



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

PREMESSA	7
Acquisizione dei dati ambientali.....	7
Spazializzazione dei dati territoriali e loro rielaborazione.....	7
Individuazione e valutazione di modelli di simulazione ad indici qualitativi	8
1. ACQUISIZIONE DEI DATI AMBIENTALI	9
1.1. Dati di stato e cartografie relative alle acque superficiali e sotterranee ...	9
1.1.1. Acque superficiali	9
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
1.1.2. Acque sotterranee.....	13
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
1.2. Dati idrogeologici.....	16
1.3. Dati pedologici.....	20
1.4. Dati agronomici	20
1.5. Dati cartografici di base.....	20
2. SPAZIALIZZAZIONE DEI DATI TERRITORIALI E LORO RIELABORAZIONE ...	21
2.1. Spazializzazione dei dati di stato	21
2.1.1. Costruzione della base dati alfanumerica.....	21
2.1.1.1. <i>Ricerca dei valori estremi.....</i>	22
2.1.2. Analisi geostatistica	23
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
2.2.	Trasformazione dei dati cartografici vettoriali in formato raster (grid)	74
2.2.1.	<i>Definizione di una unità cartografica minima comune</i>	74
2.2.2.	<i>Trasformazione dei dati in raster (grid).....</i>	74
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

3. INDIVIDUAZIONE E VALUTAZIONE DI MODELLI DI SIMULAZIONE AD INDICI QUALITATIVI.....	83
3.1. Elenco dei dati cartografici disponibili.....	84
3.2 Definizione IPV	87
3.2.1. Selezione dei temi	88
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
3.2.2. Trasformazione dei dati originali in raster (grid).....	91
3.2.3. Categorizzazione dei temi	91
3.2.3.1 <i>Assegnazione delle classi.....</i>	91
3.2.4. Indice di Pericolo potenziale di Vulnerazione (IPV)	94
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
3.3. Definizione dell'indice di stato per i nitrati	106
3.3.1. Integrazione spazializzazione	106
3.3.2. Trasformazione dei dati in raster.....	106
3.3.3. Categorizzazione del tema	106
3.4. Confronto tra lo stato riferito ai nitrati e i vari indici/indicatori.....	108
3.4.1. Confronto IPV con lo stato a scala Regionale	110
3.4.2. Confronto stato con i temi di base	111
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
3.4.3. Valutazione dei livelli di concordanza (LC) a scala regionale.....	128
3.4.4 Confronto stato con il SINTACS	130
4. CONCLUSIONI	133
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	135

ALLEGATO: Cartografie tematiche

Carta	Descrizione
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.

NOME CAMPO	DESCRIZIONE PARAMETRO	UNITA' DI MISURA
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.

NOME CAMPO	DESCRIZIONE PARAMETRO	UNITA' DI MISURA
CODICE_REG	CODICE PUNTO	
DATA	DATA PRELIEVO	
SOGGIACE	SOGGIACENZA	m
NITRATI	NITRATI	mg/L NO ₃
ORTOFOSF	ORTOFOSFATI	mg/L PO ₄
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.

CODICE	DESCRIZIONE
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

CODICE	DENOMINAZIONE
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: 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		
Outlier il valore 61.667	Outlier il valore 147.7	Outliers i valori (approssimati) 35, 35 e 50

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.

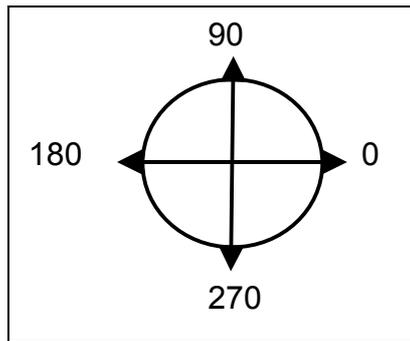


Figura 2-1 – Angoli di direzione dei variogrammi

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 λ_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.

	Concentrazione di nitrati
	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

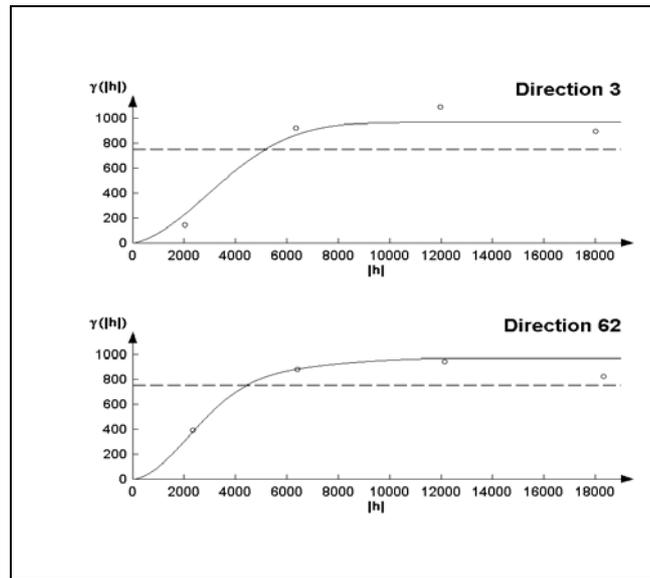


Figura 2-3 – Variogramma

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.

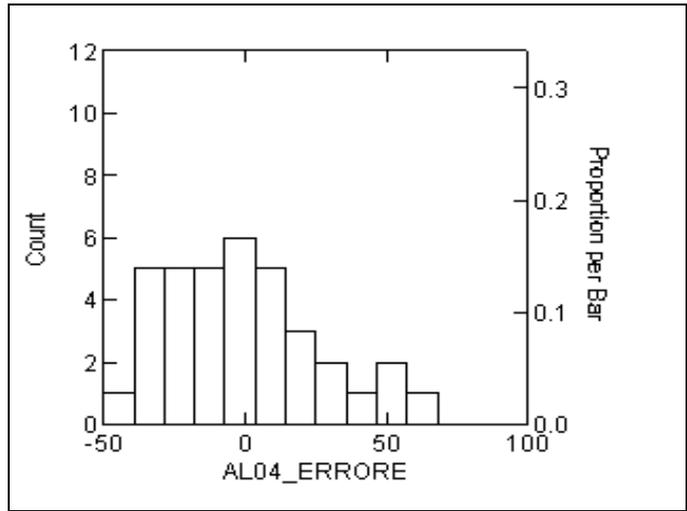


Figura 2-4 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

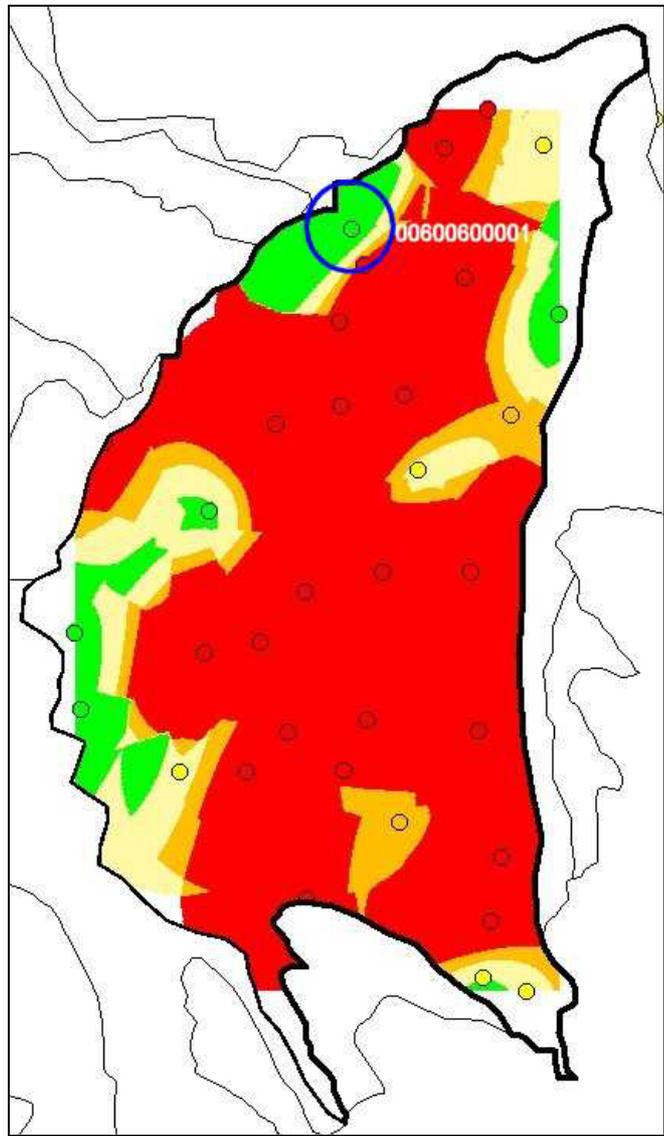


Figura 2-5 – Cartogramma

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 NH₄). 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.

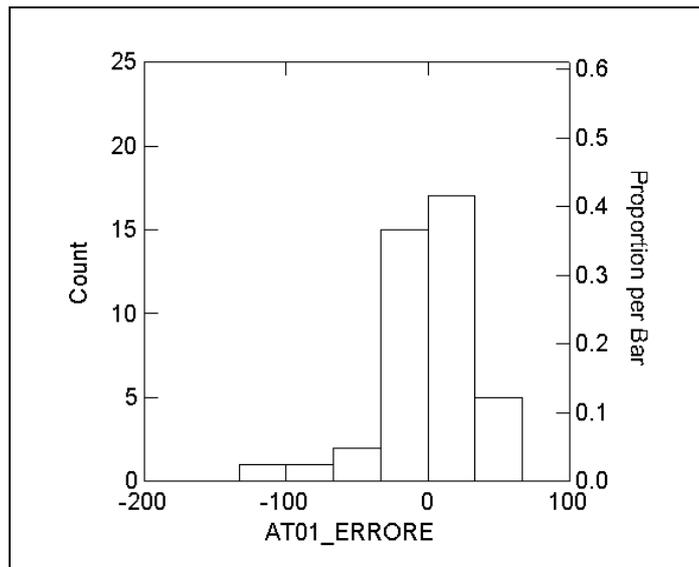


Figura 2-6 – Istogramma scostamenti

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

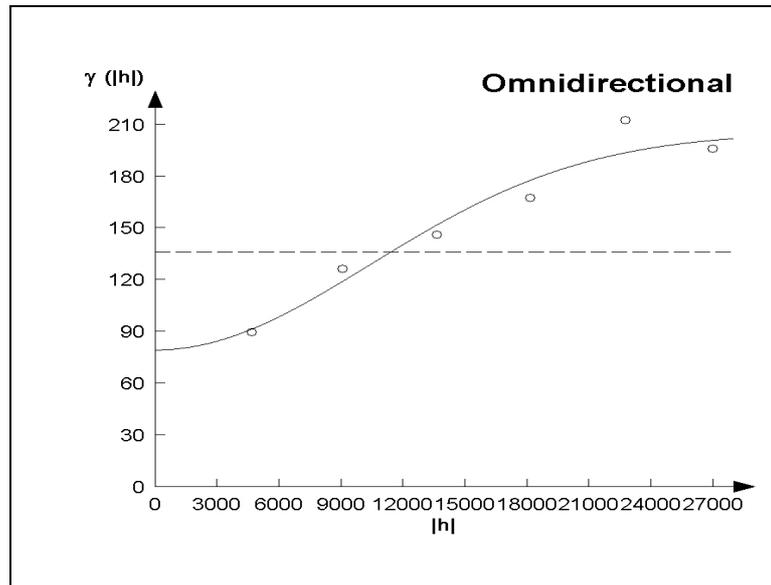


Figura 2-7 – Variogramma

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.

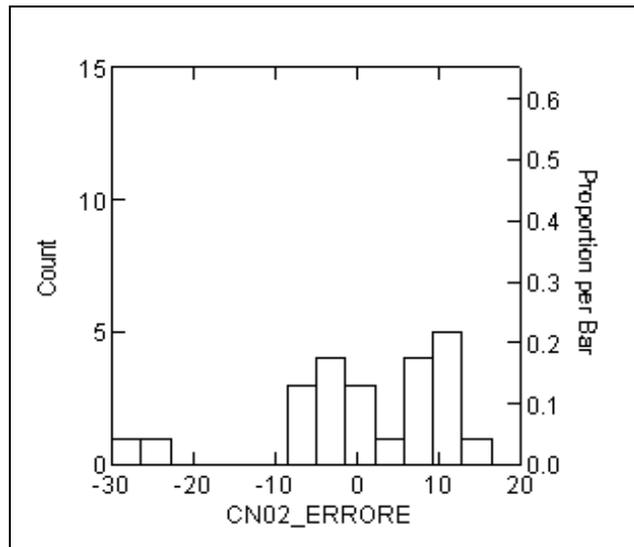


Figura 2-8 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

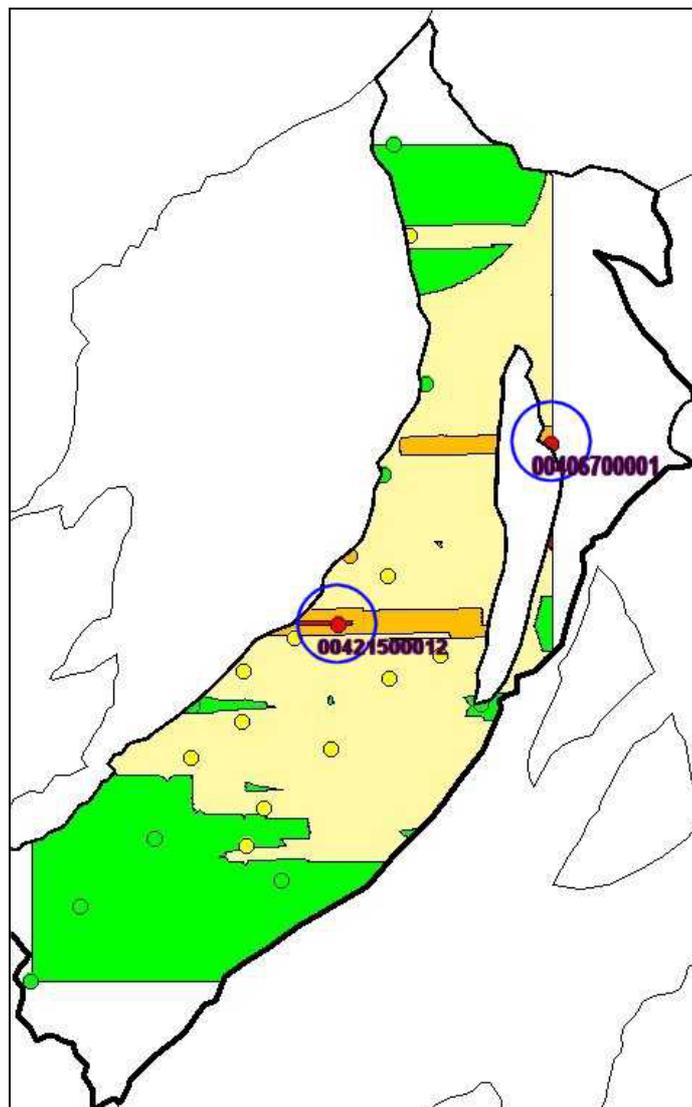


Figura 2-9 – Cartogramma

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

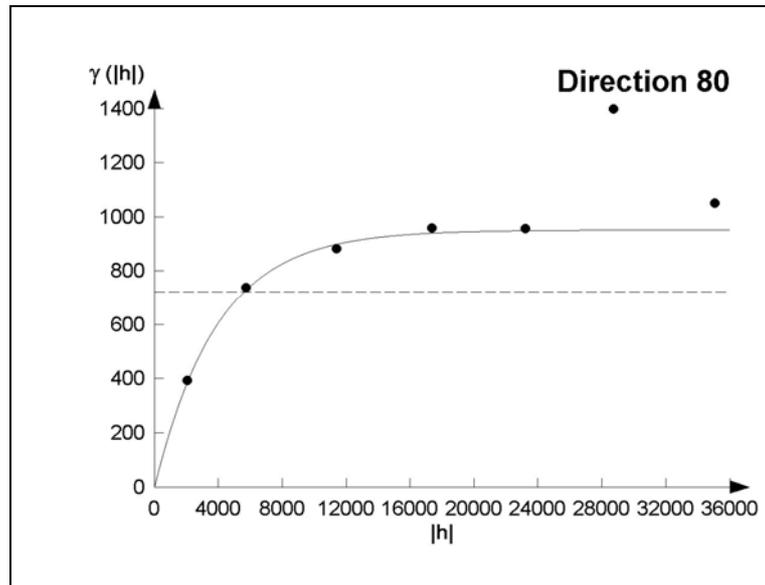


Figura 2-10 – Variogramma

Modello

Gamma(h): $715.351 \text{ Exp.}12257 (h) + 238.053 \text{ Exp.}11040 (h)$

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 $[-60 \div 65]$.

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

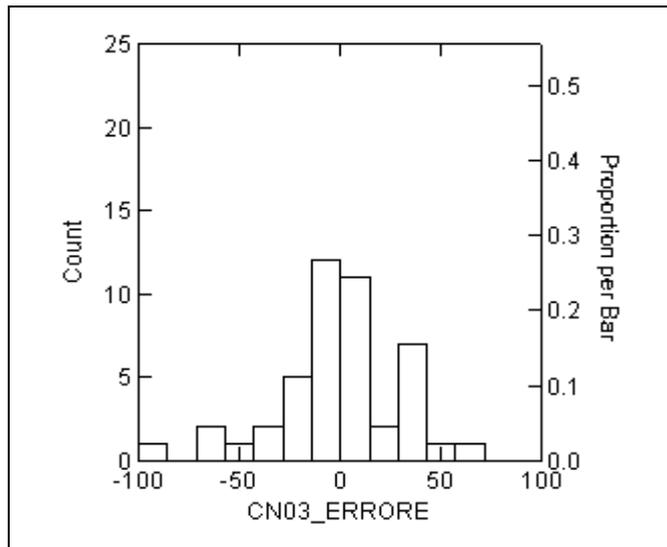


Figura 2-11 – Istogramma scostamenti

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

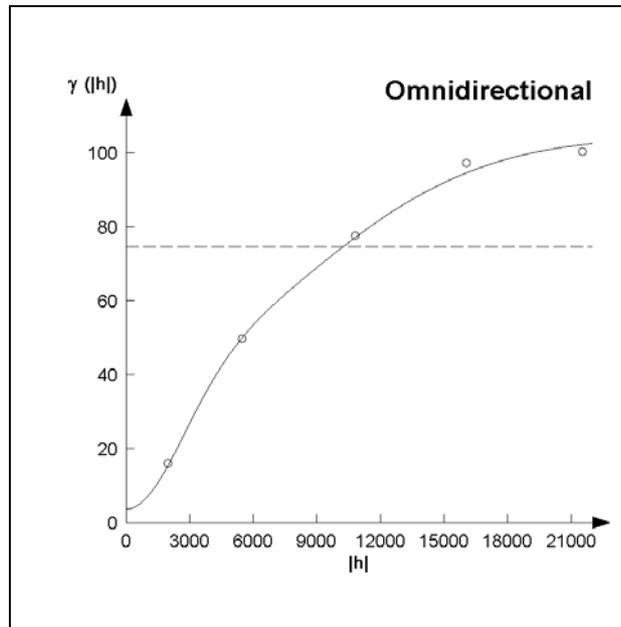


Figura 2-12 – Variogramma

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

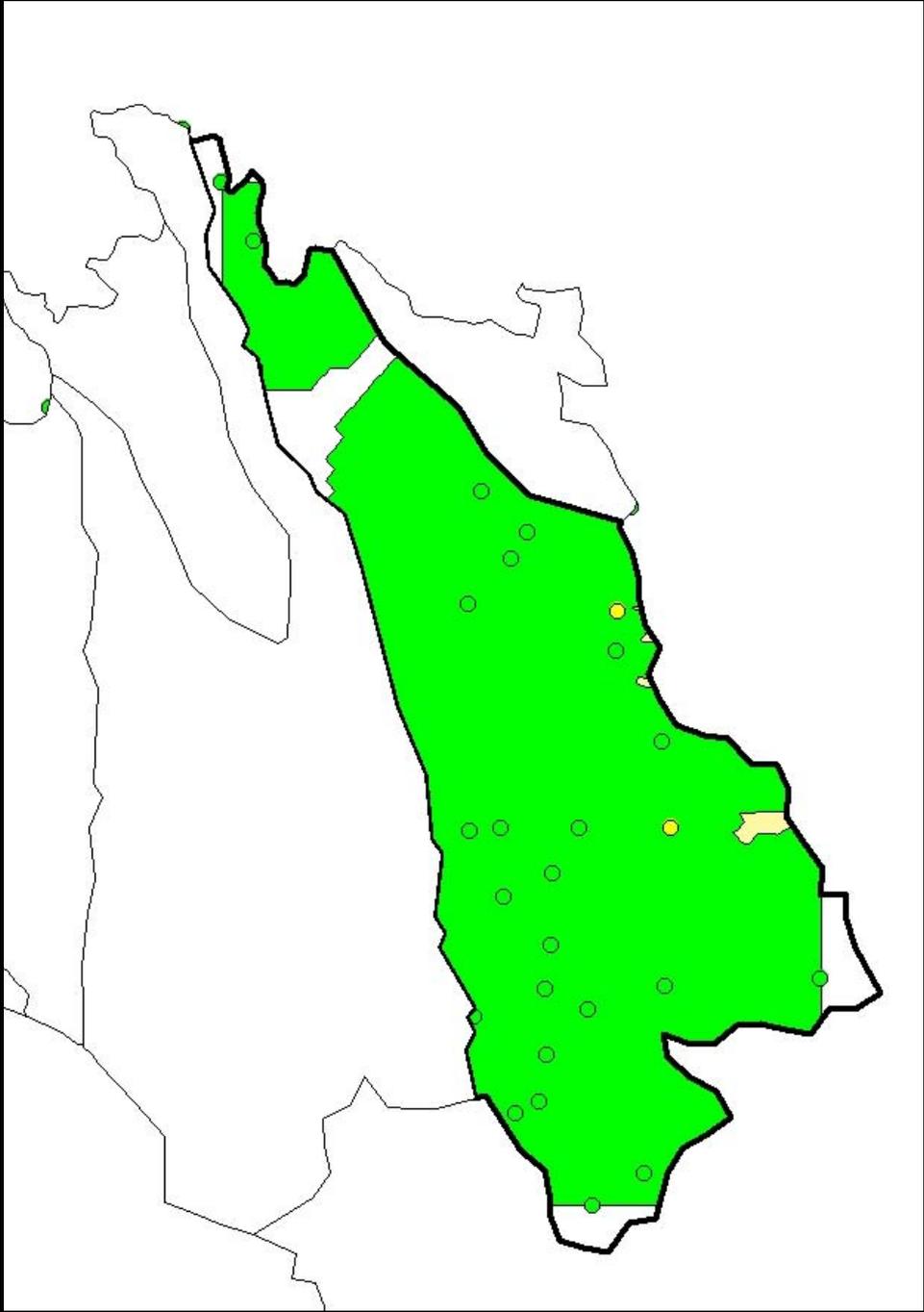


Figura 2-13 – Cartogramma

2.1.2.2.6. Area idrogeologica TO07

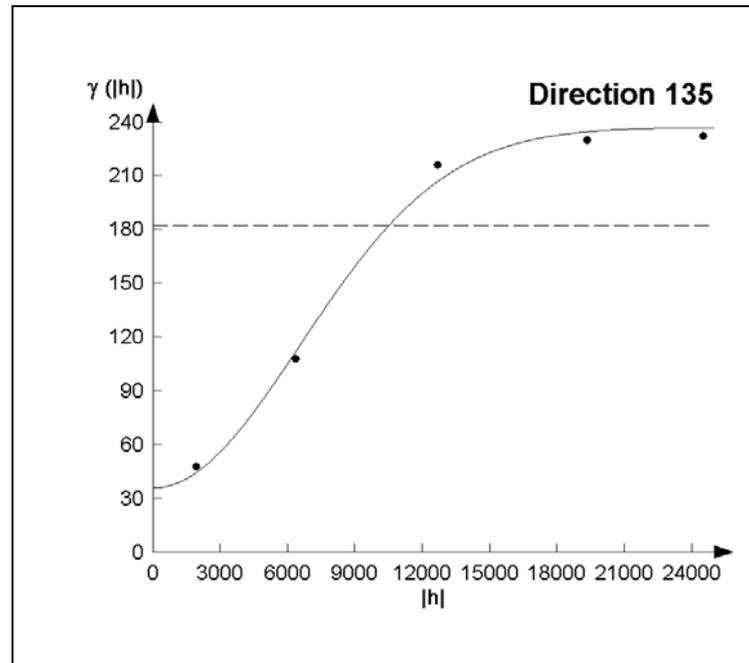


Figura 2-14 – Variogramma

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

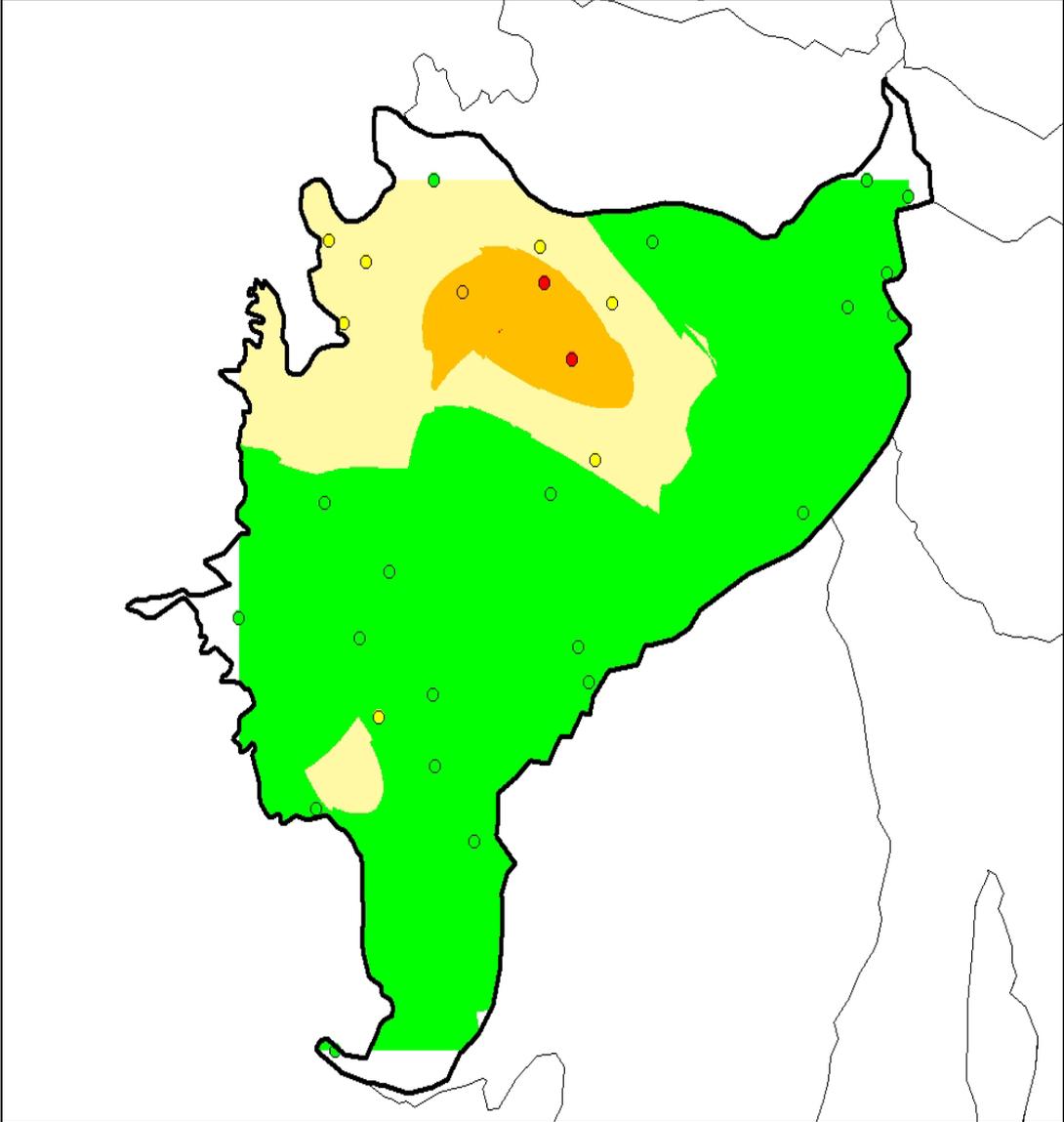


Figura 2-15 – Cartogramma

2.1.2.2.6. Area idrogeologica VC01

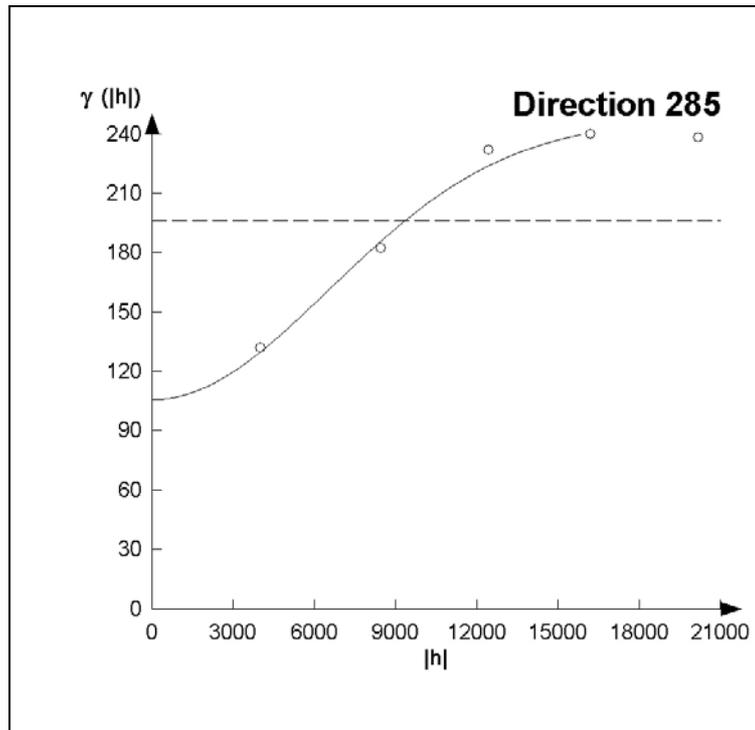


Figura 2-16 – Variogramma

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.

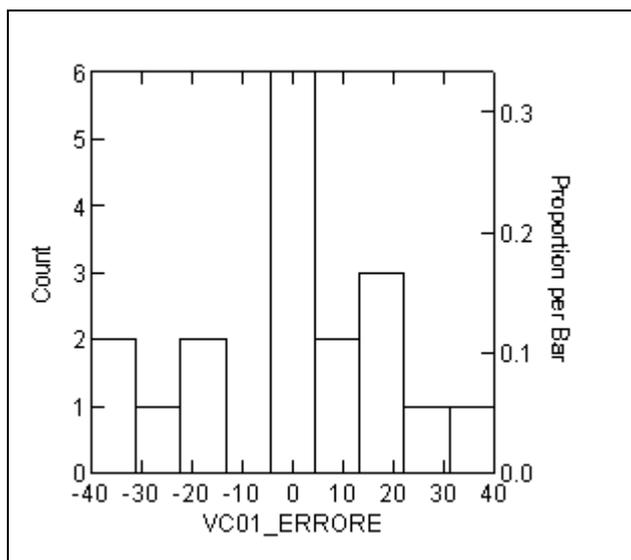


Figura 2-17 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

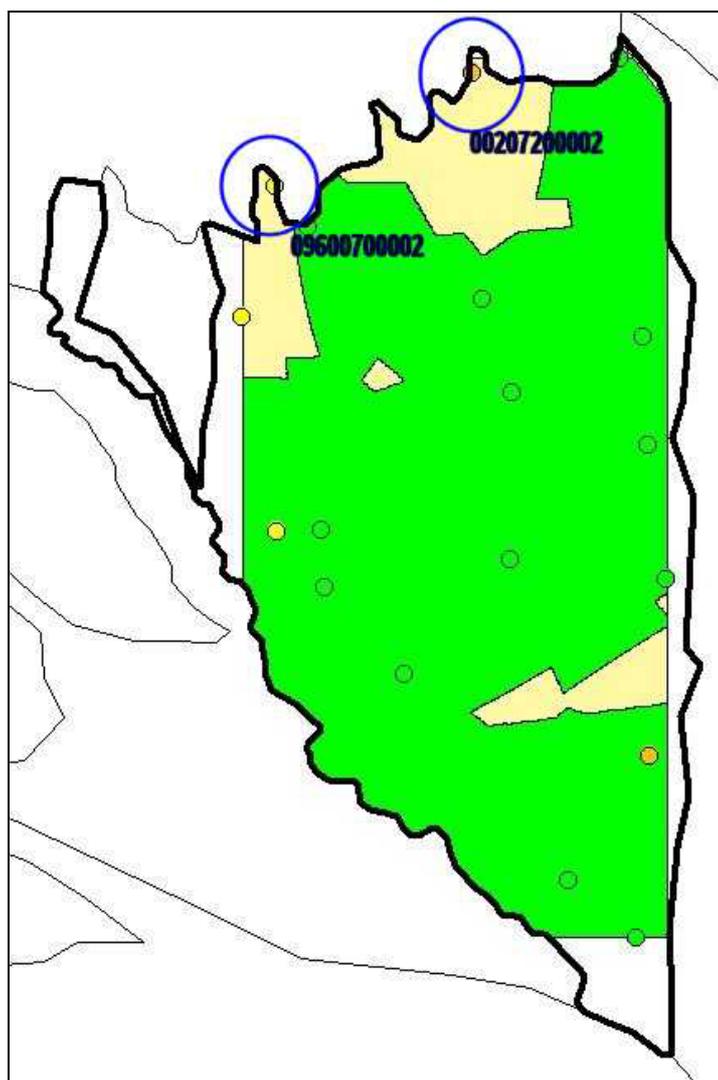


Figura 2-18 – Cartogramma

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

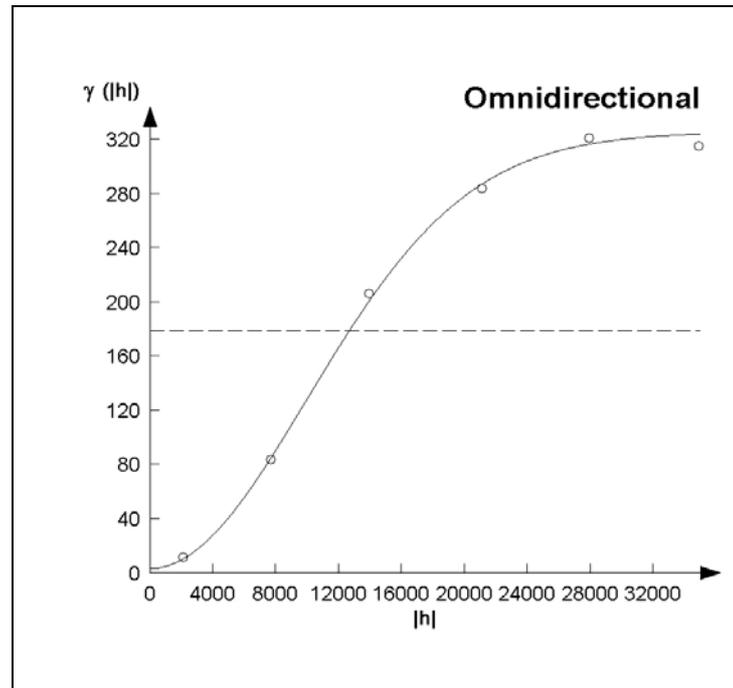


Figura 2-19 – Variogramma

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.

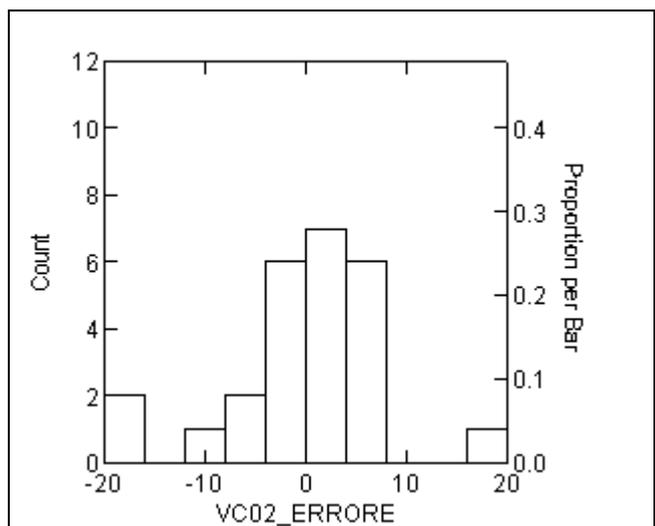


Figura 2-20 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

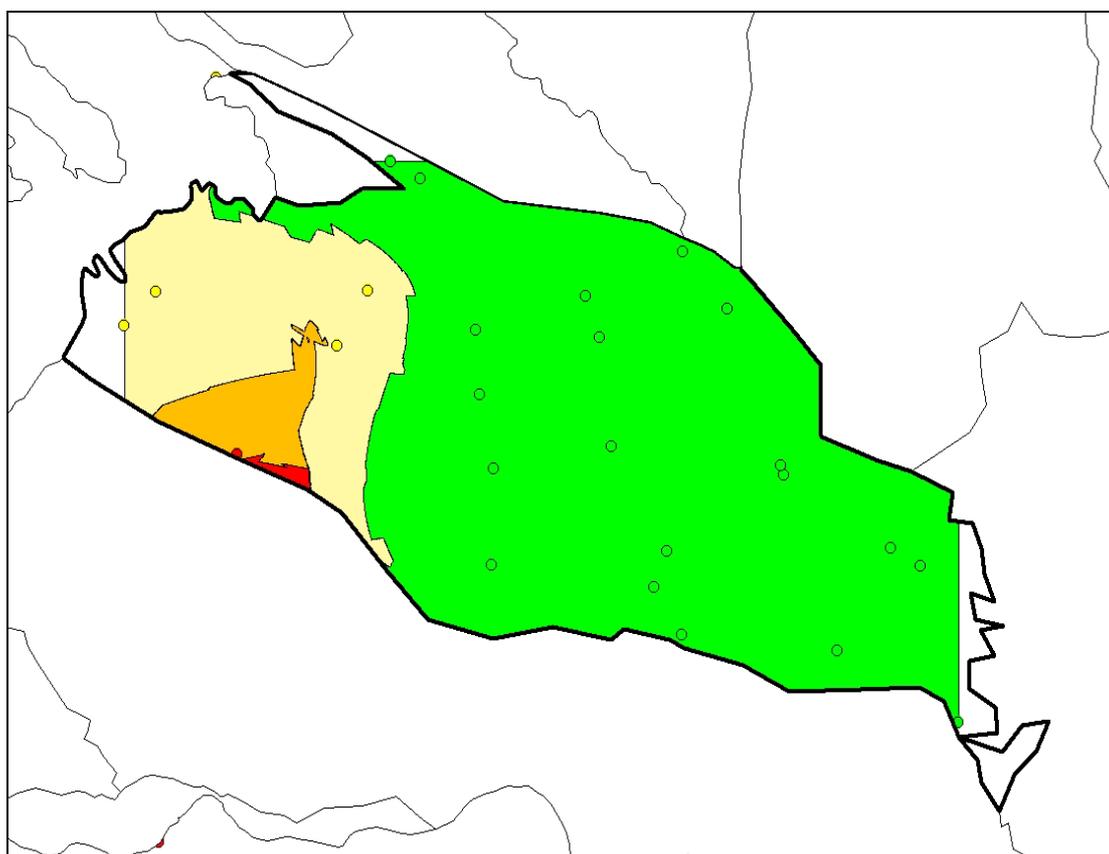


Figura 2-21 – Cartogramma

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.

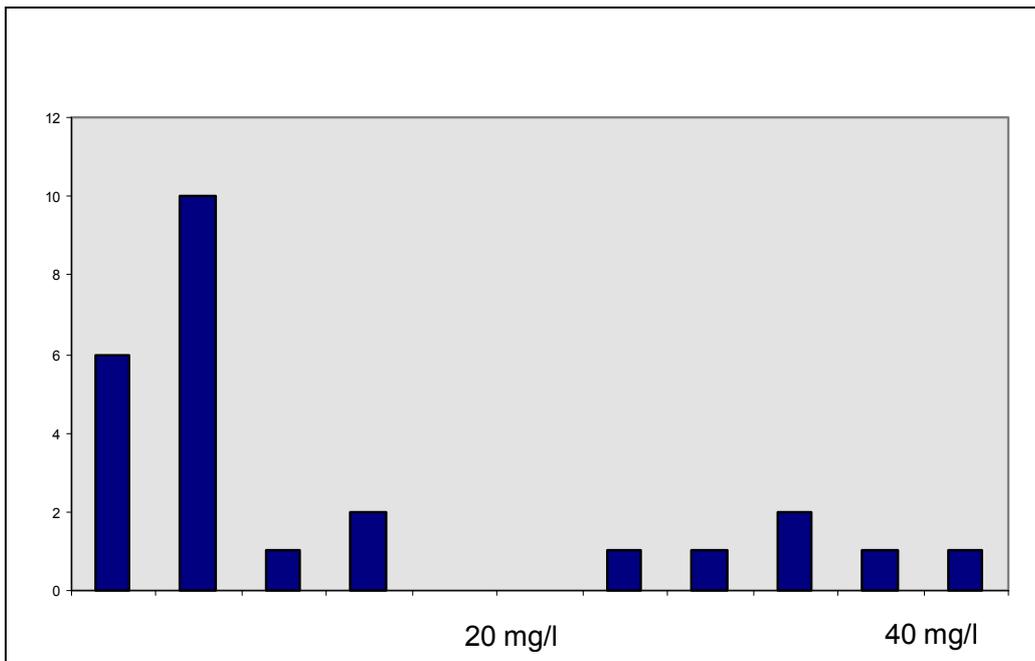


Figura 2-22 – Distribuzione dei valori di nitrati

2.1.2.2.8. Area idrogeologica VC03

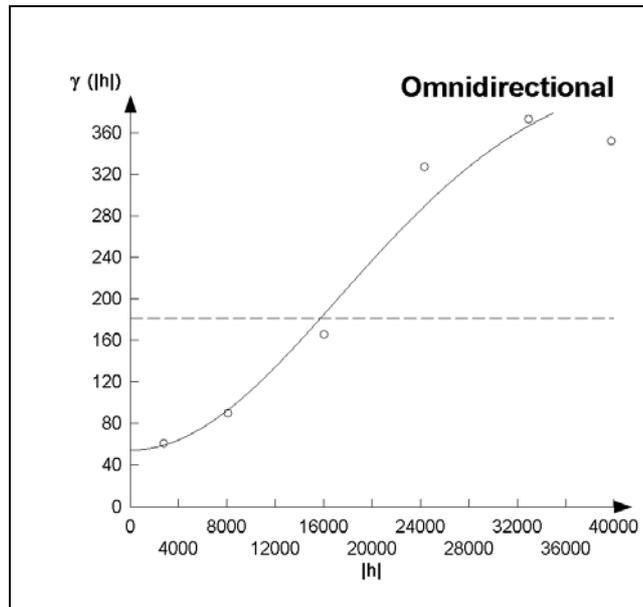


Figura 2-23 – Variogramma

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).

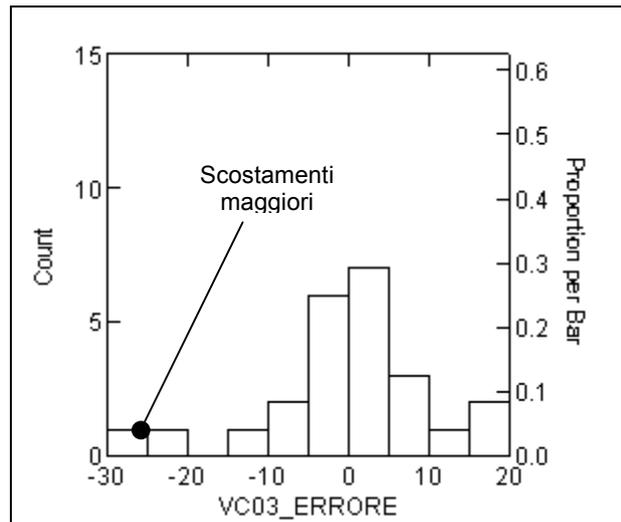


Figura 2-24 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

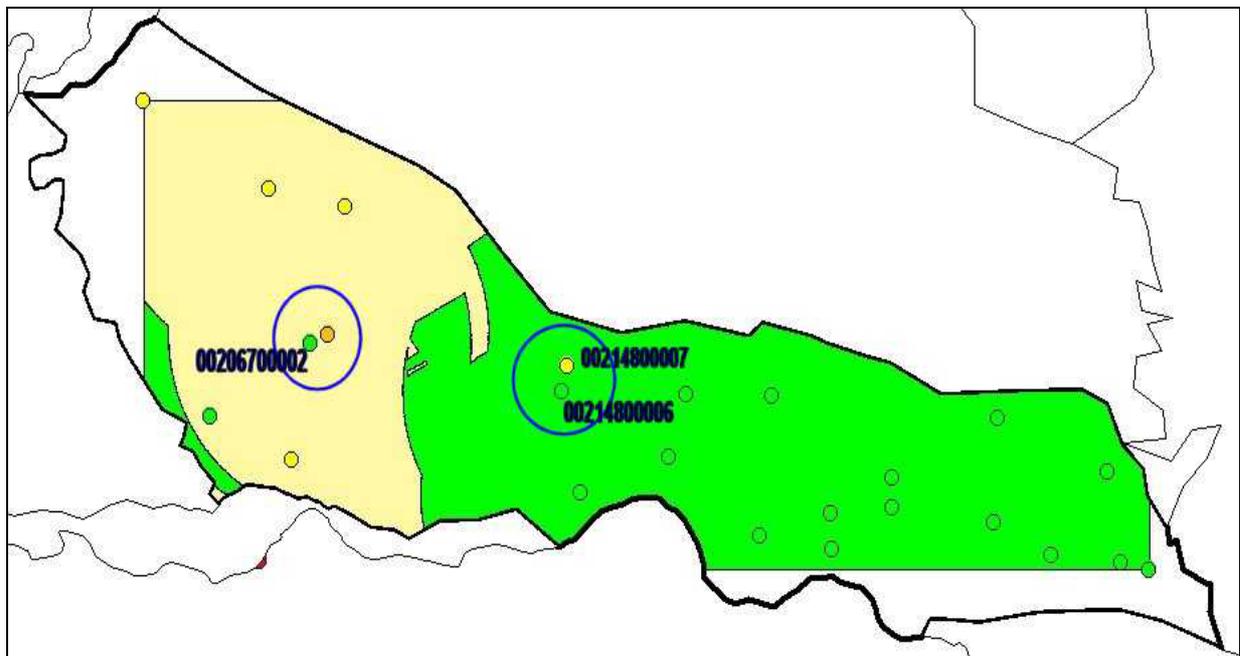


Figura 2-25 – Cartogramma

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

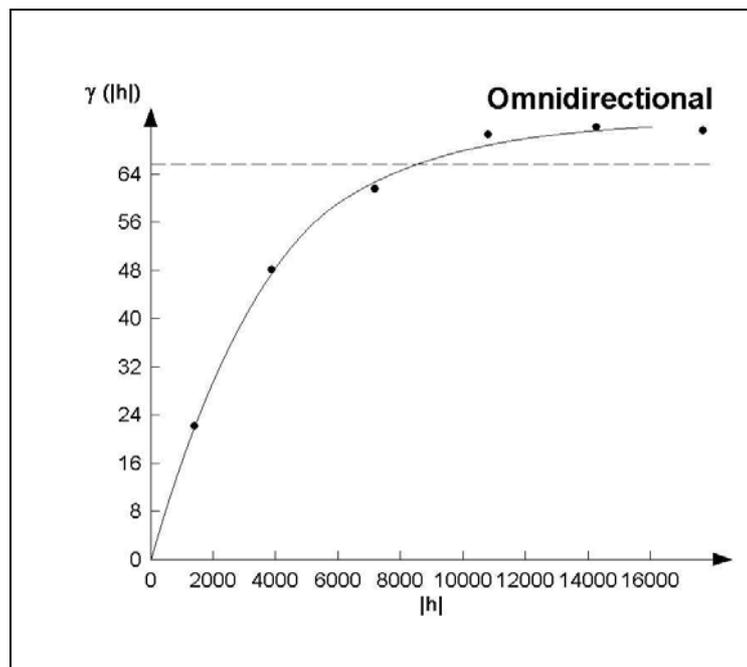


Figura 2-26 – Variogramma

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

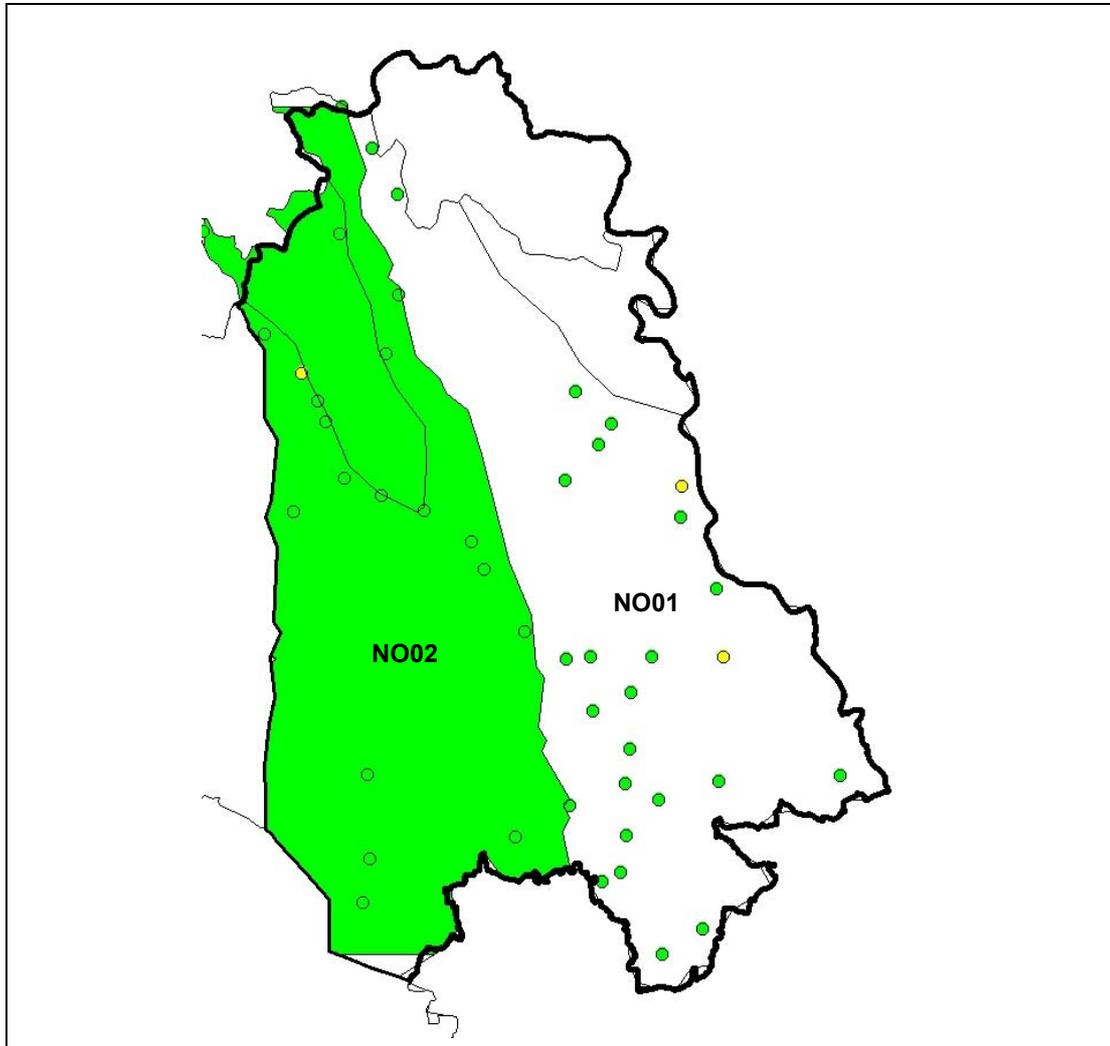


Figura 2-27 – Cartogramma

2.1.2.3.2. Macroarea MS2

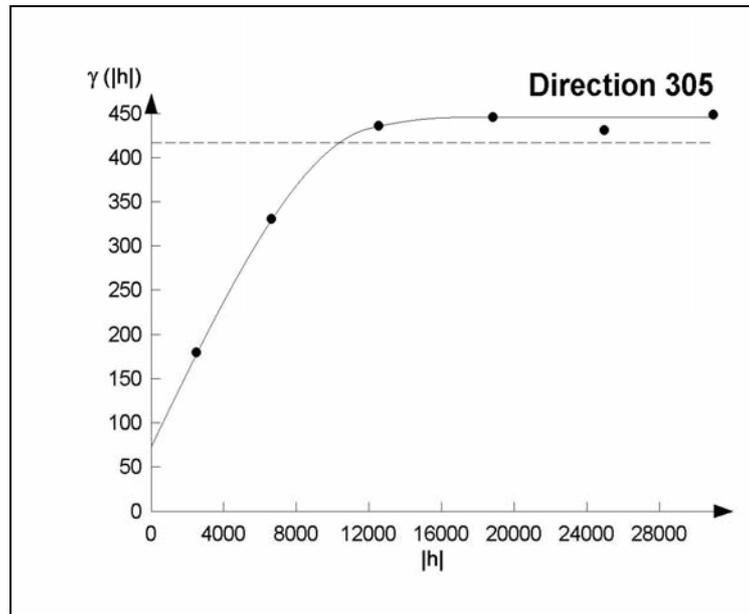


Figura 2-28 – Variogramma

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".

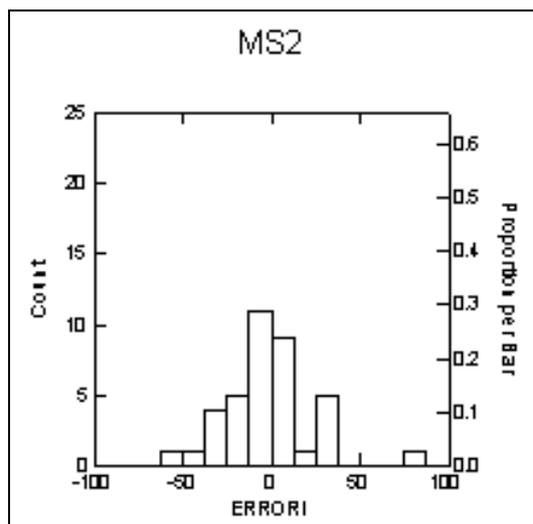


Figura 2-29 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

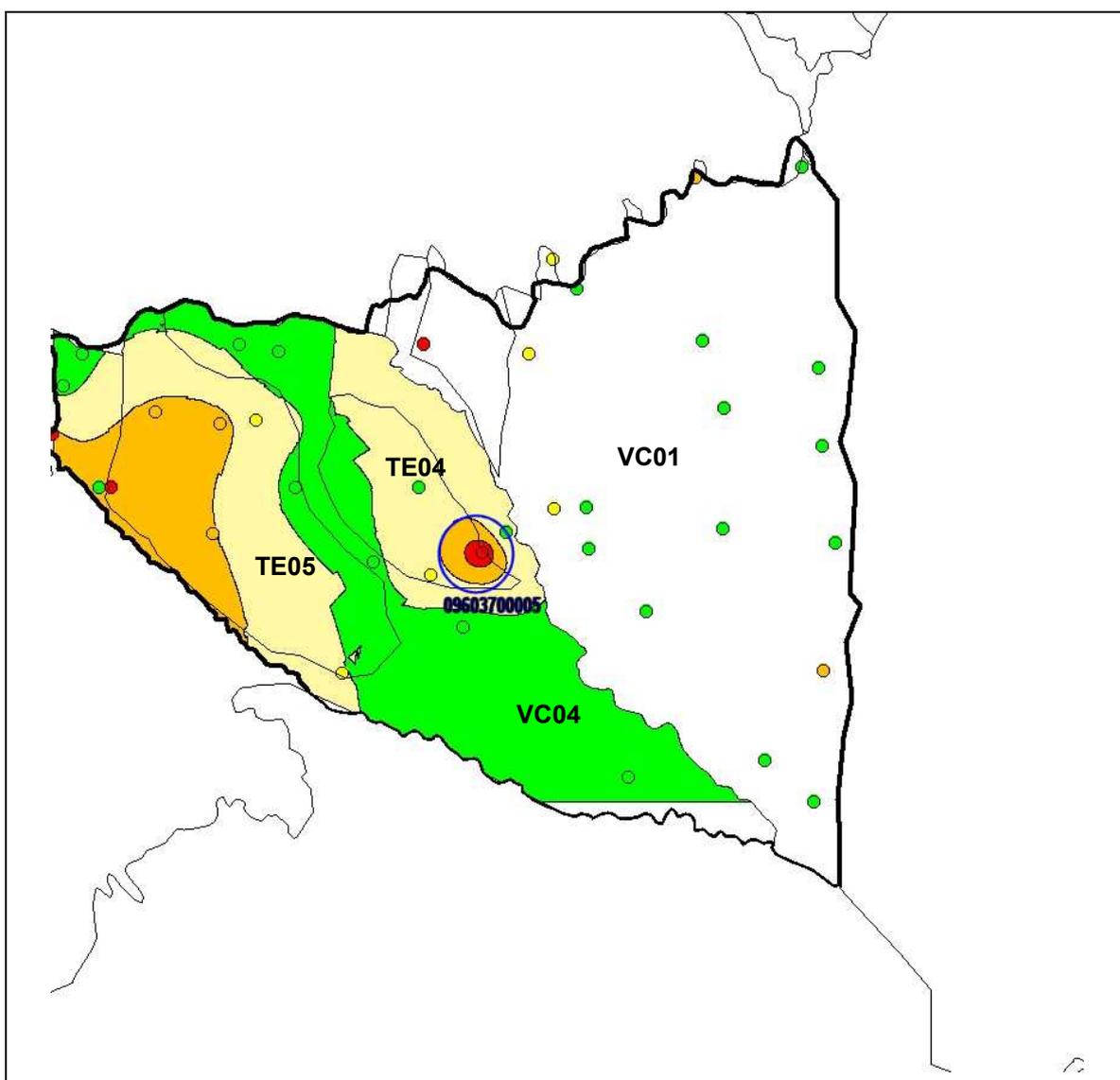


Figura 2-30 – Cartogramma

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.

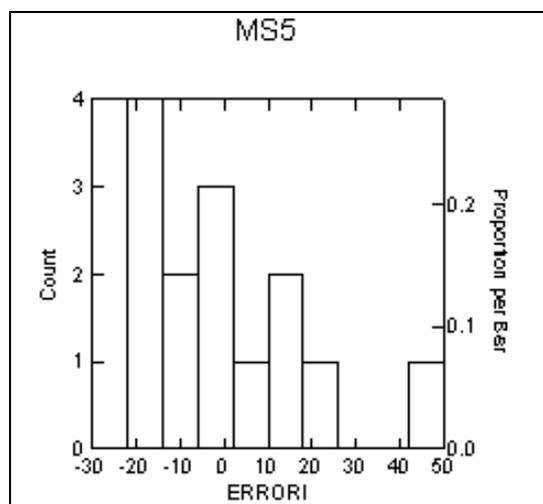


Figura 2-31 – Istogramma scostamenti

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

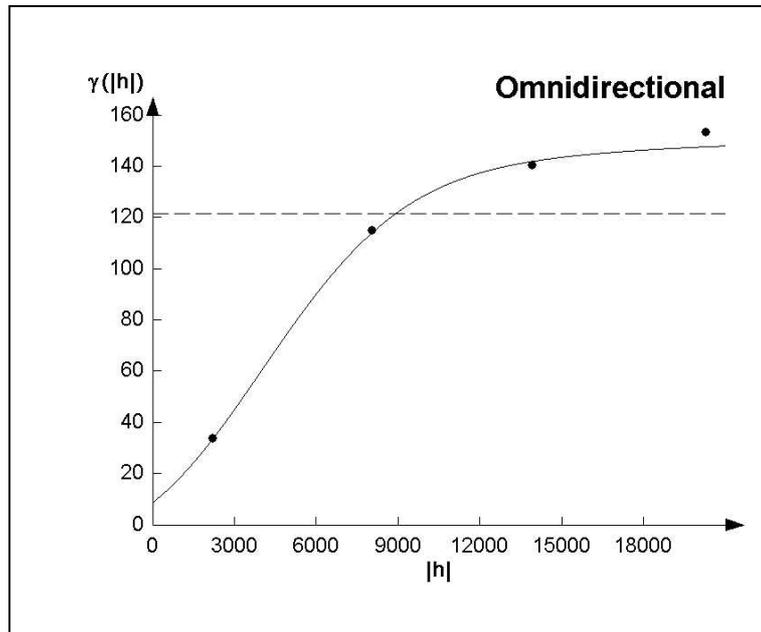


Figura 2-32 – Variogramma

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

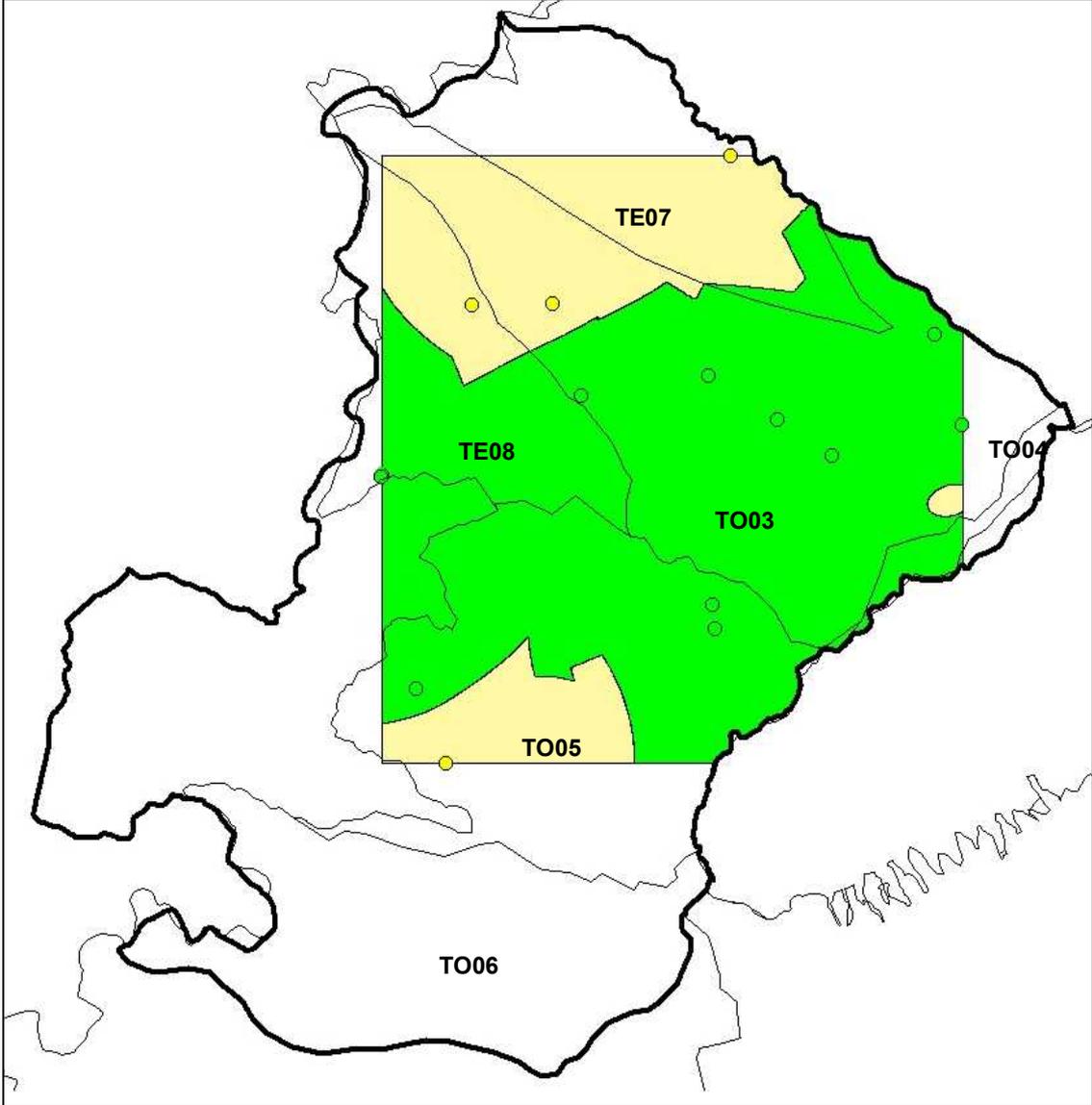


Figura 2-33 – Cartogramma

2.1.2.3.5. Macroarea MS8

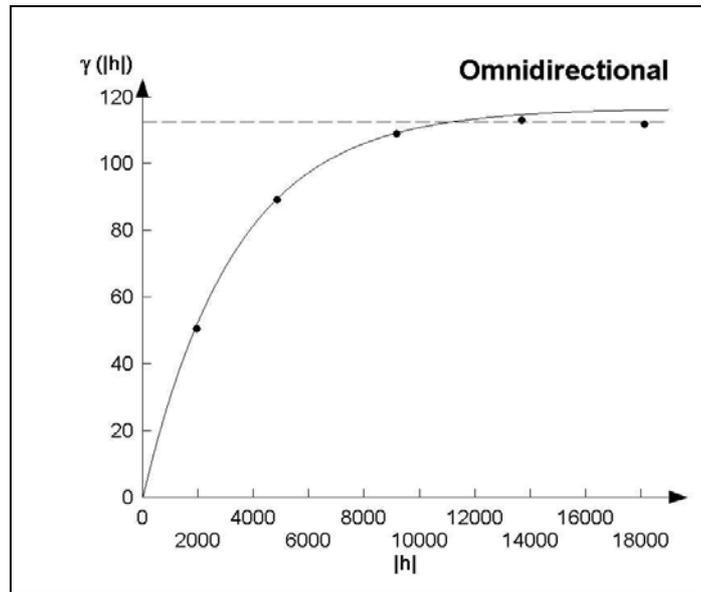


Figura 2-34 – Variogramma

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.

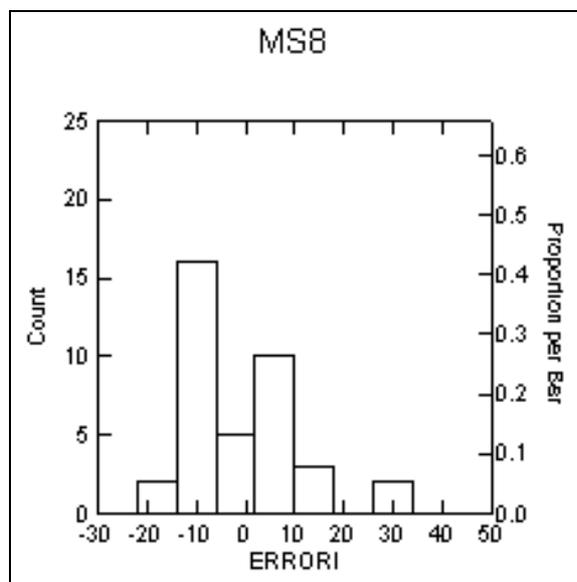


Figura 2-35 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

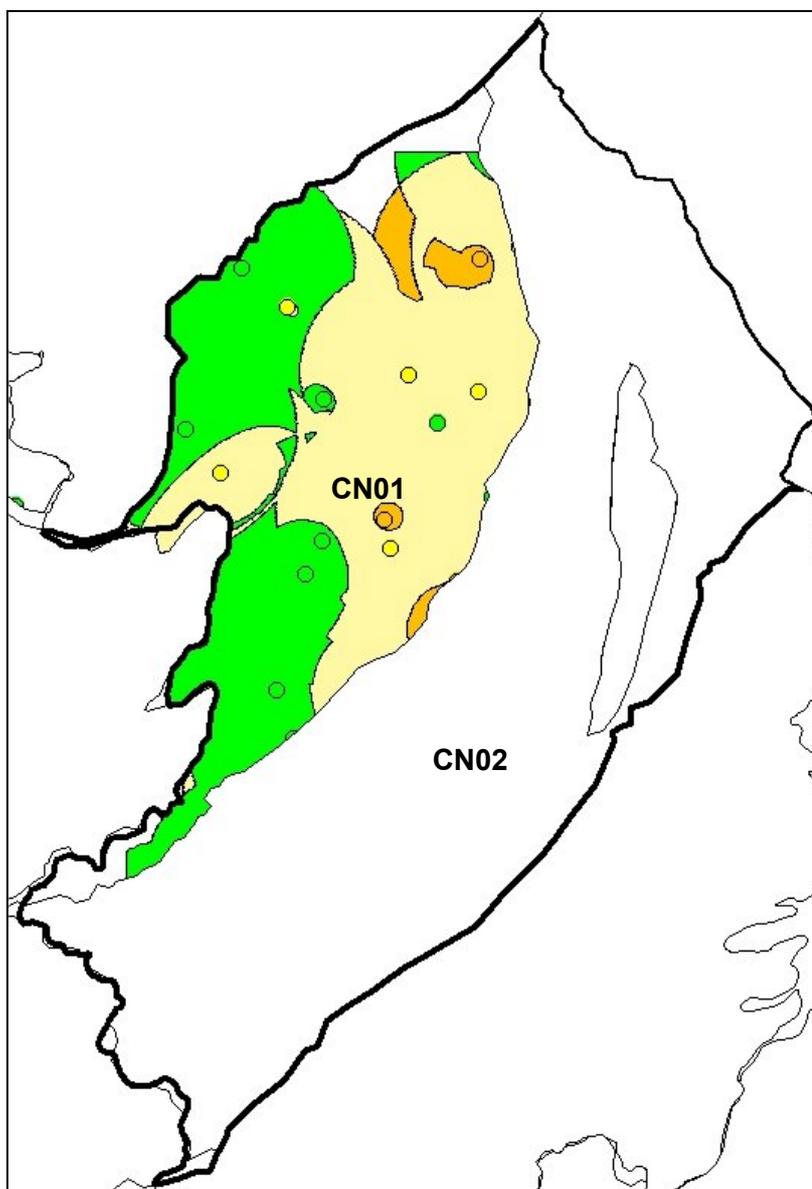


Figura 2-36 – Cartogramma

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.

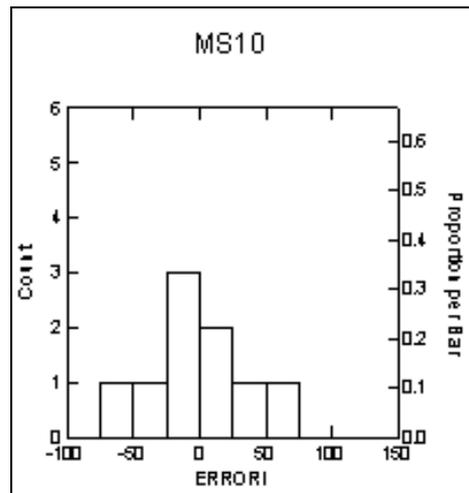


Figura 2-37 – Istogramma scostamenti

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

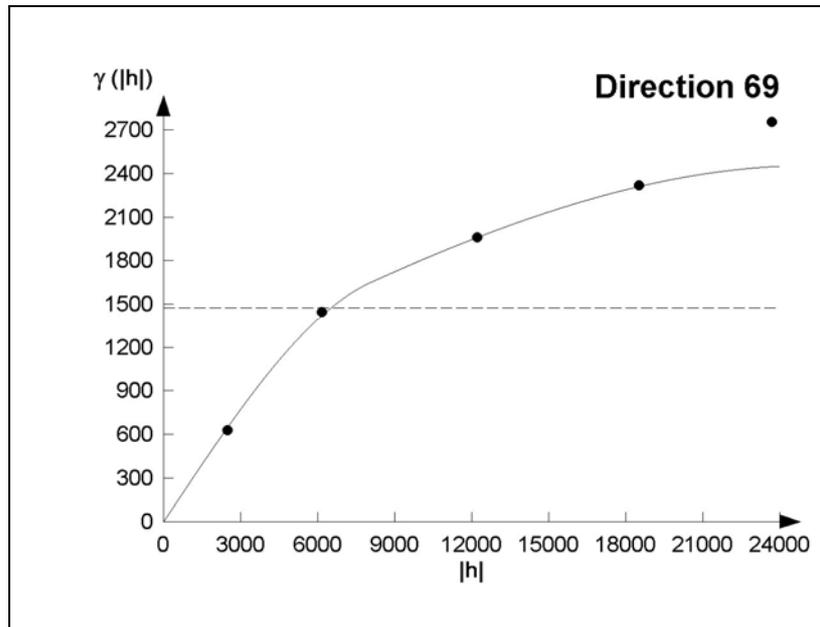


Figura 2-38 – Variogramma

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.

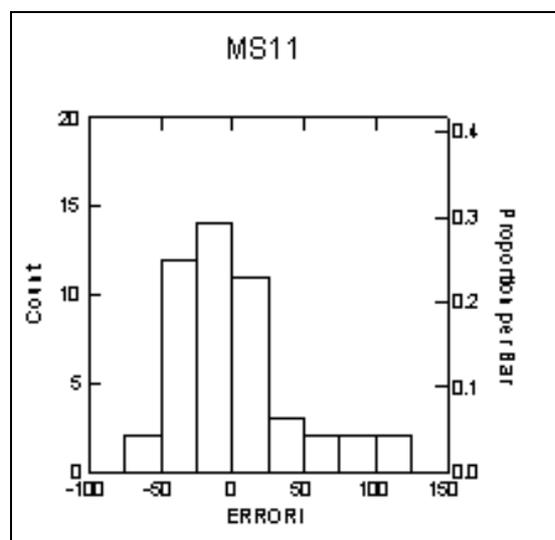


Figura 2-39 – Istogramma scostamenti

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

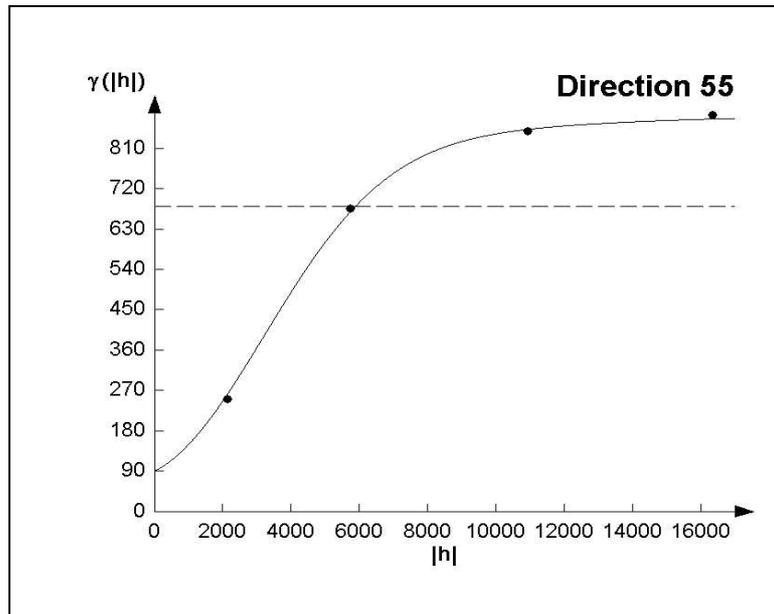


Figura 2-40 – Variogramma

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.

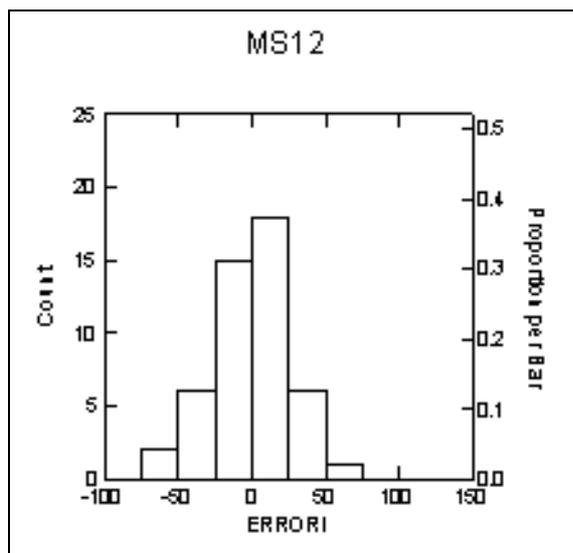


Figura 2-41 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

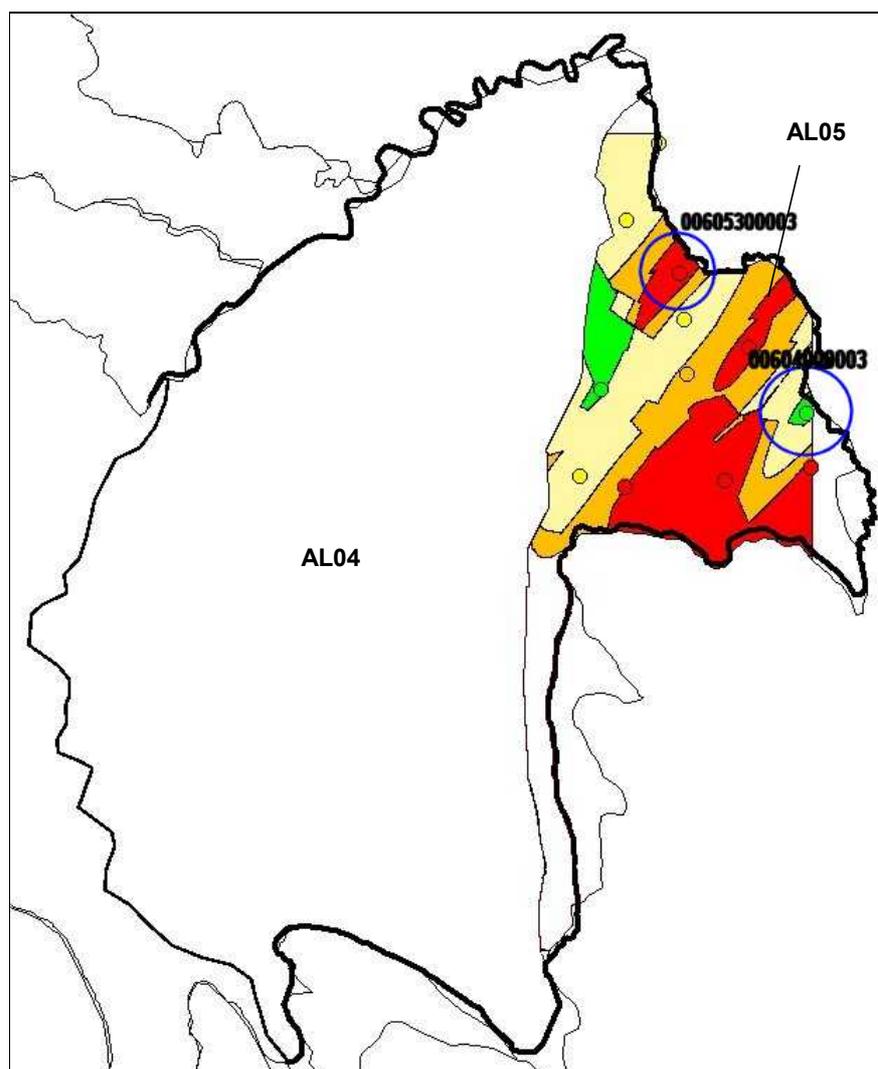


Figura 2-42 – Cartogramma

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

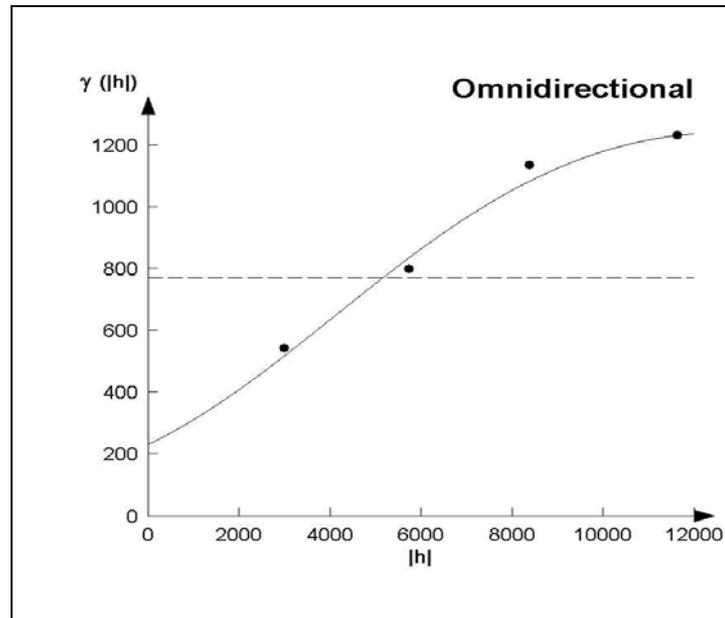


Figura 2-43 – Variogramma

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.

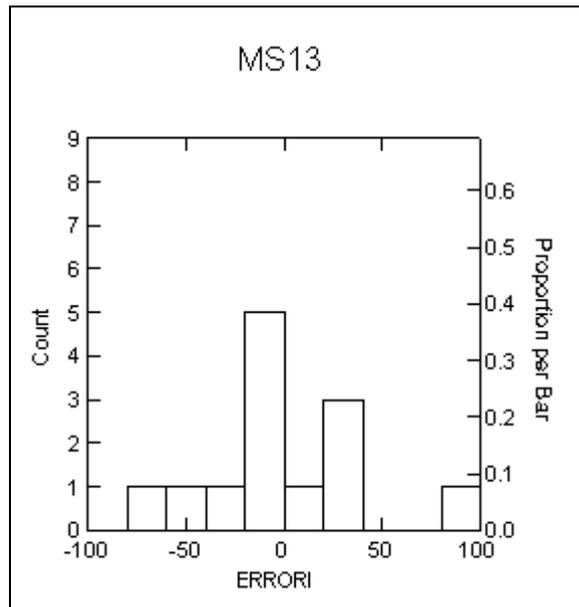


Figura 2-44 – Istogramma scostamenti

Spazializzazione

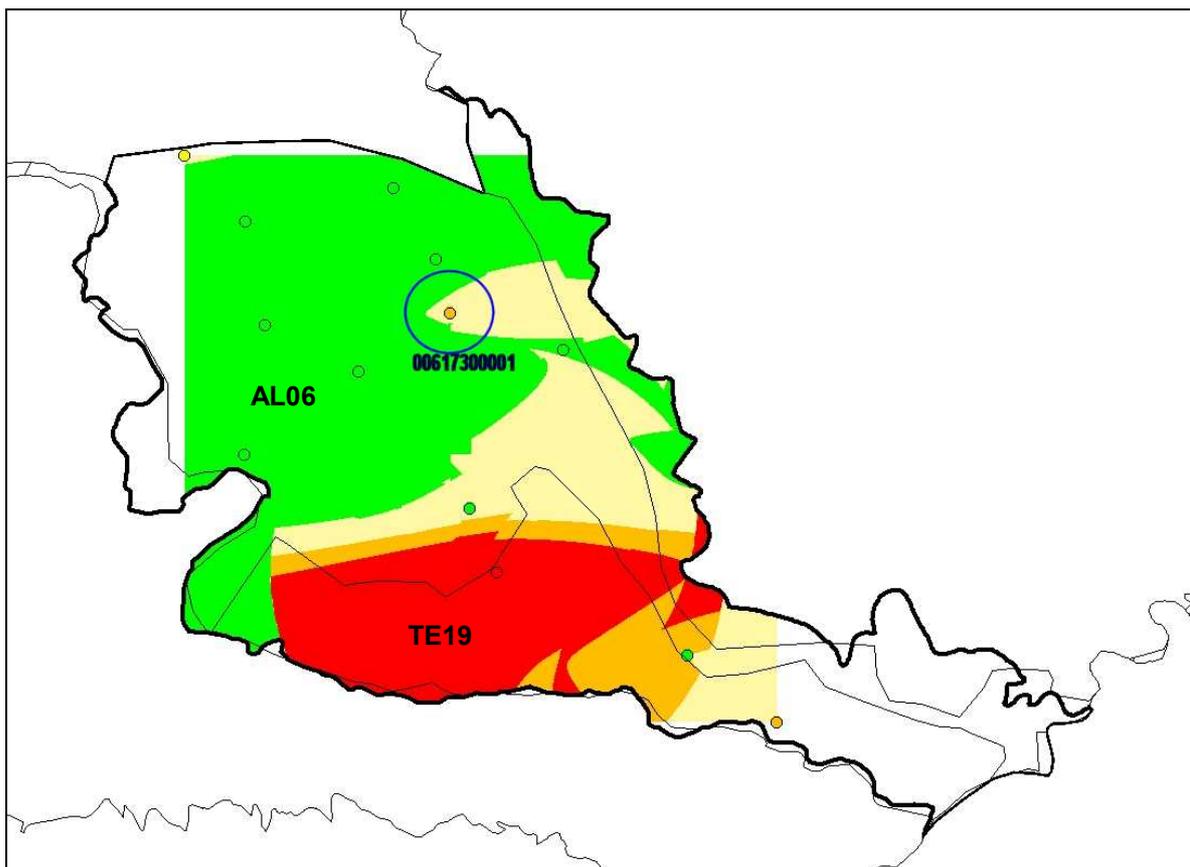


Figura 2-45 – Cartogramma

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.

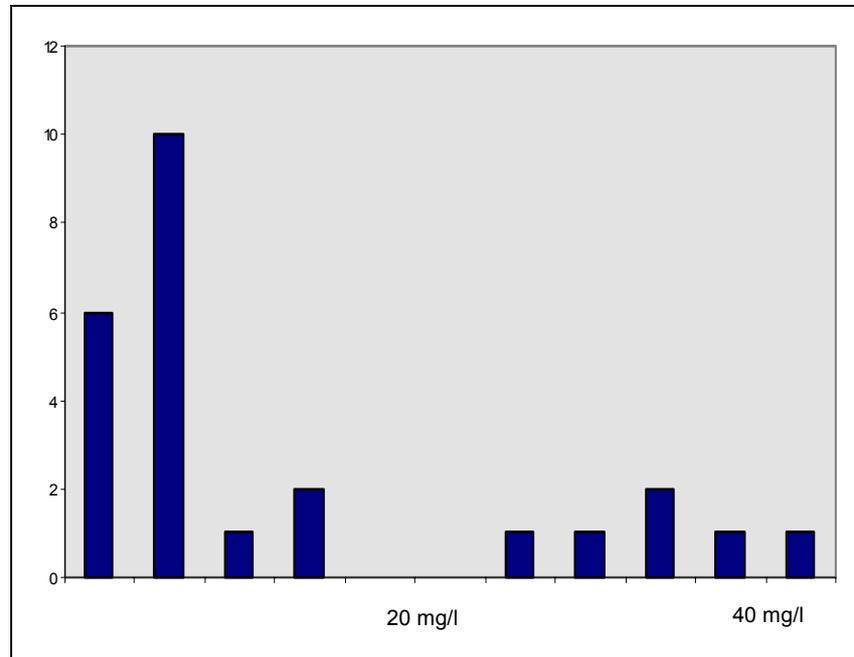


Figura 2-46 – Distribuzione della concentrazione di nitrati area VC02

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).

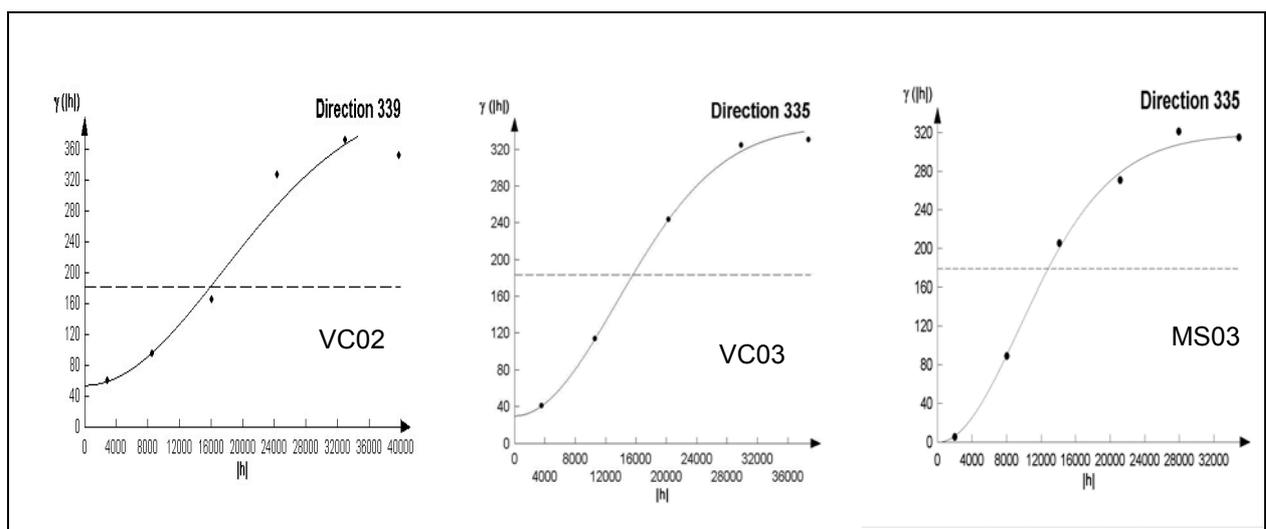


Figura 2-47 – Variogrammi aree VC02, VC03 e macroarea MS03

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.

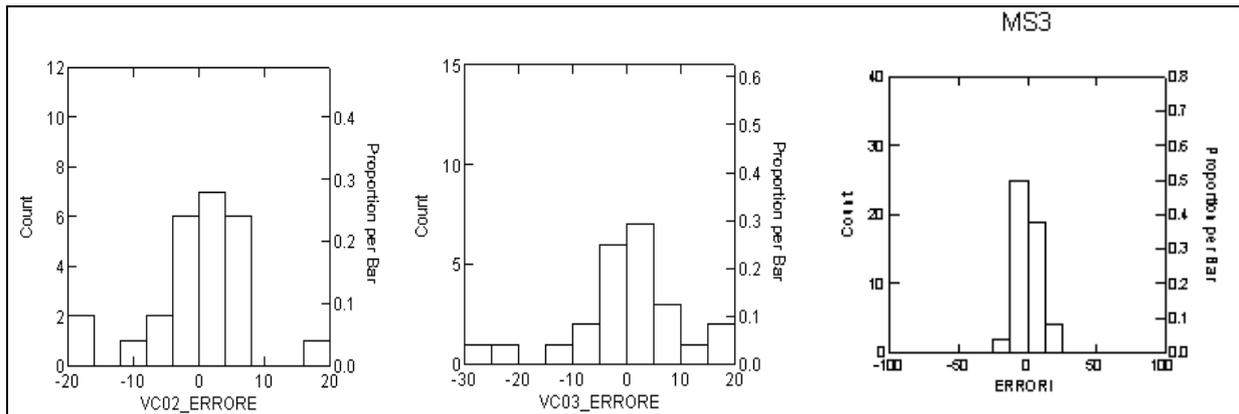


Figura 2-48 – Istogramma scostamenti aree VC02, VC03 e macroarea MS03

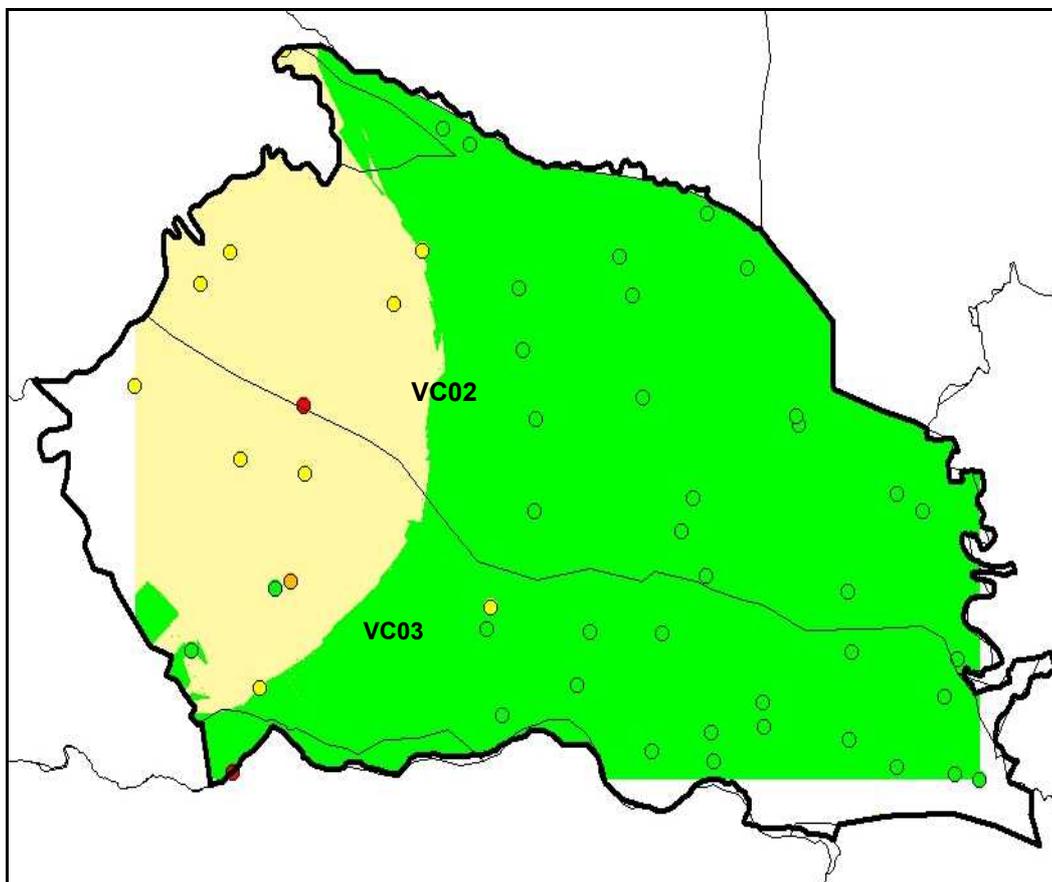


Figura 2-48 – Cartogramma aree VC02, VC03 (macroarea MS03)

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.

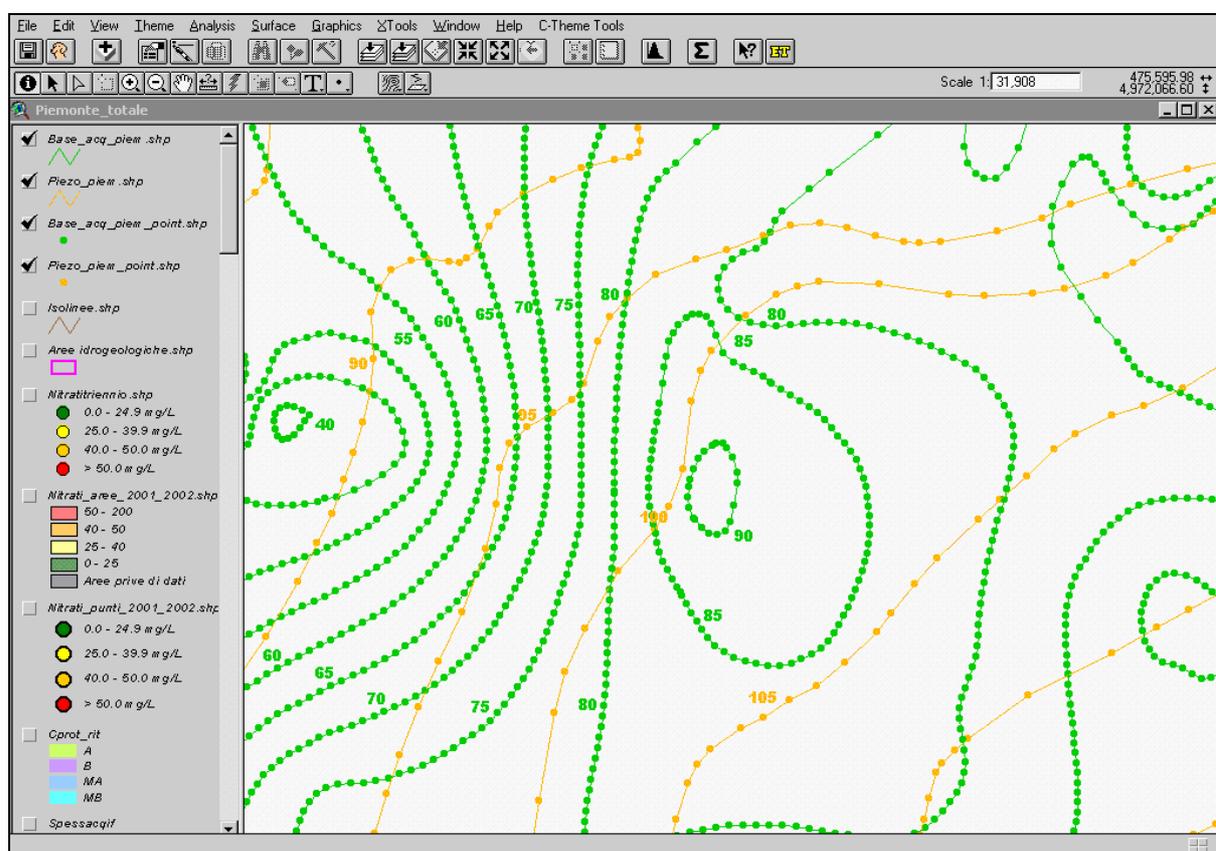


Figura 2-49 – Superficie piezometrica e base dell'acquifero

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.

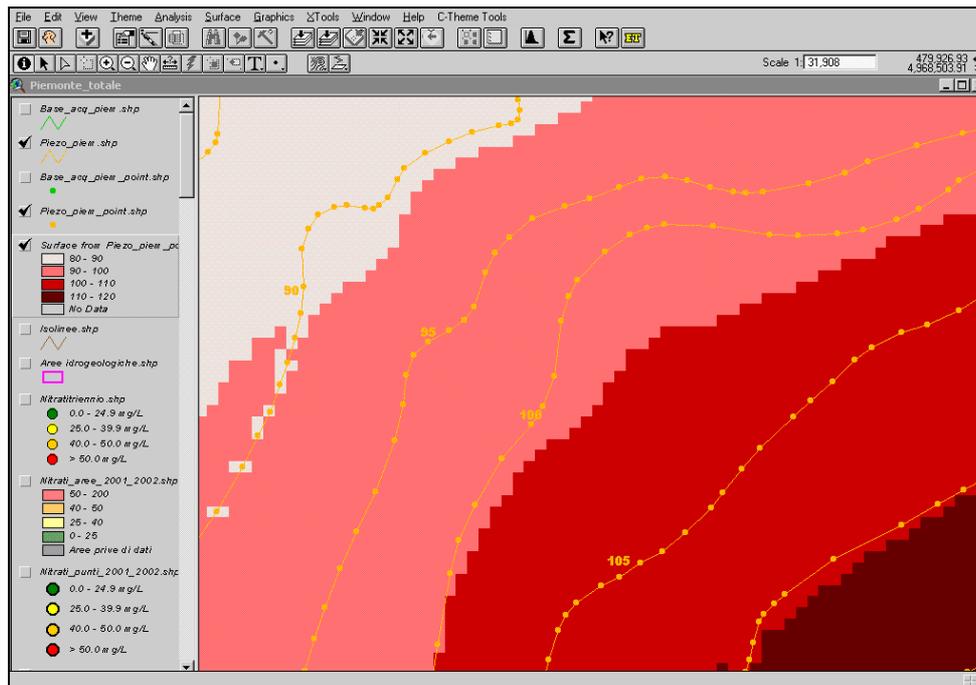


Figura 2-50 – Grid della quota piezometrica

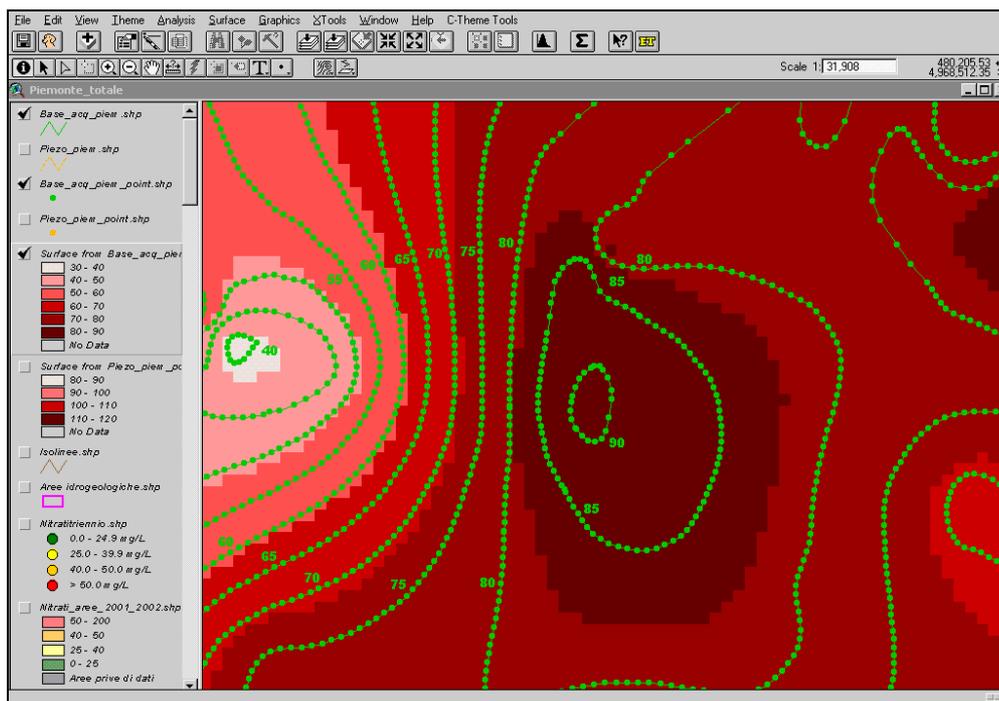


Figura 2-51 – Grid della quota della base dell'acquifero

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.

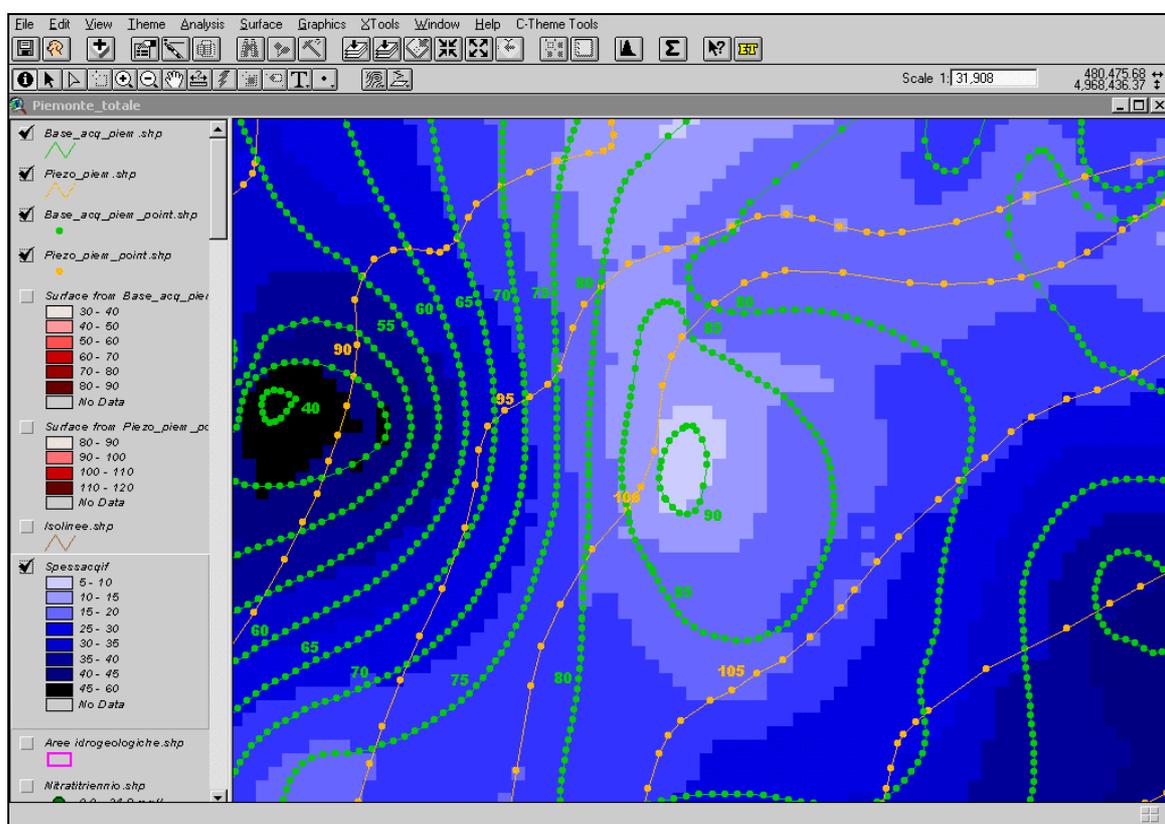


Figura 2-52 – Carta dello spessore dell'acquifero superficiale

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.

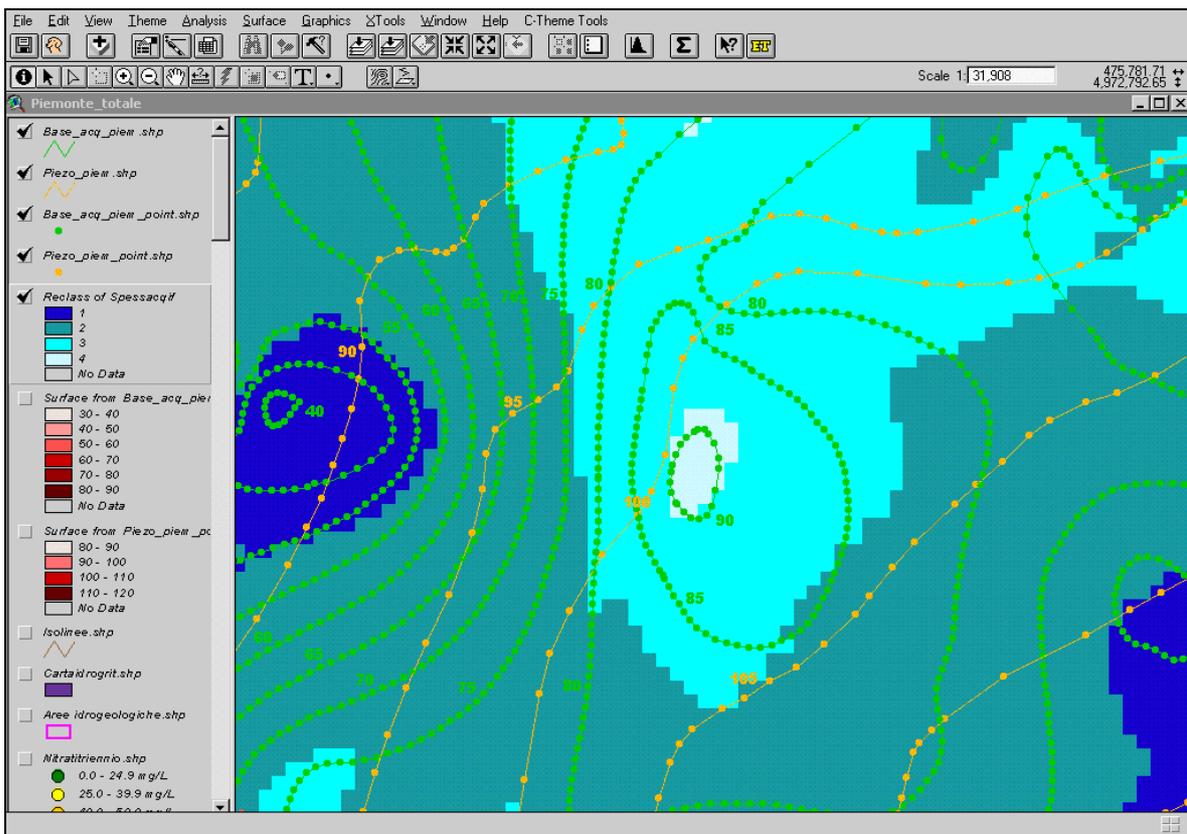


Figura 2-52 – Carta dello spessore dell’acquifero superficiale categorizzato

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.

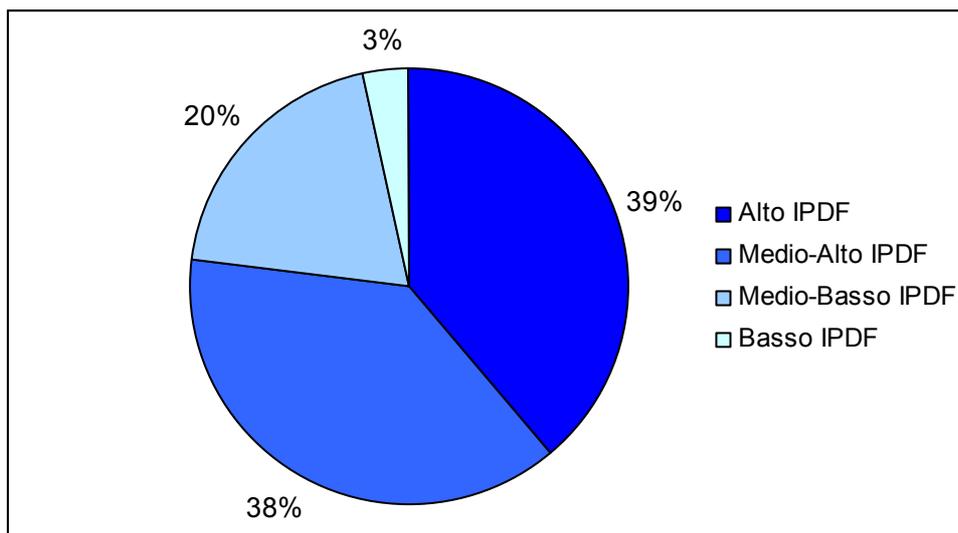


Figura 2-53 – Rappresentazione percentuale delle categorie IPDF a scala Regionale

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
A (4)	Bassa	< 1 settimana	> 100 Kg/ha	Basso	Estrema
MA (3)	Medio-Bassa	1 sett. – 1 mese	50 – 100 Kg/ha	Medio-Basso	Alta
MB (2)	Medio-Alta	1 mese – 6 mesi	0 – 50 Kg/ha	Medio-Alto	Moderata
B (1)	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.

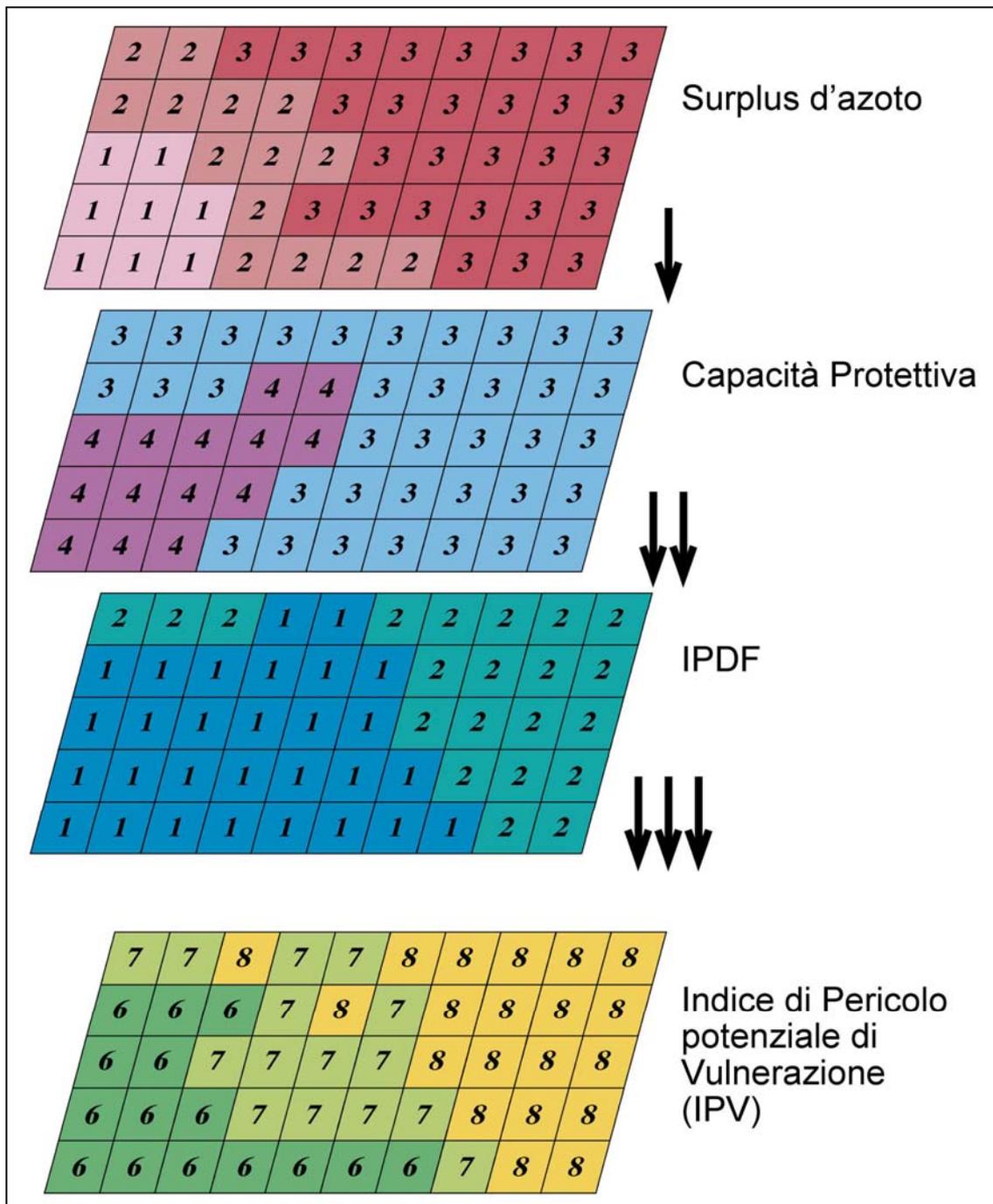


Figura 3.1 – Esempio di come opera la sovrapposizione dei grid

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

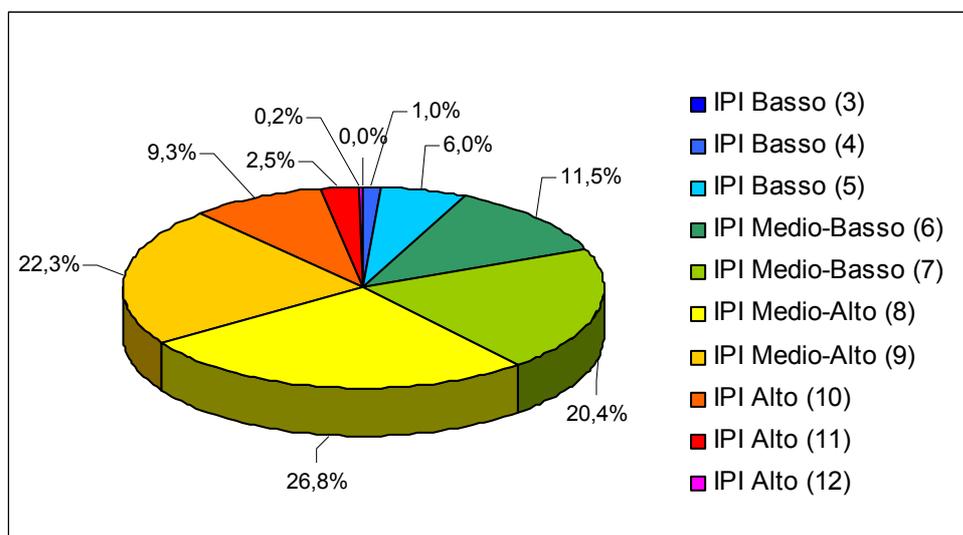


Figura 3-2 – Ripartizione percentuale dei valori di IPI a scala Regionale

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

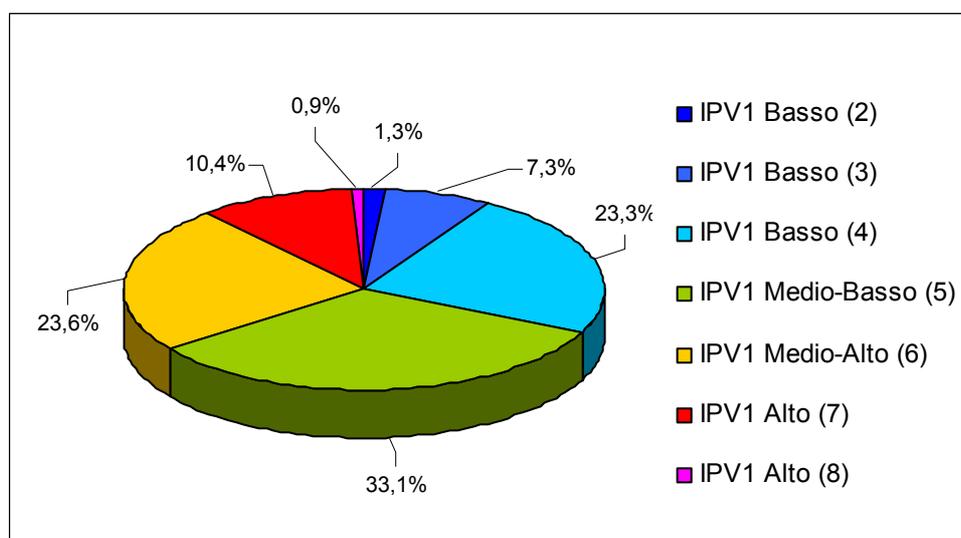


Figura 3-3 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV1 a scala Regionale

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

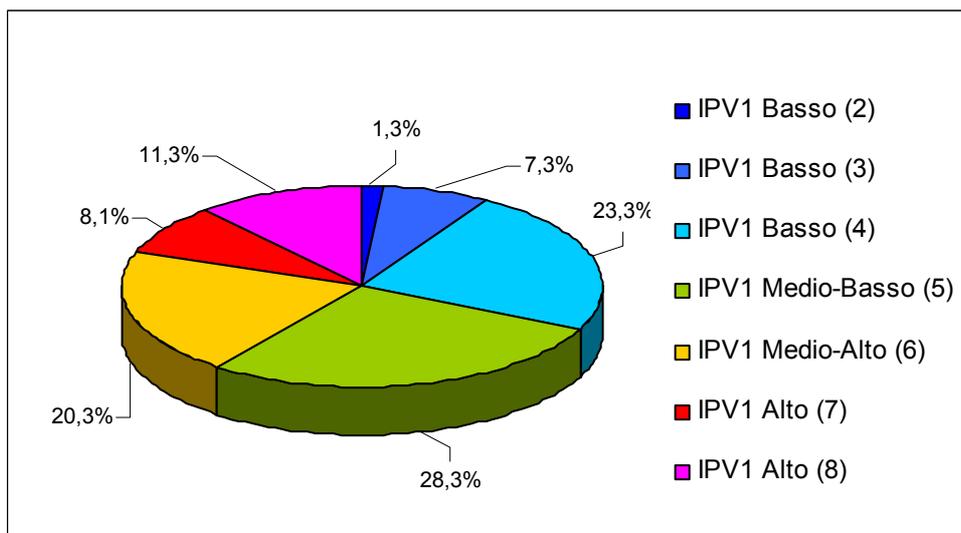


Figura 3-4 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV1 modificato a scala Regionale

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

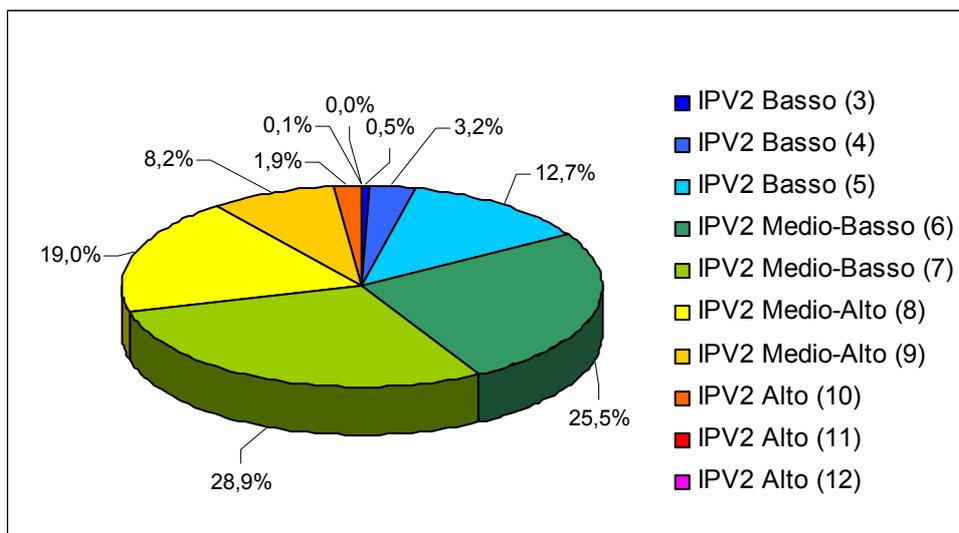


Figura 3-5 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV2 modificato a scala Regionale

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

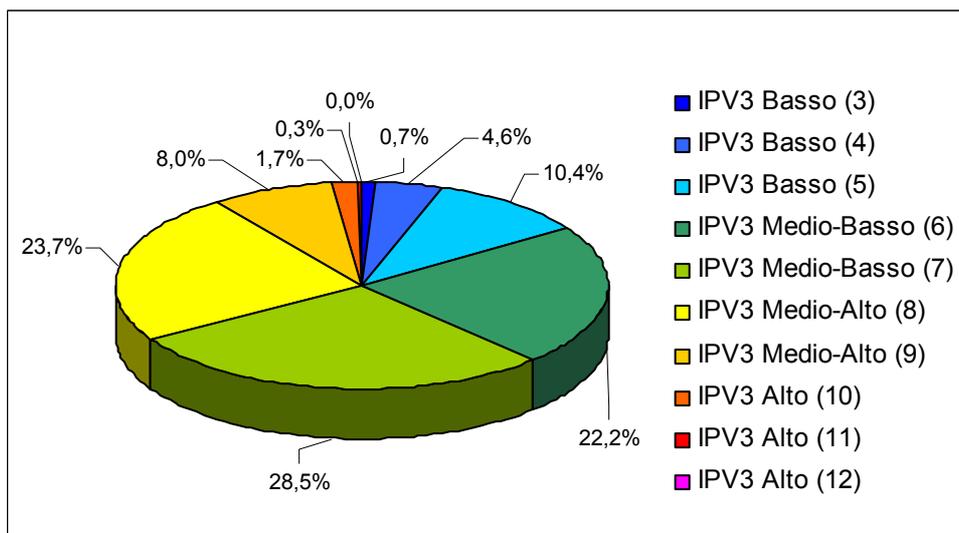


Figura 3-6 – Ripartizione percentuale dei valori di IPV3 modificato a scala Regionale

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 carta A3/2 (vedi allegati) è riportata la spazializzazione dei dati di stato utilizzata per il confronto con la 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 (Concentrazione di nitrati)	Classe di 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 Concordezza (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 o tema di 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 ± 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 ± 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

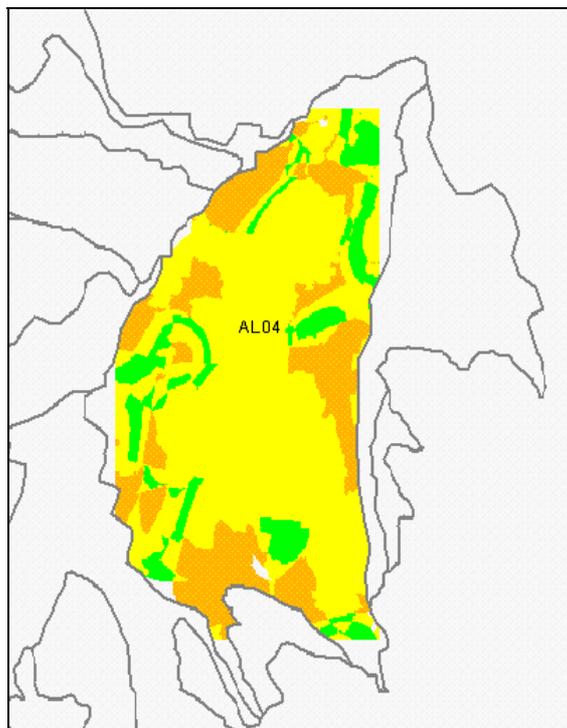


Figura 3-7 – Stato/Surplus

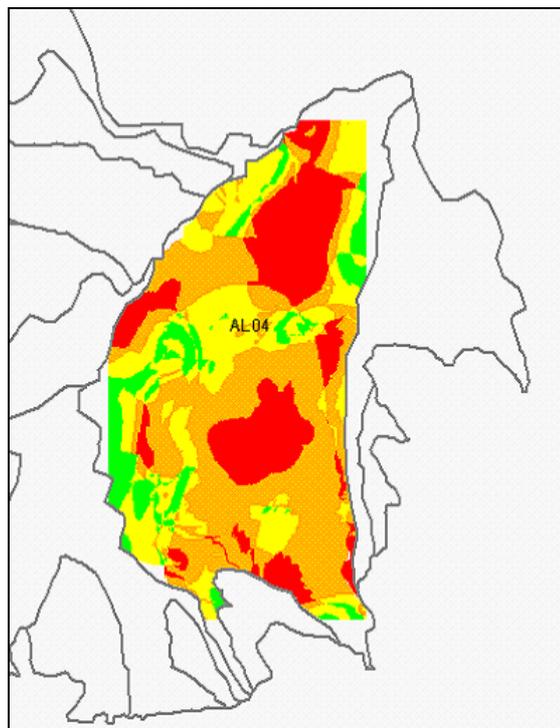


Figura 3-8 – Stato/IPDF

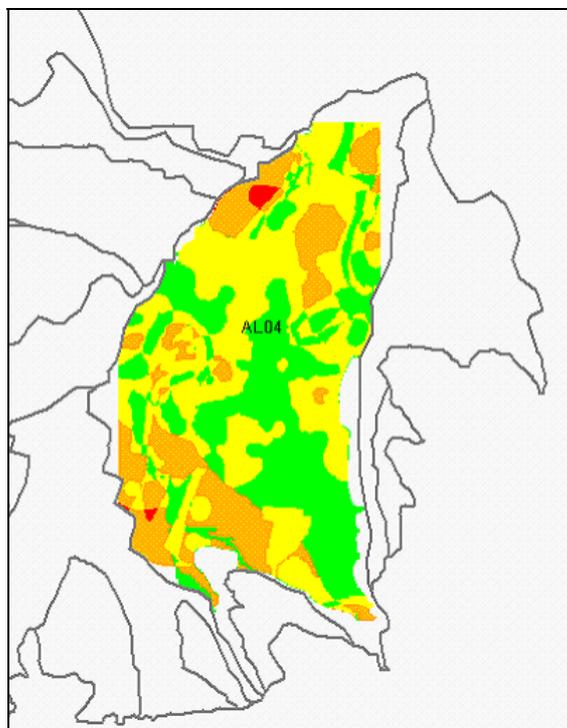


Figura 3-9 – Stato/TOT

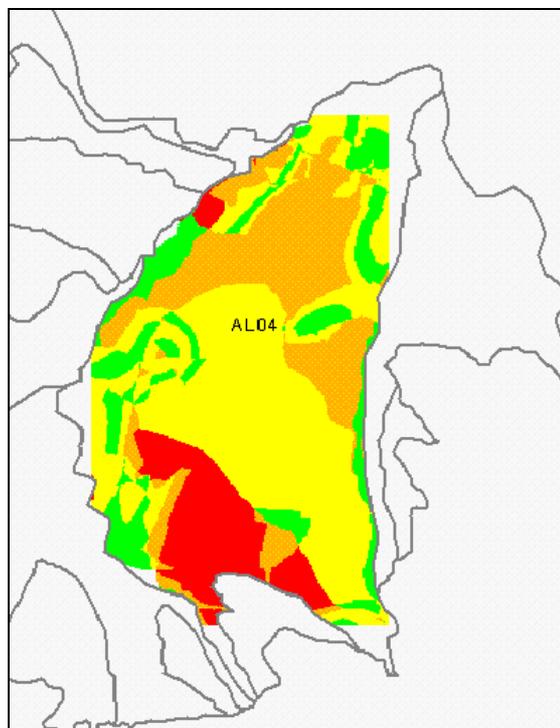


Figura 3-10 – Stato/Capacità protettiva

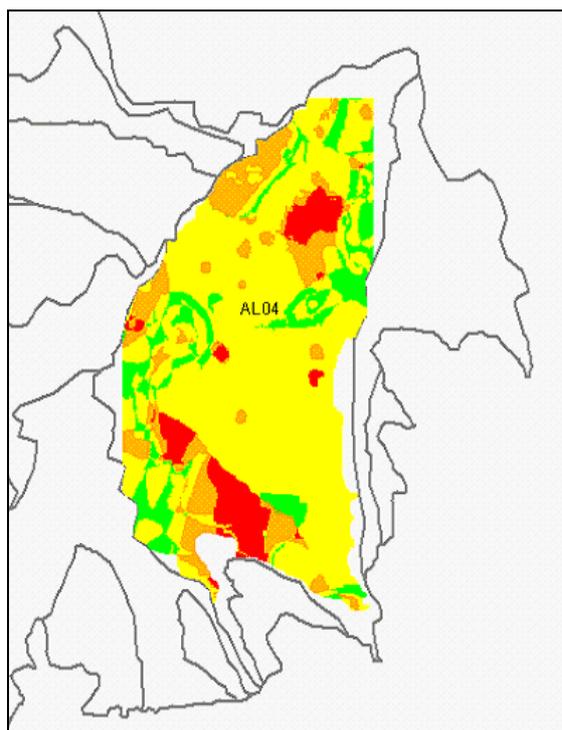


Figura 3-11 – Stato/GOD

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

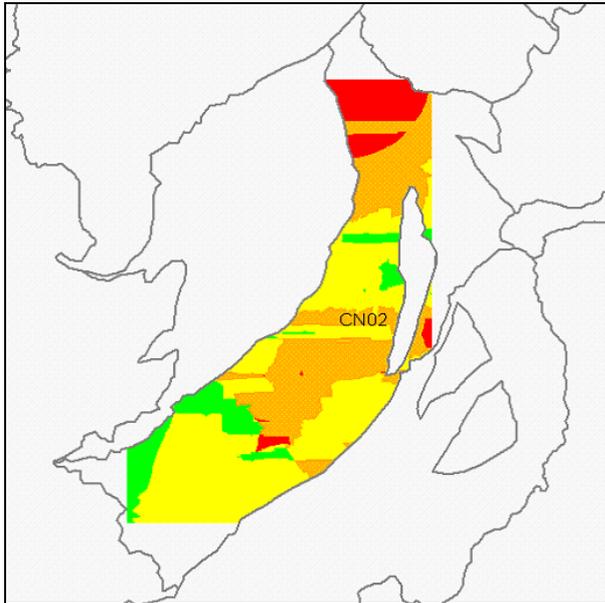


Figura 3-12 – Stato/Surplus

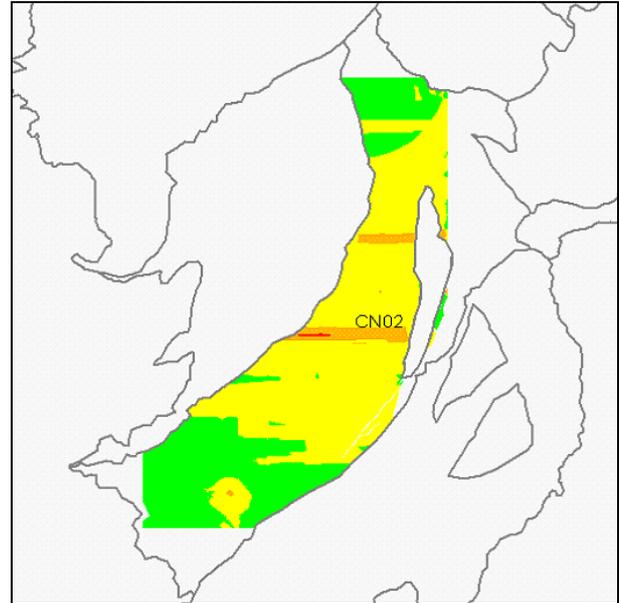


Figura 3-13 – Stato/IPDF

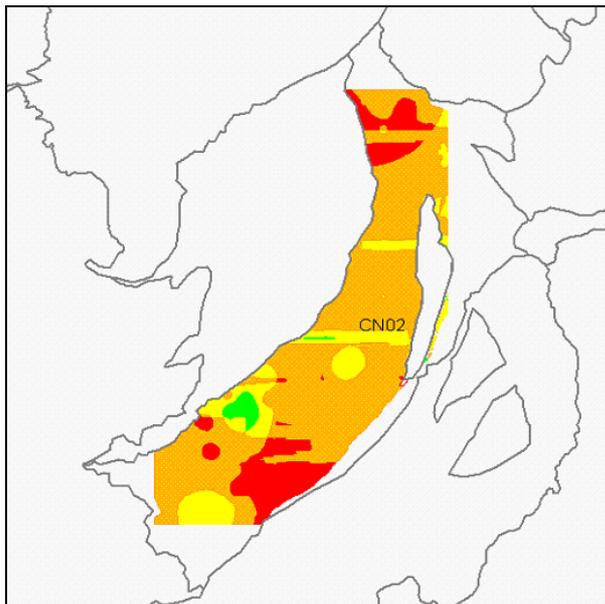


Figura 3-14 – Stato/TOT

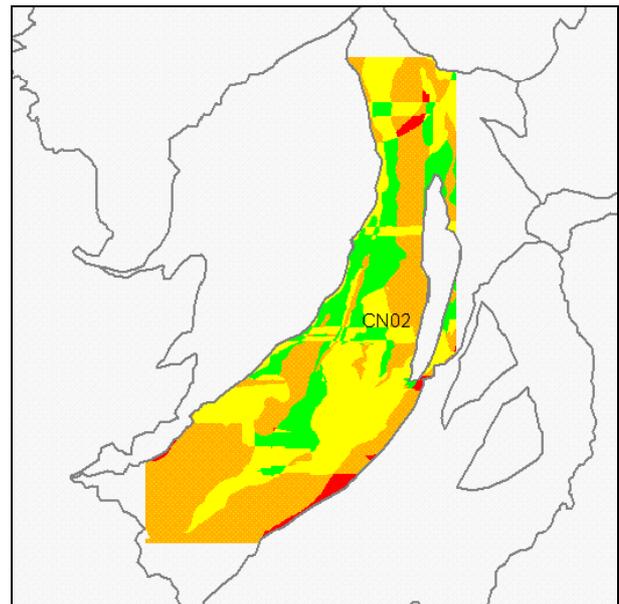


Figura 3-15 – Stato/Capacità protettiva

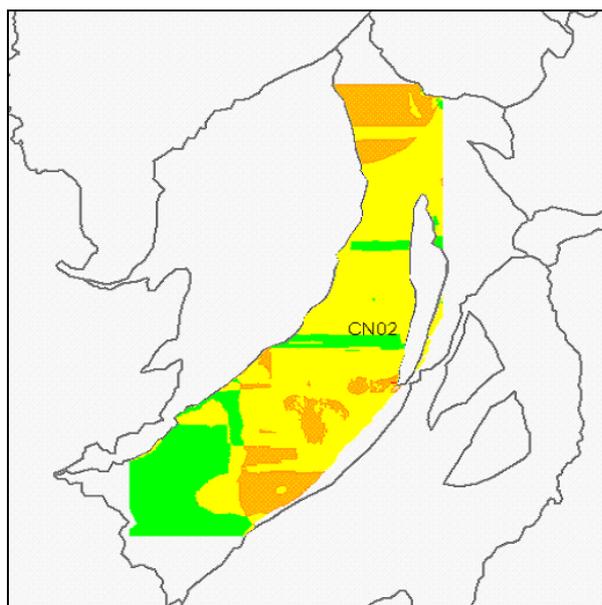


Figura 3-16 – Stato/GOD

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

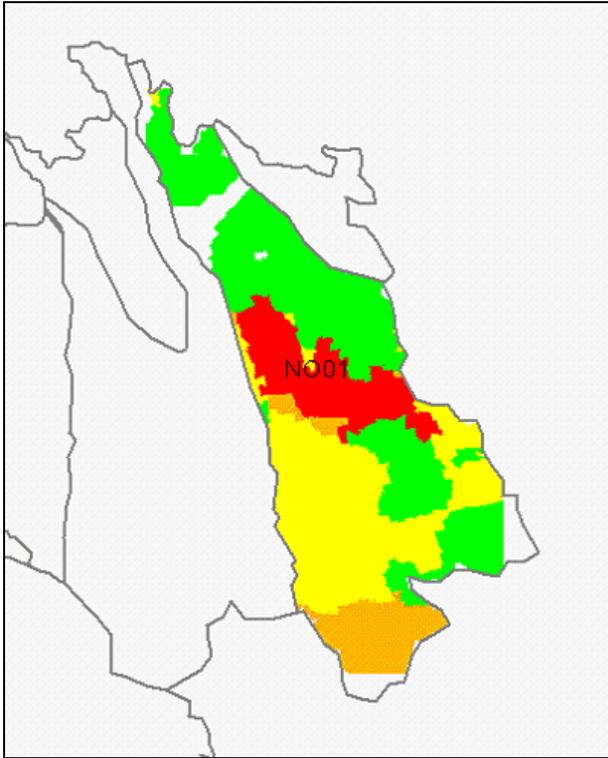


Figura 3-17 – Stato/Surplus

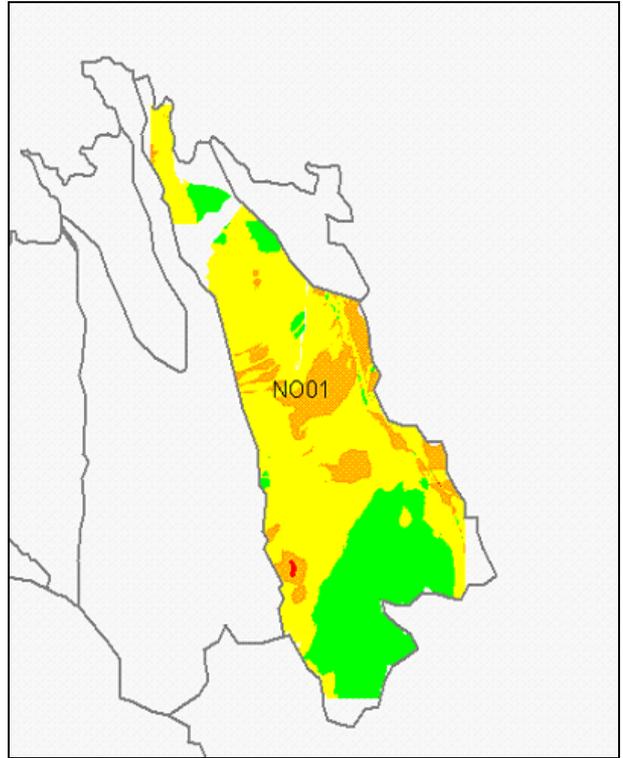


Figura 3-18 – Stato/IPDF

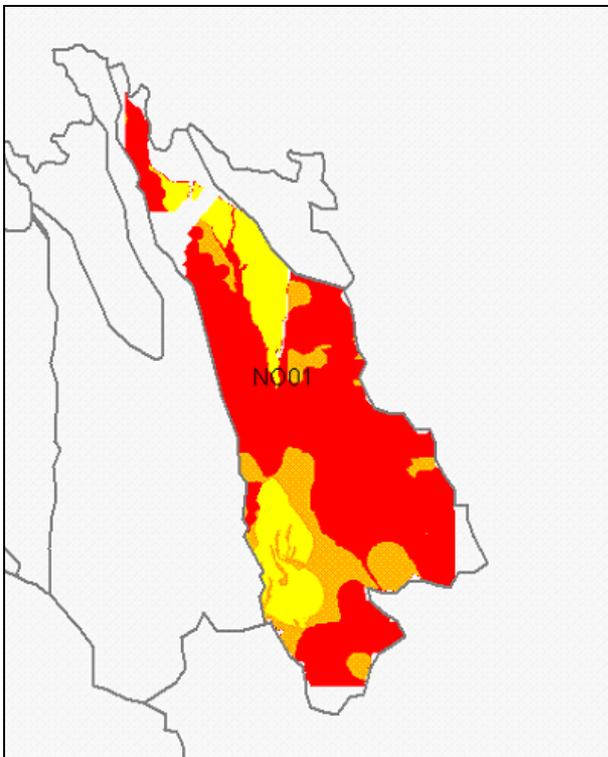


Figura 3-19 – Stato/TOT

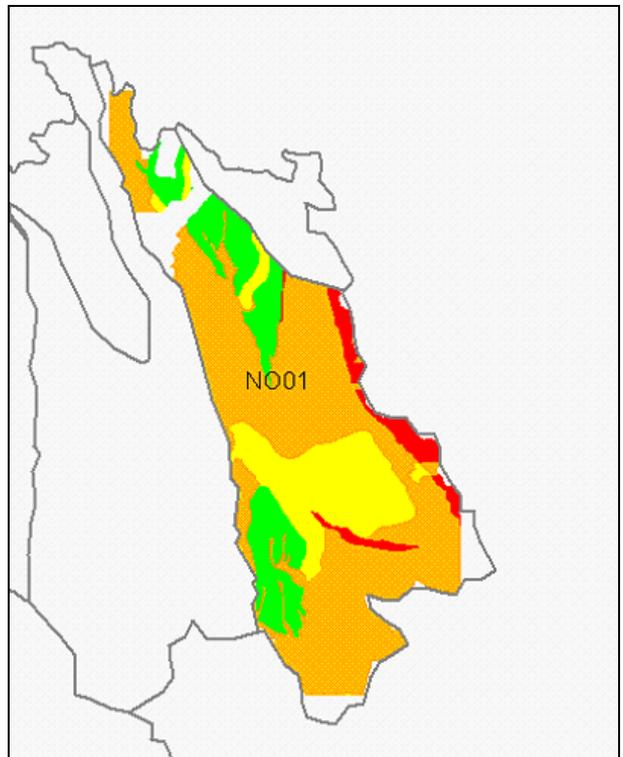


Figura 3-20 – Stato/Capacità protettiva

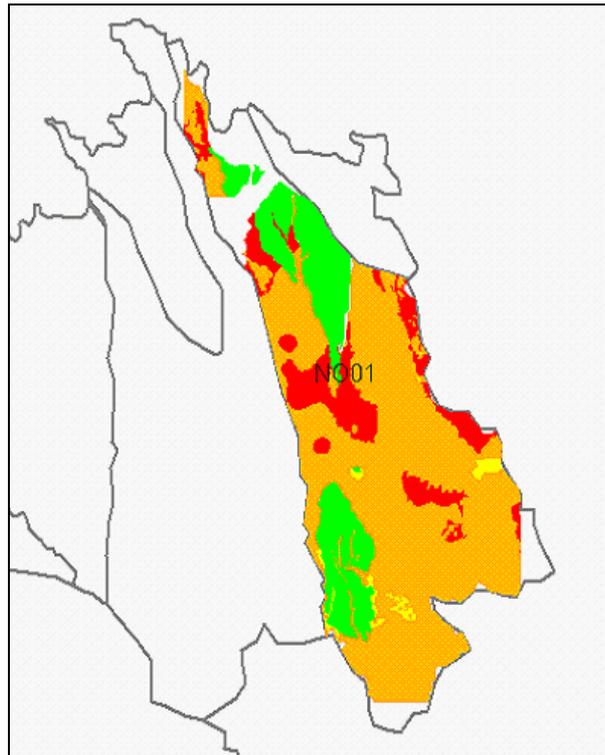


Figura 3-21 – Stato/GOD

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

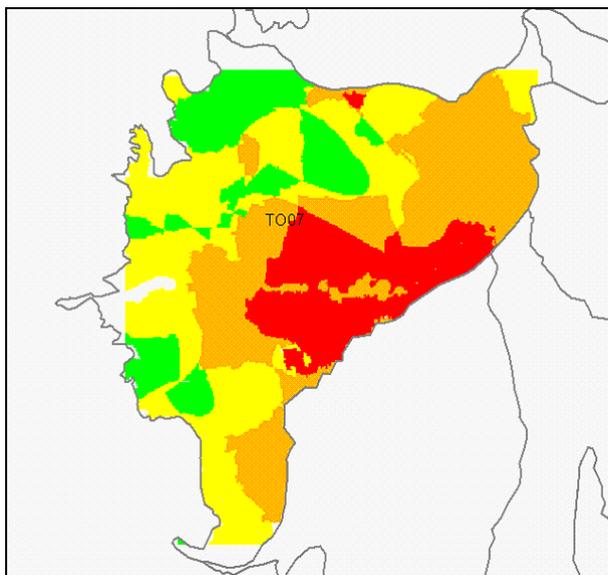


Figura 3-22 – Stato/Surplus

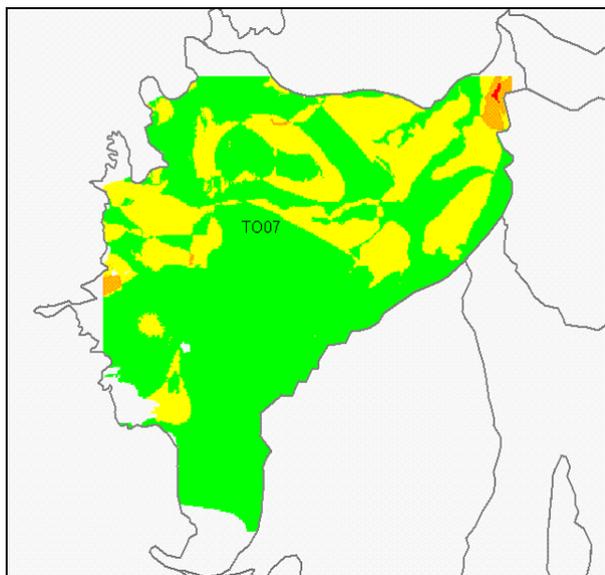


Figura 3-23 – Stato/IPDF

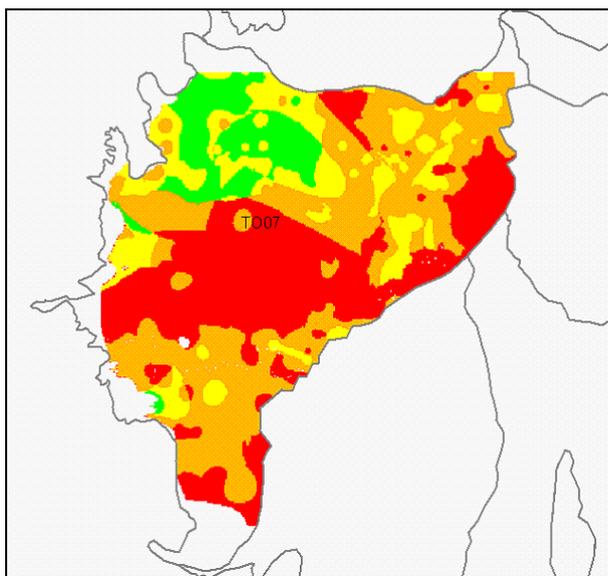


Figura 3-24 – Stato/TOT

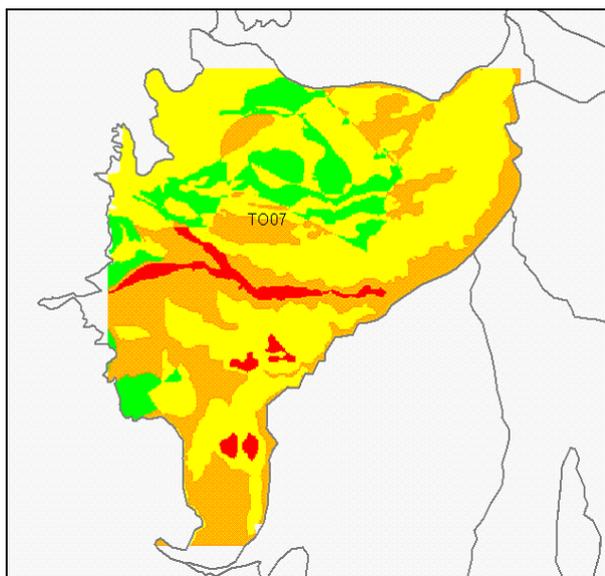


Figura 3-25 – Stato/Capacità protettiva

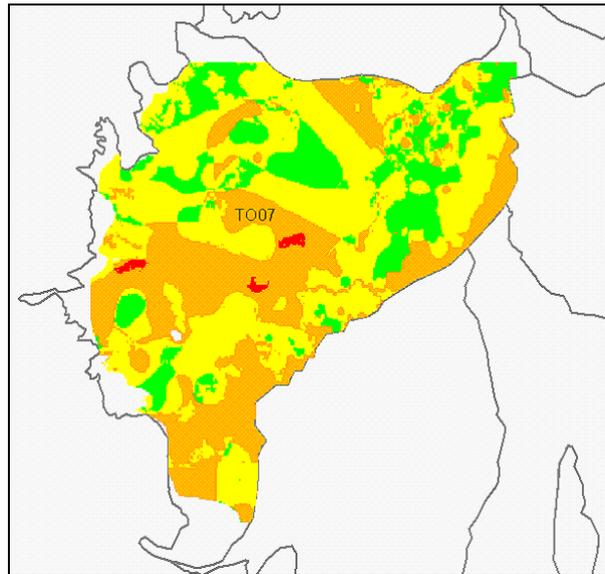


Figura 3-26 – Stato/GOD

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

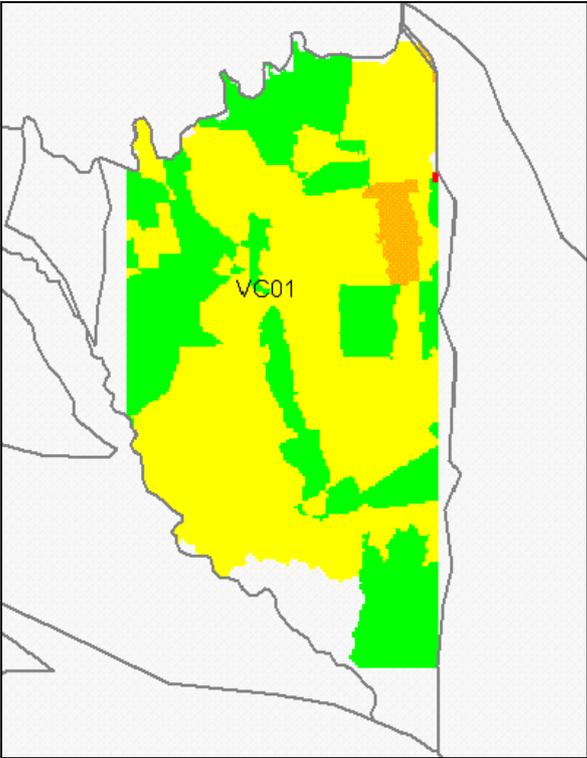


Figura 3-27 – Stato/Surplus

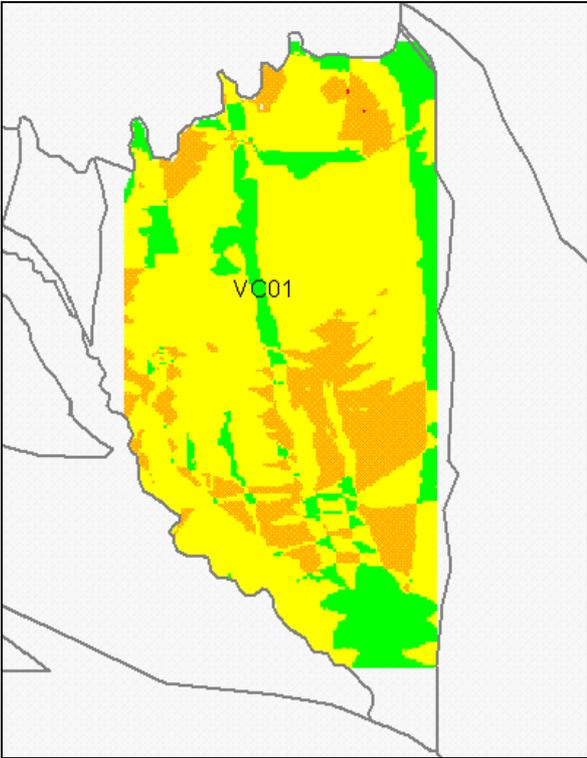


Figura 3-28 – Stato/IPDF

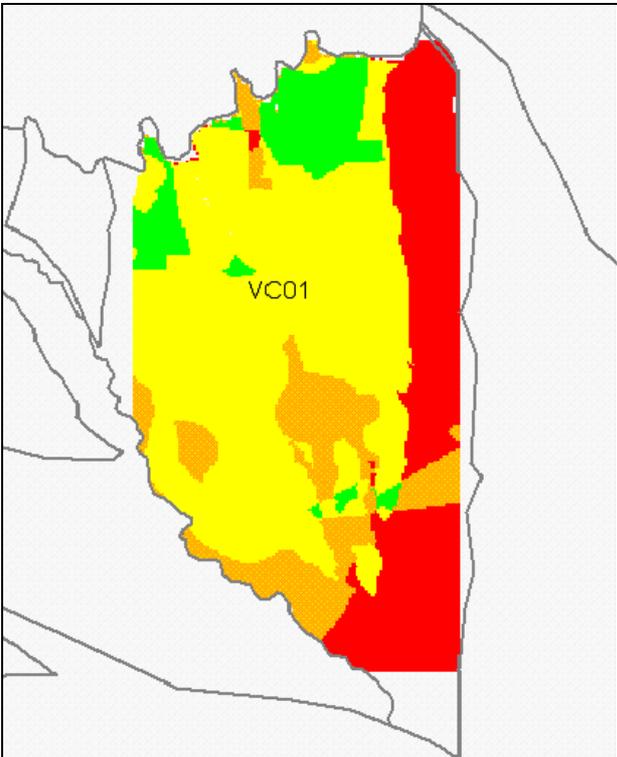


Figura 3-29 – Stato/TOT

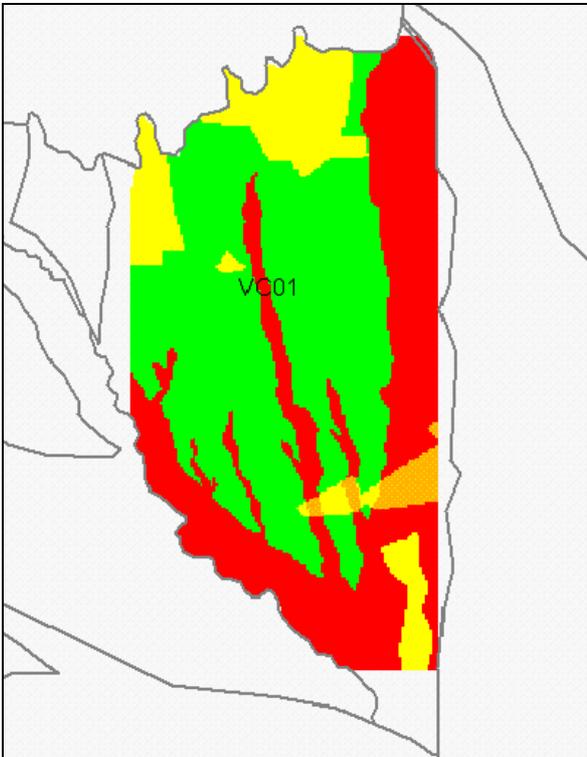


Figura 3-30 – Stato/Capacità protettiva

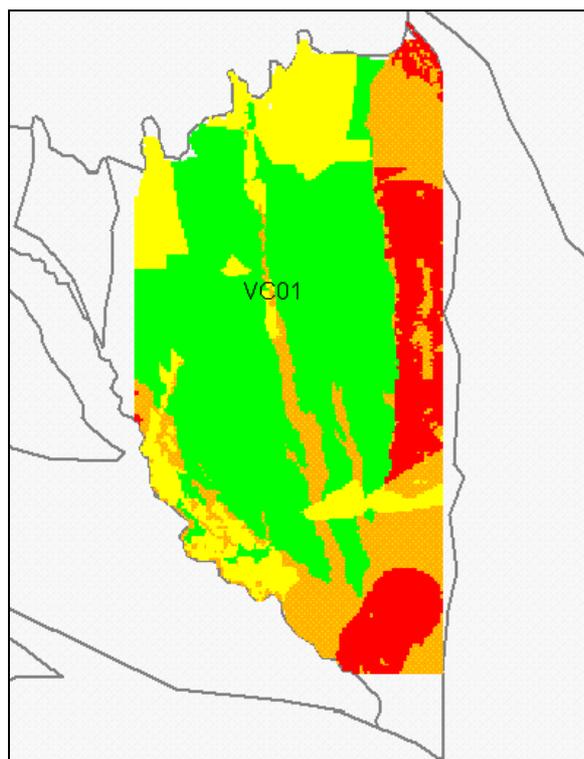


Figura 3-31 – Stato/GOD

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

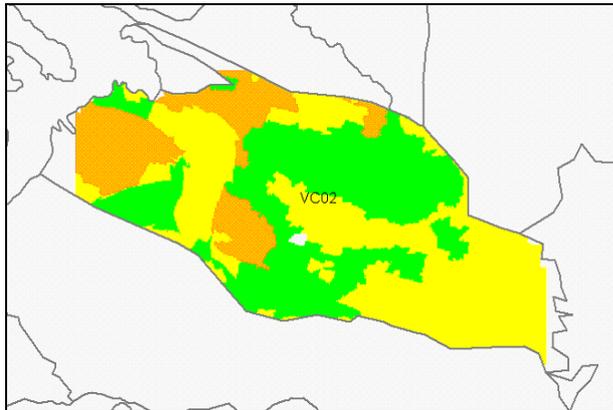


Figura 3-32 – Stato/Surplus

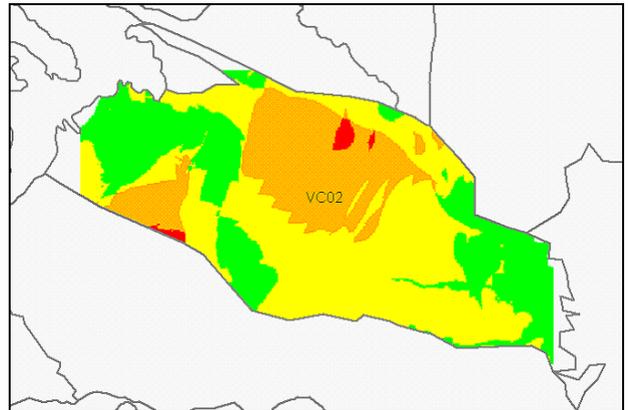


Figura 3-33 – Stato/IPDF

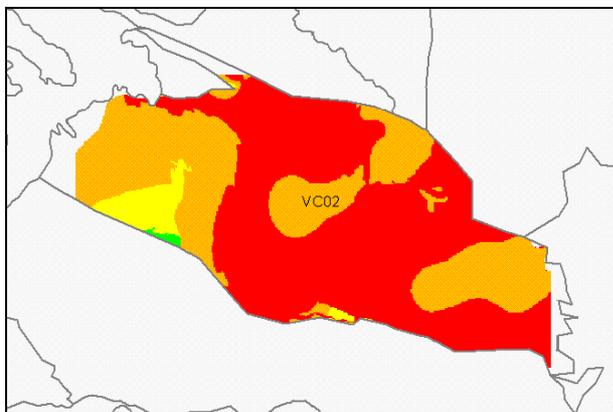


Figura 3-34 – Stato/TOT

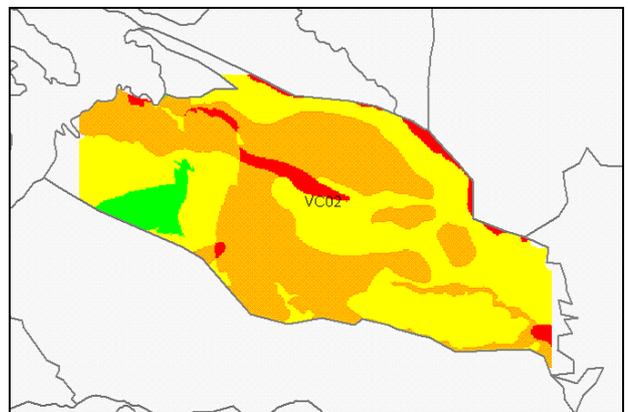


Figura 3-35 – Stato/Capacità protettiva

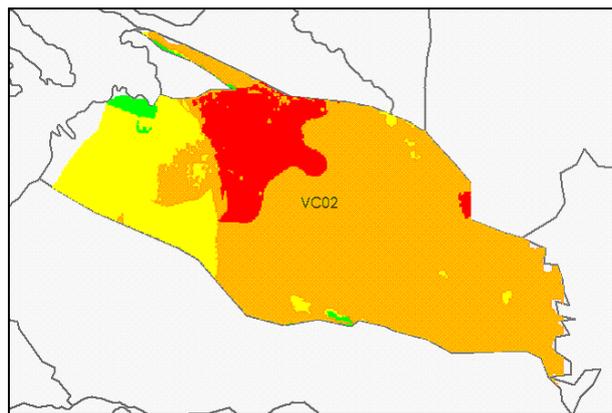


Figura 3-36 – Stato/GOD

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

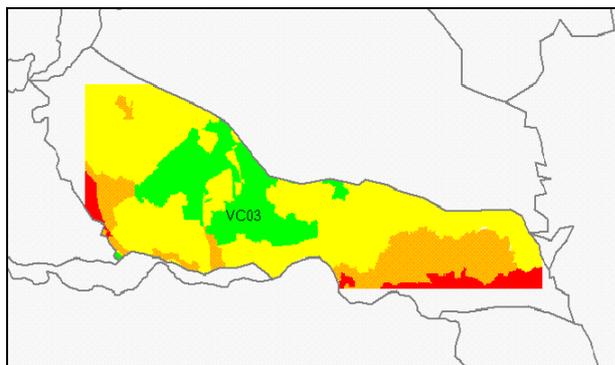


Figura 3-37 – Stato/Surplus

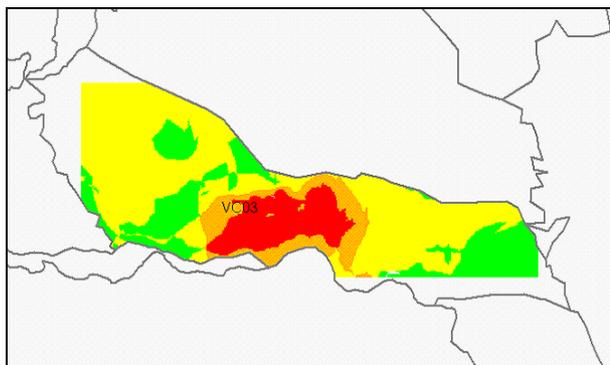


Figura 3-38 – Stato/IPDF

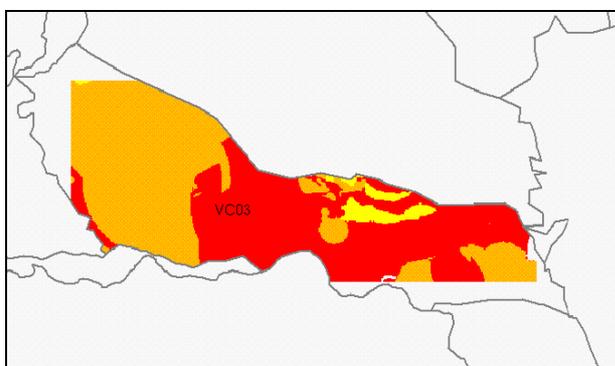


Figura 3-39 – Stato/TOT

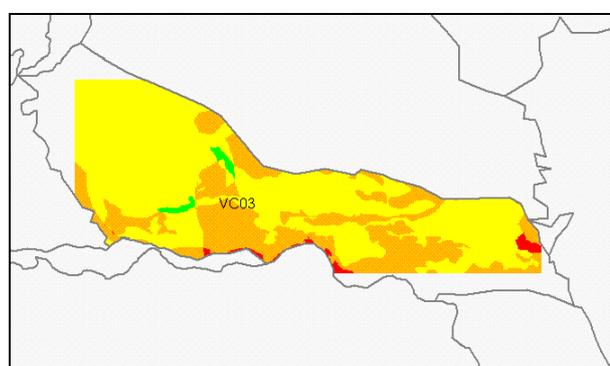


Figura 3-40 – Stato/Capacità protettiva

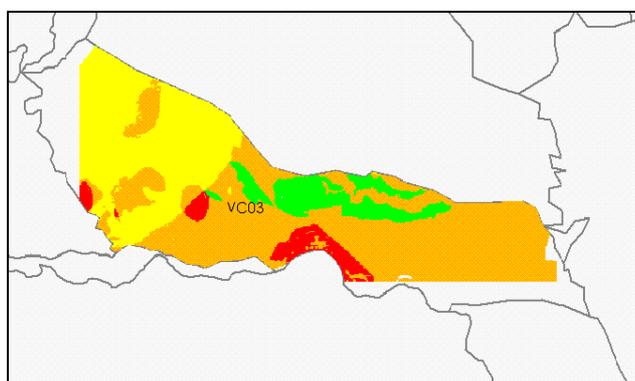


Figura 3-41 – Stato/GOD

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.

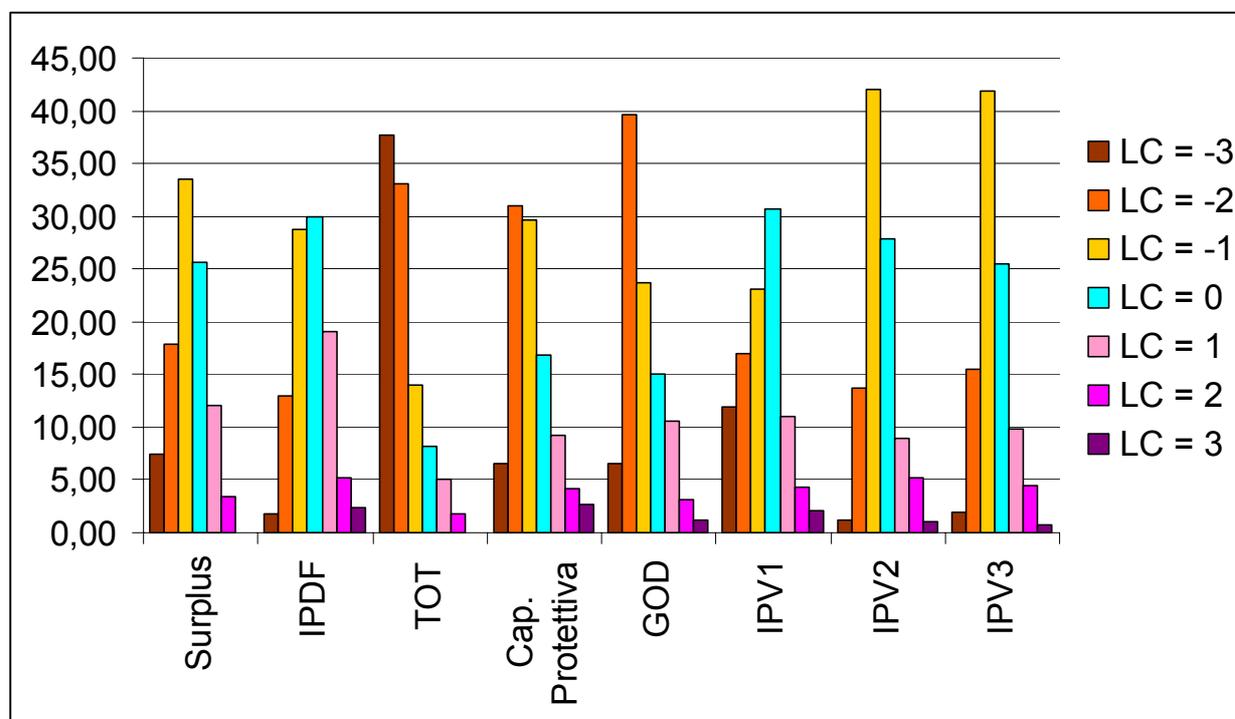


Figura 3-42 – Riepilogo valori in percentuale del LC

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.

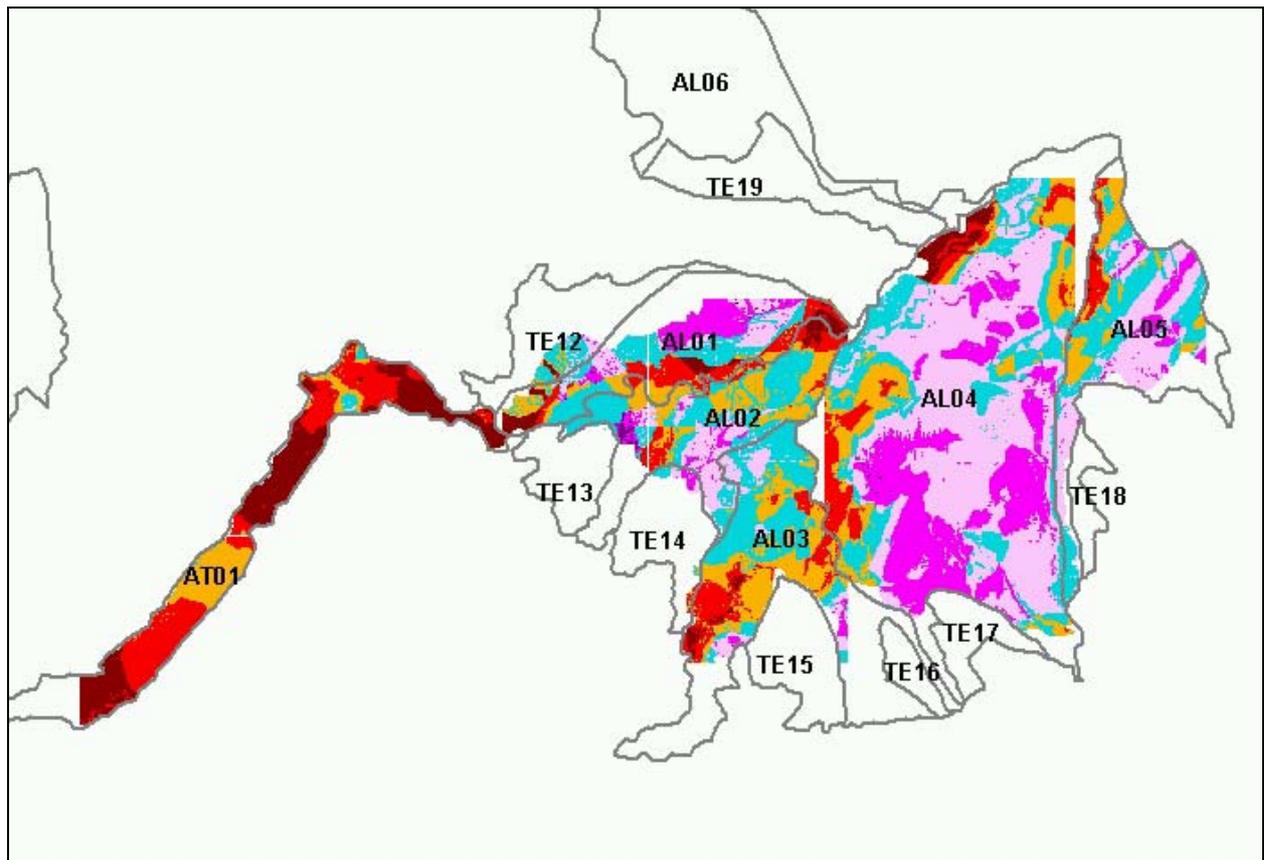


Figura 3-43 – Cartogramma relativo al livello di concordanza (LC) tra stato e SINTACS

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

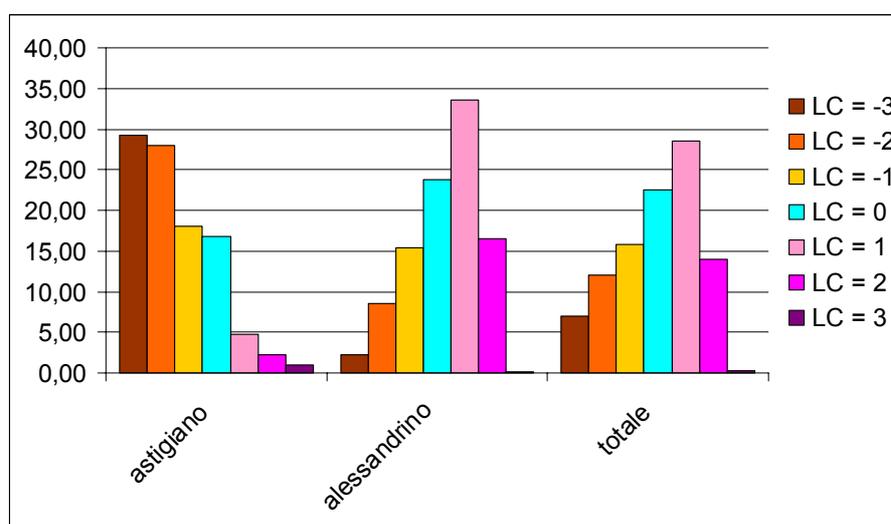


Figura 3-44 – Riepilogo valori in percentuale del LC (Stato – SINTACS)

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.