



Scuola Superiore
Sant'Anna

VALUTAZIONI DI SOSTENIBILITÀ A SUPPORTO DEL SISTEMA
AGRICOLO PERIURBANO
DEL COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

RELAZIONE - PROGRAMMA DI ATTIVITÀ FASE A
ASSE 2

**Cartografia della vulnerabilità integrata all'inquinamento con approfondimenti sulla
potenziale contaminazione da agrofarmaci**

COORDINATORE SCIENTIFICO
PROF. ENRICO BONARI

INDICE

1. Introduzione	3
1.1 Dati utilizzati	3
2. Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento dell'acquifero superficiale	4
3. Vulnerabilità dell'acquifero superficiale ai fitofarmaci	11
3.1 Dati utilizzati	14
3.2 Discussione	23
4. Conclusioni	23
Bibliografia	25

1. Introduzione

Come specificato nella Convenzione in oggetto, nel territorio comunale di San Giuliano Terme le acque superficiali e della falda freatica, pur non essendo utilizzate per scopi idropotabili, hanno ancora oggi importanza per il loro uso irriguo sia per aziende di grandi dimensioni sia per la conduzione di orti familiari. Il Comune di San Giuliano Terme (di seguito nel testo Comune SGT), affidando negli anni passati studi sulla vulnerabilità intrinseca degli acquiferi e sulla protezione delle risorse idriche sotterranee del versante sangiulianese del Monte Pisano, atti a caratterizzare l'assetto idrologico ed idrogeologico del territorio, ha inteso valorizzare le suddette risorse.

Nel presente elaborato, a completamento di quanto esposto per l'Asse 1, si presenta la Carta della Vulnerabilità integrata all'inquinamento dell'acquifero superficiale (Cap. 2) ed una analisi sul potenziale rischio di contaminazione da agrofarmaci sempre per l'acquifero superficiale per il territorio comunale (Cap. 3).

Tutte le analisi illustrate sono state svolte implementando un sistema informativo territoriale dedicato. Le attività di questo Asse sono state svolte dal Dott. Rudy Rossetto.

1.1 Dati utilizzati

Il presente studio si basa su numerosi dati acquisiti da documenti editi ed inediti e cartografie sia in formato vettoriale che raster. I principali documenti di riferimento sono costituiti da:

- Relazione Vulnerabilità (Comune SGT, 2002);
 - Relazione monitoraggio acquifero freatico (Comune SGT, 2009);
- Di seguito sono elencati i dati utilizzati e la fonte del dato stesso.
- Carta della vulnerabilità all'inquinamento (Comune SGT, 2002);
 - Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento (Provincia di Pisa, 2004).
 - Cartografia dell'uso del suolo (Provincia di Pisa, 2009);
 - dati sulla conducibilità elettrica e salinità del Fiume Morto (Comune di Pisa);
 - dati piezometrici anni 2002, 2003, 2006 e 2009 (Comune SGT -Studio LGS);
 - dati conducibilità elettrica (microS/cm) anno 2009 (Comune SGT -Studio LGS);
 - siti contaminati in corso di bonifica o per cui la procedura si è chiusa (ARPAT);
 - banca dati sottosuolo e risorse idriche BDSRI (Regione Toscana);
 - cartografia pedologica (Regione Toscana);
 - rete fognaria (Acque spa).

Dal punto di vista idrografico, il territorio del Comune di San Giuliano Terme è situato per una parte nei confini dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio (fiume che ne costituisce limite amministrativo a Nord) e per una parte in quello dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Per l'inquadramento del dominio investigato il presente studio fa riferimento a quanto presentato nella Relazione Vulnerabilità (Comune SGT, 2002) e corrisponde alla porzione di pianura del Comune SGT.

2. Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento dell'acquifero superficiale

La Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento è uno strumento da utilizzare nella pianificazione degli usi delle acque, nella gestione del territorio, nella prevenzione e previsione dell'inquinamento potenziale e nella preparazione dei Piani Regolatori e di monitoraggio. La carta prodotta consiste nella sovrapposizione georiferita dei tematismi relativi:

- al campo di moto dell'acquifero superficiale;
- al reticolo idrografico;
- ai bacini idrici superficiali;
- ai centri di pericolo (CDP) ed in particolare ai punti di recapito della rete fognaria, alla presenza di centri industriali/commerciali e di serre stabili;
- pozzi.

La base della cartografia qui elaborata (oltre ai tematismi topografici derivati dalla CTR vettoriale della Regione Toscana) è costituita dalla Carta della Vulnerabilità Intrinseca all'inquinamento prodotta dal Comune SGT (2002). In tale Carta la pianura viene suddivisa in 4 classi a Vulnerabilità, rispettivamente, Alta, Medio-Alta, Medio-Bassa e Bassa. Il metodo utilizzato per la redazione di tale cartografia è stato sviluppato nello studio citato da Acqua e Terra Studio Associato di Geologia ed è un metodo semplificato (rispetto a standard quali ad es. SINTACS; Civita, 2005).

Per confronto si riporta la cartografia della vulnerabilità prodotta dalla Provincia di Pisa (Fig. 1), visualizzabile all'indirizzo web: <http://sit.provincia.pisa.it/sisterims/html/REPERTORIO/suolo.htm>. In questa cartografia, le aree di pianura sono classificate a Pericolosità Bassa, Media e Elevata (ndr: la legenda riporta il termine pericolosità; riteniamo si tratti di un banale errore di trascrizione web e viene qui inteso, come presentato anche nel sito web, nel senso di vulnerabilità). Le principali differenze tra le due cartografie consistono in una maggiore attribuzione di aree a vulnerabilità bassa nella cartografia del Comune di SGT ed in una diversa definizione dell'andamento dei paleovalvei (ai quali corrispondono le aree a vulnerabilità più elevata in entrambe le cartografie).

Si vuole solo rilevare come il monitoraggio piezometrico effettuato nel Marzo 2009 (Comune di SGT, 2009) metta in evidenza che in gran parte del territorio di pianura la soggiacenza sia minore di 1.1 m (Fig. 2), limite che la metodologia utilizzata in Comune SGT (2002) prevede per l'appartenenza quantomeno alla classe Medio-Bassa. In virtù di tale considerazione la classe di vulnerabilità più diffusa sarebbe, analogamente a quanto presentato nella cartografia della Provincia

di Pisa, quella a Vulnerabilità Medio-Bassa. Poiché comunque entrambe i metodi non sono stati validati, si è deciso di utilizzare la cartografia prodotta dal Comune SGT, tentando una validazione (di cui si dirà più avanti) per mezzo dei dati sui siti contaminati forniti da ARPAT.

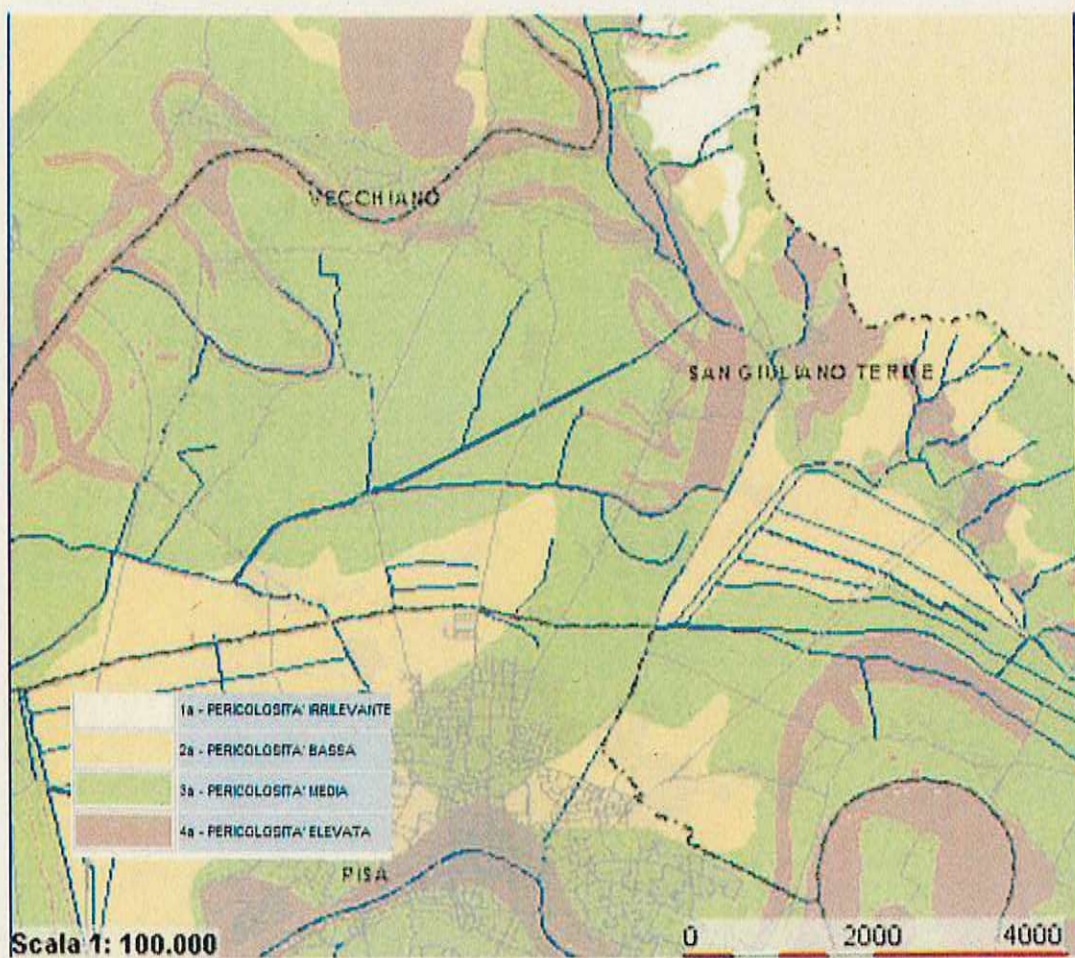


Fig. 1. Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento (Provincia di Pisa, 2004).

Alla cartografia della vulnerabilità intrinseca sono stati sovrapposti i tematismi sopra elencati al fine di ottenere la Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento dell'acquifero superficiale (Fig. 3), di cui di seguito si fornisce una breve discussione, non esaustiva in quanto tale documento dovrà essere letto ed interpretato a seconda degli obiettivi in fase di pianificazione e di valutazione degli impatti, ad es. di potenziali opere antropiche.

L'andamento del campo di moto delle acque sotterranee è stato ottenuto per mezzo di interpolazione con algoritmo Kriging utilizzando i dati del summenzionato monitoraggio piezometrico del Marzo 2009. E' da rilevare come tale analisi non ricopra l'intero territorio comunale, ma il dominio compreso tra la SS Aurelia e la base dei rilievi dei Monti Pisani.

Fig. 2. Carta della soggiacenza derivata utilizzando i dati del monitoraggio piezometrico del Marzo 2009 (Comune SGT, 2009).

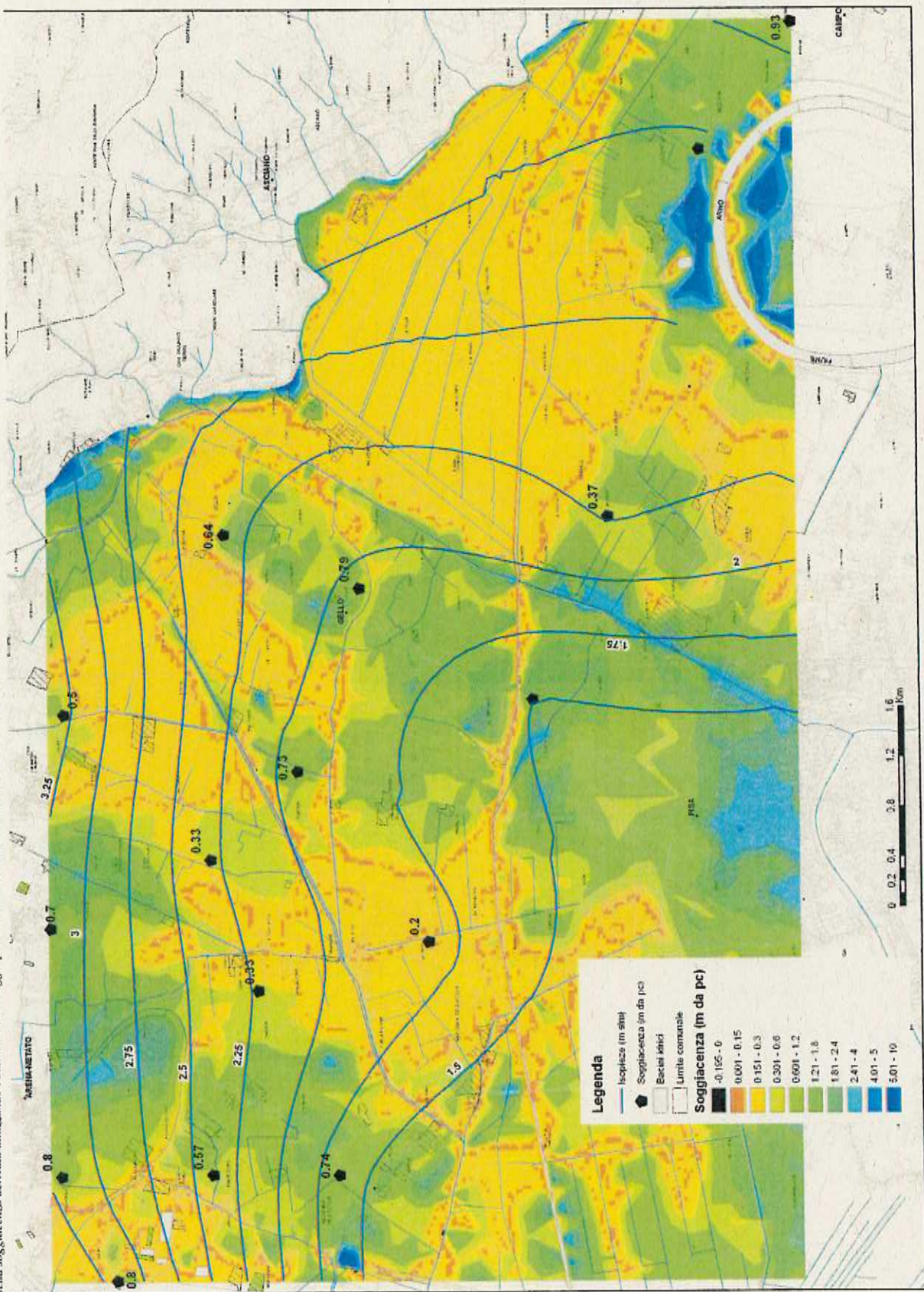
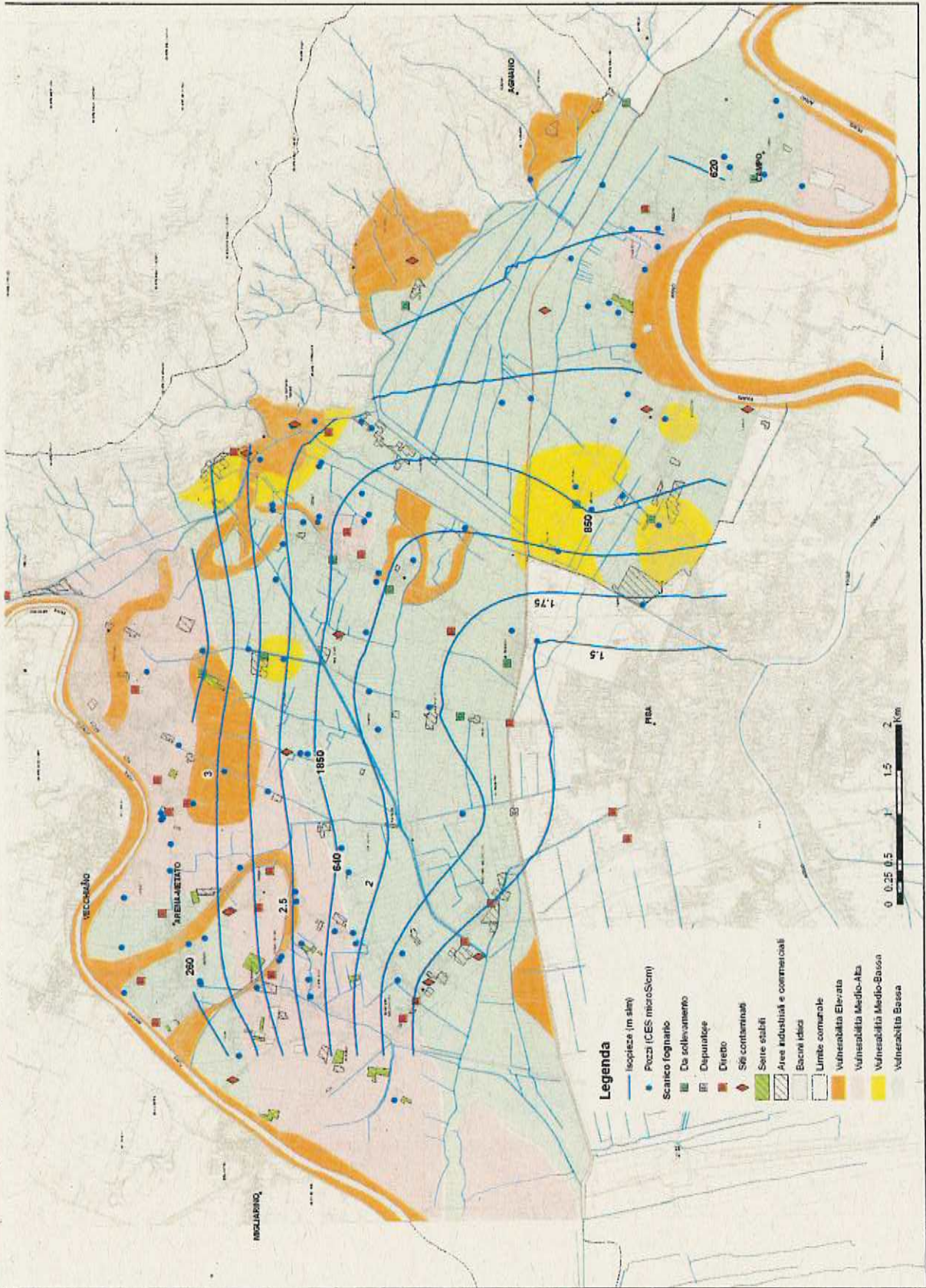


Fig. 3. Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento dell'acquifero superficiale.



Classe	n. principi attivi	Media	Mediana	Dev. st.
Bassa	8	0,003	0,001	0,003
Media	7	0,057	0,065	0,038
Alta	18	4,783	0,383	15,884

Tab. 2. Statistici descrittivi del rapporto di lisciviazione per le classi di lisciviazione.

Seguendo quanto esposto sempre in Schlosser et al. (2002), i principi con rapporto minore di 0.01 sono stati assegnati alla classe “bassa”, con rapporto compreso tra 0.01 e 0.1 alla classe “media”, con rapporto maggiore di 0.1 alla classe “alta”. Per ognuna di queste tre classi si è quindi realizzata una carta di vulnerabilità del territorio ai fitofarmaci.

E' chiaramente da sottolineare come in questo metodo siano implicite le assunzioni di uniformità nel territorio per quel che riguarda le caratteristiche climatiche (in particolar modo per quel che riguarda distribuzione ed intensità di eventi di pioggia), le pratiche agronomiche e le metodologie di utilizzo dei fitofarmaci.

3.1 Dati utilizzati

La Regione Toscana ha da poco completato la cartografia pedologica a scala 1:10.000 del territorio regionale. Pur disponendo di un dettaglio areale nella distinzione delle tipologie dei suoli apprezzabile (Fig. 5 Carta dei suoli; Regione Toscana, 2010a), purtroppo i valori dei parametri necessari per la determinazione dell'indice VIF (eq. 1.0) sono molto limitati (nel numero di poche unità). Pertanto è stato necessario applicare i parametri K , θ_{FC} , ρ_b e $\%OM$ come singolo valore a ciascun poligono relativo ad una determinata tipologia di suolo. Di seguito è presentata la descrizione dei parametri utilizzati per l'applicazione del modello al caso di studio.

Parametro K

Il parametro K è definito come la conducibilità idraulica del suolo saturo ed è utilizzato nel modello assumendo l'esistenza di un gradiente idraulico unitario; conseguentemente in questo caso è coincidente alla velocità darciana.

Ai fini della presente elaborazione i dati relativi a K per ogni tipologia di suolo nel dominio di studio sono stati derivati da quanto elaborato nel rapporto “Realizzazione delle unità di paesaggio delle tipologie pedologiche e unità cartografiche del bacino idrografico del Fiume Arno” e secondo quanto riportato nei database pedologici del bacino del Fiume Arno e Toscana Nord (Regione Toscana, 2010b).

Dall'andamento delle isopieze si evidenzia come importante area di ricarica il contatto tra i depositi della pianura e gli acquiferi in roccia dei Monti Pisani ed i relativi coni detritici/alluvionali. Altra area di ricarica è definita dal subalveo del Fiume Serchio nel tratto compreso tra Pappiana ed il Ponte Autostradale: tale area di ricarica, individuata anche analizzando i valori di CES presentati in Comune SGT (2007), necessiterebbe di conferme sperimentali per mezzo di rilevamenti dedicati del battente idraulico del Fiume Serchio. Essa indica come potenziali fenomeni di contaminazione delle acque del Fiume Serchio possano influenzare negativamente la qualità delle acque dell'acquifero. In tale elaborato non sono effettuate ulteriori considerazioni sugli scambi tra la rete delle acque superficiali e le acque sotterranee per mancanza di dati sui battenti idraulici. A tale proposito si osserva come alla base dei rilievi, i corsi d'acqua possano avere una funzione prevalente di ricarica dell'acquifero, mentre nella pianura, e precipuamente nelle aree di bonifica idraulica, di drenaggio. Naturalmente, in queste ultime un'inversione dei rapporti si può avere in occasione di periodi di piena.

Per quanto riguarda i centri di pericolo è stata valutata la presenza di bacini idrici, di scarichi fognari, di aree industriali e commerciali e di serre stabili.

I bacini idrici superficiali, legati alla passata escavazione di inerti e individuati nella cartografia con un limite rosso, dovrebbero essere oggetto di particolare attenzione poiché, essendo in connessione idraulica diretta con l'acquifero superficiale, costituiscono potenziali sorgenti di contaminazione. È interessante rilevare come queste aree ricadano in aree a vulnerabilità intrinseca da Medio-Alta a Elevata.

La presenza di scarichi fognari è impattante in quanto, qualora il reticolo in cui recapitano sia in connessione idraulica diretta con le acque di falda, costituiscono una sorgente continua nel tempo di inquinamento. D'altra parte è ben noto che alle nostre latitudini nel reticolo idrografico nel periodo estivo i deflussi sono spesso unicamente legati al recapito di acque reflue urbane. Il reticolo viene quindi a costituire un vettore lineare dell'inquinamento. A titolo di esempio si riporta che nella Sintesi del piano di gestione, l'Autorità di Bacino del Fiume Serchio (2010) riporta per il Fosso Doppio uno stato qualitativo "scarso" ed un rischio essenzialmente legato alla presenza di scarichi fognari senza trattamento e di attività agricole. Gli scarichi fognari sono stati suddivisi, sulla base dei dati forniti da Acque spa, in diretti (i più impattanti) e da sollevamento o depuratore. Queste ultime due tipologie recapitano reflui in cui le concentrazioni di contaminanti dovrebbero essere a tabella. Nel territorio comunale si contano circa 30 scarichi diretti, 11 da sollevamento ed un unico scarico da depuratore (San Iacopo) che si immette nel Fiume Morto. A tale proposito si vuole rilevare come quest'ultimo risenta negativamente, ad ispezione visiva, degli afflussi derivanti dal Fosso Pietrasantina.

Per quanto riguarda invece i valori di CES monitorati presso il sensore Fiume Morto Ferrovia, si deve rilevare che i dati forniti dal Comune di Pisa (Fig. 4) mostrano sensibili variazioni tra l'inizio e la fine della primavera (dati relativi al 2011). Tali variazioni possono essere connesse o ad un aumento della concentrazione di sali di origine antropica, oppure ad una risalita di acqua di mare lungo l'asta del corso d'acqua. Ovviamente questo aumento può causare, in caso di ricarica dell'acquifero, un incremento della salinità delle acque sotterranee, che, data la bassa soggiacenza potrebbe poi comportare una salinizzazione dei suoli.

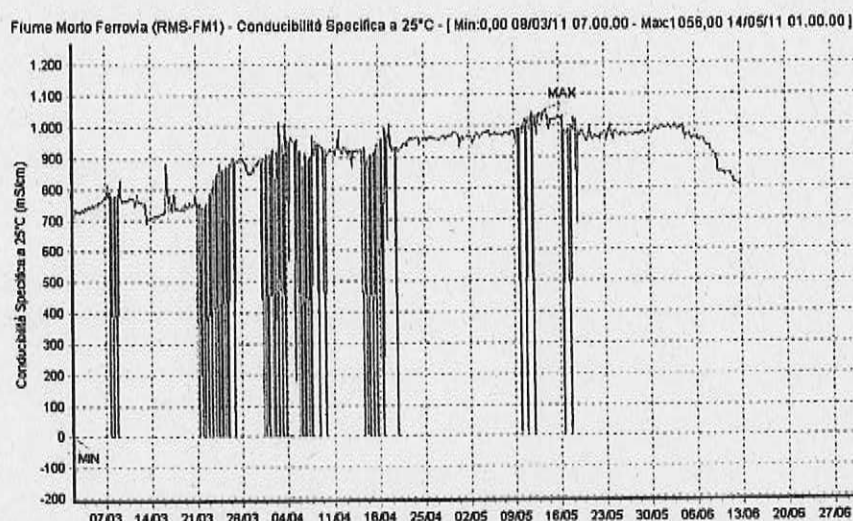


Fig. 4. Monitoraggio della conducibilità elettrica presso Fiume Morto Ferrovia.

Nella Carta sono quindi riportati i centri di pericolo multipli quali le serre stabili e le aree industriali e commerciali. Le prime ricoprono una superficie di circa 70 Ha e sono quasi esclusivamente situate in aree a vulnerabilità intrinseca da Medio-Alta ad Elevata. Se alcune di queste si sono già dotate di sistemi di raccolta delle acque prodotte durante la coltivazione, sarebbe raccomandabile che tale misura fosse adottata anche dagli impianti che ancora non ne sono provvisti.

Le aree industriali e commerciali, seppur limitate nel territorio comunale, possono essere cause di locale inquinamento. A tale proposito è interessante osservare, come sulla base dei dati forniti da ARPAT i fenomeni di inquinamento della falda accertati nell'area di interesse siano nel numero di 12, ed interessino:

- 2 ex discariche RSU (Colignola e S. Martino Ulmiano);
- 2 ex attività produttive;
- 1 sversamento sull'All;
- 6 distributori di carburanti;
- 1 attività agricola.

E' inoltre da rilevare, che se sono stati accertati rispettivamente 3 eventi in aree a Elevata vulnerabilità, 1 in aree a vulnerabilità Medio-Alta, ben 8 sono stati accertati in aree a vulnerabilità Bassa. Questi pochi dati mettono chiaramente in evidenza la necessità di validare metodi e applicazioni per la valutazione della vulnerabilità intrinseca con dati sperimentali prima di un loro utilizzo.

Nel contesto della presente trattazione, le aree agricole costituiscono potenziali fonti diffuse di inquinamento, di cui estesa trattazione è stata effettuata nell'Asse 1 del presente elaborato per quanto riguarda l'impatto derivanti dall'utilizzo di fertilizzanti e di fitofarmaci. Per tale motivo e data l'estensione delle superfici agricole nel territorio comunale queste non sono state riportate nella Carta. Un approfondimento sulla vulnerabilità dell'acquifero superficiale all'utilizzo di fitofarmaci è di seguito presentato nel Capitolo 3. L'unico dato sulla effettiva presenza di contaminazioni di origine agricola (fornito da ARPAT) sembra indicare che la presente modalità di conduzione delle attività agricole non comporta reali rischi di inquinamento per la falda. Questo evento di contaminazione potrebbe inoltre essere responsabile del più elevato valore di CES rilevato nel territorio comunale nel 2009 (1850 microS/cm). Nella stessa area, limitrofa al Monastero delle Benedettine, tra Via S. Jacopo e Fosso Baronti, in Comune SGT (2007) si evidenziava la presenza di anomali valori di CES. Come evidenziato nel suddetto rapporto, l'origine di questi valori rimane tuttora da chiarire. Valori anomali di CES (tra 800 e 1500 microS/cm) sono potenzialmente da porre in relazione, poiché in corrispondenza di centri abitati, a fenomeni di contaminazione derivanti dallo scarico di reflui fognari. Un elevato valore di CES (oltre 3000 microS/cm; Comune SGT, 2007) è stato inoltre rilevato in un pozzo in prossimità dell'incrocio tra Fosso Vicinaia e Via dei Condotti.

In carta è inoltre presentata una selezione di pozzi attestati nell'acquifero superficiale. Poiché la risorsa è essenzialmente usata a fini irrigui, questi pozzi sono da considerarsi come potenziali obiettivi della contaminazione; inoltre, nei casi in cui acque sotterranee contaminate siano drenate da corsi d'acqua superficiali, gli ecosistemi dipendenti da tali acque costituiscono altrettanti bersagli della contaminazione. E' comunque infine da rilevare, che scorrette pratiche quali pulitura e lavaggi di serbatoi, utilizzati per l'applicazione di fertilizzanti e fitofarmaci, in prossimità di pozzi (con spesso scadenti caratteristiche costruttive) comportano un elevato rischio di contaminazione della falda, in quanto mettono direttamente in connessione (saltando l'effetto di attenuazione della zona insatura) il contaminante con le acque sotterranee. E' ben noto che un adeguato supporto tecnico agli agricoltori che tratti anche gli aspetti sopra discussi, costituisce il primo sistema di prevenzione della contaminazione delle acque sotterranee.

3. Vulnerabilità dell'acquifero superficiale ai fitofarmaci

Al fine di valutare la vulnerabilità ai fitofarmaci nel territorio di pianura del Comune di San Giuliano Terme si è seguito il metodo presentato in Schlosser et al. (2002), denominato *Vulnerability Index' (VI) model*, qui definito *Indice di Vulnerabilità ai Fitofarmaci (VIF)*, validato con successo dai suoi estensori per mezzo di confronto con risultati analitici del ritrovamento (o meno) di principi attivi nelle acque di falda.

Il metodo utilizzato:

- si basa sul trasporto advettivo in stato stazionario del fitofarmaco attraverso la zona vadosa, includendo sorbimento e degradazione;
- è una modifica del modello di vulnerabilità *Leaching Potential Index (LPI; Meeks and Dean, 1990)*;
- definisce un indice di vulnerabilità, per una determinata porzione di territorio, derivato dalla seguente relazione:

$$VIF = \frac{200K\theta_{FC}}{z\rho_b(\%OM) K_{OC}} \frac{t_{1/2}}{K_{OC}} F_{DGW} \quad (1.0)$$

dove:

K è la conducibilità idraulica satura del mezzo poroso [m/gg];

θ_{FC} è il contenuto d'acqua alla capacità di campo (adimensionale);

z è lo spessore di suolo superficiale nel quale si verificano la maggior parte dei processi di sorbimento e biodegradazione [m];

ρ_b è la densità apparente [g/cm³];

(%OM) è il contenuto in materia organica in percentuale (adimensionale);

$t_{1/2}$ è il tempo di dimezzamento [giorni, gg];

K_{OC} è coefficiente di ripartizione carbonio organico/acqua [ml/g];

F_{DGW} è un fattore che tiene conto della soggiacenza (o anche franco di coltivazione) della falda (adimensionale).

Nel metodo originale una volta ottenuto il valore dell'indice, questo viene assegnato a una classe di vulnerabilità secondo i seguenti valori:

- i) VIF tra 0 e 9: vulnerabilità bassa;
- ii) VIF tra 9 e 99: vulnerabilità media;
- iii) VIF maggiore di 99: vulnerabilità alta.

L'estensione areale del dominio studiato è limitata alla disponibilità dei dati, ed, in prima analisi al dominio di spazio per cui esistono dati sulla soggiacenza della falda (Fig. 2). Per tale dato si è utilizzato il rilevamento prodotto dallo Studio LGS nel 2009 (Comune SGT, 2009). Il dominio investigato è stato suddiviso in celle di dimensione 10X10m.

Poiché al variare del tipo di coltura anche i relativi principi attivi utilizzati variano, e le colture effettuate variano nel tempo, sarebbe necessario costruire una carta della vulnerabilità per ogni principio attivo. Ciò risulterebbe alquanto complesso e laborioso, richiedendo ad es. la definizione, dei dati di ingresso e l'effettuazione di elaborazioni per almeno 33 principi attivi il cui utilizzo è stato rilevato nel territorio comunale. Al fine di giungere ad una analisi complessiva della vulnerabilità dell'acquifero superficiale ai fitofarmaci, si è deciso, in accordo con Schlosser et al. (2002), di utilizzare un approccio basato sul raggruppamento in classi dei principi attivi. Queste classi sono state definite sulla base del rapporto di lisciviazione di ogni principio attivo, che ne esprime la potenziale lisciviazione. Il rapporto di lisciviazione (LR) si basa sulle proprietà del trasporto di un principio attivo (quali degradazione biochimica e sorbimento). Ed è definito da:

$$LR = \frac{t_{1/2}}{K_{OC}} \quad (2.0)$$

dove

$t_{1/2}$ è il tempo di dimezzamento [giorni, gg]

K_{OC} è coefficiente di ripartizione carbonio organico/acqua [ml/g]

(in mancanza del K_{OC} si è utilizzato il K_{foc} [ml/g]).

Il rapporto di lisciviazione costituisce quindi una stima della tendenza di un fitofarmaco a biodegradarsi e ad essere sorbito alla materia organica nel suolo. Maggiore il tempo di dimezzamento, minore degradazione subirà il composto muovendosi attraverso il suolo: una maggiore massa di principio attivo sarà perciò attesa nelle acque sotterranee. Fitofarmaci con un $t_{1/2}$ maggiore comporteranno un rapporto maggiore e determineranno una maggiore vulnerabilità.

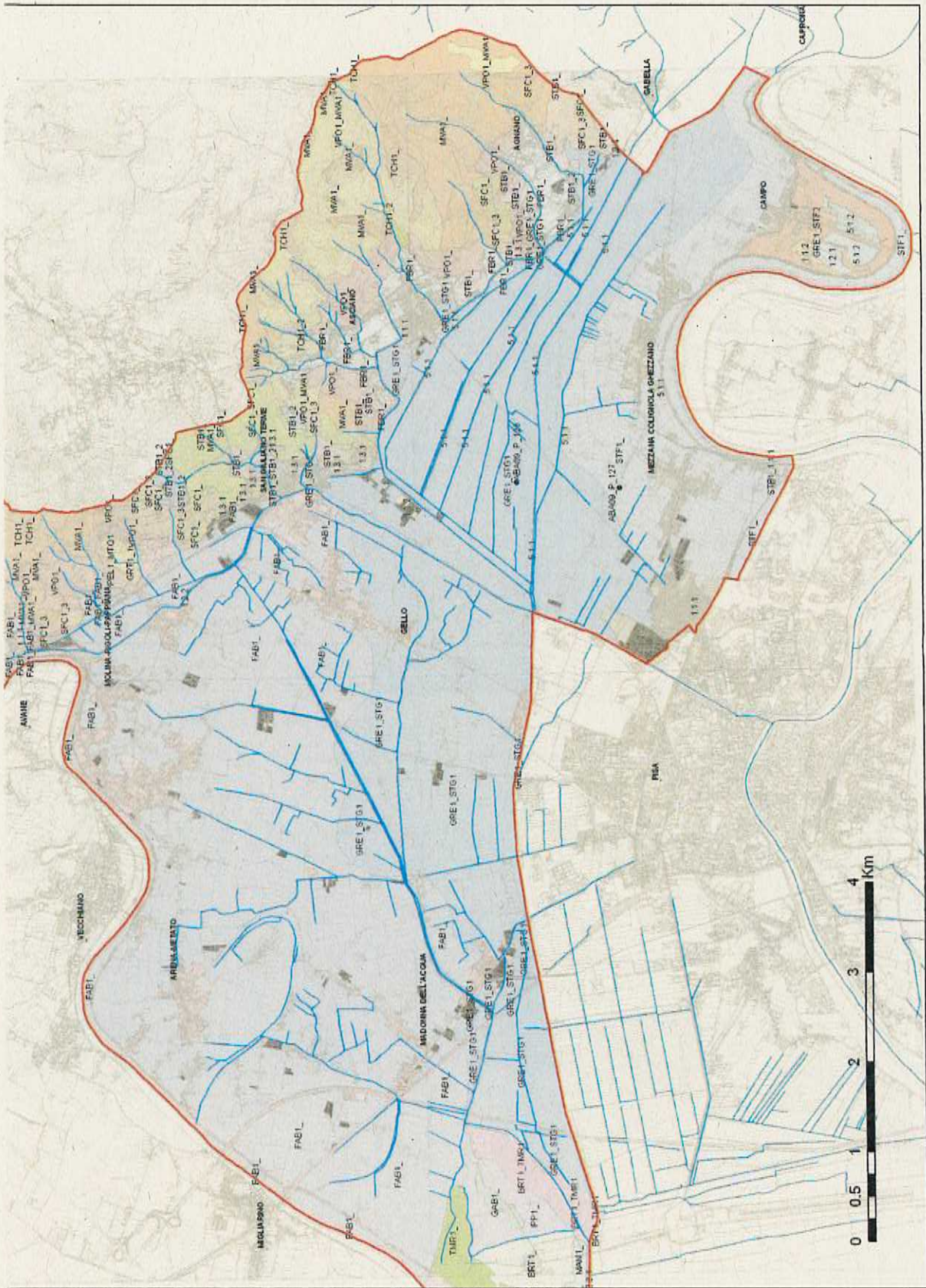
Di contro, composti con un elevato K_{OC} presenteranno una maggiore tendenza al sorbimento e quindi necessiteranno di tempi più lunghi per raggiungere la tavola d'acqua, permettendo di conseguenza tempi più lunghi per la degradazione e una minore massa attesa nelle acque sotterranee.

I principi attivi utilizzati nel territorio comunale, presentati nella prima parte della relazione (ASSE 1), sono stati suddivisi in tre classi a lisciviazione rispettivamente bassa, media e alta sulla base del rapporto LR (Tab. 1 e Tab. 2).

Principio attivo	K _{oc} (ml/g)	K _{roc} (ml/g)	t _{1/2} (gg)	Rapporto di lisciviazione	Classe
cloquintocet-mexyl	9856	NA	5	0,001	Bassa
clodinafop-propargyl	NA	1466	1	0,001	Bassa
propaquizafop	2220	NA	2	0,001	Bassa
quizalofop-etile isomero d	NA	1816	2	0,001	Bassa
quizalofop-p-etile	NA	1816	2	0,001	Bassa
oxifluorfen	NA	7566	35	0,005	Bassa
pendimetanil	17581	NA	90	0,005	Bassa
glyphosate	1435	NA	12	0,008	Bassa
ziram	NA	3007	30	0,010	Media
aclonifen	NA	7126	117	0,016	Media
cycloxydim	59	NA	1	0,017	Media
mefenpir-dietile	634	NA	18	0,028	Media
linuron	739	NA	48	0,065	Media
s-metolachlor	NA	226	15	0,066	Media
acetoclor puro	156	NA	14	0,090	Media
2,4-D	88	NA	10	0,114	Alta
thifensulfuron methyl	28	NA	4	0,143	Alta
oxadiazon	3200	NA	502	0,157	Alta
metazaclor	54	NA	9	0,167	Alta
MCPA	NA	74	15	0,203	Alta
metsulfuron metile	NA	40	10	0,250	Alta
metribuzin	NA	38	12	0,316	Alta
terbutilazina	NA	231	75	0,325	Alta
imazamox	NA	67	25	0,373	Alta
triasulfuron	60	NA	23	0,383	Alta
tribenuron metile	35	NA	14	0,400	Alta
rimsulfuron	50	NA	24	0,480	Alta
dicamba	NA	12	8	0,667	Alta
nicosulfuron	30	NA	26	0,867	Alta
lenacil	165	NA	179	1,085	Alta
flonicamid	2	NA	3	1,500	Alta
iodosulfuron-metil-sodio	NA	1	8	8,000	Alta
mesosulfuron-metile	NA	1	66	66,000	Alta

Tab. 1. Proprietà, rapporto di lisciviazione e attribuzione alla classe dei principi attivi identificati nel dominio di studio.

Fig. 5. Carta dei suoli.



Parametro θ_{FC}

Il parametro θ_{FC} è il contenuto d'acqua alla capacità di campo. In tale condizione l'acqua è presente in due stati:

- acqua igroscopica;
- acqua capillare. A differenza del terreno alla capacità idrica massima, pertanto, il contenuto d'acqua corrispondente alla capacità di campo non comprende l'acqua gravitazionale. L'effetto della tensione matriciale è tale che l'acqua presente nel terreno alla capacità di campo può essere allontanata solo dall'assorbimento radicale oppure per evaporazione, perciò la capacità di campo rappresenta il limite massimo entro il quale si possono costituire riserve idriche, nel terreno, utilizzabili dalle piante.

Ai fini della presente elaborazione i dati relativi a θ_{FC} per ogni tipologia di suolo nel dominio di studio sono stati derivati da quanto elaborato nel rapporto "Realizzazione delle unità di paesaggio delle tipologie pedologiche e unità cartografiche del bacino idrografico del Fiume Arno" e secondo quanto riportato nei database pedologici del bacino del Fiume Arno e Toscana Nord (Regione Toscana, 2010b).

Parametro z

Questo parametro corrisponde allo spessore di suolo superficiale nel quale si verificano la maggior parte dei processi di sorbimento e biodegradazione (non quindi lo spessore della zona insatura). È ben noto che la maggior parte della materia organica e dei processi biologici sono presenti nei primi metri del sottosuolo. Nel caso in esame non disponendo di dati utili a definire il parametro si è scelto di assegnare un unico valore, pari a 1m, a tutto il dominio di studio.

Parametro ρ_b

Nel dominio di studio sono state eseguite solo due prove per la determinazione della densità apparente effettuate durante la realizzazione della cartografia pedologica:

- una sul suolo STF1, che fornisce un valore medio $\rho_b = 1.53 \text{ g/cm}^3$;
- una sul suolo GRE1_STG1, che fornisce un valore medio pari a $\rho_b = 1.49 \text{ g/cm}^3$.

Non essendo disponibili ulteriori dati atti a caratterizzare le altre tipologie di suolo presenti, si è assegnato un unico valore al dominio di studio pari a $\rho_b = 1.5 \text{ g/cm}^3$.

Parametro %OM

Circa il contenuto in materia organica è valido quanto detto sopra per la densità apparente. I due saggi sopra citati riportano un contenuto medio in materia organica rispettivamente pari a 3.24% e

5.6%. Poiché nel dominio di studio non sono presenti suoli torbosi, in maniera cautelativa si è assegnato un valore unico a tutto il dominio un contenuto in materia organica uguale al 3%. L'esperienza degli scriventi è, per terreni simili a quelli in studio, comunque di un contenuto in materia organica generalmente inferiore al 2%.

Parametro F_{DGW}

Questo parametro è definito da un fattore (adimensionale) basato sullo spessore della zona insatura e derivato da analisi spaziali effettuate sulla base di rilevamenti piezometrici. Valori maggiori del parametro sono assegnati alle aree dove la zona insatura presenta un piccolo spessore, mentre valori minori dove questo è spessore grande, utilizzando una relazione non lineare.

Utilizzando il rilevamento piezometrico presentato nel Capitolo 2 si è preparata una carta della soggiacenza sottraendo i valori della quota della tavola d'acqua a quelli del piano campagna derivati dal modello digitale del terreno (DTM) della Regione Toscana (a maglia 10 m). Poiché i dati utilizzati per la costruzione della tavola d'acqua sono poco numerosi, in alcune zone si è ottenuta una soggiacenza negativa. Nell'impossibilità di validare questi dati con estese campagne sperimentali si è ovviato assegnando a tutte le aree con soggiacenza minore di 0.15 m tale valore. L'andamento della soggiacenza nel dominio analizzato è rappresentato in Fig. 2. Come già detto, l'analisi effettuata è relativa al dominio in cui sono presenti dati piezometrici rilevati. In Schlosser et al. (2002) il parametro F_{DGW} è assegnato secondo la scala presentata in Tab.3.

Soggiacenza (m da pc)	F_{DGW}
0-5	3
5-10	2,5
10-15	2
>15	1

Tab.3. Valore del parametro F_{DGW} al variare della soggiacenza in Schlosser et al. (2002).

Per tener conto di valori della soggiacenza minori di 2 m dal pc e spesso prossimi allo zero, partendo dai dati suddetti, si è costruita una relazione non lineare secondo la quale al diminuire dello spessore insaturo, il valore del parametro F_{DGW} aumenta seguendo una relazione di potenza con base il valore della soggiacenza. Tale relazione permette di assegnare una maggiore importanza alle zone a soggiacenza ridotta e la curva derivata è presentata in Fig. 6. I valori del parametro quindi assegnati per le diverse soggiacenze sono presentati in Tab. 4, mentre in Fig. 7 è presentata una mappa con la distribuzione spaziale del parametro.

Una volta assegnati tutti i parametri alle varie zone del dominio di studio si è valutato il valore dell'indice *VIF* attraverso operazioni di *raster analysis* in ambiente GIS per ciascuna classe di

fitofarmaci. Nel metodo originale, come già detto, le aree investigate vengono suddivise in tre classi di vulnerabilità. Poiché nell'analisi effettuata si sono ottenute aree con indice *VIF* superiore a 1000, si è deciso di definire un'ulteriore classe di vulnerabilità, così che, nel caso presentato, per valori *VIF* superiori a 1000 le aree sono attribuite ad una ulteriore classe a vulnerabilità molto alta.

Di seguito sono presentate e discusse le mappe di vulnerabilità per le tre classi del rapporto di lisciviazione precedentemente definite (Fig. 8, 9 e 10).

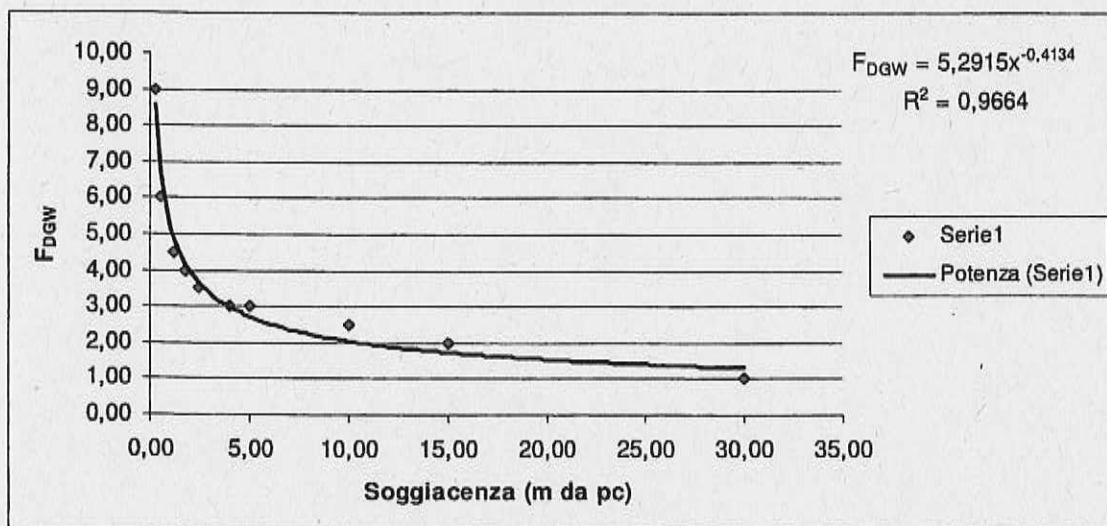


Fig. 6. Relazione utilizzata per la definizione del parametro F_{DGW} .

Soggiacenza (m da pc)	F_{DGW}
0-0,30	9
0,3-0,6	6
0,6-1,2	4,5
1,2-1,8	4
1,8-2,4	3,5
2,4-5	3
5-10	2,5
10-15	2
>15	1

Tab.4. Valore del parametro F_{DGW} al variare della soggiacenza in questo studio.

Fig. 7. Andamento del parametro *F₅₀₀* nel dominio di studio.

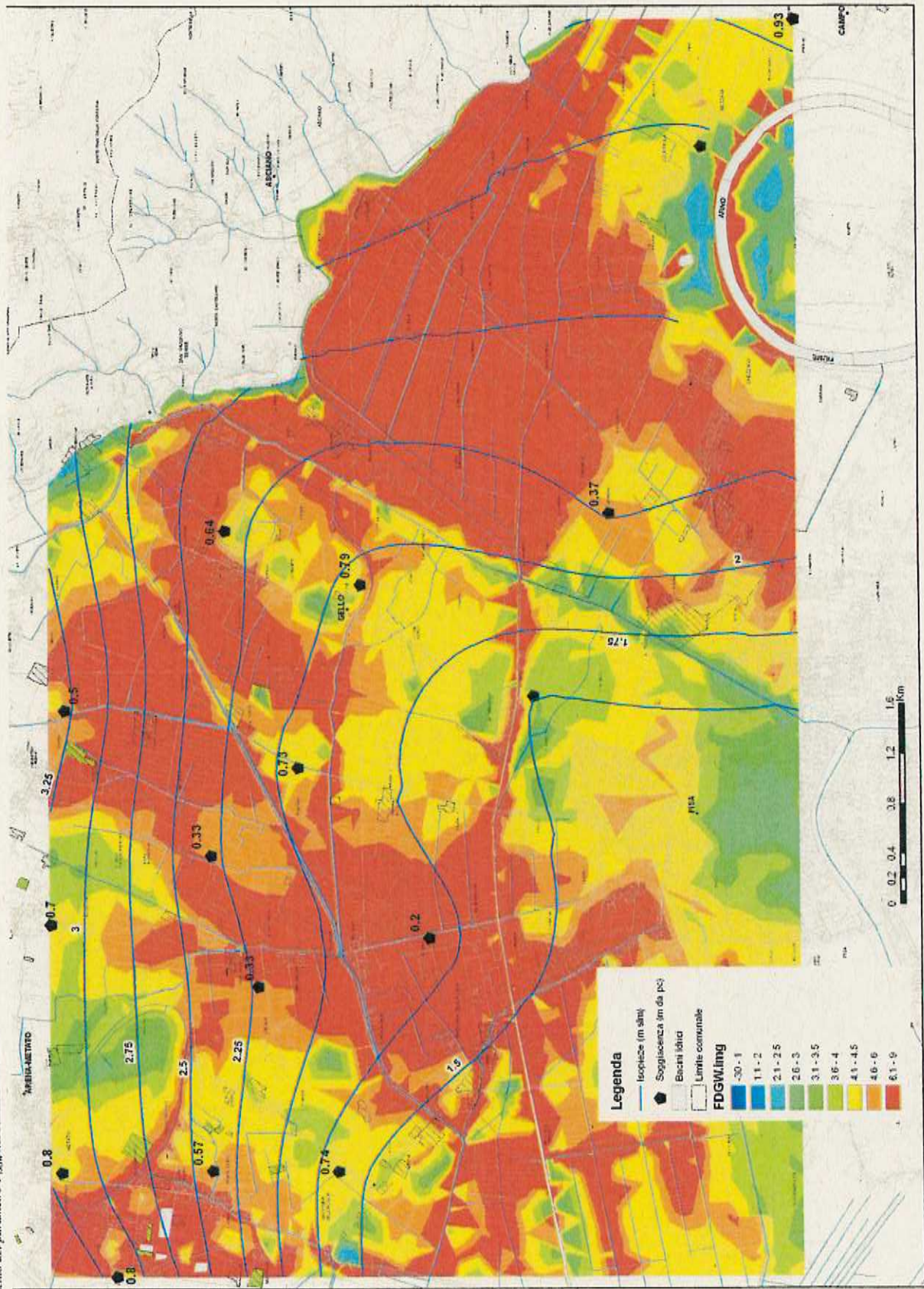


Fig. 8. Carta della vulnerabilità ai frangimuri con rapporto di iscrizione basso.

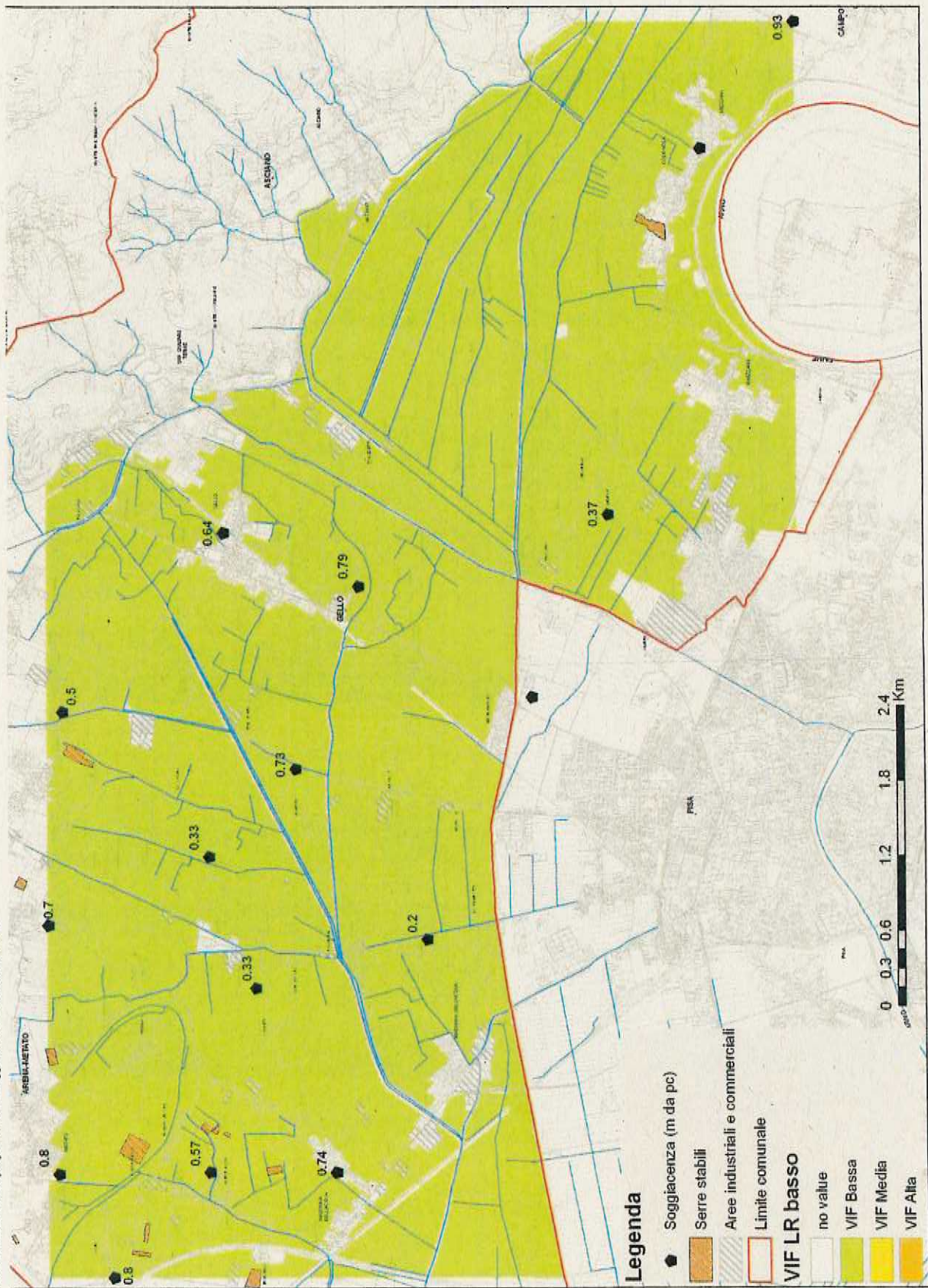


Fig. 9. Carta della vulnerabilità ai fitofarmaci con rapporto di fissazione medio.

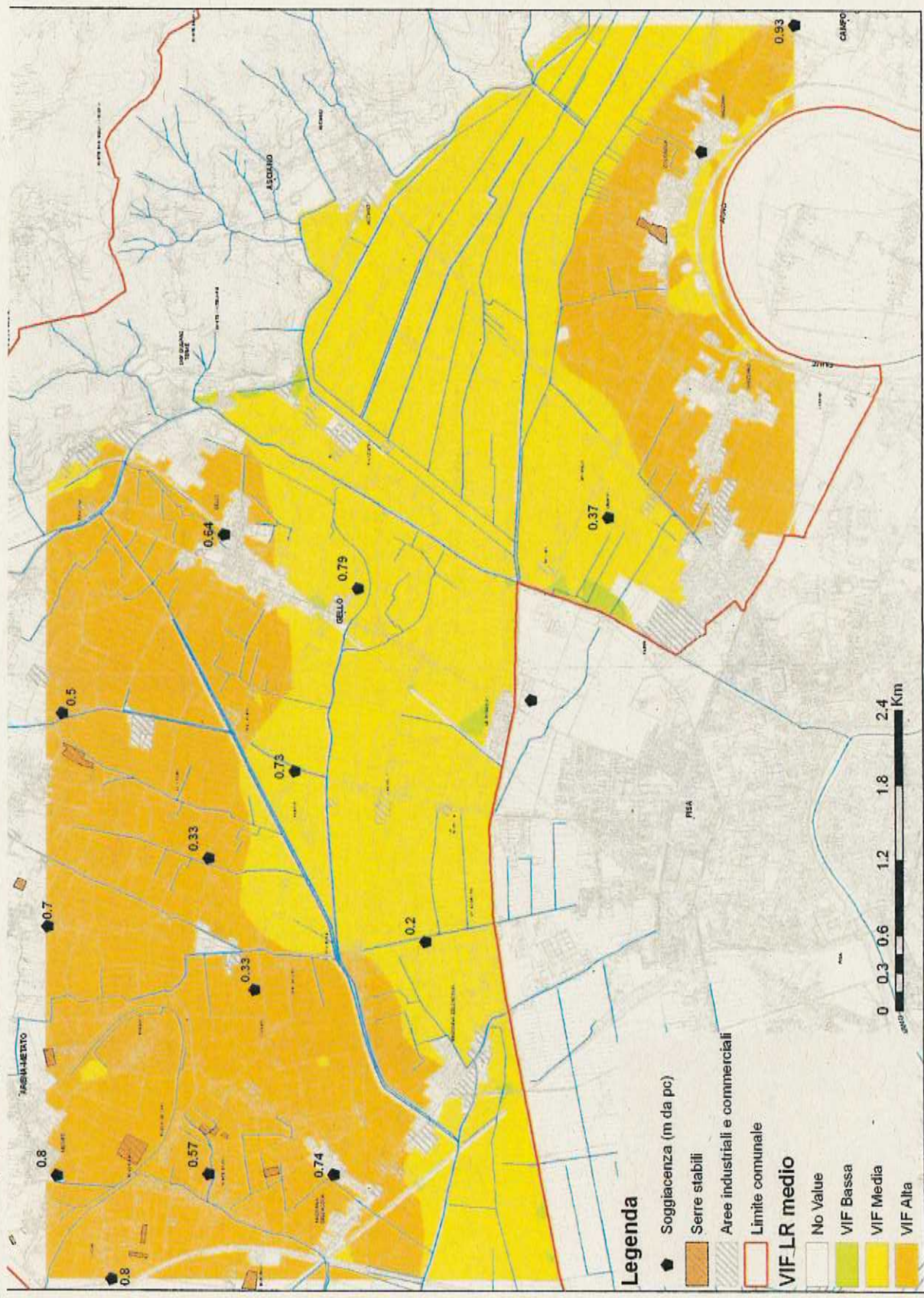
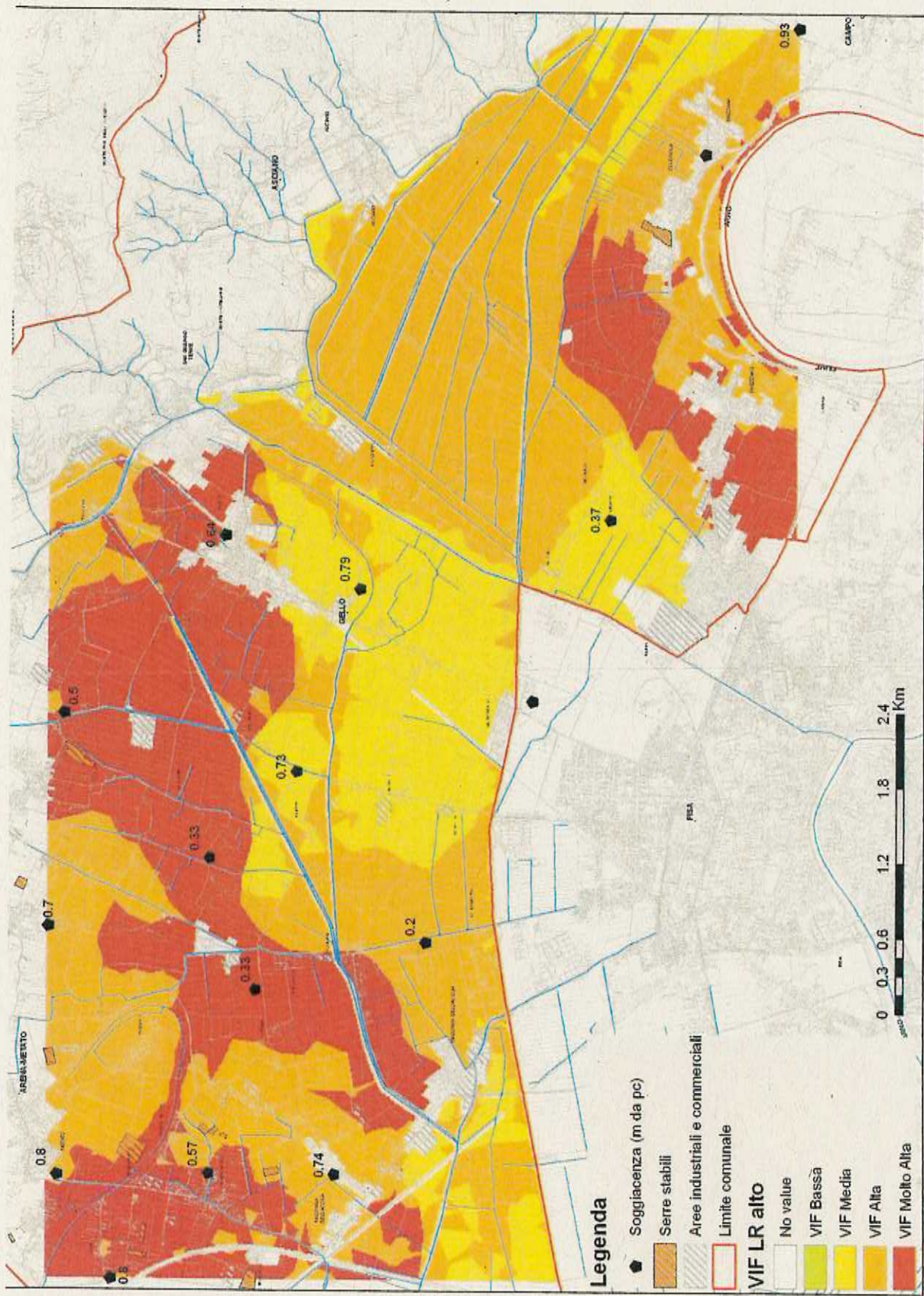


Fig. 9. Carta della vulnerabilità ai fitofarmaci con rapporto di fitoriscossione alto.



3.2 Discussione

Nel caso della classe di fitofarmaci a rapporto di lisciviazione basso, l'indice di vulnerabilità che si ottiene per tutto il territorio analizzato è basso (Fig. 8). Tale classe si mantiene anche considerando un contenuto in materia organica pari al 2% invece che al 3%.

Per quanto riguarda la classe fitofarmaci a rapporto di lisciviazione medio (Fig. 9), l'interazione tra le caratteristiche del principio attivo e quelle fisiche del territorio, valutata attraverso il metodo utilizzato, indica che il territorio per questi composti presenta una vulnerabilità da media ad alta, con limitate porzioni a vulnerabilità bassa. Il calcolo degli indici è in questo caso molto influenzato dai dati utilizzati, derivati dalla cartografia pedologica, la cui disponibilità e distribuzione territoriale è scarsa. Ulteriori dati sulle caratteristiche dei suoli (contenuto in materia organica *in primis*) potrebbero far variare la vulnerabilità delle aree in classe media potenzialmente verso la classe alta o viceversa la classe bassa.

Infine, la vulnerabilità del territorio alla classe di fitofarmaci con rapporto di lisciviazione alto (Fig. 10) varia da alta a molto alta, indicando la necessità di un accurato utilizzo dei principi attivi in questione.

4. Conclusioni

La limitazione costituita dall'esiguo numero di dati puntuali disponibili sulle caratteristiche dei suoli e sull'andamento del campo di moto delle acque sotterranee, rende impossibile l'elaborazione di cartografie per tutto il territorio di pianura del Comune e costringe nelle fasi di elaborazione a compiere assunzioni su vaste aree. Ne consegue, come risulta anche dalla presentazione delle attività svolte, che basare analisi sulla vulnerabilità delle acque di falda su dati limitati e soprattutto senza avere la possibilità di validare gli elaborati prodotti, comporta una ridotta affidabilità degli stessi. E' pertanto necessario, a parere degli scriventi:

- integrare spazialmente i dati necessari per l'effettuazione dell'analisi presentata;
- pianificare una rete di monitoraggio attraverso la quale disporre di una visione quanto più completa nello spazio e nel tempo dell'andamento degli aspetti quali-quantitativi della risorsa idrica della falda superficiale;
- programmare campagne di monitoraggio su determinati analiti quali i fitofarmaci, considerando in prima analisi quei composti noti per essere contaminanti o potenziali contaminanti delle acque sotterranee

Sulla base dei dati acquisiti potranno pertanto essere validati gli elaborati cartografici prodotti, si da renderne robusta l'affidabilità, e provvedere alle necessarie modifiche laddove il caso reale vada a contrastare con le stime effettuate.

Sulla base del presente studio si suggerisce infine di innalzare tutte le aree del dominio di studio dalla vulnerabilità intrinseca Bassa quantomeno al livello di vulnerabilità Medio-Bassa.

Infine, si vuole qui ribadire come l'assistenza tecnica agli agricoltori ed ai conduttori di vivai o serre stabili nel corretto uso degli agrochimici costituisca la prima e più importante azione per la protezione delle risorse idriche del territorio comunale.

Bibliografia

Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2010. Le acque del bacino del Fiume Serchio – Sintesi del piano di gestione.

Civita, M.V., 2005. Idrogeologia applicata e ambientale. Casa Editrice Ambrosiana

Comune di San Giuliano Terme, 2002. Cartografia della vulnerabilità naturale degli acquiferi di pianura del territorio comunale di San Giuliano Terme.

Comune di San Giuliano Terme, 2009. Relazione Monitoraggio Acquifero Freatico, Comune di S.G. Terme, Aprile 2009.

Comune di San Giuliano Terme, 2007. Indagine idrogeologica per l'identificazione, la valorizzazione e la protezione delle risorse idriche sotterranee del versante sangiulianese del Monte Pisano e implementazione delle conoscenze degli acquiferi di pianura.

Meeks, Y.J. and Dean, J.D. 1990. Criteria for evaluating pesticide leaching models. In Field Scale water and solute flux in soils. Ed. K. Roth, H. Fluhler, W.A. Jury, J.c. Parker. Basel, Germany: Birkhauser Verlag Publishing Co.

Provincia di Pisa, 2004. Vulnerabilità acquiferi.

<http://sit.provincia.pisa.it/sisterims/html/REPERTORIO/suolo.htm>

Provincia di Pisa, 2009. Cartografia dell'uso del suolo.

http://sit.provincia.pisa.it/sisterims/html/REPERTORIO/territorio_paesaggio.htm

Regione Toscana, 2010a. Cartografia pedologica. *Disponibile all'indirizzo web:*

<http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito->

[RT/Contenuti/sezioni/territorio/geologia/rubriche/piani_progetti/visualizza_asset.html_1162666793.html](http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/sezioni/territorio/geologia/rubriche/piani_progetti/visualizza_asset.html_1162666793.html)

Regione Toscana, 2010b Realizzazione delle unità di paesaggio delle tipologie pedologiche e unità cartografiche del bacino idrografico del Fiume Arno. *Disponibile all'indirizzo web:*

<http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito->

[RT/Contenuti/sezioni/territorio/geologia/rubriche/piani_progetti/visualizza_asset.html_1162666793.html](http://www.regione.toscana.it/regione/export/RT/sito-RT/Contenuti/sezioni/territorio/geologia/rubriche/piani_progetti/visualizza_asset.html_1162666793.html)

Schlosser, S.A., McCray, J.E., Murray, K.E., Austin, B. 2002. A subregional-scale method to assess aquifer vulnerability to pesticides. Groundwater, vol. 40., n. 4.

