



COMUNE DI SOVICILLE

Provincia di Siena

Indagine geologica di supporto alla redazione del PIANO STRUTTURALE

Sindaco:
Alessandro Masi

Progetto:

Geologo:

Dott. Geol. Massimo Marrocchesi PER PRESA VISIONE

Progettista:

Dott. Arch. Giovanni Maffei Cardellini

Consulente legale:

Avv. Luana Garzia

Respons. Ufficio di Piano:

Dott. Ing. Rossana Pallini

**ALLEGATO 2
RELAZIONE VULNERABILITA'
ACQUIFERI
a stralcio SMAS**

Dicembre 2006

PRGC *piano strutturale*

SMaS Schema Metropolitanamente dell'area Senese

SMaS: progetto dei Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Siena e Sovicille
con l'Amministrazione Provinciale di Siena

coordinamento: Ufficio di Piano del Comune di Siena

con il contributo della Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento

Dipartimento di Scienze della Terra - Centro di Ricerca sull'Acqua - Università degli Studi di Siena
Piero Barazzuoli (Coordinatore)

Marco Bertinelli, Fausto Capacci, Benedetta Mocenni, Roberto Rigati, Massimo Salleolini, Fabio Sandrelli

QG
r2

Schema Metropolitanamente dell'area Senese

progetto dei Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Siena e Sovicille

con l'Amministrazione Provinciale di Siena

coordinamento: Ufficio di Piano del Comune di Siena

con il contributo della Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento

Dipartimento di Scienze della Terra – Centro di Ricerca sull'Acqua
Università degli Studi di Siena

Piero Barazzuoli (Coordinatore)

Marco Bertinelli

Fausto Capacci

Benedetta Mocenni

Roberto Rigati

Massimo Salleolini

Fabio Sandrelli

dicembre 2004

Ufficio del Piano del Comune di Siena

Responsabili del procedimento: Fabrizio Valacchi, Rolando Valentini

Coordinatore: Andrea Filpa

Collaboratori: Gabriele Comacchio, Valeria Lingua, Paola Loglisci, Benedetta Mocenni, Raffello Pin

Responsabile Cartografia Informatizzata: Mauro Lusini; Consulente SIT: Luca Gentili

Sommario e conclusioni

Gli studi condotti hanno perseguito la finalità di redigere una cartografia espressiva della vulnerabilità degli acquiferi, da utilizzarsi (con gli accorgimenti richiamati nel cap. 5 del rapporto) per garantire nei Piani strutturali un adeguato livello di protezione delle risorse idriche sotterranee.

Il cap. 1 è dedicato alla descrizione della metodologia adottata, fondata sulla assunzione del rischio di inquinamento (vulnerabilità integrata) come esito della interazione di tre elementi di valutazione:

- la *vulnerabilità intrinseca*, legata alle caratteristiche idrogeologiche del territorio;
- la *pericolosità*, legata alla presenza di determinati usi antropici;
- la *importanza rivestita dall'acquifero*, ovvero la sua rilevanza a fini antropici.

Il cap. 2 illustra in dettaglio la procedura adottata per la redazione delle carte di vulnerabilità, coerente con la metodologia proposta dal PTCP di Siena. Le carte dell'intero SMaS sono state fornite ai comuni in formato digitale.

Il cap. 3 riprende i risultati degli elaborati redatti e ne propone una lettura sintetica relativa ai territori dei singoli comuni dello SMaS.

Il cap. 4 contiene una applicazione del metodo SINTACS ad una porzione di territorio campione dello SMaS. Il metodo SINTACS utilizza un insieme di informazioni più dettagliate di quelle utilizzate nel cap. 2, ma che ad oggi non sono disponibili per l'intero territorio dello SMaS.

L'applicazione dimostrativa è stata proposta per evidenziare da un lato i limiti oggettivi della cartografia della vulnerabilità integrata prodotta per lo SMaS – cartografia che utilizza comunque al meglio le informazioni ad oggi disponibili - e dall'altro per sottolineare la necessità di incrementare nel futuro le conoscenze in materia di acquiferi.

Il cap. 5 del rapporto è infine dedicato alle considerazioni conclusive, che riguardano sia le modalità d'uso delle cartografie produttive, sia le loro oggettive limitazioni.

Per quanto riguarda gli *usi*, si sottolinea come una carta della vulnerabilità possa permettere una sufficiente oculatezza nelle decisioni e nei giudizi preventivi circa l'ammissibilità di trasformazioni territoriali potenzialmente inquinanti o l'inserimento di nuove attività produttive; ciò significa che la cartografia *ben interpretata con l'ausilio di tecnici specialisti*, può sostituire, almeno in chiave preliminare, i rilievi necessari al rilascio di licenze ed autorizzazione da parte dei gestori del territorio. In un'ottica di utilizzo opposta, detta cartografia è senza dubbio suscettibile di identificare, in un determinato intorno territoriale a livello comprensoriale o regionale, di zone che si prestano, in assoluto o comparativamente ad altre, alla installazione di attività potenzialmente inquinanti.

Infine, nel campo della prevenzione del periodo di inquinamento delle fonti idropotabili e della formazione di riserve strategiche in aree vincolate, l'uso delle carte di vulnerabilità è non soltanto necessario ma effettivamente indispensabile per poter disporre, all'occorrenza, di risorse idriche integrative, sostitutive o di emergenza,

Per quanto riguarda le *limitazioni* della cartografia prodotta, si richiama al fatto che una carta della vulnerabilità *non può essere usata come base di progettazione* di interventi e modificazioni dell'ambiente superficiale e sotterraneo, se non per caratterizzare le *situazioni al contorno*. Analogamente, *non è corretto* utilizzare carte della vulnerabilità, anche di tipo operativo, per la *certificazione di idoneità* di un sito ad ospitare un impianto potenzialmente inquinante, che deve invece essere basata su studi e rilievi ad un denominatore di scala molto piccolo: in questi casi occorre infatti una simulazione modellistica che è tutt'altra cosa ed ha costi, obiettivi e metodologie del tutto diverse.

La carta stessa può essere un documento inadeguato alla valutazione di situazioni particolari, essendo metodi di preparazione generalmente basati sull'ipotesi di un inquinante generico e non specifico; infatti è

stato notato che alcuni dei parametri utilizzati nella valutazione dell'abbattimento parziale degli inquinanti nel sottosuolo sono fortemente influenti su taluni inquinanti ma non lo sono affatto su altri.

Nell'allegato 1 viene infine riportata la disciplina contenuta nel PTCP per le *aree sensibili* di classe 1 e 2: tale disciplina sarà il punto di partenza per la formulazione di una disciplina unitaria da applicarsi, attraverso i singoli Piani Strutturali, all'intero territorio dello SMaS

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1 Premessa Concettuale	3
1.2 Fattori della vulnerabilità	4
1.3 Metodi per la definizione della vulnerabilità	4
2. LA CARTA DELLA VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO DELLO SCHEMA METROPOLITANO AREA SENESE	5
2.1 Il PTCP di Siena	5
2.2 La costruzione della Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi all'inquinamento	6
2.2.1 <i>Modalità operative</i>	6
2.3 Caratteristiche degli acquiferi	6
2.4 Permeabilità	7
2.5 Vulnerabilità intrinseca	10
2.6 Sensibilità	13
2.6.1 <i>Analisi della sensibilità</i>	15
2.7 Vulnerabilità integrata	17
2.7.1 <i>Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei</i>	17
2.7.1.1 <i>Attività agricole</i>	21
2.7.2 <i>Potenziali ingestori e viacoli di inquinamento dei corpi idrici sotterranei</i>	23
2.7.3 <i>Preventori e/o riduttori dell'inquinamento</i>	23
2.7.4 <i>Principali soggetti ad inquinamento</i>	24
3. VULNERABILITÀ, SENSIBILITÀ E CENTRI DI PERICOLO: SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI PER OGNI SINGOLO COMUNE DELL'AREA METROPOLITANA	27
4. APPLICAZIONE DIMOSTRATIVA DEL METODO S.I.N.T.A.C.S. AD UNA PORZIONE DI TERRITORIO CAMPIONE DELL'AREA METROPOLITANA	39
4.1 Introduzione	39
4.2 Aspetti generali sull'applicazione del metodo S.I.N.T.A.C.S.	39
4.3 Applicazione all'area di studio	40
4.3.1 <i>Procedura di calcolo</i>	40
4.3.2 <i>Soggiacenza</i>	40
4.3.3 <i>Infiltrazione efficace</i>	41
4.3.4 <i>Effetto di autodepurazione del Non saturo</i>	42
4.3.5 <i>Tipologia della copertura</i>	43
4.3.6 <i>Acquifero</i>	44
4.3.7 <i>Conducibilità idraulica</i>	44
4.3.8 <i>Acclività della superficie topografica</i>	45
4.4 Definizione degli scenari di impatto nell'area di studio	46
4.5 Indice di vulnerabilità	46
4.6 Confronto tra i risultati ottenuti con i metodi utilizzati	49
4.7 Confronto dei risultati ottenuti con il metodo base e con il metodo S.I.N.T.A.C.S.	49
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE: USO E LIMITAZIONI DELLA CARTA DI VULNERABILITÀ	53
5.1 Uso della carta	53
5.2 Limitazioni all'uso della carta	54
5.3 Conclusioni	54
6. APPENDICE 1 (ESTRATTO DAL P.T.C.P.)	55
7. APPENDICE 2 LEGENDA DELLA CARTA DELLA VULNERABILITÀ INTEGRATA (CIVITA 1990, con modifiche)	58
BIBLIOGRAFIA	60

1 - Introduzione

L'accresciuta coscienza dell'importanza dei problemi ambientali in senso generale ha spinto la pianificazione territoriale, regionale e locale, a considerare come aspetti di primaria importanza la disponibilità e la protezione delle risorse idriche; nel settore idrogeologico, la pianificazione deve essere indirizzata soprattutto verso la **prevenzione** del degrado qualitativo delle acque dovuto alle sorgenti «puntuali» e «non puntuali» di inquinamento. Il mantenimento della qualità delle acque sotterranee è, dunque, una delle principali finalità da perseguire poiché essa rappresenta uno dei fattori primi della salute delle popolazioni che ne fruiscono nonché un loro diritto inalienabile.

In questo senso già all'inizio degli anni '70 sono state compilate le prime carte idrogeologiche e con esse quelle della «vulnerabilità» degli acquiferi; soffermando l'attenzione soprattutto su quest'ultime si può constatare che, rappresentando le aree in cui si ha una maggiore esposizione al rischio di contaminazione delle acque sotterranee in presenza del carico antropico, nell'attuale situazione esse non sono esaustive ai fini della prevenzione degli inquinamenti (Beretta, 1992).

Le opere di captazione delle acque destinate al consumo umano rappresentano aree di particolare sensibilità dal punto di vista idrogeologico, in quanto un eventuale inquinamento determina un effetto immediato di decremento del valore d'uso della risorsa idrica, comportando notevoli problemi tecnici, economici e sociali; è per tale ragione che gli stati maggiormente industrializzati, nei quali è maggiore il rischio di contaminazione delle acque sotterranee, adottano vincoli territoriali (generalmente denominati «aree di salvaguardia») nelle zone limitrofe a pozzi, sorgenti e prese d'acqua superficiale (AA.VV. 1988).

1.1 - Premessa Concettuale

Allo scopo di fornire una zonizzazione delle aree maggiormente esposte alla contaminazione, utilizzabile a **medio-lungo termine** per la programmazione dell'uso dell'acqua, si compilano le *Carte della Vulnerabilità degli Acquiferi all'Inquinamento* che rappresentano "la possibilità di penetrazione e propagazione, in condizioni naturali, nei serbatoi naturali ospitanti la prima falda generalmente libera, di inquinanti provenienti dalla superficie". Questa definizione è stata successivamente modificata ed integrata da vari studiosi italiani e stranieri; secondo quella proposta da Civita nel 1987, tale vulnerabilità rappresenta la "susceptibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre, nello spazio e nel tempo, un impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea" (Beretta, 1992).

Comunque sia, gli studiosi concordano nel ritenere che la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento dipenda da diversi fattori tra i quali prevalgono la litologia e la struttura del sistema idrogeologico, la natura del suolo e la geometria della copertura, il processo ricarica→flusso sotterraneo→emergenza delle acque e l'interazione chimico-fisico-biologica.

La vulnerabilità è l'unico parametro «naturale» (o *intrinseco*) del sistema; la redazione di una carta della vulnerabilità intrinseca è solo uno degli obiettivi di base degli studi idrogeologici su di un dato territorio. Infatti, il concetto, e quindi, la valutazione e la zonizzazione della vulnerabilità intrinseca non ha mai un contenuto applicativo e pianificatorio; esso l'acquista quando alla vulnerabilità intrinseca di una zona viene associata la *presenza*, la *posizione topografica ed idrogeologica* e la *tipologia* (dunque la *pericolosità*) dei cosiddetti «centri di pericolo» ivi esistenti o dei quali si pianifica la realizzazione. In tal modo si esprime cartograficamente il concetto di vulnerabilità s.s. (o vulnerabilità integrata) che sottintende l'interazione tra la vulnerabilità intrinseca di un sistema idrogeologico caratterizzato ed i centri di pericolo effettivamente connessi al sistema stesso, offrendo al pianificatore una prima valutazione del rischio potenziale di situazioni specifiche (Civita, 1994).

La predisposizione di una cartografia tematica di questo tipo costituisce quindi parte integrante della documentazione, che deve essere allestita ai fini di una corretta ed adeguata programmazione territoriale, finalizzata alla rappresentazione di «indicatori vocazionali» che evidenzino le caratteristiche intrinseche di ogni specifico ambito territoriale e le sue attendibili reazioni alle sollecitazioni indotte dai sistemi insediativi e produttivi; il supporto cartografico indispensabile per la stesura della vulnerabilità all'inquinamento necessita quindi della sovrapposizione di più carte tematiche (Beretta, 1992).

La formulazione analitica della **Vulnerabilità Integrata**, su un piano puramente qualitativo, è la seguente:

$$\begin{array}{l}
 \text{RISCHIO} = \text{PERICOLOSITA'} \cdot \text{VULNERABILITA'} \cdot \text{VALORE} \\
 \text{VULNERABILITA'} \\
 \text{INTEGRATA} = \text{CENTRI DI PERICOLO} \cdot \text{VULNERABILITA' INTRINSECA} \cdot \text{IMPORTANZA ACQUIFERO}
 \end{array}$$

Tale espressione mostra che il rischio di accadimento di un evento indesiderato per la collettività (in questo caso, la contaminazione di una falda da parte di un inquinante) è funzione della *pericolosità* dell'evento (tossicità, quantità sversata, mobilità nell'ambiente, probabilità di accadimento), della *vulnerabilità*

dell'acquifero e del *valore* dei beni in pericolo (uso idropotabile dell'acqua sotterranea, popolazione servita, possibilità di reperire fonti alternative).

In definitiva, la cartografia tematica relativa alla vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi ha lo scopo di:

- fornire informazioni circa il diverso grado di idoneità dei vari settori ad accogliere insediamenti o attività;
- evidenziare natura ed entità del rischio in funzione delle diverse attività prefigurabili per uno stesso sito;
- localizzare e stabilire una gerarchia dei punti e delle situazioni di incompatibilità dello stato di fatto, così da consentire interventi per l'attenuazione del rischio;
- contribuire all'individuazione di vincoli e condizioni di gestione di determinate attività, nel proprio contesto ambientale, da attuare attraverso la disciplina urbanistica a livello locale e comprensoriale.

1.2 - Fattori della vulnerabilità

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero dipende, sostanzialmente, da almeno tre principali processi che si producono all'interno del sistema sottosuolo esistente al di sotto del punto o/e della zona d'impatto (Civita, 1994):

- il *tempo di transito* dell'acqua (o di un eventuale inquinante fluido o idroportato) nel mezzo non saturo, fino a raggiungere la superficie piezometrica dell'acquifero sottostante;
- la *concentrazione residua* di un inquinante fluido o idroportato al suo arrivo nel mezzo saturo rispetto a quella iniziale, che identifica la *capacità di attenuazione* del mezzo non saturo;
- la *dinamica* del flusso idrico sotterraneo, e di un eventuale inquinante fluido o idroportato, nel mezzo saturo.

Come infatti può essere agevolmente previsto, la possibilità che le acque sotterranee possano essere contaminate dipende dalla velocità con la quale si ha il trasferimento dalla superficie topografica a quella della falda, dall'entità dell'infiltrazione e dal percorso effettuato e dai meccanismi fisico-chimico-biologici che operano selettivamente in relazione al tipo di terreno e di sostanze; i tre processi descritti in precedenza sono retti a loro volta dalle diverse possibili sinergie di tutta una serie di parametri, propri della situazione idrogeologica ed antropica e quindi variabili da zona a zona.

1.3 - Metodi per la definizione della vulnerabilità

Tenendo conto di quanto precedentemente esposto, lo sviluppo degli studi sulla vulnerabilità, passa attraverso le seguenti fasi:

- a) rappresentazione dei soli parametri di tipo fisico ed individuazione dei diversi livelli di **vulnerabilità intrinseca** attribuibili ai differenti settori (vedi fig. 6);
- b) sovrapposizione dei **fattori antropici** alla vulnerabilità intrinseca (vedi fig. 21);
- c) **lettura incrociata** dei dati rilevati ed elaborati nelle fasi a) e b) (vedi fig. 22).

Il principale problema dal punto di vista idrogeologico è dato dalla definizione dei criteri da adottare per la rappresentazione cartografica della **vulnerabilità intrinseca**. Ad essa si può giungere attraverso:

Zonazione per aree omogenee

Definisce la Vulnerabilità del sito in funzione della circolazione idrica sotterranea. Si basa sulle conoscenze idrogeologiche ed è applicabile ad ogni tipo di scenario fisiografico. E' utilizzato in territori vasti e complessi del punto di vista idrostrutturale, idrogeologico e morfologico. La Vulnerabilità viene valutata per complessi e situazioni idrogeologiche utilizzando la tecnica di sovrapposizione cartografica (Metodo GNDCI – CNR).

Valutazione per sistemi parametrici

Questo metodo definisce un valore della Vulnerabilità "quantitativo"; è basato sulla determinazione del valore numerico di alcuni parametri selezionati, assegnando ad ognuno di essi un "peso" all'interno della valutazione complessiva della Vulnerabilità. La Vulnerabilità sarà definita da un indice numerico il quale può essere inserito in vari intervalli di grandezza in modo da facilitare la lettura dei risultati da parte di tutti (Metodo SINTACS).

Valutazione per modelli numerici

Sono basati sulla stima di un "indice di Vulnerabilità" mediante relazioni matematiche, più o meno complesse.

Appare quindi evidente che la valutazione della vulnerabilità di un acquifero dovrebbe essere effettuata caso per caso, tenendo conto delle caratteristiche fisico-chimiche di ogni singolo inquinante presente (o di famiglie di prodotti assimilabili), del tipo di fonte (puntuale, diffusa), dei quantitativi, dei modi e dei tempi di sversamento; un tale intento, sebbene risulti scientificamente ineccepibile e realizzabile su piccole zone delle quali si vuole valutare il potenziale di inquinamento di un centro di pericolo, non ha però alcuna praticità quando la valutazione delle vulnerabilità viene effettuata per grandi aree con lo scopo di *prevenire* l'inquinamento e *proteggere* gli acquiferi e le fonti di approvvigionamento idropotabile (Civita, 1994).

2 - La Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi all'inquinamento dello Schema Metropolitan area Senese

2.1 - Il PTCP di Siena

Il *Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena*, approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n. 109 del 20 ottobre 2000, avendo definito tra i suoi obiettivi quello della salvaguardia delle risorse idriche, ha introdotto norme in relazione all'obbligatorietà per i P.S. di redigere la carta della Vulnerabilità, a tal fine ha individuato come idoneo il metodo C.N.R. – G.N.D.C.I. (AA.VV., 1988 - del tipo **Zonazione per aree omogenee**) ripreso da Civita (1990, 1994) a cui fa riferimento la "Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei". Questo tipo di metodologia utilizza un certo numero di indici litologici, strutturali, piezometrici e idrodinamici non rigorosamente quantizzati che identificano situazioni diverse; le informazioni riportate riguardano, oltre alle modalità di circolazione idrica all'interno dei litotipi, la presenza e il tipo di copertura superficiale, la soggiacenza della falda e la posizione della superficie piezometrica rispetto ai corsi d'acqua.

Per il confronto diretto sono state previste e catalogate, sotto la voce «*Caratteristiche degli Acquiferi*», circa venti situazioni idrogeologiche differenti che fanno diretto riferimento alla geometria degli acquiferi, al litotipo ed alle caratteristiche di porosità e di permeabilità primaria e/o secondaria dei litotipi interessati. Le situazioni idrogeologiche selezionate, sono immesse in uno schema di legenda a sei colonne, ciascuna relativa ad uno dei gradi di vulnerabilità (intrinseca) previsti (da estremamente elevato a bassissimo o nullo); ciò rende la legenda sinottica e direttamente interpretativa, utilizzabile, quindi, sia in fase di redazione della carta, sia per la sua interpretazione e lettura.

Inoltre, tale legenda di riferimento prestabilisce numerose simbologie sovrapponibili alla cartografia della vulnerabilità intrinseca, in modo da completarla e trasformarla in una carta della vulnerabilità integrata. Queste sono relative a:

Geometria ed idrodinamica dei corpi idrici sotterranei. Gli elementi idrostrutturali riportati nella cartografia permettono di valutare rapidamente la geometria degli acquiferi, la direzione di flusso e quindi l'evoluzione spaziale e temporale di una eventuale contaminazione.

Stato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei. La rappresentazione delle aree di qualità degradata delle acque sotterranee consente di definire il passaggio, da «potenziale» a «reale», della vulnerabilità degli acquiferi (oltre che localizzare le zone dove sono necessari interventi di risanamento);

Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei. Con un'apposita simbologia vengono rappresentati i «centri di pericolo» («CDP») definiti come qualsiasi funzione, attività, insediamento, manufatto (ovvero modalità d'uso di insediamenti, manufatti ed aree), in grado di generare direttamente e/o indirettamente fattori reali o potenziali di degrado delle acque sotterranee.

Potenziali ingestori e viacoli di inquinamento dei corpi idrici sotterranei. In questa categoria sono compresi i fattori naturali (ad esempio, le doline) ed antropici (cave) in grado di amplificare la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, diminuendo o eliminando gli effetti del potere autodepurante del terreno;

Preventori e/o riduttori dell'inquinamento. Si tratta di opere ed impianti destinati alla diminuzione del carico inquinante che insiste sull'acquifero in una determinata zona o alla sua sorveglianza, diminuendo gli effetti di eventuali episodi accidentali, in termini socio-economici;

Principali soggetti ad inquinamento. I principali elementi sensibili dal punto di vista dell'uso delle acque sono costituiti dalle opere di captazione (pozzi, sorgenti, prese d'acqua superficiale) in quanto un eventuale inquinamento delle zone circostanti è in grado di compromettere il prelievo di acque. In questa categoria rientrano le *sorgenti termominerali* la cui ubicazione, insieme alle caratteristiche d'uso, consente di pervenire ad una prima valutazione delle possibili interferenze tra tali acque e quelle per uso potabile

La Carta della vulnerabilità integrata diventa, così, la base per la difesa degli acquiferi a tutto campo che viene ad integrare la difesa delle captazioni (*difesa di punto*), completando in tal modo una visione strategica generale.

2.2 - La costruzione della Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi all'inquinamento

2.2.1 - Modalità operative

Al fine di giungere alla stesura della “*Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi all’Inquinamento*” nella sua forma integrata (secondo quanto previsto dal PTCP di Siena), relativa al territorio dello Schema Metropolitan (Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d’Arbia, Siena e Sovicille), si è dapprima proceduto alla raccolta ed all’analisi critica dei dati resisi finora disponibili provenienti da varie fonti informative (archivi “GIS oriented” della Regione e della Provincia, notizie pervenute dai Comuni, bibliografia edita ed inedita, ecc.), in relazione alle tipologie previste nelle sezioni 3,4,5 e 6 della Legenda “Civita” ed adottate dal PTCP di Siena.

Si deve purtroppo sottolineare che il materiale raccolto (nei tempi e nei modi resi possibili dalla Convenzione) è risultato non completo a causa della mancata disponibilità di informazioni che dovrebbero essere in possesso dei vari enti competenti.

Nel seguito vengono illustrate le modalità operative di acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati finora raccolti per la stesura della carta della vulnerabilità.

2.3 - Caratteristiche degli acquiferi

A questo riguardo, il supporto informativo di base è costituito dall’archivio “GIS oriented” della Regione Toscana denominato ST018, che riporta i contorni dei poligoni digitalizzati della carta geologica della Regione Toscana (scala 1:10.000) e le cui codifiche sono (tab.1):

COD_UNI	SIGLA GEOLOGIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA
1	a1a	Frana
2	a1q	Depositi di frane senza indizi di evoluzione
3	a3a	Detrito di falda
4	aa	Depositi di versante
5	ACC	Argille e calcari di Canetolo
6	ACCa	Argille e calcari di Canetolo (Litofacies calcareo-argillitica)
7	ACCb	Argille e calcari di Canetolo (Litofacies calcarea)
8	ACN	Argille del Casino
9	APA	Argille a palombini
10	APN	Arenaria di Ponsano
11	APT	Calcari ad aptici
12	b	Depositi alluvionali
13	b2a	Depositi eluvio-colluviali (Olocene)
14	b6a	Prodotto eluviale (Olocene)
15	b7a	Deposito colluviale (Olocene)
16	b8a	Depositi eluvio-colluviali (Pleistocene)
17	bn1 + bn2	Depositi alluvionali terrazzati
18	CCA	Calcere cavernoso
19	CGV	Calcari di Groppo del Vescovo
20	DSD	Diaspri
21	e2a	Depositi lacustri
22	ENT	Calcari selciferi a Entrochi
23	f1a	Travertini e calcari continentali (Olocene)
24	f1b	Travertini e calcari continentali (Pleistocene)
25	FAA	Argille azzurre
26	FAAb	Formazione di Villamagna
27	FAAd	Alternanze di argille e sabbie
28	FAAe	Sabbie risedimentate
29	FIA	Formazione di S.Fiora
30	FOS	Argille del Torrente Fosci
31	GRE	Grezzoni
32	GRO	Formazione di Grotte di Castro
33	h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani
34	h3	Discariche di cave, ravaneti
35	h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata
36	LIM	Calcere selcifero di Limano
37	MAA	Marmi
38	MAC	Macigno
39	MACa	Olistostromi di materiale ligure e subligure
40	MACb	Arenarie zonate

41	MAI	Maiolica
42	MAS	Calcare massiccio
43	MESa	Breccia di Grotti
44	MESb	Conglomerati di Liliano
45	MESc	Sabbie e arenarie
46	MLL	Formazione di M.Morello
47	MUL	Marne di Murlo
48	OTO	Flysch di Ottone
49	PLIb	Conglomerati marini poligenici
50	PLIc	Calcareni e calciruditi bioclastiche
51	PLIs	Sabbie di S.Vivaldo
52	RET	Calcari e marne a Rhaetavicula Contorta
53	RSA	Rosso Ammonitico
54	SIGMA	Serpentiniti
55	SLEc	Conglomerati di Castello di Luppiano
56	SLEr	Formazione del Torrente Sellate
57	SRT	Formazione della Verruca (filladi quarzítico-muscovitiche)
58	SRTa	Formazione della Verruca (metaconglomerati quarzosi)
59	SSR	Scisti sericitici
60	STO1	Membro delle Argilliti di Brolio
61	STO2	Membro delle Marne del Sugame
62	STO3	Membro delle Calcareniti di Montegrossi
63	STO4	Membro delle Calcareniti di Dudda
64	STO7	Marne e calcilutiti
65	VILa	Conglomerati di Case Stieri
66	VILc	Formazione di Chiusdino
67	VILe	Sabbie e ciottolame di Monticiano
68	VINb	Formazione di Vinca
69	VINc	Breccia di Tocchi
nd	99	Aree non rilevabili

Tab. 1 – Descrizione delle formazioni geologiche

Questo archivio di dettaglio idoneo alle nostre esigenze presenta comunque alcune problematiche: La mancanza nel suddetto strato informativo ,riguardante la geologia, di un campo che riportasse per esteso la descrizione delle sigle riguardante le varie litologie; La presenza di aree non classificate dal punto di vista geologico e contraddistinte nell'archivio fornitoci con la sigla "99" come aree non rilevabili che conseguentemente non ci hanno permesso di definirne la classe di permeabilità e di vulnerabilità.

2.4 - Permeabilità

La valutazione dei vari gradi di vulnerabilità intrinseca e la relativa zonazione sul territorio in esame si è basata sul grado di permeabilità relativo dei terreni affioranti; a partire dalla carta geologica in nostro possesso è stata eseguita quindi una riclassificazione delle unità litologiche in sei classi di permeabilità come riportato qui di seguito (vedi tabella 3 di sintesi):

Classe 1 => grado molto elevato

Classe 2a => grado elevato

Classe 2b => grado buono

Classe 3a => grado medio

Classe 3b => grado basso

Classe 4 => grado molto basso

In relazione al passaggio carta Geologica – carta della Permeabilità, un discorso a parte meritano i depositi alluvionali che in via precauzionale sono stati inseriti, in classe di permeabilità 2a (grado elevato). Questo in ragione delle mancanze di indicazioni diffuse su tutto il territorio relative alla natura litologica di questi terreni. Dato che si tratta, dal punto di vista geologico – tecnico, di "terre" il loro grado di permeabilità dipende essenzialmente dalla granulometria dei sedimenti che costituiscono tale formazione, che può spaziare da quella più piccola come le argille (praticamente impermeabili) a quelle più grossolane come le ghiaie (a permeabilità molto elevata). Sarà quindi possibile in occasione dei P.S. di ciascun Comune dell'Area Metropolitana, acquisire informazioni specifiche dirette (stratigrafie, prove di laboratorio) e/o indirette (prove penetrometriche) tali da consentire localmente una riclassificazione delle "alluvioni" a gradi di permeabilità, connessi alle granulometrie dei terreni che realmente li costituiscono.

La distribuzione areale delle classi di permeabilità a scala di Area Metropolitana e di singolo comune è riportata nelle figg. 1,2 e 3.

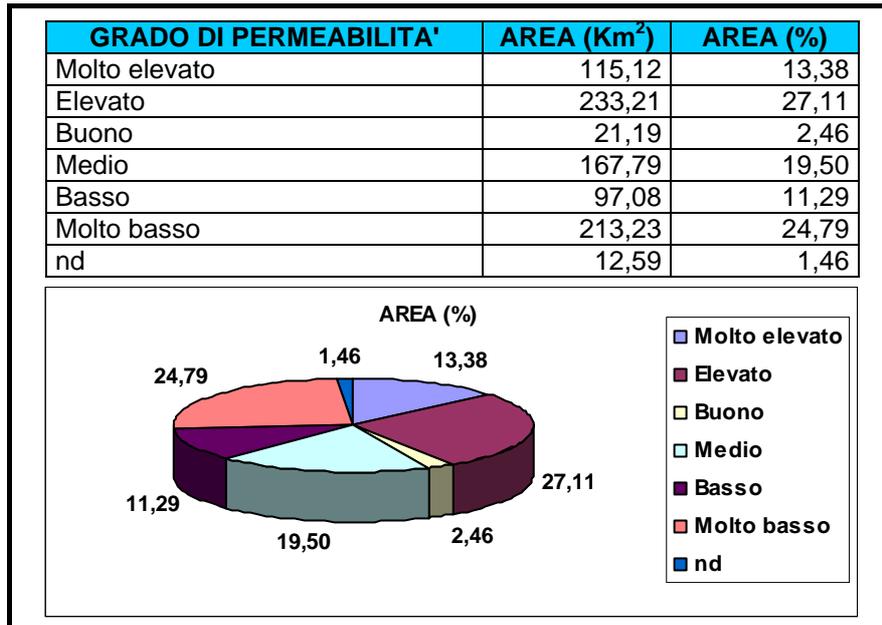


Fig. 1 – Suddivisione del territorio in base al grado di permeabilità

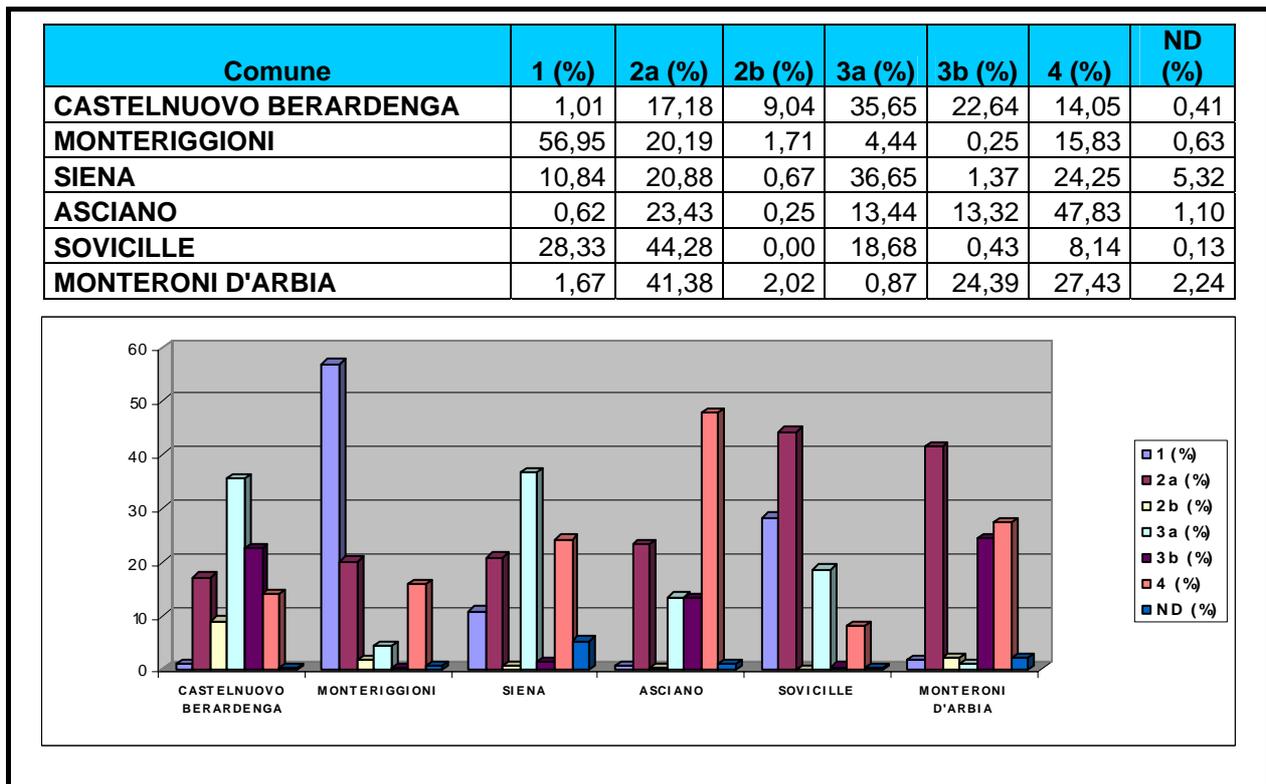


Fig. 2 – Distribuzione areale delle classi di permeabilità a scala di area metropolitana

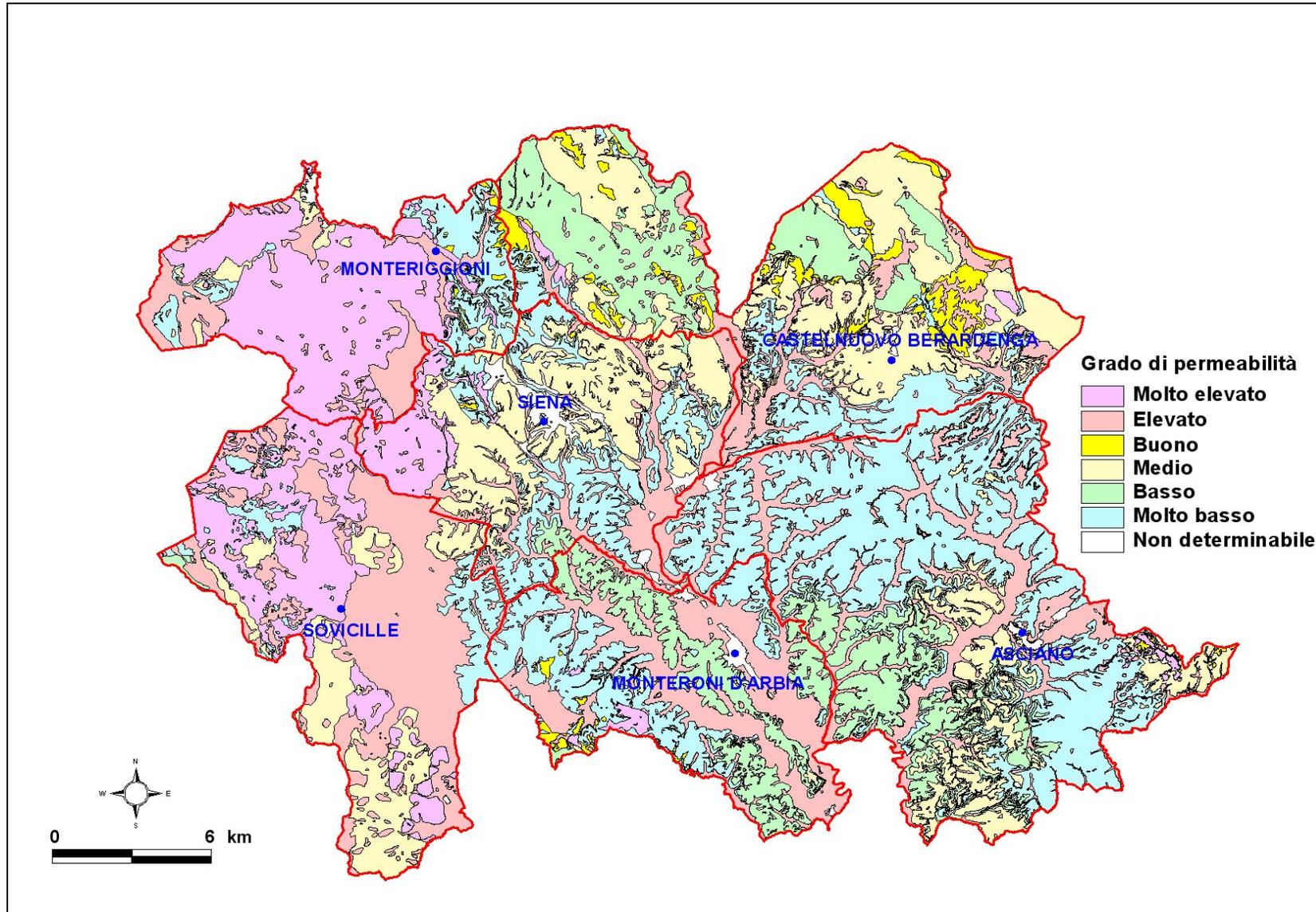


Fig. 3 – Carta della permeabilità dell'Area Metropolitana

2.5 - Vulnerabilità intrinseca

A causa della mancanza di dati riguardanti la geometria e l'idrodinamica dei corpi idrici sotterranei, in relazione a tutta l'Area Metropolitana (sezione 1 della legenda Civita) non è stato possibile seguire le indicazioni riportate nella legenda suddetta che individua sei classi di vulnerabilità.

D'altra parte è peculiarità di questo metodo l'adattabilità ai vari gradi di conoscenze idrogeologiche che si riescono ad avere in una determinata area. Per questo motivo, ed in sintonia con lo schema concettuale proposto dal PTCP di Siena le sei classi di permeabilità relativa sono state raggruppate in sole quattro classi di vulnerabilità come riportato nello schema sottostante e nella tabella 3 di sintesi:

Vulnerabilità Classe 1 => elevato	(classe di permeabilità 1)
Vulnerabilità Classe 2 => medio – alto	(classi di permeabilità 2a-2b)
Vulnerabilità Classe 3 => medio – basso	(classi di permeabilità 3a-3b)
Vulnerabilità Classe 4 => basso	(classe di permeabilità 4)

GRADO DI VULNERABILITA' ELEVATO

Questa classe copre circa 115 km² e rappresenta il 13% dell'area esaminata. Sono state qui comprese le rocce ad elevata permeabilità, sia per porosità che per fessurazione. In questa classe sono state inserite le formazioni appartenenti ai Depositi quaternari (23, 24), all'Unità di Canetolo facente parte del Dominio sub – Ligure (19), alla Falda toscana (11, 36, 41, 42, 52, 53), alle Unità toscane metamorfiche costituite dalla successione Mesozoica e Terziaria (22, 31, 37). Questo grado di vulnerabilità è stato assegnato anche alle Formazioni del Calcere cavernoso, appartenente alla Falda toscana (18), e della Breccia di Grotti, facente parte dei depositi lacustri e lagunari Messiniani (43); tali formazioni vanno a costituire l'acquifero "del Luco", il più importante ed esteso dell'area in esame. Infine, nel grado di vulnerabilità elevato rientra un litotipo appartenente alle rocce ignee (32).

GRADO DI VULNERABILITA' MEDIO-ALTO

Sono state qui raggruppate le rocce nelle quali la circolazione idrica è nel complesso associabile ad un discreto grado di permeabilità di tipo primario, secondario o misto.

Questa classe copre 254 km² e rappresenta circa il 30% della zona oggetto di studio.

In questa classe di vulnerabilità sono stati collocati tutti i Depositi quaternari (1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 34, 35); questi, trattandosi di materiali a diversa granulometria e non avendo dati sufficienti per stabilirne con precisione la permeabilità, sono stati considerati tutti materiali a permeabilità elevata e quindi in via cautelativa a grado di vulnerabilità medio-alto. Rientrano in questa classe anche i Depositi continentali Rusciniati e Villafranchiani (65, 67), i Depositi marini pliocenici (49, 50), i Depositi lacustri e lagunari Messiniani (44) ed i Depositi lacustri del Turoliano Inf. (55). Inoltre sono state inserite formazioni della Falda toscana (39, 61, 62, 63) ed una formazione appartenente al Ciclo medio Triassico superiore delle Unità toscane metamorfiche (69).

GRADO DI VULNERABILITA' MEDIO-BASSO

Questa classe copre circa 265 km² e rappresenta il 31% dell'intero schema metropolitano.

Anche in questa classe sono state raggruppate rocce composte da un'alternanza di litotipi aventi un diverso grado di permeabilità relativa.

Appartengono a questa classe di vulnerabilità formazioni facenti parte dei Depositi marini pliocenici (51, 27, 28), ai Depositi lacustri e lagunari messiniani (45), ai Depositi lacustri del Turoliano Inf. (56) ed ai Depositi marini del Miocene Inf. – Medio (10). Sono stati inoltre inclusi affioramenti appartenenti al Dominio Ligure interno ed esterno (5, 6, 7, 29, 46, 47, 54), alla Falda toscana (20, 38, 40, 64) ed al Ciclo medio Triassico superiore delle Unità toscane metamorfiche (57, 58, 68).

GRADO DI VULNERABILITA' BASSO

Questa classe occupa circa 213 km² corrispondente ad un 25% dell'area totale.

Sono qui raggruppate le formazioni caratterizzate da una composizione prevalentemente argillosa nelle quali risulta ragionevolmente minima la penetrazione e la circolazione dell'acqua; tali rocce si presentano quindi praticamente prive di circolazione idrica sotterranea e gli eventuali inquinamenti raggiungono direttamente le acque superficiali.

Rientrano in questo grado di vulnerabilità litotipi appartenenti ai Depositi continentali Rusciniati e Villafranchiani (66), ai Depositi marini pliocenici (25, 26), ai Depositi lacustri e lagunari Messiniani (8) ed ai Depositi lacustri del Turoliano Inf. (30). Sono state poi incluse formazioni impermeabili del Dominio ligure interno ed esterno (9, 48), della Falda toscana (60) e della Successione mesozoica e terziaria facente parte delle Unità toscane mesozoiche (59). Fanno infine parte di questa classe di vulnerabilità anche le Discariche

per inerti e rifiuti solidi urbani (33), in quanto si considera che una loro buona realizzazione, le renda praticamente impermeabili al passaggio di materiale inquinante.

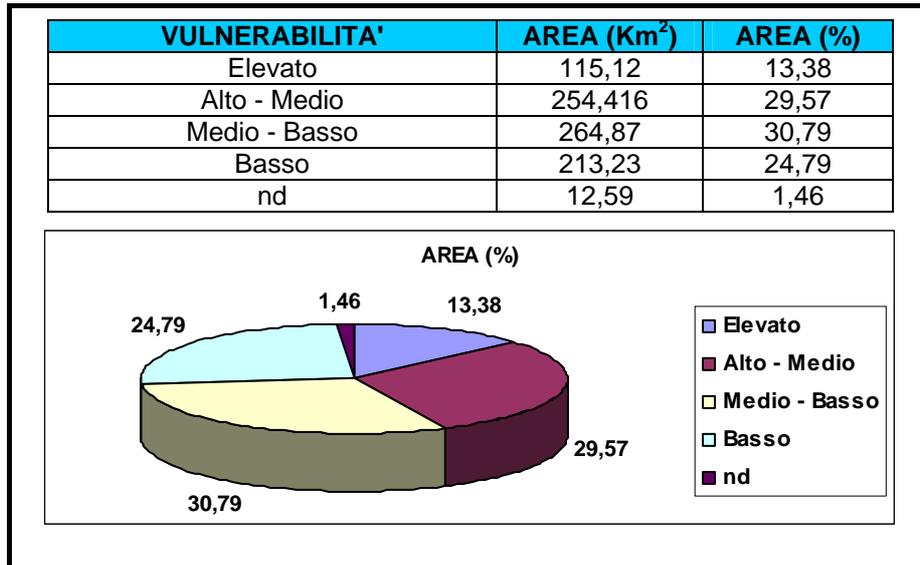


Figura 4 – Distribuzione areale delle classi di vulnerabilità all'interno dell'area studiata.

Nella fig. 4 e 5 e nella carta di fig. 6 è riportata la distribuzione areale in percentuale delle quattro classi di vulnerabilità a scala di area metropolitana e nei vari comuni al suo interno.

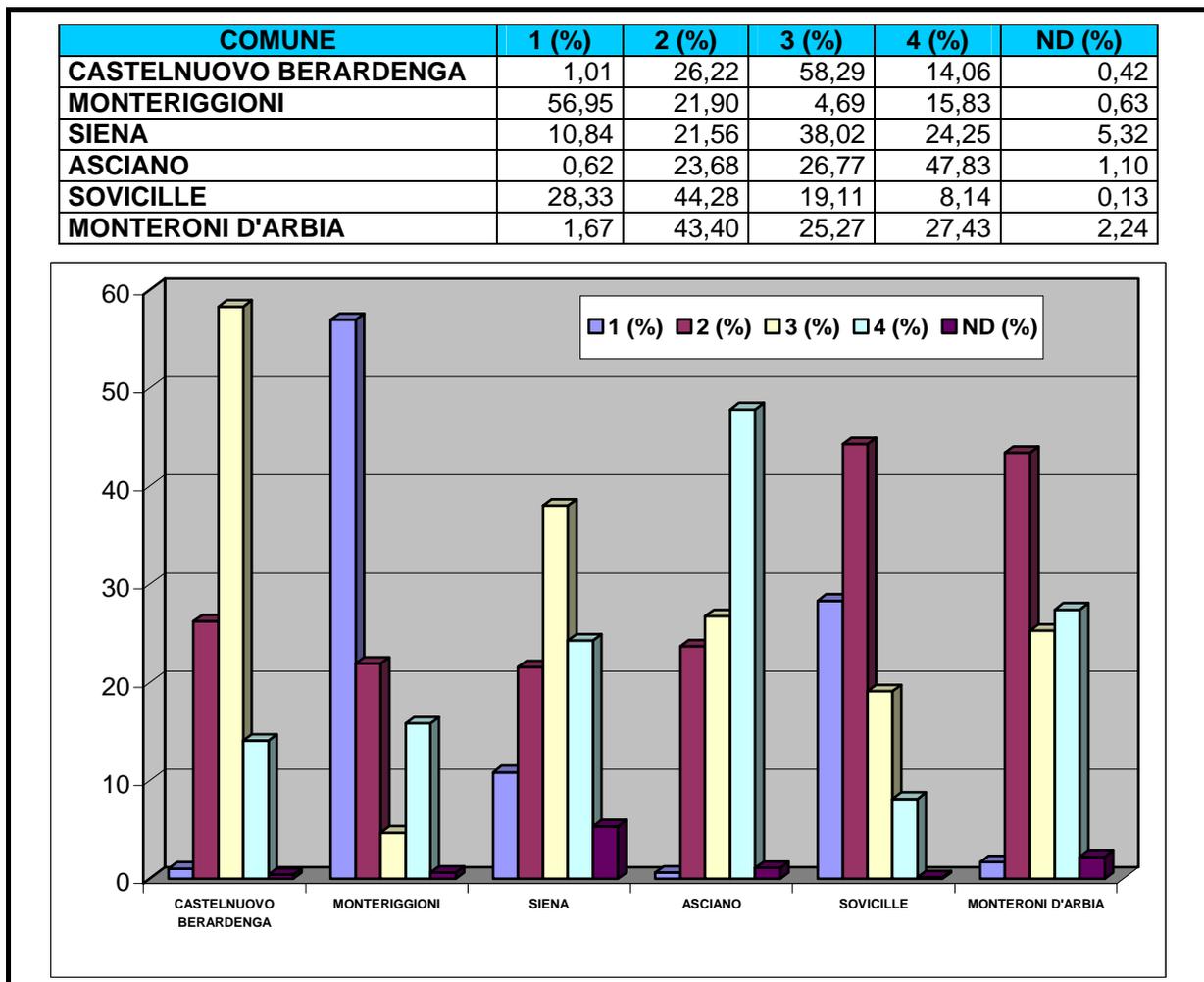


Fig. 5 – Distribuzione delle classi di vulnerabilità comune per comune all'interno dell'Area Metropolitana

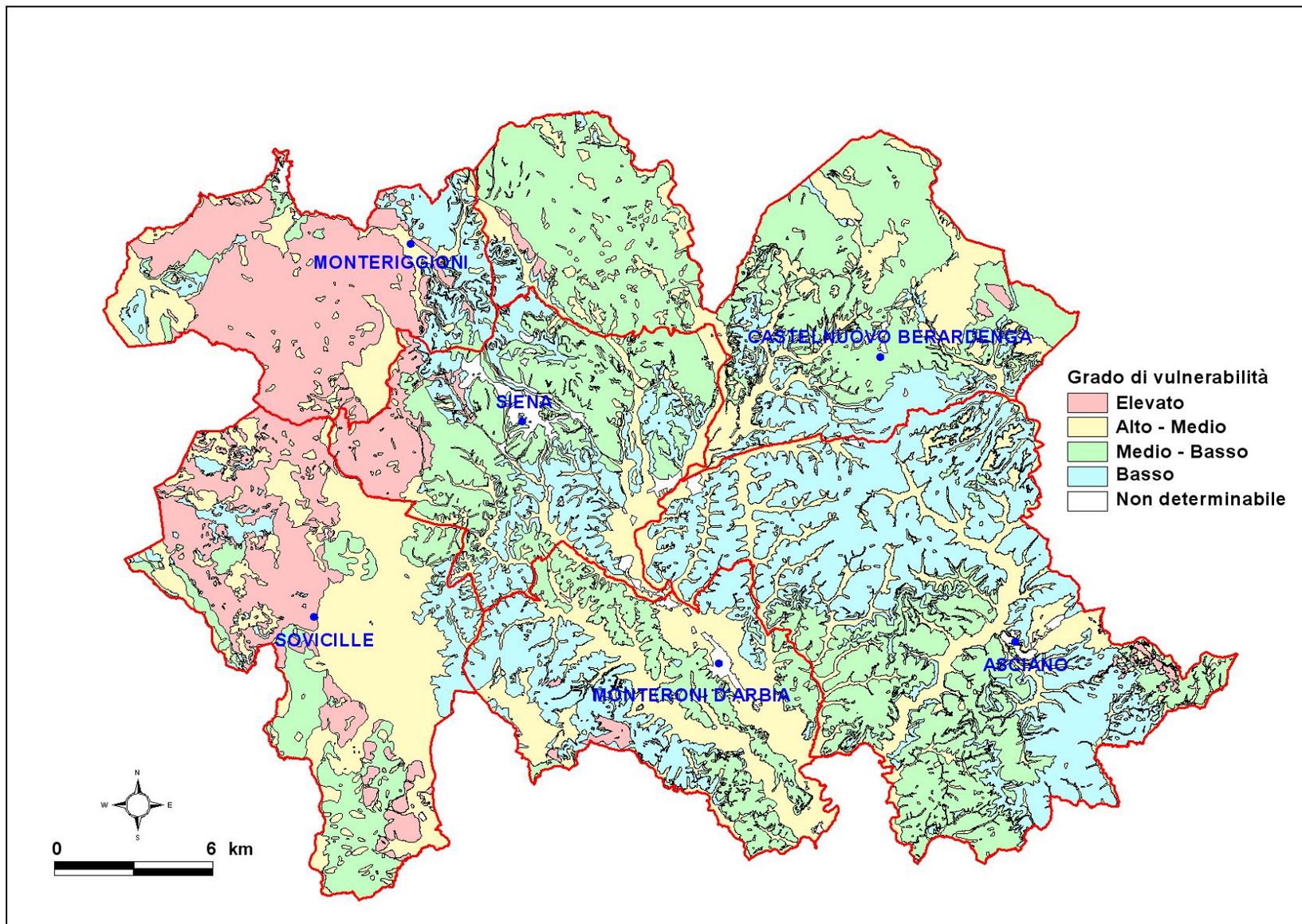


Fig. 6 – Carta della vulnerabilità dell'Area Metropolitana

2.6 - Sensibilità

Al fine di tutelare gli acquiferi presenti nel proprio territorio, il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena (PTCP), prevede il passaggio dai quattro gradi di vulnerabilità a tre classi di Sensibilità, come mostrato in Tab. 2.e secondo lo schema logico visibile nella tab. 3 di sintesi, dove:

- la classe di Sensibilità 1 corrisponde ad “Aree a vincolo elevato”;
- la classe di Sensibilità 2 corrisponde ad “Aree a vincolo medio”;
- la classe di Sensibilità 3 corrisponde ad “Aree non vincolate”.

I vincoli previsti dal PTCP di Siena per l'uso del territorio, ricadente nelle aree sensibili di classe 1 e 2 sono riportate in allegato alla presente relazione (Appendice 1); questo al fine di rendere minimo (o comunque accettabile il rischio di inquinamento).

Nella figg. 7 e 8 e nella carta di fig. 9 è riportata la suddivisione del territorio nelle tre classi di sensibilità a scala di area metropolitana e comune per comune;

come si può notare la maggior parte del territorio (56%) non è sottoposto a vincolo mentre la restante parte è suddivisa in un 30 % a vincolo medio (*sensibilità 2*) e in un 13 % a vincolo elevato (*sensibilità 1*).

Grado di Vulnerabilità	Classe di sensibilità
Elevata	1
Medio - alto	2
Medio – basso ⇒ Basso	3

Tab. 2: Relazione fra il grado di Vulnerabilità e le classi di sensibilità previste dal PTCP di Siena

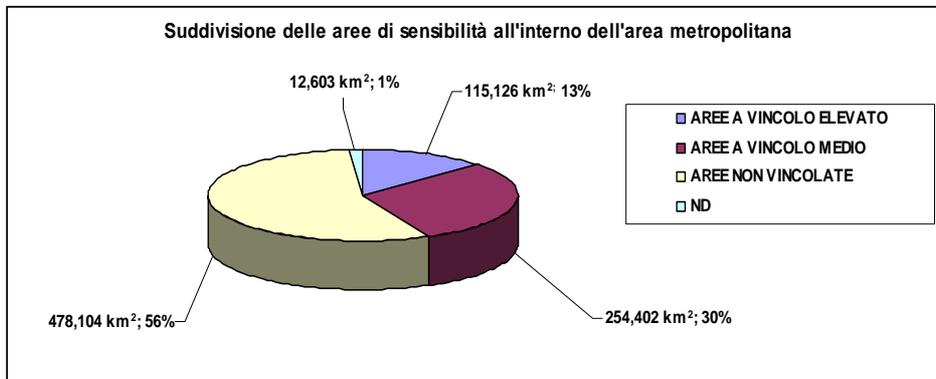


Fig. 7 - Suddivisione del territorio nelle tre classi di sensibilità espresse in km² e in percentuale.

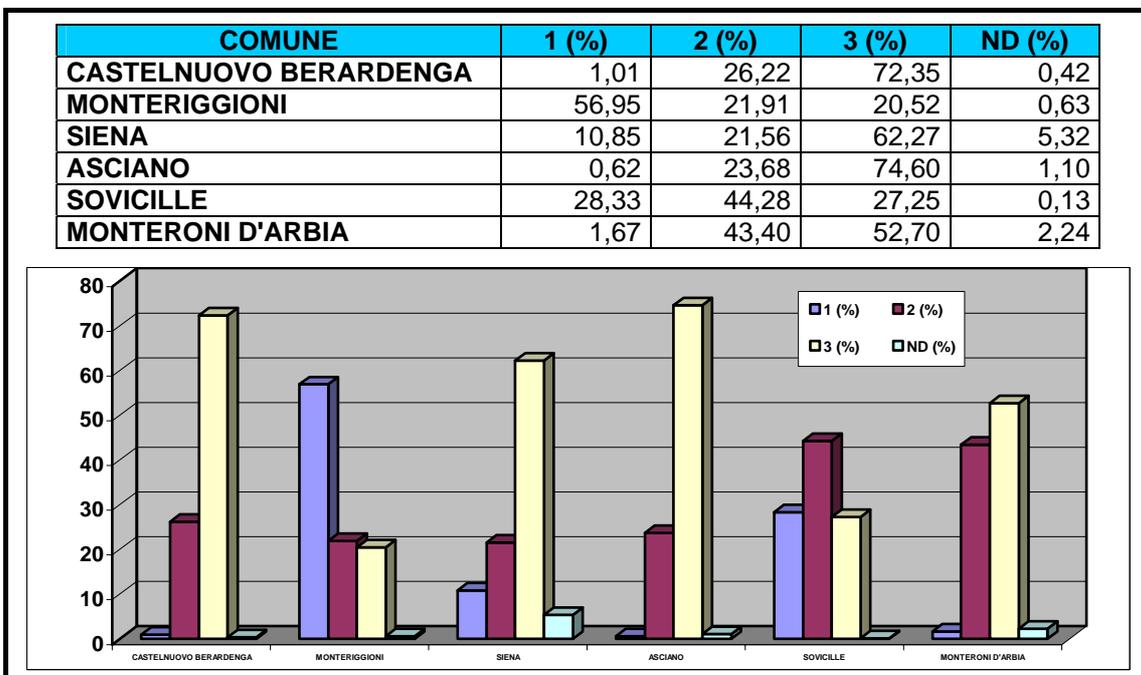


Fig. 8 – Distribuzione delle classi di sensibilità comune per comune all'interno dell'area vasta

La tabella 3 riassume tutti i passaggi che hanno permesso la definizione delle aree di sensibilità ai fini della tutela degli acquiferi partendo dalle formazioni geologiche presenti nello strato informativo fornitoci (st018). E' ovvio che quanto detto sul grado di permeabilità delle alluvioni avrebbe sicuramente ricadute sul grado di vulnerabilità e sensibilità.

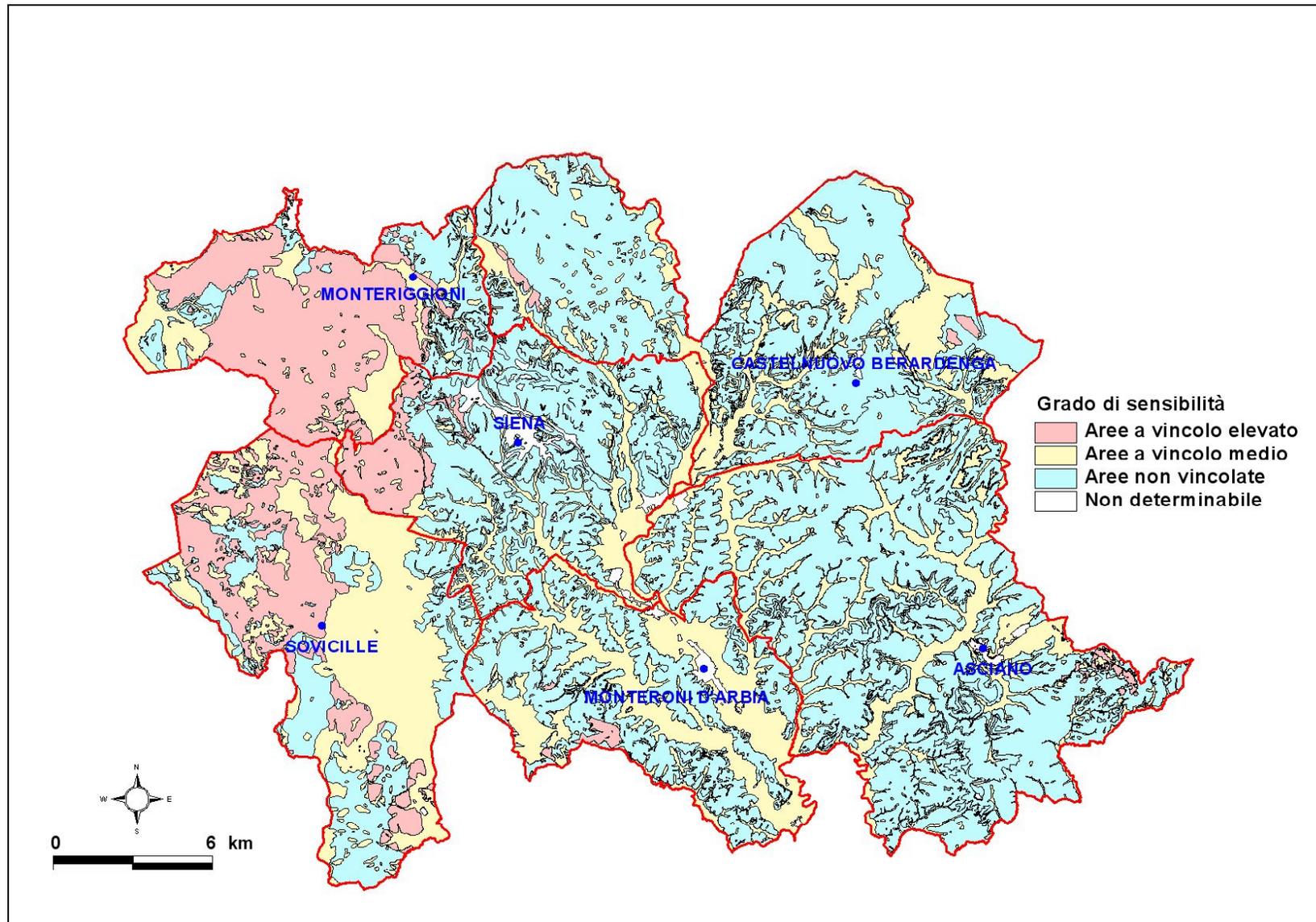


Fig. 9 – Carta delle aree sensibili dell'Area Metropolitana

COD UNI	GEOLOGIA	PERMEABILITA'		VULNERABILITA'		SENSIBILITA'	
		CLASSE	GRADO	CLASSE	GRADO	CLASSE	GRADO
11	Calcari ad aptici	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
18	Calcare cavernoso	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
19	Calcari di Groppo del Vescovo	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
22	Calcari selciferi a Entrochi	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
23	Travertini e calcari continentali (Olocene)	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
24	Travertini e calcari continentali (Pleistocene)	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
31	Grezzoni	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
32	Formazione di Grotte di Castro	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
36	Calcare selcifero di Limano	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
37	Marmi	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
41	Maiolica	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
42	Calcare massiccio	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
43	Breccia di Grotti	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
52	Calcari e marne a Rhaetavícula Contorta	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
53	Rosso Ammonitico	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
1	Frana	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
2	Depositi di frane senza indizi di evoluzione	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
3	Detrito di falda	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
4	Depositi di versante	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
12	Depositi alluvionali	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
13	Depositi eluvio-colluviali (Olocene)	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
14	Prodotto eluviale (Olocene)	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
15	Deposito colluviale (Olocene)	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
16	Depositi eluvio-colluviali (Pleistocene)	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
17	Depositi alluvionali terrazzati	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
21	Depositi lacustri	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
34	Discariche di cave, ravaneti	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
35	Terreni di riporto, bonifica per colmata	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
67	Sabbie e ciottolame di Monticiano	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
69	Breccia di Tocchi	2a	Elevato	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
39	Olistostromi di materiale ligure e subligure	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
44	Conglomerati di Liliano	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
49	Conglomerati marini poligenici	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
50	Calcareniti e calciruditi bioclastiche	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
55	Conglomerati di Castello di Luppiano	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
61	Membro delle Marne del Sugame	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
62	Membro delle Calcareniti di Montegrossi	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
63	Membro delle Calcareniti di Dudda	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
65	Conglomerati di Case Stieri	2b	Buono	2	Medio-Alto	2	Vincolo medio
10	Arenaria di Ponsano	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
20	Diaspri	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
28	Sabbie risedimentate	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
38	Macigno	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
40	Arenarie zonate	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
45	Sabbie e arenarie	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
51	Sabbie di S.Vivaldo	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
56	Formazione del Torrente Sellate	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
57	Formazione della Verruca (filladi quarzitic-muscovitiche)	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
58	Formazione della Verruca (metaconglomerati quarzosi)	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
68	Formazione di Vinca	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
5	Argille e calcari di Canetolo	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
6	Argille e calcari di Canetolo (Litofacies calcareo-argillitica)	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
7	Argille e calcari di Canetolo (Litofacies calcarea)	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
27	Alternanze di argille e sabbie	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
29	Formazione di S.Fiora	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
46	Formazione di M.Morello	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
47	Marne di Murlo	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
54	Serpentiniti	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
64	Marne e calcilutiti	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
8	Argille del Casino	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
9	Argille a palombini	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
25	Argille azzurre	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
26	Formazione di Villamagna	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
30	Argille del Torrente Foschi	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
33	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
48	Flysch di Ottone	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
59	Scisti sericitici	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
60	Membro delle Argilliti di Brolio	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
66	Formazione di Chiusdino	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo

Tab. 3 – Sintesi dei parametri permeabilità, vulnerabilità e sensibilità in relazione alle formazioni geologiche

2.6.1 - Analisi della sensibilità

Una volta individuate le classi di Sensibilità, si è anche proceduto ad analizzare le aree sottoposte a vincolo elevato e medio (ovvero quelle ricadenti nelle classi 1 e 2), in base all'uso del suolo; questo al fine di evidenziare quanto queste aree sottoposte a vincolo influenzino effettivamente la destinazione d'uso del territorio (in generale le aree boschive sono perlopiù escluse dalle attività antropiche e non sono

normalmente disciplinate ai fini urbanistici). Inoltre per quanto riguarda le aree nd (non determinabili) si è scelto di accorparle nelle aree non vincolate.

A tal fine, nell'analisi della correlazione, si è deciso di suddividere le classi previste dall'uso del suolo in due gruppi come mostrato in fig. 10:

- Bosco;
- Altro (Roccia+Pascoli+Seminativi).

Come si può vedere dalla figura 10 circa il 43% dell'Area Metropolitana è vincolata, di questa il 36 % ricade in zone boschive.

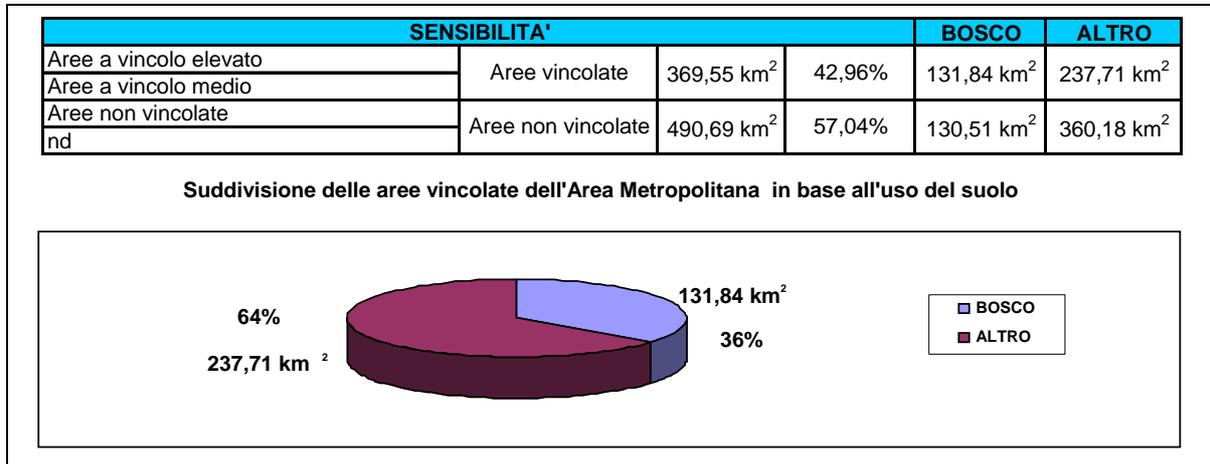


Fig. 10 – Suddivisione delle aree vincolate in funzione dell'uso del suolo

Partendo dalla suddivisione delle aree sottoposte a Sensibilità 1 in base all'uso del suolo, si nota che la maggior parte del territorio (il 74%) a vincolo elevato è a Bosco, mentre il restante 26% dell'areale vincolato rientra nel gruppo che comprende roccia, pascolo e seminativi (fig. 11).

In fig. 11, sono mostrate anche le percentuali delle aree ricadenti nella classe di Sensibilità 2.

Come si nota infatti, la maggior parte del territorio sottoposto a vincolo medio rientra nel gruppo Roccia, Pascolo, Seminativi (82%), risultato questo atteso dato che in sensibilità 2 ricadono tutte le aree alluvionali pianeggianti e di fondovalle più adatte ad usi agricoli o comunque ad essere antropizzate, mentre solo il 18% dell'areale ricade nel Bosco.

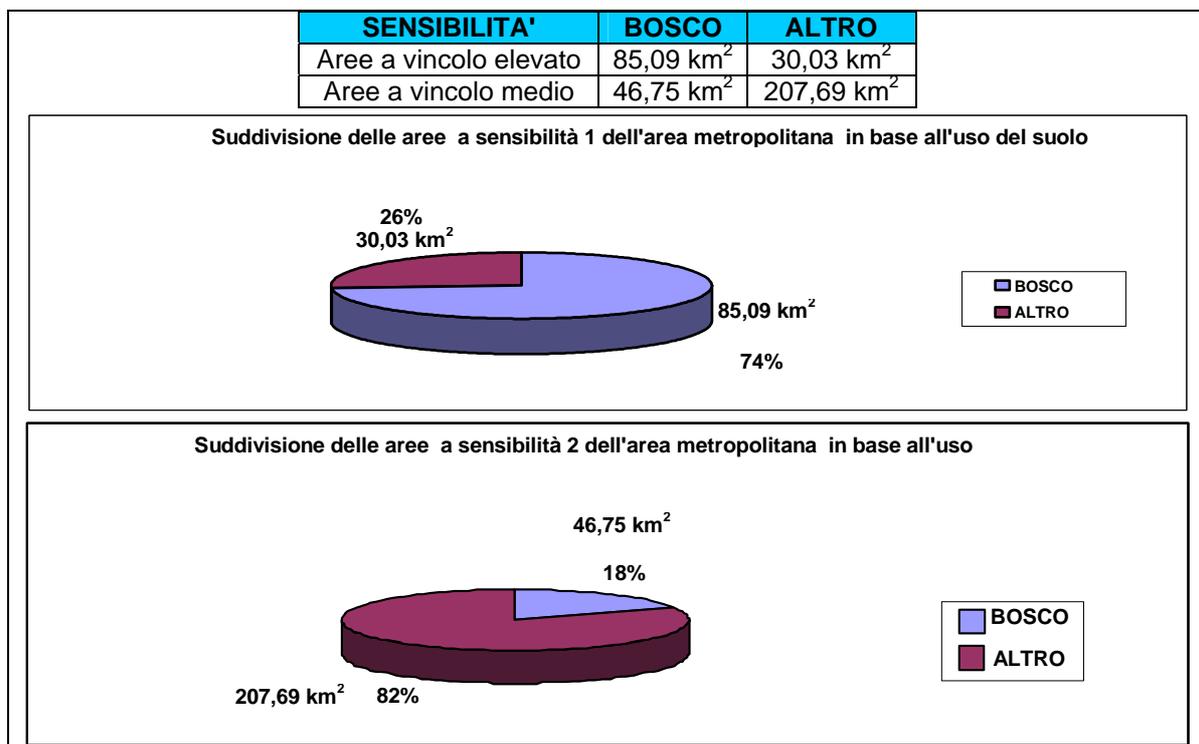


Fig. 11 – Suddivisione delle aree sottoposte a sensibilità 1 e 2 dell'area Metropolitana in base all'uso del suolo

2.7 - Vulnerabilità integrata

La vulnerabilità integrata (vedi fig. 22) è correlabile, come già ricordato, al concetto di rischio; la sua redazione ha come intento quello di fornire al pianificatore una precisa idea del rischio potenziale di inquinamento degli acquiferi presenti nella zona in esame. Insieme alla carta della sensibilità (che invece individua vincoli all'uso del territorio in modo da ridurre i rischi di inquinamento) diviene uno strumento principe nelle mani del pianificatore per orientare il governo del territorio in perfetta linea con i principi di sviluppo sostenibile. Al fine di giungere alla stesura della carta della vulnerabilità integrata degli acquiferi all'inquinamento relativa all'Area Metropolitana si fa riferimento alla legenda Civita che prevede l'acquisizione di una gran mole di dati suddivisi in sei sezioni:

- 1) *Geometria ed idrodinamica dei corpi idrici sotterranei;*
- 2) *Stato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei;*
- 3) *Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei;*
- 4) *Potenziali ingestori e viacoli di inquinamento dei corpi idrici sotterranei;*
- 5) *Preventori e/o riduttori dell'inquinamento;*
- 6) *Principali soggetti ad inquinamento.*

Le sezioni 1 e 2 (descritte al par. 2.1) non sono state rappresentate nella carta (vedi fig. 21) perché i dati a nostra disposizione erano pochi e soprattutto disomogenei nel territorio esaminato (la Legenda Civita utilizzata è riportata in Appendice 2). Solo per quanto riguarda la sezione 2 alcune informazioni sono state descritte nella relazione delle risorse idriche: valutazione, fabbisogni e gestione.

2.7.1 - Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei

Essi costituiscono le effettive, possibili o probabili fonti di rilascio di un inquinante nell'ambiente con rischio di contaminazione delle acque sotterranee (per le principali modalità, vedi quanto illustrato dalla fig. 12).

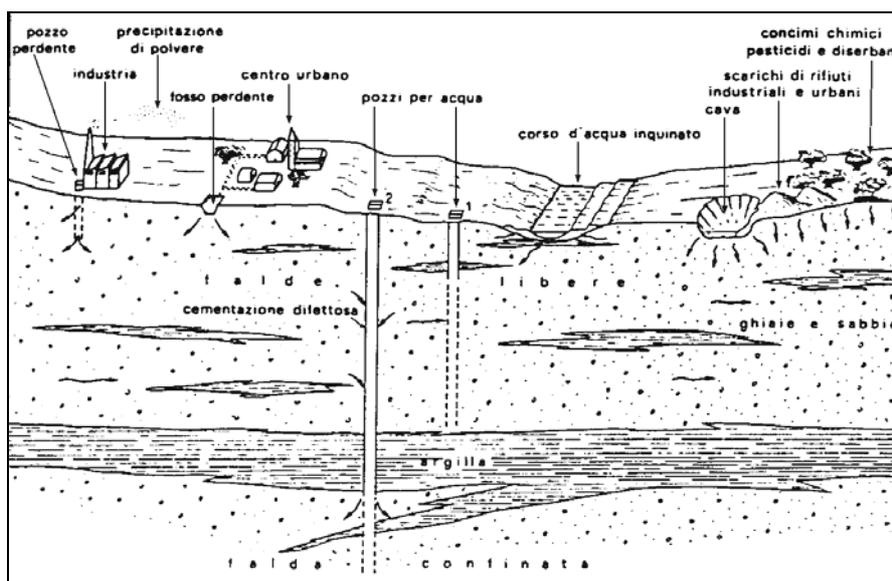


Fig. 12 – Principali modalità di inquinamento delle acque sotterranee, dovute all'attività dell'uomo (ripreso da Celico, 1988).

La raccolta dei dati relativi è sempre molto impegnativa, dovendosi necessariamente raggiungere un elevato grado di copertura e di approfondimento. Non basta, ad esempio, il rilevamento di un complesso industriale per poter definire il tipo ed il grado di pericolosità potenziale di esso; sarà necessario conoscere il tipo di rifiuti che produce, la portata degli scarichi liquidi, la destinazione di questi (fognatura urbana, impianto di depurazione, rete idrografica). Allo stesso modo, è necessario conoscere il tipo di soggetto allevato ed il numero di capi per poter valutare il possibile impatto di un'industria zootecnica (AA.VV., 1988).

La raccolta di questi dati avviene, in genere, in due fasi distinte:

- dapprima, si raccolgono le informazioni esistenti presso gli Enti pubblici e le Organizzazioni territoriali (Regione, Provincia, Comuni, Camera di Commercio, Azienda U.S.L.7, A.T.O.6, ecc.);
- si passa poi al rilevamento sul campo, utilizzando largamente le tecniche di telerilevamento tradizionale e di teledetezione aeroportata prima degli indispensabili *controlli a terra*.

Per quanto riguarda il territorio esaminato, per ora è stato possibile attuare e portare a termine solo la prima fase mentre per la seconda sono stati effettuati alcuni rilevamenti diretti parziali che hanno interessato solamente le attività particolarmente pericolose (es. Distributori di carburante).

La raccolta dei dati è stata condotta attraverso una ricerca nei vari archivi "GIS oriented" della Regione Toscana estrapolando dalla CTR scala 1 : 10000 (attraverso delle query tramite un GIS) aree urbane, viabilità principale, linee ferroviarie, reticolo idrografico, ospedale e cimitero; questi ultimi due sono stati in parte rielaborati, controllati ed integrati; inoltre è stato acquisito il tematismo Uso del suolo (CORINE – LAND COVER) e quello delle Discariche incontrollate di rifiuti solidi derivate da una selezione effettuata sulla nuova Carta Geologica della Regione in scala 1 : 10000.

Dall'Amministrazione Comunale di Siena sono stati raccolti: metanodotto – gasdotto , depositi di GPL, fognature e solo per il Comune di Siena i distributori di carburante.

Le maggiori difficoltà per l'inserimento dei circa 900 centri di pericolo (CDP) puntuali sono state incontrate nell'analisi dei due archivi più numerosi: quello della Camera di Commercio, per la ricerca delle attività produttive, e quello della AUSL Veterinaria per le tipologie di allevamenti e la loro consistenza.

L'archivio della Camera di Commercio elenca circa 10000 attività, con le proprie caratteristiche, il loro indirizzo etc.; questo è stato "filtrato" solo per quelle attività potenzialmente pericolose per l'inquinamento (industrie in generale, officine meccaniche, distributori di carburante, depositi di prodotti chimici e altri materiali ad uso agricolo e coltivazioni intensive in serra) arrivando a circa 400 punti pericolosi (vedi tab. 4). Successivamente si è passati alla fase di posizionamento in carta per ogni singola attività; per il Comune di Siena, grazie all'aiuto del sito internet questa operazione è stata piuttosto agevole e precisa visto che è possibile fare una ricerca per via e numero civico. Per gli altri Comuni dell'area Metropolitana la ricerca della posizione dei CDP partendo dall'indirizzo è stata molto più laboriosa, lunga e di minor precisione (nella tabella DBF allegata al tematismo è presente il campo precisione che descrive questa caratteristica).

ID_CAM_COM	DENOMINAZI	ATTIVITA	LEG_CIVITA	INDIRIZZO	COMUNE
9298	AZ AGR. MOLINO DEL PALAZZO DI BENOCCI GIO	PRODUZIONE DI PIANTE PARTI DI PIANTE DESTINATE ALLA VENDITA	Coltivazioni intensive in serra	LOCALITA' PALAZZO A MERSE 1	SOVICILLE - SI
9347	MAIDICOLA SOVICILLE - SOC.COOP. A R.L.	VENDITA AI PROPRI SOCI DI SEMENTI E CONCIMI CHIMICI E ANTIP	Scarichi Multipli	LOCALITA' IL PINO	SOVICILLE - SI
9362	BRENNIA INERTI DI CIACCI ADELIO SETTIMIO & C.	ESCAVAZIONE DI INERTI.	Industria con scarichi e/o rifiuti inorganici		SOVICILLE - SI
9363	GRANTAL SIENA- SRL	ESCAVAZIONE MARMO	Industria con scarichi e/o rifiuti inorganici	LOCALITA' PELLI	SOVICILLE - SI
9367	EDILBETON S.R.L.	ESCAVAZIONE DI SABBIA PIETRAMME E CALCESTRUZZO.	Industria con scarichi e/o rifiuti inorganici	STRADA STATALE 223 DI PAGAN	SOVICILLE - SI
9369	MARMI AFFINI E CALCE (M.A.C.) SRL	FRANTOIO DI PIETRA.	Industria con scarichi e/o rifiuti inorganici		SOVICILLE - SI
9377	CRI CRI DI SAMPIERI ALESSANDRO	LAVORAZIONE E TOSTATURA SEMI ARACHIDI E PISTACCHI.	Industria con scarichi e/o rifiuti organico-	LOCALITA' LA MACCHIA	SOVICILLE - SI
9378	PANIFICIO S.ROCCO - BADESSE DI SAVELLI ROB	PRODUZIONE LAVORAZIONE E VENDITA DI PRODOTTI DI PANETTE	Industria con scarichi e/o rifiuti organico-	LOCALITA' LA MACCHIA 119	SOVICILLE - SI
9383	LA FABBRICA DEL PANFORTE S.R.L.	PRODUZIONE DI PASTICCERIA	Industria con scarichi e/o rifiuti organico-	SNC	SOVICILLE - SI
9385	F.LLI MORVIDUCCI S.N.C.	PRODUZIONE PASTICCERIA E COMMERCIO ALL'INGROSSO	Industria con scarichi e/o rifiuti organico-	ZONA INDUSTRIALE LOC. LA MAC	SOVICILLE - SI
9389	NAMSCE BAZAR DI MARCONI ANDREA & C. S.N.C	LAVORAZIONE DEL CUOIO DEI PELLAMI E SELLERIA.	Scarichi Multipli	VIA PALAZZO AL PIANO 145	SOVICILLE - SI
9395	BIAGINI LUIGI	FALEGNAME E MOBILIERE	Scarichi Multipli	LOCALITA' LA MACCHIA 67	SOVICILLE - SI

Tab. 4 – Estratto della tabella allegata dei CDP

Dato l'elevato numero e l'importanza che queste attività produttive ricoprono per la Vulnerabilità Integrata, su di esse abbiamo effettuato una analisi statistica per vedere, in dettaglio, come queste sono ripartite all'interno dei Comuni dell'Area Metropolitana vedi fig. 13

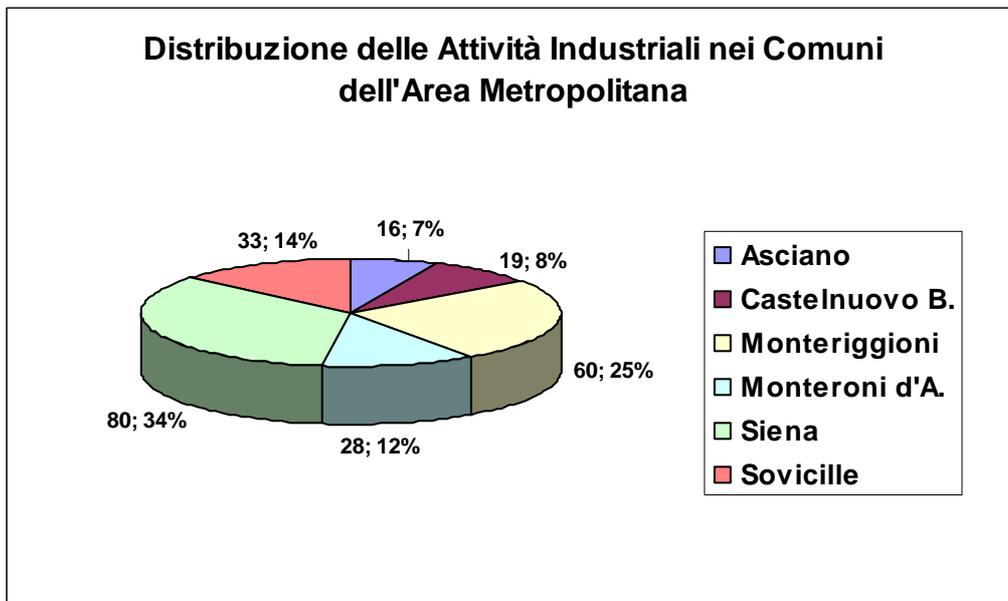


Fig. 13 – Distribuzione delle Attività Industriali nei Comuni dell'Area Metropolitana.

Analizzando con ulteriore dettaglio queste attività produttive, possiamo suddividerle anche in base al tipo di scarico:

- Industrie con scarichi e/o rifiuti organico – biologici (A) (Industria alimentare e abbigliamento);
- Industrie con scarichi e/o rifiuti inorganici (C) (Escavazione di inerti,etc.);
- Industrie con scarichi multipli (A+B; A+C; B+C; A+B+C) (Mobilificio, Cuoieria, etc.)

La tipologia di scarichi (B) non è presente singolarmente ma solo all'interno delle industrie con scarichi multipli e rappresenta gli scarichi e/o rifiuti organici difficilmente biodegradabili. La distribuzione della tipologia degli scarichi come si vede in fig. 14 mostra una prevalenza di industrie con scarichi multipli rispetto alle altre tipologie.

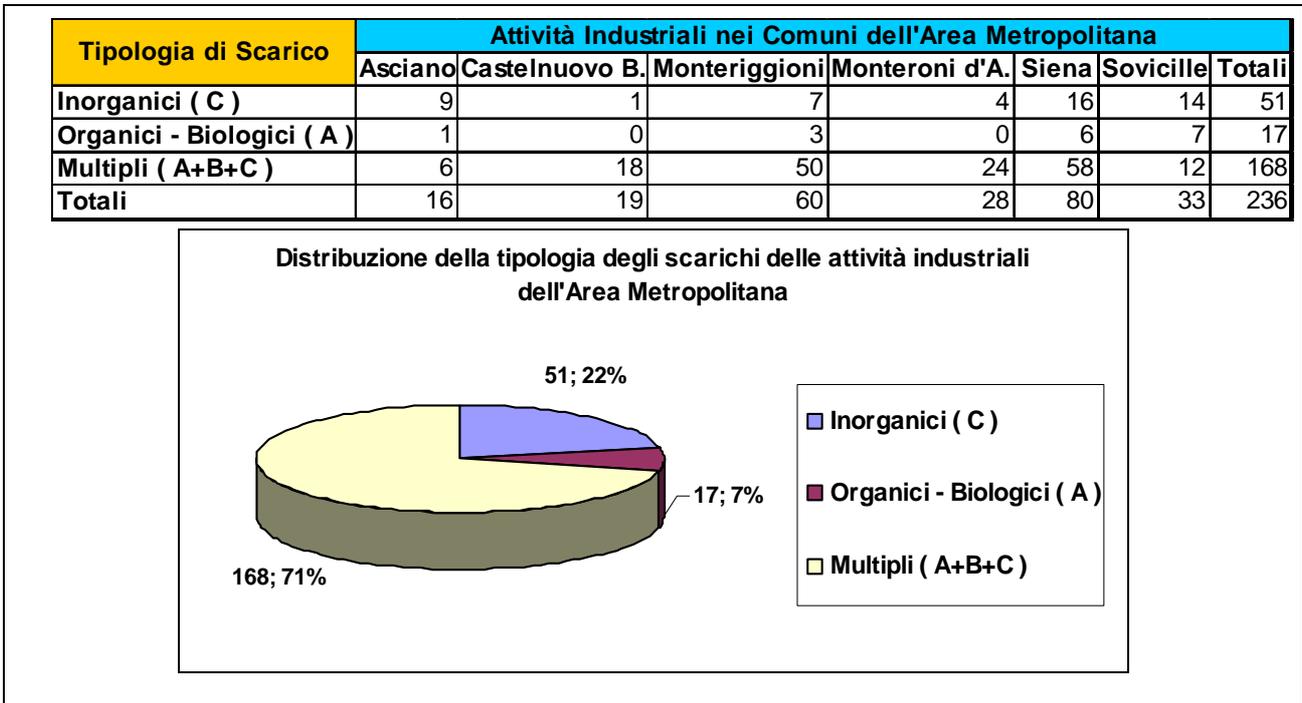


Fig. 14 – Distribuzione della tipologia degli scarichi delle attività industriali nei Comuni dell'Area Metropolitana.

Un'ulteriore analisi dei CDP puntuali a livello di Area Metropolitana può essere fatta in relazione alla loro presenza nelle aree sensibili, infatti come si può vedere in fig. 15 l'11% dei Centri di Pericolo ricade in aree a vincolo elevato e il 24% in quelle a vincolo medio individuando con ciò un rischio potenziale di inquinamento per gli acquiferi ivi presenti. Ulteriori dettagli a livello di ogni singolo comune saranno analizzati nel cap. 3.

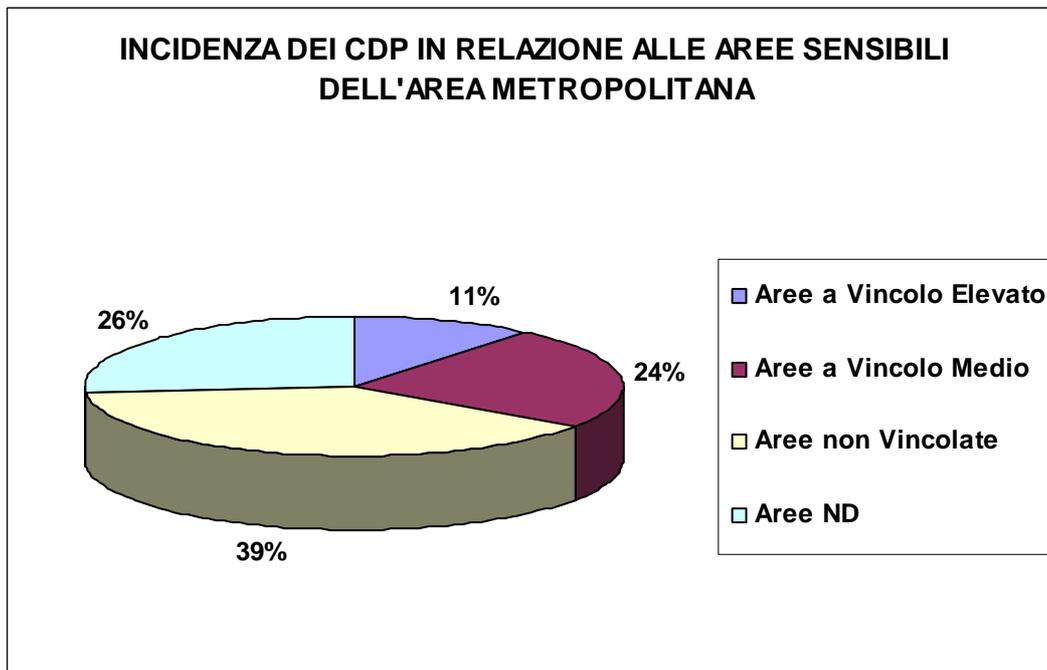


Fig. 15 – Incidenza dei CDP in relazione alle aree Sensibili dell'Area Metropolitana

L'archivio raccolto alla AUSL Veterinaria (allevamenti) ha presentato delle problematiche molto simili a quello precedente con l'aggiunta di una grande quantità di codici che ha richiesto molto tempo per ordinarli e analizzarli in modo corretto; uno stralcio di questo è visibile in tab. 5

COD_ATT	TIPO_IND	LOCALITA	N_CIVICO	COD_ALL	INCERTEZZA	COMUNE	NUM_CAPI	TIPOLOGIA	ATTIVITA'	LEG_CIVITA
002SI014	LOC.	BELLAVEDUTA			si	ASCIANO	620	1C+1D		Allevamento: vari
002SI051	LOC.	BOLLANO				ASCIANO	550	1C+1D		Allevamento: vari
002SI083	LOC.	BOLSANINA BASSA		12228	si	ASCIANO	22	2C	ALL.EQUINI-GALOPPO	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI049	LOC.	CALDARIA		12224		ASCIANO	440	2C	ALL.EQUINI-AMATORIALE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI064	LOC.	CASANOVA				ASCIANO	66	1B+1C		Allevamento: vari
002SI108	POD.	FOCAIE		12228	si	ASCIANO	20	2C	ALL.EQUINI-GALOPPO	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI026	LOC.	FONTANELLE		12224	si	ASCIANO	1110	2C	ALL.EQUINI-AMATORIALE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI044	LOC.	FONTANELLE		12224	si	ASCIANO	420	2C	ALL.EQUINI-AMATORIALE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI022	POD.	GANO				ASCIANO	71	1B+1D		Allevamento: vari
002SI033	LOC.	MILANINO			si	ASCIANO	735	2C+1D		Allevamento: vari
002SI047	LOC.	MUCIGLIANI		122111	si	ASCIANO	830	2C	ALL.OVINI DA PROD.LATTE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI067	LOC.	PIEVINA		122111	si	ASCIANO	770	2C	ALL.OVINI DA PROD.LATTE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI066	LOC.	PIEVINA	5		si	ASCIANO	32	1B+1C		Allevamento: vari
002SI011	POD.	POGGIOLI DI SOPRA			si	ASCIANO	500	1C+1D		Allevamento: vari
002SI037	LOC.	RIGOLI DI SOPRA				ASCIANO	420	1C+1D		Allevamento: vari
002SI119	FATTORIA	SALTEANO		12224		ASCIANO	20	2C	ALL.EQUINI-AMATORIALE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI077	POD.	SCACCIACUCULI		12222		ASCIANO	25	2C	ALL.EQUINI-CARNE	Allevamento: ovcapri ed equini
002SI038	LOC.	VESCONA	6		si	ASCIANO	980	1C+1D		Allevamento: vari

Tab. 5 – Esempio della tabella allegata relativa agli allevamenti

Dal punto di vista numerico l'archivio acquisito era costituito inizialmente da un totale di oltre 1500 record, di questi sono stati analizzati sul territorio dei vari Comuni poco meno della metà (617) che corrispondono a 397 allevamenti posizionati se si escludono quelli con una consistenza inferiore a 10 capi ed anche quelli dove questa informazione era assente.

All'interno delle varie tipologie di allevamenti compare la voce "allevamenti vari" che corrisponde a più tipologie di animali presenti all'interno della solita azienda; solo per questi, come si vede in tab 5, è presente il campo Tipologia che descrive in dettaglio all'interno del solito allevamento il numero delle stalle relative ad ogni tipo di animale (A: Avicunicoli; B: Bovini; C: Ovcapri ed Equini e D: Suini).

La distribuzione delle tipologie degli allevamenti nei Comuni dell'Area Metropolitana non è omogenea come si può vedere in fig. 16.

Tipologia di allevamento	Comuni Area Metropolitana					
	Asciano	Castelnuovo B.	Monteriggioni	Monteroni d'A.	Siena	Sovicille
Avicunicoli	3	1	1	0	2	0
Bovini	4	1	1	5	4	1
Ovcapri ed Equini	50	23	59	20	109	30
Suini	16	8	3	3	9	9
Vari	10	5	6	4	6	4
Totali per Comune	83	38	70	32	130	44

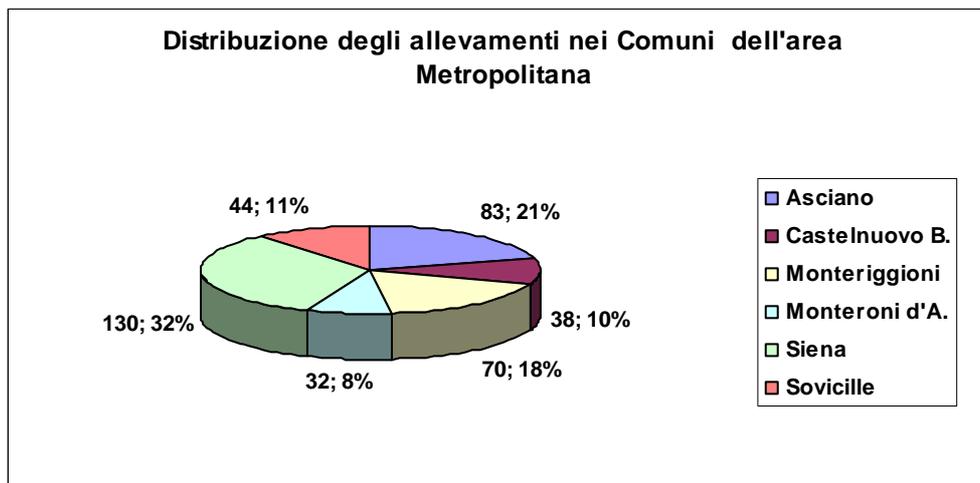


Fig. 16 – Distribuzione degli allevamenti nei Comuni dell'area Metropolitana

Invece in fig. 17 si può capire molto chiaramente che la maggior parte degli allevamenti è costituito dagli Ovcapri ed Equini (oltre 70%) e poi da tutti gli altri.

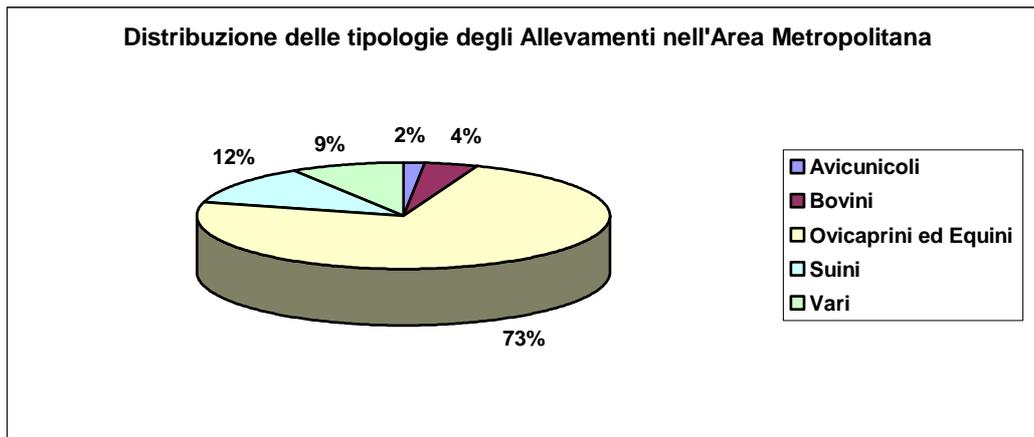


Fig. 17 – Distribuzione delle tipologie degli Allevamenti nell'Area Metropolitana

Una ulteriore chiave di lettura di questi centri di pericolo può essere fatta attraverso l'analisi del numero medio di capi per tipologia di allevamento (fig. 18); ad esempio, il Comune di Siena presenta un numero di allevamenti di Ovicapri ed Equini superiore ad Asciano, ma se analizziamo il numero medio di capi presenti, questo ultimo comune ospita un numero di capi circa quattordici volte superiore a quelli del Comune di Siena.

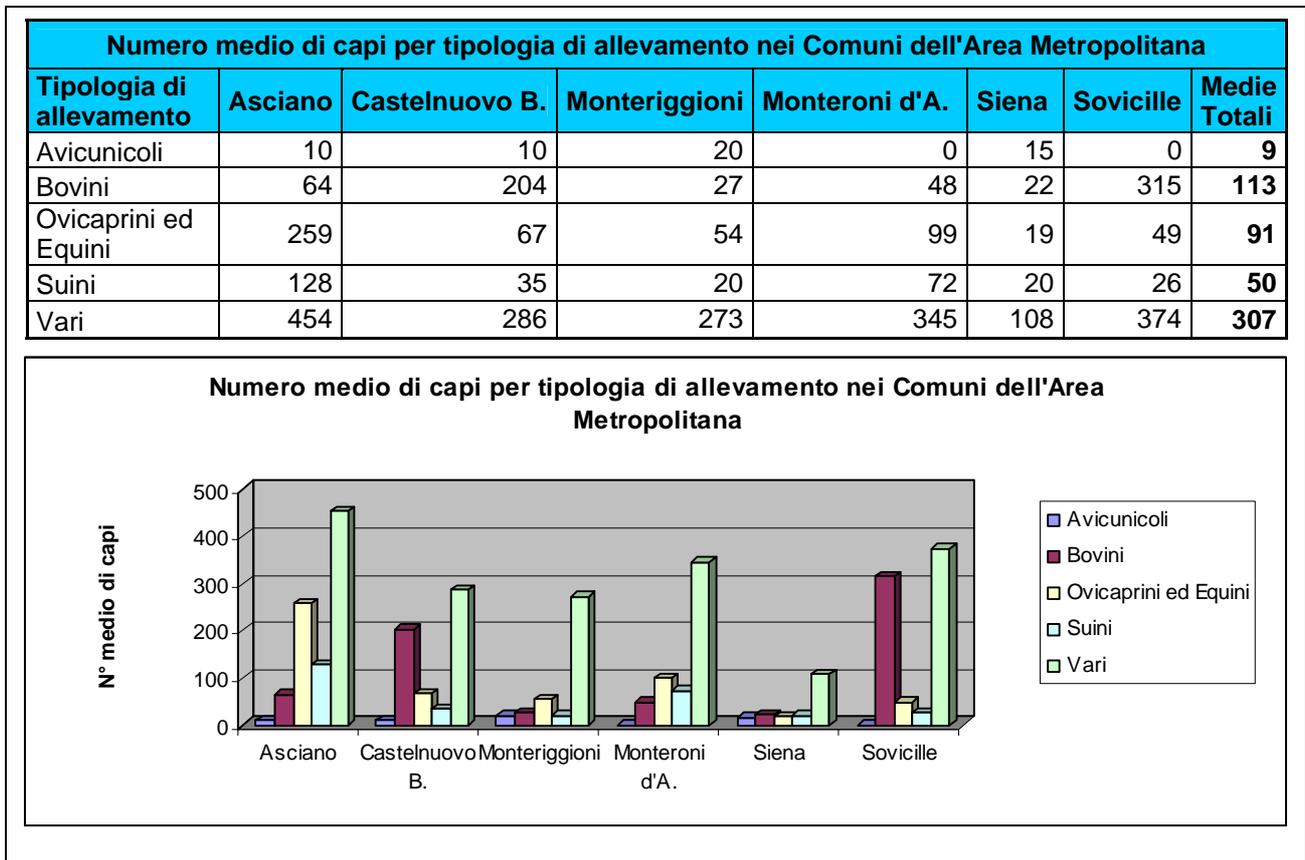


Fig. 18 – Numero medio di capi per tipologia di allevamento nei Comuni dell'Area Metropolitana

2.7.1.1 - Attività agricole

L'inquinamento agricolo proviene da una serie di interventi di tipo non puntuale ma diffuso che consistono nell'applicazione di prodotti chimici ai terreni agricoli con lo scopo di ottenere raccolti sempre più abbondanti; ne deriva un impatto sulle acque sotterranee sempre più preoccupante per il proliferare di pratiche agricole che utilizzano questi prodotti.

Per analizzare questa problematica siamo partiti dall'utilizzo della copertura dell'Uso del suolo in scala 1:100000 (CORINE – LAND COVER) della Regione Toscana che riporta l'ubicazione geografica dei *territori agricoli* e quindi ci fornisce un'indicazione delle zone interessate dall'utilizzo di sostanze inquinanti.

Codici uso del suolo	Legenda carta uso del suolo	Classi d'uso del suolo (secondo Civita, 1994)
111	Tessuto urbano continuo	Aree sterili, incolte o con colture spontanee o che non prevedono trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, etc.
112	Tessuto urbano discontinuo	
121	Aree industriali o commerciali	
122	Reti stradali o ferroviarie e spazi accessori	
124	Aeroporti	
131	Aree estrattive	
142	Aree sportive e ricreative	
231	Prati stabili	
3112	Castagneti da frutto	
3113	Altri boschi di latifoglie	
312	Boschi di conifere	
313	Boschi misti	
322	Brughiere e cespuglieti	
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	
333	Aree con vegetazione rada	
334	Aree percorse da incendio	
2211	Colt. perm. miste con leggera prevalenza di vigneti	
2212	Altri vigneti	
2231	Colt. perm. miste con leggera prevalenza di oliveti	
2232	Altri oliveti	
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali	
3111	Colture arboree di specie a rapido accrescimento (pioppeti etc)	
2111	Vivai e colture protette	Aree con colture che prevedono frequenti e abbondanti trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, etc.
2112	Altri "seminativi" in aree non irrigue	
213	Risaie	
241	Colture annuali associate a colture permanenti	
242	Sistemi colturali e particellari complessi	

Tabella 5 bis – Relazione fra le classi di uso del suolo e l'intensità dei trattamenti

L'operazione successiva è stata quella di riclassificare questo tematismo utilizzando le classi d'uso del suolo (secondo Civita 1994 – vedi tabella 5 bis) in:

- Aree sterili, incolte o con colture spontanee o che non prevedono trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, ecc.
- Aree con colture che prevedono limitati trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, ecc.
- Aree con colture che prevedono frequenti e abbondanti trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, ecc.

Per analizzare il problema all'interno dell'area Metropolitana abbiamo accorpato le due classi con trattamenti abbondanti e limitati così da poter vedere come le aree vincolate dei singoli Comuni (sensibilità 1 e 2) siano soggette o meno a trattamento con Fitofarmaci (vedi figure 19 e 20).

Il quadro generale che ne emerge è che circa il 60% delle aree vincolate totali è soggetto a trattamento con Fitofarmaci.

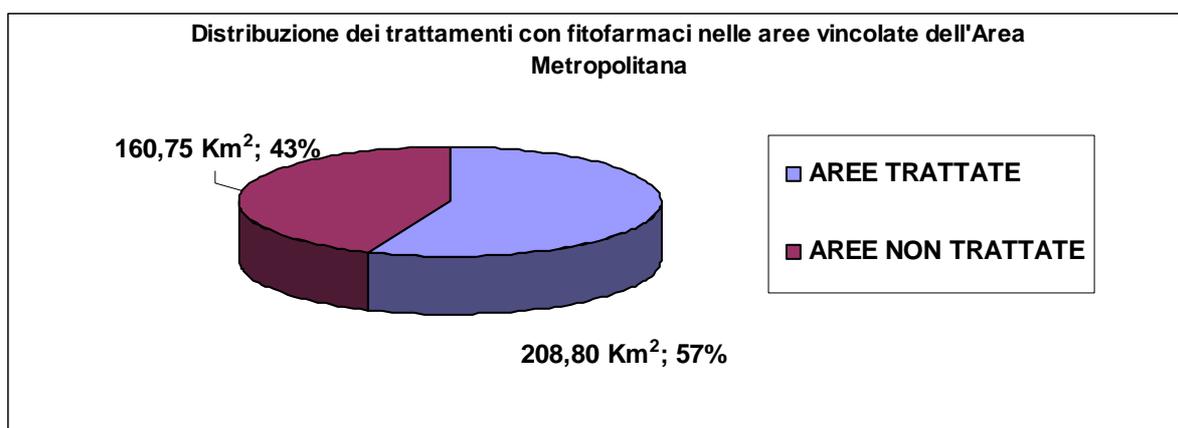


Fig. 19 – Distribuzione delle aree vincolate all'interno dell'Area Metropolitana in base ai trattamenti con fitofarmaci

COMUNE	AREE TRATTATE (Km ²)	AREE NON TRATTATE (Km ²)
Asciano	40,56	11,84
Castelnuovo B.	26,33	21,89
Monteriggioni	32,09	46,36
Monteroni d'A.	35,81	11,84
Siena	23,53	14,92
Sovicille	50,49	53,89
Area Metropolitana	208,80	160,75

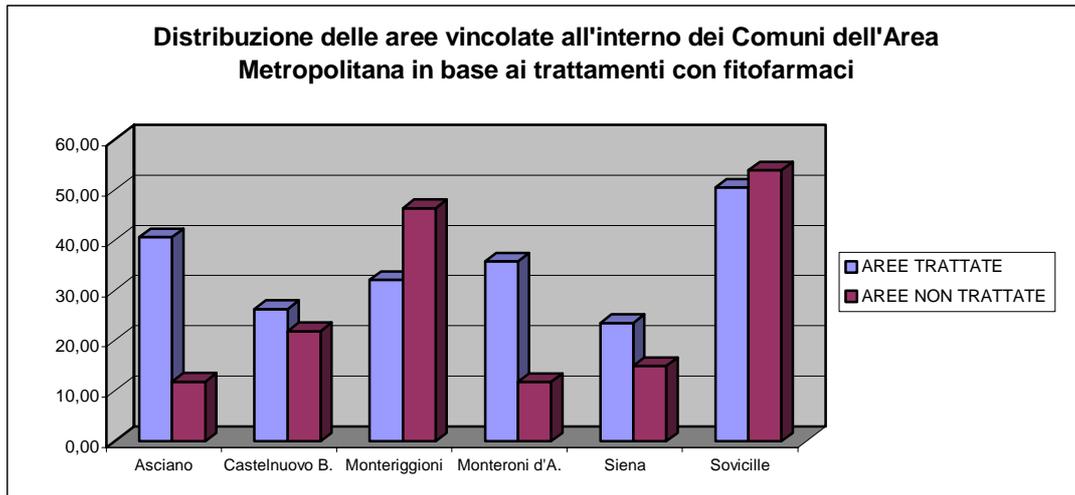


Fig. 20 – Distribuzione delle aree vincolate all'interno dei Comuni dell'Area Metropolitana in base ai trattamenti con fitofarmaci

2.7.2 - Potenziali ingestori e viacoli di inquinamento dei corpi idrici sotterranei

Si tratta di fattori naturali ed antropici la cui esistenza comporta di solito un'amplificazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, aumentando di fatto la velocità di infiltrazione e abbattendo, di contro, la capacità di depurazione naturale della zona non satura, che viene saltata tutta o in parte. Tra questi fattori sono stati selezionati i più diffusi, che possono essere identificati mediante telerilevamento e *controlli a terra* (AA.VV., 1988):

- a) quelli relativi a fenomeni carsici o allo stato di fratturazione spinto delle rocce, che comportano una massiccia ingestione di acqua superficiale ed un suo spostamento veloce in sottoterra;
- b) quelli, tipicamente antropogenici, legati a lavori di cava a cielo aperto, che sovente asportano parzialmente o totalmente l'insaturo.

Relativamente all'area indagata, il punto a) è stato al momento affrontato riportando sulla carta della vulnerabilità quanto contenuto nell'archivio Doline della Regione Toscana, mentre il punto b) deriva dal tematismo "Piano Cave" dell'Amministrazione Provinciale; questo a sua volta è stato suddiviso, secondo le specifiche Civita, attraverso rilevamenti e conoscenze dirette in: cava in attività, cave abbandonate e ritombate.

2.7.3 - Preventori e/o riduttori dell'inquinamento

Questa categoria si occupa delle opere e degli impianti, la funzione dei quali è quella di abbattere e allontanare dall'ambiente gli inquinanti prodotti oppure di prevenire fenomeni di inquinamento di fonti d'alimentazione idropotabili a mezzo di specifici vincoli e monitoraggio; i dati relativi derivano da tematismi dell'archivio del Comune di Siena.

Per quanto riguarda il territorio studiato, in relazione ai preventori e riduttori dell'inquinamento sono stati inseriti le Discariche (5) e gli impianti di depurazione (21).

Le discariche sono state suddivise in due tipologie:

- Discarica di seconda categoria tipo A
- Discarica non classificata

Gli impianti di depurazione sono stati ricondotti, secondo la legenda Civita, tutti ad impianto di depurazione di acque reflue urbane (primario e secondario).

Fanno parte di questa categoria anche le aree di Salvaguardia intorno alle opere di captazione (pozzi e sorgenti), per delimitarle è stata considerata, attraverso l'utilizzo del criterio geometrico, una fascia di rispetto

di 200 m (ai sensi della 236/88 e successiva 152/99 onde sarebbe auspicabile di poterle definire con criteri idrogeologici, vedi PTCP di Siena).

2.7.4 - *Principali soggetti ad inquinamento*

Sono le fonti di approvvigionamento idrico a scopo potabile, di tipo normale (agricolo, domestico, industriale), particolarmente pregiato (acque minerali), e le acque termominerali utilizzate per scopi balneo – terapeutici; il loro esatto posizionamento è essenziale per diversi impieghi operativi della carta di vulnerabilità, sia in sede di pianificazione che d'intervento a protezione, in condizioni normali e di emergenza. La maggior parte di questi dati sono stati raccolti ed elaborati totalmente da precedenti studi idrogeologici (disponiamo del censimento di oltre 1200 pozzi) da noi effettuati negli ultimi anni, purtroppo non abbiamo dati per il comune di Asciano e solo una parte di quelli di Monteroni d'Arbia. Solo per quanto riguarda i pozzi e le sorgenti di captazione a scopo idropotabile (34) abbiamo utilizzato l'archivio fornito dall'ATO6 che è stato integrato di alcuni punti di conoscenza diretta (es. campo pozzi del Luco).

Non bisogna, comunque, dimenticare l'importanza di cartografare le tante fonti di approvvigionamento idrico spesso non censite e non considerate nei piani generali degli acquedotti, tanto frequenti specialmente nelle zone montuose; la visualizzazione di tali punti d'acqua può risultare preziosa in caso di "catastrofe" da inquinamento, indicando a chi gestisce un'emergenza le possibili immediate alternative per ripristinare l'alimentazione idrica delle popolazioni colpite (AA.VV., 1988).

Un cenno particolare meritano le peculiari caratteristiche dell'infrastruttura acquedottistica presente nel territorio dell'Area Metropolitana, che comporta un rischio diffuso di incorrere in fenomeni di inquinamento delle acque prelevate a scopo potabile; essa è costituita da molti punti di presa delle acque sotterranee e da molti piccoli acquedotti che fino a pochi anni fa erano a gestione comunale ed ora ereditati dall'Acquedotto del Fiora con non pochi problemi. Si tratta quindi di un complesso di realtà acquedottistiche di varie dimensioni caratterizzato da una polverizzazione estrema delle infrastrutture, realizzate quasi esclusivamente nell'ultima metà del secolo scorso, con conseguenti maggiori costi di investimento e minori efficienze funzionali e gestionali (Amministrazione Provinciale di Siena, 1996).

In riferimento a questa problematica tra i vari tematismi è presente quello dei Bottini di Siena da noi considerato come galleria drenante, trincea drenante.

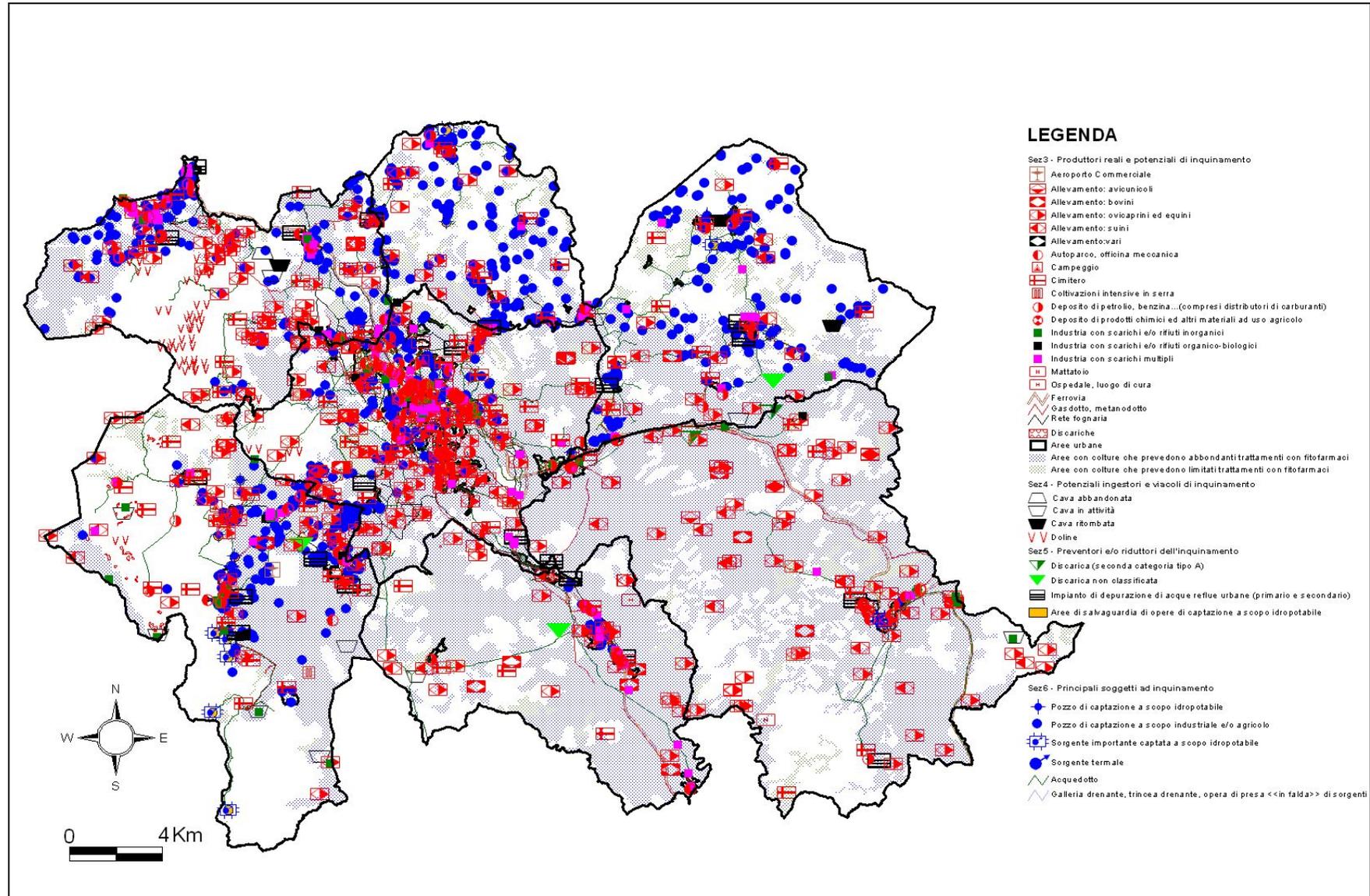


Fig. 21 – Carta dei fattori antropici della legenda Civita utilizzati

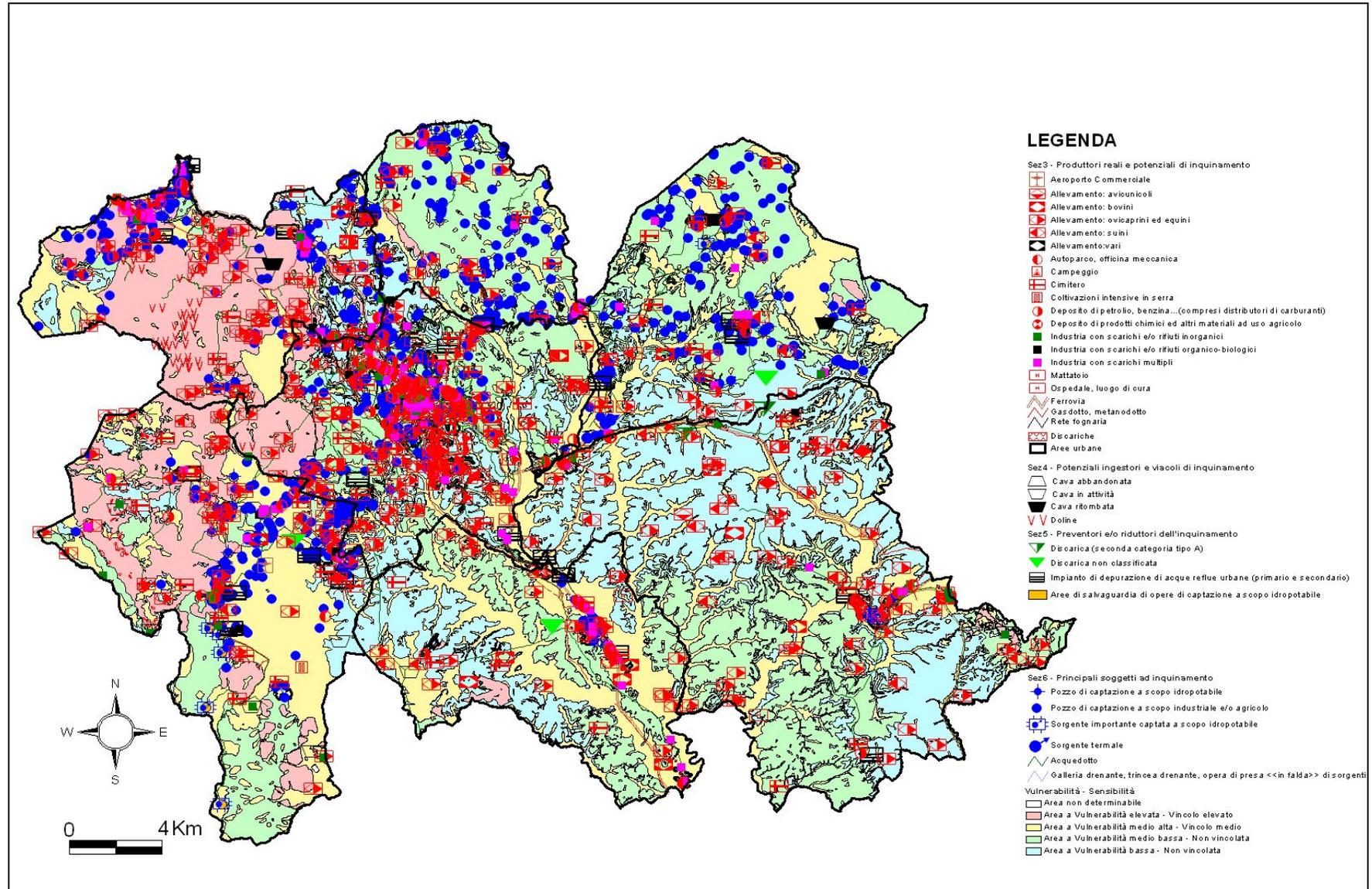


Fig 22 – Carta della vulnerabilità integrata

3 - Vulnerabilità, sensibilità e centri di pericolo: sintesi dei risultati ottenuti per ogni singolo comune dell'Area Metropolitana

Al fine di poter leggere in maniera più semplice la carta della vulnerabilità integrata, qui di seguito saranno elencati in maniera sintetica i risultati più significativi divisi per ogni singolo comune.

ASCIANO

Come si evince dal grafico di fig. 23, la maggior parte del territorio comunale di Asciano (il 47,83%), ricade nel grado di vulnerabilità basso, mentre i due gradi intermedi, il medio – basso ed il medio – alto, comprendono rispettivamente, il 26,77% ed il 23,68% dell' area totale. Solamente lo 0,62% del territorio rientra nel grado di vulnerabilità elevato.

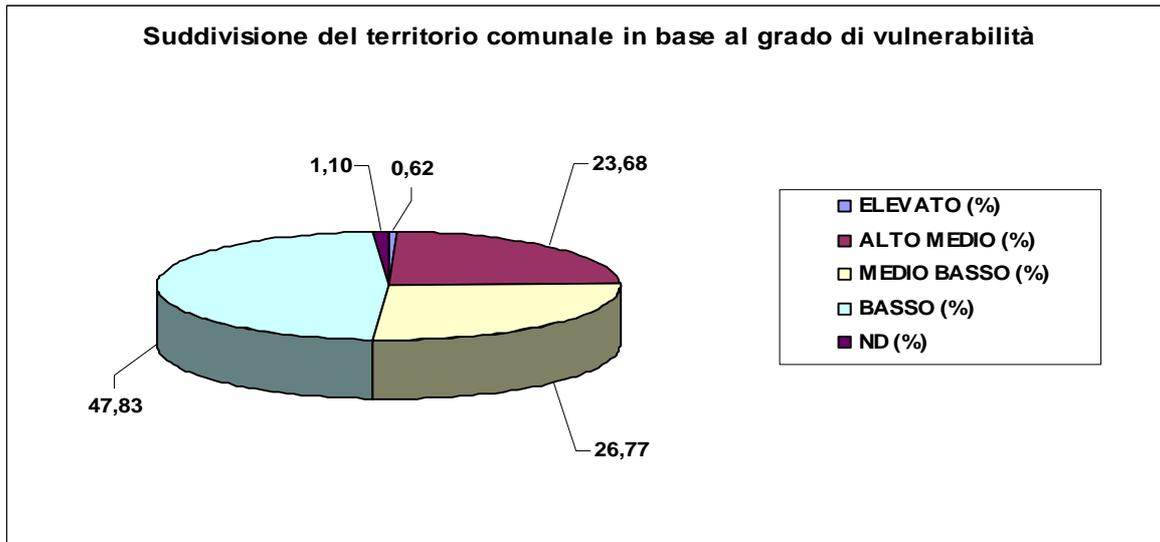


Fig. 23 – Suddivisione del territorio comunale di Asciano in base al grado di vulnerabilità

Le figure 24, 25 e 26 che seguono e la tabella 6 mostrano la distribuzione del territorio comunale sottoposto a vincolo elevato, medio o non vincolato, in base all'uso del suolo.

SENSIBILITA' (km ²)		BOSCO (km ²)	ALTRO (km ²)
Aree a vincolo elevato	Aree vincolate	52,40	6,95
Aree a vincolo medio			
Aree non vincolate	Aree non vincolate	163,18	26,76
nd			

Tab. 6 – Suddivisione del territorio comunale di Asciano in base alle classi di sensibilità

In particolare vengono mostrate le percentuali di areale ricadenti in ciascuna classe di sensibilità. In fig. 24, si nota come, l'87% delle aree sottoposte a vincolo ricada nella categoria Roccia, Pascolo, Seminativi; il restante 13% del territorio vincolato, ricade invece nel Bosco.

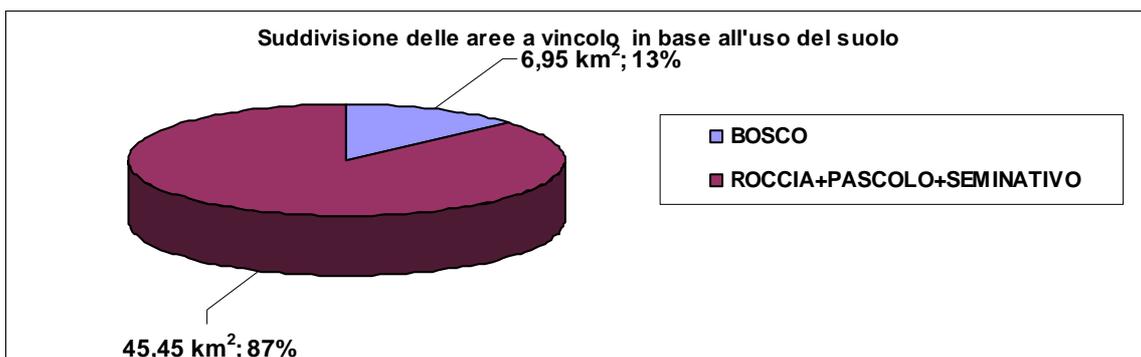


Fig. 24 – Suddivisione delle aree vincolate in base all'uso del suolo

Per quanto riguarda le aree a vincolo elevato (classe di sensibilità 1), il 73% di tali aree ricade nel Bosco, mentre il restante 27% rientra nella categoria Roccia, Pascoli, Seminativi, come mostrato in fig. 25.

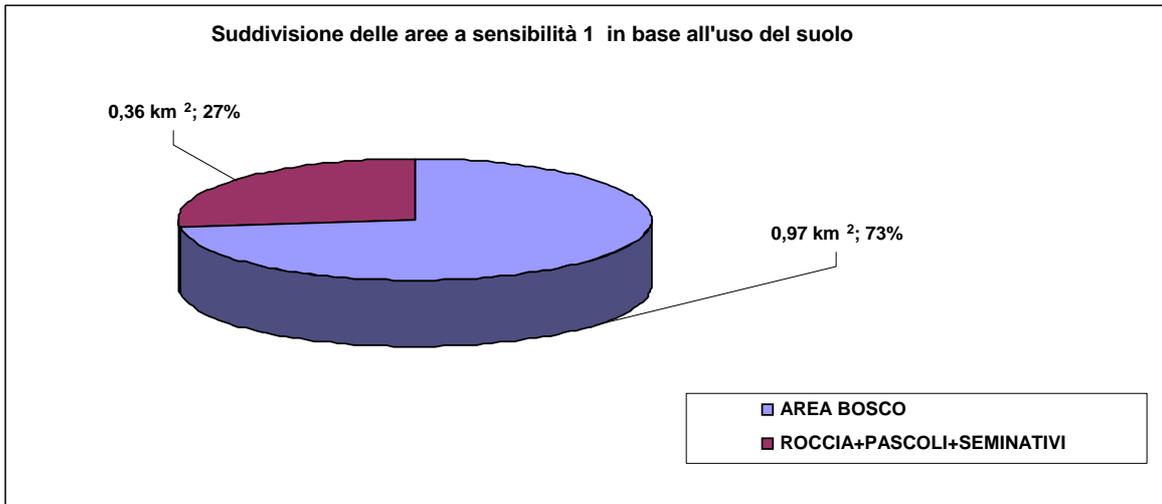


Fig. 25 – Suddivisione delle aree a vincolo elevato in base all'uso del suolo

Le aree sottoposte a vincolo medio (classe di sensibilità 2), rientrano invece, per l'88% in Roccia, Pascoli, Seminativi, mentre il restante 12% ricade nel Bosco, come mostrato in fig. 26.

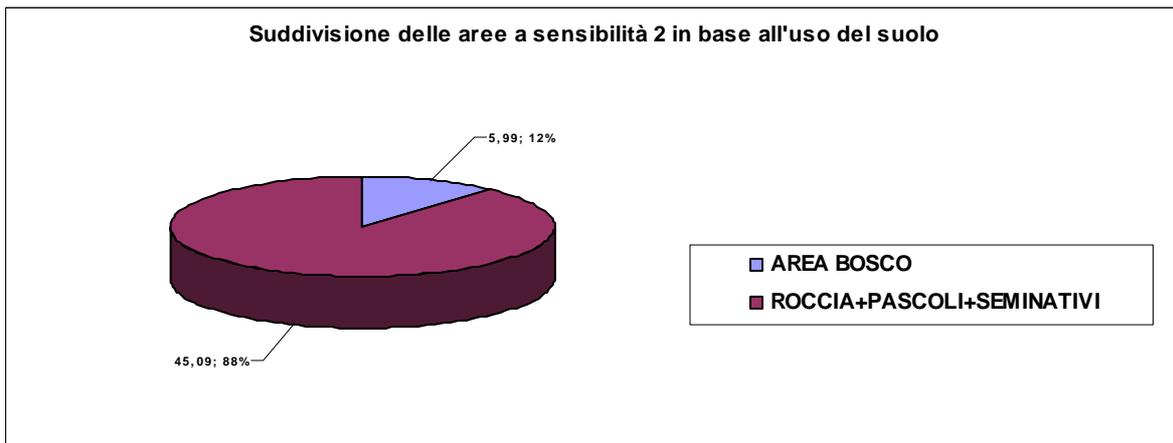


Fig. 26 – Suddivisione delle aree a vincolo medio in base all'uso del suolo

Infine, la fig. 27, mostra la percentuale dei Centri di Pericolo presenti nel territorio comunale, suddivisi in base delle diverse classi di sensibilità. Il 56% delle attività impattanti rientrano nelle aree non vincolate, il 19% nelle aree a vincolo medio e l'1% in quelle a vincolo elevato. Inoltre, il 24% dei CDP ricade nelle aree non determinabili.

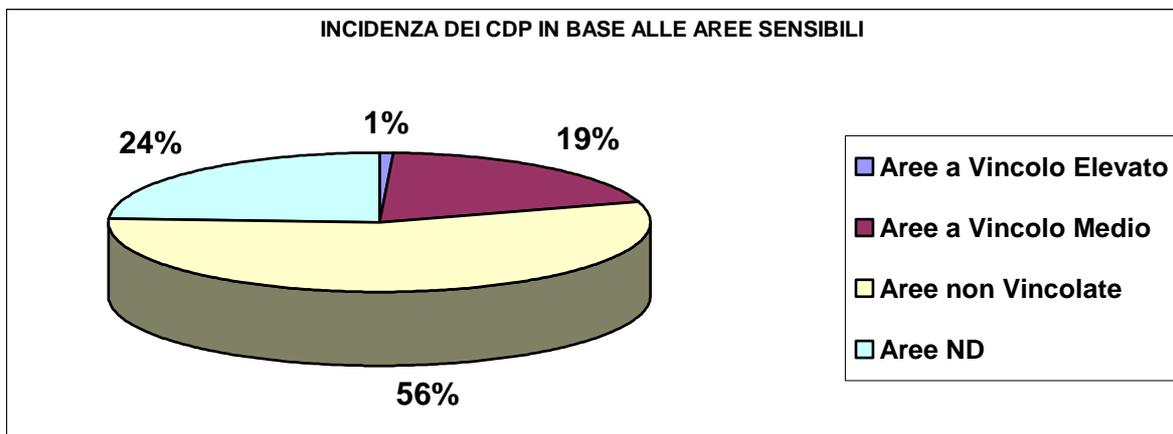


Fig. 27 – Suddivisione dei CDP in relazione alle aree sensibili

CASTELNUOVO BERARDENGA

Come si evince dal grafico di fig. 28, la maggior parte del territorio comunale di Castelnuovo Berardenga (il 58,29%), ricade nel grado di vulnerabilità medio – basso, mentre i gradi medio – alto e basso, comprendono rispettivamente, il 26,22% ed il 14,06% del area totale. Solamente l'1,01% del territorio rientra nel grado di vulnerabilità elevato.

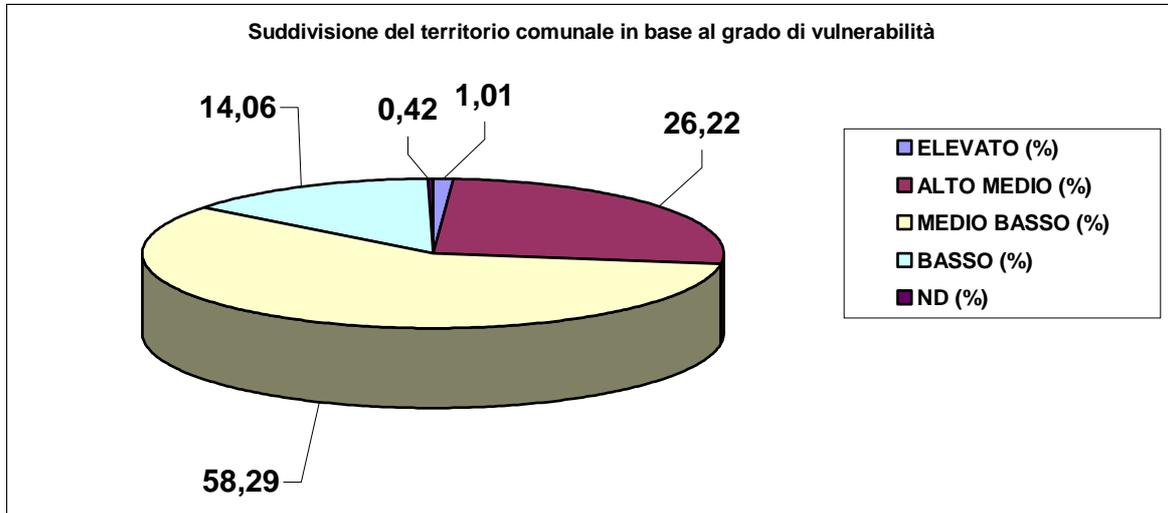


Fig. 28 – Suddivisione del territorio comunale di Castelnuovo Berardenga in base al grado di vulnerabilità

Le figure 29, 30 e 31 che seguono e la tabella 7 mostrano la distribuzione del territorio comunale sottoposto a vincolo elevato, medio o non vincolato, in base all'uso del suolo.

SENSIBILITA' (km ²)		BOSCO (km ²)	ALTRO (km ²)
Aree a vincolo elevato	Aree vincolate	48,22	19,13
Aree a vincolo medio			
Aree non vincolate	Aree non vincolate	128,82	65,60
nd			

Tab. 7: Suddivisione del territorio comunale di Castelnuovo Berardenga in base alle classi di sensibilità

In particolare, vengono mostrate le percentuali di areale ricadenti in ciascuna classe di sensibilità. In fig. 29, si nota come, il 60% delle aree sottoposte a vincolo ricada nella categoria Roccia, Pascolo, Seminativi; il restante 40% del territorio vincolato, ricade invece nel Bosco.

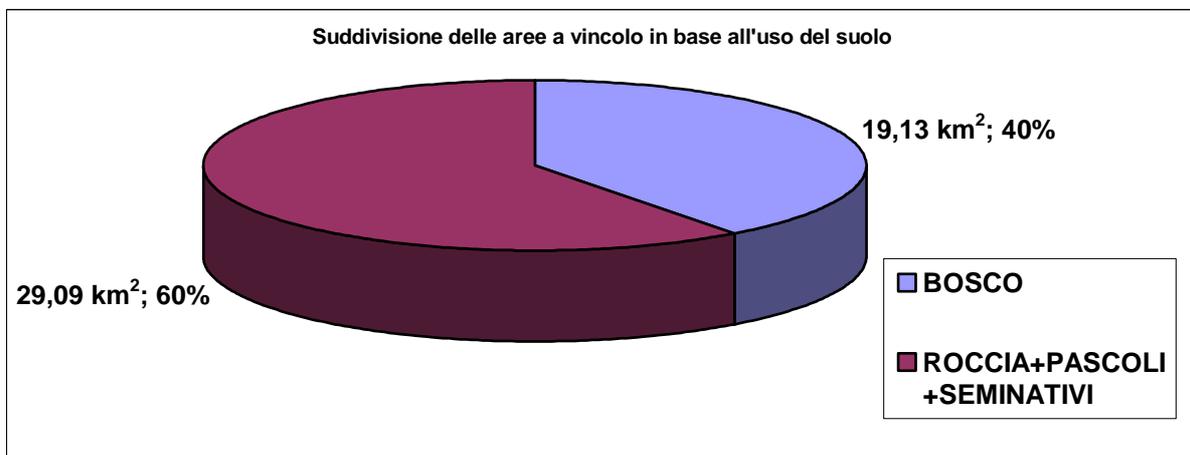


Fig. 29 – Suddivisione delle aree vincolate in base all'uso del suolo

Per quanto riguarda le aree a vincolo elevato (classe di sensibilità 1), il 62% di tali aree ricade nel Bosco, mentre il restante 38% rientra nella categoria Roccia, Pascoli, Seminativi, come mostrato in fig. 30.

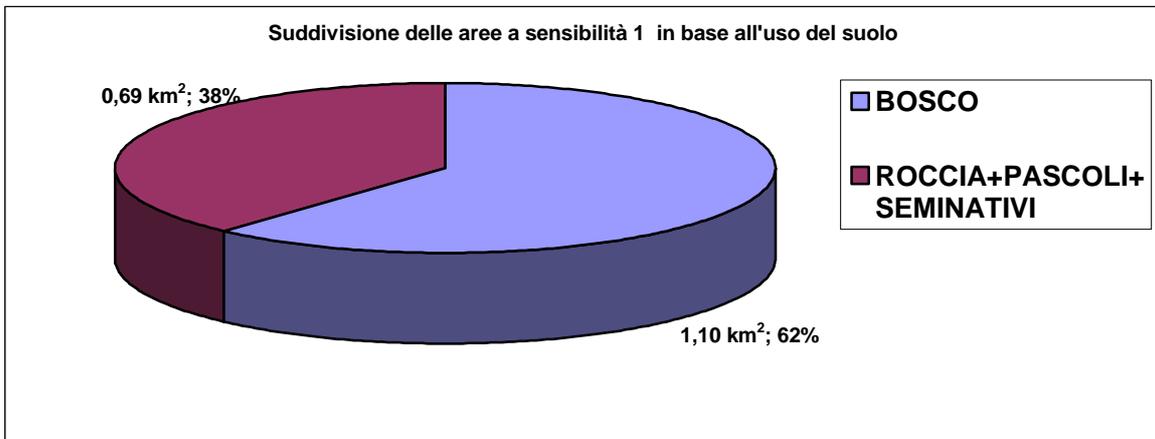


Fig. 30: Suddivisione delle aree a vincolo elevato in base all'uso del suolo

Le aree sottoposte a vincolo medio (classe di sensibilità 2), rientrano invece, per il 61% in Roccia, Pascoli, Seminativi, mentre il restante 39% ricade nel Bosco, come mostrato in fig. 31.

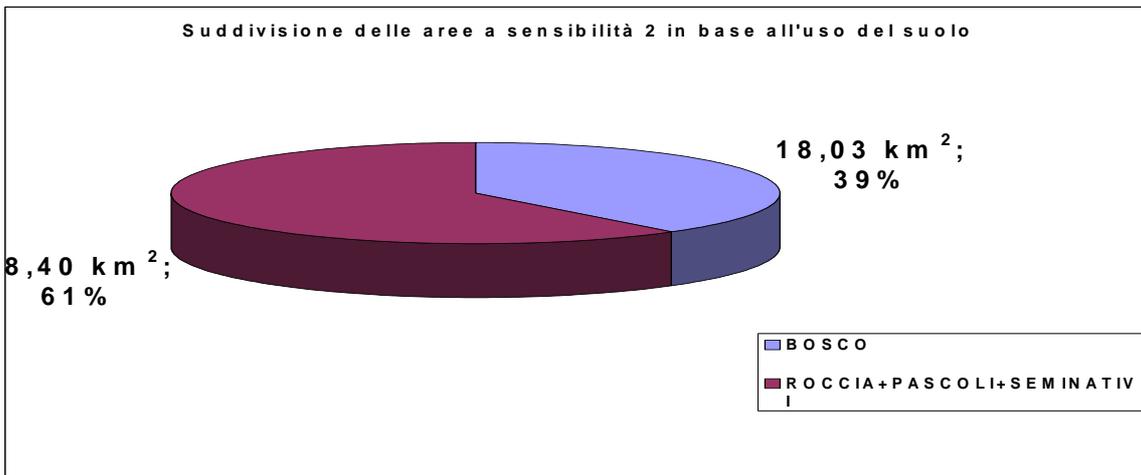


Fig. 31 – Suddivisione delle aree a vincolo medio in base all'uso del suolo

Infine, la fig. 32, mostra la percentuale di Centri di Pericolo presenti nel territorio comunale, suddivisi in base delle diverse classi di sensibilità. Il 65% delle attività impattanti rientrano nelle aree non vincolate ed il 28% nelle aree a vincolo medio. Inoltre, il 7% dei CDP ricade nelle aree non determinabili.

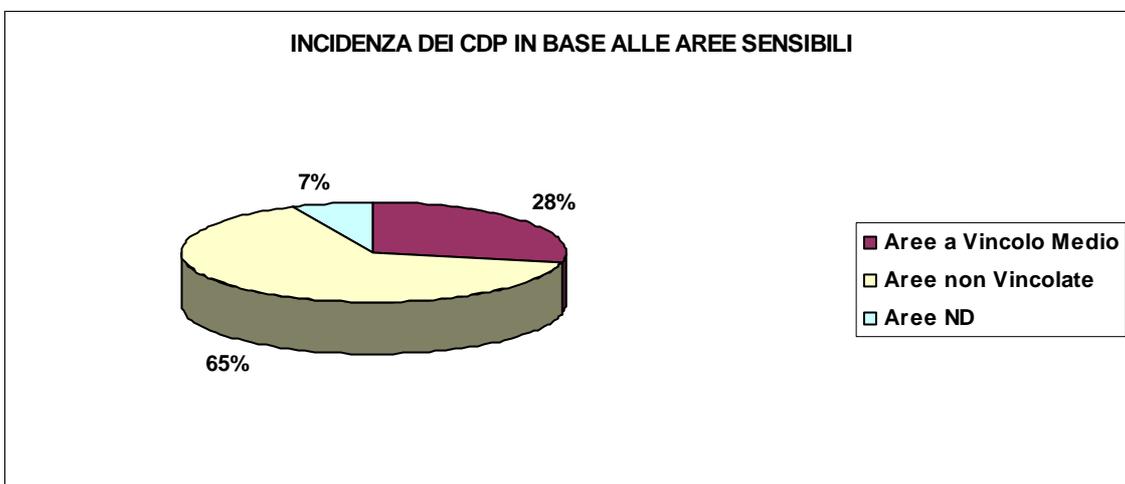


Fig. 32 – Suddivisione dei CDP in relazione alle aree sensibili

MONTERIGGIONI

Come si evince dal grafico di fig. 33, la maggior parte del territorio comunale di Monteriggioni (il 56,95%), ricade nel grado di vulnerabilità elevato, mentre i due gradi intermedi, il medio – basso ed il medio – alto, comprendono rispettivamente, il 4,69% ed il 21,91% del area totale. Infine, il 15,83% del territorio rientra nel grado di vulnerabilità elevato.

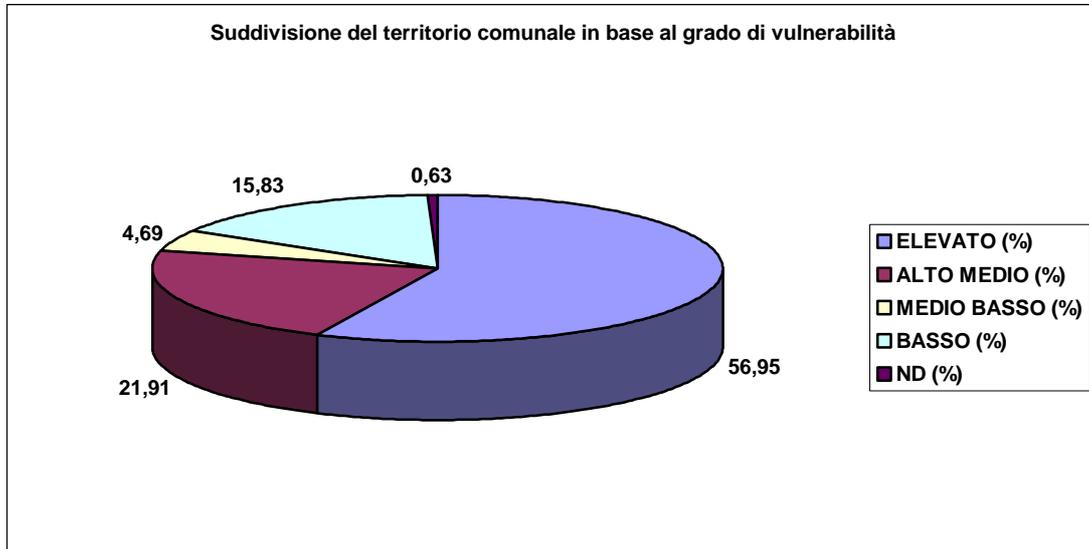


Fig. 33 – Suddivisione del territorio comunale di Monteriggioni in base al grado di vulnerabilità

Le figure che seguono 34, 35 e 36 e la tabella 8 mostrano la distribuzione del territorio comunale sottoposto a vincolo elevato, medio o non vincolato, in base all'uso del suolo.

SENSIBILITA' (km ²)		BOSCO (km ²)	ALTRO (km ²)
Aree a vincolo elevato	Aree vincolate	78,45	40,42
Aree a vincolo medio			
Aree non vincolate	Aree non vincolate	21,03	3,07
nd			

Tab. 8 – Suddivisione del territorio comunale di Monteriggioni in base alle classi di sensibilità

In particolare, vengono mostrate le percentuali di areale ricadenti in ciascuna classe di sensibilità. In fig. 34, si nota come, il 48% delle aree sottoposte a vincolo ricada nella categoria Roccia, Pascolo, Seminativi; il restante 52% del territorio vincolato, ricade invece nel Bosco.

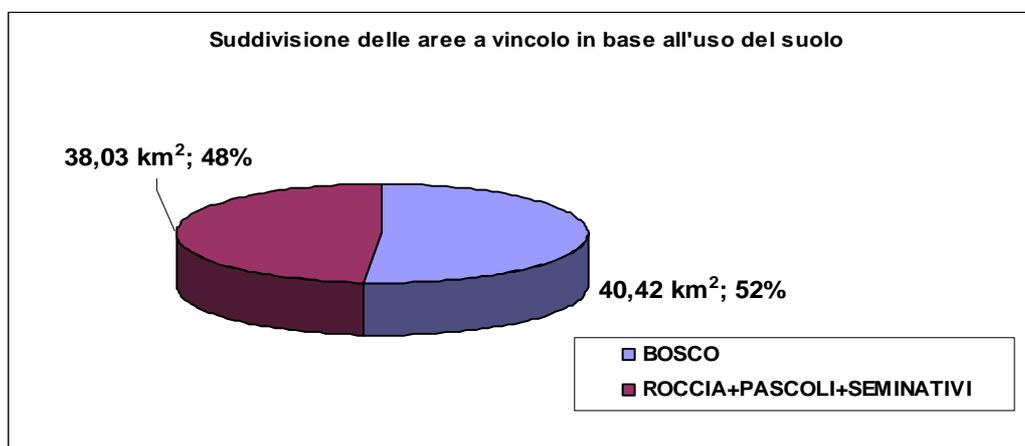


Fig. 34 – Suddivisione delle aree vincolate in base all'uso del suolo

Per quanto riguarda le aree a vincolo elevato (classe di sensibilità 1), il 66% di tali aree ricade nel Bosco, mentre il restante 34% rientra nella categoria Roccia, Pascoli, Seminativi, come mostrato in fig. 35.

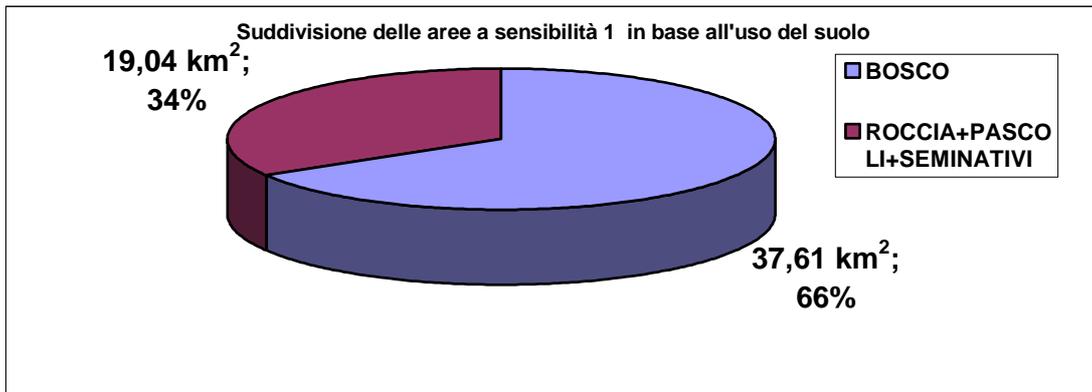


Fig. 35 – Suddivisione delle aree a vincolo elevato in base all'uso del suolo

Le aree sottoposte a vincolo medio (classe di sensibilità 2), rientrano invece, per il 87% in Roccia, Pascoli, Seminativi, mentre il restante 13% ricade nel Bosco, come mostrato in fig. 36.

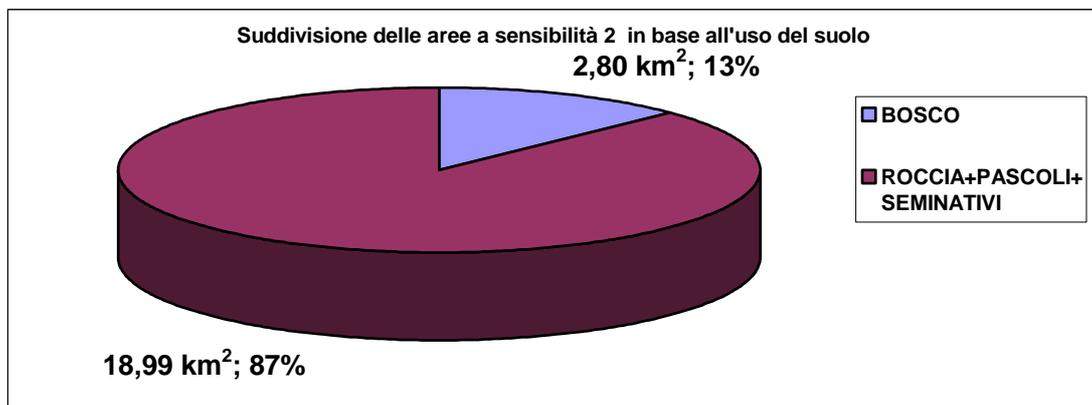


Fig. 36 – Suddivisione delle aree a vincolo medio in base all'uso del suolo

Infine, la fig. 37, mostra la percentuale di Centri di Pericolo presenti nel territorio comunale, suddivisi in base delle diverse classi di sensibilità. Ben il 41% delle attività impattanti rientrano nelle aree a vincolo elevato, il 38% nelle aree a vincolo medio ed il 16% nelle aree non vincolate. Inoltre, il 5% dei CDP ricade nelle aree non determinabili.

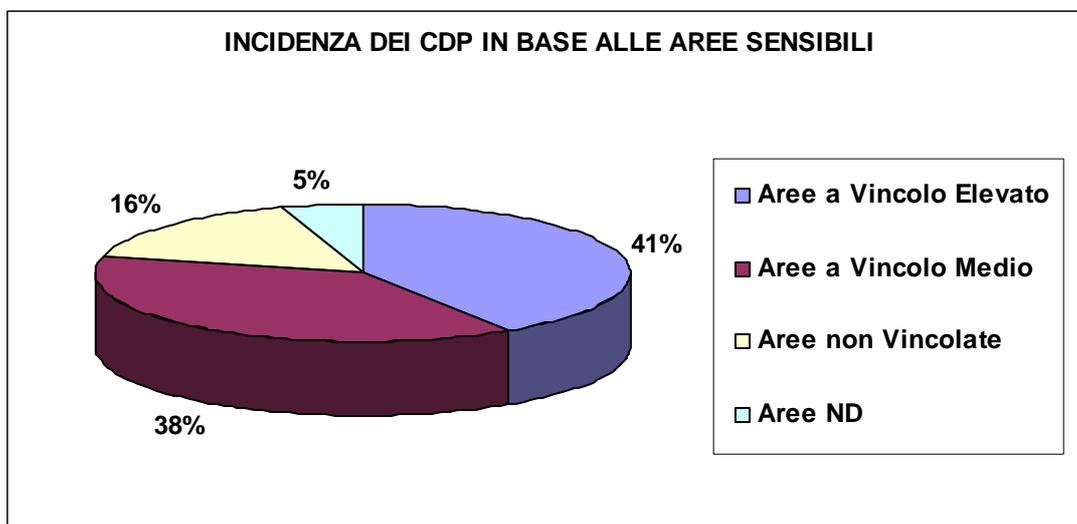


Fig. 37 – Suddivisione dei CDP in relazione alle aree sensibili

MONTERONI D'ARBIA

Come si evince dal grafico di fig. 38, la maggior parte del territorio comunale di Monteroni d'Arbia (il 43,40%), ricade nel grado di vulnerabilità medio – alto; mentre i due gradi meno vincolanti, il medio – basso ed il basso, comprendono rispettivamente, il 25,27% ed il 27,43% del area totale. Solamente l'1,67% del territorio rientra nel grado di vulnerabilità elevato.

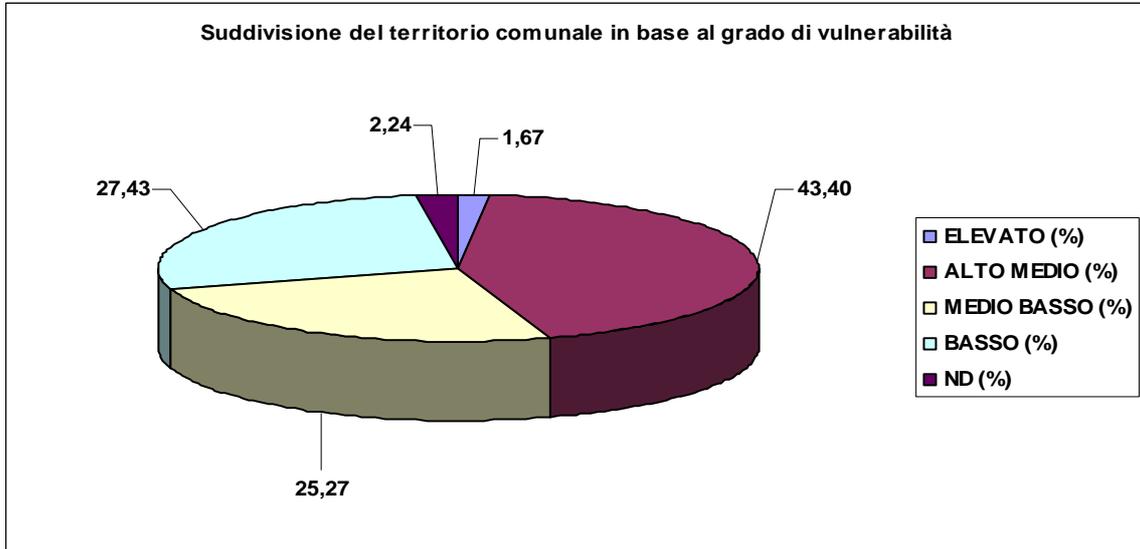


Fig. 38 – Suddivisione del territorio comunale di Monteroni d'Arbia in base al grado di vulnerabilità

Le figure che seguono 39, 40 e 41e la tabella 9 mostrano la distribuzione del territorio comunale sottoposto a vincolo elevato, medio o non vincolato, in base all'uso del suolo.

SENSIBILITA' (km ²)		BOSCO (km ²)	ALTRO (km ²)
Aree a vincolo elevato	Aree vincolate	47,65	6,06
Aree a vincolo medio			
Aree non vincolate	Aree non vincolate	58,08	3,85
nd			

Tab. 9 – Suddivisione del territorio comunale di Monteroni d'Arbia in base alle classi di sensibilità

In particolare, vengono mostrate le percentuali di areale ricadenti in ciascuna classe di sensibilità. In fig. 39, si nota come, il 87% delle aree sottoposte a vincolo ricada nella categoria Roccia, Pascolo, Seminativi; il restante 13% del territorio vincolato, ricade invece nel Bosco.

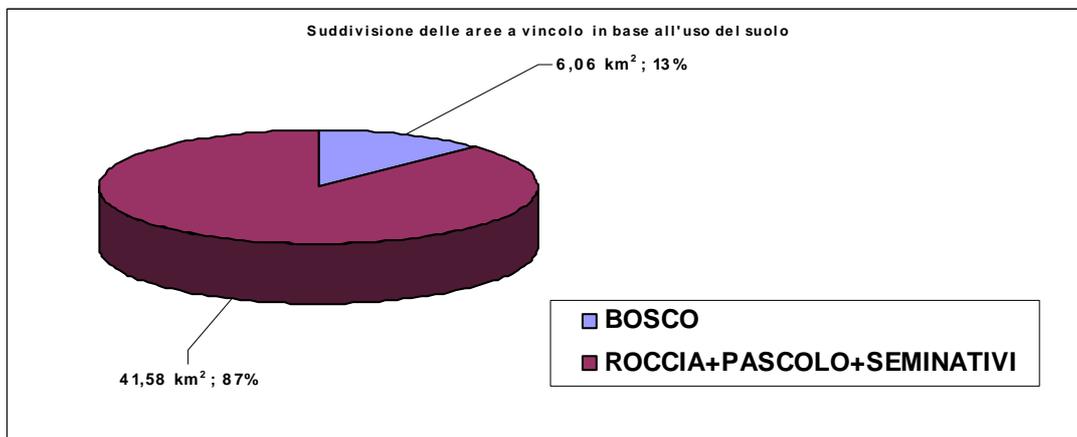


Fig. 39 – Suddivisione delle aree vincolate in base all'uso del suolo

Per quanto riguarda le aree a vincolo elevato (classe di sensibilità 1), il 71% di tali aree ricade nel Bosco, mentre il restante 29% rientra nella categoria Roccia, Pascoli, Seminativi, come mostrato in fig. 40.

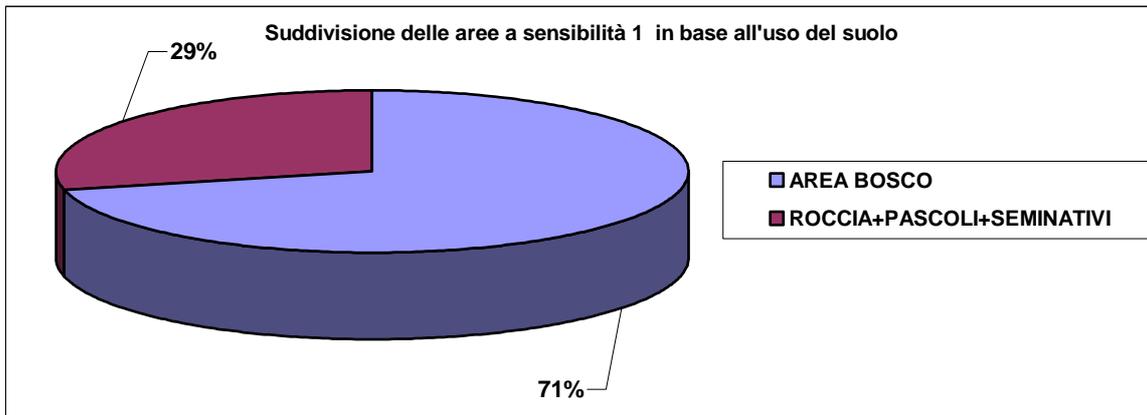


Fig. 40 – Suddivisione delle aree a vincolo elevato in base all'uso del suolo

Le aree sottoposte a vincolo medio (classe di sensibilità 2), rientrano invece, per il 90% in Roccia, Pascoli, Seminativi, mentre il restante 10% ricade nel Bosco, come mostrato in fig. 41.

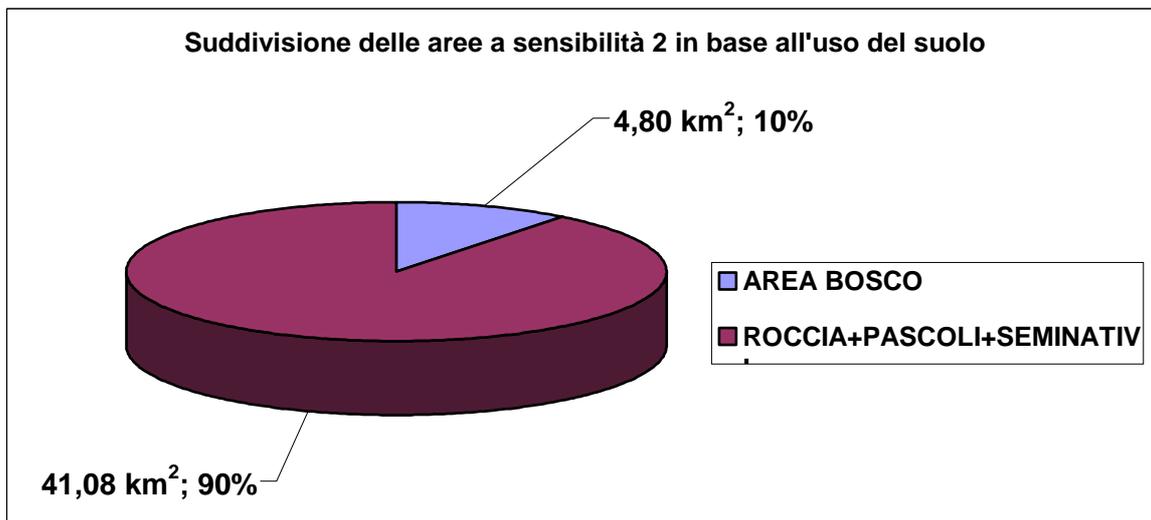


Fig. 41 – Suddivisione delle aree a vincolo medio in base all'uso del suolo

Infine, la fig. 42, mostra la percentuale di Centri di Pericolo presenti nel territorio comunale, suddivisi in base delle diverse classi di sensibilità. Il 26% delle attività impattanti rientrano nelle non vincolate ed il 19% nelle aree a vincolo medio. Inoltre, è da sottolineare che il 55% dei CDP ricade nelle aree non determinabili.

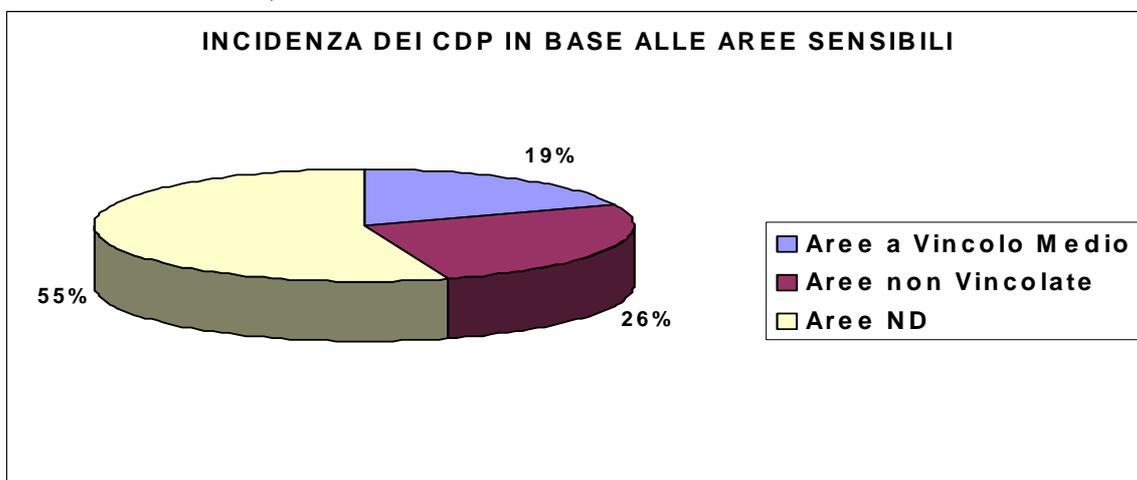


Fig. 42 – Suddivisione dei CDP in relazione alle aree sensibili

SIENA

Come si evince dal grafico di fig. 43, la maggior parte del territorio comunale di Siena (il 38%), ricade nel grado di vulnerabilità medio – basso, mentre il grado medio – alto e basso, comprendono rispettivamente, il 22% ed il 24% del area totale. Infine, l'11% del territorio rientra nel grado di vulnerabilità elevato.

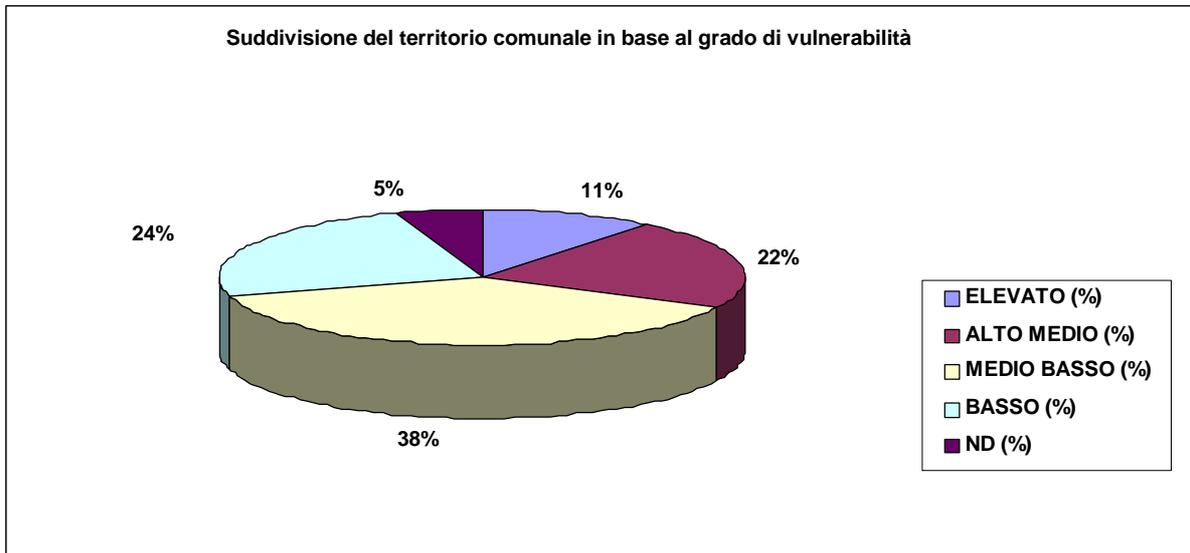


Fig. 43 – Suddivisione del territorio comunale di Siena in base al grado di vulnerabilità

Le figure che seguono 44, 45, 46 e la tabella 10 mostrano la distribuzione del territorio comunale sottoposto a vincolo elevato, medio o non vincolato, in base all'uso del suolo.

SENSIBILITA' (km ²)			BOSCO (km ²)	ALTRO (km ²)
Aree a vincolo elevato	Aree vincolate	38,45	11,43	27,02
Aree a vincolo medio				
Aree non vincolate	Aree non vincolate	80,20	8,03	72,17
nd				

Tab. 10 – Suddivisione del territorio comunale di Siena in base alle classi di sensibilità

In particolare, vengono mostrate le percentuali di areale ricadenti in ciascuna classe di sensibilità. In fig. 44, si nota come, il 70% delle aree sottoposte a vincolo ricada nella categoria Roccia, Pascolo, Seminativi; il restante 30% del territorio vincolato, ricade invece nel Bosco.

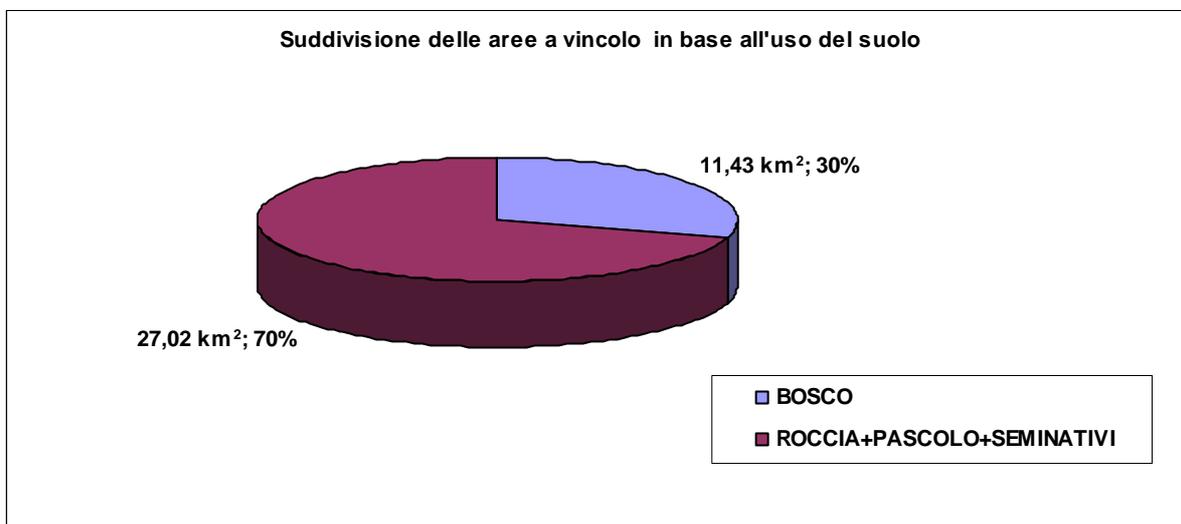


Fig. 44 – Suddivisione delle aree vincolate in base all'uso del suolo

Per quanto riguarda le aree a vincolo elevato (classe di sensibilità 1), il 77% di tali aree ricade nel Bosco, mentre il restante 23% rientra nella categoria Roccia, Pascoli, Seminativi, come mostrato in fig. 45.

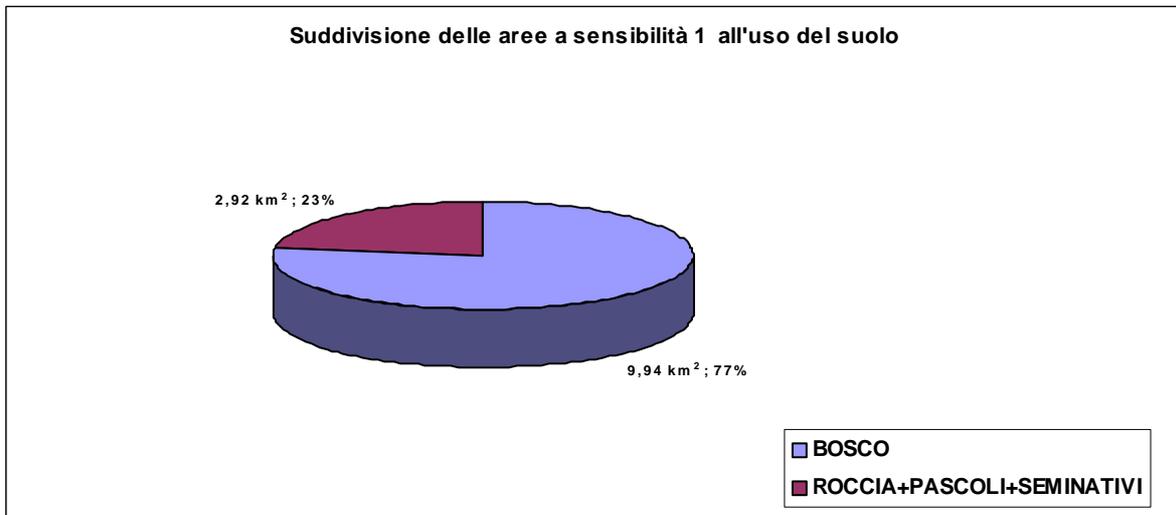


Fig. 45 – Suddivisione delle aree a vincolo elevato in base all'uso del suolo

Le aree sottoposte a vincolo medio (classe di sensibilità 2), rientrano invece, per il 94% in Roccia, Pascoli, Seminativi, mentre il restante 6% ricade nel Bosco, come mostrato in fig. 46.

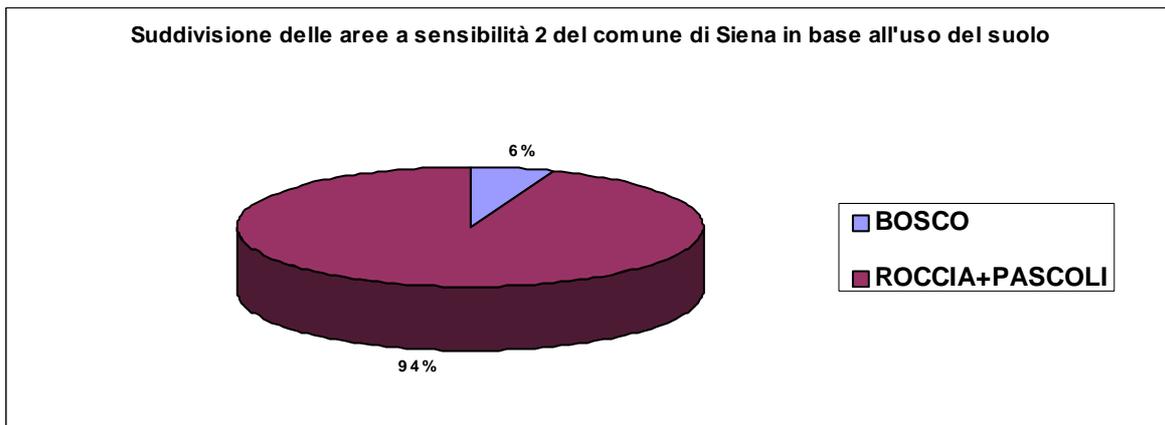


Fig. 46 – Suddivisione delle aree a vincolo medio in base all'uso del suolo

Infine, la fig. 47, mostra la percentuale di Centri di Pericolo presenti nel territorio comunale, suddivisi in base delle diverse classi di sensibilità. Il 45% delle attività impattanti rientrano nelle aree non vincolate, l'8% nelle aree a vincolo medio ed il 2% nelle aree a vincolo elevato. Inoltre, è da sottolineare che il 45% dei CDP ricade nelle aree non determinabili.

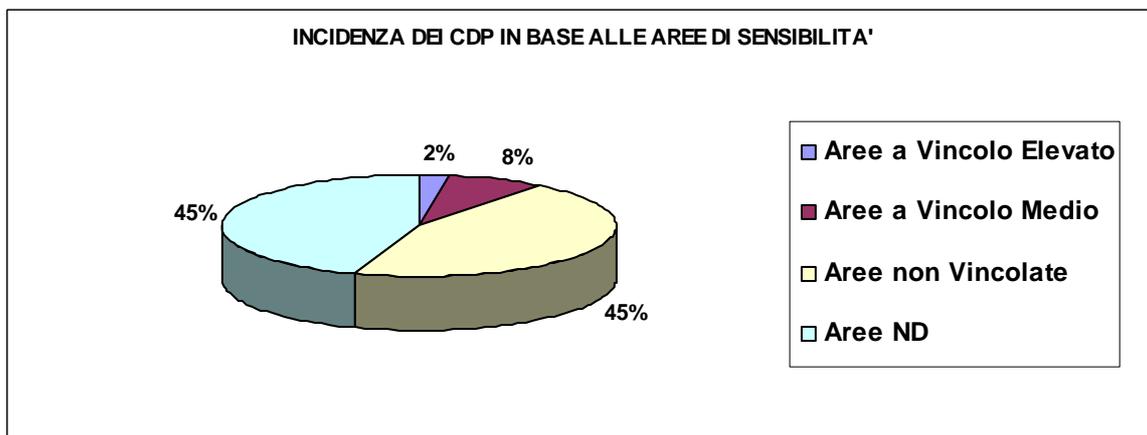


Fig. 47 – Suddivisione dei CDP in relazione alle aree sensibili

SOVICILLE

Come si evince dal grafico di fig. 48, la maggior parte del territorio comunale di Sovicille (il 44,28%), ricade nel grado di vulnerabilità medio – alto, mentre i gradi medio – basso e basso, comprendono rispettivamente, il 19,11% e l'8,14% del area totale. Infine, è da sottolineare che ben il 28,33% del territorio rientra nel grado di vulnerabilità elevato.

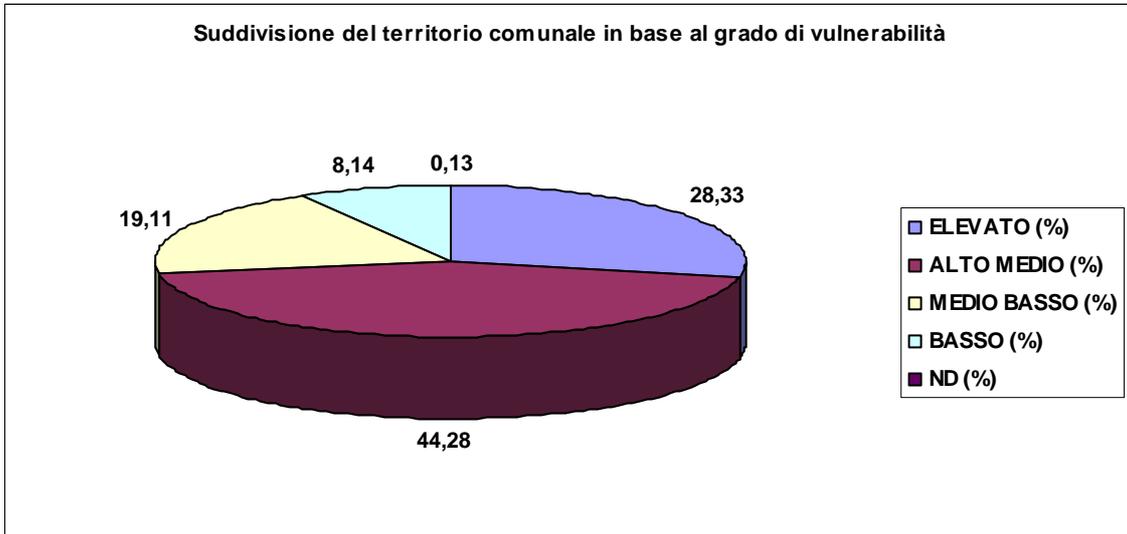


Fig. 48 – Suddivisione del territorio comunale di Sovicille in base al grado di vulnerabilità

Le figure che seguono 49, 50, 51 e la tabella 11 mostrano la distribuzione del territorio comunale sottoposto a vincolo elevato, medio o non vincolato, in base all'uso del suolo.

SENSIBILITA' (km ²)			BOSCO (km ²)	ALTRO (km ²)
Aree a vincolo elevato	Aree vincolate	104,38	47,86	56,52
Aree a vincolo medio				
Aree non vincolate	Aree non vincolate	39,38	23,18	16,20
nd				

Tab. 11 – Suddivisione del territorio comunale di Sovicille in base alle classi di sensibilità

In particolare, vengono mostrate le percentuali di areale ricadenti in ciascuna classe di sensibilità. In fig. 49, si nota come, il 54% delle aree sottoposte a vincolo ricada nella categoria Roccia, Pascolo, Seminativi; il restante 46% del territorio vincolato, ricade invece nel Bosco.

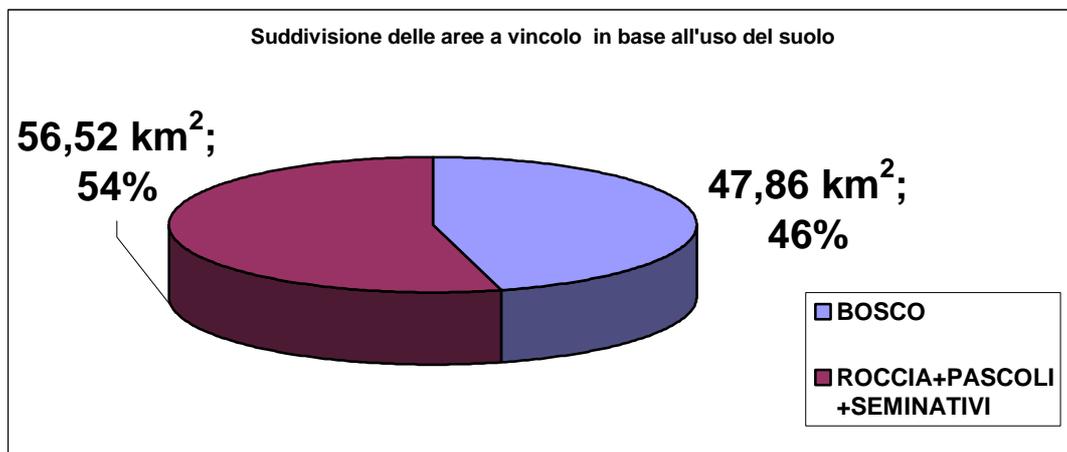


Fig. 49 – Suddivisione delle aree vincolate in base all'uso del suolo

Per quanto riguarda le aree a vincolo elevato (classe di sensibilità 1), l'84% di tali aree ricade nel Bosco, mentre il restante 16% rientra nella categoria Roccia, Pascoli, Seminativi, come mostrato in fig. 50.

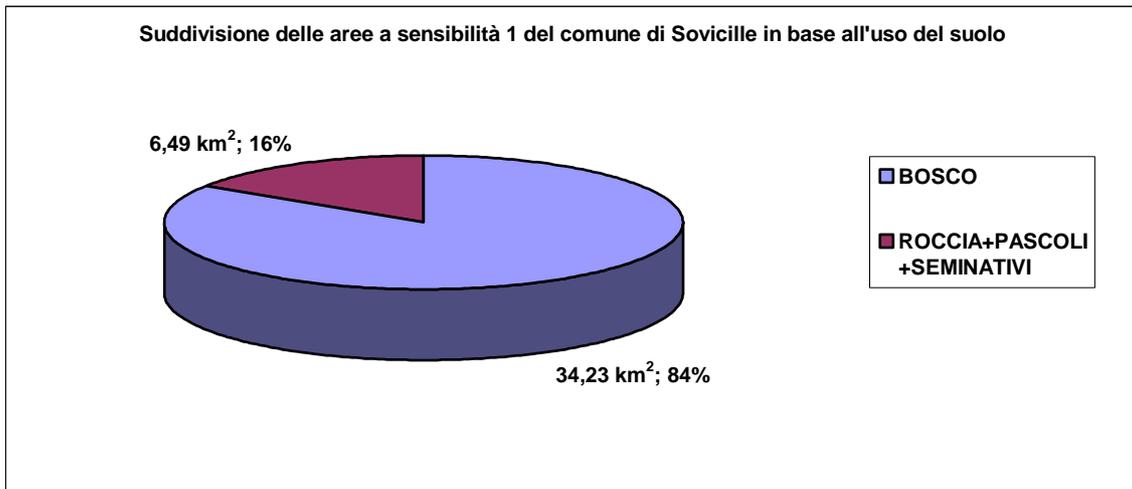


Fig. 50 – Suddivisione delle aree a vincolo elevato in base all'uso del suolo

Le aree sottoposte a vincolo medio (classe di sensibilità 2), rientrano invece, per il 79% in Roccia, Pascoli, Seminativi, mentre il restante 21% ricade nel Bosco, come mostrato in fig. 51.

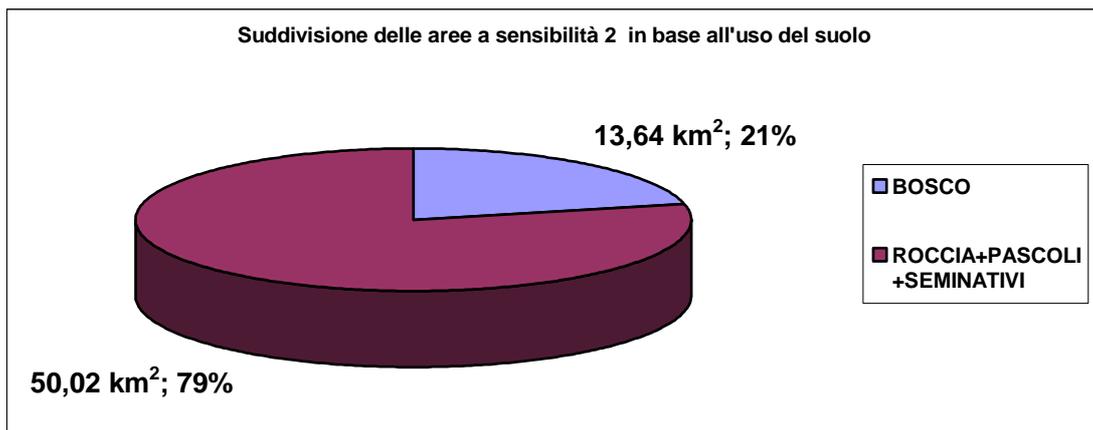


Fig. 51 – Suddivisione delle aree a vincolo medio in base all'uso del suolo

Infine, la fig. 52, mostra la percentuale di Centri di Pericolo presenti nel territorio comunale, suddivisi in base delle diverse classi di sensibilità. Il 55% delle attività impattanti rientrano nelle aree a vincolo medio, il 25% nelle aree non vincolate ed il 19% nelle aree a vincolo elevato. Inoltre, l'1% dei CDP ricade nelle aree non determinabili.

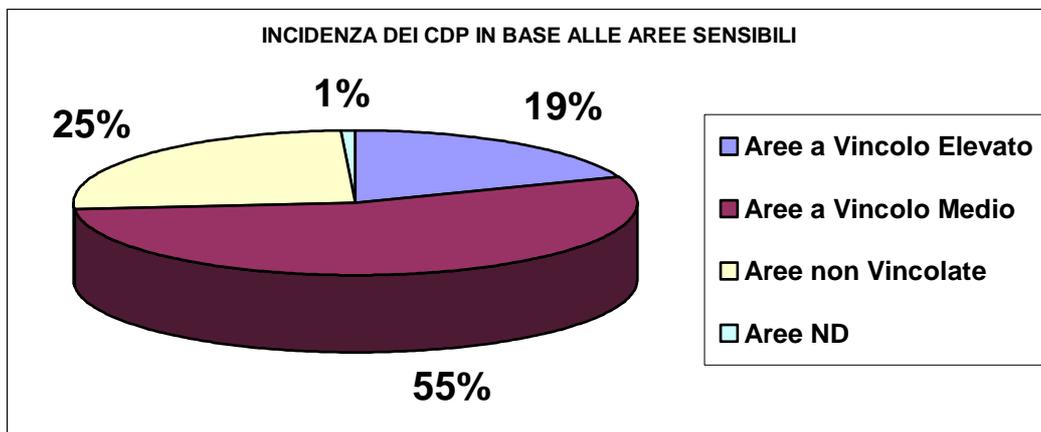


Fig. 52 – Suddivisione dei CDP in relazione alle aree sensibili

4 - Applicazione dimostrativa del metodo S.I.N.T.A.C.S. ad una porzione di territorio campione dell'Area Metropolitana

4.1 - Introduzione

Ciò che verrà proposto qui di seguito è l'applicazione esemplificativa del metodo parametrico S.I.N.T.A.C.S. ad una porzione di territorio dell'Area Metropolitana, in modo tale da confrontare la Carta della Vulnerabilità Intrinseca ottenuta, con quella conseguita attraverso il Metodo base.

L'area campione comprende le porzioni della Montagnola Senese, di Pian del Lago e di Monteriggioni che ricadono nella parte centrale del Comune di Monteriggioni.

Verranno pertanto dapprima illustrate le modalità operative di acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati raccolti per la valutazione della vulnerabilità con il metodo S.I.N.T.A.C.S.; verrà poi presentata, per ogni parametro, la carta corrispondente. Alla fine, verrà mostrata la versione finale della carta della vulnerabilità, per poterla confrontare con quella realizzata attraverso il metodo base C.N.R. - G.N.D.C.I.

Occorre sottolineare che, sulla qualità degli elaborati finali, pesa negativamente la bassa omogeneità complessiva delle conoscenze sull'antropizzazione del territorio e soprattutto la carenza di dati sicuramente affidabili su idrodinamica ed idrogeochimica dell'acquifero.

4.2 - Aspetti generali sull'applicazione del metodo SINTACS

I sistemi parametrici (Civita, 1994) sono basati sulla selezione dei parametri con i quali si intende valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento; a ciascun parametro selezionato (ad esempio: soggiacenza della falda, conducibilità idraulica, ecc.), suddiviso per intervalli di valori e/o tipologie dichiarate, viene attribuito un punteggio crescente in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale. I punteggi ottenuti per ciascun parametro possono essere sommati tra loro (RS = Rating System) o incrociati in una matrice (MS = Matrix System) o moltiplicati per stringhe di pesi che descrivano la situazione idrogeologica e/o d'impatto, enfatizzando in varia misura l'azione e l'importanza dei vari parametri (PCSM = Point Count System Model).

A quest'ultimo tipo appartiene il metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997), con l'acronimo che deriva dalle denominazioni dei sette parametri presi in considerazione (ognuno con punteggio variabile da 1 a 10):

Soggiacenza della falda;

Infiltrazione efficace;

Non saturo (effetto di autodepurazione del);

Tipologia della copertura;

Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del);

Conducibilità idraulica dell'acquifero;

Superficie topografica (acclività della).

Il metodo utilizza linee di pesi moltiplicatori diverse per ogni situazione di impatto considerata (Tab.12), in modo da amplificare il punteggio in misura proporzionale all'importanza che il parametro assume nel determinare il grado di vulnerabilità nella situazione di impatto di riferimento, che sono:

Parametro	Imp. normale	Imp. rilevante	Drenaggio	Carsismo	Fessurato
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

Tab.12 – Stringhe di pesi moltiplicatori previste per SINTACS

La sommatoria dei prodotti dei punteggi per i pesi determina un indice di vulnerabilità, che può essere messo in relazione con il grado di vulnerabilità derivante dall'applicazione del metodo base GNDCI-CNR.

4.3 - Applicazione all'area di studio

4.3.1 - Procedura di calcolo

La procedura di calcolo è stata automatizzata con l'utilizzo di software GIS e moduli aggiuntivi (*Spatial Analyst, 3D Analyst*); la dimensione della cella elementare è di 10 x 10 m, che è pari a quella massima dei GRID utilizzati in input (DTM, ecc...).

In sintesi, per ogni parametro è stata redatta una carta tematica che è stata poi trasposta nel relativo formato numerico (matrice); sulle matrici sono stati quindi applicati codici di calcolo che hanno condotto all'elaborazione e/o discretizzazione delle *matrici punteggi*. Le *linee di pesi* utilizzate sono riportate in Tab. 12; le linee di pesi corrispondenti al drenaggio ed al carsismo non sono state prese in considerazione vista l'assenza di questa tipologie di impatto nella zona di studio. Nel codice di calcolo è stato previsto che ad ogni matrice punteggi corrispondesse una sola matrice pesi; tale condizione è stata realizzata estrapolando dalla singola matrice delle linee di pesi una *matrice pesi* per ciascun parametro S.I.N.T.A.C.S.

4.3.2 - Soggiacenza (Fig. 53)

Con il termine *Soggiacenza* si intende la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano di campagna. A parità di altre condizioni, ad un aumento di tale parametro corrisponde una diminuzione della vulnerabilità, in quanto l'aumento dello spessore del non saturo aumenta il potere autodepurante nei confronti di inquinanti idroveicolati.

Per il calcolo della Soggiacenza della falda nell'area campione, sono stati considerati i valori dei rilevamenti piezometrici disponibili; inoltre è stato necessario allargare le indagini attraverso la lettura delle pratiche al Genio Civile. In tab. 13 sono elencati i pozzi ricadenti in tutta l'area dell'acquifero del Luco a cui sono riferite le letture (le quote ed i livelli piezometrici assoluti sono espressi in m s.l.m.).

L'elaborazione della relativa matrice punteggi è stata eseguita con calcolo automatico, utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Soggiacenza → Punteggio.

Coordinata X	Coordinata Y	Livelli piezometrici	Quota bocca-pozzo	Soggiacenza	Ubicazione
1680241	4791481	191,95			
1681031	4793942	183,80			
1681782	4792914	185,29			
1681139	4794348	181,54			
1681768	4790567	186,87			
1680663	4791310	184,44			
1684582	4796066	192,46			
1685168	4793012	175,84			
1680932	4788451	191,45			
1684047	4787348	182,20			
1680737	4791936	186,60			
1682055	4801429	189,00	280,00	91,00	Loc. il Caggio
1681254	4795137	187,22			
1681556	4792050	184,94			
1680904	4790381	180,12			
1682714	4806352	184,00	241,00	57,00	Il Casalino Badesse
1679005	4805794	184,00	196,00	12,00	Valmaggiore
1678649	4805943	182,00	195,00	13,00	Turchiano
1683257	4801817	184,00	262,00	78,00	Pian del Lago

Tab. 13 – Elenco dei pozzi su cui è stata ricostruita la carta delle isopiezometriche.

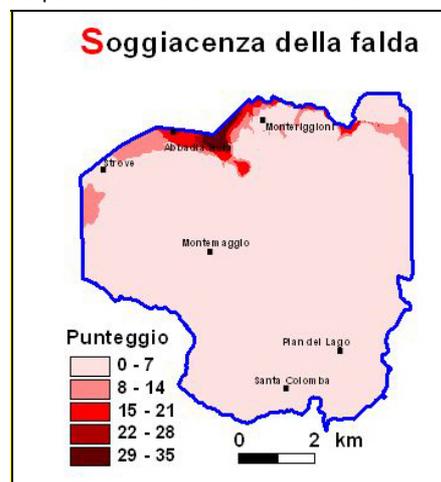


Fig. 53 – Carta dei punteggi relativi al parametro S

4.3.3 - Infiltrazione efficace (Fig. 54)

L'*infiltrazione efficace* (I_e) può assumere effetti contrastanti sul meccanismo di propagazione dell'inquinante, e quindi sulla formazione dell'indice finale: da una parte, vi è l'influenza sul grado di vulnerabilità legato all'efficacia del processo di lisciviazione e trasporto in falda di inquinanti idroveicolati, che è tanto maggiore quanto maggiore è il valore di I_e ; dall'altra, ad elevati valori di I_e (> 250-300 mm/anno) si assiste ad una significativa diluizione dell'inquinante, che concorre ad attenuare il precedente effetto.

La valutazione dell' I_e (tab. 14) è stata effettuata moltiplicando l'eccedenza idrica media annua (W_s) per un coefficiente di infiltrazione potenziale (c.i.p.), il cui valore è funzione della tessitura del suolo e/o, in caso di suoli sottili o assenti, della permeabilità del litotipo presente. I dati relativi al W_s sono stati ricavati da A.A.T.O. 6 (1998); per quanto riguarda il c.i.p., in mancanza di dati pedologici, il valore da attribuire al coefficiente è stato stabilito su base formazionale in funzione del relativo grado di permeabilità, nel modo seguente:

Descrizione	Grado di permeabilità	c.i.p.	Infiltrazione efficace (mm/a)	Punteggio S.I.N.T.A.C.S.
Calcere cavernoso	1	0,9	249	9
Travertini e calcari continentali (Olocene e Pleistocene)	1	0,9	249	9
Breccia di Grotti	1	0,9	249	9
Depositi di frane senza indizi di evoluzione	2a	0,7	193,7	8
Depositi di versante	2a	0,7	193,7	8
Depositi alluvionali	2a	0,7	193,7	8
Depositi eluvio – colluviali (Olocene)	2a	0,7	193,7	8
Depositi alluvionali terrazzati	2a	0,7	193,7	8
Depositi lacustri	2a	0,7	193,7	8
Depositi lacustri di Pian del Lago	3a	0,4	110,7	5
Sabbie di S. Vivaldo	3a	0,4	110,7	5
Formazione di Vinca	3a	0,4	110,7	5
Serpentiniti	3b	0,2	55,3	2
Argille del Casino	4	0	0	1
Argille a palombini	4	0	0	1
Argille azzurre	4	0	0	1

Tab. 14 – Relazione tra formazioni affioranti, classi di permeabilità e punteggio S.I.N.T.A.C.S. relativo al parametro I.

L'elaborazione della relativa matrice punteggio è stata eseguita con calcolo automatico utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Infiltrazione → Punteggio.

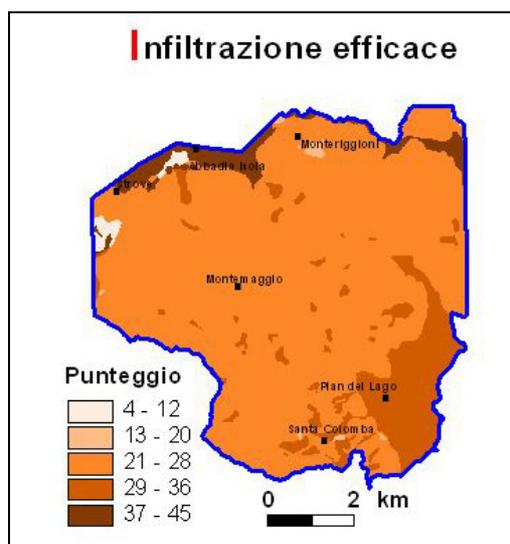


Fig. 54 – Carta dei punteggi relativi al parametro I.

4.3.4 - Effetto di autodepurazione del Non saturo (Fig. 55)

La *zona non satura* è la parte di sottosuolo che è compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero. L'insaturo rappresenta la seconda linea di difesa del sistema acquifero nei confronti di inquinanti idroveicolati; in condizioni normali, la prima linea di difesa è rappresentata dal suolo, che tuttavia in particolari condizioni può risultare assente e/o tanto sottile da non poter esplicare alcuna azione di attenuazione.

I relativi punteggi sono stati attribuiti sulla base dei litotipi in affioramento e, conseguentemente, sulle classi di permeabilità in cui questi sono stati suddivisi, come mostrato in tab. 15.

Unità litostratigrafiche	Grado di permeabilità	Punteggio S.I.N.T.A.C.S.
Calccare cavernoso	1	9
Travertini e calcari continentali (Olocene e Pleistocene)	1	9
Breccia di Grotti	1	9
Depositi di frane senza indizi di evoluzione	2a	7
Depositi di versante	2a	7
Depositi alluvionali	2a	7
Depositi eluvio - colluviali (Olocene)	2a	7
Depositi alluvionali terrazzati	2a	7
Depositi lacustri	2a	7
Depositi lacustri di Pian del Lago	3a	5
Sabbie di S. Vivaldo	3a	5
Formazione di Vinca	3a	5
Serpentiniti	3b	4
Argille del Casino	4	1
Argille a palombini	4	1
Argille azzurre	4	1

Tab. 15 – Relazione tra formazioni affioranti, classi di permeabilità e punteggio S.I.N.T.A.C.S. relativo al parametro N.

L'elaborazione della relativa matrice punteggio è stata eseguita con calcolo automatico utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Non saturo → Punteggio.

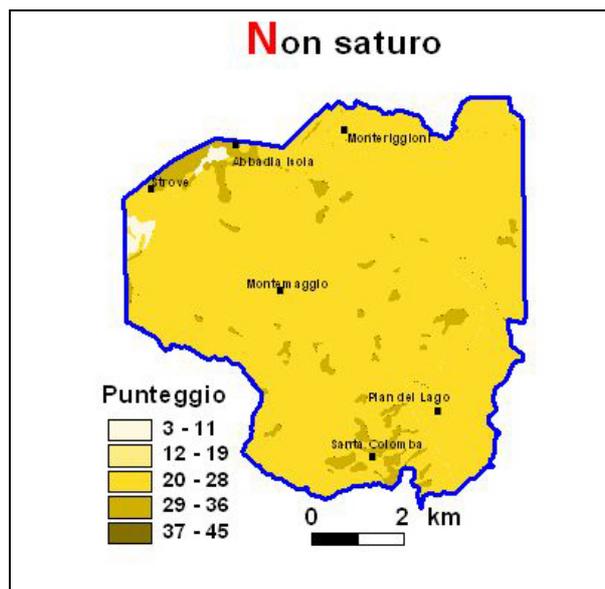


Fig. 55 – Carta dei punteggi relativi al parametro N.

4.3.5 - Tipologia della copertura (Fig. 56)

Al suolo deve essere attribuito, in condizioni normali (suolo presente e mediamente profondo), un potere rilevante nell'attenuazione del carico inquinante, in modo particolare nei confronti di quelli diffusi (agricolo, zootecnico, ecc.). Il parametro rappresentativo del potere depurante del suolo è la tessitura: a parità di spessore, maggiore è il contenuto in materiali fini e maggiore è il potere di ritenzione idrica e quindi di eventuali inquinanti idroveicolati.

Per quanto concerne l'area campione, i dati relativi al tipo di Copertura sono stati ricavati da tesi precedentemente svolte in questa area e dal lavoro eseguito dal Dr. Castellani e dal Dr. Geol. Napoli per lo "Studio idrogeologico della falda idrica del Luco per la sua gestione e salvaguardia" (1992), nel quale sono state effettuate analisi granulometriche e tessiture dei suoli presenti nell'area del Luco. In base a tale lavoro sono stati individuati i seguenti tipi di coperture e i relativi punteggi S.I.N.T.A.C.S., come evidenziato in tab. 16.

Unità litostratigrafiche	Tipo di copertura	Punteggio S.I.N.T.A.C.S.
Depositi di frane senza indizi di evoluzione	franco	5
Depositi di versante	franco argilloso ghiaioso	5
Formazione di Vinca	franco argilloso ghiaioso	5
Calcare cavernoso	franco limoso	4
Breccia di Grotti	franco limoso	4
Depositi alluvionali	franco limoso	4
Depositi alluvionali terrazzati	franco limoso	4
Sabbie di S. Vivaldo	franco limoso	4
Travertini e calcari continentali (Olocene e Pleistocene)	franco limoso argilloso	3
Depositi lacustri	franco argilloso	3
Serpentiniti	franco limoso argilloso	3
Depositi eluvio - colluviali (Olocene)	argilloso limoso	2
Depositi lacustri di Pian del Lago	argilloso limoso	2
Argille a palombini	argilloso limoso	2
Argille del Casino	argilloso	1
Argille azzurre	argilloso	1

Tab. 16 – Relazione tra litologia, tipi di suolo e punteggio S.I.N.T.A.C.S. relativo al parametro T.

L'elaborazione della relativa matrice punteggio è stata eseguita con calcolo automatico utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Tipo di Copertura → Punteggio.

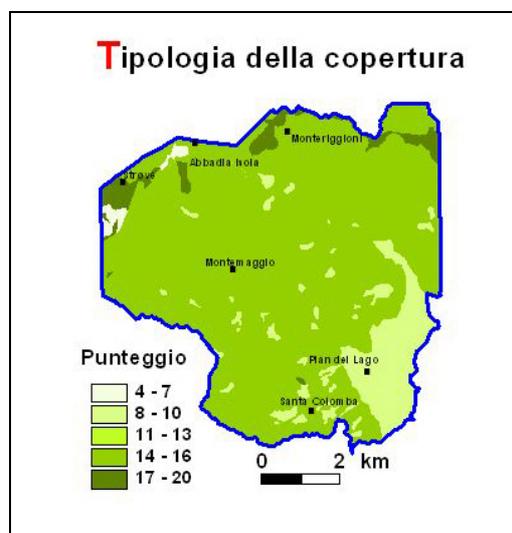


Fig. 56 – Carta dei punteggi relativi al parametro T.

4.3.6 - Acquifero (Fig. 57)

Questo parametro considera i processi che avvengono al di sotto della superficie piezometrica, quando un inquinante idroveicolato giunge in falda dopo aver superato le due linee di difesa suolo e insaturo, con abbattimento di una parte più o meno rilevante della sua concentrazione iniziale. I processi considerati sono: la dispersione, la diluizione, l'assorbimento e la reattività chimica del mezzo.

Nell'area campione, i punteggi finali relativi al parametro Acquifero, sono stati assegnati in base alla permeabilità dei litotipi affioranti costituenti l'acquifero in studio, come mostrato in tab. 17.

Descrizione	Grado di permeabilità	Punteggio S.I.N.T.A.C.S.
Calcare cavernoso	1	9
Travertini e calcari continentali (Olocene e Pleistocene)	1	8
Breccia di Grotti	1	9
Depositi di frane senza indizi di evoluzione	2a	7
Depositi di versante	2a	7
Depositi alluvionali	2a	6
Depositi eluvio - colluviali (Olocene)	2a	7
Depositi alluvionali terrazzati	2a	6
Depositi lacustri	2a	7
Depositi lacustri di Pian del Lago	3a	5
Sabbie di S. Vivaldo	3a	5
Formazione di Vinca	3a	5
Serpentiniti	3b	3
Argille del Casino	4	1
Argille a palombini	4	1
Argille azzurre	4	1

Tab. 17: Relazione tra formazioni affioranti, classi di permeabilità e punteggio S.I.N.T.A.C.S. relativo al parametro A.

L'elaborazione della relativa matrice punteggio è stata eseguita con calcolo automatico utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Acquifero → Punteggio.

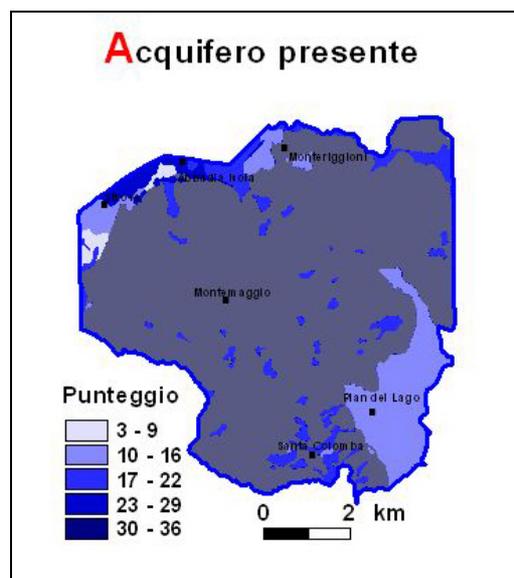


Fig. 57 – Carta dei punteggi relativi al parametro A.

4.3.7 - Conducibilità idraulica (Fig. 58)

La *conducibilità idraulica* (K) governa la capacità di veicolazione – dispersione idrodinamica dell'inquinante. Un'elevata conducibilità idraulica rende elevati la velocità di propagazione dell'inquinante ed il coefficiente di

dispersione; in questo caso, l'inquinante tende ad invadere ampie porzioni di acquifero in tempi relativamente brevi, da cui ne deriva che ad alti valori di K corrispondono indici di vulnerabilità maggiori (e viceversa).

Per la valutazione della Conducibilità idraulica nell'area campione, sono stati utilizzati i valori relativi a prove di portata effettuate nell'area in esame. La valutazione finale della Conducibilità idraulica ed il rispettivo punteggio assegnato sono riportati in tab. 18.

Descrizione	Conducibilità idraulica (m/s)	Punteggio S.I.N.T.A.C.S.
Calcere cavernoso	1E-04	7
Breccia di Grotti	1E-04	7
Travertini e calcari continentali (Olocene Pleistocene)	1.9E-05	5
Depositi di frane senza indizi di evoluzione	1 E-05	5
Depositi di versante	1 E-05	5
Depositi alluvionali	1 E-05	5
Depositi eluvio - colluviali (Olocene)	1 E-05	5
Depositi alluvionali terrazzati	1 E-05	5
Depositi lacustri	1 E-05	5
Depositi lacustri di Pian del Lago	1 E-06	3
Sabbie di S. Vivaldo	1 E-06	3
Formazione di Vinca	1 E-08	1
Serpentiniti	1 E-08	1
Argille del Casino	1 E-10	1
Argille a palombini	1 E-10	1
Argille azzurre	1 E-10	1

Tab. 18 – Relazione tra formazioni affioranti, Conducibilità idraulica e relativo punteggio S.I.N.T.A.C.S.

L'elaborazione della relativa matrice punteggio è stata eseguita con calcolo automatico, utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Conducibilità idraulica → Punteggio.



Fig. 58 – Carta dei punteggi relativi al parametro C.

4.3.8 - Acclività della superficie topografica (Fig. 59)

L'*acclività* della superficie topografica influisce sulla valutazione della vulnerabilità intrinseca in quanto essa controlla il ruscellamento (a parità di precipitazioni). In generale, minore è l'*acclività* e maggiore è il tempo di contatto che si realizza tra un generico inquinante ed il terreno, suolo o roccia che sia, tale da favorirne l'infiltrazione; quindi, ad *acclività* minori corrispondono condizioni di vulnerabilità maggiore.

L'elaborazione della carta parametrica è stata condotta a partire dal DTM dell'area (maglia 10 x 10 m), da cui è stata derivata la carta delle pendenze (in %).

L'elaborazione della relativa matrice punteggio è stata eseguita con calcolo automatico, utilizzando la funzione rappresentativa della curva di trasformazione Acclività → Punteggio.

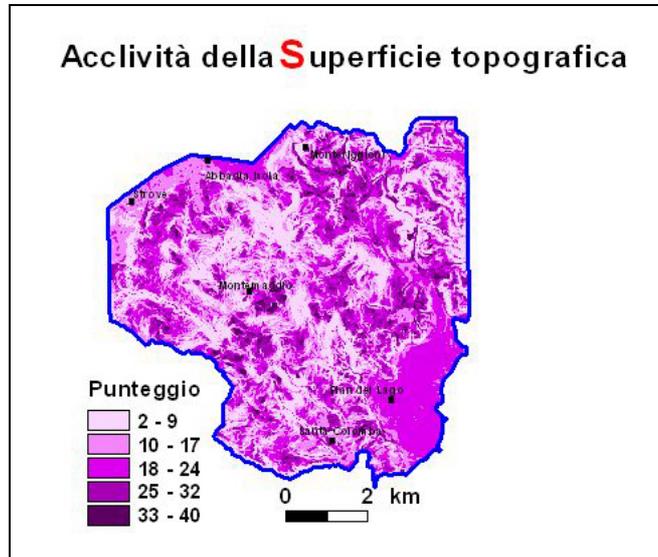


Fig. 59 – Carta dei punteggi relativi al parametro S.

4.4 - Definizione degli scenari di impatto nell'area di studio

Gli scenari scelti per l'area di studio sono stati: l'impatto normale, l'impatto rilevante e quello fessurato. Il primo è rappresentato nell'area di Pian del Lago dove il centro ippico e alcune attività agricole con relativo uso di fitofarmaci non fa sì che quest'area sia inserita nel contesto d'impatto rilevante. Ad impatto rilevante, invece, è stata compresa l'area a nord caratterizzata dagli affioramenti di sabbie e argille plioceniche e di travertini e calcari lacustri di Pian del Casone. In questa zona, oltre ad intense attività agricole, sono presenti, prevalentemente, sui travertini e calcari lacustri, attività artigianali, industriali e zootecniche. Anche le alluvioni generate dal torrente Staggia in località Badesse sono inserite nello scenario ad impatto rilevante perché non esiste un drenaggio così intenso fra corpi idrici superficiali e quelli sotterranei soggiacenti, tale da inserire tale area nello scenario ad intenso drenaggio. Questa scelta è stata indotta anche dalla presenza di parte dell'area industriale di Badesse e di coltivazioni cerealicole lungo il corso d'acqua. L'ultimo scenario, che è anche il principale, è rappresentato dall'affioramento della Breccia di Grotti e del Calcare Cavernoso. Infatti, nonostante ci siano fenomeni carsici indicati anche in alcuni tratti dalla presenza di doline, "l'indice di carsismo" risulta essere ancora troppo basso per essere collocato in questo scenario (1c 2/3 doline al Km²)¹. Le litologie che costituiscono l'acquifero studiato, sono stati quindi inseriti in questo contesto perché la circolazione idrica è prevalentemente per fessurazione e non tanto per carsismo.

4.5 - Indice di vulnerabilità

Considerato che con il Metodo base sono state individuate 4 classi di vulnerabilità intrinseca, verrà fatto lo stesso anche per il metodo S.I.N.T.A.C.S., adeguando a 4 classi gli intervalli di punteggio finale ottenuti (tab. 19):

Grado di vulnerabilità	Basso	Medio-basso	Medio-alto	Elevato
Intervallo di punteggio (%)	0 – 24	24 – 42	42 – 69	69 – 100

Tab. 19 – Suddivisione dell'indice S.I.N.T.A.C.S. normalizzato in classi di vulnerabilità

Di seguito vengono inoltre riportate le carte riguardanti tutti i parametri S.I.N.T.A.C.S., riuniti in fig. 60, in modo da avere una visuale d'insieme. Il risultato finale è la Carta della Vulnerabilità Intrinseca, con al margine quella degli impatti, come mostrato in fig. 61.

¹ Amministrazione Provinciale di Siena (1998)

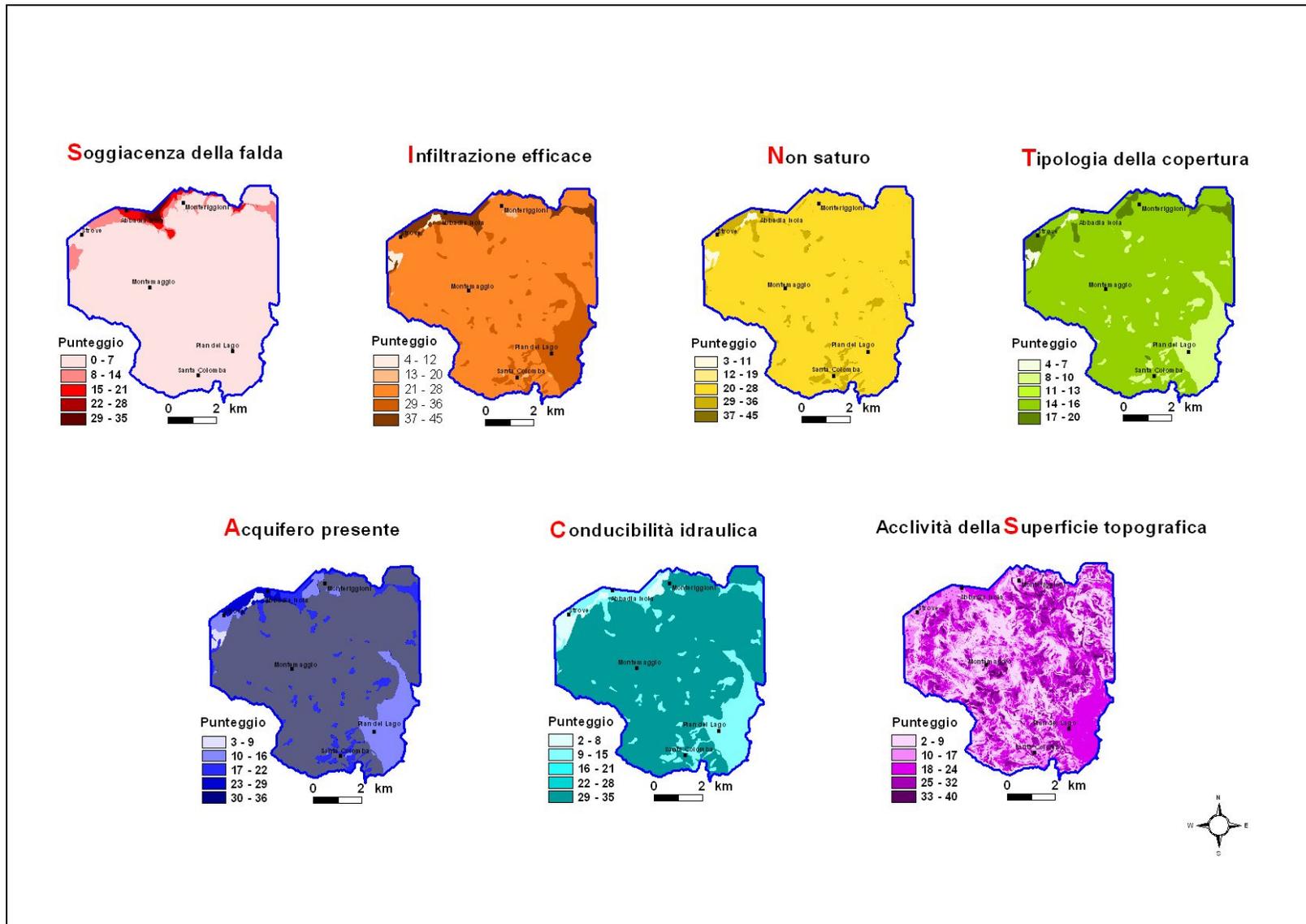


Fig. 60 – Carta dei parametri S.I.N.T.A.C.S.

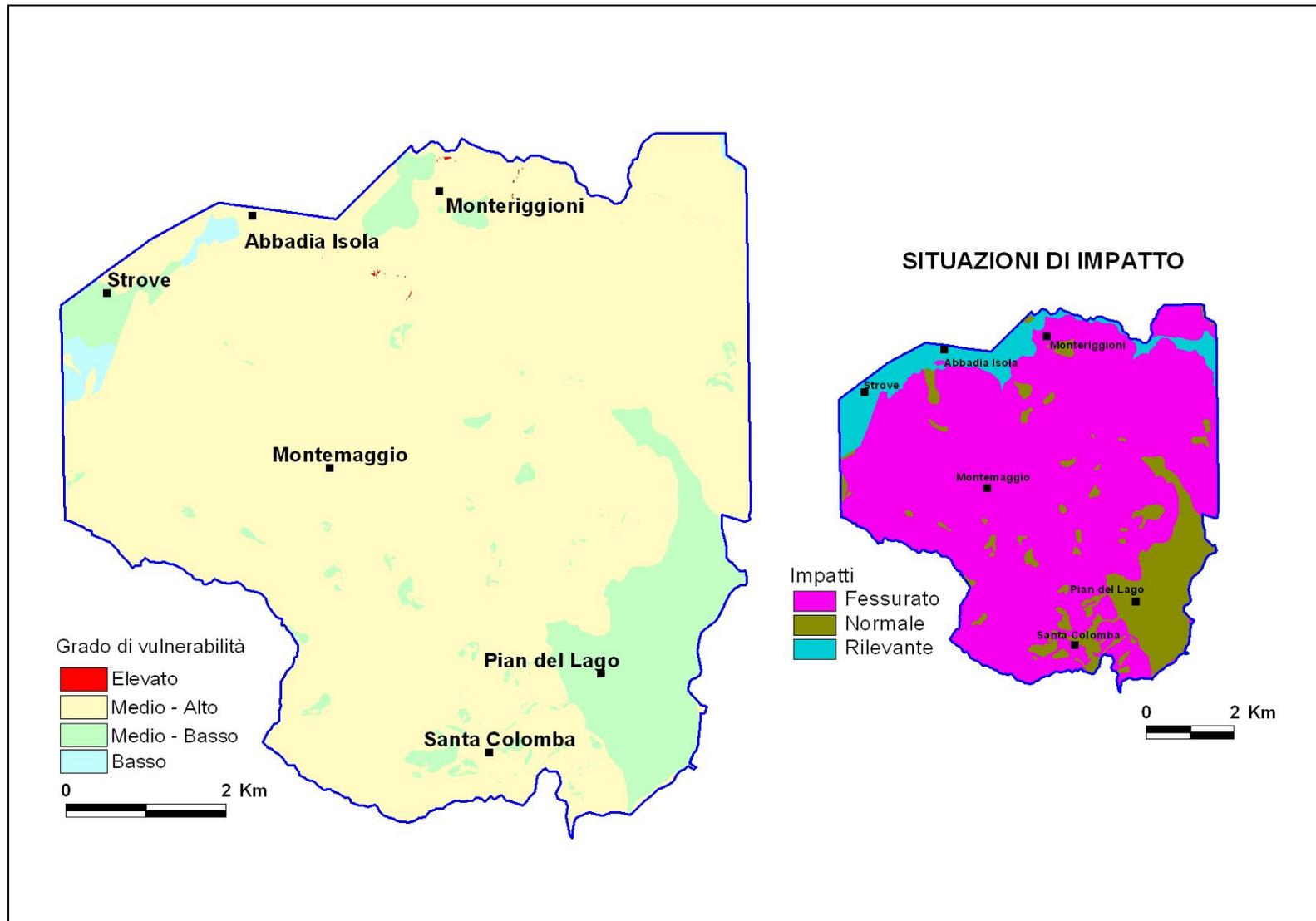


Fig. 61 – Carta della Vulnerabilità Intrinseca S.I.N.T.A.C.S. con, al margine, la carta degli scenari di impatto

4.6 - Confronto tra i risultati ottenuti con i metodi utilizzati

Già da un primo confronto tra le due valutazioni della Vulnerabilità intrinseca, si nota una sostanziale differenza tra i risultati ottenuti, riconducibile in pratica nella diminuzione di una classe di vulnerabilità nel metodo S.I.N.T.A.C.S. rispetto a quello BASE.

In particolare, si vede infatti come l'area più sviluppata, ovvero quella che nel Metodo base ricade nel grado di vulnerabilità Elevato, nel metodo S.I.N.T.A.C.S. rientra invece nel grado Medio – alto; così pure per la zona di Pian del Lago, che, nella prima metodologia ricade nel grado di vulnerabilità Medio – alto, mentre nella seconda rientra nel grado Medio – basso.

Sembrano invece corrispondere le classi Medio – bassa e Bassa, come si può notare nella parte più a N dell'area studiata.

4.7 - CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI CON IL METODO BASE E CON IL METODO S.I.N.T.A.C.S.

Già da un primo confronto dei gradi di vulnerabilità in cui risulta suddivisa l'area campione, secondo il metodo base e secondo il metodo S.I.N.T.A.C.S. (fig. 68), ne risulta un sostanziale abbassamento di un grado di vulnerabilità con la seconda metodologia rispetto alla prima.

Come infatti mostrato nelle fig. 62, 63 e tab. 20, mentre con il metodo base, ben l'81% dell'area esaminata ricade nel grado di vulnerabilità elevato, con il metodo S.I.N.T.A.C.S., circa la stessa percentuale di territorio (l'86%), è rappresentata invece, dal grado medio – alto (il grado di vulnerabilità elevato è praticamente inesistente, essendo rappresentato dallo 0,01% dell'area). Ed inoltre, se con il metodo base, il 16% dell'area in esame ricade nel grado di vulnerabilità medio – alto, dall'altra parte, con il metodo S.I.N.T.A.C.S., si ottiene che il 13% del territorio rientra nel grado medio – basso.

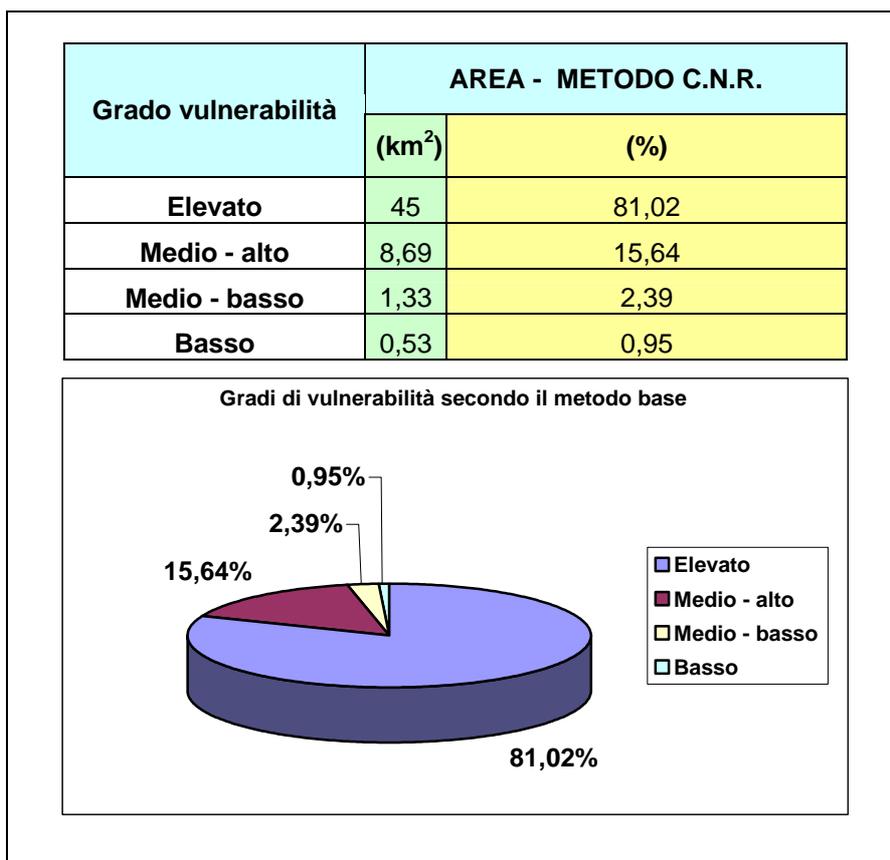


Fig. 62 – Suddivisione dell'area in esame in base alla vulnerabilità, secondo il metodo base.

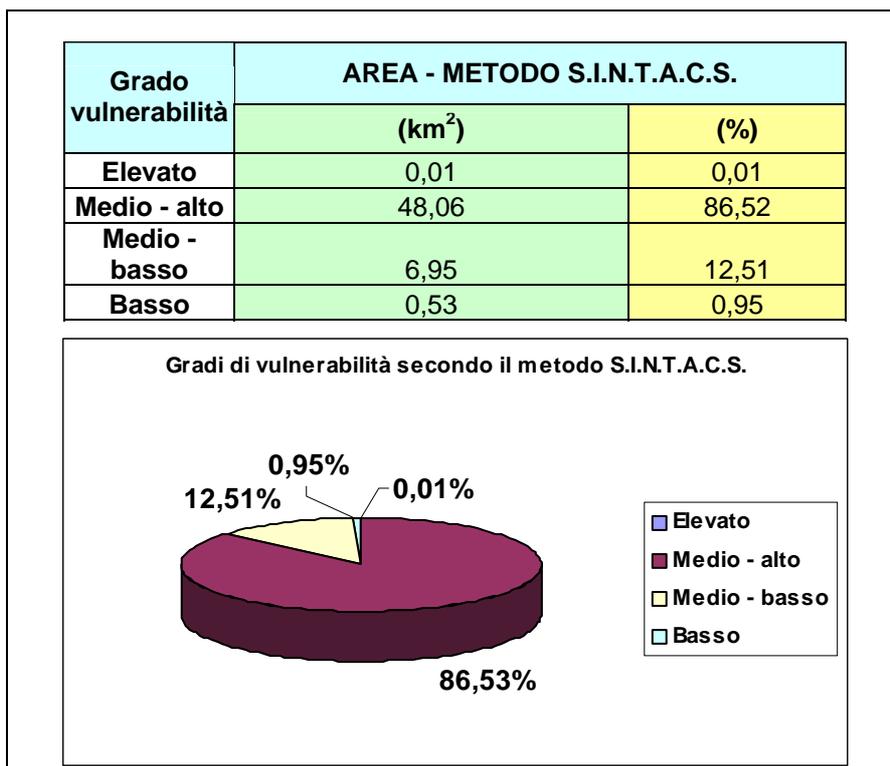


Fig. 63 – Suddivisione dell'area in esame in base alla vulnerabilità, secondo il metodo S.I.N.T.A.C.S. .

Dal grafico di fig. 64, emergono ancora più dettagliatamente le differenze tra i due metodi, sulla base dei gradi di vulnerabilità.

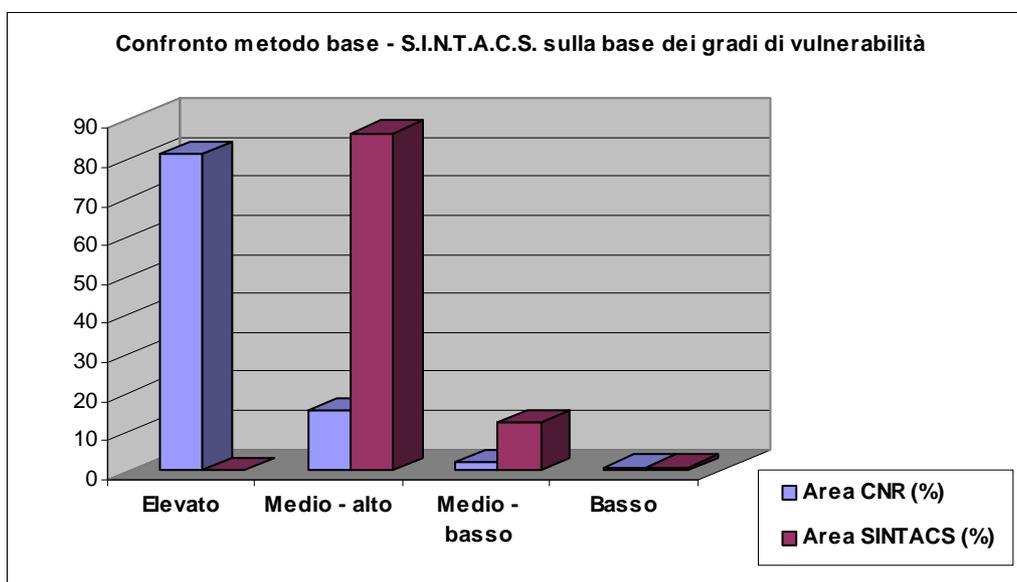


Fig. 64 – Confronto dei risultati ottenuti con i due metodi

Grado di vulnerabilità	AREA - METODO C.N.R		AREA - METODO S.I.N.T.A.C.S.		DIFFERENZA S.I.N.T.A.C.S. – C.N.R.	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	Area (km ²)	Area (%)
Elevato	45,00	81,02	0,01	0,01	- 44,99	- 81,01
Medio - alto	8,69	15,64	48,06	86,52	39,37	70,88
Medio - basso	1,33	2,39	6,95	12,51	5,62	10,12
Basso	0,53	0,95	0,53	0,95	0,00	0,00

Tab. 20 – Confronto numerico tra i metodi CNR e SINTACS

Per quanto riguarda la suddivisione del territorio esaminato in base alle classi di sensibilità, si nota, anche in questo caso, il medesimo abbassamento di una classe che si è verificato per la vulnerabilità, in quanto, come più volte accennato, la sensibilità deriva direttamente dalla vulnerabilità.

Come si evince dalle figure 65, 66e tab. 21, l'81% dell'area esaminata, con il metodo base risulta a vincolo elevato, mentre, circa la stessa percentuale (l'87%), con il metodo S.I.N.T.A.C.S., ricade nel vincolo medio (le aree a vincolo elevato rappresentano solo lo 0,01% di tutto il territorio esaminato). Ed inoltre, mentre con il metodo base, il 16% ed il 3% rappresentano, rispettivamente, aree a vincolo medio ed aree non vincolate, con il metodo S.I.N.T.A.C.S., il 13% del restante territorio rientra nelle aree non vincolate.

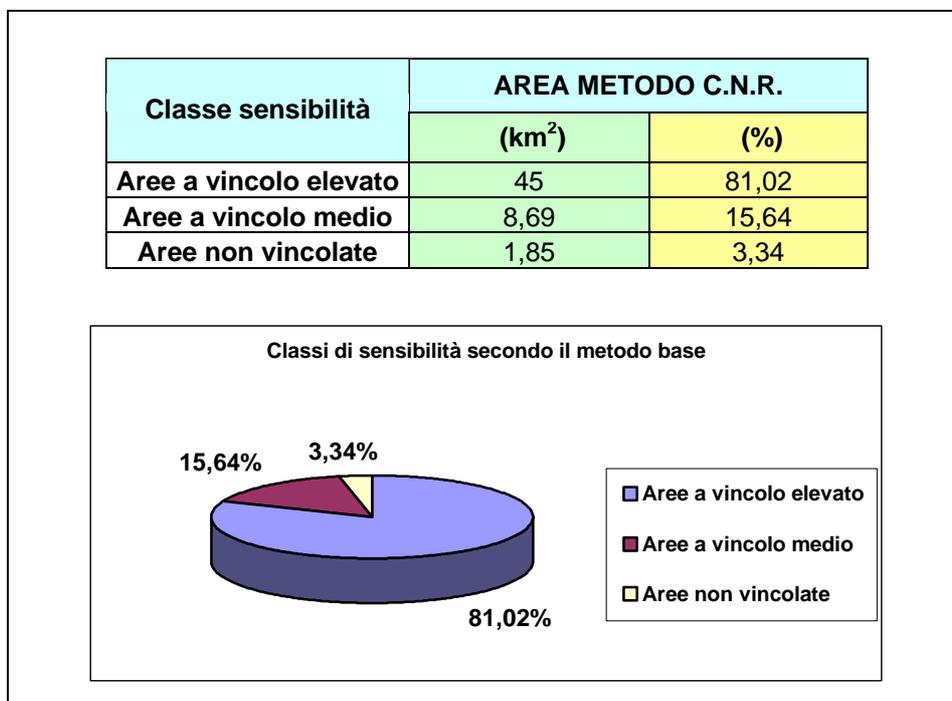


Fig. 65 – Suddivisione dell'area in esame in base alla sensibilità, secondo il metodo base.

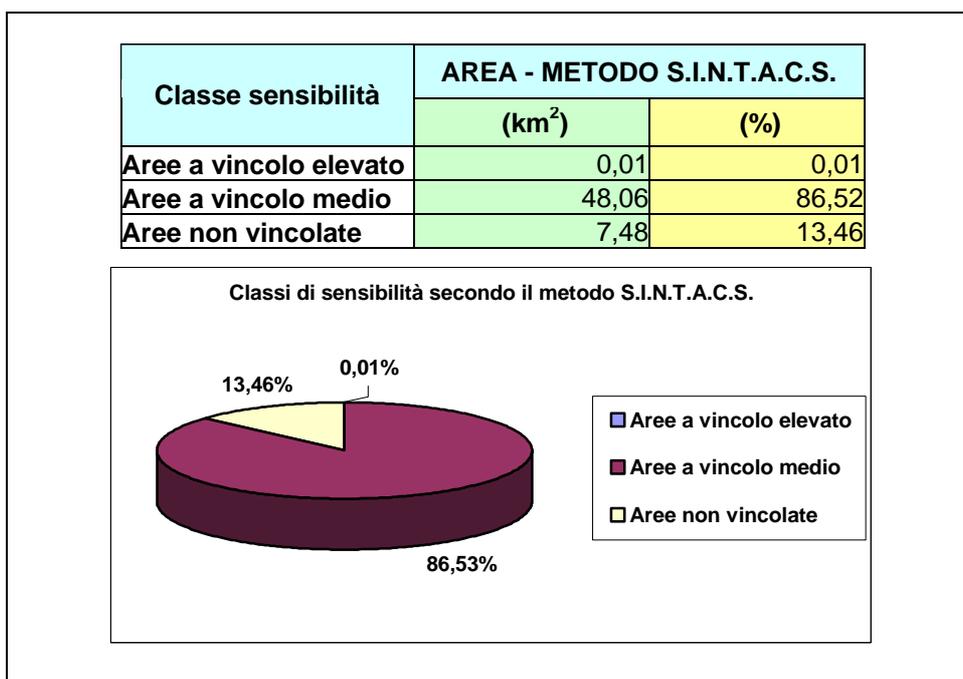


Fig. 66 – Suddivisione dell'area in esame in base alla sensibilità, secondo il metodo S.I.N.T.A.C.S. .

Dal grafico di fig. 67, emergono ancora più dettagliatamente le differenze tra i due metodi, sulla base delle classi di sensibilità.

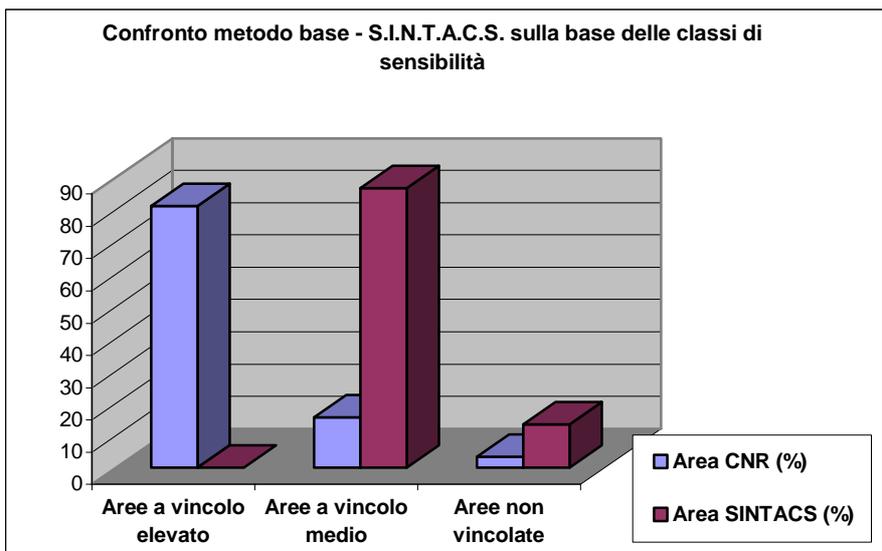


Fig. 67 – Confronto dei risultati ottenuti con i due metodi

Grado di sensibilità	AREA - METODO C.N.R.		AREA - METODO S.I.N.T.A.C.S.		DIFFERENZA S.I.N.T.A.C.S. – C.N.R.	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	Area (km ²)	Area (%)
Aree a vincolo elevato	45,00	81,02	0,01	0,01	- 44,99	- 81,01
Aree a vincolo medio	8,69	15,64	48,06	86,52	39,37	70,88
Aree non vincolate	1,85	3,34	7,48	13,46	5,62	10,12

Tab. 21 – Confronto numerico tra i metodi CNR e SINTACS

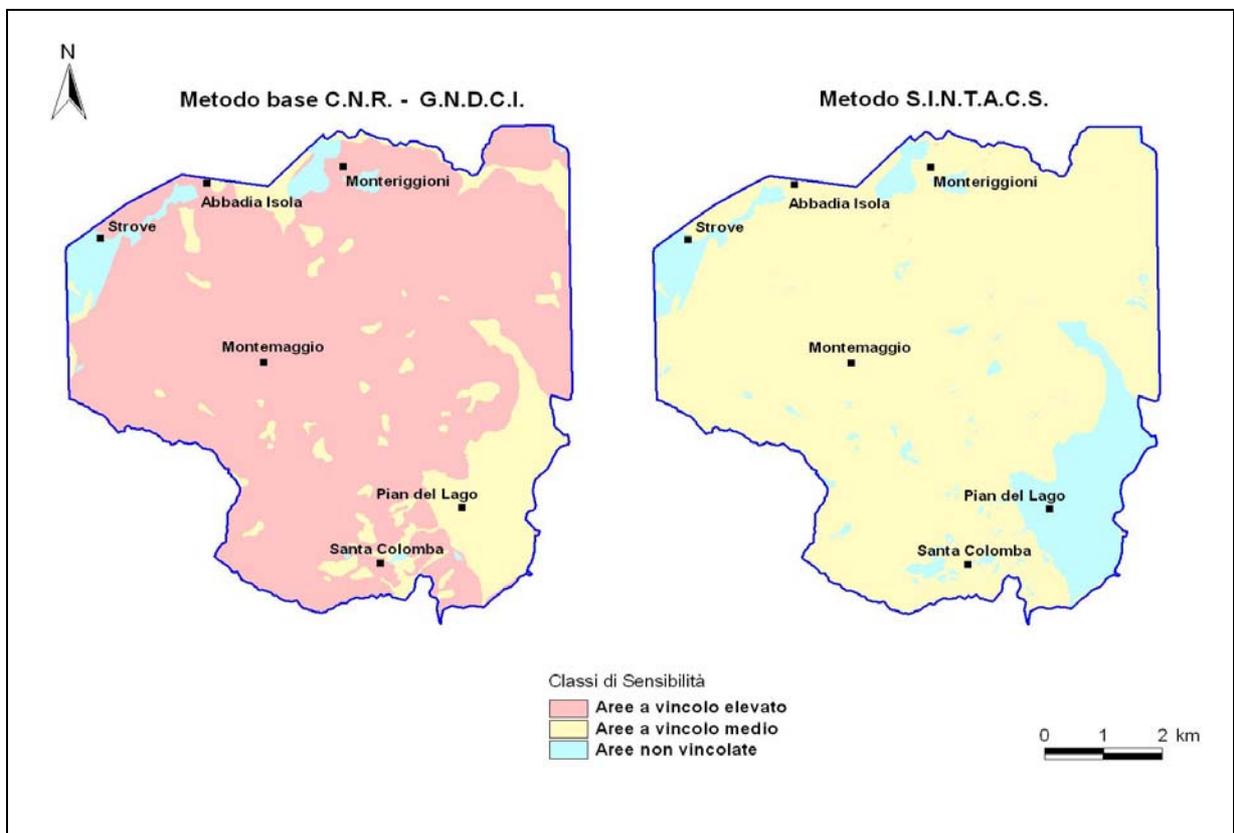


Fig. 68 – Confronto delle classi di Sensibilità ottenute con il metodo base e con il metodo S.I.N.T.A.C.S.

5 - Considerazioni conclusive: Uso e limitazioni della carta di vulnerabilità

La carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento è uno strumento basilare del processo di pianificazione delle risorse idriche sotterranee di un determinato territorio, sia per quanto riguarda l'uso corretto di esse che per quanto attiene alla loro protezione nel tempo e nello spazio; scopo di questo documento è quello di colmare la distanza, **talvolta abissale**, tra la conoscenza scientifica organizzata esistente su un territorio e quella che viene resa effettivamente disponibile a coloro che sono chiamati a gestire il processo decisionale e gestionale nello stesso territorio (Civita, 1994). Tale carta può essere quindi di grande aiuto nel processo decisionale quando viene utilizzata correttamente e, specialmente, interpretata in funzione dell'effettiva consistenza e qualità dei dati disponibili all'atto della sua redazione, del metodo di compilazione e della scala.

Statisticamente, gli utilizzatori di questo documento tematico sono concentrati nel settore della Pubblica Amministrazione, a diversi livelli e spesso in successione, ai quali si aggiungono le Autorità di Bacino e le Agenzie di gestione delle risorse idriche; a tutti questi utenti effettivi o potenziali interessa avere chiari i problemi esistenti sul territorio di competenza e/o disporre di dati organizzati ed interpretati, di dettaglio più o meno elevato a secondo dell'impiego, per poter tracciare rapidamente un quadro esatto delle soluzioni potenziali nelle quali inserire un problema nuovo o estemporaneo e le sue conseguenze (*scenari*).

5.1 - Uso della carta

Ogni cartografia tematica moderna ha un campo ben preciso di utilizzazione e un obiettivo principale da raggiungere che ne giustifica il costo di produzione. La carta della vulnerabilità degli acquiferi viene redatta in modo anche diverso a seconda dei casi ma, sostanzialmente, il suo scopo globale è quello di assistere i pianificatori, i responsabili della conduzione di attività produttive e gli amministratori (tecnici e politici) del territorio nella determinazione della suscettibilità delle risorse idriche sotterranee di interesse all'inquinamento prodotto o producibile da fonti diverse (Civita, 1994). Tali fonti possono identificarsi con attività già esistenti o che potrebbero essere attivate, la compatibilità delle quali con la tutela del patrimonio idrico deve essere oggetto di giudizio da parte dei pianificatori e dei gestori pubblici; inoltre, la fonte potenziale di inquinamento può essere generata casualmente, come nel caso di sversamenti accidentali o dolosi sul suolo, nel sottosuolo o in acque superficiali che alimentano direttamente l'acquifero sottostante.

Anche quando si è di fronte ad un inquinamento in atto, la carta della vulnerabilità può rivelarsi preziosa per identificare rapidamente quelle fonti di approvvigionamento idropotabile che si trovano in pericolo ed i CDP potenzialmente responsabili, per stabilire piani di monitoraggio specifico, per l'approvvigionamento d'emergenza, per studi e progettazioni finalizzate al blocco dell'inquinamento in atto ed al disinquinamento dell'acquifero vulnerato.

Tale cartografia può essere di grande utilità pure per i gestori delle attività produttive che possono divenire produttori o viacoli di inquinamento (fabbriche, cave, discariche, ecc.); una conoscenza approfondita delle conseguenze che le diverse produzioni e attività possono avere sulle risorse idriche può determinare un processo decisionale teso a minimizzare i rischi onde non incorrere in sanzioni anche pesanti, come avviene nei Paesi in cui è già operante un sistema normativo basato sul principio «*chi inquina paga*».

In definitiva, l'utilizzo di una carta della vulnerabilità può permettere una sufficiente oculatezza nelle decisioni e nei giudizi preventivi circa l'ammissibilità di trasformazioni territoriali potenzialmente inquinanti o l'inserimento di nuove attività produttive; ciò significa che la cartografia, **ben interpretata con l'ausilio di tecnici specialisti**, può sostituire, almeno in chiave preliminare, i rilievi necessari al rilascio di licenze ed autorizzazioni da parte dei legali gestori del territorio. In un'ottica di utilizzo opposta, detta cartografia è, senza dubbio, alla base dell'identificazione, in un determinato intorno territoriale a livello comprensoriale o regionale, di zone che si prestano, in assoluto o comparativamente ad altre, per l'installazione di attività potenzialmente inquinanti (Civita, 1994).

Infine, nel campo della prevenzione del pericolo di inquinamento delle fonti idropotabili e della formazione di riserve strategiche in aree vincolate onde poter disporre, all'occorrenza, di risorse idriche integrative, sostitutive o di emergenza, **l'uso delle carte della vulnerabilità è non soltanto necessario ma effettivamente indispensabile**.

A partire dal D.P.R. 236/88, anche le leggi temporalmente successive ad esso prevedono, com'è noto, che le opere di presa di acque sotterranee destinate al consumo umano siano circondate da un'area di salvaguardia articolata almeno su tre zone concentriche nelle quali vengano imposti vincoli nell'utilizzo del territorio via via meno severi dal centro alla periferia; quindi, anche la più esterna delle zone (la cosiddetta *zona di protezione*, che comprende **tutta l'area di alimentazione degli acquiferi**), deve essere soggetta ad alcune limitazioni d'uso e delle attività produttive esistenti e/o programmate. L'identificazione e l'imposizione rapida ed oculata di tali vincoli è **impossibile** senza l'esistenza di un *documento di piano* che, appunto, mostri la consistenza e la tipologia delle attività esistenti a fronte della suscettibilità dell'acquifero ad essere contaminato. Su queste basi, l'apposita Commissione del Ministero dell'Ambiente che ha operato per

redigere la “*Normativa Tecnica sulle aree di salvaguardia delle captazioni di acque destinate al consumo umano*” (Art. 8 del D.P.R. 236/88) **ha prescritto che le operazioni di delineazione delle aree di salvaguardia, da attuare con metodi scientifici e non più soltanto geometrici, comprendano la redazione di una carta della vulnerabilità integrata degli acquiferi all'inquinamento.**

5.2 - Limitazioni all'uso della carta

A questo punto è quanto mai necessario porre l'accento anche sull'uso improprio o scorretto della carta di vulnerabilità.

Il cattivo impiego della carta può derivare dal fatto che questi documenti tecnicamente avanzati siano dati da usare nei processi decisionali **direttamente** agli utilizzatori non tecnici, dunque impreparati a riconoscerne i limiti derivanti dalla scala, imposti dalla qualità e dal numero dei dati di base, ecc. (Civita, 1994). In particolare, la scala ha un'importanza specifica notevole perché essa influenza evidentemente l'accuratezza dell'interpretazione; l'utilizzo di cartografie a grande denominatore di scala (e quindi poco documentate e dettagliate) per comprendere e risolvere problemi strettamente locali e puntuali è, senza dubbio, un uso scorretto della carta e può portare a risultati catastrofici.

Non c'è alcun dubbio, dunque, che una carta della vulnerabilità **non può essere usata** come base di progettazione di interventi e modificazioni dell'ambiente superficiale e sotterraneo, se non per caratterizzare le *situazioni al contorno* (Civita, 1994). Analogamente, **non è corretto utilizzare** carte della vulnerabilità anche di tipo operativo per la *certificazione di idoneità* di un sito ad ospitare un impianto potenzialmente inquinante o dello stato di inquinamento di un sito, che deve invece essere basata su studi e rilievi ad un denominatore di scala molto piccolo; **si passa dunque nel campo della simulazione modellistica che è tutt'altra cosa ed ha costi, obiettivi (in parte) e metodologie del tutto diverse.**

La carta stessa può essere un documento inadeguato alla valutazione di situazioni particolari, essendo i metodi di preparazione generalmente basati sull'ipotesi di un inquinante generico e non specifico; infatti, è stato notato che alcuni dei parametri utilizzati nella valutazione dell'abbattimento parziale degli inquinanti nel sottosuolo sono fortemente influenti su taluni inquinanti ma non lo sono affatto su altri (Civita, 1994).

D'altra parte, però, tutti gli studiosi sono concordi nell'affermare che in quei Paesi ove esiste una consapevolezza dello stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee si sviluppa correttamente un processo di sensibilizzazione a tutti i livelli che porta, in misura maggiore o minore, ad un miglioramento del grado di protezione territoriale di queste fondamentali risorse (Civita, 1994)

5.3 - Conclusioni

L'analisi della Vulnerabilità, effettuata sulla base delle direttive tecniche dettate dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Siena, costituisce senz'altro un passo fondamentale nella direzione della tutela e conservazione delle risorse idriche sotterranee del territorio dell'area Metropolitana senese, direzione che va però mantenuta con impegno e coerenza anche nel prossimo futuro.

Va quindi definita quanto prima e da parte di tutti gli enti interessati alla corretta gestione della risorsa acqua, un'efficace programmazione delle attività conoscitive future ed utile a tutti i livelli pianificatori, volta a:

- diffondere ed approfondire le conoscenze idrogeologiche nei vari settori territoriali, al fine di pervenire ad una maggiore attendibilità ed omogeneità delle valutazioni di vulnerabilità intrinseca;
- migliorare, ma soprattutto standardizzare, il flusso di informazioni relative all'attività antropica dai vari Enti depositari di dati territoriali ai SIT pubblici.

Su queste basi non solo sarà possibile produrre carte della vulnerabilità integrata degli acquiferi all'inquinamento più realistiche, e quindi **veramente utilizzabili** nella pianificazione territoriale, ma anche di realizzarle mediante applicazioni di sistemi parametrici e numerici almeno nei settori di maggiore interesse strategico ai fini idropotabili come gli acquiferi M. Maggio-Montagnola Senese, M. Amiata, ecc. (vedi Applicazione dimostrativa illustrata nel Cap. 3); **inoltre, sulle stesse aree potrà così essere effettuata, per mezzo di idonei modelli di simulazione idrodinamica ed idrochimica, una valutazione degli effetti sulle locali risorse idriche sotterranee derivanti da diverse ipotesi di sfruttamento del territorio.**

6 - APPENDICE 1 (estratto dal p.t.c.p. - norme)

Art. A1 .Gli obiettivi di gestione degli acquiferi

1. In materia di acquiferi, il PTC persegue tre obiettivi complementari:

- tutelare gli acquiferi strategici, in ispecie quelli dell'Amiata e della zona Monte Maggio/Montagnola senese, che racchiudono risorse idropotabili fondamentali per la provincia di Siena, nonché quelli della dorsale Rapolano-M. Cetona, che costituiscono le aree di ricarica dei sistemi termali;
- tutelare in maniera diffusa i corpi idrici sotterranei, con discipline differenziate in funzione del loro grado di vulnerabilità;
- tutelare le aree di alimentazione delle opere di captazione per uso idropotabile e termale.

Art. A2. Disciplina delle aree sensibili di classe 1

1.Nelle aree sensibili di classe 1, ove sono ricompresi gli acquiferi strategici della provincia, così come individuate nella tav. P01, i comuni assicurano vengano esclusi qualsiasi uso od attività in grado di generare, in maniera effettivamente significativa, l'infiltrazione nelle falde di sostanze inquinanti oppure di diminuire - ad esempio a causa di scavi, perforazioni o movimenti di terra rilevanti - il tempo di percolazione delle acque dalla superficie all'acquifero sottostante.

2.Tra gli usi e le attività da ritenersi incompatibili con la tutela delle aree sensibili di classe 1 sono annoverati:

- la realizzazione di impianti di stoccaggio o trattamento rifiuti di qualsiasi tipo con esclusione di isole ecologiche aree di trasferimento, e aree attrezzate comunali per la raccolta differenziata di rifiuti solidi urbani nei casi di comprovata necessità da far constatare negli atti autorizzativi;
- la realizzazione di centri di raccolta, demolizione, rottamazione di autoveicoli, di macchine utensili, di beni di consumo durevoli, anche domestici;
- attività comportanti l'impiego, la produzione, lo stoccaggio di sostanze pericolose, sostanze radioattive, così come individuate dalla vigente normativa nazionale e comunitaria, ivi comprese quelle sostanze che, in base alle loro caratteristiche di tossicità, persistenza e bioaccumulabilità, possono essere ritenute tali;
- la realizzazione di oleodotti.

3.Nei corpi idrici superficiali ricadenti nelle aree sensibili di classe 1 o comunque ad esse connessi, le caratteristiche qualitative delle acque devono rientrare, in tutte le condizioni di portata, in quelle stabilite per le acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile nella Tab. 1/A (classe A3) dell'Allegato 2 del D.Lgs. 152/99.

Tale disposizione non si applica nei casi in cui le caratteristiche qualitative delle acque eccedano i limiti per dimostrate cause naturali.

4.Nei corpi idrici di cui sopra i depuratori di reflui urbani ed industriali sono dotati, se di nuova realizzazione, di opere e di impianti accessori atti ad evitare il rischio di inquinamento connesso al fermo impianti, nonché a garantire l'eventuale stoccaggio dei reflui addotti all'impianto per un periodo minimo di 24 ore.

Tali opere ed impianti accessori sono realizzati anche nei casi di ristrutturazione ed ampliamento dei depuratori esistenti, che sono comunque adeguati in tal senso entro 3 anni dall'approvazione del piano;

5.Le pratiche colturali sono orientate alla prevenzione del dilavamento di nutrienti e fitofarmaci, in applicazione del Codice di buona pratica agricola redatto dall'ARSA.

Nell'esercizio delle attività agricole è comunque da evitarsi lo spandimento di fanghi provenienti da impianti di depurazione; il quantitativo di effluente zootecnico sparso sul terreno ogni anno, compreso quello depositato dagli animali stessi, non deve superare l'apporto di 210 kg di azoto per ettaro, così come previsto dall'Allegato 7, Parte A del D.Lgs. 152/99.

6.Fino alla definizione, da parte dell'AATO e dell'Autorità di Bacino, di una apposita disciplina dei prelievi, sono di norma vietate le perforazioni di pozzi per usi differenti da quelli domestici, così come definiti dall'art.93 del TU 1933 n. 1775, salvo i casi di comprovata ed eccezionale necessità da far constatare negli atti autorizzatori.

7.Negli insediamenti urbani esistenti ricadenti in aree sensibili di classe 1 sono presi provvedimenti tesi a limitare l'infiltrazione di sostanze inquinanti; le nuove fognature ed eventuali fosse biologiche sono alloggiare in manufatti a tenuta ed ispezionabili.

Ovunque possibile, è da privilegiare il teleriscaldamento od il riscaldamento a gas metano.

Come misura prudenziale non sono da prevedersi ulteriori carichi urbanistici interessanti le aree sensibili di classe 1; eventuali previsioni dovranno comunque, sulla scorta di appositi specifici studi, dimostrare la compatibilità con gli obiettivi di tutela di cui alla presente disciplina.

In tali zone, oltre alla adozione di misure tese ad evitare l'infiltrazione di sostanze inquinanti, i comuni prevedono tipologie edilizie che non richiedano la realizzazione di pali o di scavi profondi che creino vie preferenziali di infiltrazione dal suolo alle falde sottostanti. Tali accorgimenti costruttivi vanno applicati a tutte

le tipologie edilizie, comprese quelle approvate sulla base dei Programmi di Miglioramento Agricolo-Ambientale.

8. Le AATO e le Autorità di Bacino possono individuare forme di compensazione da erogare ai comuni al fine di attenuare i costi aggiuntivi delle trasformazioni, a carico di enti pubblici e di soggetti privati, resi necessari dal rispetto della disciplina di tutela degli acquiferi di classe 1.

Art. A3. Disciplina delle aree sensibili di classe 2

1. Nelle aree sensibili di classe 2, così come individuate nella Tav. PO1, le attività antropiche sono orientate in modo da perseguire la limitazione delle infiltrazioni di sostanze inquinanti.

2. I depuratori di reflui urbani ed industriali sono dotati, se di nuova realizzazione, di opere e di impianti accessori atti ad evitare il rischio di inquinamento connesso al fermo impianti, nonché a garantire l'eventuale stoccaggio dei reflui addotti all'impianto per un periodo minimo di 24 ore.

Tali opere ed impianti accessori sono realizzati anche nei casi di ristrutturazione ed ampliamento dei depuratori esistenti;

3. Opere ed impianti accessori atti ad evitare il rischio di inquinamento delle falde sono da prevedersi anche per la realizzazione di:

- impianti e strutture di depurazione di acque reflue, ivi comprese quelle di origine zootecnica;

- impianti di raccolta, stoccaggio o trattamento rifiuti di qualsiasi tipo;

- centri di raccolta, demolizione, rottamazione di autoveicoli, di macchine utensili, di beni di consumo durevoli, anche domestici;

- attività comportanti l'impiego, la produzione, lo stoccaggio di sostanze nocive, sostanze radioattive, prodotti e sostanze chimiche pericolose, così come individuate dalla vigente normativa nazionale e comunitaria, ivi comprese quelle sostanze che, in base alle loro caratteristiche di tossicità, persistenza e bioaccumulabilità, possono essere ritenute tali;

- tubazioni di trasferimento di liquidi diversi dall'acqua.

4. In tali aree devono essere limitati allo stretto necessario i nuovi impegni di suolo a fini insediativi e infrastrutturali.

5. La perforazione di pozzi è soggetta al rispetto del protocollo tecnico predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno nell'ambito del Piano Stralcio "Qualità delle acque".

6. Nei corpi idrici superficiali ricadenti nelle aree sensibili di classe 2 o comunque ad esse connessi, le caratteristiche qualitative delle acque devono rientrare, in tutte le condizioni di portata, in quelle stabilite per le acque per salmonidi dalla Tab. 1/B dell'Allegato 2 del D.Lgs. 152/99, fatti salvi i casi citati nel comma 2 dell'Art. A2.

7. Fino all'approvazione del Piano Provinciale per lo smaltimento dei rifiuti speciali, previsto dalla L.R. 25/1998, è consentito lo spandimento di fanghi provenienti da impianti di depurazione ricadenti in Provincia di Siena; lo spandimento non dovrà superare le quantità previste per ettaro dall'art. 3 del D. Lgs n. 99/1992. Sono fatte salve le autorizzazioni rilasciate fino alla data di approvazione del PTC.

8. Le pratiche agricole devono assumere come riferimento le Proposte tecniche dei disciplinari di produzione predisposti dall'ARSIA, peraltro fatte proprie dal Piano Stralcio "Qualità delle acque" dell'Autorità di Bacino dell'Arno, approvato con DPCM 31.09.1999, pubblicato sul supplemento speciale del B.U.R.T. in data 10.11.1999.

Art. A4. Modalità di redazione delle carte di vulnerabilità degli acquiferi da utilizzarsi nei piani strutturali comunali;

1. Qualora un comune riscontri nel proprio territorio la presenza di aree sensibili di classi 1 o 2, e preveda nel suo strumento urbanistico di attuare trasformazioni interessanti tali aree, oppure zone idrologicamente interagenti con esse, è tenuto a redigere una carta della vulnerabilità degli acquiferi coerente con la disciplina tecnica contenuta nell'Allegato 1 delle presenti norme.

La suddetta disciplina tecnica è adeguata con deliberazione del Consiglio Provinciale in relazione alla evoluzione delle conoscenze scientifiche in materia ed alle Istruzioni Tecniche Regionali eventualmente sopravvenute, ferma restando la immediata applicabilità di queste ultime in attesa del recepimento.

2. Qualora un comune riscontri nel proprio territorio la presenza di aree sensibili di classi 1 o 2, e preveda nel suo strumento urbanistico di attuare trasformazioni interessanti in tali aree, oppure zone idrogeologicamente interagenti con esse, e disponga di carte della vulnerabilità degli acquiferi di maggior dettaglio rispetto a quelle del PTC (Tav. P01), il NTVP di cui all'Art. Z6 ne valuta la coerenza con la disciplina tecnica contenuta nell'Allegato 1 delle presenti Norme.

Art. A5. Aree di salvaguardia delle opere di captazione destinate al consumo umano ed all'uso termale

1. Nell'ambito dei PRG redatti ai sensi della LR 5/95, le aree di salvaguardia delle opere di captazione destinate al consumo umano ed all'uso termale sono individuate e gestite sulla base della disciplina tecnica contenuta nell'Allegato 2 delle presenti norme.

La suddetta disciplina tecnica è adeguata con deliberazione del Consiglio Provinciale in relazione alla evoluzione delle conoscenze scientifiche in materia ed alle Istruzioni Tecniche Regionali eventualmente sopravvenute, ferma restando la immediata applicabilità di queste ultime in attesa del recepimento.

2. Nel caso di aree di salvaguardia di estensione intercomunale, la Provincia promuove forme di coordinamento tra i comuni interessati.

Art. A6. Priorità nella bonifica dei siti inquinati

1. Al fine di attenuare i rischi potenziali per la qualità degli acquiferi sotterranei sono promosse, a cura della Provincia e dei Comuni interessati, le necessarie iniziative, avvalendosi degli strumenti della concertazione e degli accordi, affinché la Regione assicuri priorità alla realizzazione delle bonifiche dei siti definiti a breve termine inclusi nel "Piano regionale di gestione dei rifiuti-Terzo stralcio relativo alla bonifica delle aree inquinate" approvato con DCR 21 dicembre 1999, n.384 di cui alla LR 25/98, art.9, comma 2, ricadenti nelle aree sensibili di classe 1 ed indicati nella Tav. P01.

2. Al fine di attenuare i rischi potenziali per la qualità degli acquiferi sotterranei il Piano provinciale di cui al punto 1.3. della DCR 384/99, nella definizione degli interventi di bonifica e/o messa in sicurezza delle aree inquinate definite a medio termine dal "Piano Regionale di gestione dei rifiuti- terzo stralcio relativo alla bonifica delle aree inquinate", assicura priorità ai siti da bonificare ricadenti nelle aree sensibili di classe 1 e 2 di cui alla Tav. P01.

Art. A7. Deflusso minimo vitale

1. Al fine di consentire alla Provincia di Siena e ad altri soggetti competenti di implementare politiche più avanzate di salvaguardia della qualità dei corpi idrici superficiali e sotterranei, sono assunte le necessarie iniziative affinché le Autorità di bacino di rilievo nazionale e regionale dei fiumi Tevere, Arno ed Ombrone pervengano alla determinazione del deflusso minimo vitale (DMV) da garantire nelle aste principali dei corpi d'acqua che interessano la Provincia.

Una volta determinato il DMV, le autorizzazioni al prelievo in alveo e subalveo sono riconfigurate in funzione del suo mantenimento.

2. In attesa della determinazione del DMV, nel rilascio di autorizzazioni al prelievo di acque, l'autorità competente dovrà comunque tener conto delle esigenze di tutela degli ecosistemi fluviali, anche prevedendo, ove necessario, la revoca o la sospensione degli attingimenti in alveo e subalveo.

Art. A8. Criteri per la valutazione di compatibilità delle trasformazioni rispetto agli acquiferi sotterranei

1. Coerentemente con l'obiettivo di tutelare in maniera diffusa la qualità degli acquiferi, dovranno essere soggette a valutazione tutte le trasformazioni potenzialmente in grado di infiltrare nel suolo sostanze inquinanti oppure di ridurre sensibilmente i tempi di percolazione.

2. I principali parametri per la valutazione di compatibilità riguardano:

- qualità e quantità delle sostanze inquinanti infiltrate o a rischio di infiltrazione;

- la riduzione del tempo di transito, inteso come tempo impiegato da una particella d'acqua per percorrere, in infiltrazione verticale, lo spessore dello strato di protezione dell'acquifero, ovvero la porzione di terreno, saturo o non saturo, che sovrasta l'acquifero;

- il grado di probabilità del rischio di inquinamento;

- l'entità degli usi idrici in atto;

- il grado di protezione (confinamento) dell'acquifero interessato.

3. Sono comunque fatti salvi, con le eccezioni di cui ai commi 2 e 3 dell'Art. A2, i divieti applicati alle aree di sensibilità di classe 1 e 2, nonché alle zone di tutela assoluta (ZTA), zone di rispetto (ZR) e zone di protezione (ZP) delle opere di captazione destinate al consumo umano ed all'uso termale, come individuate dai Comuni così come previsto dall'Art. A5.

7 - APPENDICE 2

APPENDICE 2: LEGENDA DELLA CARTA DELLA VULNERABILITA' INTEGRATA

(CIVITA, 1990 CON MODIFICHE)

Vulnerabilità - Sensibilità

-  Area non determinabile
-  Area a Vulnerabilità elevata - Vincolo elevato
-  Area a Vulnerabilità medio alta - Vincolo medio
-  Area a Vulnerabilità medio bassa - Non vincolata
-  Area a Vulnerabilità bassa - Non vincolata

 Reticolo idrografico

Sez3 - Produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei

-  Aeroporto Commerciale
-  Allevamento: avicunicoli
-  Allevamento: bovini
-  Allevamento: ovicaprini ed equini
-  Allevamento: suini
-  Allevamento: vari
-  Autoparco, officina meccanica
-  Campeggio
-  Cimitero
-  Coltivazioni intensive in serra
-  Deposito di petrolio, benzina...(compresi distributori di carburanti)
-  Deposito di prodotti chimici ed altri materiali ad uso agricolo
-  Industria con scarichi e/o rifiuti inorganici
-  Industria con scarichi e/o rifiuti organico-biologici
-  Industria con scarichi multipli
-  Mattatoio
-  Ospedale, luogo di cura
-  Ferrovia
-  Gasdotto, metanodotto
-  Rete fognaria
-  Strada di grande traffico, autostrada, superstrada
-  Discariche
-  Aree urbane
-  Aree con colture che prevedono abbondanti trattamenti con fitofarmaci
-  Aree con colture che prevedono limitati trattamenti con fitofarmaci

Sez4 - Potenziali ingestori e viicoli di inquinamento dei corpi idrici sotterranei

 Cava abbandonata

 Cava in attività

 Cava ritombata

 Doline

Sez5 - Preventori e/o riduttori dell'inquinamento

 Discarica (seconda categoria tipo A)

 Discarica non classificata

 Impianto di depurazione di acque reflue urbane (primario e secondario)

 Fascia di rispetto di opera di captazione a scopo idropotabile

Sez6 - Principali soggetti ad inquinamento

 Pozzo di captazione a scopo idropotabile

 Pozzo di captazione a scopo industriale e/o agricolo

 Sorgente importante captata a scopo idropotabile

 Sorgente termale

 Acquedotto

 Galleria drenante, trincea drenante, opera di presa <<in falda>> di sorgenti

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1988) - *Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione delle acque sotterranee*. Ed. Geo-Graph, Segrate (Milano).
- AA.VV. (1997b) - *Piano di Bacino del Fiume Arno*. Piano Stralcio: Qualità delle Acque. Relazione inedita dell'Autorità di Bacino dell'Arno, pp. 216-254.
- AA.VV. (1998) - *Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena*. 1. Relazione generale. 2 Norme. 3 Allegati. (2000).
- Autorità di Ambito Territoriale Ottimale (A.A.T.O.) 6 (1998) - *Valutazione del bilancio idrico ed idrogeologico dell'Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Ombrone"*: relazione finale. Rapporto inedito a cura del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena (responsabile : Prof. M. Salleolini).
- Amministrazione Provinciale di Siena (1996) - *Il Piano Acquedottistico della Provincia di Siena (1992-1994)*. Lalli Editore, Poggibonsi (Siena)
- Barazzuoli P., Costantini A., Grassi S., Lazzarotto A., Micheluccini M., Piantelli F., Salleolini M., Sandrelli F., Squarci P., Taffi L. & Veronesi G. (1988) - *L'energia geotermica in Provincia di Siena: studi e ricerche per l'individuazione e lo sfruttamento non elettrico dei fluidi a medio-bassa temperatura per il territorio comprendente i comuni di Siena, Castelnuovo Berardenga, Asciano e Rapolano Terme*. Amministrazione Provinciale di Siena, Al.Sa.Ba. Grafiche, Siena.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1993) - *L'acqua: risorsa, rischio e pianificazione*. In: *La storia naturale della Toscana meridionale*. Monte dei Paschi di Siena, Ed. Pizzi, Milano.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1994) - *Variabilità climatica e trend delle risorse idriche rinnovabili nella Toscana meridionale*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", 40, Pitagora Editrice, Bologna.
- Barazzuoli P., Mocenni B., Nocchi M., Rigati R. & Salleolini M. (2004) - *Risorse idriche nella Toscana meridionale*. *Etrurianatura* (anno I- 2004), 41-54.
- Beretta P. (1992) - *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee: tecniche per lo studio e la progettazione degli interventi di prevenzione, controllo, bonifica e recupero*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", 18, Pitagora Editrice, Bologna.
- Bulgarelli L., Paltrinieri N., Spallacci P., Zavatti A. (1997) - *Pianificazione territoriale e vulnerabilità degli acquiferi*. Atti del Convegno Geofluid "Protezione e Recupero delle Acque Sotterranee e dei Terreni Inquinati. 1ª parte: Stato Qualitativo Attuale e Recenti Normative", pp. 17-34.
- Celico P. (1988) - *Prospezioni idrogeologiche*. Voll. I e II, Liguori Editore, Napoli.
- Civita M. (1977) - *La geologia tecnica nella pianificazione globale del territorio: schema operativo di cartografia tematica integrata a livello regionale*. *Boll. Ass. Min. Subalpina*, 14 (2), pp. 3-28.
- Civita M. (1988) - *Una metodologia per la definizione e il dimensionamento delle aree di salvaguardia delle opere di presa delle sorgenti normali*. *Boll. Ass. Min. Subalpina*, 25 (4), Torino.
- Civita M. (1990) - *Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei/Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 1 (Appendice), Pitagora Editrice, Bologna.
- Civita M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. *Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee"*, 31, Pitagora Editrice, Bologna.
- Civita M., Dal Prà A., Francani V., Giuliano G., Olivero G., Pellegrini M. & Zavatti A. (1993) - *Proposta di classifica sintetica e mappatura della qualità di base delle acque sotterranee*. *Inquinamento*.
- Civita M., Filippini G., Marchetti G., Paltrinieri N., Zavatti A. (1995) - *Uso delle carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento nella pianificazione e gestione del territorio*. *Quaderni di Geologia Applicata*, vol.1, suppl. 3, pp. 3.
- Civita M. & De Maio M. (1997) - *SINTACS*. Un sistema parametrico per la valutazione della cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia ed automazione. *Quaderni di tecniche di protezione ambientale*. Pitagora Editrice, Bologna, 191 pp.
- Comune di Siena (1992) - *Studio idrogeologico della falda idrica del Luco per la sua gestione e salvaguardia*. Rapporto pedologico, coord. Baldi A.M.
- Repubblica Italiana (1988) - Attuazione della Direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183. Decreto del Presidente della Repubblica del 24 maggio 1988, n. 236, G.U. n. 60 del 30/6/1988, Poligrafico dello Stato, Roma.
- Trevisani M. (1996) - *Verso il sistema informativo territoriale della Regione Toscana: gli archivi numerici dei dati*. Regione Toscana, Giunta Regionale, Dipartimento Politiche Territoriali ed Ambientali, Area S.I.T. - Cartografia, Firenze.

