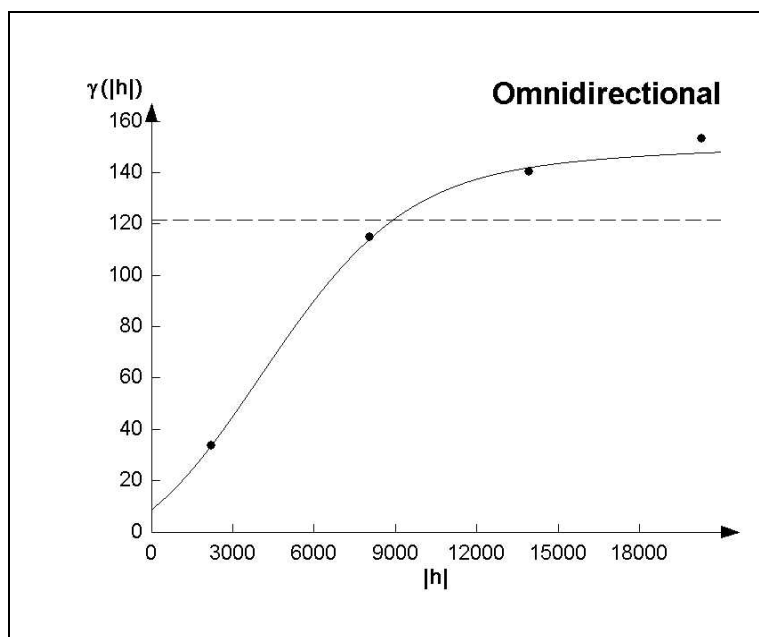


Figura 2-32 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $9.1 + 82.89667 \text{ Gauss}.11259.5 (h) + 59.202 \text{ Exp}.21000 (h)$

Dir.(1): 0 | anis.(1): 1 | Dir.(2): 0 | anis.(2): 1

IGF:  $5.1396e-04$

Modello combinato tra un gaussiano e uno esponenziale con coefficiente di correlazione buono.

Validazione statistica del modello

Dall'analisi dei dati la spazializzazione appare abbastanza robusta e rappresentativa dell'area.



Spazializzazione

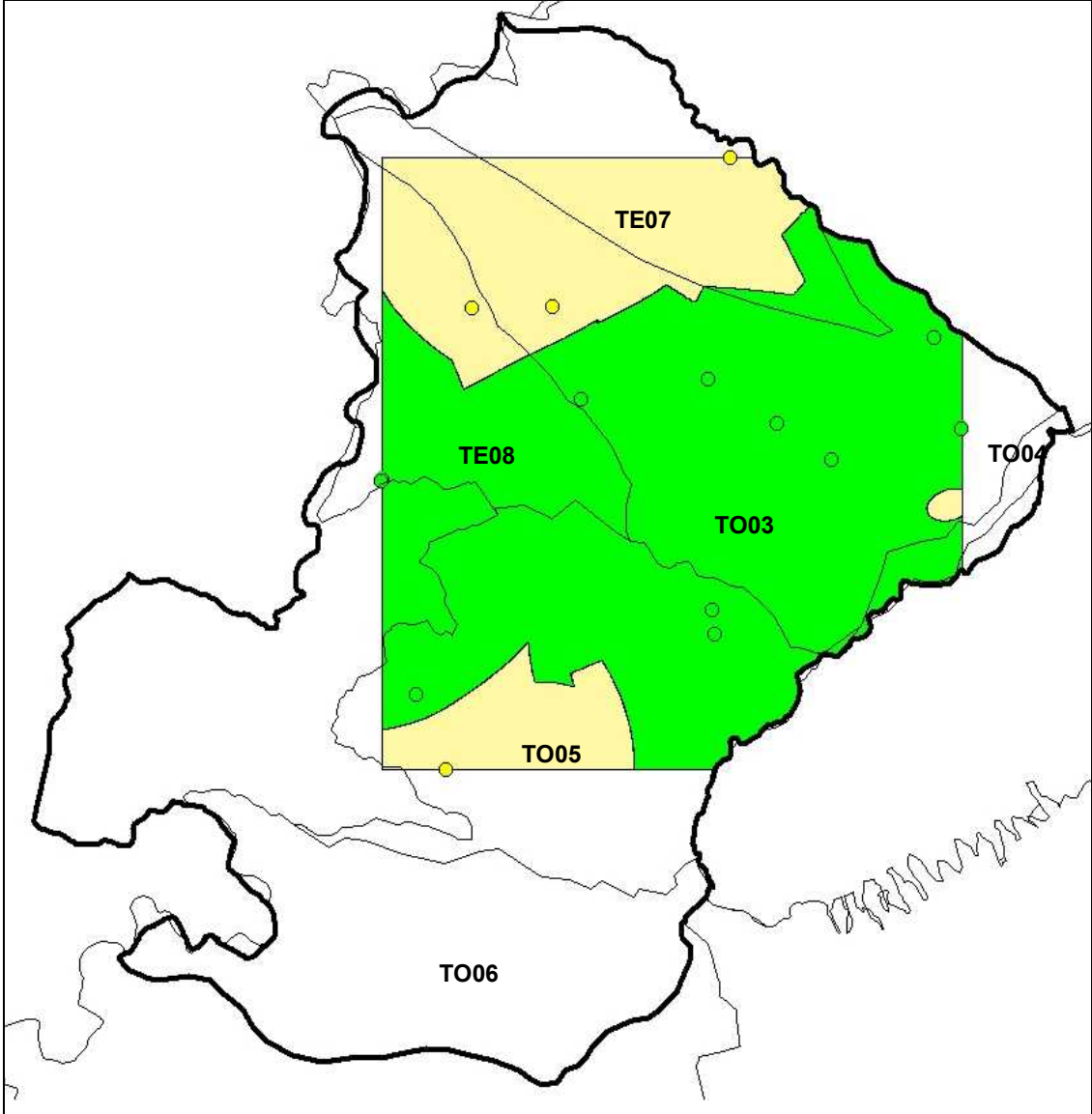


Figura 2-33 – Cartogramma

### 2.1.2.3.5. Macroarea MS8

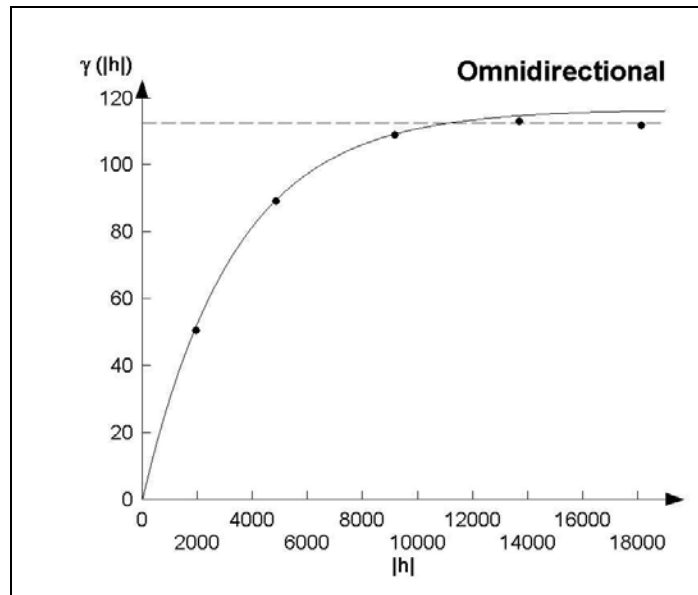


Figura 2-34 – Variogramma

Modello

Gamma(h) 116.768 Exp.9966.767 (h)

Dir.(1): 0 | anis.(1): 1

IGF: 5.9559e-04

Modello con un buon coefficiente di correlazione con il variogramma sperimentale.

Validazione statistica del modello

Solamente alcuni scostamenti non sono trascurabili (figura 2-35), ma in generale sono di valore contenuto. Il modello è applicabile.

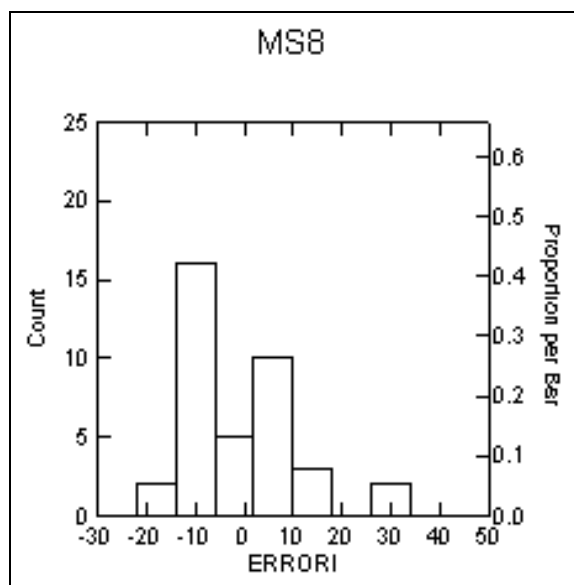


Figura 2-35 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

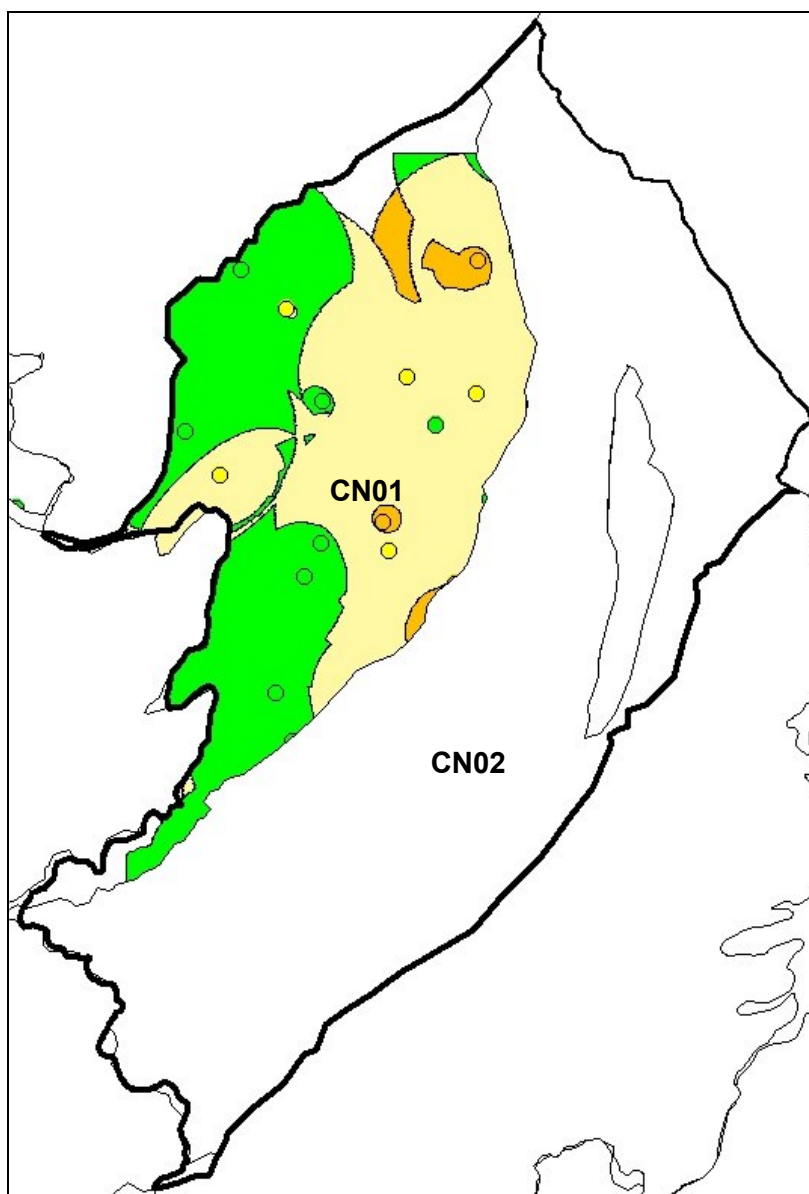


Figura 2-36 – Cartogramma

Criticità

Dall'esame della spazializzazione relativa all'intera macroarea, si evince che i maggiori scostamenti, individuati dalla validazione statistica, sono errori localizzati nell'area idrogeologica CN02 (già esaminati nella trattazione della criticità dell'area CN02). Ne consegue che per la parte di nostro interesse, relativa all'area idrogeologica CN01, gli errori sono contenuti e quindi più accettabili.

#### 2.1.2.3.6. Macroarea MS10

Il numero di punti interno all'area in esame è insufficiente per poter ritenere applicabile un modello geostatistico.

Il tentativo di effettuare una spazializzazione con il metodo IDW (Inverse Distance Weighting) comporta, come evidenziato nell'istogramma seguente (figura 3-37), errori non trascurabili.

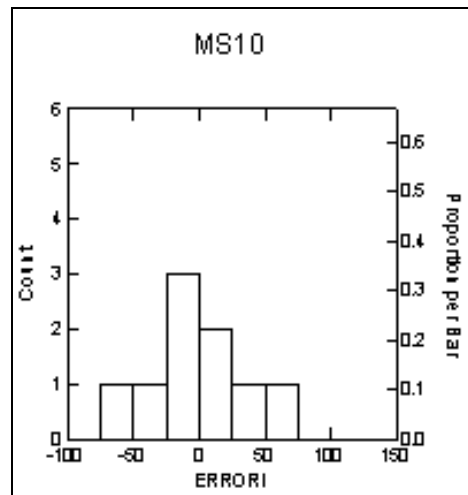


Figura 2-37 – Istogramma scostamenti

Per tale motivo non viene riportato il cartogramma relativo alla spazializzazione dei dati puntuali. Analogamente, per mantenere la coerenza rispetto al metodo seguito, non sembra opportuno applicare modelli differenti.

Il numero ridotto di pozzi che ricadono nella macroarea non consente di valutare le criticità.

2.1.2.3.7. Macroarea MS11

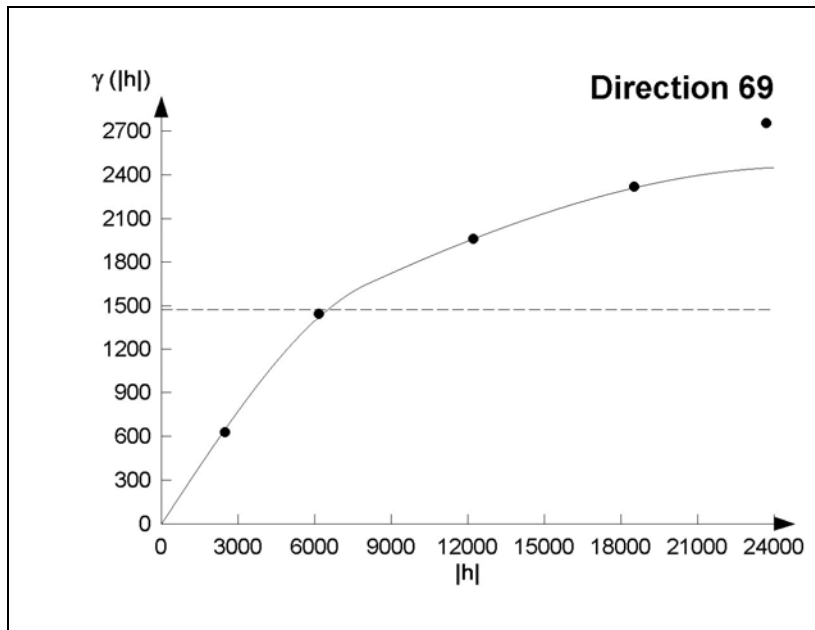


Figura 2-38 – Variogramma

Modello

Gamma(h): 1500 Sph.19000 (h) + 960 Sph.8081.3 (h)

Dir.(1): 179 | anis.(1): 1.4 | Dir.(2): 0 | anis.(2): 1

IGF: 2.7661e-03

Validazione statistica del modello

L'istogramma degli errori (figura 2-39) mostra scostamenti non trascurabili e neanche isolati.

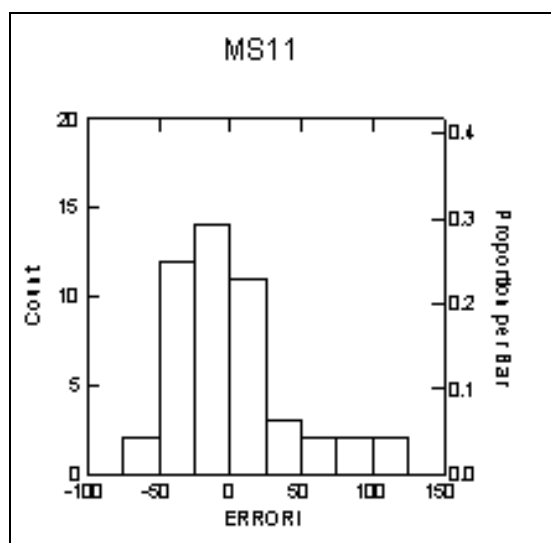


Figura 2-39 – Istogramma scostamenti

Il modello non fornisce una valida rappresentazione. Di conseguenza non viene riportato il cartogramma relativo alla spazializzazione dei dati puntuali.

### 2.1.2.3.8. Macroarea MS12

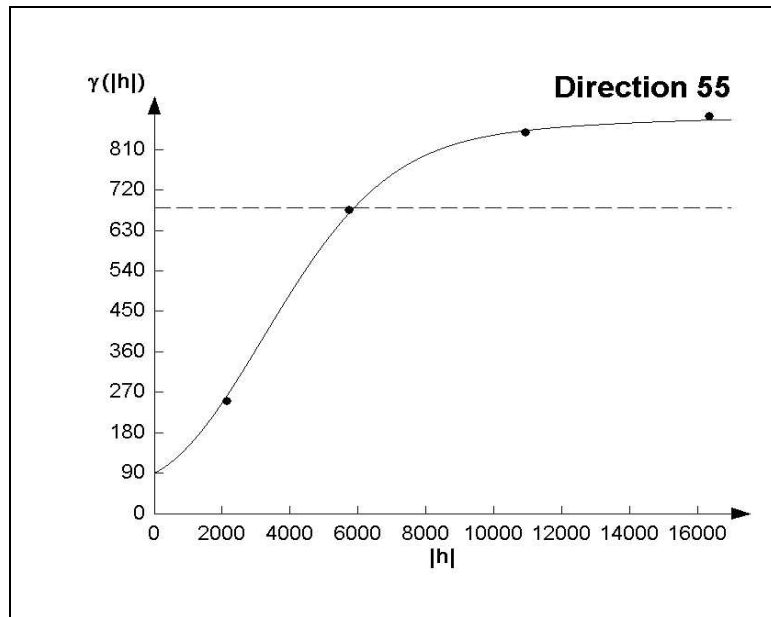


Figura 2-40 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $92 + 575.3707 \text{ Gauss}.8408.2 (h) + 222.3147 \text{ Exp}.17000 (h)$

Dir.(1): 53 | anis.(1): 0.22 | Dir.(2): 0 | anis.(2): 1

IGF:  $2.3416e-04$

Modello composto da un gaussiano e da un esponenziale con un buon coefficiente di correlazione.

Validazione statistica del modello

L'istogramma degli errori (figura 2-41) mostra scostamenti non trascurabili. Occorre valutarne la dislocazione geografica.

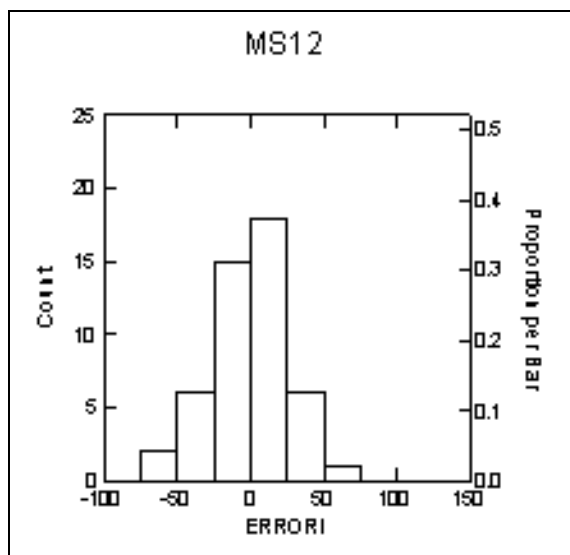


Figura 2-41 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

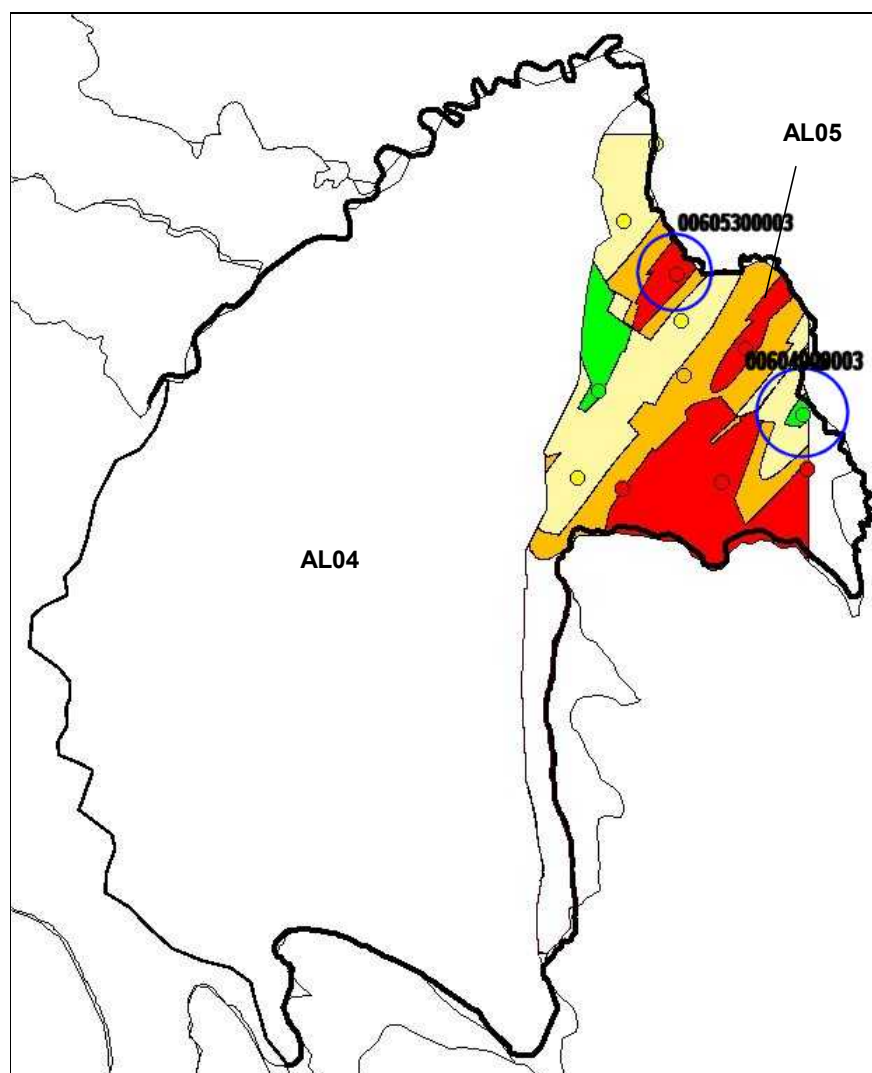


Figura 2-42 – Cartogramma



## Criticità

La validità della spazializzazione è condizionata dall'elevata variabilità interna all'area considerata. In particolare le situazioni più anomale sono relative al pozzo 00604000003, con valori di concentrazione di nitrati molto bassi rispetto ai pozzi vicini che presentano valori molto alti e al pozzo 00605300003, che presenta una situazione opposta.

### 2.1.2.3.9. Macroarea MS13

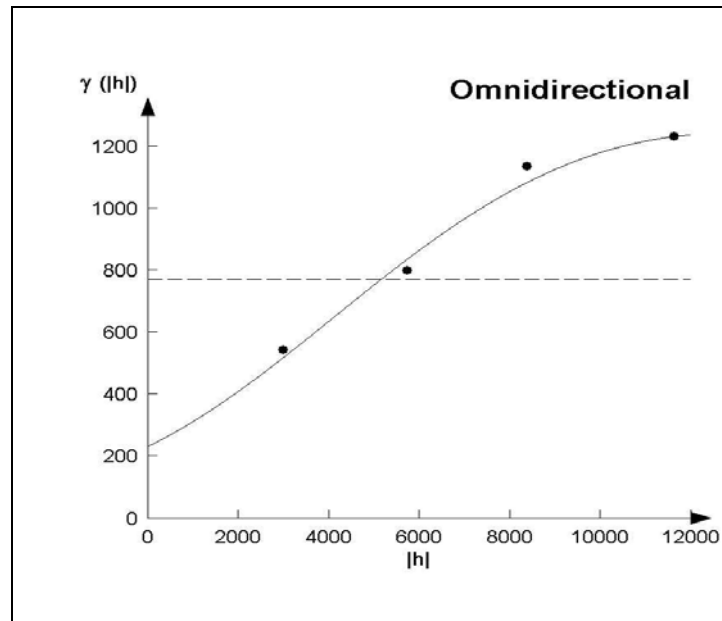


Figura 2-43 – Variogramma

Modello

Gamma(h):  $232.778 + 457.808 \text{ Gauss}.12000(h) + 570.57 \text{ Sph}.12000(h)$

Dir.(1): 0 | anis.(1): 1 | Dir.(2): 3 | anis.(2): 11

IGF:  $4.3463e-03$

Modello composto da un gaussiano e da uno sferico con un coefficiente di correlazione.

Validazione statistica del modello

Il range degli scostamenti è molto ampio, ma i valori più elevati sono in numero limitato e potrebbe rappresentare situazioni discontinue locali (figura 2-44).

L'esame della spazializzazione aiuterà ad interpretare tali scostamenti.

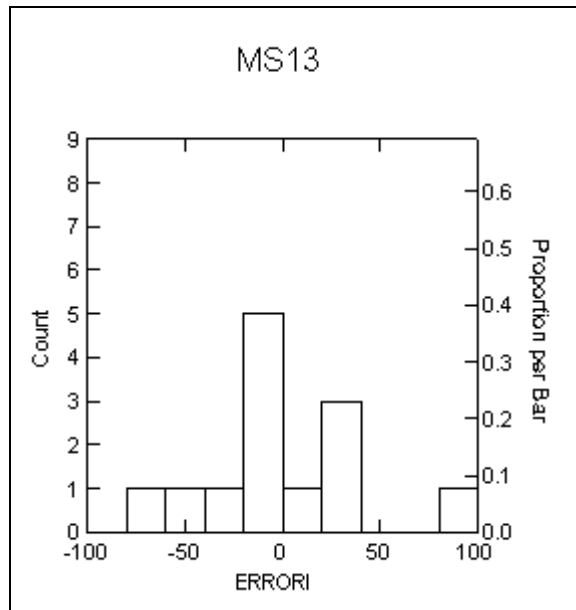


Figura 2-44 – Istogramma scostamenti

### Spazializzazione

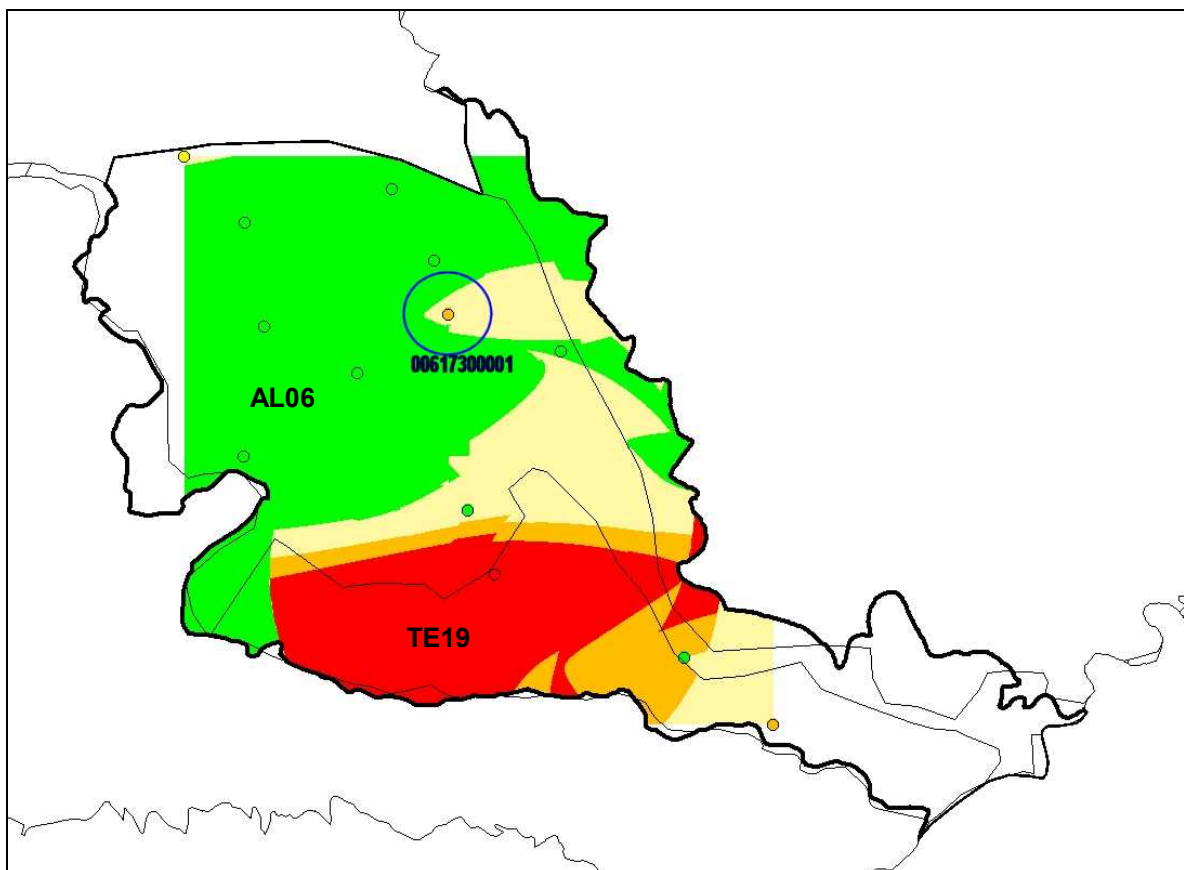


Figura 2-45 – Cartogramma

### Criticità

Le maggiori approssimazioni del modello si hanno in corrispondenza dei pozzi posti al confine tra le due aree idrogeologiche (AL06, TE19). Infatti, tali aree presentano

concentrazioni di nitrati molto dissimili tra loro e il loro trattamento congiunto, come macroarea, porta a far sì che il modello abbia il suo massimo errore localizzato lungo il confine tra le due aree. Al contrario, il modello sembra accettabile nella restante parte della macroarea, con l'eccezione del pozzo 00617300001.

#### 2.1.2.4. *Aree non spazializzate*

Per alcune aree idrogeologiche non è stato possibile applicare una analisi geostatistica per il numero insufficiente di pozzi di monitoraggio. Queste sono state trattate in seguito come macroaree accorpate. Per alcune delle restanti (CN03), l'analisi variografica e la successiva applicazione dell'algoritmo di kriging ha portato alla elaborazione di livelli informativi continui, ma le successive analisi di cross validation hanno messo in evidenza l'eccessivo errore insito nell'applicazione del modello, non localizzabile in "isole" particolari o spiegabile con "anomalie" dovute a singoli pozzi. Per queste non si è ritenuto opportuno utilizzare il dato di stato spazializzato come fonte per successive elaborazioni.

Rispetto alle macroaree, per alcune (MS5, MS10), non è stato possibile effettuare l'analisi variografica e si è tentato esclusivamente di spazializzare secondo il metodo IDW (Inverse Distance Weighting). La successiva cross-validazione ha evidenziato in un caso errori eccessivi e nell'altro errori non bilanciati. Di conseguenza non sono stati accettati i risultati della spazializzazione.

Nel caso delle macroaree MS11 e MS13, è stata la successiva analisi degli errori che ha suggerito di non presentare il modello della spazializzazione, in quanto per la prima non ha fornito una valida rappresentazione, mentre per la seconda si è arrivati ad una parziale accettazione dello stesso. Per quanto riguarda la macroarea MS13, infatti, gli errori sono elevati ma giustificabili in parte dall'aver trattato insieme dati che evidentemente sono rappresentativi di due realtà nettamente distinte. Pertanto il modello ottenuto è fortemente limitato proprio al confine tra le due aree, ma accettabile per la restante parte dell'area.

#### 2.1.2.5 *Valutazioni conclusive sulla spazializzazione*

Le analisi geostatistiche sulle singole aree idrogeologiche hanno permesso di evidenziare la presenza di pozzi "anomali" nel contesto delle aree idrogeologicamente separate e di focalizzare l'attenzione su eventuali particolari situazioni di criticità della rete di monitoraggio delle acque sotterranee (falda superficiale). Per tutte queste situazioni si è cercato di risalire ad una probabile causa, localizzando situazioni di incertezza che necessitano di una revisione e di un successivo approfondimento. Si sono inoltre riscontrati casi di forte complessità della situazione reale, tali da pregiudicare un tentativo di distribuzione nello spazio dei valori puntuali dei singoli pozzi; in questi ultimi casi, e in particolare per le aree idrogeologiche dell'area

alessandrina e la CN03, è sicuramente necessario un ulteriore approfondimento. Vista la complessità della distribuzione spaziale delle concentrazioni di nitrati è molto difficile ipotizzare che essa dipenda esclusivamente da una singola variabile. Da questo deriva che l'applicazione del kriging ordinario, con analisi variografica parametrica, non sia la forma ottimale di spazializzazione del dato di stato, e si presume che si possano ottenere risultati migliori con altre tecniche non parametriche di kriging.

Le analisi per macroarea si sono rivelate necessarie per trattare aree numericamente poco consistenti, ma implicano il trattamento congiunto di pozzi appartenenti a popolazioni potenzialmente differenti e pertanto sono gravate fin dall'inizio di un maggior errore.

Tuttavia, in una buona percentuale dei casi, si sono ottenuti risultati abbastanza soddisfacenti, che evidenziano come alcune suddivisioni di territorio in aree idrogeologiche possono essere anche ritenute eccessive, suggerendo un accorpamento di aree simili laddove il numero di punti della rete di monitoraggio sia esiguo. In altri casi si sono riscontrati forti errori nella cross-validazione del modello adottato, indice di forte disomogeneità dei dati trattati e di una netta separazione nell'andamento della distribuzione spaziale dei valori di concentrazione tra le aree idrogeologiche accorpate nella stessa macroarea.

#### 2.1.2.5.1. Approfondimento: individuazione di sub-aree all'interno della stessa area idrogeologica

Un ulteriore risultato delle analisi statistiche e geostatistiche sui valori di concentrazione di nitrati, è la possibilità di indagare se il raggruppamento dei pozzi basato su aree idrogeologiche e macroaree trova riscontro in termini di distribuzione omogenea dei dati nello spazio.

Un esempio è costituito dalle due aree idrogeologiche VC02 e VC03 che presentano, in relazione alla concentrazione di nitrati, una continuità laterale. Contestualmente, si riscontra un'evidente porzione a maggiore contaminazione di nitrati nella parte ovest di entrambe le aree idrogeologiche. Tale settore, considerando la concentrazione dei nitrati, risulta priva di discontinuità nel passaggio da un'area idrogeologica all'altra.

Il primo indizio è dato dalla presenza di un gruppo di valori estremi (outliers) nell'area idrogeologica VC02. La conferma viene dall'interpretazione visiva dell'istogramma riportato in figura 2-46, che riporta la distribuzione delle concentrazioni di nitrati.

In esso si individuano chiaramente due raggruppamenti, che l'analisi della spazializzazione mostra appartenere a porzioni di territorio contigue, individuando due zone interne alla VC02.

L'area idrogeologica VC03 presenta una situazione analoga.

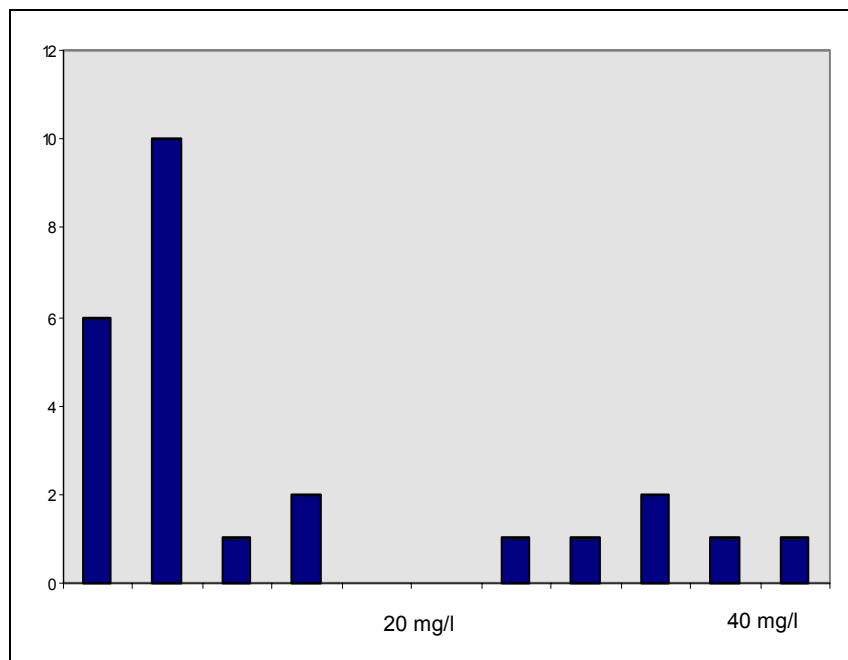


Figura 2-46 – Distribuzione della concentrazione di nitrati area VC02

L'analisi geostatistica delle aree idrogeologiche e della macroarea MS3 che le contiene ha messo in evidenza che i variogrammi hanno comportamenti molto simili lungo la direzione di scorrimento della falda (figura 2-47).

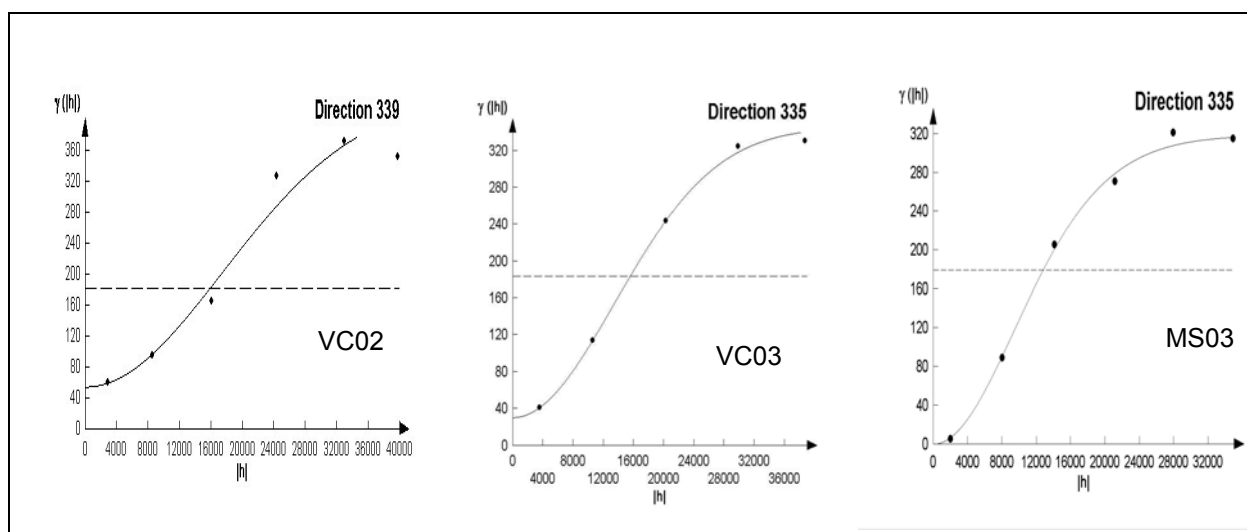
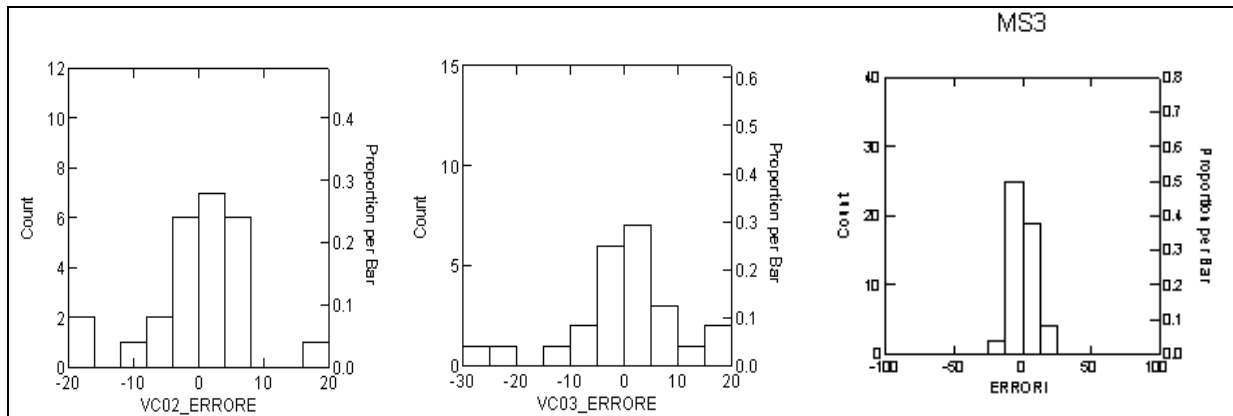


Figura 2-47 – Variogrammi aree VC02, VC03 e macroarea MS03

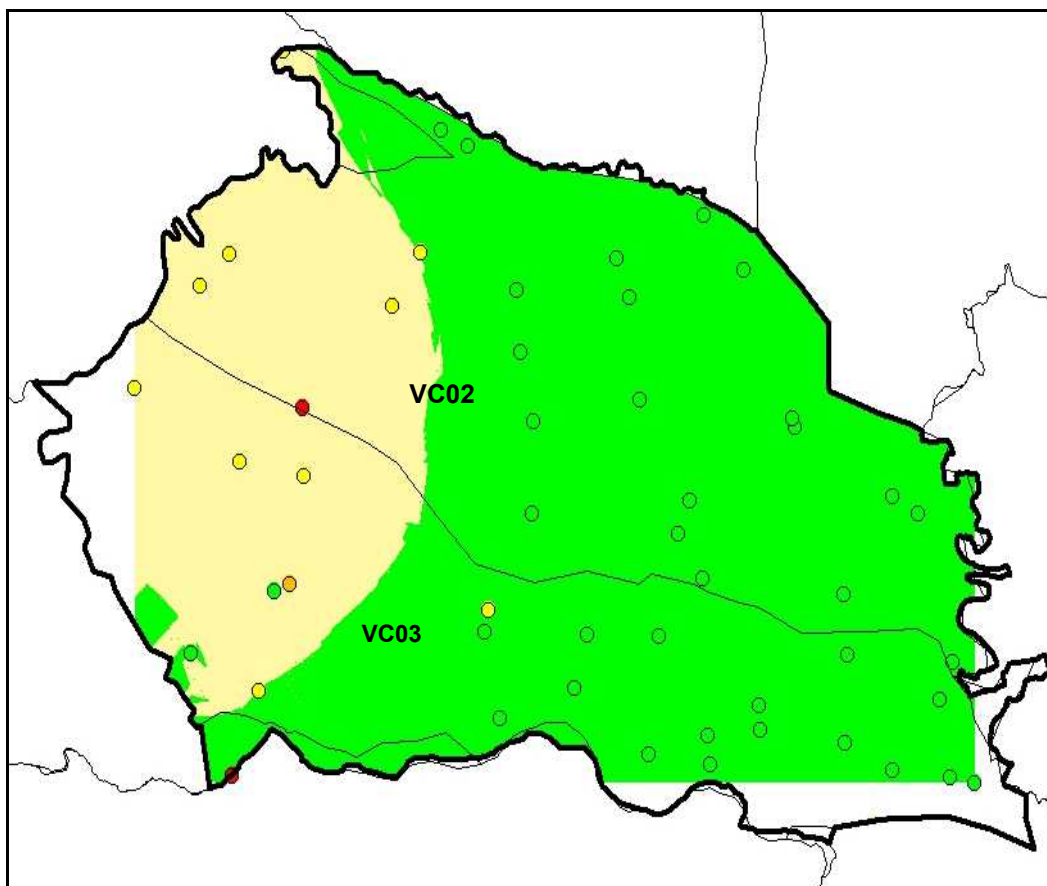
Altre forti affinità si riscontrano nel risultato della cross-validazione.

Se confrontiamo gli istogrammi degli scostamenti tra valore predetto e misurato prodotti dal modello, di entrambe le aree VC02 e VC03, si può notare una certa somiglianza, dovuta proprio al fatto che entrambe presentano, al loro interno, un settore con maggiori concentrazioni di nitrati nella falda.

Se consideriamo il modello esteso all'intera macroarea (MS03), la distribuzione degli errori (figura 2-48) non peggiora quanto si ottiene per le due aree idrogeologiche analizzate singolarmente e questo è un risultato sicuramente significativo.



**Figura 2-48 – Istogramma scostamenti aree VC02, VC03 e macroarea MS03**



**Figura 2-48 – Cartogramma aree VC02, VC03 (macroarea MS03)**



Anche la lettura del cartogramma (figura 2-48) conferma il comportamento simile delle due aree se trattate congiuntamente come macroarea.

In conclusione, in merito alla anomalia da nitrati, si può supporre poco significativa la separazione delle due aree idrogeologiche, che potrebbero essere trattate come aggregazione. Le analisi effettuate hanno messo in luce che, molto probabilmente, all'interno della macroarea sono presenti due settori, nelle quali le variabili incidenti sullo stato hanno un impatto molto diversificato. La localizzazione di tali zone individua due popolazioni distinte di dati, distribuite in senso ortogonale rispetto all'attuale suddivisione delle aree idrogeologiche VC02 e VC03.

#### 2.1.2.5.2. Confronto dei dati triennali con la designazione delle aree vulnerabili (Regolamento 9/R)

Sono state verificate le eventuali differenze dell'indicatore numerico sintetico che esprime i valori di nitrati per ciascuna area idrogeologica (media dei pozzi), calcolate sul triennio 2001-2003 rispetto al biennio 2000-2001 utilizzato per la designazione delle aree vulnerabili (Regolamento 9/R).

Il confronto è stato effettuato per mezzo di specifici test statistici, sia parametrici che non parametrici, che prendono in considerazione, oltre ai dati misurati, la loro variabilità all'interno di ciascuna area. L'esecuzione dei test, per quanto riguarda la tendenza centrale (media o mediana), non ha individuato differenze significative per tutte le aree. Pertanto si riconferma l'attendibilità della designazione delle aree vulnerabili da nitrati.

## **2.2. Trasformazione dei dati cartografici vettoriali in formato raster (grid)**

Il formato raster con files grid permette di riferire i dati ambientali e geografici ad una unità cartografica minima comune e consente operazioni di sovrapposizione, incrocio e interpolazione dei singoli temi suddivisi in celle di passo regolare.

La definizione di un modello ad indici qualitativi si basa essenzialmente su elaborazioni cartografiche di questo tipo che producono, come risultato finale, una carta di sintesi sul fenomeno studiato.

E' inoltre relativamente semplice partendo dai grid riottenere files vettoriali, per eventuali ulteriori utilizzi.

### **2.2.1. Definizione di una unità cartografica minima comune**

La scelta della dimensione della cella del grid risulta strategica; infatti tanto più piccola è la cella tanto maggiore sarà il dettaglio territoriale del tema descritto. Per contro, un passo del raster troppo piccolo rispetto all'errore al suolo insito nella scala cartografica di rappresentazione dei dati di base utilizzati, porta ad un appesantimento inutile dello stesso.

Nell'ambito del progetto il CSI ha verificato la soluzione ottimale individuando celle di 100 per 100 metri.

Inoltre, con questa maglia, l'approssimazione della rappresentazione che si ottiene ai confini dei poligoni di un tema areale, dove l'attribuzione della cella viene fatta ad uno o all'altro poligono adiacente in relazione alla percentuale di maglia coperta, è accettabile vista la scala di acquisizione dei principali tematismi convertiti.

Tutti i tematismi convertiti presentano celle di posizione e dimensione sovrapponibili; a tale scopo è stato messo a disposizione dal CSI uno shapefile che consente di ottenere grid con celle coincidenti.

### **2.2.2. Trasformazione dei dati in raster (grid)**

Nell'ambito del progetto sono stati trasformati in grid utilizzando la maglia di 100 m diversi temi; in una fase successiva questa procedura potrà essere applicata anche ad altri tematismi non ancora utilizzati.

Si riporta di seguito l'elenco dei temi elaborati a grid da parte del CSI.

- Carta Pedologica
- Carta della Capacità Protettiva di Suoli
- Copertura dei fogli di mappa catastale

- Copertura delle aree idrogeologicamente separate

Tra questi, solo il grid relativo alla carta della Capacità Protettiva di Suoli, ritenuto in questa fase significativo, è stato utilizzato per l'elaborazione del modello ad indici qualitativi.

I grid degli altri temi utilizzati per il modello sono stati prodotti da ARPA partendo da cartografie rese disponibili da Agroselviter, DST, e ARPA e sono di seguito elencati mentre saranno descritti nel dettaglio nel capitolo relativo al modello ad indici qualitativi.

- Surplus d'azoto
- Time Of Travel (TOT)
- GOD
- Indice di diluizione potenziale
- Concentrazione di nitrati nelle acque sotterranee

Un approfondimento particolare è dedicato, in questo capitolo, per descrivere la procedura utilizzata per ottenere il grid relativo all'indice di diluizione potenziale dell'acquifero superficiale, ritenuto strategico, nell'ambito del presente studio, come fattore legato all'attenuazione ed utilizzato nel modello ad indici qualitativi.

#### 2.2.2.1. *Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF)*

L'Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF) è stato ottenuto considerando due elementi essenziali: lo spessore dell'acquifero e le caratteristiche dei complessi idrogeologici che possono evidenziare una maggiore o minore permeabilità.

La valutazione integrata di questi due elementi suddivisi in categorie all'interno di una matrice produce un indice sperimentale, anch'esso suddiviso in categorie, che può rappresentare la potenziale capacità di diluizione della falda.

Nel dettaglio l'indice è stato ricavato incrociando i dati relativi allo spessore del livello saturo dell'acquifero superficiale con alcuni elementi indiretti legati alla sua permeabilità.

##### 2.2.2.1.1. *Carta dello Spessore del Livello Saturo dell'acquifero superficiale*

La carta dello Spessore del Livello Saturo dell'acquifero superficiale per le aree di pianura della Regione Piemonte è stata ricavata attraverso la sottrazione tra due superfici a grid; la prima ottenuta dalla "carta delle isopiezometriche della falda idrica a superficie libera" e l'altra dalla "carta della base dell'acquifero superficiale".

Per una migliore comprensione del procedimento utilizzato, si riportano di seguito i passaggi che, attraverso successive elaborazioni cartografiche, hanno portato alla

definizione della carta dello Spessore del Livello Saturo dell'acquifero superficiale. A titolo esemplificativo si riporta una porzione dell'area idrogeologicamente separata AL04.

Il primo passo è stato quello di convertire le isopiezometriche e la configurazione della base del primo acquifero in un insieme di punti, aventi come attributo la quota dell'isolinea da cui derivano.

Nella figura 2-49 si riporta un esempio nel quale sono evidenziate in verde le linee e i punti che riportano la quota della base dell'acquifero superficiale e in arancione le linee e i punti che riportano la quota della superficie piezometrica.

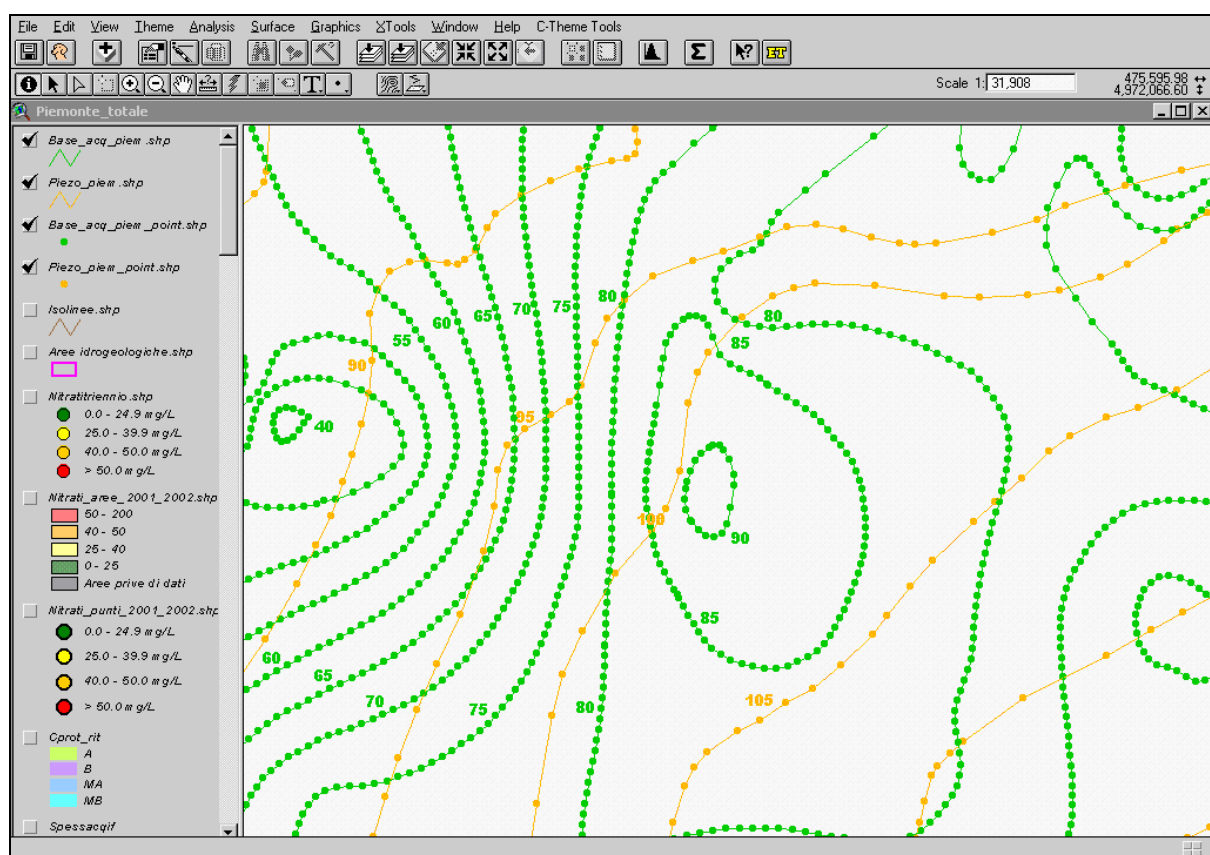


Figura 2-49 – Superficie piezometrica e base dell'acquifero

I punti con le rispettive quote sono stati utilizzati per ottenere le superfici a grid della piezometria e della base dell'acquifero superficiale.

Queste due superfici sono state ottenute in ambiente GIS, tramite interpolazione delle quote dei due parametri (piezometria e base acquifero) con il metodo IDW, considerando le quote dei 12 punti più vicini.

Ad ogni cella è stato attribuito il valore calcolato della quota.

L'interpolazione è stata ritenuta affidabile, e quindi utilizzata, esclusivamente per le aree dove era presente entrambi il dato di partenza. Infatti, il procedimento di interpolazione,

computa il valore della quota anche per le celle ubicate a grande distanza dai punti reali di partenza, dove il dato ottenuto non è pertanto verosimile.

Le superfici a grid ottenute presentano celle con posizione e dimensioni coincidenti con le altre elaborazioni a grid effettuate nell'ambito del progetto.

Le figure 2-50 e 2-51 riportano esempi di superfici create per la piezometria e per la base dell'acquifero con una rappresentazione a intervalli di 10 metri.

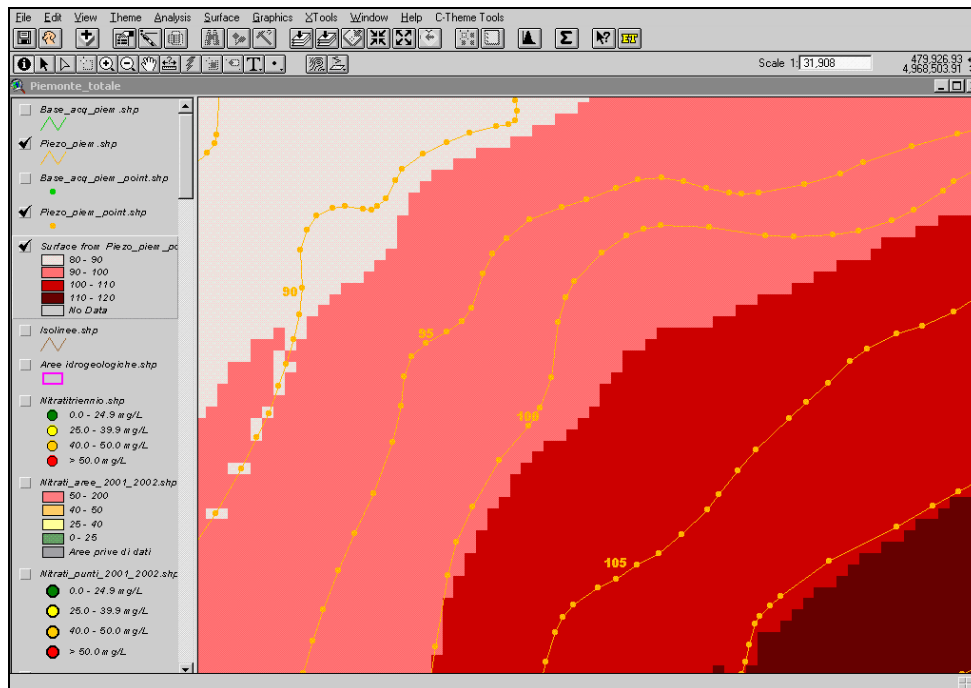


Figura 2-50 – Grid della quota piezometrica

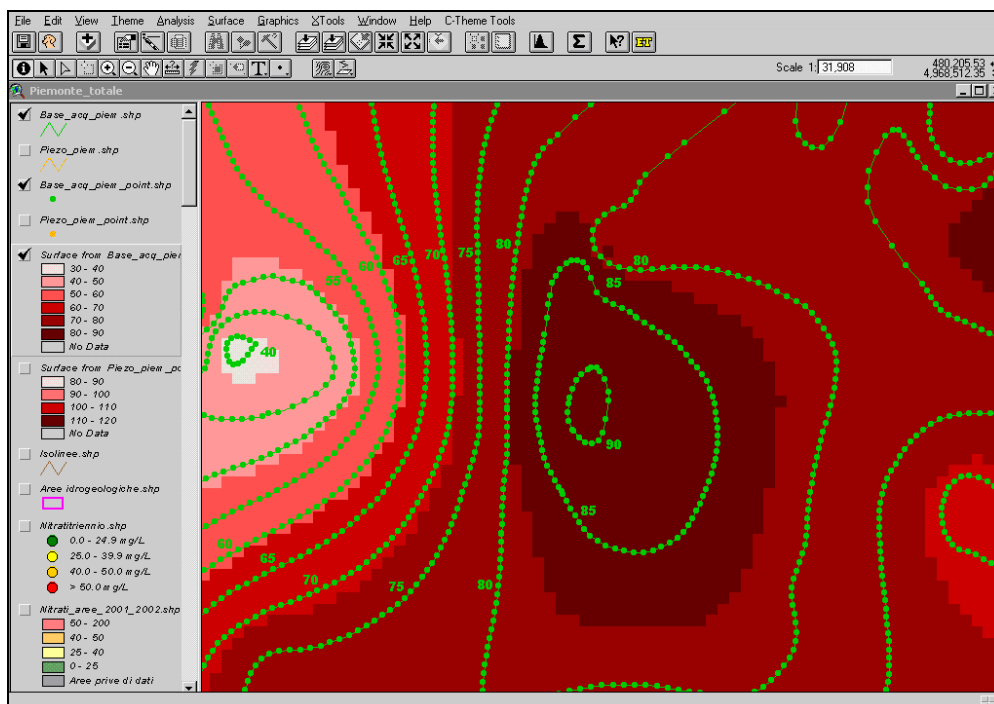


Figura 2-51 – Grid della quota della base dell'acquifero

Si è quindi operato attraverso un procedimento algebrico di differenza del valore della quota di piezometria e di base dell'acquifero per le celle sovrapposte. Il valore è stato calcolato solo per le celle che avevano entrambi i valori delle quote.

Il risultato consiste in un file grid le cui celle hanno come attributo il valore dello spessore del livello saturo dell'acquifero superficiale, inteso come sottrazione algebrica del valore della quota della base dell'acquifero superficiale al valore della quota piezometrica.

Nella figura 2-52 è riportato un esempio di grid ottenuto, con una rappresentazione a intervalli di 5 metri.

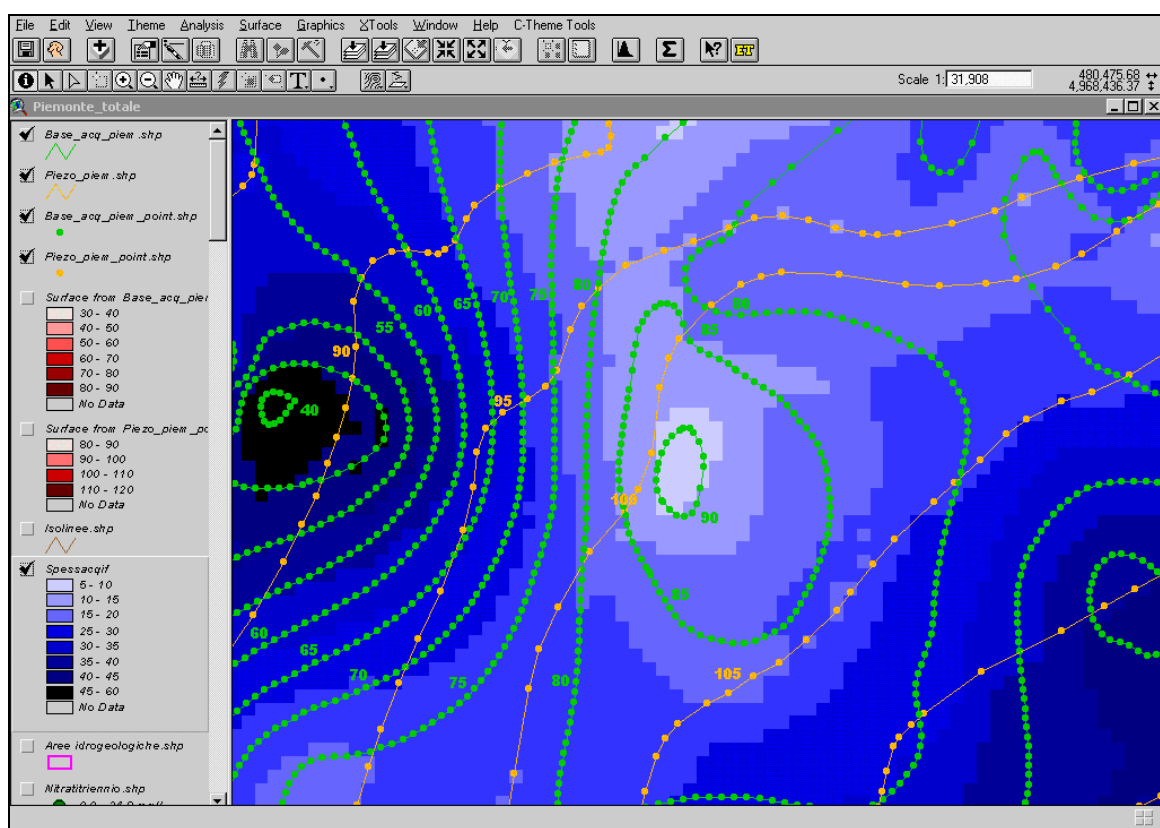


Figura 2-52 – Carta dello spessore dell'acquifero superficiale

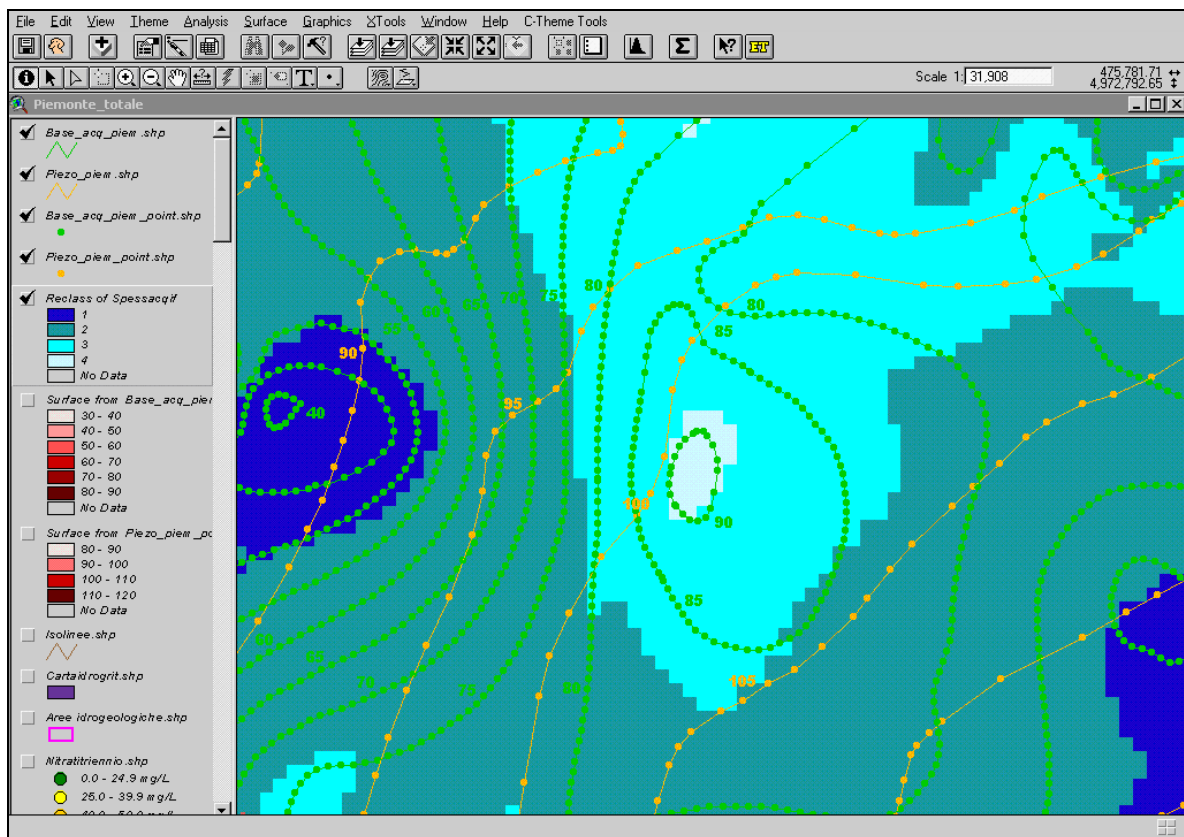
Per ottenere l'indice di potenziale diluizione della falda attraverso la correlazione dello spessore del livello saturo con i parametri deduttivi di permeabilità, il file grid è stato categorizzato in quattro classi a spessore progressivamente crescente.

Lo spessore del livello saturo è stato categorizzato nelle classi riportate nella tabella 2-4.

|                             |
|-----------------------------|
| spessore del livello saturo |
| > 40 m                      |
| 20 – 40 m                   |
| 10 – 20 m                   |
| 0 –10 m                     |

**Tabella 2-4 – Classi di spessore del livello saturo**

Nella figura 2-53 è riportato un esempio del risultato della categorizzazione.



**Figura 2-52 – Carta dello spessore dell’acquifero superficiale categorizzato**

Per l’area idrogeologicamente separata AT01 (fondovalle del Tanaro) non sono disponibili dati ufficiali sulla base dell’acquifero superficiale; pertanto, lo spessore dell’acquifero non è stato calcolato seguendo il metodo sopra descritto. Al riguardo, per potere utilizzare tuttavia un valore di spessore dell’acquifero superficiale anche per l’area AT01, in base alle conoscenze acquisite da ARPA nell’ambito astigiano, nelle successive elaborazioni si è deciso di assegnare alle celle ricadenti nell’area in questione la categoria di spessore 0 -10 m.

#### 2.2.2.1.2. Considerazioni sulla permeabilità

La carta dello Spessore del Livello Saturo è stata integrata con parametri indiretti sulla permeabilità dell'acquifero; tali elementi sono stati implementati in forma sperimentale senza un rigoroso approccio scientifico, in quanto l'interesse non era quello di definire un particolare aspetto idrogeologico quanto cercare di visualizzare a scala regionale un fenomeno non ancora investigato, ma particolarmente rilevante, come la diluizione.

Al riguardo, è stata utilizzata la carta idrogeologica della Regione Piemonte attribuendo ai diversi complessi idrogeologici, in funzione del loro assetto litostratigrafico, un'indicazione di maggiore o minore permeabilità secondo le seguenti considerazioni:

- Olocene (prevalenza di depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi): maggiore permeabilità
- Wurm e Riss (prevalenza di depositi ghiaioso-sabbiosi con componenti fini sabbioso-argillose e argilloso-limose): permeabilità mediamente elevata
- Mindel (depositi sabbioso-limosi con livelli ghiaiosi molto alterati): permeabilità media che può essere ridotta dalla presenza più o meno abbondante della matrice fine
- Poirino (depositi prevalentemente limosi con moderata frazione argillosa e subordinata componente ghiaioso-sabbiosa): basso valore di permeabilità

In definitiva, la maggiore o minore permeabilità si può tradurre in un maggiore o minore quantitativo di acqua immagazzinata e/o circolante nell'acquifero superficiale; di conseguenza appare legittimo ritenere questo fattore di rilevante importanza nell'individuazione di un indice di potenziale diluizione dell'acquifero.

Nello sviluppo del procedimento si è assunto, con un livello di approssimazione ritenuto compatibile con uno studio a scala regionale, che le caratteristiche principali dei complessi idrogeologici (così come risultano dalla cartografia nell'ambito superficiale) interessino sia il livello insaturo che saturo degli acquiferi.

#### 2.2.2.1.3. Definizione dell'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF)

Lo spessore dell'acquifero e le indicazioni di permeabilità ricavate dai complessi idrogeologici, sono stati messi in relazione attraverso operazioni di sovrapposizione cartografica, mediante l'utilizzo di una matrice, riportata in tabella 2-5. Il procedimento, ovviamente semplificato, ma in linea con gli obiettivi di progetto citati precedentemente, è stato applicato in condizioni statiche, senza tener conto di altri importanti fattori idrogeologici come ad esempio il gradiente idraulico.



|             | > 40 m     | 40 – 20 m   | 20 – 10 m   | 0 – 10 m    |
|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Olocene     | Alto       | Alto        | Medio-alto  | Medio-basso |
| Wurm e Riss | Alto       | Medio-alto  | Medio-basso | Basso       |
| Mindel      | Alto       | Medio-alto  | Medio-basso | Basso       |
| Poirino     | Medio-alto | Medio-basso | Basso       | Basso       |

**Tabella 2-5 – Matrice spessore dell'acquifero e permeabilità**

Nella prima colonna sono riportati i complessi idrogeologici citati in precedenza (in ordine di permeabilità decrescente) e nella riga in alto lo spessore del livello saturo secondo intervalli progressivamente decrescenti definiti in modo tale da essere rappresentativi della realtà territoriale considerata.

I dati rappresentati nella matrice sono suddivisi in quattro categorie per uniformità rispetto agli altri temi considerati.

Si sottolinea che la matrice non è stata risolta in modo matematico ma attraverso una valutazione ponderata ma soggettiva dei due elementi; tale risoluzione è, pertanto, da considerarsi sperimentale e suscettibile di ulteriori affinamenti.

La categoria risultante dalla combinazione dei due elementi considerati nella matrice definisce l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda:

Alto (A)

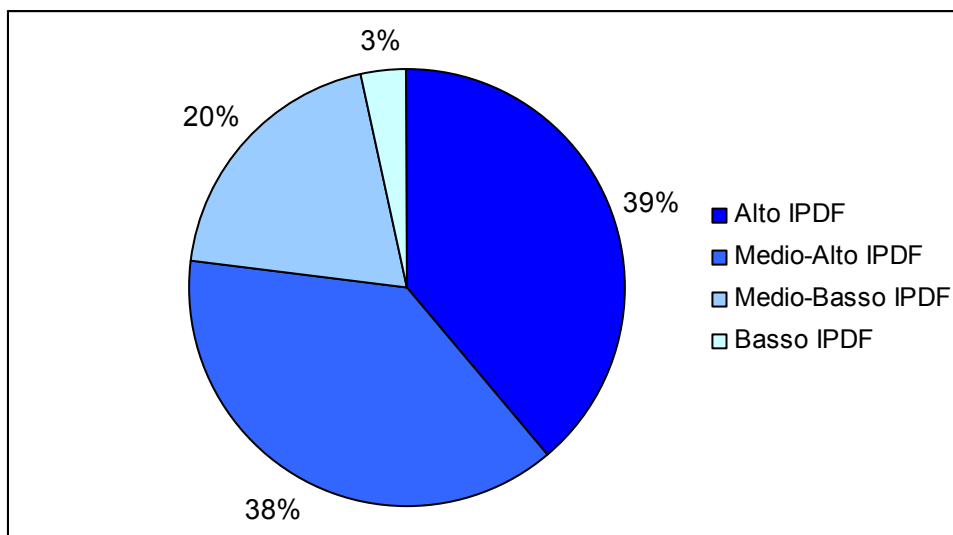
Medio-Alto (MA)

Medio-Basso (MB)

Basso (B)

La categoria (A) corrispondente ad una diluizione potenziale alta è caratterizzata da una maggiore protezione dall'inquinamento e un livello maggiore di attenuazione del fenomeno, mentre la categoria (B) rappresenta una situazione potenzialmente più a rischio.

Il risultato finale è un grid nel quale ad ogni cella è stato attribuito il valore dell'indice risultante dalla matrice, ottenuto mediante la sovrapposizione dei due temi considerati; nella figura 2-53 è rappresentata la ripartizione percentuale dei valori di IPDF a scala regionale.



**Figura 2-53 – Rappresentazione percentuale delle categorie IPDF a scala Regionale**

L'indice di potenziale diluizione della falda (IPDF) è rappresentato come carta tematica nella TAVOLA A3/1 (vedi allegati).

### **3. INDIVIDUAZIONE E VALUTAZIONE DI MODELLI DI SIMULAZIONE AD INDICI QUALITATIVI**

Viene proposto, in via sperimentale, come supporto alla valutazione delle aree vulnerabili dai nitrati, un modello ad indici qualitativi che opera attraverso un sistema di valutazione integrata su base geografica dei dati di carico e di attenuazione in relazione allo stato delle acque sotterranee.

La metodologia proposta prevede inizialmente la selezione dei temi di interesse che siano in grado di rappresentare in modo corretto e a scala regionale sia il carico che l'attenuazione.

Devono essere considerati quindi indici o indicatori specifici per i quali sia disponibile o sia possibile ottenerne la spazializzazione.

I temi rappresentativi degli indici o indicatori selezionati sono categorizzati in classi, trasformati in grid e, ad ogni cella, viene attribuita la relativa categoria anche come valore numerico.

Attraverso una elaborazione dei temi selezionati su base geografica, si può ottenere un indice integrato che tiene conto dell'azione più o meno sinergica dei vari elementi considerati che rappresentano il carico e l'attenuazione. Questo indice, definito Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV) può rappresentare il pericolo di contaminazione da nitrati delle acque sotterranee.

Il sistema può essere ulteriormente ottimizzato attribuendo pesi diversi ai vari indicatori e indici tematizzati.

L'indice IPV, come anche i singoli temi (indicatori/indici di base), possono essere confrontati, adottando la stessa metodologia, con i dati di stato relativi ai nitrati spazializzati, categorizzati e rappresentati in formato raster (grid).

Con questa operazione è possibile verificare la coerenza del pericolo stimato di vulnerazione con la reale contaminazione rilevata nelle acque sotterranee.

L'attività si è sviluppata secondo le seguenti fasi:

- Elenco dei dati cartografici disponibili
- Definizione IPV
- Definizione indice di stato per i nitrati
- Confronto indici/indicatori con lo stato

### 3.1. Elenco dei dati cartografici disponibili

Vengono di seguito riportati i dati cartografici disponibili a scala regionale e potenzialmente utili per la elaborazione del modello ad indici qualitativi.

Tra questi si segnalano gli indici GOD, TOT, Soggiacenza, Composizione granulometrica, Spessore litotipi impermeabili, Permeabilità prevalente...

Per ogni tema sono indicati: la descrizione, la fonte, la scala di restituzione, l'eventuale categorizzazione già definita e la copertura territoriale.

➤ Carta della Capacità Protettiva dei Suoli

Descrizione: considera sette parametri pedologici che, combinandosi consentono di identificare numerose classi di vulnerabilità concepite per valutare il potenziale di percolamento e/o di ruscellamento dei principali contaminanti di origine agricola (nitrati e prodotti fitosanitari), fornendo anche un'informazione utile all'individuazione di aree a diversa vulnerabilità ambientale.

Fonte: IPLA.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 4 classi (A, MA, MB, B).

Copertura: tutte le aree idrogeologiche.

➤ Soggiacenza

Descrizione: riporta la distanza tra il livello medio della falda e la quota della superficie topografica.

Fonte: DST.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 5 classi (0-5 m, 5-10 m, 10-20 m, 20-50 m, 50-200 m).

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (copertura di circa l'85%).

➤ Composizione granulometrica della zona non satura

Descrizione: valuta le stratigrafie considerando i dati degli spessori dei diversi litotipi della zona non satura (G1 = ghiaie e ghiaie sabbiose, G2 = ghiaie e sabbie siltose, ghiaie e sabbie argillose, S1 = sabbie pulite, sabbie e ghiaie, S2 = limi sabbiosi, argille sabbiose, L = limi, limi argillosi, A = argille, argille limose, AC = arenarie e conglomerati non fessurati, M = marne).

Fonte: DST.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: non sono presenti classi.

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (copertura di circa l'85%).

➤ Spessore litotipi impermeabili

Descrizione: valuta lo spessore dei diversi litotipi impermeabili della zona non satura (limi sabbiosi, argille sabbiose, limi, limi argillosi, argille, argille limose, arenari e conglomerati non fessurati, marne).

Fonte: DST.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 6 classi (0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-20, 20-30, >30 m).

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (copertura di circa l'85%).

➤ Permeabilità prevalente

Descrizione: valuta la conducibilità idraulica equivalente verticale della zona non satura.

Fonte: DST.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 4 classi per valori di K ( $\geq 10^{-3}$  m/s,  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  m/s,  $10^{-5}$ - $10^{-7}$  m/s,  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  m/s).

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (copertura di circa l'85%).

➤ GOD: Ground water confinement Overlayng strata Depth to groundwater table (Foster et al. 2002)

Descrizione: valuta la vulnerabilità intrinseca di un acquifero come il prodotto dei fattori: G = grado di confinamento dell'acquifero, O = caratteristiche litologiche e grado di coesione delle rocce della zona non satura, D = soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquifero non confinato o tetto dell'acquifero per gli acquiferi confinati.

Fonte: DST.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 5 classi (Estrema, Alta, Moderata, Bassa, Trascurabile).

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (copertura di circa l'85%).

- Tempo di arrivo in falda - Time Of Travel (TOT)

Descrizione: valuta il tempo impiegato da un inquinante, con un comportamento simile all'acqua, a percorrere la distanza tra la superficie del suolo e la falda idrica sotterranea.

Fonte: DST.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 4 classi (minore di una settimana, 1 settimana-1 mese, 1 mese-6 mesi, 6 mesi-1 anno).

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (copertura di circa l'85%).
- Carta dello Spessore dell'acquifero

Descrizione: questa Carta, prodotta da ARPA nell'ambito del presente progetto, permette di valutare lo spessore del livello saturo del primo acquifero.

Fonte: ARPA.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 4 classi ( 0-10 m, 10-20 m, 20-40 m, >40 m); classi modificabili.

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (disponibile dove sono contemporaneamente presenti la Carta della Base dell'acquifero superficiale e la Carta delle Isopiezometriche della falda idrica a superficie libera relativa al territorio di pianura della Regione Piemonte).
- Carta dell'Indice di Potenziale Diluizione Falda superficiale (IPDF)

Descrizione: questo indice e relativa cartografia, elaborato da ARPA nell'ambito del presente progetto, mette in relazione, attraverso operazioni di sovrapposizione cartografica, lo spessore dell'acquifero e le indicazioni di permeabilità ricavate dai complessi idrogeologici. Rappresenta, pur se con alcune limitazioni, la potenziale diluizione della falda superficiale.

Fonte: ARPA.

Scala: 1:250.000.

Categorizzazione: 4 classi (Alto, Medio-Alto, Medio-Basso, Basso); classi modificabili attraverso ritaratura dell'indice.

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (disponibile dove sono contemporaneamente presenti la Carta della base dell'acquifero superficiale e la

Carta delle isopiezometriche della falda idrica a superficie libera relativa al territorio di pianura della Regione Piemonte).

➤ Carte del Surplus di azoto

Descrizione: riporta la quota di azoto, ottenuta dalla differenza tra gli apporti e gli asporti delle colture, che potenzialmente può percolare verso le acque sotterranee o essere dilavata verso le acque superficiali.

Fonte: Agroselviter.

Scala: il surplus di azoto complessivo, come il dettaglio del surplus organico, è spazializzato su aree agronomiche omogenee, mentre il surplus minerale è spazializzato a livello di foglio di mappa.

Categorizzazione: classi modificabili.

Copertura: tutte le aree idrogeologiche

➤ Carta della spazializzazione dei dati di stato dei nitrati (statistica + geostatistica)

Descrizione: rappresenta la spazializzazione dei dati di stato relativi alle concentrazioni di nitrati misurati attraverso la Rete di Monitoraggio Regionale, nel triennio 2001-2002-2003.

Fonte: ARPA.

Scala: -

Categorizzazione: 4 classi (0-25 mg/L, 25-40 mg/L, 40-50 mg/L, >50 mg/L); questo tematismo presenta in realtà valori continui, sono quindi possibili altre categorizzazioni.

Copertura: non completa per tutte le aree idrogeologiche (vedi capitolo 3.1).

### **3.2 Definizione IPV**

L'Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione della falda superficiale da nitrati (IPV), se opportunamente definito e verificato con i dati di stato, può rappresentare un valido supporto nell'ambito della designazione e revisione delle aree vulnerabili da nitrati.

L'IPV considera fattori ritenuti strategici nell'ambito della valutazione delle aree nelle quali è più alto il pericolo di contaminazione della falda.

La peculiarità di questo approccio può essere riassunta nei seguenti elementi:

- tiene conto di un fattore legato al carico
- considera l'effetto della diluizione nell'acquifero
- può essere facilmente confrontato con lo stato
- ha una struttura dinamica che consente adeguamenti e perfezionamenti

- considera fattori variabili e aggiornabili nel tempo con la possibilità di seguirne l'evoluzione
- può ampliare le potenzialità degli indici basati esclusivamente sulla vulnerabilità intrinseca (GOD, ecc.)

L'attività svolta per la definizione dell'IPV è stata orientata prevalentemente alla definizione dei criteri e delle metodologie ed è da considerarsi sperimentale e suscettibile di ulteriori approfondimenti.

Per questa ragione saranno proposte tre varianti dell'indice, IPV1, IPV2, IPV3, testate sulla realtà piemontese per verificare l'applicabilità a un caso reale.

In questa fase sperimentale si è preferito di non proporre la scelta di una delle tre varianti dell'indice, né consolidare gli elementi che li costituiscono, né attribuire pesi ai singoli elementi.

La definizione dell'IPV nelle sue tre varianti è stata articolata nelle seguenti fasi:

- Selezione dei temi da considerare
- Trasformazione dei dati originali in raster
- Categorizzazione dei temi
- Calcolo e applicazione IPV

### **3.2.1. Selezione dei temi**

Per la definizione dell'indice sono stati considerati come potenzialmente rilevanti per descrivere il pericolo potenziale di vulnerazione i fattori correlabili a:

- carico di azoto sul territorio
- suolo
- sottosuolo insaturo
- caratteristiche dell'acquifero

Per ogni fattore è stata valutata la disponibilità di dati cartografici, con una copertura sufficiente per le aree di pianura della regione, e la loro adeguatezza.

Partendo dall'elenco dei dati disponibili, si è deciso di considerare:

- Surplus totale di azoto
- Capacità protettiva del suolo
- Tempo di arrivo in falda (TOT)
- Indice di potenziale diluizione della falda superficiale (IPDF)
- GOD



#### 3.2.1.1. *Surplus di azoto*

Il surplus di azoto rappresenta un buon indicatore di pressione, in particolare della quota di azoto ottenuta dalla differenza tra gli apporti e gli asporti delle colture che potenzialmente può percolare verso le acque sotterranee o essere dilavata verso le acque superficiali.

#### 3.2.1.2. *Capacità protettiva del suolo*

La capacità protettiva del suolo è un fattore di attenuazione e rappresenta un elemento significativo per la definizione dell'IPV. Una bassa capacità protettiva tende a favorire la percolazione dei nitrati verso l'acquifero sotterraneo, mentre una capacità protettiva alta tende ad attenuare questo fenomeno favorendo però la traslocazione dei nitrati verso le acque superficiali attraverso fenomeni di runoff.

#### 3.2.1.3. *TOT (Time of Travel)*

Il TOT rappresenta il tempo impiegato da un potenziale inquinante, che abbia un comportamento simile all'acqua, per percorrere la distanza tra la superficie del suolo e la falda idrica sotterranea.

Può essere considerato prevalentemente come un fattore di ritardo piuttosto che un fattore collegato alla attenuazione della percolazione dei nitrati in falda.

Questo indice appare più importante per i prodotti fitosanitari, per i quali un ritardo nell'arrivo in falda, enfatizzato da interazioni chimico-fisiche con il substrato e dalla velocità di degradazione delle sostanze attive, può produrre anche un effetto di attenuazione.

E' stato comunque deciso di valutare il TOT nella definizione dell'IPV.

#### 3.2.1.4. *Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF)*

Un fattore importante per la valutazione del rischio di contaminazione delle acque sotterranee è rappresentato dalla "produttività dell'acquifero" (portata specifica), una grandezza correlata al grado di diluizione a cui è soggetto un determinato contaminante arrivato in falda.

Tuttavia, non avendo a disposizione dati di tale parametro per l'acquifero superficiale spazializzabili a scala regionale, è stato definito un indice che potesse descrivere anche in modo indiretto la capacità di diluizione potenziale dell'acquifero superficiale.

Infatti, la diluizione di un inquinante nell'acquifero è un aspetto fondamentale per comprendere i fenomeni di contaminazione che si rilevano attraverso misure di concentrazione sulla matrice acqua.

Al riguardo, se da un lato è importante la massa di contaminante che percola dalla superficie, dall'altro la vulnerazione dell'acquifero si presenta quando la diluizione dell'inquinante produce concentrazioni superiori ai limiti di riferimento o prossime a questo limite.

Semplificando, e non considerando che il sistema nel suo complesso è dinamico, si può affermare che uguali quantità di nitrati che arrivano nell'acquifero possono produrre livelli di contaminazione diversi in relazione alla maggiore o minore diluizione a cui sono soggetti.

#### 3.2.1.5. *GOD*

Il GOD valuta la vulnerabilità intrinseca di un acquifero come il prodotto dei seguenti fattori:

- G = grado di confinamento dell'acquifero
- O = caratteristiche litologiche e grado di coesione delle rocce della zona non satura (per gli acquiferi non confinati) e dei livelli confinanti a tetto (per gli acquiferi confinati)
- D = soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquifero non confinato o tetto dell'acquifero per gli acquiferi confinati.

Si tratta di un indice complesso che descrive la vulnerabilità intrinseca (con valori da vulnerabilità nulla a vulnerabilità estrema); il GOD non prende in considerazione il fattore diluizione.

### **3.2.2. Trasformazione dei dati originali in raster (grid)**

Per l'applicazione di questa procedura si è operato in ambiente GIS trasformando i temi selezionati in raster (grid), come già descritto nel paragrafo 2.2.2, utilizzando celle elementari di 100 metri. Per tutti i temi le celle hanno dimensione e posizione sovrapponibili.

Il valore assegnato alla singola cella è quello che assume il tema nel punto in cui ricade il centro della cella, senza che si sia effettuata alcuna interpolazione; il dato può essere di tipo alfanumerico o numerico.

Considerando la dimensione ridotta della cella, la scala di acquisizione dei temi selezionati e la successiva riclassificazione in classi definite, si ritiene che l'incertezza introdotta dalla trasformazione in raster non sia significativa per lo scopo specifico.

### **3.2.3. Categorizzazione dei temi**

La categorizzazione dei temi selezionati è finalizzata al calcolo dell'IPV che prevede, nella versione sperimentale proposta, la valutazione integrata dei temi selezionati attraverso la somma, per ogni cella del grid, dei singoli valori numerici attribuiti in funzione della relativa classe.

La categorizzazione è una operazione delicata e può influenzare anche in modo significativo il risultato finale. Pertanto questo passaggio, effettuato sui temi per i quali non era già disponibile la categorizzazione, è da ritenersi una proposta sperimentale che può essere ulteriormente valutata e verificata.

La Capacità protettiva del suolo ed il TOT sono disponibili con una suddivisione in 4 categorie non modificabili, se non dai fornitori dei dati; per tale motivo si è deciso di adottare una categorizzazione a 4 classi anche per gli altri temi considerati.

Questo ha consentito un più immediato confronto tra i vari tematismi; non si esclude però che categorizzazioni con un numero maggiore di classi possano consentire un migliore risultato.

#### **3.2.3.1 Assegnazione delle classi**

Il criterio impiegato è stato quello di utilizzare 4 classi, individuate secondo lo schema riportato in tabella 3-1, che esprimessero valori decrescenti di pericolo potenziale di contaminazione della falda riferito ai temi specifici.

| Classe di pericolo | Valore |
|--------------------|--------|
| A (Alta)           | 4      |
| MA (Medio Alta)    | 3      |
| MB (Medio Bassa)   | 2      |
| B (Bassa)          | 1      |

**Tabella 3-1 – Classi di pericolo potenziale di vulnerazione**

Queste classi e i relativi valori sono stati attribuiti ai temi considerati.

Nella tabella 3-2 sono riportate, sulla base delle categorie definite per la Capacità protettiva del suolo, le relative classi/valori di pericolo assegnati.

Ad una Capacità protettiva Bassa, associabile alla maggiore possibilità di percolazione di un inquinante in falda, corrisponde una classe di pericolo potenziale Alto (A).

| Categoria originale | Classe/Valore di pericolo |
|---------------------|---------------------------|
| Bassa               | A (4)                     |
| Medio-Bassa         | MA (3)                    |
| Medio-Alta          | MB (2)                    |
| Alta                | B (1)                     |

**Tabella 3-2 – Capacità protettiva del suolo**

La categorizzazione originaria TOT è riportata nella tabella 3-3 con la relativa attribuzione della classe/valore di potenziale pericolo.

Minore è il tempo di arrivo in falda, maggiore è il pericolo potenziale associato a questo tema.

| Categoria originale | Classe/Valore di pericolo |
|---------------------|---------------------------|
| < 1 settimana       | A (4)                     |
| 1 sett. – 1 mese    | MA (3)                    |
| 1 mese – 6 mesi     | MB (2)                    |
| 6 mesi – 1 anno     | B (1)                     |

**Tabella 3-3 – TOT**

Per quanto riguarda il Surplus totale (minerale più organico) di azoto il tema non era suddiviso in quattro categorie ma presentava una gamma di valori diversificati a seconda della ubicazione. Infatti mentre il surplus minerale era disponibile con un

dettaglio al foglio di mappa catastale, il surplus organico era rappresentato a livello di area agronomica omogenea; la sommatoria tiene quindi conto di questo dettaglio.

La suddivisione proposta in quattro categorie, riportata nella tabella con le relative classi di pericolo potenziale, deriva sia dalla significatività per la specifica applicazione, sia dalla distribuzione relativa sul territorio considerato.

Come risulta evidente un surplus di azoto maggiore corrisponde ad un pericolo potenziale più elevato (figura 3-4).

| Categoria proposta | Classe/Valore di pericolo |
|--------------------|---------------------------|
| > 100 Kg/ha        | A (4)                     |
| 50 – 100 Kg/ha     | MA (3)                    |
| 0 – 50 Kg/ha       | MB (2)                    |
| Val. negativo      | B (1)                     |

**Tabella 3-4 – Surplus totale di azoto**

Per l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF), il pericolo potenziale di contaminazione è inversamente proporzionale al livello di diluizione potenziale definito dall'indice descritto nel paragrafo 2.2.2.1 (tabella 3-5).

| Categoria originale | Classe/Valore di pericolo |
|---------------------|---------------------------|
| Basso               | A (4)                     |
| Medio-Basso         | MA (3)                    |
| Medio-Alto          | MB (2)                    |
| Alto                | B (1)                     |

**Tabella 3-5 – Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF)**

Per l'indice GOD, infine, il pericolo potenziale di contaminazione è proporzionale al valore di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero. Le categorie originali Bassa e Nulla sono state accorpate in quanto non sono presenti nel territorio di pianura della Regione Piemonte aree con vulnerabilità intrinseca Nulla (tabella 3-6).

| Categoria originale | Classe/Valore di pericolo |
|---------------------|---------------------------|
| Estrema             | A (4)                     |
| Alta                | MA (3)                    |
| Moderata            | MB (2)                    |
| Bassa/Nulla         | B (1)                     |

**Tabella 3-6 – GOD**

Nella tabella 3-7 è riportato un quadro riassuntivo delle categorizzazioni e della attribuzione delle classi per i temi selezionati per la definizione dell'IPV.

| Classe/Valore di pericolo potenziale | Capacità protettiva del suolo | Tempo di arrivo in falda (TOT) | Surplus totale di Azoto | Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF) | GOD         |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--|-------------|
| <b>A (4)</b>                         | Bassa                         | < 1 settimana                  | > 100 Kg/ha             | Basso  | Estrema     |
| <b>MA (3)</b>                        | Medio-Bassa                   | 1 sett. – 1 mese               | 50 – 100 Kg/ha          | Medio-Basso  | Alta        |
| <b>MB (2)</b>                        | Medio-Alta                    | 1 mese – 6 mesi                | 0 – 50 Kg/ha            | Medio-Alto   | Moderata    |
| <b>B (1)</b>                         | Alta                          | 6 mesi – 1 anno                | Val. negativo           | Alto   | Bassa/Nulla |

**Tabella 3-7 – Categorizzazioni e attribuzione delle classi/valori per i temi selezionati**

### **3.2.4. Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV)**

L'Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV) si ottiene considerando l'effetto combinato del carico, rappresentato dal Surplus totale di azoto, e dell'attenuazione del sistema rappresentata dai diversi fattori di controllo.

La valutazione integrata di carico e attenuazione è stata effettuata in ambiente GIS mediante la sovrapposizione dei vari temi, sfruttando le potenzialità del formato raster (grid) che permette di elaborare i dati per ogni singola cella.

Sono state sviluppate tre varianti dell'IPV:

- IPV1: combina il Surplus totale di azoto con un indice di pericolo integrato, in seguito descritto, legato all'attenuazione e definito sulla base della Capacità protettiva del suolo, del Tempo di arrivo in falda (TOT) e dell'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF).
- IPV2: combina il Surplus totale di azoto con la Capacità protettiva del suolo e l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF)
- IPV3: combina il Surplus totale di azoto con il GOD e l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF)

I calcoli sono stati effettuati in ambiente GIS mediante la sovrapposizione dei vari temi sfruttando le potenzialità del formato raster (grid) che permette di elaborare i dati per ogni singola cella (come riportato nella successiva figura 3.1). La procedura può essere illustrata con una matrice che rappresenta l'operazione di calcolo effettuata per ogni cella.

La risoluzione della matrice porta ad avere un valore per ogni cella compreso tra n e nC dove n è il numero di temi considerati e C è il numero di classi.

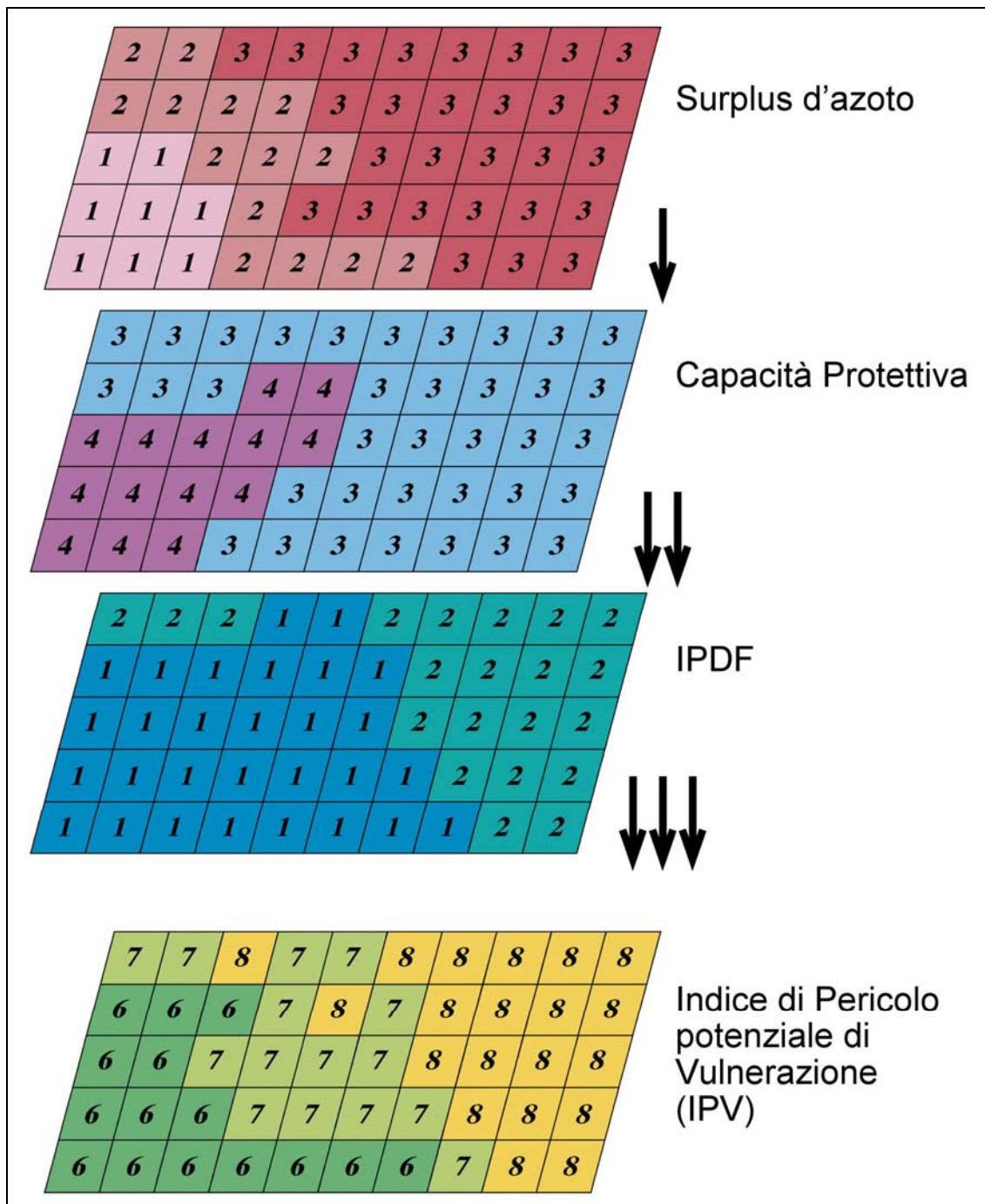


Figura 3.1 – Esempio di come opera la sovrapposizione dei grid

### 3.2.4.1. IPV1

La procedura è stata sviluppata in due step:

- calcolo di un indice di pericolo integrato legato all'attenuazione (IPI)
- calcolo dell'IPV

#### 3.2.4.1.1. Indice di pericolo integrato legato all'attenuazione (IPI)

Nel caso dell'IPI la risoluzione della matrice con tre temi e quattro classi porterà ad ottenere valori compresi tra 3 (tutti e tre i temi sono in classe B corrispondente al valore 1:  $1+1+1=3$ ) e 12 (tutti e tre i temi sono in classe A corrispondente al valore 4:  $4+4+4=12$ ).

I valori più elevati di IPI (indice di potenziale pericolo integrato legato all'attenuazione) evidenziano un minore effetto dell'attenuazione del sistema e quindi un pericolo maggiore di vulnerazione.

Si riporta a titolo di esempio (tabella 3-8) il calcolo dell'IPI applicato ad una cella campione.

| Classe di Pericolo potenziale del Tema | A (4) | MA (3) | MB (2) | B (1) |
|--|-------|--------|--------|-------|
| Capacità protettiva                    | X     |        |        |       |
| TOT                                    |       | X      |        |       |
| IPDF                                   |       |        |        | X     |

**Tabella 3-8 – Matrice di calcolo dell'IPI per una cella campione**

Nell'esempio della cella campione si evidenzia una classe di pericolo potenziale riferito alla Capacità protettiva del suolo Alto (valore numerico 4, corrispondente ad una capacità protettiva bassa), una classe per il TOT Medio-Alta (valore numerico 3, corrispondente ad un tempo di arrivo in falda compreso tra 1 settimana e 1 mese) e una classe di IPDF Bassa (valore numerico 1, corrispondente ad una elevata diluizione potenziale).

Il valore di IPI ottenuto per la cella campione sarà quindi  $4+3+1=8$ .

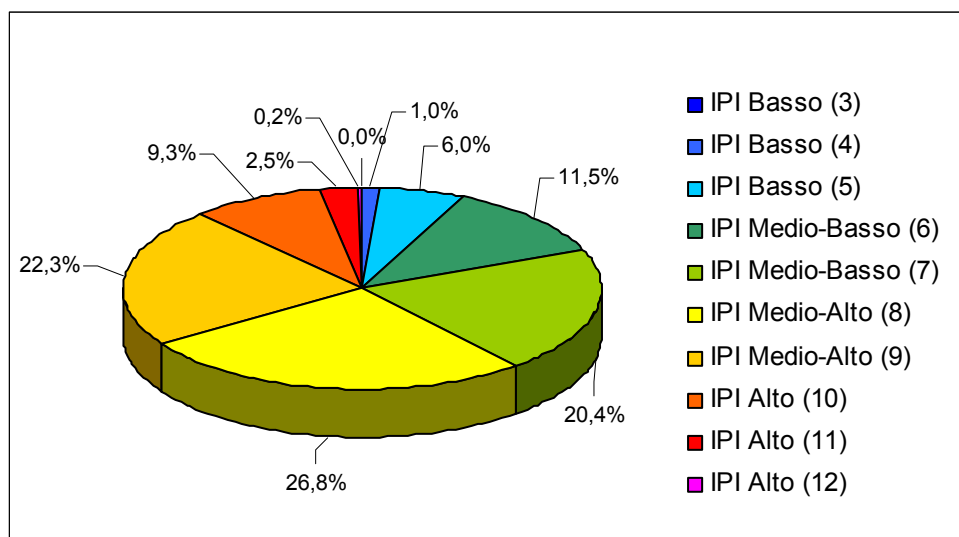
Dalla applicazione di questo metodo su tutta l'area di studio si ottiene una distribuzione dell'IPI (count = numero di celle) riportata nella tabella 3-9 e rappresentato graficamente nella figura 3-2.

Negli allegati (vedi carta A3/3) è riportato il cartogramma relativo all'IPI.



| IPI    |        |
|--------|--------|
| Valore | Count  |
| 3      | 40     |
| 4      | 7086   |
| 5      | 41357  |
| 6      | 79281  |
| 7      | 140868 |
| 8      | 184771 |
| 9      | 153780 |
| 10     | 64340  |
| 11     | 17047  |
| 12     | 1344   |

**Tabella 3-9 – Distribuzione IPI**



**Figura 3-2 – Ripartizione percentuale dei valori di IPI a scala Regionale**

L'indice è stato calcolato solo per le porzioni di territorio dove le celle erano valorizzate per tutti e tre i temi considerati.

I valori di IPI sono stati quindi riclassificati in 4 classi per le successive elaborazioni, come riportato nella tabella 3-10.

| Valore   | Classe/Valore di pericolo |
|----------|---------------------------|
| 10-11-12 | A (4)                     |
| 8-9      | MA (3)                    |
| 6-7      | MB (2)                    |
| 3-4-5    | B (1)                     |

**Tabella 3-10 – Riclassificazione IPI**

Con questa riclassificazione la ripartizione ottenuta dell'IPI, nelle varie classi, risulta come riportato in tabella 3-11 (count = numero di celle).

| IPI                       |        |
|---------------------------|--------|
| Classe/Valore di pericolo | Count  |
| A (4)                     | 82731  |
| MA (3)                    | 338551 |
| MB (2)                    | 220149 |
| B (1)                     | 48465  |

**Tabella 3-11 – Distribuzione IPI riclassificato**

#### 3.2.4.1.2. Calcolo dell'IPV1

L'indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione nella sua prima variante (IPV1) viene calcolato utilizzando una matrice a 2 temi e 4 classi.

I temi considerati sono il Surplus totale di azoto e l'IPI.

In questo caso i valori ottenuti dalla risoluzione della matrice sono compresi tra 2 e 8.

Si riporta a titolo di esempio (tabella 3-12) il calcolo dell'IPV1 applicato ad una cella campione.

| Classe  | A (4) | MA (3) | MB (2) | B (1) |
|---------|-------|--------|--------|-------|
| Surplus | X     |        |        |       |
| IPI     |       | X      |        |       |

**Tabella 3-12 – Matrice di calcolo dell'IPV1 per una cella campione**

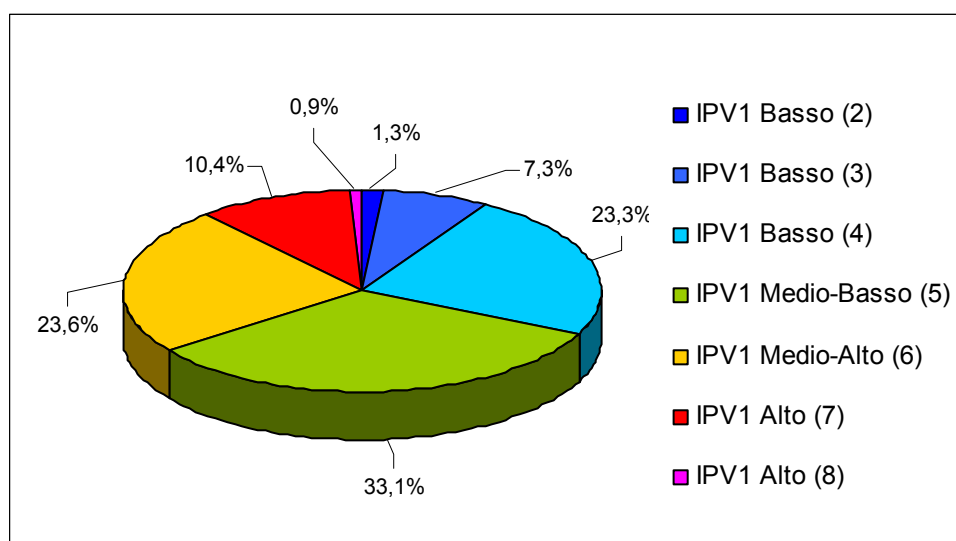
Nell'esempio della cella campione si evidenzia una classe Surplus totale di azoto Alto (valore numerico 4, corrispondente ad un valore > 100 kg/ha) e ad una classe di IPI Medio-Alta (valore numerico 3, corrispondente ad un valore dell'indice compreso tra 8 e 9).

Il valore di IPV1 ottenuto per la cella campione sarà quindi  $4+3=7$ .

Dalla applicazione di questo metodo su tutta l'area di studio si ottiene una distribuzione dell'IPV1 (count = numero di celle) riportata nella tabella 3-13 e graficamente nella figura 3-3.

| IPV1   |        |
|--------|--------|
| Valore | Count  |
| 2      | 9015   |
| 3      | 50067  |
| 4      | 159345 |
| 5      | 225572 |
| 6      | 161401 |
| 7      | 70785  |
| 8      | 6310   |

**Tabella 3-13 – Distribuzione IPV1**



**Figura 3-3 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV1 a scala Regionale**

Trattandosi di una matrice a 2 soli temi si è ritenuto, in via sperimentale di prevedere una variante nella attribuzione del valore alla classe dei temi considerati nel caso in cui uno dei due temi risulti in classe 4 (IPI Alto o Surplus Alto).

La variante prevede che se uno dei temi è in classe 4 il valore numerico della somma sia aumentato di una unità (simulando un valore di classe 5 invece di 4 per il tema).

Questa variante non si applica se entrambi i temi sono in classe 4 in modo tale da non variare il range dei valori ottenibili dalla risoluzione della matrice.

Con questa variante si enfatizzano i valori più alti dell'IPV1 (6, 7, 8) con un aumento delle loro frequenze e il valore 5 è ottenuto solo dalla somma di 3+2 e mai da 4+1.

Nella tabelle 3-14 e 3-15 sono riportate in modo schematico le due modalità di calcolo, normale e modificata, come confronto.

|                     |   | Surplus |   |   |   |
|---------------------|---|---------|---|---|---|
|                     |   | 1       | 2 | 3 | 4 |
| Valore della classe |   |         |   |   |   |
| IPI                 | 1 | 2       | 3 | 4 | 5 |
|                     | 2 | 3       | 4 | 5 | 6 |
|                     | 3 | 4       | 5 | 6 | 7 |
|                     | 4 | 5       | 6 | 7 | 8 |

**Tabella 3-14 – calcolo IPV1**

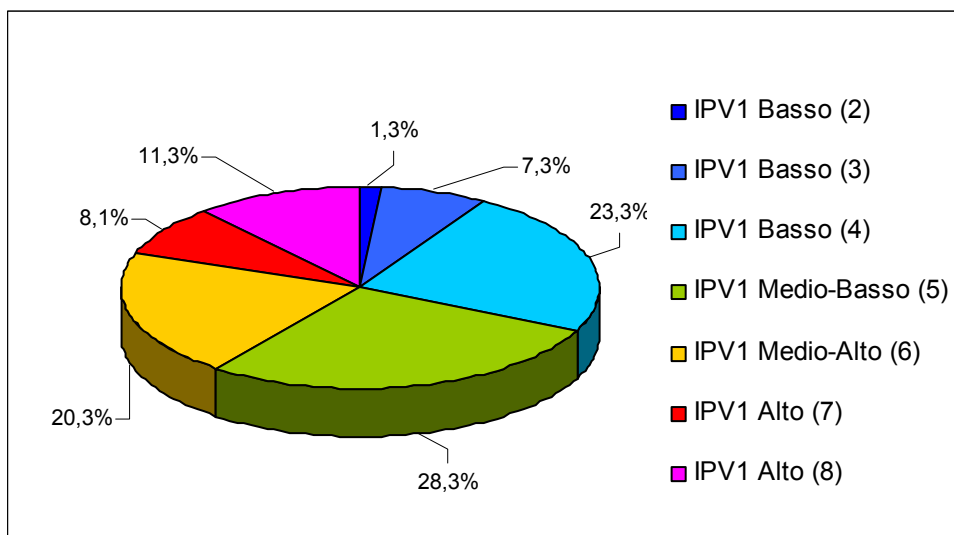
|                     |   | Surplus |   |   |   |
|---------------------|---|---------|---|---|---|
|                     |   | 1       | 2 | 3 | 4 |
| Valore della classe |   |         |   |   |   |
| IPI                 | 1 | 2       | 3 | 4 | 6 |
|                     | 2 | 3       | 4 | 5 | 7 |
|                     | 3 | 4       | 5 | 6 | 8 |
|                     | 4 | 6       | 7 | 8 | 8 |

**Tabella 3-15 – calcolo IPV1 modificato**

Dalla applicazione di questa modifica su tutta l'area di studio si ottiene una distribuzione dell'IPV1 (count = numero di celle) riportata nella tabella 3-16 e graficamente nella figura 3-4.

| IPV1 modificato |        |
|-----------------|--------|
| Valore          | Count  |
| 2               | 9015   |
| 3               | 50067  |
| 4               | 159345 |
| 5               | 193119 |
| 6               | 138450 |
| 7               | 55404  |
| 8               | 77095  |

**Tabella 3-16 – distribuzione IPV1 modificato**



**Figura 3-4 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV1 modificato a scala Regionale**

I valori di IPV1 modificato sono stati quindi riclassificati in 4 classi come riportato nella tabella 3-17.

| Valore | Classe/Valore di pericolo |
|--------|---------------------------|
| 7-8    | A (4)                     |
| 6      | MA (3)                    |
| 5      | MB (2)                    |
| 2-3-4  | B (1)                     |

**Tabella 3-17 – Riclassificazione IPV1 modificato**

Con questa riclassificazione la ripartizione dell'IPV1 modificato nelle varie classi è riportata nella tabella 3-18 (count = numero di celle).

| IPV1 modificato           |        |
|---------------------------|--------|
| Classe/Valore di pericolo | Count  |
| A (4)                     | 132499 |
| MA (3)                    | 138450 |
| MB (2)                    | 193119 |
| B (1)                     | 218427 |

**Tabella 3-18 – Distribuzione IPV1 modificato riclassificato**

La Carta A3/4 (vedi allegati) riporta il cartogramma dell'indice IPV1 nella versione modificata.

### 3.2.4.2. IPV2

L'indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione nella sua seconda variante (IPV2), viene calcolato utilizzando una matrice a 3 temi e 4 classi.

I temi considerati sono il Surplus totale di azoto, la Capacità protettiva del suolo e l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF).

In questo caso i valori ottenuti dalla risoluzione della matrice sono compresi tra 3 e 12.

Si riporta a titolo di esempio (figura 3-19) il calcolo dell'IPV2 applicato ad una cella campione.

| Classe              | A (4) | MA (3) | MB (2) | B (1) |
|---------------------|-------|--------|--------|-------|
| Surplus             | X     |        |        |       |
| Capacità protettiva | X     |        |        |       |
| IPDF                |       |        |        | X     |

**Tabella 3-19 – Matrice di calcolo dell'IPV2 per una cella campione**

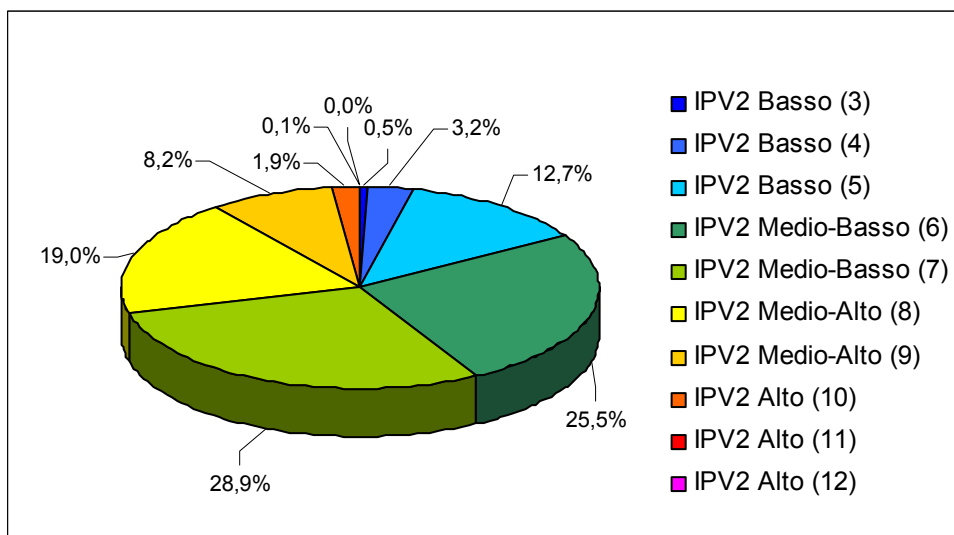
Nell'esempio per la cella campione si evidenzia una classe di Surplus totale di azoto Alto (valore numerico 4, corrispondente ad un valore > 100 kg/ha), una classe di pericolo potenziale riferito alla Capacità protettiva del suolo Alto (valore numerico 4, corrispondente ad una capacità protettiva bassa), e una classe di IPDF Bassa (valore numerico 1, corrispondente ad una elevata diluizione potenziale).

Il valore di IPV2 ottenuto per la cella campione sarà quindi  $4+4+1=9$ .

Dalla applicazione di questo metodo su tutta l'area di studio si ottiene una distribuzione dell'IPV2 (count = numero di celle) riportata nella tabella 3-20 e graficamente nella figura 3-5.

| IPV2   |        |
|--------|--------|
| Valore | Count  |
| 3      | 3939   |
| 4      | 23393  |
| 5      | 92794  |
| 6      | 196733 |
| 7      | 211222 |
| 8      | 138683 |
| 9      | 59748  |
| 10     | 14116  |
| 11     | 636    |
| 12     | 32     |

**Tabella 3-20 – distribuzione IPV2**



**Figura 3-5 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV2 modificato a scala Regionale**

L'indice è stato calcolato solo per le porzioni di territorio dove le celle erano valorizzate per tutti e tre i temi considerati.

I valori di IPV2 sono stati quindi riclassificati in 4 classi come riportato nella tabella 3-21.

| Valore   | Classe/Valore di pericolo |
|----------|---------------------------|
| 10-11-12 | A (4)                     |
| 8-9      | MA (3)                    |
| 6-7      | MB (2)                    |
| 3-4-5    | B (1)                     |

**Tabella 3-21 – Riclassificazione IPV2**

Con questa riclassificazione la ripartizione dell'IPV2 nelle varie classi è riportata nella tabella 3-22.

| IPV2                      |        |
|---------------------------|--------|
| Classe/Valore di pericolo | Count  |
| A (4)                     | 14784  |
| MA (3)                    | 198431 |
| MB (2)                    | 397955 |
| B (1)                     | 120126 |

**Tabella 3-22 – Distribuzione IPV2 riclassificato**

La Carta A3/5 riporta il cartogramma relativo all'indice IPV2 (vedi allegati).

### 3.2.4.3. IPV3

L'indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione nella sua terza variante (IPV3) viene calcolato utilizzando una matrice a 3 temi e 4 classi.

I temi considerati sono il Surplus totale di azoto, la Capacità protettiva del suolo e l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF).

In questo caso i valori ottenuti dalla risoluzione della matrice sono compresi tra 3 e 12.

Si riporta a titolo di esempio (figura 3-23) il calcolo dell'IPV3 applicato ad una cella campione.

| Classe  | A (4) | MA (3) | MB (2) | B (1) |
|---------|-------|--------|--------|-------|
| Surplus | X     |        |        |       |
| GOD     | X     |        |        |       |
| IPDF    |       |        |        | X     |

**Tabella 3-23 – Matrice di calcolo dell'IPV3 per una cella campione**

Nell'esempio della cella campione si evidenzia una classe di Surplus totale di azoto Alto (valore numerico 4, corrispondente ad un valore > 100 kg/ha), una classe di pericolo potenziale riferito al GOD Alto (valore numerico 4, corrispondente ad una vulnerabilità Estrema), e una classe di IPDF Bassa (valore numerico 1) corrispondente ad una elevata diluizione potenziale.

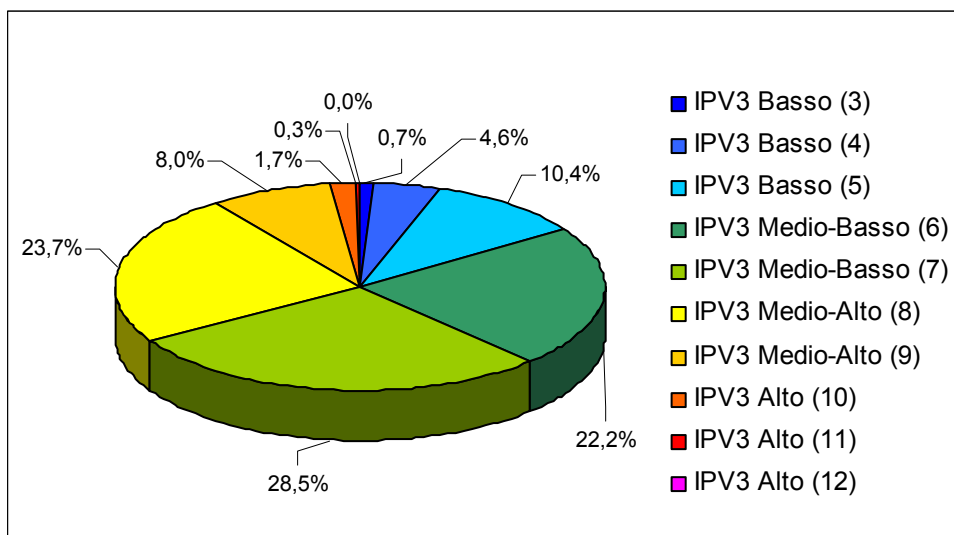
Il valore di IPV3 ottenuto per la cella campione sarà quindi  $4+4+1=9$ .

Dalla applicazione di questo metodo su tutta l'area di studio si ottiene una distribuzione dell'IPV3 (count numero di celle) riportata nella tabella 3-24 e graficamente nella figura 3-6.

| IPV3   |        |
|--------|--------|
| Valore | Count  |
| 3      | 4801   |
| 4      | 31258  |
| 5      | 71528  |
| 6      | 152017 |
| 7      | 195188 |
| 8      | 162729 |
| 9      | 54845  |
| 10     | 11327  |
| 11     | 2019   |
| 12     | 76     |

**Tabella 3-24 – distribuzione IPV3**





**Figura 3-6 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV3 modificato a scala Regionale**

L'indice è stato calcolato solo per le porzioni di territorio dove le celle erano valorizzate per tutti e tre i temi considerati.

I valori di IPV3 sono stati quindi riclassificati in 4 classi come riportato nella tabella 3-25.

| Valore   | Classe/Valore di pericolo |
|----------|---------------------------|
| 10-11-12 | A (4)                     |
| 8-9      | MA (3)                    |
| 6-7      | MB (2)                    |
| 3-4-5    | B (1)                     |

**Tabella 3-25 – Riclassificazione IPV3**

La ripartizione dell'IPV3 nelle varie classi, con questa riclassificazione, è riportata nella tabella 3-26.

| IPV3                      |        |
|---------------------------|--------|
| Classe/Valore di pericolo | Count  |
| A (4)                     | 13422  |
| MA (3)                    | 217574 |
| MB (2)                    | 347205 |
| B (1)                     | 107587 |

**Tabella 3-26 – Distribuzione IPV3 riclassificato**

La Carta A3/6 riporta il cartogramma relativo all'indice IPV3 (vedi allegati).

### **3.3. Definizione dell'indice di stato per i nitrati**

#### **3.3.1. Integrazione spazializzazione**

La spazializzazione dei dati di stato illustrata in precedenza non garantiva, per alcune aree idrogeologicamente separate, anche aggregate in macroaree, un adeguato livello di affidabilità; per questa ragione non ne è stato riportato il relativo cartogramma (vedi paragrafo 2.1.2.4).

Si ritiene però che in relazione al carattere sperimentale che assume la definizione di un modello ad indici qualitativi, soprattutto in relazione alla valutazione degli indici IPV rispetto allo stato, possa essere comunque considerata, anche se con le dovute cautele, la spazializzazione dei dati di nitrati per l'area AT01 e per la macroarea MS11.

Questa scelta è giustificata dal fatto che la spazializzazione per la macroarea MS11, pur non raggiungendo un livello sufficiente di affidabilità, presenta criticità simili, anche se più accentuate, all'area AL04 e alla macroarea MS12 e che può essere utile una valutazione complessiva per la pianura alessandrina.

L'area AT01 presenta una forma particolare allungata che non consente una distribuzione dei pozzi nello spazio tale da rendere applicabile un modello geostatistico affidabile. Per questa area si è ritenuto comunque di verificare un'ipotesi di spazializzazione con l'IDW.

Nelle carte A3/2 (vedi allegati) è riportata la spazializzazione dei dati di stato utilizzata per il confronto con le varie versioni di IPV e con i temi di base a scala regionale; sono quindi riportate anche le ipotesi di spazializzazione relative all'area AT01 e alla macroarea MS11.

#### **3.3.2. Trasformazione dei dati in raster**

Si è operato in ambiente GIS trasformando il file vettoriale della spazializzazione dei nitrati in formato raster (grid), come già descritto nel paragrafo 2.2.2, utilizzando celle elementari di 100 metri. Le celle hanno dimensione e posizione sovrapponibili agli altri temi di base considerati.

Il valore assegnato alla singola cella è quello che assume l'attributo selezionato del tema in cui ricade il centro della cella, senza effettuare alcuna interpolazione.

#### **3.3.3. Categorizzazione del tema**

Il criterio impiegato è stato quello di utilizzare, come per gli altri temi, 4 classi che esprimessero valori crescenti di contaminazione della falda utilizzando la

categorizzazione della concentrazione di nitrati riportata dal Regolamento 9/R del 2002 relativo alla “Designazione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e relativo programma d’azione”.

Si sono così ottenute quattro Classi di Vulnerazione da nitrati (CV) come riportato nella tabella 3-27.

| Categoria originale<br>(Concentrazione di nitrati) | Classe di<br>vulnerazione (CV) | Valore |
|--|--------------------------------|--------|
| >50 mg/L   | A (Alta)                       | 4      |
| 40-50 mg/L   | MA (Medio Alta)                | 3      |
| 25-40 mg/L   | MB (Medio Bassa)               | 2      |
| < 25 mg/L  | B (Bassa)                      | 1      |

**Tabella 3-27 – Classi di Vulnerazione (CV) da nitrati**

### 3.4. Confronto tra lo stato riferito ai nitrati e i vari indici/indicatori

Sono stati previste due tipologie di confronto con lo stato:

- Stato-temi di base
- Stato-IPV (tutte le varianti)

Queste due operazioni assumono significati diversi: mentre il confronto con i singoli temi di base può fornire indicazioni sulla rilevanza del singolo fattore (e in prospettiva indirizzare una eventuale pesatura), il confronto con l'IPV permette di valutare la coerenza dell'informazione fornita e rappresenta uno strumento indispensabile per la sua taratura.

La metodologia impiegata prevede di confrontare per ogni cella la classe dello stato (come valore numerico) con quella del singolo tema o dell'IPV: il valore risultante, denominato Livello di Concordanza (LC), indica quanto la classe dello stato ottenuta dai dati della rete di monitoraggio, concorda con la classe attribuita all'Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione o ai vari temi di base.

Il calcolo del LC si ottiene dalla differenza tra le classi secondo le formule:

$$LC_{IPV}=CV-CP_{IPV}$$

$$LC_{tb}=CV-CP_{tb}$$

Dove:

$LC_{IPV}$  : livello di concordanza per l'indice IPV (varie versioni)

$LC_{tb}$ : livello di concordanza per il singolo tema di base

CV: classe di vulnerazione da nitrati (come valore numerico)

$CP_{IPV}$  : classe attribuita all'IPV (come valore numerico)

$CP_{tb}$  : classe di pericolo potenziale per il singolo tema di base (come valore numerico)

Considerando che tutti gli elementi considerati sono categorizzati in 4 classi con valori numerici corrispondenti da 1 a 4, il livello di concordanza LC può assumere valori compresi tra -3 e +3.

Quando LC assume il valore 0 vi è completa concordanza tra la vulnerazione da nitrati rilevata nei monitoraggi e il pericolo potenziale di vulnerazione (IPV) o il pericolo potenziale associabile ad ogni singolo tema di base. L'indice descrive in modo corretto il fenomeno.

Valori tendenti a -3 indicano una crescente discordanza dei due fattori con una vulnerazione minore di quella prevedibile sulla base del pericolo potenziale di

vulnerazione (IPV) o del pericolo potenziale associabile ad ogni singolo tema di base. L'indice tende a sovrastimare il fenomeno.

Valori tendenti a +3 indicano una crescente discordanza dei due fattori con una vulnerazione maggiore di quella prevedibile sulla base del pericolo potenziale di vulnerazione (IPV) o del pericolo potenziale associabile ad ogni singolo tema di base. L'indice tende a sottostimare il fenomeno.

Nella tabella 3-28 è riportato uno schema riassuntivo delle possibili combinazioni dei valori del livello di concordanza LC.

|                                |                     | Stato |    |    |   |
|--------------------------------|---------------------|-------|----|----|---|
|                                |                     | 1     | 2  | 3  | 4 |
| IPV<br>o<br>tema<br>di<br>base | Valore della classe |       |    |    |   |
|                                | 1                   | 0     | 1  | 2  | 3 |
|                                | 2                   | -1    | 0  | 1  | 2 |
|                                | 3                   | -2    | -1 | 0  | 1 |
|                                | 4                   | -3    | -2 | -1 | 0 |

**Tabella 3-28 – Combinazioni di valori di LC**

Il valore di LC viene calcolato solo per le celle dove è disponibile la copertura territoriale di entrambi i fattori considerati (stato e IPV o singolo tema).

Il livello di concordanza LC è stato determinato per i temi di base sia a scala regionale che per singola area o macroarea.

Analogamente il livello di concordanza LC è stato determinato a scala regionale per tutte le varianti proposte dell'IPV (IPV1, IPV2, IPV3) e solo per l'IPV1 per singola area o macroarea.

I risultati del confronto sono sintetizzati con cartogrammi e tabelle riassuntive che riportano il numero e la percentuale di celle per ogni valore di LC.

Nelle tabelle 3-29 e 3-30 sono riportati i colori associati ai valori di LC per i confronti sia a livello regionale che a livello di area idrogeologica adottati nei cartogrammi e nelle tabelle associate.

| VALORE LC | Legenda                |                            |
|-----------|------------------------|----------------------------|
| -3        | 3 classi di differenza | Stato migliore dell'atteso |
| -2        | 2 classi di differenza |                            |
| -1        | 1 classe di differenza |                            |
| 0         | Stessa classe          |                            |
| 1         | 1 classe di differenza | Stato peggiore dell'atteso |
| 2         | 2 classi di differenza |                            |
| 3         | 3 classi di differenza |                            |

**Tabella 3-29 – Legenda LC per i confronti a scala regionale**

| VALORE LC | Legenda                |
|-----------|------------------------|
| 0         | Stessa classe          |
| -1, +1    | 3 classi di differenza |
| -2, +2    | 2 classi di differenza |
| -3, +3    | 1 classe di differenza |

**Tabella 3-30 – Legenda LC per i confronti a scala di area idrogeologica**

### **3.4.1. Confronto IPV con lo stato a scala Regionale**

Il confronto con l'IPV (Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione) permette di valutare la coerenza dell'informazione che fornisce questo indice e rappresenta uno strumento indispensabile per la sua taratura.

In questa elaborazione sono state considerate anche le aree idrogeologiche nelle quali la spazializzazione dei dati di stato è stata ottenuta a livello di macroarea, comprendendo anche le spazializzazioni sperimentali (AT01 e MS11).

La tabella 3-31 riporta la sintesi del livello di concordanza LC a scala regionale ottenuto tra lo stato e l'IPV nelle sue tre varianti IPV1, IPV2, IPV3.

| LC | IPV1   |        | IPV2   |        | IPV3   |        |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    | COUNT  | %      | COUNT  | %      | COUNT  | %      |
| -3 | 60641  | 11,91  | 6470   | 1,23   | 9797   | 1,92   |
| -2 | 86447  | 16,98  | 72272  | 13,70  | 79238  | 15,54  |
| -1 | 117393 | 23,06  | 221984 | 42,08  | 213652 | 41,89  |
| 0  | 156191 | 30,68  | 147139 | 27,89  | 129950 | 25,48  |
| 1  | 56185  | 11,03  | 46806  | 8,87   | 50509  | 9,90   |
| 2  | 21628  | 4,25   | 27298  | 5,18   | 22846  | 4,48   |
| 3  | 10684  | 2,10   | 5519   | 1,05   | 3996   | 0,78   |
|    | 509169 | 100,00 | 527488 | 100,00 | 509988 | 100,00 |

**Tabella 3-31 – Livello di concordanza (LC) tra stato e IPV a scala regionale**

La legenda, comune alle cartografie e alla tabella 3-29, permette di visualizzare i diversi valori che può assumere il Livello di Concordanza per ogni tematismo considerato, con

l'indicazione di valore positivo e negativo che si traduce in una sovrastima del pericolo potenziale (per LC con valori negativi) o in sottostima del pericolo potenziale (per LC con valori positivi).

Valori di LC compresi tra  $\pm 1$  indicano una buona concordanza tra stato e IPV, mentre un LC uguale a 0 indica che stato e IPV rientrano nella stessa classe (per esempio Classe di Vulnerazione Alta e IPV Alto).

Dalla tabella emerge che il livello di concordanza LC, per tutte le varianti di IPV, assume un valore pari a 0 (massima concordanza) in un numero di celle superiore al 25% e un numero di celle superiore al 65% se si considerano anche i valori  $-1$  e  $+1$ .

Negli allegati sono riportati i cartogrammi (Carta A3/7 per l'IPV1, Carta A3/8 per l'IPV2, Carta A3/9 per l'IPV3), a scala regionale, relativi al Livello di Concordanza (LC) per le tre varianti di IPV.

### **3.4.2. Confronto stato con i temi di base**

Lo stato rappresentato dalla classe di vulnerazione da nitrati è stato confrontato con:

- Surplus totale di azoto
- IPDF
- TOT
- Capacità protettiva del suolo
- GOD

Il livello di concordanza LC è stato calcolato su base regionale e per le seguenti aree idrogeologicamente separate:

- AL04
- CN02
- NO01
- TO07
- VC01
- VC02
- VC03

Si è ritenuto di non riportare il livello di concordanza LC per le aree nelle quali la spazializzazione è stata effettuata a livello di macroarea rimandando per tali aree alle elaborazioni a scala regionale.

### 3.4.2.1. Confronto a scala Regionale

La tabella 3-32 riporta la sintesi del livello di concordanza LC a scala regionale ottenuto tra lo stato e i singoli temi di base considerati.

In questa elaborazione sono state considerate anche le aree idrogeologiche per le quali la spazializzazione dei dati di stato è stata ottenuta a livello di macroarea, comprendendo anche le spazializzazioni sperimentali (AT01 e MS11).

La legenda, comune alle cartografie e alla tabella 3-29, permette di visualizzare i diversi valori che può assumere il Livello di Concordanza per ogni tematismo considerato, con l'indicazione di valore positivo e negativo che si traduce in una sovrastima del pericolo potenziale (per LC con valori negativi) o in sottostima del pericolo potenziale (per LC con valori positivi).

Valori di LC compresi tra  $\pm 1$  indicano una buona concordanza tra stato e tematismo considerato, mentre un valore di LC uguale 0 indica massima concordanza con stato e tematismo considerato che rientrino nella stessa classe (es. Classe di Vulnerazione Alta e Capacità protettiva Bassa).

| LC | Surplus |        | IPDF   |        | TOT    |        | Cap. Protettiva |        | GOD    |        |
|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|
|    | VALORE  | COUNT  | %      | COUNT  | %      | COUNT  | %               | COUNT  | %      | COUNT  |
| -3 | 41692   | 7,50   | 9198   | 1,72   | 194851 | 37,77  | 36725           | 6,54   | 34290  | 6,61   |
| -2 | 99211   | 17,86  | 69026  | 12,90  | 170739 | 33,10  | 173606          | 30,93  | 205836 | 39,66  |
| -1 | 186003  | 33,48  | 153707 | 28,72  | 72642  | 14,08  | 166420          | 29,65  | 123124 | 23,72  |
| 0  | 142603  | 25,67  | 160449 | 29,98  | 42268  | 8,19   | 94402           | 16,82  | 78480  | 15,12  |
| 1  | 66837   | 12,03  | 102199 | 19,10  | 25778  | 5,00   | 51942           | 9,25   | 55184  | 10,63  |
| 2  | 19157   | 3,45   | 27759  | 5,19   | 9612   | 1,86   | 23427           | 4,17   | 16101  | 3,10   |
| 3  | 41      | 0,01   | 12857  | 2,40   | 0      | 0,00   | 14814           | 2,64   | 6030   | 1,16   |
|    | 555544  | 100,00 | 535195 | 100,00 | 515890 | 100,00 | 561336          | 100,00 | 519045 | 100,00 |

**Tabella 3-32 – Livello di concordanza (LC) tra stato e temi di base a scala regionale**

Dalla tabella risulta che IPDF e Surplus presentano celle con valori di LC compreso tra +1 e -1 superiori al 70% e celle con valori di LC uguale a zero non inferiori al 25%.

Gli altri tematismi tendono ad una minore corrispondenza con lo stato, essendo maggiormente spostati ad una sovrastima del pericolo potenziale rispetto al valore misurato di nitrati.

Questo fatto può indicare una maggiore rilevanza di IPDF e Surplus per valutare il pericolo potenziale di vulnerazione da nitrati.

Viceversa il TOT pare il meno significativo.



Solo pochissime “celle” presentano valori di  $LC = + 2$  o  $LC = + 3$ ; questa situazione indica la scarsa presenza di situazioni in cui una concentrazione di nitrati con valori superiori a 50 mg/l è associato con classi di basso pericolo potenziale (basso o medio basso surplus, alta o medio alta diluizione, ecc...).

La maggiore presenza di “celle” con valori negativi, più o meno accentuata ma comune per tutti i tematismi, indica invece che lo stato ha la tendenza a presentare valori di nitrati minori di quelli che ci si potrebbero aspettare valutando il pericolo potenziale associato ai singoli temi di base.

La visualizzazione cartografica permette di valutare la distribuzione nello spazio dei valori positivi e negativi di LC (sovrastima/sottostima).

Questi dati vanno considerati tenendo presente che alcune di queste criticità potrebbero risultare da una spazializzazione che non tiene conto delle criticità evidenziate nel paragrafo 3.1.2.

Negli allegati sono riportati i cartogrammi relativi al confronto dello stato con i temi di base a livello regionale (carta A3/10 per il Surplus, carta A3/11 per l'IPDF, carta A3/12 per la Capacità Protettiva, carta A3/13 per il TOT e carta A3/14 per il GOD).

#### *3.4.2.2. Confronto a livello di area idrogeologicamente separata*

Vengono di seguito considerate singolarmente le aree idrogeologiche per cui è stata possibile la spazializzazione dei dati di stato.

Per ciascuna area sono riportati i cartogrammi relativi al livello di concordanza tra stato e i vari temi di base considerati (Surplus, IPDF, TOT, Capacità protettiva, GOD) utilizzando una rappresentazione con la legenda semplificata riportata in tabella 3-30.

Sono anche riportate le singole tabelle di confronto in cui è possibile distinguere tra valori positivi e negativi di LC.

3.4.2.2.1. AL04

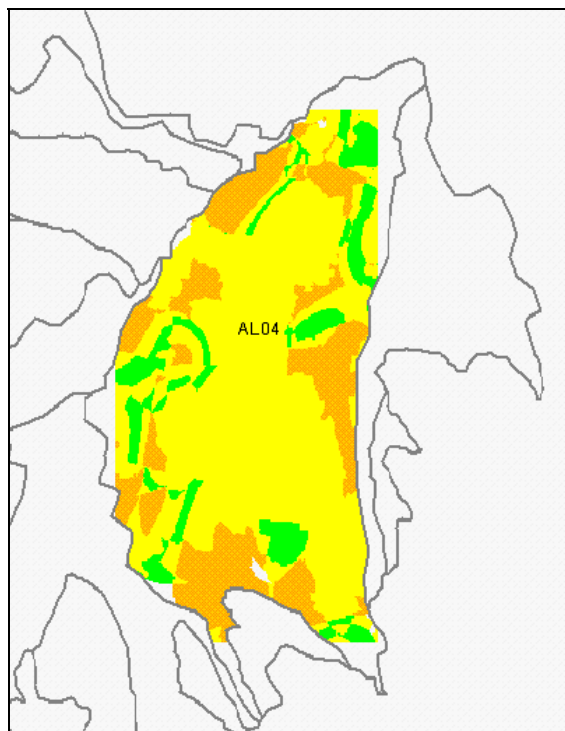


Figura 3-7 – Stato/Surplus

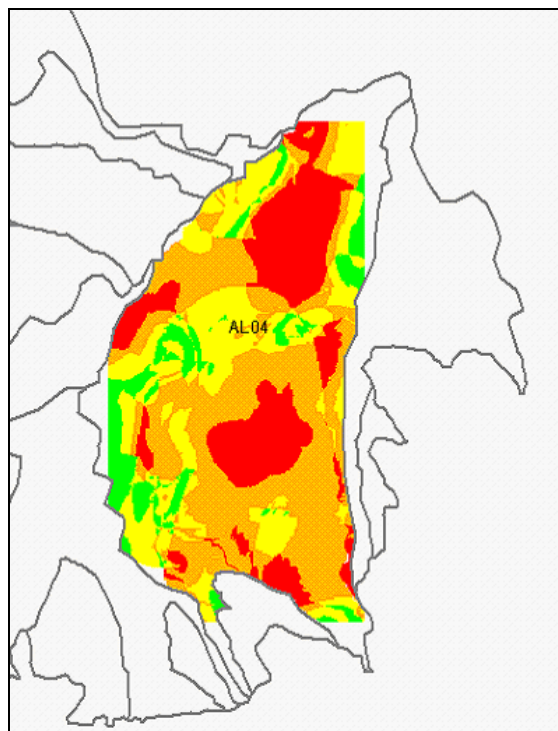


Figura 3-8 – Stato/IPDF

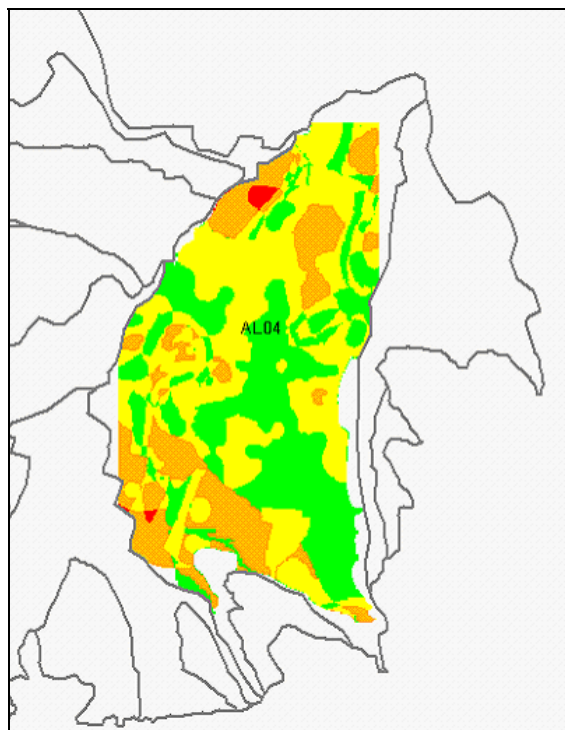


Figura 3-9 – Stato/TOT

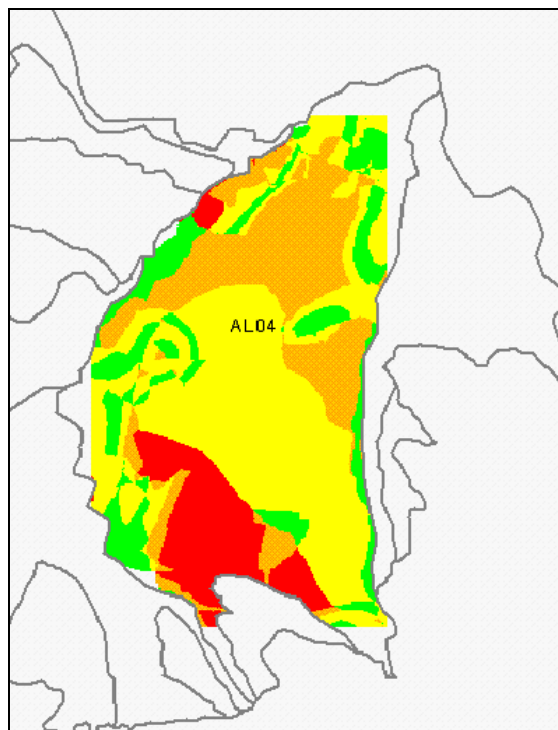


Figura 3-10 – Stato/Capacità protettiva

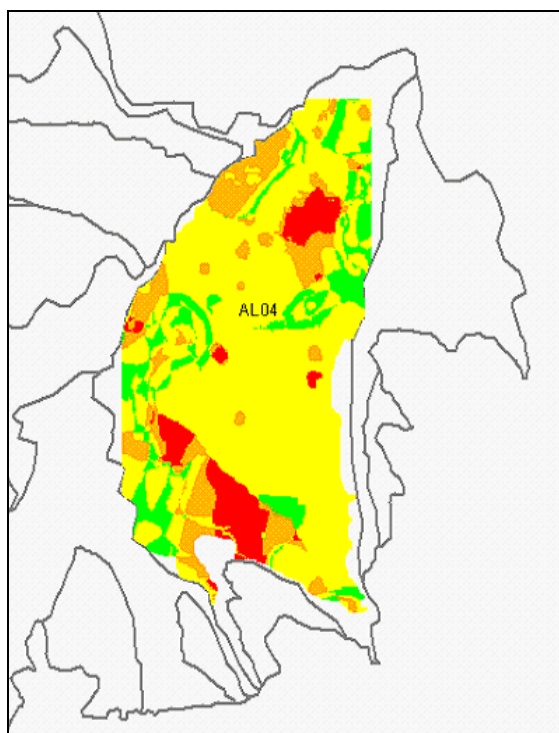


Figura 3-11 – Stato/GOD

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 0       | 0,00   | 1     | 0,00   | 295   | 0,75   | 337             | 0,80   | 0     | 0,00   |
| -2     | 2189    | 5,24   | 234   | 0,56   | 3856  | 9,81   | 666             | 1,59   | 1689  | 4,31   |
| -1     | 3387    | 8,11   | 1590  | 3,80   | 3555  | 9,04   | 3246            | 7,75   | 3504  | 8,93   |
| 0      | 4776    | 11,44  | 3926  | 9,39   | 13704 | 34,85  | 6442            | 15,38  | 4754  | 12,12  |
| 1      | 23494   | 56,29  | 9383  | 22,45  | 13198 | 33,56  | 15847           | 37,84  | 22172 | 56,53  |
| 2      | 7894    | 18,91  | 16422 | 39,28  | 4715  | 11,99  | 10092           | 24,10  | 3901  | 9,95   |
| 3      | 0       | 0,00   | 10248 | 24,51  | 0     | 0,00   | 5248            | 12,53  | 3200  | 8,16   |
| Totale | 41740   | 100,00 | 41804 | 100,00 | 39323 | 100,00 | 41878           | 100,00 | 39220 | 100,00 |

Tabella 3-33 – Riepilogo valori di LC per AL04

In quest'area si evidenziano valori di LC che indicano una tendenza alla sottostima del rischio potenziale di vulnerazione per tutti i temi, in quanto lo stato presenta valori di vulnerazione alta o medio-alta mentre i fattori considerati dovrebbero far prevedere una maggiore protezione della falda. Queste sottostime si evidenziano anche per le altre aree idrogeologiche dell'alessandrino.

In questa area l'indice di pericolo potenziale di diluizione della falda (IPDF), che non tiene conto del tempo di rinnovamento della falda, potrebbe descrivere in modo solo parziale questo fenomeno. Nell'alessandrino potrebbe essere rilevante un tempo di rinnovamento della falda abbastanza lungo come evidenziato nella relazione illustrativa del PTA.

3.4.2.2.2. CN02

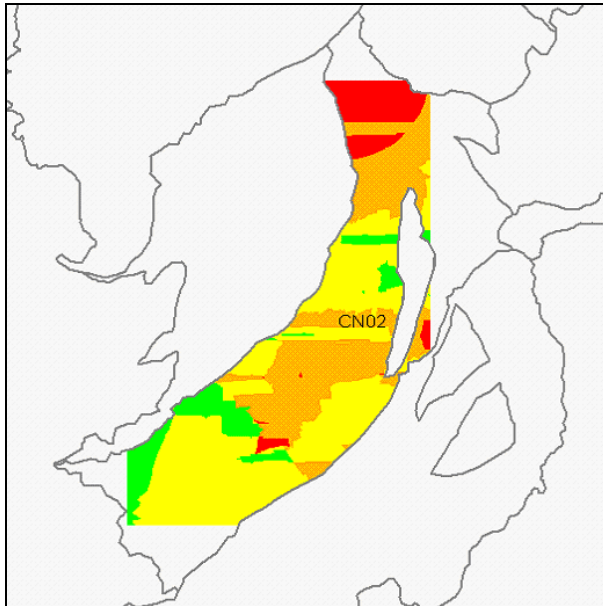


Figura 3-12 – Stato/Surplus

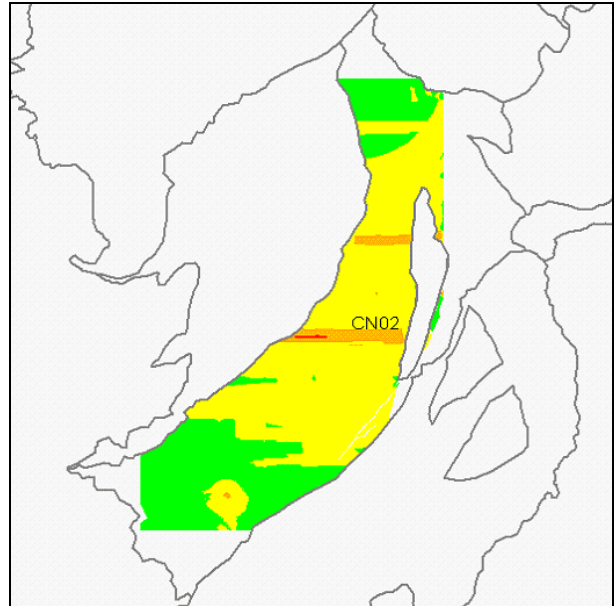


Figura 3-13 – Stato/IPDF

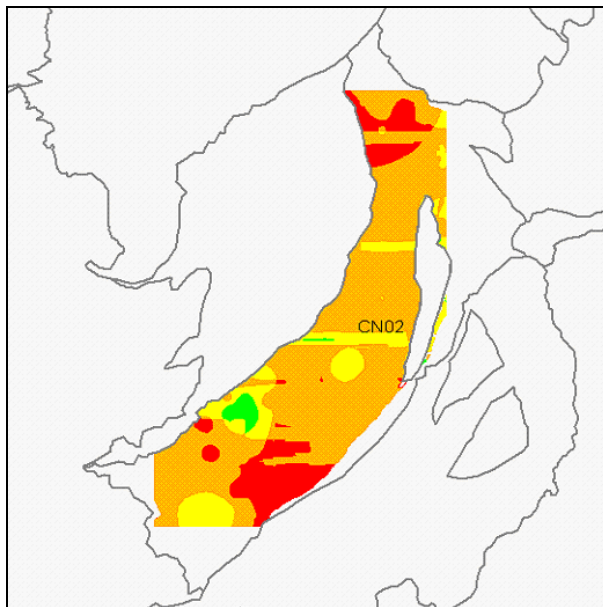


Figura 3-14 – Stato/TOT

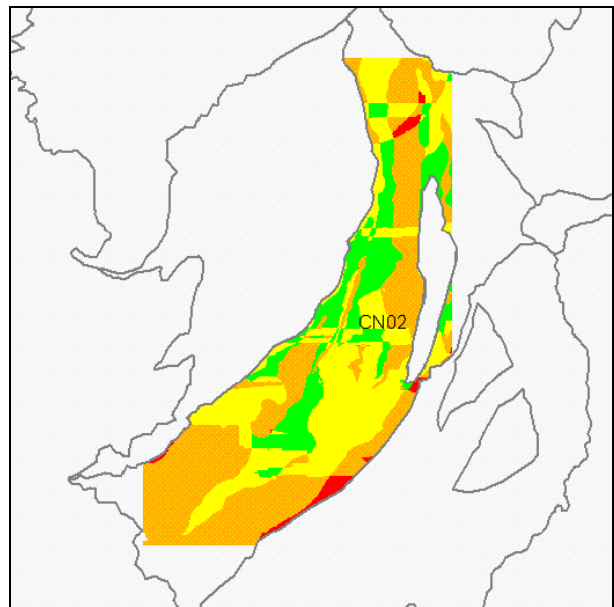
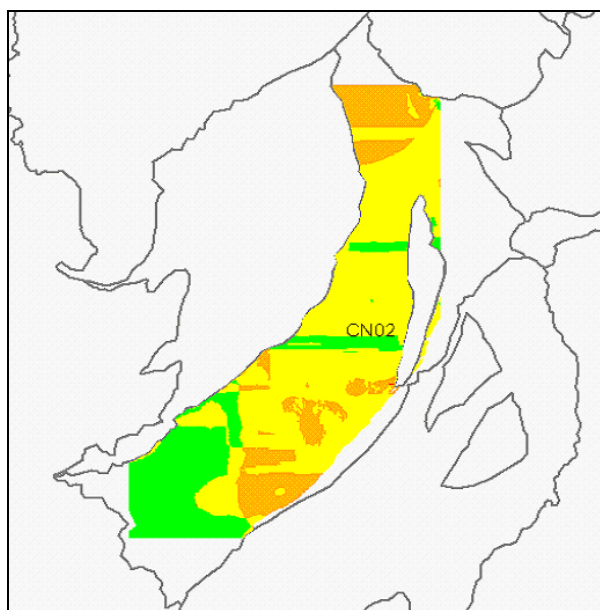


Figura 3-15 – Stato/Capacità protettiva



**Figura 3-16 – Stato/GOD**

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 4507    | 9,21   | 0     | 0,00   | 6832  | 14,87  | 1158            | 2,37   | 5     | 0,01   |
| -2     | 15363   | 31,39  | 25    | 0,05   | 31520 | 68,61  | 22038           | 45,05  | 8546  | 18,53  |
| -1     | 24039   | 49,12  | 1367  | 2,87   | 6705  | 14,59  | 16295           | 33,31  | 25997 | 56,37  |
| 0      | 5002    | 10,22  | 16295 | 34,21  | 880   | 1,92   | 8463            | 17,30  | 10625 | 23,04  |
| 1      | 29      | 0,06   | 28014 | 58,81  | 7     | 0,02   | 926             | 1,89   | 930   | 2,02   |
| 2      | 0       | 0,00   | 1875  | 3,94   | 0     | 0,00   | 36              | 0,07   | 16    | 0,03   |
| 3      | 0       | 0,00   | 61    | 0,13   | 0     | 0,00   | 5               | 0,01   | 0     | 0,00   |
| Totale | 48940   | 100,00 | 47637 | 100,00 | 45944 | 100,00 | 48921           | 100,00 | 46119 | 100,00 |

**Tabella 3-35 – Riepilogo valori di LC per CN02**

In quest'area l'Indice di Potenziale Diluizione della Falda (IPDF) tende ad avere un livello di concordanza molto alto con lo stato (il 93% delle celle che hanno valore zero o +1). Gli altri tematismi presentano valori di LC tendenti a valori negativi indicando così una tendenza alla sovrastima del rischio potenziale di vulnerazione.

In quest'area, benché in presenza di alti surplus di azoto, la potenziale diluizione della falda sembra giocare un ruolo molto importante nell'attenuazione del fenomeno.

3.4.2.2.3. NO01

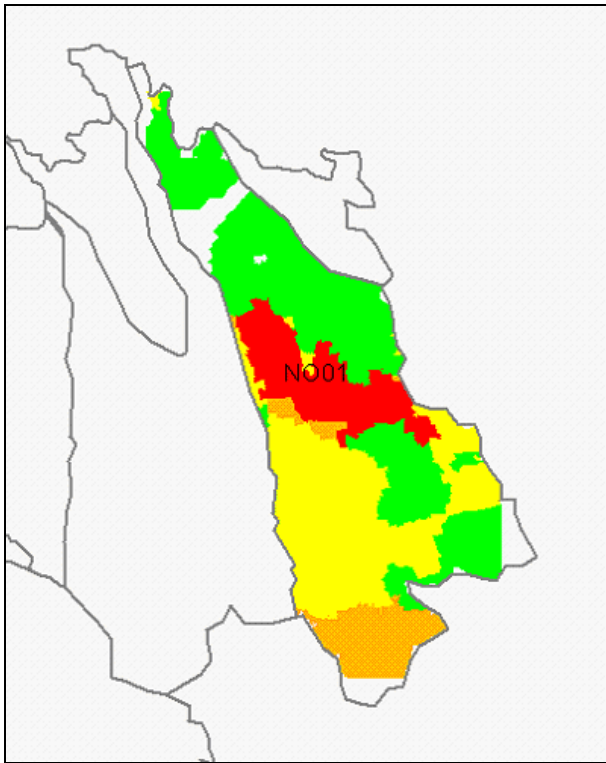


Figura 3-17 – Stato/Surplus

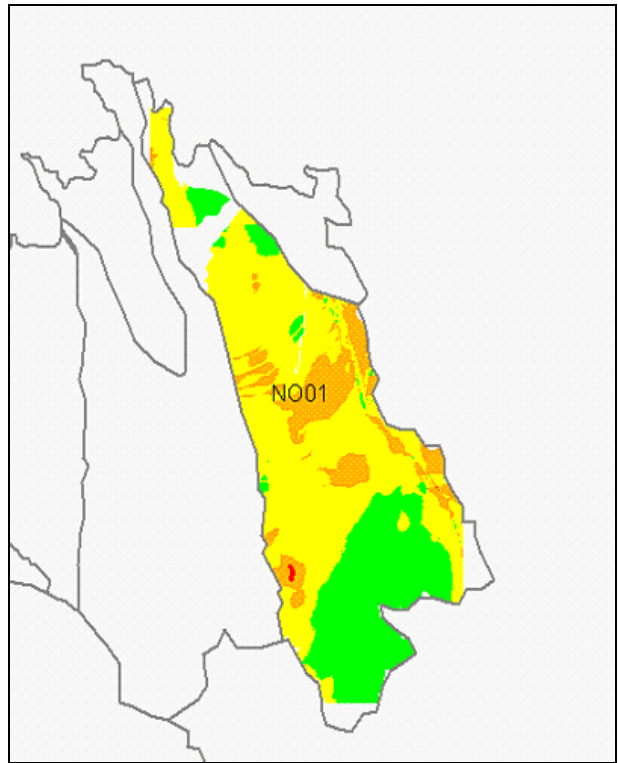


Figura 3-18 – Stato/IPDF

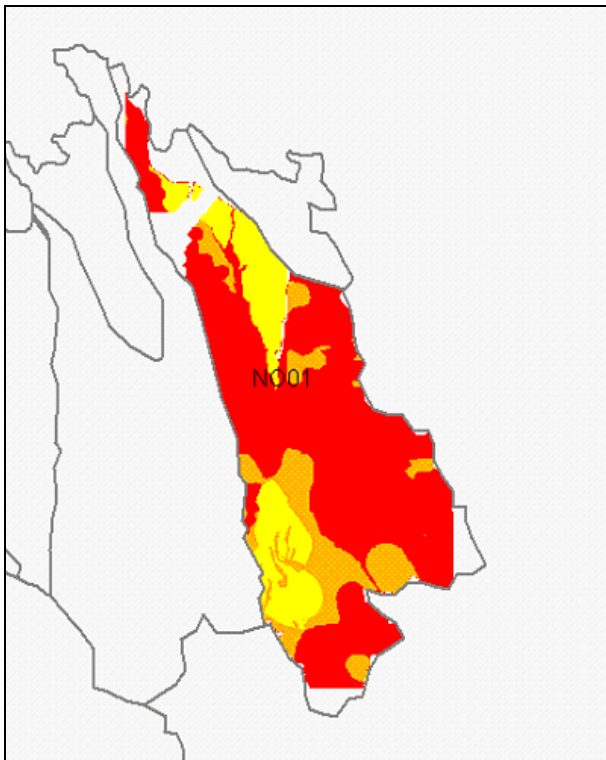


Figura 3-19 – Stato/TOT

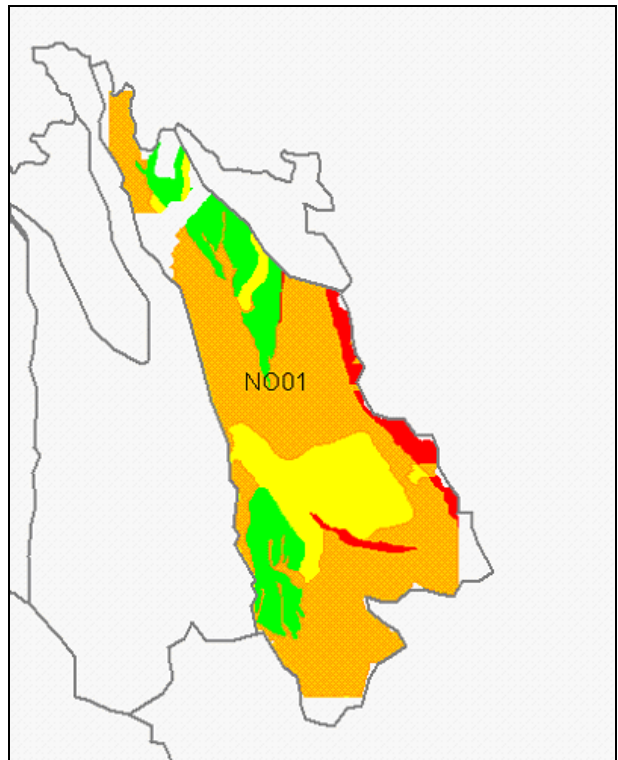


Figura 3-20 – Stato/Capacità protettiva

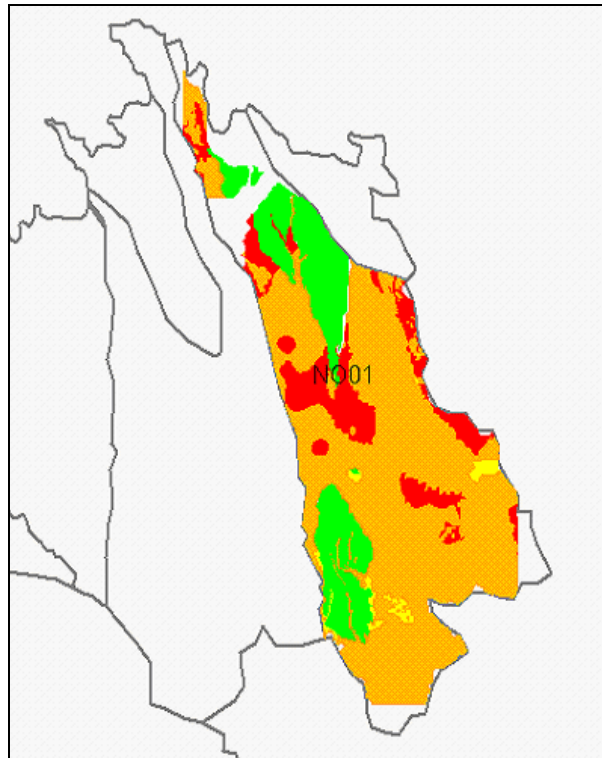


Figura 3-21 – Stato/GOD

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 6527    | 14,32  | 64    | 0,14   | 29125 | 66,04  | 2324            | 5,17   | 6079  | 13,76  |
| -2     | 4593    | 10,08  | 6269  | 14,00  | 7428  | 16,84  | 27513           | 61,16  | 29389 | 66,52  |
| -1     | 14974   | 32,85  | 25699 | 57,38  | 7548  | 17,11  | 8103            | 18,01  | 679   | 1,54   |
| 0      | 19445   | 42,66  | 12752 | 28,47  | 1     | 0,00   | 7043            | 15,66  | 8035  | 18,19  |
| 1      | 39      | 0,09   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| 2      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| 3      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| Totale | 45578   | 100,00 | 44784 | 100,00 | 44102 | 100,00 | 44983           | 100,00 | 44182 | 100,00 |

Tabella 3-36 – Riepilogo valori di LC per NO01

In quest'area si evidenziano valori di LC che indicano una tendenza alla sovrastima del rischio potenziale di vulnerazione per TOT, Capacità protettiva e GOD, mentre per il carico e l'IPDF il livello di concordanza risulta migliore (LC = 0 o LC = -1).



3.4.2.2.4. TO07

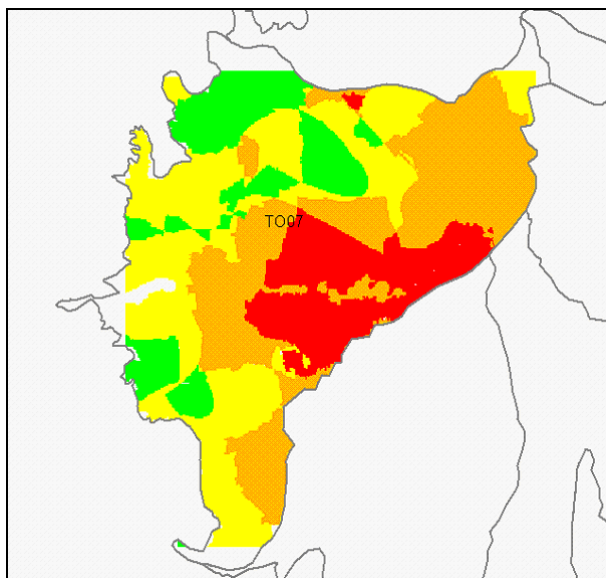


Figura 3-22 – Stato/Surplus

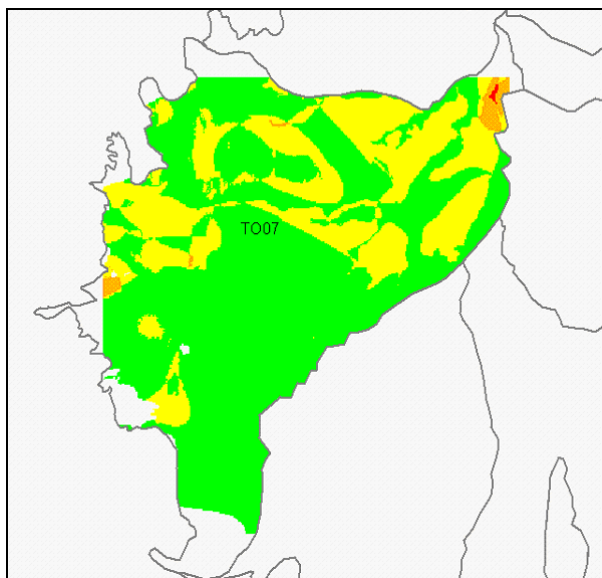


Figura 3-23 – Stato/IPDF

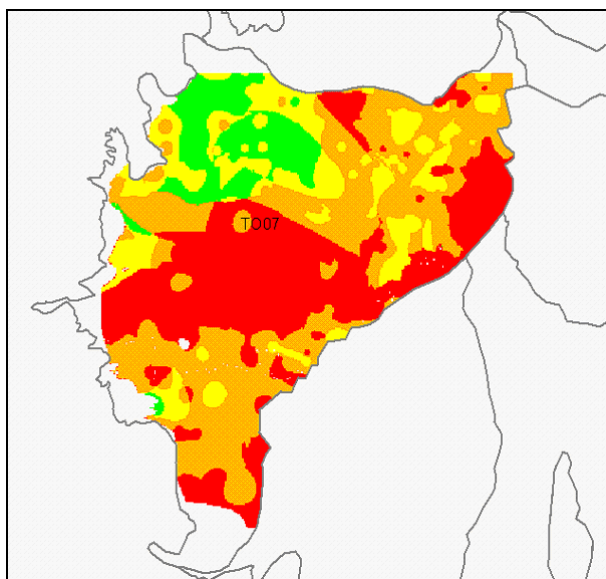


Figura 3-24 – Stato/TOT

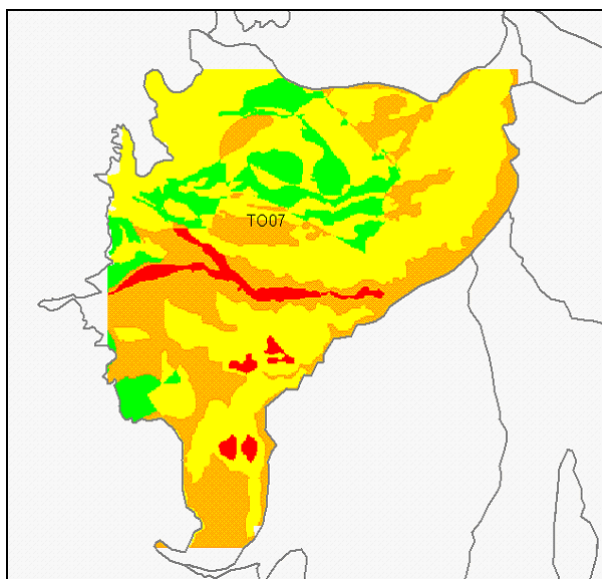
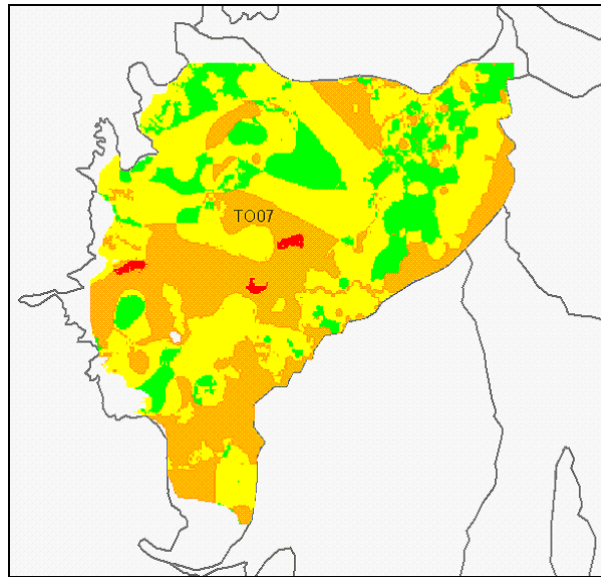


Figura 3-25 – Stato/Capacità protettiva





**Figura 3-26 – Stato/GOD**

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 10760   | 16,81  | 41    | 0,07   | 21578 | 35,73  | 2379            | 3,69   | 370   | 0,61   |
| -2     | 21110   | 32,99  | 707   | 1,15   | 22292 | 36,91  | 18772           | 29,09  | 19389 | 32,05  |
| -1     | 15905   | 24,85  | 11407 | 18,52  | 9894  | 16,38  | 30549           | 47,34  | 25150 | 41,58  |
| 0      | 10086   | 15,76  | 42652 | 69,25  | 6074  | 10,06  | 7873            | 12,20  | 10541 | 17,43  |
| 1      | 5758    | 9,00   | 6758  | 10,97  | 556   | 0,92   | 4320            | 6,69   | 4291  | 7,09   |
| 2      | 375     | 0,59   | 24    | 0,04   | 0     | 0,00   | 637             | 0,99   | 750   | 1,24   |
| 3      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| Totale | 63994   | 100,00 | 61589 | 100,00 | 60394 | 100,00 | 64530           | 100,00 | 60491 | 100,00 |

**Tabella 3-37 – Riepilogo valori di LC per T007**

In quest'area si evidenzia una notevole concordanza tra IPDF e stato, con quasi il 70% delle celle presenta valori di LC per l'IPDF = 0. Gli altri tematismi tendono in generale a sovrastimare il potenziale rischio di vulnerazione; questa sovrastima è particolarmente evidente per il TOT.

3.4.2.2.5. VC01

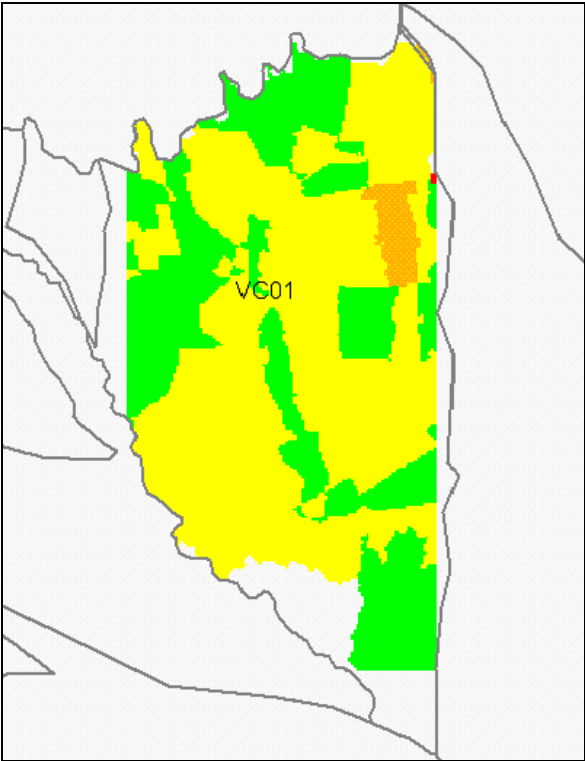


Figura 3-27 – Stato/Surplus

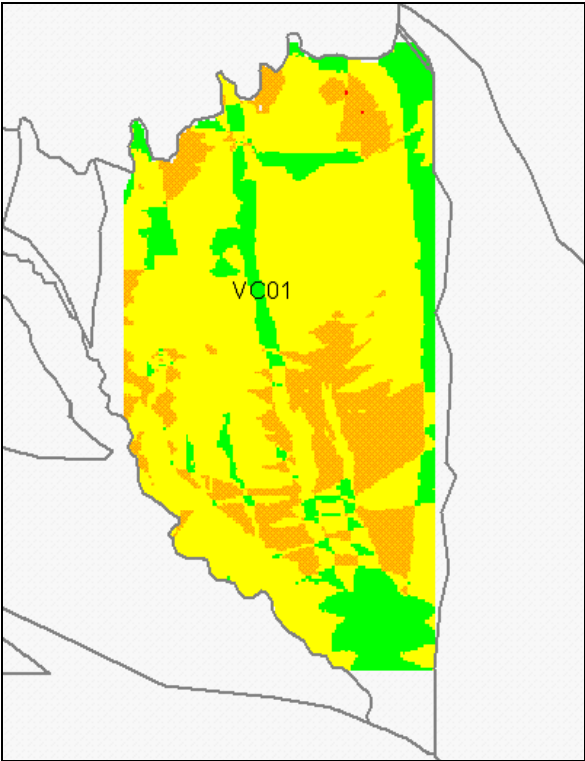


Figura 3-28 – Stato/IPDF

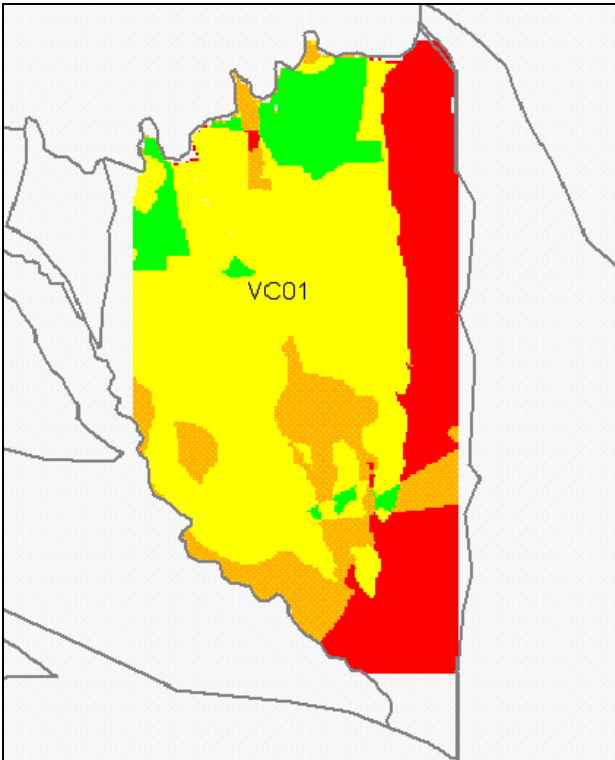


Figura 3-29 – Stato/TOT

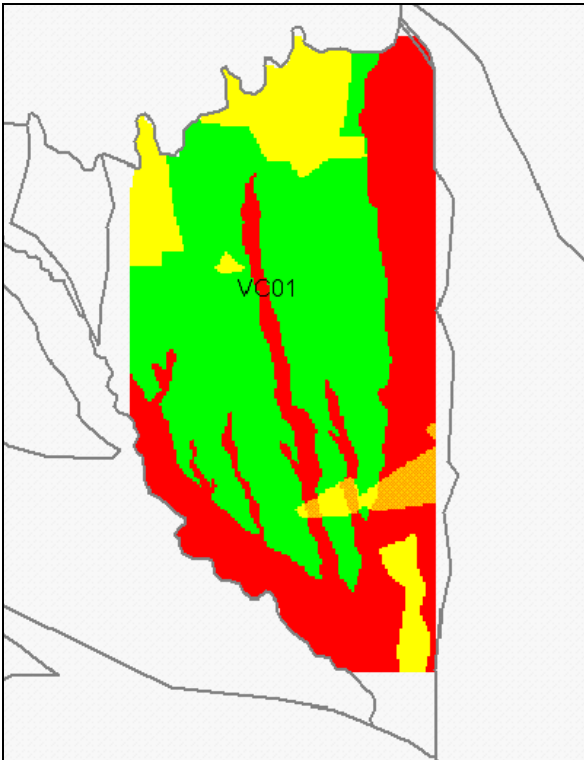


Figura 3-30 – Stato/Capacità protettiva

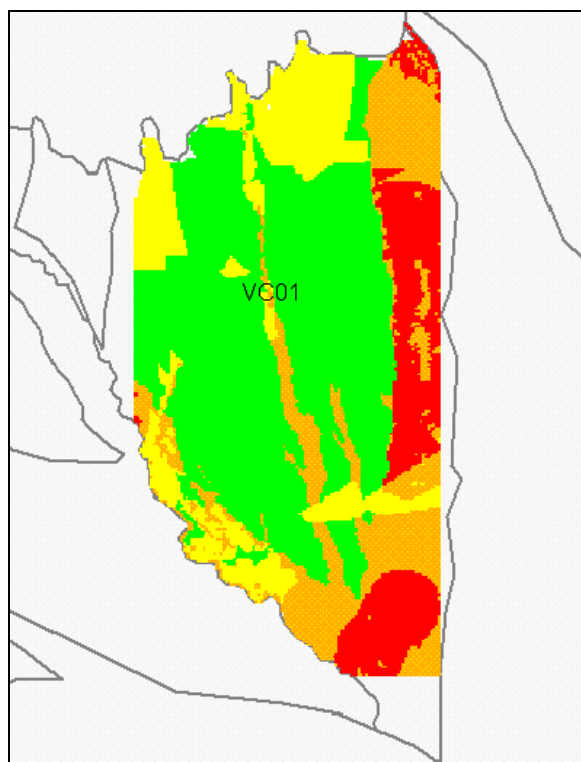


Figura 3-31 – Stato/GOD

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 11      | 0,05   | 3     | 0,01   | 5922  | 24,45  | 9024            | 37,04  | 3320  | 13,68  |
| -2     | 619     | 2,68   | 4743  | 19,50  | 3524  | 14,55  | 497             | 2,04   | 4762  | 19,62  |
| -1     | 13673   | 59,18  | 15464 | 63,57  | 12569 | 51,90  | 562             | 2,31   | 1664  | 6,86   |
| 0      | 7890    | 34,15  | 4098  | 16,85  | 2203  | 9,10   | 11480           | 47,12  | 11930 | 49,16  |
| 1      | 911     | 3,94   | 18    | 0,07   | 0     | 0,00   | 2802            | 11,50  | 2590  | 10,67  |
| 2      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| 3      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| Totale | 23104   | 100,00 | 24326 | 100,00 | 24218 | 100,00 | 24365           | 100,00 | 24266 | 100,00 |

Tabella 3-38 – Riepilogo valori di LC per VC01

L'Indice di Potenziale Diluizione (IPDF) e in particolare il Surplus, mostrano un buon livello di concordanza con lo stato, anche se con una leggera sovrastima del potenziale rischio di vulnerazione (la classe di LC più rappresentata ha valore -1).

Per quanto riguarda gli altri tematismi, i cartogrammi individuano un'area dove il pericolo di potenziale vulnerazione, non è confermato dai dati di stato.

3.4.2.2.6. VC02

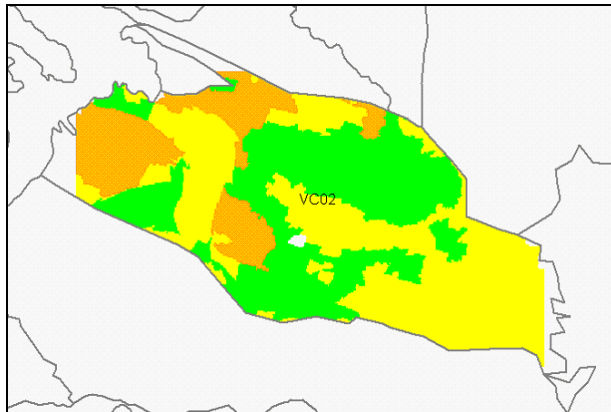


Figura 3-32 – Stato/Surplus

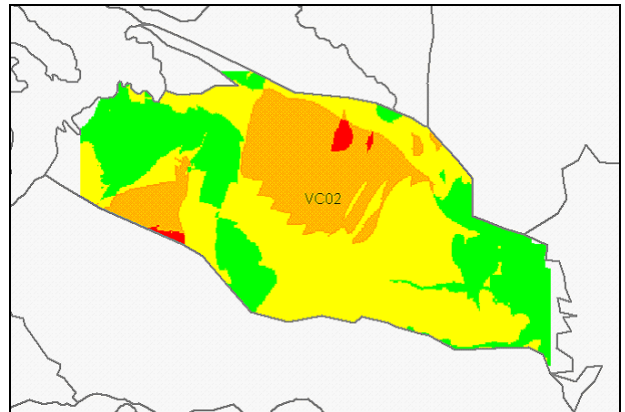


Figura 3-33 – Stato/IPDF

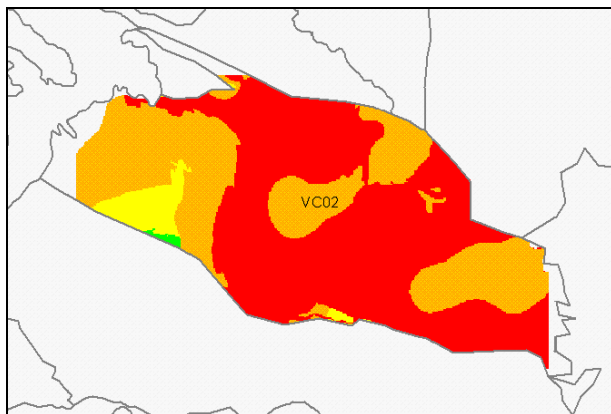


Figura 3-34 – Stato/TOT

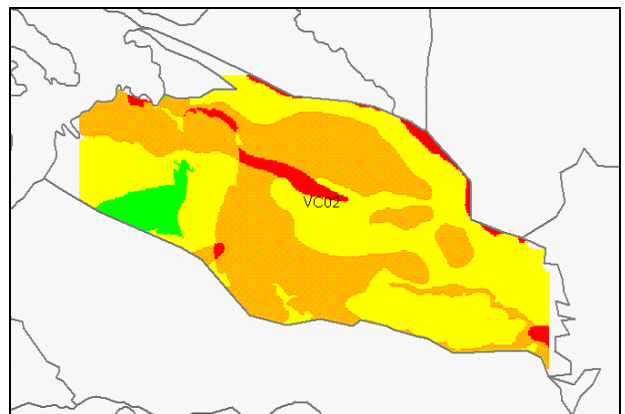


Figura 3-35 – Stato/Capacità protettiva

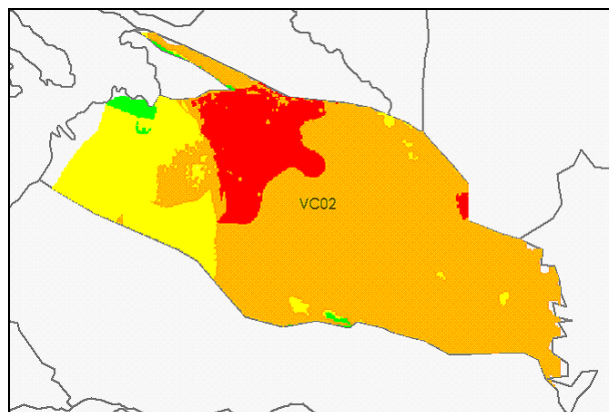


Figura 3-36 – Stato/GOD

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 0       | 0,00   | 350   | 0,70   | 29070 | 58,35  | 2253            | 4,47   | 6569  | 12,74  |
| -2     | 8983    | 17,86  | 9594  | 19,07  | 18435 | 37,00  | 21754           | 43,19  | 35248 | 68,36  |
| -1     | 21986   | 43,71  | 20781 | 41,30  | 2164  | 4,34   | 23743           | 47,14  | 9048  | 17,55  |
| 0      | 19020   | 37,82  | 14639 | 29,10  | 153   | 0,31   | 1967            | 3,91   | 603   | 1,17   |
| 1      | 305     | 0,61   | 2933  | 5,83   | 0     | 0,00   | 649             | 1,29   | 91    | 0,18   |
| 2      | 0       | 0,00   | 1862  | 3,70   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| 3      | 0       | 0,00   | 153   | 0,30   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| Totale | 50294   | 100,00 | 50312 | 100,00 | 49822 | 100,00 | 50366           | 100,00 | 51559 | 100,00 |

**Tabella 3-39 – Riepilogo valori di LC per VC02**

In quest'area si evidenziano, per il Surplus, valori di LC compresi tra -1 e 0 per più del 80% delle celle; si sottolinea anche una buona corrispondenza tra IPDF e il Livello di vulnerazione (valori di LC compresi tra -1 e 0 per il 70% delle celle).

Invece TOT, GOD, e Capacità protettiva sovrastimano fortemente il potenziale rischio di vulnerazione (le classi più rappresentate sono quelle con valori di LC= -3 o -2).

3.4.2.2.7. VC03

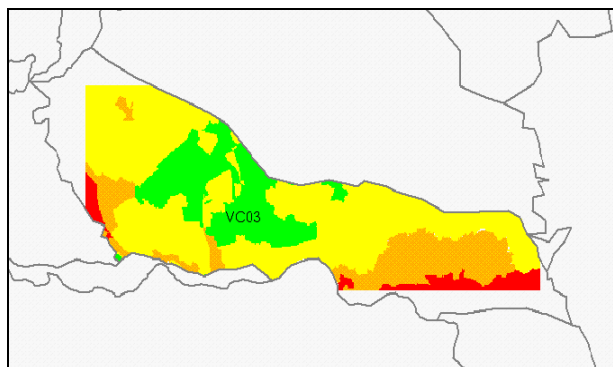


Figura 3-37 – Stato/Surplus

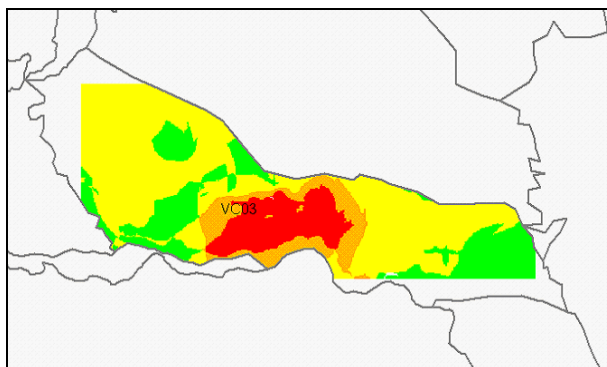


Figura 3-38 – Stato/IPDF

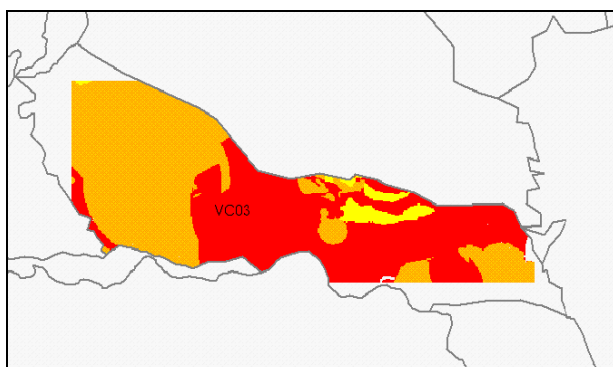


Figura 3-39 – Stato/TOT

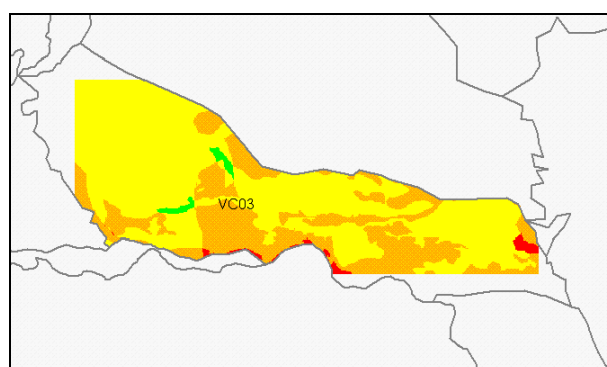


Figura 3-40 – Stato/Capacità protettiva

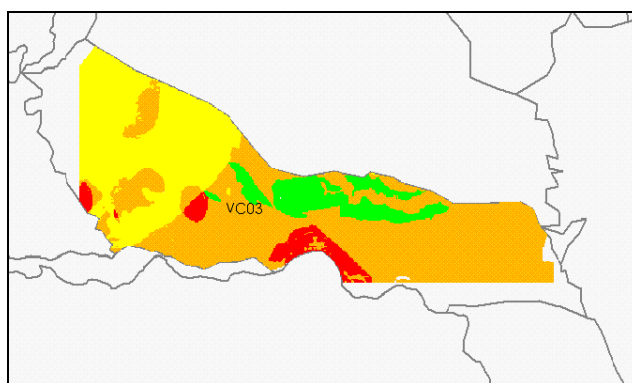


Figura 3-41 – Stato/GOD

| LC     | Surplus |        | IPDF  |        | TOT   |        | Cap. Protettiva |        | GOD   |        |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------------|--------|-------|--------|
|        | Valore  | COUNT  | %     | COUNT  | %     | COUNT  | %               | COUNT  | %     | COUNT  |
| -3     | 1909    | 5,01   | 4634  | 12,14  | 18097 | 47,62  | 547             | 1,43   | 1900  | 4,91   |
| -2     | 6860    | 17,99  | 3799  | 9,96   | 18545 | 48,79  | 11616           | 30,42  | 20939 | 54,06  |
| -1     | 21707   | 56,93  | 9980  | 26,15  | 1364  | 3,59   | 25662           | 67,20  | 12008 | 31,00  |
| 0      | 7441    | 19,51  | 8383  | 21,97  | 0     | 0,00   | 364             | 0,95   | 3568  | 9,21   |
| 1      | 214     | 0,56   | 11365 | 29,78  | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 317   | 0,82   |
| 2      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| 3      | 0       | 0,00   | 0     | 0,00   | 0     | 0,00   | 0               | 0,00   | 0     | 0,00   |
| Totale | 38131   | 100,00 | 38161 | 100,00 | 38006 | 100,00 | 38189           | 100,00 | 38732 | 100,00 |

**Tabella 3-40 – Riepilogo valori di LC per VC03**

Nel complesso dell'area, IPDF e Surplus presentano più del 75% delle celle con valore di LC compreso tra +1 e -1, mentre TOT, Capacità protettiva e GOD tendono alla sovrastima del potenziale rischio di vulnerazione.

Le maggiori discordanze per l'IPDF si presentano in una porzione centrale dell'area dove si manifesta una situazione geologico-strutturale diversa che si riflette anche sugli aspetti idrogeologici (circolazioni e caratteristiche idrochimiche della falda diverse).

### 3.4.3. Valutazione dei livelli di concordanza (LC) a scala regionale

Nella figura 3-42 è rappresentata, per ogni valore di LC, la relativa percentuale di celle per i temi di base e le tre varianti di IPV considerate.

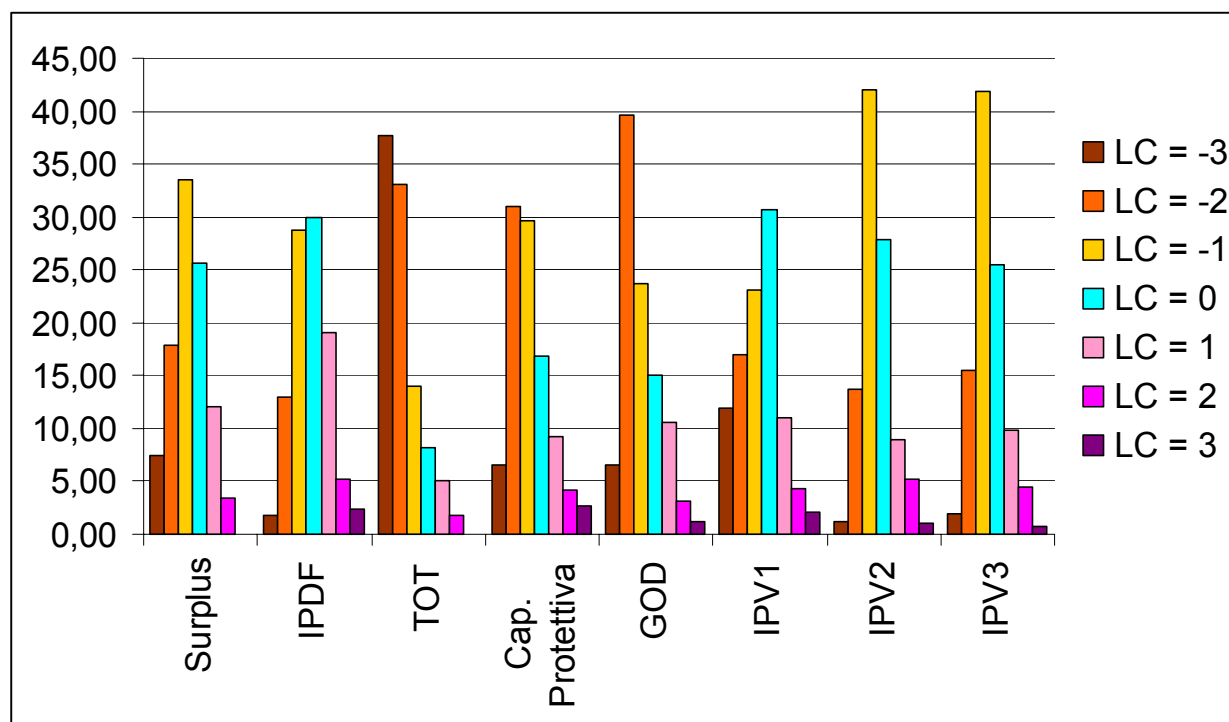


Figura 3-42 – Riepilogo valori in percentuale del LC

Valori di LC tendenti a -3 indicano una sovrastima del pericolo cioè stato misurato migliore dell'atteso, mentre valori di LC tendenti a +3 indicano una sottostima del pericolo cioè stato misurato peggiore dell'atteso.

In generale tutti i temi di base sembrano tendere ad una generale sovrastima del pericolo potenziale di vulnerazione da nitrati (in modo particolare ed in ordine decrescente TOT, GOD e Capacità protettiva). Più concordanti con lo stato, tra i temi di base, risultano IPDF e Surplus di azoto.

L'indice di pericolo potenziale di vulnerazione IPV, nelle sue tre varianti proposte, anche se calcolato senza la pesatura dei singoli fattori considerati, evidenzia in genere un livello di concordanza migliore rispetto ai temi di base; si rileva in particolare una minimizzazione dei valori di LC sulle code (+2, -2 e +3, -3) e quindi con un maggior numero di celle con valori di LC compresi tra -1 e +1.

La distribuzione del valore di LC a scala territoriale evidenzia una situazione particolare per l'alessandrino, dove si rilevano valori di LC tendenti ad una sottostima del pericolo



potenziale di vulnerazione da nitrati (stato peggiore dell'atteso) rispetto ad una tendenza alla sovrastima del pericolo per il restante territorio regionale.

Allo stato attuale non è possibile individuare con certezza i fattori che concorrono a determinare questa situazione particolare. Tuttavia si può ipotizzare come elemento significativo un surplus di azoto di origine minerale prevalente rispetto a quello di origine organica e una valutazione non esaustiva dei fattori idrodinamici (es. tempo di rinnovamento della falda) nel calcolo dell'Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF).

Una situazione analoga con una probabile sottostima del pericolo potenziale di vulnerazione potrebbe essere evidenziata anche per l'altopiano di Poirino, dove pur in assenza di dati di LC a causa della non applicabilità dell'analisi geostatistica per l'area considerata, è evidente una generale vulnerazione della falda.

### 3.4.4 Confronto stato con il SINTACS

Il SINTACS è un indice che valuta la vulnerabilità intrinseca dei corpi idrici sotterranei ed è calcolato in funzione di sette parametri (ANPA, 2001):

- Soggiacenza
- Infiltrazione efficace
- Non – saturo (effetto di autodepurazione del)
- Tipologia della copertura
- Acquifero (caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero)
- Conducibilità idraulica dell'acquifero
- Superficie topografica (acclività della)

Il risultato della combinazione di questi 7 parametri è un punteggio grezzo che va da 26 a 260; questo intervallo di valori dell'indice è suddiviso in 6 categorie di vulnerabilità intrinseca (EE = Estremamente elevata, E = Elevata, A = Alta, M = Media, B = Bassa, BB = Bassissima).

Per quanto riguarda la regione Piemonte è disponibile la spazializzazione del SINTACS solo per l'astigiano (fondovalle Tanaro), l'alessandrino e parte del cuneese (dati tratti da "Bacino del fiume Tanaro: studio sui potenziali rischi dovuti all'alluvione del novembre 1994 e realizzazione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee nonché identificazione dei siti potenzialmente pericolosi e valutazione della vulnerabilità della falda", 2000).

Pur non disponendo di una copertura di questo indice a scala regionale è stato ritenuto utile calcolare comunque il Livello di Concordanza (LC) dello stato con il SINTACS per le aree nelle quali erano disponibili i dati.

Il procedimento seguito è quello adottato per gli altri tematismi analizzati.

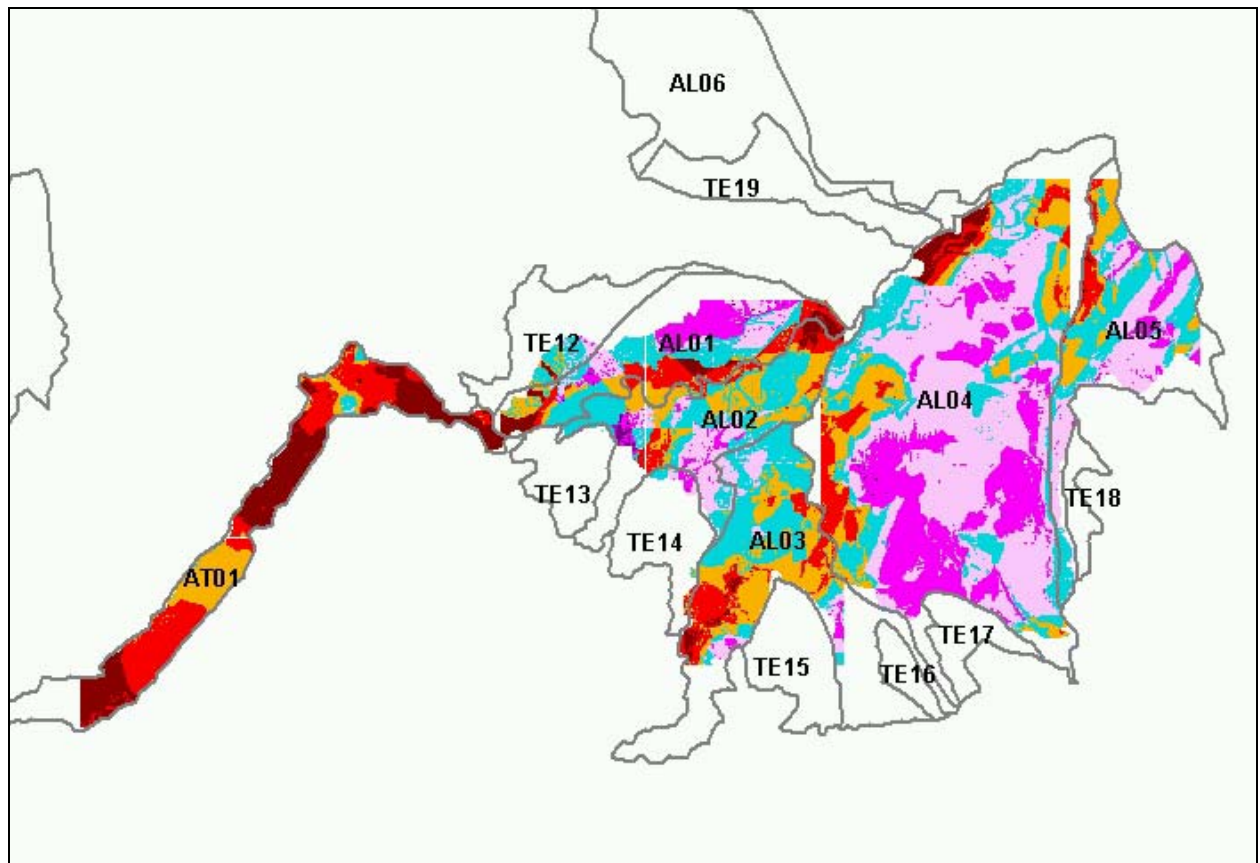
Per uniformare l'indice alla categorizzazione degli altri temi ed effettuare il confronto con lo stato, è stato effettuato un raggruppamento delle 6 classi del SINTACS in quattro classi, accorpando le classi EE ed E, e le classi B e BB (tabella 3-41).

| Categorie originali SINTACS | Classe/Valore di pericolo |
|-----------------------------|---------------------------|
| EE - E                      | A (4)                     |
| A                           | MA (3)                    |
| M                           | MB (2)                    |
| B - BB                      | B (1)                     |

**Tabella 3-41 – Assegnazione delle classi/valori di pericolo alle categorie originali del SINTACS**

Nella valutazione dell'LC bisogna tenere conto dell'area ridotta su cui è stato possibile effettuare il confronto con lo stato e che per il fondovalle Tanaro (AT01) e parte dell'alessandrino (MS11) la spazializzazione dei dati di stato è sperimentale come già evidenziato in precedenza.

Si ritiene quindi che i risultati del Livello di Concordanza tra la spazializzazione dei dati di stato e il SINTACS (figura 3-43) siano da valutare con cautela.



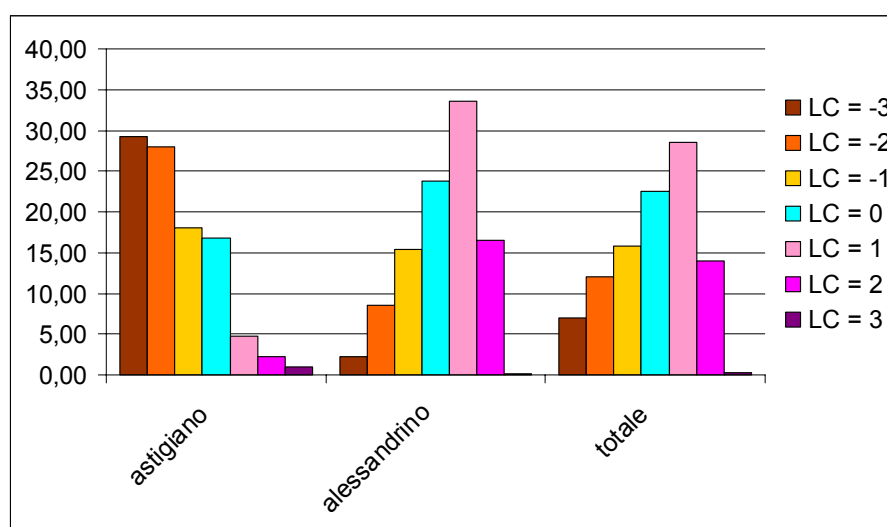
**Figura 3-43 – Cartogramma relativo al livello di concordanza (LC) tra stato e SINTACS**

Nella tabella 3-42 è riportato il riepilogo dei valori del Livello di Concordanza (numero e percentuale di celle per ogni valore di LC) per l'area considerata con il dettaglio per l'astigiano (AT01), l'alessandrino (MS11, AL04, AL05).

Nella figura 3-44 è riportato graficamente il riepilogo dei valori percentuali del Livello di Concordanza.

| LC     | Astigiano |        | Alessandrino |        | Totale |       |
|--------|-----------|--------|--------------|--------|--------|-------|
| VALORE | COUNT     | %      | COUNT        | %      | COUNT  | %     |
| -3     | 4684      | 29,23  | 1697         | 2,25   | 6381   | 6,98  |
| -2     | 4493      | 28,04  | 6450         | 8,55   | 10943  | 11,97 |
| -1     | 2901      | 18,10  | 11573        | 15,35  | 14474  | 15,83 |
| 0      | 2687      | 16,77  | 17904        | 23,74  | 20591  | 22,52 |
| 1      | 755       | 4,71   | 25309        | 33,57  | 26064  | 28,51 |
| 2      | 358       | 2,23   | 12417        | 16,47  | 12775  | 13,97 |
| 3      | 147       | 0,92   | 52           | 0,07   | 199    | 0,22  |
|        | 16025     | 100,00 | 75402        | 100,00 | 91427  | 100   |

**Tabella 3-42 – Livello di concordanza (LC) tra stato e SINTACS**



**Figura 3-44 – Riepilogo valori in percentuale del LC (Stato – SINTACS)**

Dai valori di LC si evince come, per l'area alessandrina, il SINTACS tenda ad una generale sottostima del pericolo potenziale di vulnerazione da nitrati rispetto allo stato misurato.

Per quanto riguarda l'astigiano invece il SINTACS evidenzia una sovrastima del pericolo di vulnerazione (rispetto allo stato misurato).

Queste tendenze risultano coerenti con i Livelli di Concordanza ottenuti per gli altri indici e temi di base considerati nello studio.

#### **4. CONCLUSIONI**

L'attività ARPA nell'ambito del progetto prevedeva lo sviluppo di tre attività principali:

- Acquisizione dei dati ambientali
- Spazializzazione dei dati territoriali e loro rielaborazione
- Individuazione e valutazione di modelli di simulazione ad indici qualitativi.

Un aspetto strategico del lavoro, indispensabile anche per la taratura del modello di simulazione, è stata la spazializzazione dei dati di stato.

La spazializzazione dei dati relativi alla concentrazione di nitrati nella falda superficiale è stata quindi valutata in modo approfondito con la sperimentazione di metodi geostatistici e con valutazioni di tipo statistico classico che hanno consentito di ottenere una rappresentazione dello stato con un dettaglio maggiore in alcune aree idrogeologiche rispetto a quella ottenuta con le medie areali.

Un esempio può essere rappresentato dalle aree VC02 e VC03 dove è stata evidenziata una porzione a maggiore contaminazione di nitrati nella parte ovest di entrambe le aree.

E' stato inoltre possibile individuare alcune criticità relative a singoli pozzi riconducibili ad anomalie di origine puntuale o a situazioni specifiche e localizzate.

Nello studio è stato stabilito di non forzare l'analisi geostatistica e la relativa spazializzazione per le aree o macroaree che presentavano un numero limitato di punti di campionamento (es. area TO09) o per quelle nelle quali l'analisi di cross-validation evidenziava errori eccessivi (es. area CN03).

Un modello ad indici qualitativi, qui proposto in via sperimentale, che opera attraverso un sistema di valutazione integrata su base geografica dei dati di carico e di attenuazione, può rappresentare un valido contributo volto alla conoscenza delle problematiche connesse alla definizione delle aree vulnerabili dai nitrati.

Nella proposta del modello ad indici qualitativi sono stati considerati solo i fattori per i quali era già disponibile, o ottenibile con la elaborazione di dati disponibili, una copertura territoriale e una spazializzazione a scala regionale.

L'indice sintetico ottenuto (IPV), che può rappresentare il pericolo potenziale di vulnerazione della falda derivato dalla valutazione integrata, è stato verificato mediante il confronto con i dati di stato riferiti ai nitrati delle acque sotterranee.

Lo studio si è proposto di valorizzare prioritariamente la metodologia e la verifica della applicabilità a scala regionale piuttosto che individuare un algoritmo definito con la pesatura dei singoli fattori considerati.

I risultati dell'applicazione del modello sono quindi da considerare in questa ottica e non come rappresentazione consolidata dei fenomeni considerati.

La metodologia proposta prevede inizialmente la selezione dei temi di interesse che siano in grado di rappresentare in modo adeguato sia il carico che l'attenuazione.

Tra i fattori di attenuazione è stato ritenuto di sviluppare un Indice di Potenziale Diluizione della Falda superficiale (IPDF), che ha consentito di valutare, anche se in via sperimentale la potenziale diluizione del nitrato in falda.

La metodologia proposta prevede l'elaborazione in ambiente GIS dei temi selezionati mediante la trasformazione in raster (grid), con l'utilizzo di celle elementari delle dimensioni di 100 metri e posizione sovrapponibile.

Ciò ha permesso una valutazione sinergica dei tematismi ottenendo un indice integrato, definito Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV) che può rappresentare il pericolo di contaminazione da nitrati delle acque sotterranee.

Al fine di verificare la coerenza del pericolo potenziale di vulnerazione della falda, calcolato con il modello proposto, i dati di spazializzazione della concentrazione dei nitrati sono stati trasformati in raster aventi le caratteristiche indicate in precedenza.

E' stato così possibile confrontare per ogni cella elementare dell'area considerata, lo stato con l'IPV, nelle sue varie varianti, e i singoli temi di base, ottenendo così il Livello di Concordanza (LC).

Il Livello di Concordanza (LC) permette di valutare, anche su base territoriale, quanto lo stato misurato delle acque sotterranee concorda sia con l'indice IPV che con i singoli temi di base, evidenziando anche la sovrastima o la sottostima del fenomeno.

L'evoluzione futura del lavoro svolto può prevedere uno sviluppo del modello proposto con uno studio sulla incidenza dei vari fattori considerati, la definizione dei pesi, l'analisi di eventuali autocorrelazioni tra i fattori e la proposta di un algoritmo che tenga conto di questi nuovi elementi.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (1996): *Acque sotterranee- Elementi di idrogeologia per la tutela delle risorse idriche*, Firenze.
- ANPA (2001): *Linee-guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*, Roma.
- ARPA Piemonte (2003): *Attività ARPA per la predisposizione del Piano di Tutela delle acque (D.Lgs. 152/99) Regione Piemonte – Direzione Regionale Pianificazione delle Risorse Idriche*.
- Bove A., Casaccio D., Destefanis E., De Luca D.A., Lasagna M., Masciocco L., Ossella L., Tonussi M. (2004): *Studio idrogeologico finalizzato alla caratterizzazione dell'acquifero superficiale nel territorio di pianura della Regione Piemonte*, Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Torino.
- De Luca D.A., Bortolami G., Masciocco L., Destefanis E., Morelli A., Ossella L., Siri L. (2002): *Identificazione del modello idrogeologico concettuale degli acquiferi di pianura e loro caratterizzazione: 1) ricostruzione della base dell'acquifero superficiale nei territori della pianura alessandrina e del settore sud occidentale della pianura cuneese; 2) identificazione della base dell'acquifero libero nelle province di Asti, Biella, Cuneo (area nord-orientale), Novara e Vercelli*. Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino e la Regione Piemonte – Direzione Regionale Pianificazione delle Risorse Idriche.
- IPLA: Carta della Capacità Protettiva dei suoli del Piemonte, scala 1:250.000
- (a cura di) Martinelli A. e Stranieri P. (2003): *Sistemi agricoli e inquinamento da nitrati, Atti del Convegno Internazionale*, Perugia.
- Regione Piemonte (2004): *Piano di tutela delle acque (D.Lgs. 152/99) Regione Piemonte – Direzione Regionale Pianificazione delle Risorse Idriche*.
- Sacco, D., Bassanino, M., Grignani, C. (2001): *Costituzione di un sistema informativo territoriale agronomico per la determinazione del bilancio dell'azoto a livello particellare – Atti del convegno SIA: "Strategie agronomiche al servizio della moderna agricoltura"*, Pisa.