

COMUNE DI SIENA



Piano Strutturale

QUADRO CONOSCITIVO

Studi geologici

Università di Siena - Dipartimento di Scienze della Terra

Coordinatore scientifico: Piero Barazzuoli

Collaboratori: Marco Bertinelli, Fausto Capacci, Paolo Mazzoni, Jenny Migliorini, Benedetta Mocenni, Roberto Rigati, Massimo Salleolini, Fabio Sandrelli

Comune di Siena

Lucia Buracchini, Benedetta Mocenni, Marco Signorelli

Relazione geologica

B.9.1

approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 32 del 13 febbraio 2007
pubblicato sul B.U.R.T. n. 14 del 4 aprile 2007

redatto in data: ottobre 2006

**Coordinamento del Piano**

Andrea Filpa, Michele Talia, Fabrizio Valacchi, Rolando Valentini (Responsabile del procedimento)

Ufficio di Piano

Lucia Buracchini, Gabriele Comacchio, Valeria Lingua, Paola Loglisci, Benedetta Mocenni, Raffaello Pin, Pietro Romano, Marco Signorelli, Adriano Tortorelli
collaboratori: Paolo Bubici, Enrica Burroni, Sonia Violetti

Procedure di informatizzazione

Luca Gentili (LdP Progetti GIS)

Sistema Informativo Territoriale

Mauro Lusini, Valentina Fosi

Garante della Comunicazione

Teodoro Mezzullo

**Piano Regolatore delle Cittine e dei Cittini**

Claudia Sabina Giordano, Guido Morandini, Coop. Giocolenuvole

Studi geologici

Università di Siena - Dipartimento di Scienze della Terra

Coordinatore scientifico: Piero Barazzuoli

Collaboratori: Marco Bertinelli, Fausto Capacci, Paolo Mazzoni, Jenny Migliorini, Benedetta Mocenni, Roberto Rigati, Massimo Salleolini, Fabio Sandrelli

Comune di Siena

Lucia Buracchini, Benedetta Mocenni, Marco Signorelli

Relazione geologica

B.9.1

approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 32 del 13 febbraio 2007
pubblicato sul B.U.R.T. n. 14 del 4 aprile 2007

redatto in data: ottobre 2006

INDICE

PREMESSA	3
INTRODUZIONE	5
1 METODOLOGIA DI STUDIO	6
1.1 Lo schema concettuale del Piano Strutturale.....	6
1.2 Raccolta, informatizzazione ed elaborazione dei dati di base.....	8
1.2.1 Raccolta dei dati di base	8
1.2.2 Informatizzazione ed elaborazione dei dati di base (Tavola B.9.03).....	8
2 LE CARTE DI BASE AI SENSI DELLA Del. C. R. 94/85	12
2.1 La carta Geologica (Tavola B.9.01).....	12
2.2 La Carta Geomorfologica (Tavola B.9.02)*	15
2.3 La carta Litotecnica (Tavola B.9.04).....	19
2.3.1 Successioni con alternanze di litotipi lapidei ed argillosi.....	20
2.3.2 Successioni conglomeratiche (o ghiaiose) – sabbiose – argillose	20
2.3.2.1 Breccie e conglomerati cementati.....	20
2.3.2.2 Sabbie con livelli conglomeratici.....	20
2.3.2.3 Argille e argille sabbiose	20
2.3.2.4 Limi, sabbie e ghiaie	20
2.4 La carta delle Pendenze (Tavola B.9.05)**	23
2.5 La carta Idrogeologica (Tavola B.9.06).....	25
3 LE CRITICITA' DEL TERRITORIO COMUNALE DI SIENA ai sensi del PTCP e della 94/85.....	29
3.1 La Stabilità Potenziale dei Versanti	29
3.1.1 Introduzione al metodo Amadesi	29
3.1.2 Caratteristiche litotecniche	31
3.1.3 Pendenza dei versanti.....	32
3.1.4 Giacitura degli strati	32
3.1.5 Parametrizzazione della Stabilità Potenziale dei Versanti	32
3.1.6 Uso del suolo	33
3.1.7 Parametrizzazione della Stabilità Potenziale integrata dei Versanti (Tavola B.9.08).....	34
3.2 La Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (Tavola B.9.09).....	37
3.2.1 Riclassificazione delle alluvioni.....	41
3.3 Aspetti sismici (Tavola B.9.07)	48
3.4 Rischio idraulico (Tavola B.9.10)*	51
3.4.1 Gli Ambiti fluviali.....	51
Ambito A1 (art. 75)	51
Ambito B (art. 77)	52
3.4.2 Il Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale Ombrone	52
4 LE CARTE DELLE PERICOLOSITA'	54
4.1 La carta della Pericolosità Geologica (Tavola C.3.01)**	54
4.2 La carta della Pericolosità Idraulica (Tavola C.3.02)*	57
Le classi di pericolosità	57
Classe 1 (pericolosità irrilevante).....	57
Classe 2 (pericolosità bassa).....	57
Classe 3 (pericolosità media).....	58
Classe 4 (pericolosità elevata).....	58
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE: La carta delle Pericolosità Integrate (Tavola C.3.03)**	60
6 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (Tavola C.3.05)*	64
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	66

* a cura dei Dr. Geol. Lucia Buracchini, Dr. Geol. Benedetta Mocenni e Dr. Geol. Marco Signorelli

** a cura dell'Ufficio di Piano del Comune di Siena e del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena

PREMESSA

Secondo la LR 5/95 e la nuova LR 1/2005, il Piano Strutturale è un Piano Territoriale vero e proprio; per questo la filosofia di approccio alla sua redazione deve essere di tipo TERRITORIALE e NON ESCLUSIVAMENTE URBANISTICA

Mentre la DCR 94/85 individuava analisi geologiche finalizzate all'individuazione delle pericolosità in chiave urbanistica (infatti si fa riferimento al vecchio PRG), il PTCP di Siena, con lungimiranza e con riferimento alla LR 5/95 ed oggi alla LR 1/2005, ha riletto tali norme in chiave TERRITORIALE e questo:

sia colmando lacune pianificatorie su risorse essenziali come Acqua (VULNERABILITA') e Suolo (STABILITA' POTENZIALE),

sia definendo criteri di valutazione (omogenei per tutta la Provincia) di tutti i parametri estesi a tutto il territorio comunale e non solo alle aree per le quali i RU prevedono trasformazioni.

La necessità di zonizzare rischi potenziali e vulnerabilità delle risorse su tutto il territorio soggetto al Piano deriva anche dal fatto che altri soggetti, pubblici o privati, potranno, in futuro, proporre altre trasformazioni; allora le Amministrazioni interessate - Comuni compresi e per primi - dovranno avere uno strumento generale e super-partes che consenta loro di valutare la congruità di queste richieste con le criticità e le pericolosità presenti sul proprio territorio e quindi esprimere giudizi a ragion veduta e non basati esclusivamente su indagini "di parte".

Con tale Filosofia abbiamo intrapreso le "Analisi Geologiche" del Piano Strutturale del Comune di Siena: questa, crediamo, corrisponda, nello spirito e nella lettera, alla filosofia di Leggi Nazionali, Regionali e Provinciali (L. 183/89 - L.R. 1/2005 – PTCP di Siena), e rappresenta, a nostro avviso, il corretto approccio Pianificatorio per chi deve avere come obiettivo "il Governo del territorio".

INTRODUZIONE

L'area considerata nel presente studio è rappresentata dall'intera superficie del Comune di Siena che si estende per circa 118 km² (vedi figura 1).

In base al taglio della Cartografia I.G.M. della Carta Topografica d'Italia in scala 1:100.000, il Comune di Siena ricade nel Foglio 120 "Siena", Tavolette: I NE, I SO, I NO e nel Foglio 113 "Castelfiorentino", Tavolette: II SE, II SO.

Sulla base del nuovo taglio della Cartografia I.G.M. della Carta d'Italia in scala 1:50.000, il Comune di Siena ricade nel Foglio 296 "Siena" (Sezioni: 296040, 296070, 296080, 296110, 296120) e nel Foglio 297 "Asciano" (Sezioni: 297010, 297020, 297050, 297060, 297090).

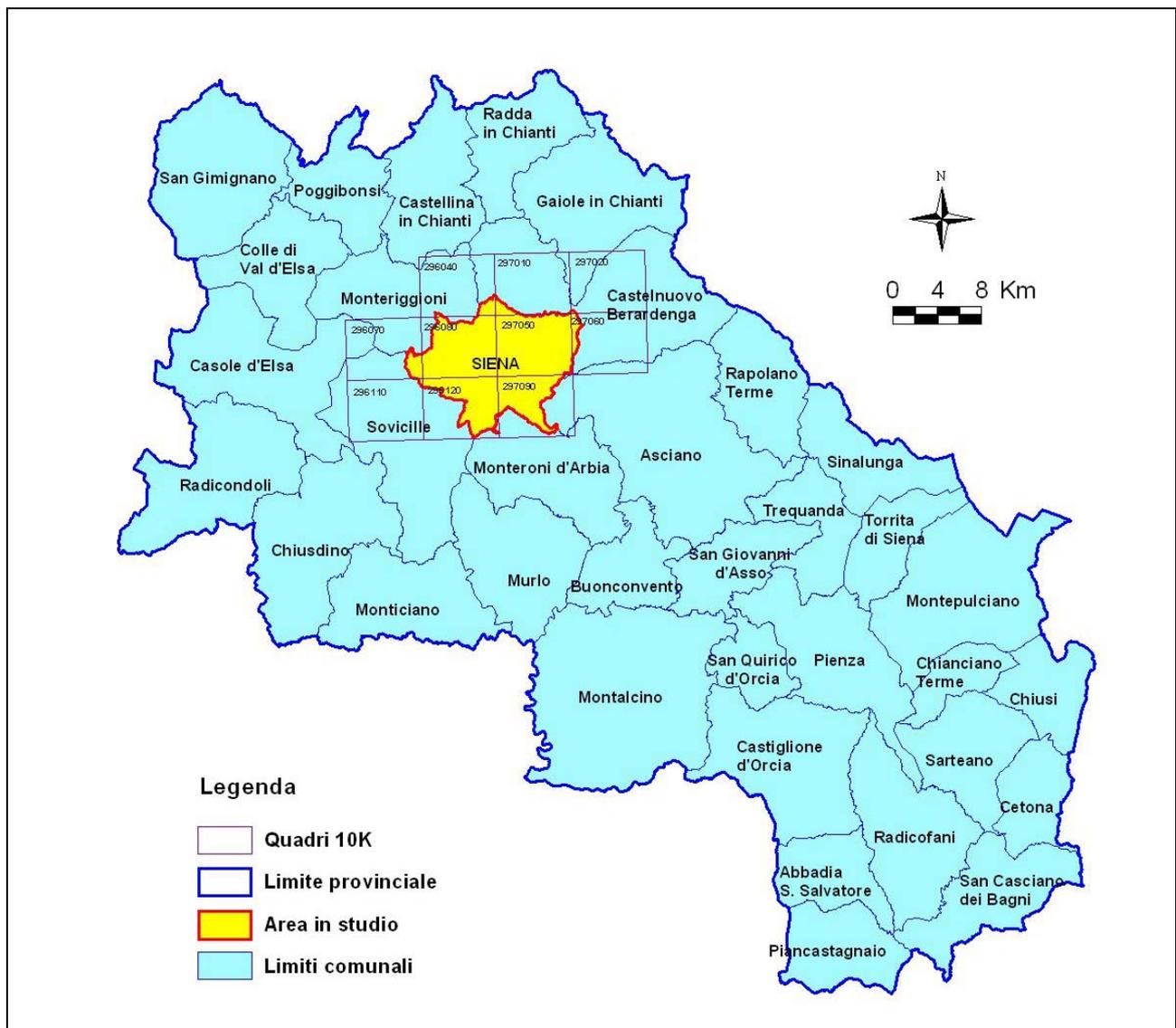


Figura 1 – Inquadramento geografico

1 METODOLOGIA DI STUDIO

1.1 Lo schema concettuale del Piano Strutturale

Per la redazione delle indagini geologico – tecniche di supporto al Piano Strutturale del Comune di Siena è stato studiato uno schema concettuale (vedi figura 2) che soddisfa gli elaborati cartografici richiesti dalle normative regionali e provinciali integrato al suo interno con alcuni elementi ed elaborazioni ritenute necessarie per ottenere un prodotto che fosse concettualmente e scientificamente corretto.

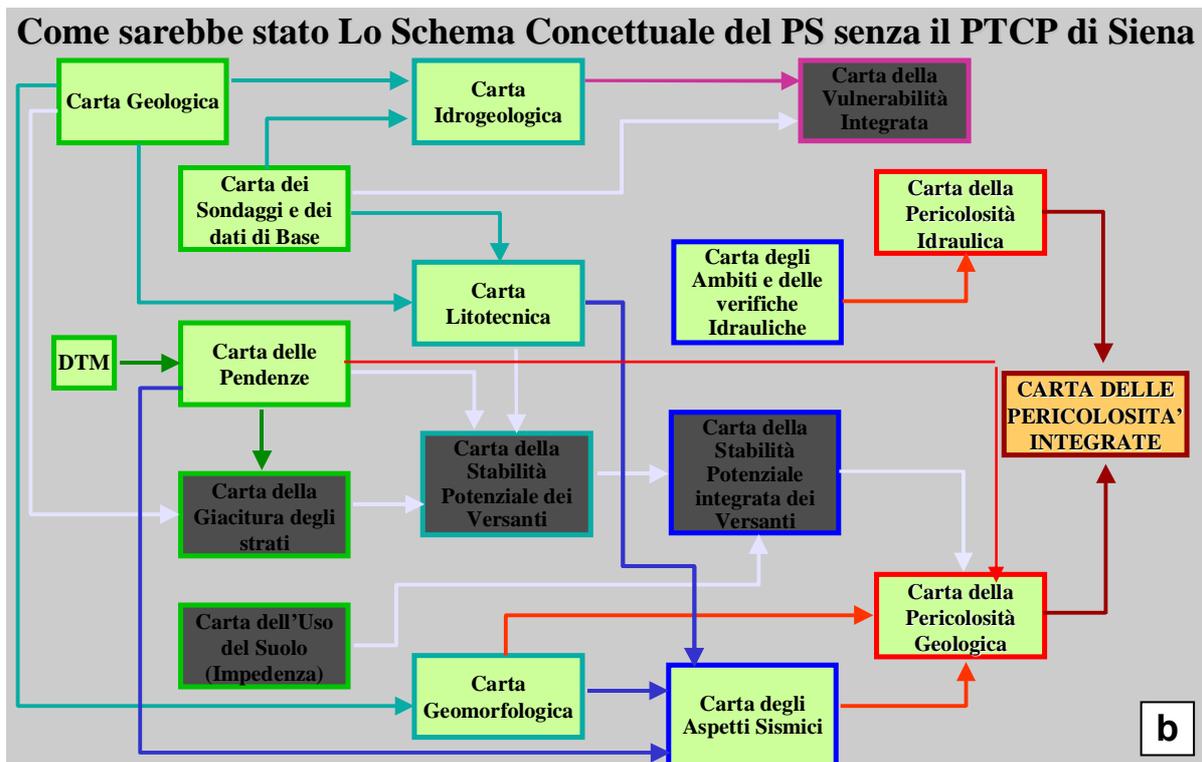
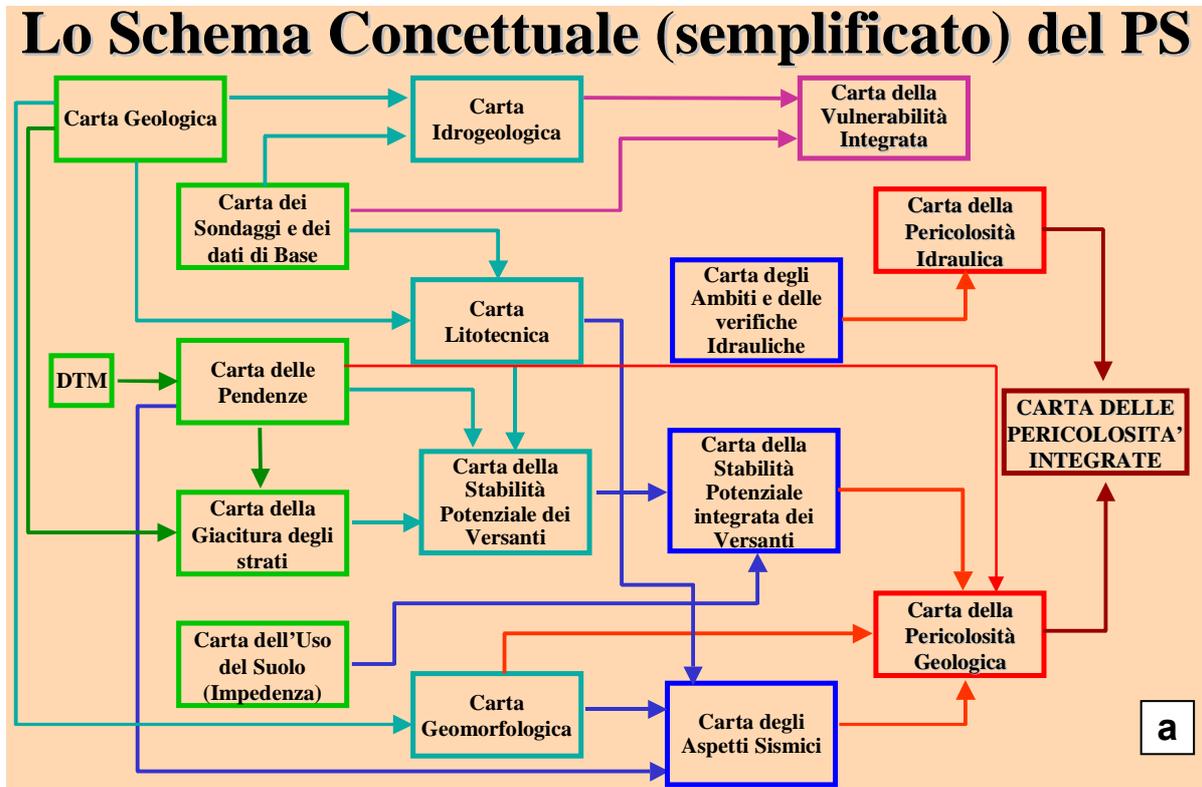


Figura 2 – Schema concettuale del Piano Strutturale

Lo schema concettuale di figura **2a** (*basato sulle prescrizioni della DCR 94/85 e del PTCP di Siena*) è costituito da una serie di caselle di testo e di frecce, le prime contengono il nome degli elaborati grafici, mentre le analisi e le procedure necessarie per ottenerlo saranno descritte in dettaglio nei prossimi capitoli. Le seconde invece indicano quali sono le carte di partenza e come queste confluiscono negli altri elaborati derivati necessari alla stesura della carta delle Pericolosità integrate.

Si precisa comunque che le confluenze delle frecce sono in alcuni casi solo indicative e servono a dare una indicazione di massima del percorso che è stato seguito il quale sarà trattato in maniera esauriente e dettagliata nel corso della presente relazione geologico – tecnica.

I colori dei bordi delle caselle stanno ad indicare: il **verde** le **carte di base**, il **blu** le **carte delle criticità** e **rosso** le **carte delle pericolosità attive** (cioè indotte da cause naturali nelle aree antropizzate del territorio). Fa eccezione la **vulnerabilità integrata (casella fucsia)** in quanto tale elaborato rappresenta sia una criticità che una pericolosità che però è **passiva**, cioè subita dal territorio (in questo caso dalla risorsa acqua) perché indotta dall'antropizzazione. Lo schema concettuale di fig. **2b** rappresenta invece ciò che si sarebbe dovuto fare ai sensi della sola Del. C.R 94/85 e quindi in assenza delle prescrizioni del PTCP di Siena.

1.2 Raccolta, informatizzazione ed elaborazione dei dati di base

1.2.1 Raccolta dei dati di base

La prima fase dello studio si è occupata, principalmente, della ricerca e della raccolta di tutti i dati di base necessari alla stesura delle carte indicate nello schema concettuale del Piano e soprattutto di quelli di tipo:

- Geotecnico;
- Antropico;
- Idrogeologico.

La ricerca dei dati geotecnici (vedi carta dei sondaggi e dei dati di base in figura 5) è stata sicuramente la più lunga e impegnativa, infatti sono stati consultati tre archivi: quello relativo alle pratiche urbanistiche private (dal 1996 al 2003) del Comune di Siena, quello relativo ai lavori pubblici e quello dello sportello unico (SUAP). Le relazioni raccolte (147) contengono al loro interno le seguenti tipologie di indagini geognostiche (vedi figura 3 e figura 4):

- sondaggi a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo con analisi di campioni in laboratorio;
- prove penetrometriche statiche (CPT);
- prove penetrometriche dinamiche (DP).

Per la raccolta dei dati di tipo antropico si intendono tutti quelli necessari per costruire la carta della Vulnerabilità integrata secondo la legenda Civita 1990, con modifiche (questa parte è stata ampiamente trattata nella relazione della vulnerabilità degli acquiferi dello schema metropolitano, SMaS e sarà sintetizzata negli allegati tecnici alla presente relazione). Infine per i dati idrogeologici si fa riferimento a quelli raccolti presso l'ATO6, l'Acquedotto del Fiora s.p.a., l'ufficio pozzi della Provincia di Siena e a quelli già in possesso dell'Università di Siena (acquisiti sia tramite tesi che attraverso studi commissionati da altri enti pubblici e privati e ricerche scientifiche edite ed inedite).

Il passo successivo è stato quello di informatizzare tutti i dati che sono stati raccolti, e quindi sono stati creati due database di Access sia per tutte le indagini geognostiche che per i fattori antropici della Vulnerabilità.

1.2.2 Informatizzazione ed elaborazione dei dati di base (Tavola B.9.03)

L'elaborazione dei dati di base raccolti rappresenta un passaggio molto importante ed è stata effettuata dalla consultazione (tramite query) del Database di Access che ha permesso di immettere le informazioni raccolte (nell'allegato 1 al capitolo 1 e nell'appendice A saranno descritti i criteri di inserimento delle indagini geognostiche ed un estratto del database).

L'analisi dei dati raccolti ha consentito l'elaborazione della carta dei Sondaggi e dei Dati di Base (Tavola B.9.03 e figura 5) che oltre a riportare l'ubicazione dei sondaggi, delle prove penetrometriche e dei pozzi permette di poterli rappresentare con simbologie differenti:

INDAGINI GEOGNOSTICHE



Sondaggio e/o gruppi di sondaggi

Tale documentazione è costituita da:

- dati identificativi della pratica a cui si riferisce;
- dati del sondaggio in questione (profondità, quota, località, colonna litostratigrafica di dettaglio);
- dati di eventuali misure e prove in foro eseguite dalla ditta incaricata dei sondaggi stessi (N_{spt} e quota dell'eventuale falda);
- risultati delle analisi geotecniche di laboratorio eseguite su campioni prelevati nel corso della trivellazione; in particolare angolo d'attrito interno (φ), coesione (C), coesione non drenata (C_u), peso di volume (γ), densità relativa (D_r), limiti di Atterberg (WL , WP), indice di plasticità (I_p), contenuto d'acqua naturale (W), indice dei vuoti (e), come mostrato in tabella 1.



Prova e/o gruppi di prove penetrometriche statiche (CPT)

Tale documentazione è costituita dalla restituzione grafica dei risultati della prova ed inoltre riporta l'andamento del rapporto della resistenza (F) in funzione della profondità, dove, per tale rapporto si intende quello tra la resistenza alla punta (R_p) e la resistenza per attrito laterale locale (R_l).



Prova e/o gruppi di prove penetrometriche dinamiche (DP)

Tale documentazione è costituita dai grafici indicanti il numero di colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita. In genere il numero di colpi viene annotato ogni 0,1 m (N₁₀) per le DPL, DPM e DPH e ogni 0,2 m (N₂₀) per le DPSH.

OPERE DI CAPTAZIONE



Pozzi a scopo industriale e/o agricolo

Tali opere (894) sono costituite da pozzi di varie profondità e diametro che intercettano modeste falde acquifere in grado di soddisfare solo utilizzi domestici, piccole attività e piccole irrigazioni



Pozzi a scopo industriale e/o agricolo con prove di portata

All'interno dei dati raccolti 2 pozzi sono provvisti di informazioni relative a prove di portata.

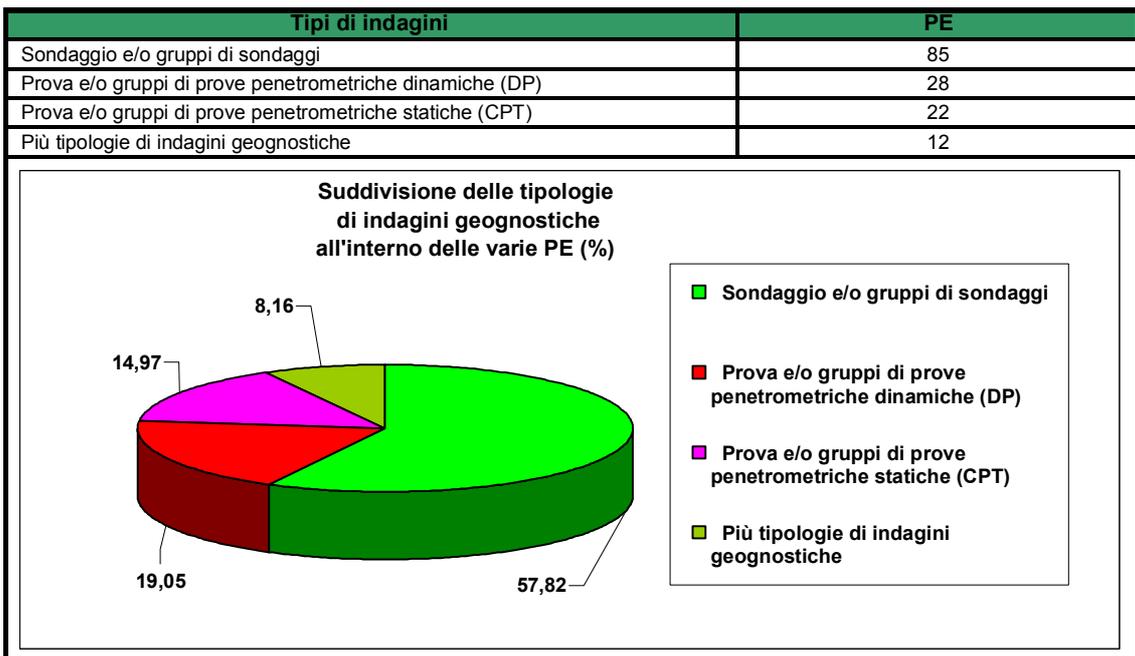


Figura 3 – Suddivisione delle tipologie di indagini geognostiche; PE indica il numero di pratiche edilizie che presentano quella tipologia di indagine

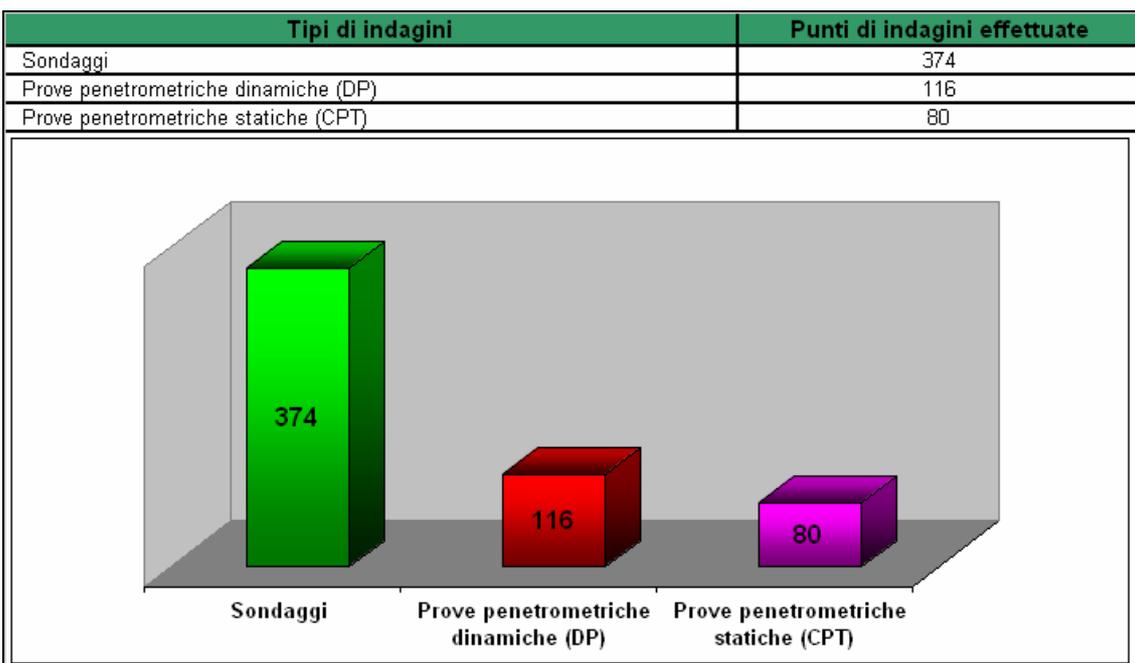


Figura 4 – Analisi quantitativa delle indagini geognostiche

N°Pratica	N°Prova	Tipo Prova	Prof. (m)	Quota (m)	Località	Stratigrafia	Descrizione
2020	2	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	0,00 - 0,80	TERRENO DI RIPORTO (TR)
2020	3	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	0,80 - 3,40	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO (LS)
2020	4	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	3,40 - 3,60	SABBIA VERDASTRA (S)
2020	5	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	3,60 - 4,10	SABBIA OCRA MARRONE (S)
2020	6	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	4,10 - 4,80	SABBIA GRIGIA (SG)
2020	7	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	4,80 - 6,50	ARGILLA SABBIOSA CONSISTENTE (AG)
2020	8	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	6,50 - 8,00	SABBIA GRIGIA ADDENSATA (SG)
2020	9	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	8,00 - 8,80	SABBIA GRIGIA (SG)
2020	10	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	8,80 - 9,00	ARGILLA SABBIOSO LIMOSA CONSISTENTE (AG)
2020	11	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	9,00 - 10,50	LIMO ARGILLOSO COMPATTO GRIGIO CHIARO ASSOCIATO A
2020	12	SONDAGGIO	20	282	V. DE BOSIS	10,50 - 20,00	ARGILLA GRIGIO AZZURRA CONSISTENTE CON FOSSILI (AG)

Descrizione	SPT 1	PHI1(Road Bridge Specification)	PHI1(Peck)	Dr (Gibbs-Holtz)	PHI1 (Schmertmann)
TERRENO DI RIPORTO (TR)					
LIMO SABBIOSO ARGILLOSO (LS)	13		29	31	55
SABBIA VERDASTRA (S)					
SABBIA OCRA MARRONE (S)					
SABBIA GRIGIA (SG)					
ARGILLA SABBIOSA CONSISTENTE (AG)	19		32	33	65
SABBIA GRIGIA ADDENSATA (SG)					
SABBIA GRIGIA (SG)					
ARGILLA SABBIOSO LIMOSA MOLTO CONSISTENTE (AG)					
LIMO ARGILLOSO COMPATTO GRIGIO CHIARO ASSOCIATO					
ARGILLA GRIGIO AZZURRA CONSISTENTE CON FOSSILI (AG)					

Descrizione	SPT2	PHI2(Road Bridge Specification)	PHI2(Peck)	Dr (Gibbs-Holtz)	PHI2 (Schmertmann)
TERRENO DI RIPORTO (TR)					
LIMO SABBIOSO ARGILLOSO (LS)	11		28	30	45
SABBIA VERDASTRA (S)					
SABBIA OCRA MARRONE (S)					
SABBIA GRIGIA (SG)	42		40	39	95
ARGILLA SABBIOSA CONSISTENTE (AG)					
SABBIA GRIGIA ADDENSATA (SG)					
SABBIA GRIGIA (SG)					
ARGILLA SABBIOSO LIMOSA MOLTO CONSISTENTE (AG)					
LIMO ARGILLOSO COMPATTO GRIGIO CHIARO ASSOCIATO					
ARGILLA GRIGIO AZZURRA CONSISTENTE CON FOSSILI (AG)					

φ (%)	Cu (kg/cmq)	C (kg/cmq)	γ (kg/cm ³)	Dr (%)	WL (%)	WP (%)	Ip (%)	W (%)	e
22		0,2	2	23				21,9	
28	0,5	0,3	1,9	35					
27			1,7	27					
27			1,7	27					
30		0,2	1,8	75					
17	1,1	0,5	2		49,8	21,7	28	23	
30		0,2	1,8	75					
30		0,2	1,8	75					
17	1,1	0,5	2		49,8	21,7	28	23	
	0,9		1,9					23	
17	1,1	0,5	2		49,8	21,7	28	23	

Tabella 1 – Estratto dall'archivio informatico relativo ad una parte della pratica n° 2020; PHI è l'angolo d'attrito calcolato secondo varie metodologie per ogni SPT; Dr è la densità relativa; Cu è la coesione non drenata; C è la coesione; γ è il peso di volume, WL è il limite di liquidità; WP è il limite di plasticità; Ip è l'indice di plasticità; W è il contenuto d'acqua; e è l'indice dei vuoti.

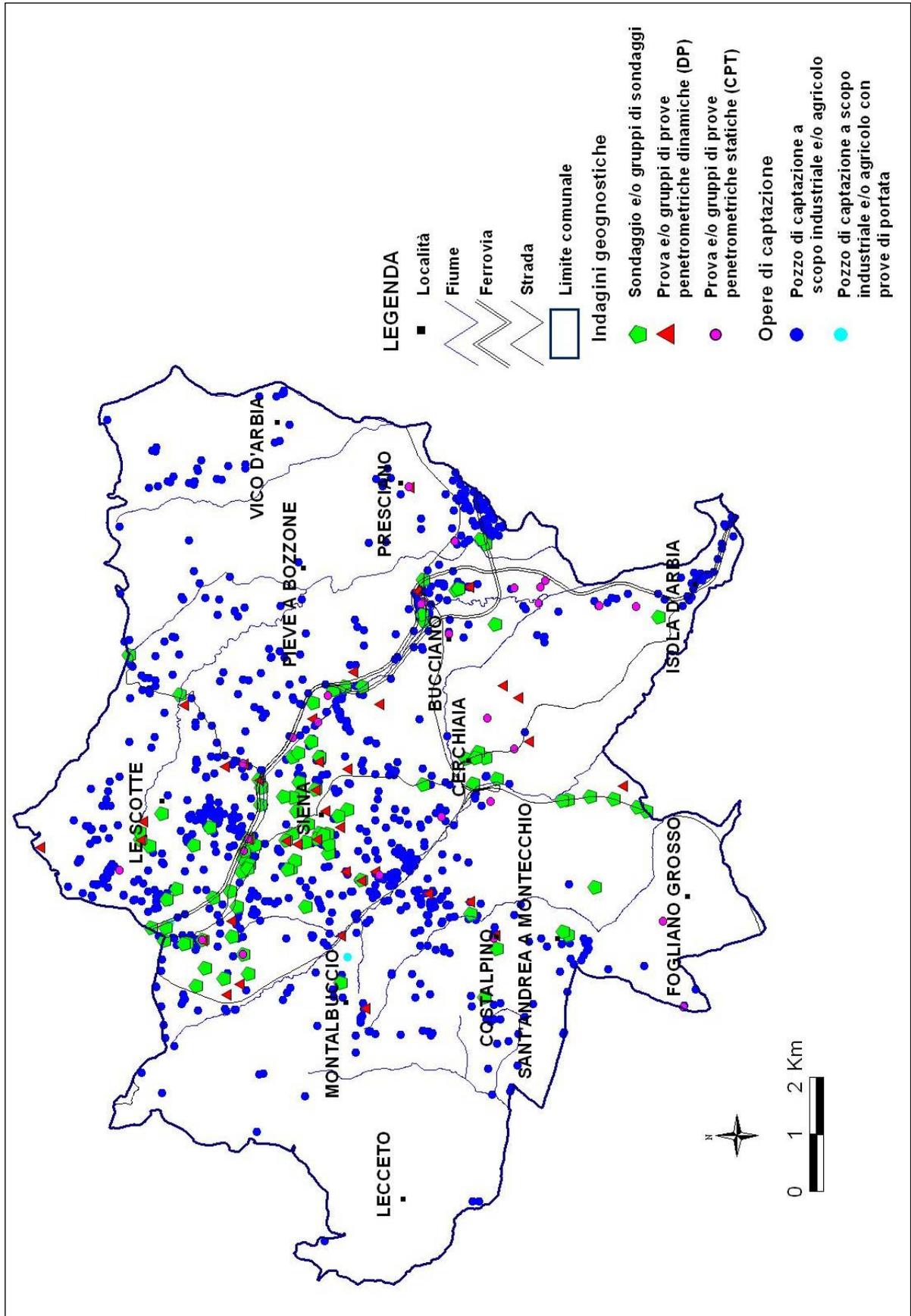


Figura 5 – Carta dei Sondaggi e dei Dati di base

2 LE CARTE DI BASE AI SENSI DELLA DEL. C. R. 94/85

2.1 La carta Geologica (Tavola B.9.01)

La Carta Geologica in scala 1:10.000 utilizzata come cartografia di base del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale è stata fornita dalla Regione Toscana (vedi figura 6); il Centro di Geotecnologie dell'Università di Siena ha provveduto ad informatizzare l'area relativa al territorio del Comune di Siena.

Le modalità di produzione della cartografia sono quelle definite nell'ambito del Progetto di rilevamento geologico della Regione Toscana e che ricalca le specifiche e le norme previste dal Progetto di Cartografia Geologica Nazionale (Progetto CARG).

La Carta Geologica della Regione Toscana prevedeva delle aree non rilevate in corrispondenza delle zone urbanizzate. Allo scopo di avere informazioni geologiche complete su tutto il territorio comunale, così come anche specificatamente suggerito dall'Ufficio U.R.T.A.T. di Siena, è stato eseguito un ulteriore rilevamento geologico delle aree urbanizzate.

Come riportato nella tabella 2, vengono elencate le formazioni affioranti nel territorio comunale. La descrizione delle singole formazioni, così come indicate nella legenda ufficiale della Regione Toscana, è stata riportata nell'allegato 1 al capitolo 2.

Tabella 2: Elenco formazioni geologiche con periodo, epoca e sigle di abbreviazione

DESCRIZIONE	PERIODO	EPOCA	SIGLA CARTA
DEPOSITI QUATERNARI			
Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani	NEOGENE	Olocene	h1
Terreni di riporto, bonifica per colmata	NEOGENE	Olocene	h5
Frana attiva con movimento indeterminato	NEOGENE - QUATER.		a1a-a
Frana attiva con movimento di scorrimento	NEOGENE - QUATER.		a1a-b
Frana attiva di crollo	NEOGENE - QUATER.		a1a-d
Frana attiva non cartografabile	NEOGENE - QUATER.		a1a-e
Frana quiescente con movimento indeterminato	NEOGENE - QUATER.		a1q-a
Frana quiescente con movimento di scorrimento	NEOGENE - QUATER.		a1q-b
Frana quiescente di colamento	NEOGENE - QUATER.		a1q-c
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (G)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (GL)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (GS)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (LA)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (S)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (SG)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (SGL)
Depositi alluvionali attuali	NEOGENE	Olocene	b (SL)
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Olocene	bna (GS)
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Olocene	bna (GSL)
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Olocene	bna (S)
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Olocene	bna (SL)
Depositi lacustri	NEOGENE	Olocene	e2a (GL)
Depositi lacustri	NEOGENE	Olocene	e2a (LSG)
Depositi lacustri	NEOGENE	Olocene	e2a (SL)
Depositi eluvio-colluviali	NEOGENE	Olocene	b2a
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Pleistocene	bnb (GS)
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Pleistocene	bnb (S)
Depositi alluvionali terrazzati	NEOGENE	Pleistocene	bnb (SL)

NEOAUTOCTONO TOSCANO			
Argille azzurre	NEOGENE	Pliocene	FAA
Argille azzurre - litofacies argilloso-sabbiosa	NEOGENE	Pliocene	FAAb
Sabbie di San Vivaldo	NEOGENE	Pliocene	PLIs
Conglomerati di Gambassi Terme	NEOGENE	Pliocene	PLIb
Conglomerati di Lilliano	NEOGENE	Miocene	MESb
Breccia di Grotti	NEOGENE	Miocene	MESa
Argille del Casino	NEOGENE	Miocene	ACN
DOMINIO LIGURE			
UNITÀ DI S. FIORA			
Formazione di S. Fiora	CRETACICO - PALEOGENE	Cretacico Sup. - Paleocene	FIA
DOMINIO TOSCANO			
FALDA TOSCANA			
Calcare Cavernoso	TRIASSICO	Trias Sup.	CCA
UNITÀ TOSCANE METAMORFICHE			
Formazione di Tocchi	TRIASSICO	Trias Sup.	VINb

2.2 La Carta Geomorfologica (Tavola B.9.02)

(Lucia Buracchini, Benedetta Mocenni e Marco Signorelli – Comune di Siena)

L'analisi morfologica degli elementi, naturali e non, del territorio comunale ha permesso di produrre la carta geomorfologica (vedi figura 8) utilizzata come cartografia di base del Quadro Conoscitivo; essa è derivata dalla analisi di vari elementi provenienti dalle seguenti fonti:

1. Carta Geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000;
2. Analisi da foto aeree e rilievi effettuati direttamente sul territorio.

Frane

L'individuazione dei dissesti morfologici, attivi e non, è stata redatta partendo dagli elementi provenienti dalla Carta Geologica Regionale. Sono inoltre state eseguite analisi di foto aeree disponibili per tutto il territorio comunale ed effettuati sopralluoghi diretti sul territorio in modo da aggiungere ulteriori elementi ritenuti significativi e rappresentabili alla scala del rilevamento (vedi figura 7).

I movimenti attivi di piccole dimensioni che risultano difficilmente perimetrabili alla scala di visualizzazione, sono stati inseriti come "frane attive non cartografabili".

Con riferimento alle litologie affioranti nell'area urbana di Siena, si rileva che le sabbie talvolta presentano pendenze prossime alla verticale; in tali aree possono dare origine a fenomeni franosi, perlopiù di crollo, spesso associabili alla presenza di vegetazione infestante nella parte sommitale; tali dissesti pur presentandosi di norma di dimensioni assai modeste, in alcuni sporadici casi possono arrivare ad assumere dimensioni significative. In altri casi tali fenomeni franosi sono da associarsi al passaggio tra litologie di diversa consistenza come ad esempio tra litotipi sabbiosi, ghiaiosi e argillosi.

In alcuni dei suddetti casi, concentrati perlopiù nell'area di Fontebranda, l'Amministrazione Comunale di Siena ha provveduto, nel corso degli anni, alla messa in sicurezza delle aree in dissesto mediante il ricorso ad interventi come reti di protezione. Su tali aree viene periodicamente effettuato un monitoraggio sulla stato di rischio ai fini della sicurezza dei luoghi.

Cave

Nel territorio comunale l'unica cava attualmente attiva è ubicata in località Rondinella (autorizzata ai sensi della L.R. 78/98) in cui viene estratto inerte fluviale.

Il Piano Cave Regionale (PRAER), nel Comune di Siena, prevede la possibilità di coltivazione di un'altra area estrattiva situata in località Monsindoli.

Oltre a quello delle sopra citate cave, è stato inserito anche il perimetro di aree estrattive dismesse ritenute di particolare importanza come le ex cave di Lecchetto e di Piaggiano.

Orli di scarpata morfologica attiva e non attiva

Sulla base sia delle analisi di foto aeree che di sopralluoghi sul posto, è stato possibile anche distinguere le scarpate morfologiche più significative ed il relativo stato di attività.

Le scarpate attive sono quelle in cui sono stati individuati processi di erosione in corso, che sono interessate da fenomeni di crollo o da piccole frane talora quiescenti.

L'area circostante il Centro Storico e le relative propaggini, è l'esempio più significativo della presenza di scarpate morfologiche su materiali sabbiosi comunemente conosciute come "balze".

Le aree con orli di scarpata o comunque con pendenze maggiori del 35 %, sono state ritenute particolarmente significative in funzione all'attribuzione delle classi di pericolosità geologica, soprattutto quelle zone in cui sono stati individuati fenomeni attivi di tipo gravitativo o erosivo.

Bottini e canale di scolo di Pian del Lago

Si tratta di un sistema medievale di approvvigionamento e distribuzione delle acque sia all'interno della città che fuori le mura, costituito da un reticolo di diversi chilometri di condotte in galleria che, intercettando nel territorio limitrofo sorgenti e falde di limitata portata (par. 5.2 dell'allegato 1), conducono le acque raccolte verso fonti poste in punti strategici della città. Il tracciato dei Bottini cartografato non è ben definito in alcuni suoi tratti, a causa della mancanza di rilievi di dettaglio.

Relativamente al canale di scolo di Pian del Lago, è stato realizzato nel XVIII secolo allo scopo di bonificare l'area .

Di seguito vengono elencati tutti gli elementi cartografati nella presente Carta Geomorfologica:

Forme dovute a fenomeni erosivi:

- calanchi
- depositi eluvio-colluviali

Forme dovute a fenomeni d'instabilità:

- frane attive con movimento indeterminato
- frane attive per scorrimento
- frane attive di crollo
- frane attive non cartografabili
- frane quiescenti con movimento indeterminato
- frane quiescenti per colamento
- frane quiescenti per scorrimento
- scarpata di frana attiva
- scarpata di frana non attiva
- soliflusso

Forme dovute ad acque incanalate:

- depositi alluvionali attuali
- depositi alluvionali terrazzati (olocenici)
- depositi alluvionali terrazzati (pleistocenici)
- solco di ruscellamento concentrato
- orli di terrazzo
- valle a fondo concavo
- valle a fondo piatto
- traccia di paleoalveo

Forme dovute a fenomeni carsici:

- aree carsiche attive
- aree carsiche non attive

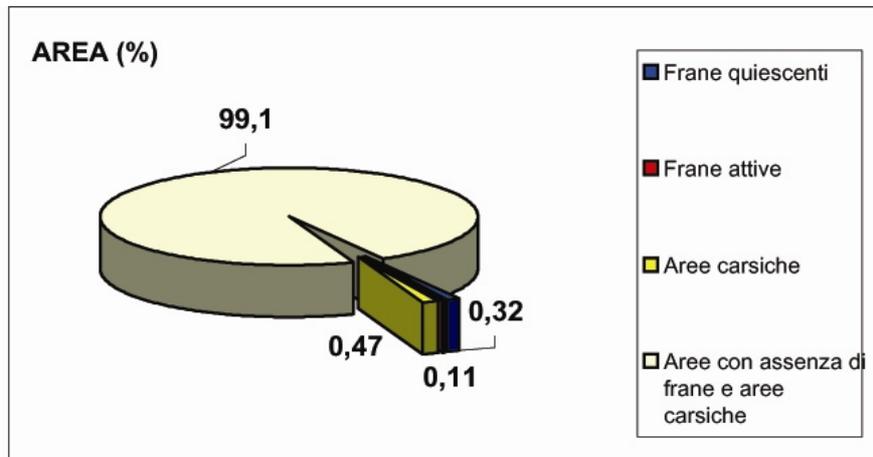
Forme strutturali:

- scarpate morfologiche attive
- scarpate morfologiche non attive

Forme dovute interventi antropici:

- bottini
- canale maestro di Pian del Lago
- cava attiva
- cava non attiva
- discariche per inerti e rifiuti solidi urbani
- terreni di riporto – bonifica per colmata

In figura 7 viene mostrata l'analisi statistica degli elementi geomorfologici potenzialmente più pericolosi del territorio comunale di Siena che, come si può vedere, occupano poco più del 0.9% dell'intera superficie.



	AREA (%)	AREA (Kmq)
Frane quiescenti	0,32	0,38
Frane attive	0,11	0,13
Aree carsiche	0,47	0,56
Aree con assenza di frane e aree carsiche	99,1	117,55

Figura 7: Analisi statistica di frane e aree carsiche

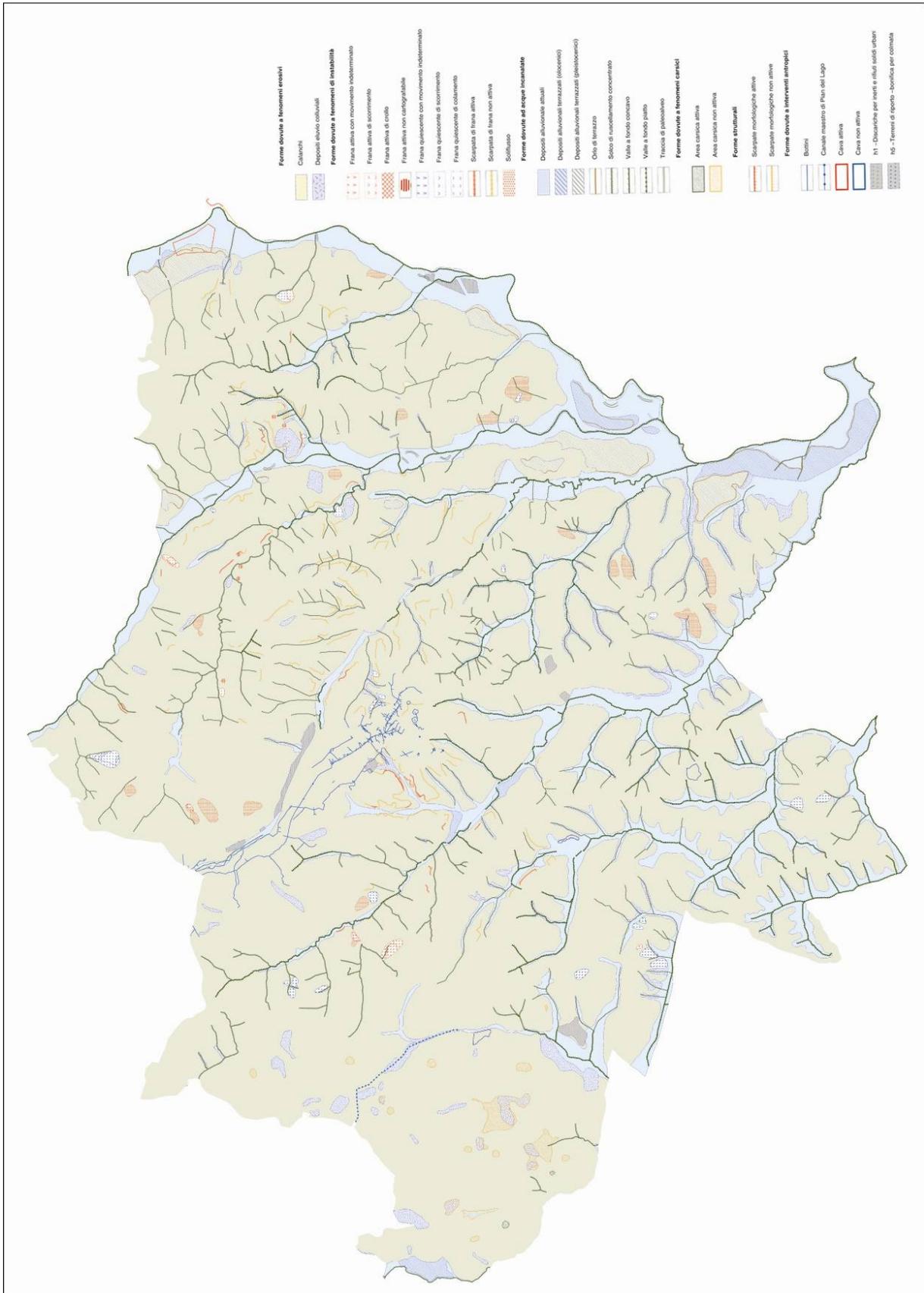


Figura 8 – Carta Geomorfologica

2.3 La carta Litotecnica (Tavola B.9.04)

Gli obiettivi che questo lavoro si è posto per la redazione della carta Litotecnica (facendo riferimento anche alle indicazioni delle normative) sono quelli di prendere in considerazione come elementi caratterizzanti il comportamento geologico-tecnico dei terreni affioranti, non solo la natura litologica di questi, ma anche tutta una serie di caratteristiche fisico – meccaniche (coesione, angolo d'attrito, compattezza, grado di cementazione, fratturazione ecc...) desumibili dalla consultazione e dall'analisi delle prove geotecniche a corredo di relazioni presenti nell'archivio del Comune. L'analisi comparata dell'insieme di tutti questi dati permette di poter raggruppare in "Unità Litotecniche" tutti quelle formazioni geologiche che presentano proprietà tecniche e meccaniche simili, a prescindere dalla loro posizione stratigrafica, dai relativi rapporti geometrici e dall'appartenenza a formazioni geologiche diverse.

Il primo passo per la realizzazione della carta Litotecnica (vedi figura 10) è stato compiuto attraverso l'analisi della nuova carta Geologica (vedi Tavola B.9.01) in scala 1:10.000 della Regione Toscana con le integrazioni effettuate dal Comune di Siena.

Si è successivamente proceduto all'analisi dei dati geologico tecnici raccolti come descritto al punto 1.2.2 la cui analisi comparata con la geologia (una esemplificazione dell'utilizzo dei principali parametri geotecnici per la classificazione litotecnica dei terreni affioranti nel territorio comunale di Siena è riportata in tabella 4) ha permesso la classificazione di seguito riportata.

Le operazioni sopradescritte hanno permesso di individuare nel territorio comunale, raggruppando le formazioni geologiche sulla base della granulometria, del grado di cementazione, del tipo di stratificazione, del grado di alterazione e di fratturazione e delle caratteristiche fisico-meccaniche (se disponibili), le Unità Litotecniche principali e le classi litotecniche al loro interno.

Sono state inizialmente individuate due Unità Litotecniche principali:

- **Successioni con alternanze di litotipi lapidei ed argillosi;**
- **Successioni conglomeratiche (o ghiaiose) – sabbiose – argillose**

Queste Unità principali sono state a loro volta suddivise in cinque classi litotecniche (vedi tabella 3) la cui distribuzione spaziale nel territorio comunale, è sintetizzata nel grafico di figura 9.

CATEGORIA LITOTECNICA	UNITA' LITOTECNICHE PRINCIPALI	CLASSI LITOTECNICHE		SIGLE FORMAZIONI GEOLOGICHE
1	SUCCESSIONI CON ALTERNANZE DI LITOTIPI LAPIDEI ED ARGILLOSI	1a	ALTERNANZE DI LITOTIPI LAPIDEI ED ARGILLOSI	FIA e VINb
2	SUCCESSIONI CONGLOMERATICHE (O GHIAIOSE) SABBIOSE ARGILLOSE	2a	BRECCE E CONGLOMERATI CEMENTATI	MESa, MESb e CCA
		2b	SABBIE CON LIVELLI CONGLOMERATICI	PLIs e PLIb
		2c	ARGILLE E ARGILLE SABBIOSE	FAA, FAAb e ACN
		2d	LIMI, SABBIE E GHIAIE	b(G), b(GL), b(GS), b(LA), b(S), b(SG), b(SGL), b(SL), bna(GS), bna(GSL), bna(S), bna(SL), bnb(SL), bnb(S), bnb(SL), h1, h5, a1a, a1q, e2a(SL), e2b(S), b7a e b2a

Tabella 3: Classificazione litotecnica utilizzata

2.3.1 Successioni con alternanze di litotipi lapidei ed argillosi

Questa *Unità Litotecnica* principale comprende le formazioni di S. Fiora (FIA) e di Tocchi (VINb) che sono costituite entrambe da una alternanza di litotipi lapidei ed argillosi per tale motivo sono state classificate in carta come:

- Alternanze di litotipi lapidei ed argillosi

All'interno di queste formazioni non disponiamo di indagini geognostiche e quindi non è stato possibile ricavare dei parametri geotecnici medi.

2.3.2 Successioni conglomeratiche (o ghiaiose) – sabbiose – argillose

La seconda *Unità Litotecnica* principale, comprende la quasi totalità (vedi figura 7 e tabella 3) delle formazioni affioranti nel territorio comunale che a loro volta sono state suddivise in quattro classi litotecniche:

- Breccie e conglomerati cementati;
- Sabbie con livelli conglomeratici;
- Argille e argille sabbiose;
- Limi, sabbie e ghiaie

2.3.2.1 Breccie e conglomerati cementati

Questo primo gruppo comprende le formazioni caratterizzate da breccie e conglomerati più o meno cementate MESa, MESb e CCA. Le caratteristiche meccaniche di questo gruppo risultano essere buone, fatti salvi alcuni aspetti locali di degradazione o fratturazione (es. doline).

2.3.2.2 Sabbie con livelli conglomeratici

Il secondo gruppo definibile all'interno dell'Unità comprende le formazioni delle Sabbie di S. Vivaldo (PLIs) e dei Conglomerati di Gambassi Terme (PLIb) anche queste presentano delle caratteristiche geotecniche piuttosto buone (vedi tabella 4) si tratta di sabbie con matrice limoso – argillosa che conferisce loro una coesione tale da simulare la cementazione tra i granuli che invece risulta minima. In realtà, dal punto di vista geologico tecnico la granulometria di questa formazione è riconducibile a dei limi – sabbiosi.

2.3.2.3 Argille e argille sabbiose

Le formazioni incluse in questo gruppo sono FAA, FAAb (Argille azzurre e Argille azzurre argilloso – sabbiose) e ACN (Argille del casino). Queste litologie presentano delle proprietà geotecniche legate principalmente alla coesione che in genere presenta dei valori piuttosto buoni (vedi tabella 4). I dati raccolti per le Argille del Casino erano pochi e quindi insufficienti per un'analisi geotecnica a livello formazionale.

2.3.2.4 Limi, sabbie e ghiaie

Il quarto gruppo di questa Unità è costituito dalle seguenti formazioni: b(G), b(GL), b(GS), b(LA), b(S), b(SG), b(SGL), b(SL), bna(GS), bna(GSL), bna(S), bna(SL), bnb(SL), bnb(S), bnb(SL), h1, h5, a1a, a1q, e2a(SL), e2b(S), b7a e b2a. Si tratta di depositi alluvionali, eluvio – colluviali, lacustri e di versante più o meno recenti e di terreno di riporto. Queste litologie sono costituite da una grande varietà granulometrica che va da fine (limi – argillosi) a grossolana (sabbie con ghiaie) e di conseguenza presentano dei parametri geotecnici molto variabili anche perché localmente sono presenti delle piccole falde idriche (vedi tabella 4).

FORMAZIONE GEOLOGICA	SIGLE FORMAZIONI	LITOLOGIA	PARAMETRI GEOTECNICI PRINCIPALI		
			γ (T/m ³)	ϕ°	Cu (Kg/cm ²)
SABBIE DI S. VIVALDO	PLIs	Sabbie – limose e limi – sabbiosi	1.8 – 2.0	28 – 45	0.1 – 0.3
ARGILLE AZZURRE	FAA e FAAb	Argille e argille – sabbiose	1.8 – 2.0	16 – 26	1 – 2.5
DEPOSITI ALLUVIONALI	b(G), b(GL), b(GS), b(LA), b(S), b(SG), b(SGL), b(SL), bna(GS), bna(GSL), bna(S), bna(SL), bnb(SL), bnb(S), bnb(SL)	Limi, sabbie e ghiaie	1.7 – 1.9	10 – 30	0.2 – 0.7

Tabella 4: Parametri geotecnici principali (Esemplificazione dell'utilizzo dei principali parametri geotecnici per la classificazione litotecnica dei terreni affioranti nel territorio comunale di Siena)

UNITA' LITOTECNICHE	AREA (Km ²)	AREA (%)
Successioni con alternanze di litotipi lapidei ed argillosi		
Alternanze di litotipi lapidei e argillosi	0,28	0,23
Successioni conglomeratiche (o ghiaiose)-sabbiose-argillose		
Brecce e conglomerati cementati	13,23	11,15
Sabbie con livelli conglomeratici	48,62	40,98
Argille e argille sabbiose	31,94	26,92
Limi, sabbie e ghiaie	24,58	20,72

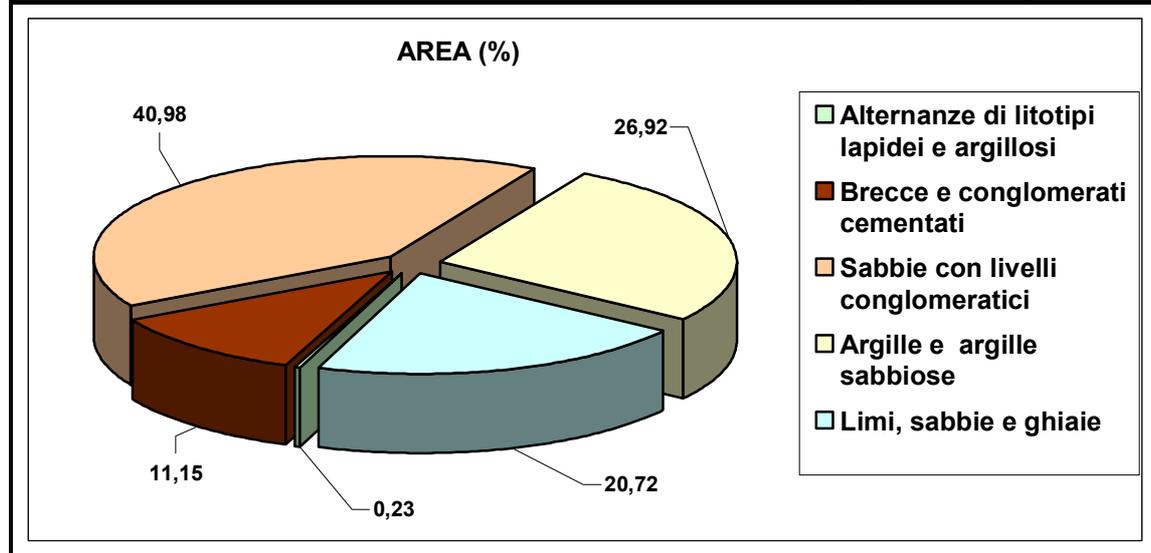


Figura 9: Distribuzione areale delle cinque classi litotecniche

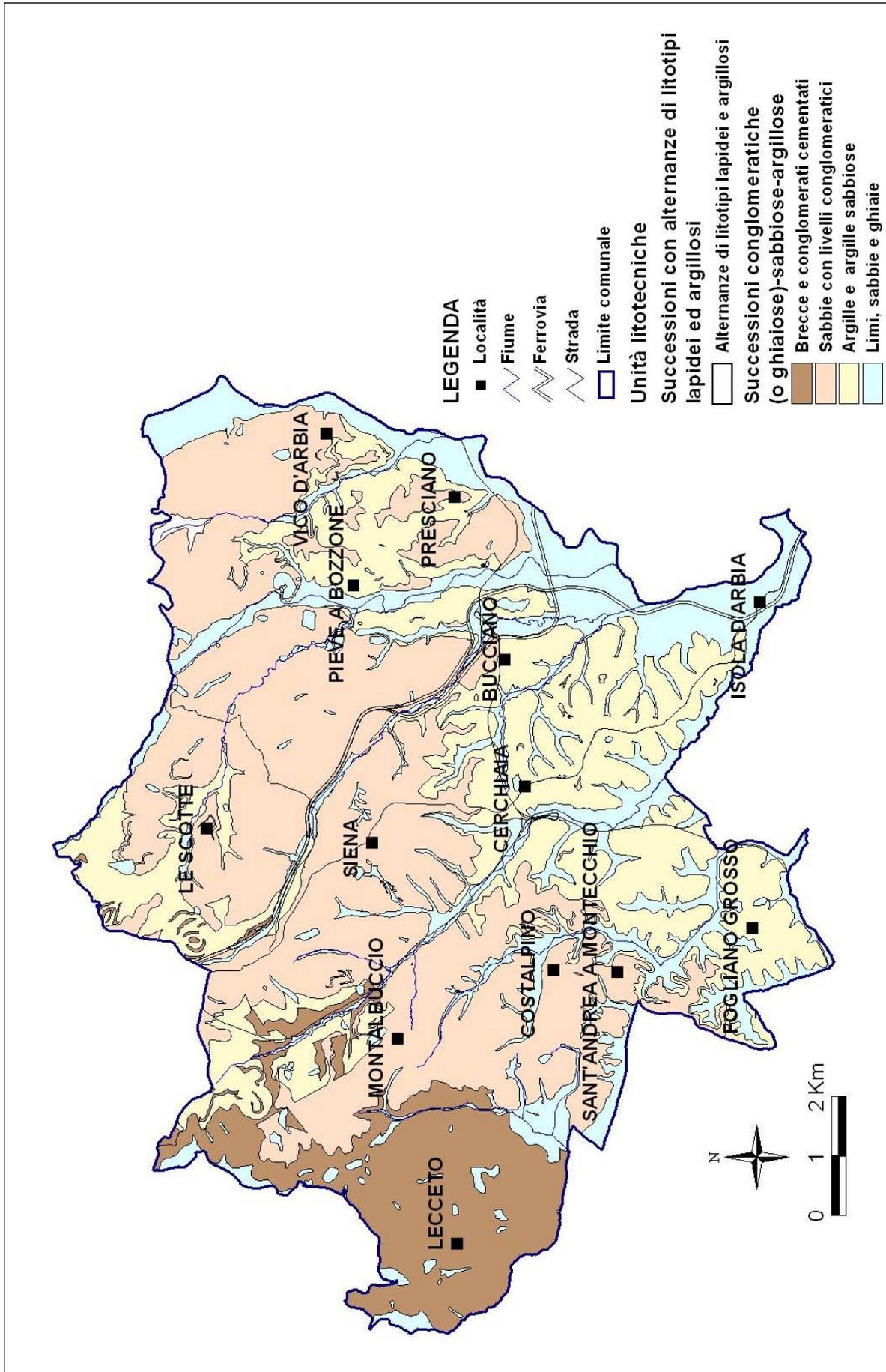


Figura 10 – Carta Litotecnica

2.4 La carta delle Pendenze (Tavola B.9.05)

L'influenza della pendenza dei versanti risulta intuitiva ai fini della stabilità e nasce dalla constatazione che il progressivo aumento della pendenza (o acclività) di un versante, si rifletta in molti casi su un aumento del suo grado di instabilità (vedi figura 11, per la cui analisi si rimanda al par. 3.1.1). Questo può essere dimostrato matematicamente facendo riferimento all'equazione dell'equilibrio limite (vedi par. 3.1.1), in quanto, ad un aumento dell'angolo di inclinazione α , corrisponde un incremento della forza franante F , essendo questa direttamente proporzionale a $\text{sen } \alpha$.

E', questo, un *fattore predisponente* ai movimenti franosi, ma può diventarne *causa scatenante* in occasione di sue variazioni indotte sia da processi naturali che dall'azione umana: erosione al piede del pendio provocata da acque correnti o dall'opera dell'uomo (ad esempio tagli stradali).

E' ovvio che nell'esecuzione di scavi o di rilevati, la pendenza della scarpata deve essere mantenuta sensibilmente al di sotto dell'angolo che conferisce un grado di stabilità soddisfacente al materiale che compone la falda, oppure bisogna ricorrere ad apposite opere di sostegno (es. muri a retta).

Una maggiore inclinazione del versante favorisce inoltre l'erosione superficiale e quindi la facilità con cui l'acqua riesce a trasportare materiale verso valle.

In accordo con la vigente normativa (D.C.R. 94/85), sono state individuate 6 classi (vedi figure 12, 13 e tabella 5) che identificano soglie critiche legate all'acclività dei versanti oltre le quali si ritiene più probabile l'innescarsi dei fenomeni di dissesto.

Le aree con pendenze maggiori del 35 %, sono state ritenute particolarmente significative in funzione all'attribuzione delle classi di pericolosità geologica.

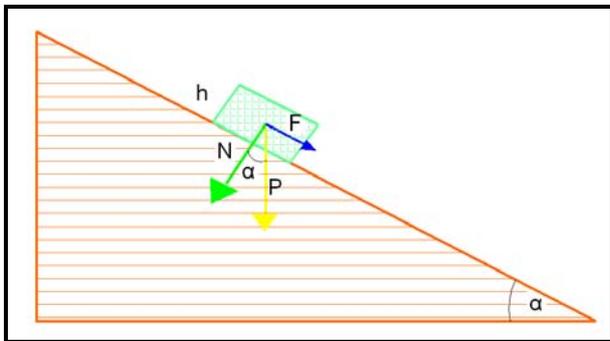


Figura 11 – Schema teorico di un movimento franoso per scivolamento traslazionale

CLASSI DI ACCLIVITA'	ACCLIVITA' DEI VERSANTI IN %	TENDENZA ALL'INSTABILITA'
CLASSE 1	$P > 35\%$	Alta Bassa
CLASSE 2	$25\% < P < 35\%$	
CLASSE 3	$15\% < P < 25\%$	
CLASSE 4	$10\% < P < 15\%$	
CLASSE 5	$5\% < P < 10\%$	
CLASSE 6	$P < 5\%$	

Tabella 5 – Classi di pendenza secondo la D.C.R. 94/85

CLASSI DI PENDENZA	AREA (Km ²)	AREA (%)
(CLASSE 1) $P > 35\%$	6,26	5,28
(CLASSE 2) $25\% < P < 35\%$	12,24	10,32
(CLASSE 3) $15\% < P < 25\%$	33,66	28,37
(CLASSE 4) $10\% < P < 15\%$	24,39	20,56
(CLASSE 5) $5\% < P < 10\%$	22,12	18,65
(CLASSE 6) $0\% < P < 5\%$	19,96	16,83

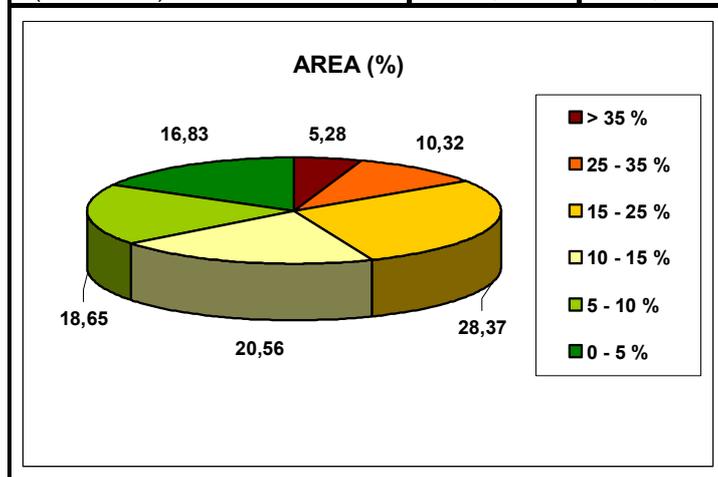


Figura 12: Distribuzione areale e percentuale delle classi di pendenza

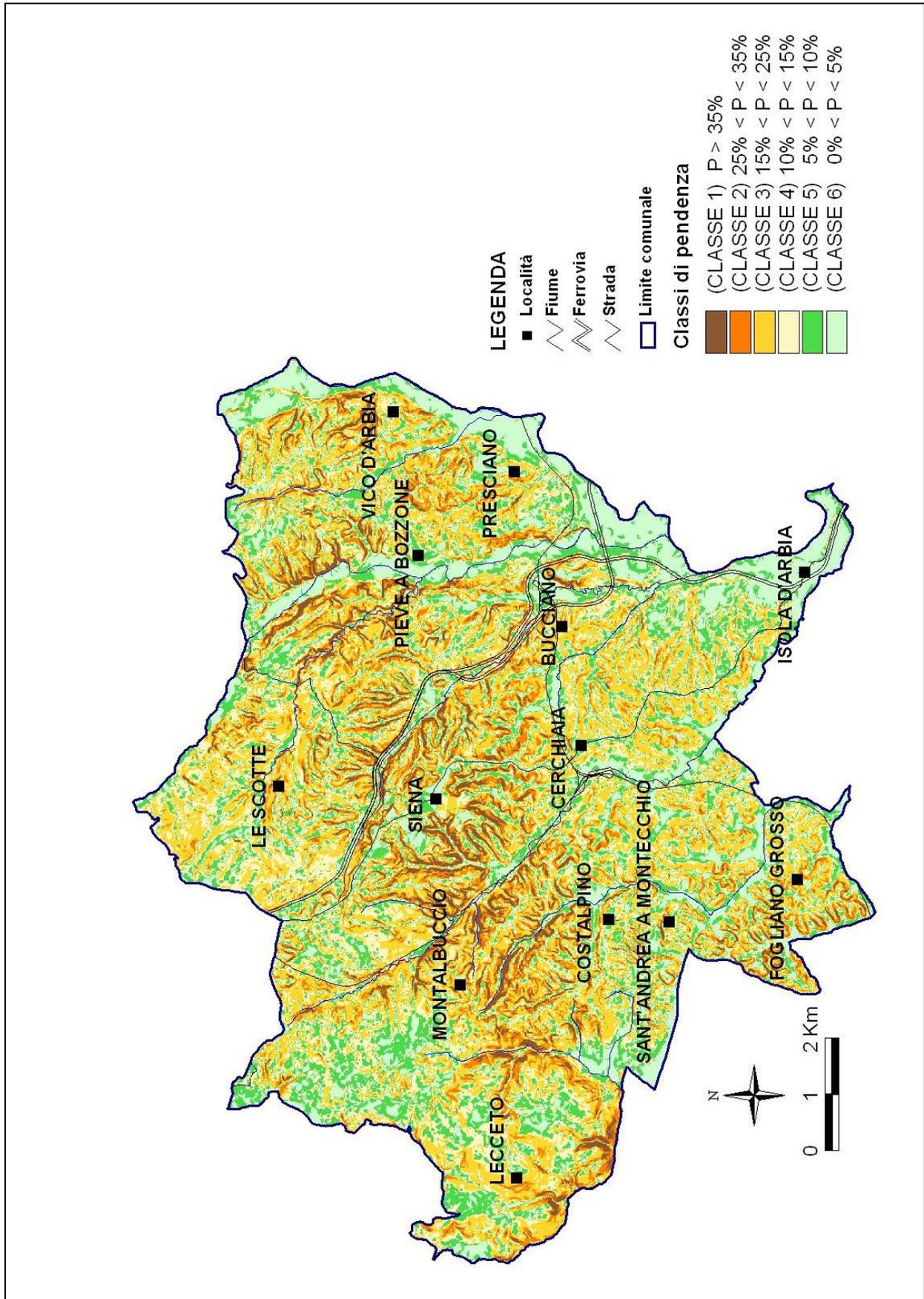


Figura 13 – Carta delle pendenze

2.5 La carta Idrogeologica (Tavola B.9.06)

Nella carta idrogeologica del Comune di Siena (vedi figura 15) è stato riportato: il grado di permeabilità relativa dei terreni affioranti, l'ubicazione dei pozzi presenti sul territorio comunale e l'andamento delle curve piezometriche, delle principali linee di flusso e dello spartiacque idrogeologico relativi alla falda ospitata nella Breccia di Grotti (zona ovest) ed a quella ospitata nelle alluvioni recenti del fiume Arbia (zona est).

La zonazione sul territorio comunale è stata basata sul grado di permeabilità relativo ai terreni affioranti. Questa proprietà fa riferimento alla facilità di movimento di un fluido attraverso i vuoti interconnessi della matrice solida. Essa rappresenta quindi la capacità che una roccia o un terreno ha di lasciarsi attraversare dall'acqua in condizioni normali di temperatura e pressione, sotto l'influenza di un gradiente idraulico.

A partire dalla carta Geologica in scala 1:10000 (vedi par. 2.1) è stata eseguita una riclassificazione delle unità litologiche in sei classi di permeabilità, come riportato nella tabella 6 sottostante, assegnando ad ogni formazione affiorante la classe ed il grado di permeabilità più consono (tabella 7).

Classi di permeabilità	Grado di permeabilità
1	MOLTO ELEVATO
2a	ELEVATO
2b	BUONO
3a	MEDIO
3b	BASSO
4	MOLTO BASSO

Tabella 6 – Classi e grado di permeabilità

Unità litostratigrafiche	Classi di permeabilità
Calcere cavernose	1
Breccia di Grotti	1
Frane	2a
Depositi alluvionali attuali (G, GL, GS, S, SG, SGL)	2a*
Depositi eluvio - colluviali	2a
Depositi alluvionali terrazzati (GS, GSL, S)	2a*
Depositi lacustri	2a
Depositi alluvionali attuali (SL)	2b*
Depositi alluvionali terrazzati (SL)	2b*
Conglomerati di Gambassi Terme	2b
Conglomerati di Lilliano	2b
Depositi alluvionali attuali (LA)	3a
Sabbie di S. Vivaldo	3a
Formazioni di Tocchi	3b
Formazioni di S. Fiora	3b
Argille del Casino	4
Argille azzurre	4
Argille azzurre litofacies argilloso - sabbiosa	4
Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani	4

Tabella 7 – Relazione tra formazioni affioranti e classi di permeabilità; * indica che è stata effettuata una ulteriore riclassificazione basata su rilievi diretti ed indagini geognostiche in situ, vedi par. 3.2.1

Come si evince dal grafico di figura 14, la maggior parte del territorio comunale (il 41,5%), ricade nel grado di permeabilità medio, mentre i gradi elevato e molto elevato, comprendono rispettivamente il 8,81% ed il 10,88% dell'area totale. Il 5,11% del territorio, infine, ricade nel grado di permeabilità basso e solo l'4,57% nel grado di vulnerabilità buono. I dati riguardanti l'ubicazione dei pozzi sono stati forniti dall'ufficio pozzi

della Provincia di Siena e dal Dipartimento di Scienze della Terra, che li ha raccolti in vari studi eseguiti negli ultimi anni. Sono stati censiti 896 punti d'acqua ognuno dei quali viene utilizzato per captazioni di tipo agricolo e domestico, nessuno a scopo idropotabile.

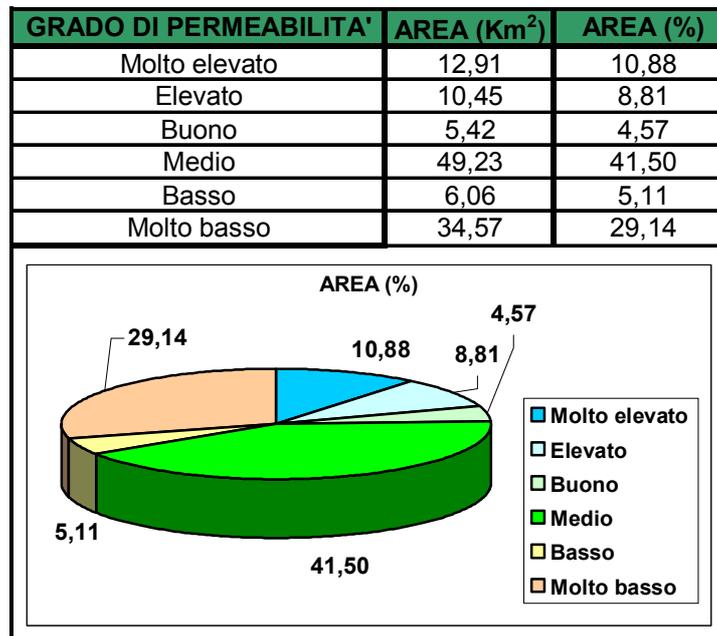


Figura 14 – Suddivisione del territorio comunale in base al grado di permeabilità

Il territorio ricadente nel Comune di Siena risulta idrogeologicamente suddiviso in piccoli corpi idrici sotterranei, che si sviluppano per lo più all'interno della Formazione delle Sabbie di S. Vivaldo e, soprattutto, in quella dei Conglomerati di Gambassi Terme (tali conglomerati sono a loro volta associati alla Formazione delle Sabbie di S. Vivaldo). Subordinatamente, si rilevano falde idriche di modesta entità nelle ristrette fasce alluvionali dei fondovalle; tuttavia, anche se le alluvioni sono dotate di buona porosità efficace, i volumi saturi sono piuttosto ridotti e quindi la presenza e la circolazione d'acqua nel sottosuolo risultano di mediocre rilievo quantitativo.

Inoltre sono stati recuperati i dati relativi a due prove di pompaggio (vedi par. 5.1 dell'allegato 1) effettuate una in località Ellera e l'altra in località Fontebecci (entrambe all'interno delle Sabbie di San Vivaldo) che ci hanno permesso di caratterizzare idrodinamicamente i modesti corpi idrici presenti nell'area. Attraverso l'interpretazione dei dati relativi alle prove di portata con i metodi di Jacob e Theis, sono stati determinati dei valori variabili da $3 \cdot 10^{-5}$ a $5 \cdot 10^{-5}$ m²/s per la trasmissività (T) e da $1 \cdot 10^{-6}$ a $2 \cdot 10^{-6}$ m/s per la permeabilità (K). I valori di K ricavati sono così bassi per cui risulta improprio classificare queste formazioni come veri e propri acquiferi; per cui appare più corretto definire la dinamica di questi terreni come *acquitardi*. Di conseguenza, vista anche la discontinuità della eventuale e limitata circolazione idrica sotterranea, non si è ritenuto corretto rappresentare l'andamento piezometrico di un litotipo che non può ospitare una falda vera e propria, conseguentemente ne deriva che le Sabbie di San Vivaldo non possono ospitare falde di un qualche rilievo (se non localmente).

Nell'area alluvionale del torrente Arbia, sono presenti modesti acquiferi, la cui continuità è evidenziata dalla ricostruzione delle isopieze che indicano un andamento principale delle linee di flusso in direzione circa nord – sud.

L'acquifero più esteso e importante è situato nella parte nord – ovest di Siena ed è quello che comprende buona parte dei comuni di Sovicille e Monteriggioni e che interessa anche i Comuni di Siena e Colle di Val d'Elsa. In questa area ricade un sistema idrogeologico caratterizzato da un acquifero principale, detto del "Luco", ospitato prevalentemente nelle formazioni della Breccia di Grotti caratterizzata da una elevata permeabilità.

La Breccia di Grotti fa parte del Complesso Neautoctono (Depositi lacustri e lagunari post – evaporitici) ed è costituita prevalentemente da porzioni risedimentate di Calcare Cavernoso, che rappresenta a sua volta il prodotto d'alterazione superficiale della Formazione delle Anidridi di Burano. I clasti della Breccia di Grotti consistono, come precedentemente accennato, in blocchi e subordinati ciottoli di calcare in matrice sabbiosa, dalle dimensioni variabili e dall'aspetto spesso vacuolare e brecciato.

E' questa ultima particolarità che comporta, non solo una *permeabilità primaria* per porosità, ma anche una *permeabilità secondaria* dovuta a processi di dissoluzione, che si realizzano in corrispondenza dei vacuoli, tali da portare allo sviluppo di locali fenomeni carsici. In definitiva, questo complesso può essere definito un acquifero a permeabilità mista per fessurazione e porosità. In particolare, laddove affiorano la Breccia di

Grotti ed il Calcare Cavernoso esso presenta una falda libera. Per questa area sono state rappresentate le curve isopiezometriche utilizzando i livelli piezometrici (ovvero le quote di falda in metri sul livello del mare) misurate nei pozzi che vi ricadono all'interno. Dall'andamento delle isopieze è possibile osservare la presenza di uno spartiacque idrogeologico che fa defluire l'acqua di falda (come indicano le linee di flusso principali) in direzione Sud – Ovest verso il Comune di Sovicille e in direzione Nord – Est verso il Comune di Monteriggioni.

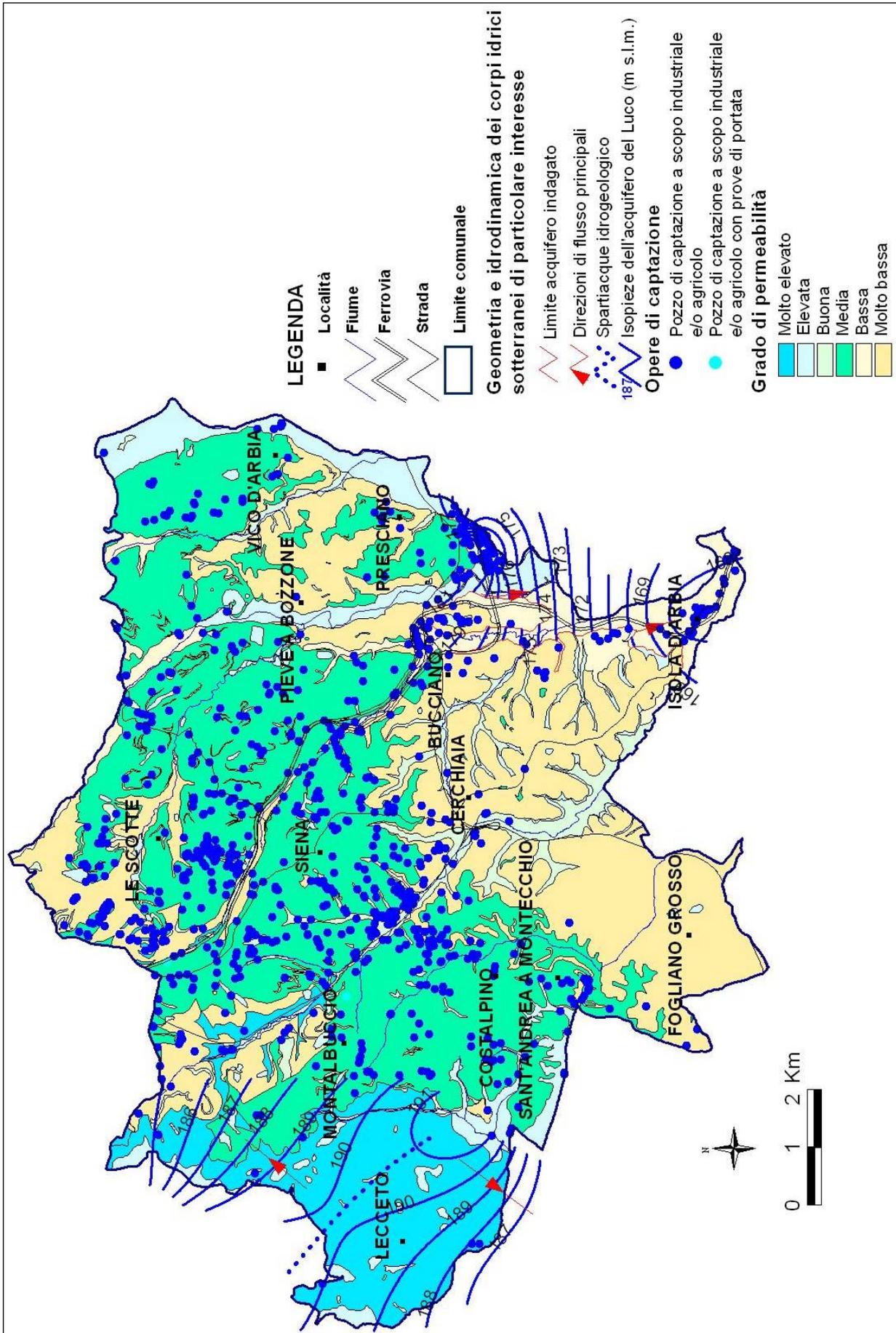


Figura 15 – Carta Idrogeologica

3 LE CRITICITA' DEL TERRITORIO COMUNALE DI SIENA AI SENSI DEL PTCP E DELLA 94/85

3.1 La Stabilità Potenziale dei Versanti

3.1.1 Introduzione al metodo Amadesi

La metodologia utilizzata per la redazione della Carta della Stabilità Potenziale Integrata dei Versanti tiene conto delle prescrizioni del PTC della Provincia di Siena in accordo con la L.R. 5/95 e 1/2005 e con la Del. C.R. 94/85 che identificano come fondamentali le caratteristiche proprie del territorio quali la costituzione litologica, i rapporti tra giacitura degli strati e superficie topografica, l'acclività dei versanti e il tipo di copertura vegetale. Lo studio di tutti questi fattori permette infatti di definire la vocazione alla stabilità o all'instabilità dei versanti. A tutto ciò occorre però aggiungere un altro fattore che è in grado da solo di modificare i risultati conseguiti con l'analisi dei parametri precedentemente elencati: l'attività umana. Più in generale, infatti, l'instabilità di un versante è il risultato di più fattori che possono essere riuniti sotto il nome di "predisponenti" (litologia, giacitura, grado di fratturazione, acclività del versante, caratteristiche geotecniche) ed "innescanti" o "determinanti" (attività sismiche, attività antropica e condizioni climatiche come ad esempio le piogge). Sicuramente i fattori antropici sono quelli che spesso costituiscono l'evento decisivo nella messa in movimento di quei materiali che si trovano già in condizioni precarie da un punto di vista fisico e strutturale. Per esempio quelle opere che determinano un aumento del carico sul versante, come costruzioni di infrastrutture ed immissioni di fluidi nel terreno; oppure interventi che comportano un aumento dell'acclività come tagli al piede dello stesso, o ancora come lo svuotamento d'invasi, disboscamento e soprattutto aumento delle superfici arate che sono in grado di modificare il drenaggio superficiale, la capacità d'infiltrazione dei suoli e la tipologia o l'intensità dell'erosione. In realtà non esiste un accordo generale sul ruolo svolto dai diversi fattori sull'instabilità e ciò si riflette sulla molteplicità di metodi esistenti per giungere alla realizzazione della Carta della Stabilità dei Versanti. In particolare si distinguono metodi diretti ed indiretti: i primi consistono in una cartografia geomorfologica basata sulle osservazioni passate e presenti; la previsione areale e temporale del ritorno delle condizioni predisponenti l'instabilità geomorfologica viene pertanto rimandato alle capacità d'intuizione del rilevatore. I secondi (metodi indiretti) includono due diversi approcci, denominati euristico (*Heuristic index*) e statistico. Nel metodo euristico, i fattori d'instabilità sono scelti e pesati in base all'importanza che si presume possano assumere in ciascun movimento gravitativo; nel metodo statistico (o probabilistico) il peso di ciascun fattore è determinato sulla base della distribuzione areale dei movimenti passati e presenti.

Per il presente lavoro in conformità a quanto previsto dal PTCP di Siena si è utilizzato l'approccio euristico: in particolare si tratta di un metodo parametrico già sperimentato nel 1977 da Amadesi et Alii e successivamente (1985) da Amadesi e Vianello e che ha fornito le linee guida per l'elaborazione e la realizzazione delle varie cartografie. Si tratta in pratica di procedere alla compilazione di elaborati cartografici specifici che rappresentano, in maniera sintetica, l'influenza di caratteristiche geologiche, litologiche, morfologiche nella stabilità dei versanti (e quindi dei fattori predisponenti all'instabilità) la cui analisi conferisce all'elaborato il significato generico di pericolosità. A tale scopo sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche naturali ed antropiche del territorio quali:

- caratteristiche litologiche dei terreni affioranti;
- giacitura degli strati rocciosi e/o assetto strutturale;
- pendenza dei versanti;
- copertura vegetale ed uso del suolo.

Ad ogni elemento suddetto viene assegnato un valore numerico appartenente a scale codificate dagli Autori, valore che ne riflette il peso sulla stabilità alla scala del versante. Per ogni data posizione geografica, la somma algebrica dei valori assegnati alle caratteristiche litologiche, giaciture / strutturali, di acclività e copertura vegetale, fornisce una stima della potenziale stabilità del versante, secondo una scala numerica proposta dagli Autori stessi.

In questo lavoro si è proceduto tenendo separate le cause dell'instabilità (caratteristiche litologiche, rapporti tra giaciture e superficie topografica, pendenza del versante) dagli effetti (fenomeni di instabilità: frane) evidenziati nella carta Geomorfologica (vedi par. 2.2). L'analisi delle cause si è articolata in due fasi, nella prima fase si ha l'incrocio dei fattori geologici e morfologici che influenzano direttamente la stabilità di un versante e cioè caratteristiche litotecniche, pendenza e giacitura degli strati rispetto al versante su cui affiorano. In tal modo si ottiene un elaborato in cui vengono individuate zone omogenee caratterizzate da diverso grado di stabilità potenziale. Nella seconda fase viene introdotto il parametro "uso reale del suolo"

che contribuisce a modificare e correggere il grado di stabilità potenziale ottenuto nella prima fase in base all'Impedenza del suolo arrivando così ad ottenere la carta della stabilità potenziale integrata dei versanti.

Tutta la cartografia prodotta è stata elaborata in ambiente GIS, in tal modo ad ogni elemento geografico puntuale, lineare o poligonale sono collegati dei dati tabellari di tipo alfanumerico che ne contengono le relative caratteristiche spaziali e descrittive, ovvero gli attributi. In particolare i dati geografici sono stati gestiti sia in formato vettoriale (Coverage) sia nel formato Raster ESRI noto come GRID e le elaborazioni overlay necessarie sono state condotte tramite tecniche di *Map Algebra*. Tutte queste carte tematiche sono state redatte con un dettaglio in scala 1:10.000 ed hanno permesso di effettuare valutazioni geo-lito-morfologiche sull'intero territorio comunale mediante la loro combinazione e sovrapposizione.

In realtà, per la valutazione della Pericolosità connessa all'Instabilità dei Versanti, è possibile optare per un approccio di tipo quantitativo oppure più qualitativo. In un'ottica di pianificazione territoriale, ove si vada ad operare su aree estese il criterio utilizzato è necessariamente di questo ultimo tipo in quanto basato su procedimenti volutamente più approssimati, ma che consentono di formulare ipotesi scientificamente valide e, conseguentemente, utili dal punto di vista tecnico. Un approccio di tipo quantitativo, ovvero che prenda in esame il maggior numero di fattori possibile, risulta invece attuabile solo in aree ristrette, in quanto un livello di dettaglio apprezzabile su vasti territori comporterebbe ingenti investimenti. Pertanto, la scelta delle tematiche da analizzare è sostanzialmente condizionata dalla disponibilità e dalla facilità di reperimento dei dati. Infine, le carte tematiche utilizzate in questo lavoro, sono quelle che in letteratura vengono considerate, con generale accordo, determinanti per la valutazione della stabilità dei versanti; in questo contesto sono stati quindi considerati, come già ricordato, i seguenti fattori: caratteristiche litotecniche dei terreni, pendenza dei versanti, rapporti tra giacitura degli strati e superficie topografica ed uso del suolo.

Per meglio capire come i vari fattori predisponenti agiscono sull'instabilità, può essere utile fare riferimento al seguente schema relativo all'equilibrio alla traslazione di masse rocciose o di terreni che si trovano lungo una superficie preesistente ed inclinata nella stessa direzione del pendio. Questo movimento può essere assimilato, in fisica, ad un blocco che scivola su di un piano inclinato.

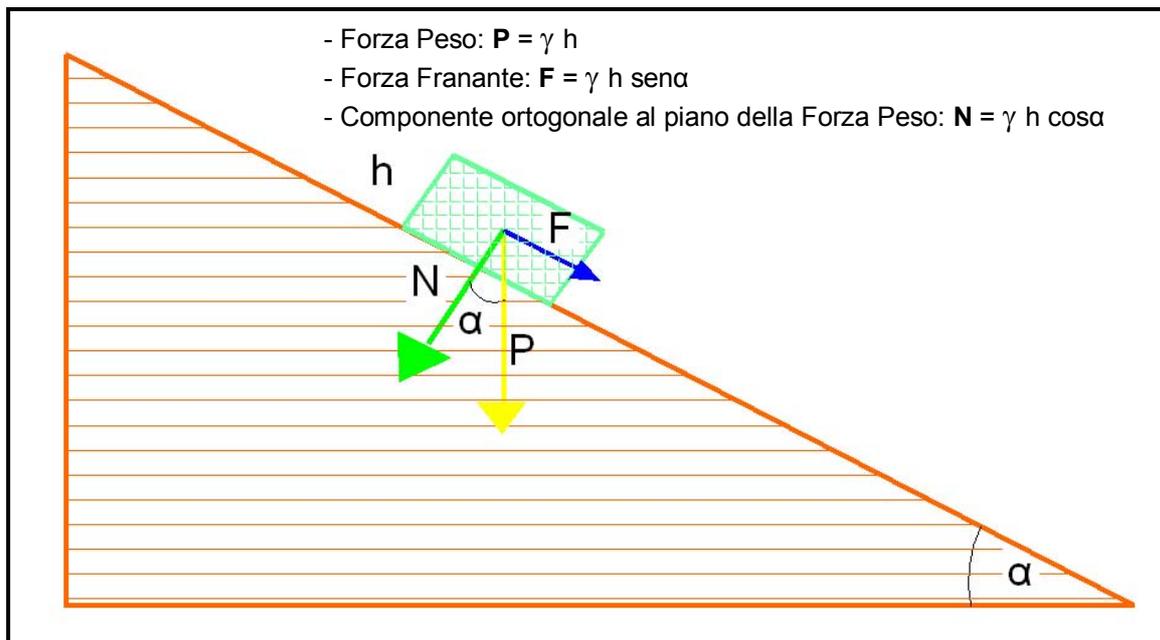


Figura 16 – Schema teorico di un movimento franoso per scivolamento traslazionale

Dalla figura 16 si capisce come le vere e proprie cause dei fenomeni franosi siano individuabili nelle variazioni di alcuni parametri che giocano un ruolo determinante nel definire i termini dell'equilibrio: in particolare dell'angolo di inclinazione del pendio, che rappresenta la sollecitazione della gravità che tende a trascinare in basso le falde rocciose; della coesione (o dell'attrito interno), che tende a mantenere uniti fra loro i materiali che compongono la falda impedendo che una parte si distacchi dal resto, o si deformi assumendo una diversa forma di equilibrio; dall'attrito che contrasta le sollecitazioni della gravità ostacolando lo scivolamento della falda sul suo substrato.

Il loro significato appare ben chiaro se facciamo riferimento all'equazione dell'equilibrio limite che rappresenta il fenomeno (Colombo, 1974):

$$F = R$$

$$\gamma h \operatorname{sen} \alpha = C + \gamma h \operatorname{cos} \alpha \operatorname{tg} \varphi$$

dove:

γ = peso di volume;

h = altezza (verticale) dello strato;

α = angolo d'inclinazione del pendio;

C = coesione;

φ = angolo d'attrito interno.

Il membro a destra, (R), rappresenta quindi la resistenza totale al movimento del blocco ed è composta dall'azione dell'attrito e della coesione (φ , C) e dalla componente ortogonale al piano della Forza Peso (N). Una variazione nei valori di uno dei membri dell'equazione soprascritta porta ad una stabilizzazione della falda, se il membro a sinistra, rappresentante l'azione franante, diventa minore di quello a destra, indicante, come detto, la resistenza complessiva del terreno; viceversa, si avrà una perdita dell'equilibrio e quindi un franamento, se il secondo diventa minore del primo.

E' evidente che le eventuali variazioni nelle grandezze che entrano nella formula hanno un effetto immediato ai fini del franamento quando le condizioni del pendio sono quelle corrispondenti al limite dell'equilibrio. Infatti se aumentano il peso di volume γ , o l'angolo α , a parità di φ e C, oppure se diminuisce il coefficiente di attrito ($\operatorname{tg} \varphi$), o la coesione (C), a parità degli altri fattori, l'equilibrio non può sussistere e la falda frana. Tali variazioni si possono anche considerare come fattori preparatori delle frane: ciò si ha quando le condizioni di partenza sono molto diverse da quelle dell'equilibrio limite, il che è quantitativamente espresso dal coefficiente di sicurezza definito dal rapporto tra Forza resistente (R) e Forza franante (F) che indica, concettualmente, la distanza dalle condizioni limite. Nel caso di scorrimenti di tipo rotazionale tale coefficiente è dato invece dal rapporto tra momento resistente e momento franante.

Considerando l'equazione dell'equilibrio limite (vedi figura 16) risulta chiaro che, a parità delle altre condizioni, maggiori sono la coesione C o l'angolo di attrito φ , maggiore sarà la forza resistente, in quanto tale termine costituisce una componente importante della resistenza complessiva allo scivolamento. La diminuzione della coesione o dell'angolo di attrito e quindi della resistenza al taglio, ($T = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi$) è provocata comunemente dall'azione delle acque sotterranee che possono portare in soluzione la sostanza cementizia che teneva uniti tra loro i granuli o generare l'ampliamento delle fessure preesistenti per il dissolvimento di rocce calcaree; infine occorre ricordare anche l'azione fisica del gelo-disgelo nelle fessure. Le acque di infiltrazione sono quindi da considerare come un fattore attivo (causa determinante) nell'innescare di fenomeni gravitativi, la cui presenza è spesso rivelata dalle sorgenti che sgorgano ai piedi della falda franosa, o nello stesso corpo di frana. Un aumento della quantità d'acqua in una falda di roccia incoerente, o pseudocoerente, provoca anche un aumento della pressione interstiziale e, conseguentemente, una riduzione della resistenza al taglio, che è la principale forza resistente. Si può arrivare addirittura al punto in cui i granuli minori passano in sospensione nell'acqua dando il via ad una frana di colamento. La presenza di un'eventuale falda idrica, inoltre, può provocare la messa in movimento del materiale esercitando un effetto lubrificante tra il substrato stabile e la massa in moto e quindi un aumento del peso di volume γ . Questo come si vede nelle formule, agisce, aumentandole, su tutta la forza franante e solo su di una parte della forza resistente spostando con ciò l'equilibrio verso l'instabilità.

3.1.2 Caratteristiche litotecniche

Ai fini della redazione della carta della stabilità potenziale dei versanti secondo il metodo Amadesi è stata redatta un'altra carta Litotecnica (vedi capitolo 3 e figura 10 nell' allegato 1) dove sono state accorpate le formazioni geologiche in funzione del loro comportamento fisico – meccanico ed è stato assegnato loro un peso da 1 a 10 (vedi tabella 3 del capitolo 3 nell' allegato 1) che ha permesso una maggiore suddivisione in classi rispetto a quella della normativa regionale.

3.1.3 Pendenza dei versanti

In questo studio sono state prodotte due carte delle pendenze una secondo le classi individuate dalla normativa regionale (vedi figura 13) e l'altra secondo il metodo Amatesi, indicato dall'allegato 4 del PTCP, ai fini della redazione della carta della stabilità potenziale dei versanti (vedi allegato 1 al capitolo 4) dove vengono assegnati alle varie classi di pendenza dei pesi variabili da -3 a +3 (escluso il punteggio 0).

3.1.4 Giacitura degli strati

Questo elaborato rappresenta l'andamento geometrico tra gli strati rocciosi ed il pendio e costituisce, insieme alle caratteristiche litotecniche ed alle pendenze naturali, l'ultimo fattore di influenza sulla stabilità di un versante, vale a dire sulla probabilità che uno strato possa scivolare per gravità sul suo substrato. La metodologia per la redazione di questa carta viene descritta nell'allegato 1 al capitolo 6.

3.1.5 Parametrizzazione della Stabilità Potenziale dei Versanti

A conclusione di quanto riportato nei paragrafi precedenti si evince come le condizioni di stabilità potenziale dei pendii (vedi capitolo 7 dell'allegato 1) dipendano da tre fattori predisponenti ed intrinseci:

- Inclinazione del versante e quindi, in altri termini, dall'azione della gravità che tende a destabilizzare le masse rocciose e i terreni in generale e la cui influenza aumenta con la pendenza;
- Caratteristiche litotecniche dei terreni ed in particolare della coesione e dell'angolo di attrito la cui azione si esplica nel senso di favorire la compattezza dei terreni;
- Disposizione spaziale degli strati e loro rapporti con il versante su cui affiorano.

Questi fattori possono essere definiti invariabili, in quanto non si modificano se non in tempi lunghissimi o per cataclismi imprevedibili.

Per delimitare sul territorio le aree *potenzialmente* più o meno stabili bisogna correlare tra loro questi parametri, effettuando la somma algebrica dei diversi pesi o punteggi attribuiti alle relative classi che descrivono ciascun parametro; in tal modo è possibile stabilire la propensione naturale dei versanti alla stabilità, vocazione non influenzata dall'attività umana in maniera diretta o indiretta. Si precisa fin da ora che anche la copertura vegetale viene considerata come un parametro connesso con l'attività antropica e quindi verrà trattato nel paragrafo 3.1.6 relativo all'uso del suolo.

Dalla combinazione ricavata in una matrice (si veda Appendice B nella relazione dell'allegato 1) dei tre parametri, si individuano quindi 25 possibili classi di stabilità ottenute semplicemente dalla somma algebrica dei valori attribuiti alle classi dei singoli tematismi. Queste sono poi discretizzate in intervalli ritenuti significativi ai fini della stabilità, i casi in cui il valore ottenuto risulta negativo (-1) vengono analizzati come se avessero valore zero ovvero nella classe di massima instabilità. Il metodo applicato prevede pertanto cinque classi di instabilità che sono sintetizzate in tabella 8.

VALORE	CLASSE DI INSTABILITA'
0 – 4	Instabilità massima
5 – 8	Instabilità forte
9 – 12	Instabilità media
13 – 16	Instabilità limitata
17 – 24	Situazione stabile

Tabella 8 – Classi di instabilità e relativi intervalli di valori risultanti dalla sovrapposizione delle tre carte di base

3.1.6 *Uso del suolo*

Oltre ai tre fattori sopra citati, per una completa lettura del territorio ai fini della stabilità dei versanti occorre valutare altri due fondamentali parametri: la copertura vegetale e l'attività antropica che sono sintetizzati nella Carta dell'Uso del Suolo. E' infatti facilmente osservabile come l'uomo abbia alterato il paesaggio naturale intensificando in genere le pratiche agricole nelle aree più favorevoli e fertili (pianure, terrazzi fluviali, pendii a debole acclività). Tale azione, spesso indiscriminata, ha rotto e modificato l'equilibrio pedo – floristico, causando la scomparsa degli stessi orizzonti pedologici e lasciando quindi via libera alla violenta azione degli agenti atmosferici che hanno così favorito l'erosione e di conseguenza l'instabilità.

In altri casi, invece, l'azione antropica si è orientata verso una valorizzazione del territorio bonificando certe aree attraverso il rimboschimento, il consolidamento delle pendici franose, la sistemazione dei torrenti e la disciplina delle acque, il terrazzamento e così via. Ciò va a discapito naturalmente dell'erosione mentre favorisce condizioni di stabilità.

La copertura dell'uso del suolo che è stata utilizzata in questo studio è stata fornita dall'Ufficio di Piano del Comune di Siena; tale cartografia fa parte del Quadro Conoscitivo del P.S. ed ha una scala di acquisizione 1:10000 con codici che fanno riferimento alle specifiche Corine Land – Cover fino al 5 livello.

Il metodo utilizzato stima l'impedenza che i diversi tipi di uso del suolo esercitano nei confronti dell'erosione e degradazione del territorio e sui fenomeni gravitativi che in genere agiscono su di un versante, assegnando un peso, positivo o negativo (da -2 a +2), al tipo di utilizzo agricolo o tipologia di vegetazione esistente sul territorio (vedi figura 10 nell'allegato 1). Allo scopo di valutare questo parametro, le varie classi di uso del suolo e copertura vegetale sono state raggruppate secondo quanto riportato in tabella 9. La prima operazione è stata quella di raggruppare la maggior parte dei codici Corine – Land Cover semplificandoli al terzo livello di dettaglio (ritenuto quasi sempre idoneo per i nostri utilizzi); successivamente a questi è stato assegnato un peso relativo all'impedenza positiva o negativa a seconda del contributo verso la stabilità o l'instabilità.

Codici uso del suolo	Codici di riferimento	Legenda carta uso del suolo	Impedenza	Pesi		
131	131	Aree estrattive	Nulla	-2		
211	211	Seminativi in aree non irrigue				
212	212	Seminativi in aree irrigue				
242	242	Sistemi colturali e particellari complessi				
2212	221	Vigneti	Minima	-1		
2213						
222	222	Frutteti				
2232	223	Oliveti				
2233						
224	224	Altre colture permanenti				
322	322	Brughiere e cespuglieti				
3333	3333	Calanchi				
111	111	Zone residenziali a tessuto continuo			Mediocre	0
1111						
1121	112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado				
1123						
1124						
1125						
121	121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati				
1221	122	Reti stradali, commerciali, opere d'arte e infrastrutture tecniche				
1222						
133	133	Cantieri				
141	141	Aree verdi urbane				
142	142	Aree ricreative sportive				
3116	3116	Boschi di specie igrofile				
31214	31214	Rimboschimento di pini mediterranei e cipresso				
321	321	Prati - pascoli naturali e praterie				
511	511	Corsi d'acqua, canali, idrovie				
512	512	Bacini d'acqua				
3111	3111	Boschi di leccio	Buona	1		
3112	311	Boschi di latifoglie				
3113						
3114						
31129						
31171						

Tabella 9 – Relazione fra le classi di uso del suolo e impedenza

3.1.7 Parametrizzazione della Stabilità Potenziale integrata dei Versanti (Tavola B.9.08)

La Carta della Stabilità Potenziale Integrata dei Versanti (vedi figura 18) rappresenta la sintesi degli elaborati cartografici del metodo Amadesi e Vianello. In particolare questa carta è in grado di mostrare, per confronto con quella della Stabilità Potenziale (vedi figura 16 nel capitolo 7 dell'allegato 1), come la propensione al dissesto di un versante possa essere in parte inibita o accentuata dalla presenza di una determinata copertura vegetale o specifico uso del suolo (vedi tabella 10).

Classi di stabilità potenziale	IMPEDENZA				
	Nulla	Minima	Mediocre	Buona	
	-2	-1	0	1	
24	22	23	24	25	SITUAZIONE STABILE
23	21	22	23	24	
22	20	21	22	23	
21	19	20	21	22	
20	18	19	20	21	
19	17	18	19	20	
18	16	17	18	19	
17	15	16	17	18	
16	14	15	16	17	
15	13	14	15	16	
14	12	13	14	15	INSTABILITA' LIMITATA
13	11	12	13	14	
12	10	11	12	13	
11	9	10	11	12	INSTABILITA' MEDIA
10	8	9	10	11	
9	7	8	9	10	
8	6	7	8	9	INSTABILITA' FORTE
7	5	6	7	8	
6	4	5	6	7	
5	3	4	5	6	
4	2	3	4	5	
3	1	2	3	4	INSTABILITA' MASSIMA
2	0	1	2	3	
1	0	0	1	2	
0	0	0	0	1	

Tabella 10 – Valori risultanti dalla sovrapposizione della Carta della stabilità potenziale con quella di uso del suolo.

Nel caso specifico l'utilizzo della copertura vegetale porta concretamente ad un generale aumento di alcuni punti percentuali (figura 17) delle classi di instabilità forte, media e limitata a discapito delle aree stabili. Ciò è giustificabile dal fatto che le zone caratterizzate da buona impedenza (+1), le uniche in grado di far aumentare il punteggio finale a favore della stabilità, ricadono, per la maggior parte, in aree già stabili e quindi non ne modificano sostanzialmente la classe. Anche le aree contraddistinte da impedenza mediocre, che in pratica non possono alterare la classe di stabilità poiché apportano un punteggio nullo, ricadono, come previsto, nelle zone urbanizzate caratterizzate anch'esse da una precedente situazione stabile. La classe relativa all'instabilità potenziale limitata è quella che subisce il maggiore aumento areale a seguito

dell'introduzione della carta dell'Impedenza, andando ad occupare porzioni che in precedenza erano di pertinenza della classe a stabilità maggiore.

E' evidente, quindi, che queste aree, che ricadono in una situazione stabile nella carta della Stabilità Potenziale, sono in realtà contraddistinte da un punteggio, derivante dalla somma dei pesi relativi alle tre carte di base, al limite con quella di instabilità limitata (16 – 17); di conseguenza il contributo dell'impedenza, che qui chiaramente apporta un peso negativo, risulta determinante nel passaggio da situazione stabile ad instabilità limitata. Per quanto riguarda le classi di instabilità maggiore, si può osservare che quella media subisce un discreto incremento in aree localizzate soprattutto nella porzione settentrionale del territorio comunale in corrispondenza di fasce contraddistinte da impedenza nulla, mentre l'instabilità forte rimane pressoché inalterata sia per quanto riguarda l'estensione percentuale che l'ubicazione delle relative aree.

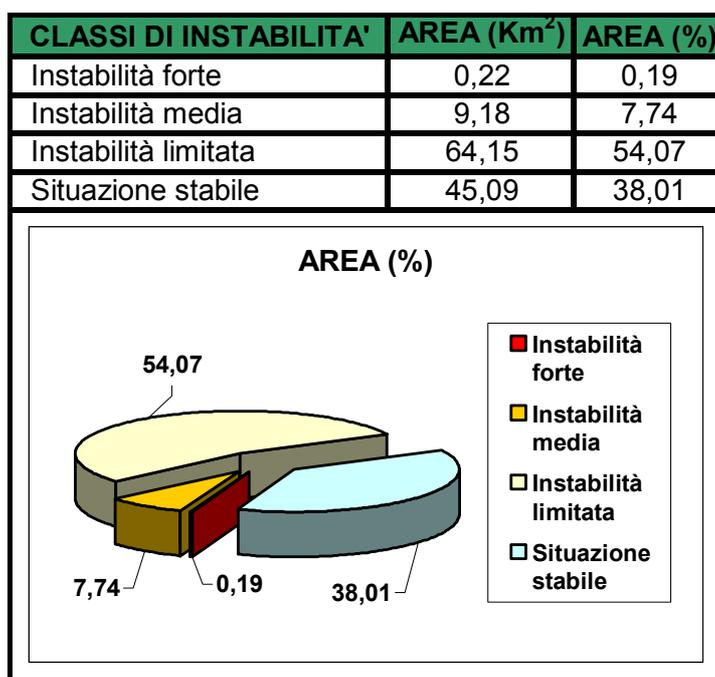


Figura 17 – Distribuzione areale e percentuale delle classi di instabilità

Questo elaborato di sintesi, tiene conto solo dei fattori predisposti e non delle cause determinanti, rappresenta la predisposizione intrinseca del territorio ad una maggiore o minore stabilità (pericolosità) ma non il rischio di franamento che va comunque associato (oltre che alla pericolosità) anche alle Cause Determinanti e al Valore delle infrastrutture che possono essere coinvolte nel fenomeno. Si tratta in sostanza di una cartografia che non deve essere considerata come TECNICA (pur basandosi su parametri tecnici); essa non indica, quindi, dove avverranno o non avverranno movimenti gravitativi, ma individua aree nelle quali interventi antropici maldestri o cause naturali possono spostare più facilmente una situazione di equilibrio più o meno precario verso l'instabilità.

E', quindi, una carta di Piano che deve servire per individuare il più corretto uso del territorio dato che individua vari livelli di "attenzione" da tener presenti qualora si intenda procedere ad una qualsivoglia modifica dell'attuale assetto del territorio e, conseguentemente, degli equilibri che ne derivano.

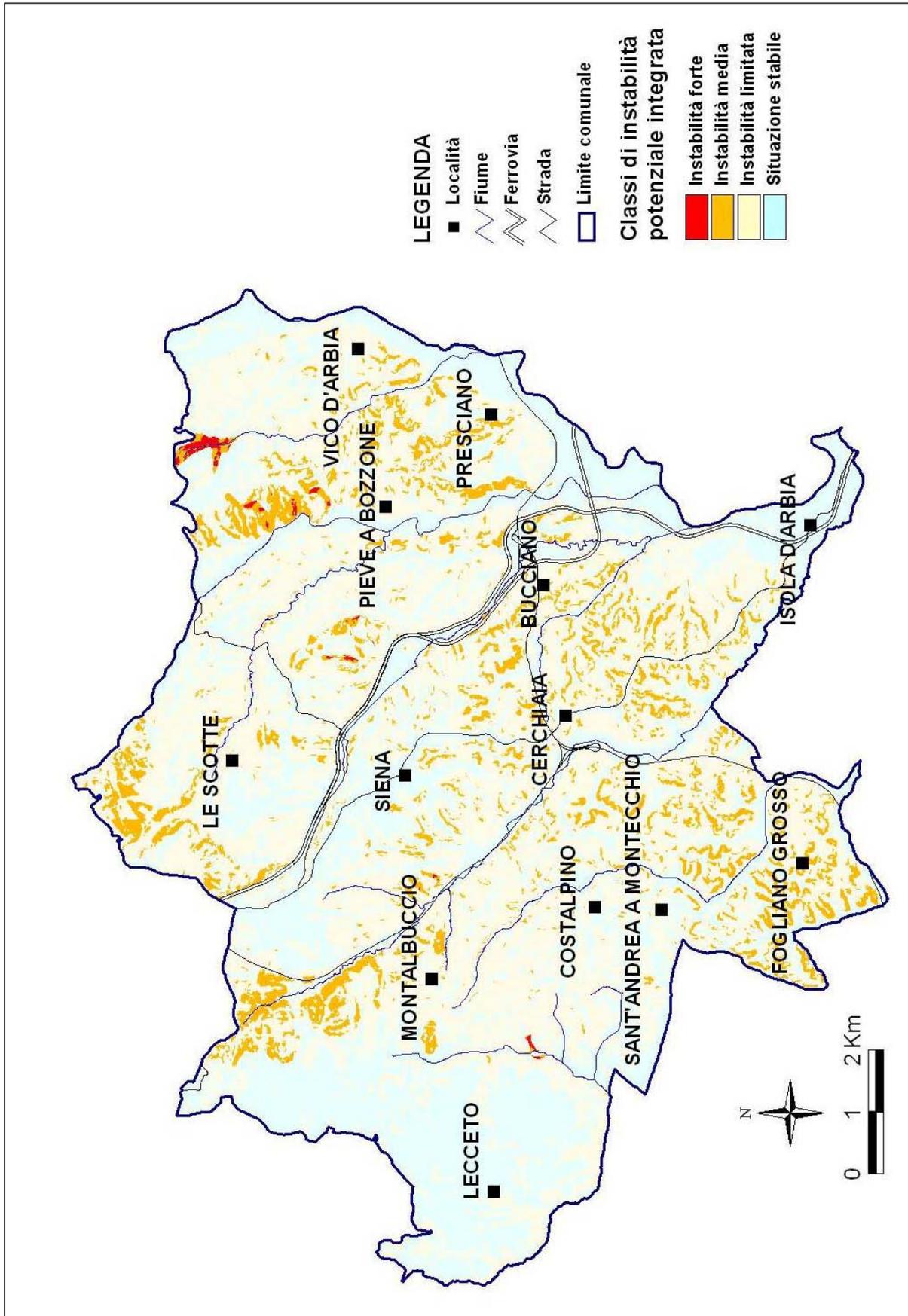


Figura 18 – Carta dell'instabilità potenziale integrata dei versanti

3.2 La Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (Tavola B.9.09)

La Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento rappresenta un aspetto della pianificazione di un territorio, qualunque sia la sua estensione areale, di carattere strategico e per questo risulta fondamentale un suo studio approfondito e di dettagliato che ne preservi il più possibile il suo stato naturale.

Questa tematica è stata già ampiamente trattata nella relazione del quadro conoscitivo dello Schema Metropolitan dell'Area Senese, SMA S alla quale si rimanda per i caratteri teorici del metodo GNDCI – CNR e per le descrizioni della Legenda Civita e dei suoi elementi nel territorio del Comune di Siena che hanno permesso di realizzare la carta della vulnerabilità integrata.

A differenza del suddetto lavoro, le elaborazioni sulla permeabilità, sulla vulnerabilità intrinseca e sulla sensibilità degli acquiferi sono state integrate assegnando i valori per le aree definite precedentemente come non determinabili "ND" (corrispondenti al 5.32% della superficie del Comune di Siena); grazie all'utilizzo delle informazioni raccolte da indagini specifiche dirette (stratigrafie di sondaggi, prove di laboratorio) e/o indirette (prove penetrometriche statiche e dinamiche) è stato possibile riclassificare localmente i depositi alluvionali e i depositi alluvionali terrazzati secondo gradi di permeabilità connessi alle granulometrie che realmente li costituiscono (non solo nella classe 2a come era stato fatto in via cautelativa nello SMA S).

La valutazione dei vari gradi di vulnerabilità intrinseca e la relativa zonazione sul territorio è stata basata sul grado di permeabilità relativa dei terreni affioranti (si rimanda alla carta Idrogeologica par. 2.5). In sintonia con lo schema proposto dal PTCP di Siena le sei classi di permeabilità relativa sono state raggruppate in quattro classi di vulnerabilità intrinseca come riportato nello schema sottostante e nella tabella 12 di sintesi:

Vulnerabilità Classe 1 => Alto	(classe di permeabilità 1)
Vulnerabilità Classe 2 => Alto – Medio	(classi di permeabilità 2a-2b)
Vulnerabilità Classe 3 => Medio – Basso	(classi di permeabilità 3a-3b)
Vulnerabilità Classe 4 => Basso	(classe di permeabilità 4)

La classe 1 copre circa 12,91 Km² e rappresenta il 10,88% dell'area comunale. Sono state comprese le rocce ad elevata permeabilità, sia per porosità che per fessurazione. In questa classe sono state inserite le Formazioni del Calcare cavernoso, appartenente alla Falda Toscana (18), e della Breccia di Grotti, facente parte dei depositi lacustri e lagunari del Turoliano Superiore (43).

Nella classe 2 sono state 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 15,88 Km² e rappresenta il 13,38% del territorio ed in essa sono stati collocati i Depositi marini pliocenici (49), i Depositi lacustri e lagunari del Turoliano Superiore (44) e i depositi quaternari (1, 2, 4, 12, 13, 15, 17, 21 e 35) escluso quelli dove erano disponibili indagini geognostiche (depositi alluvionali e depositi alluvionali terrazzati), che avendo evidenziato un diverso grado di permeabilità relativa, sono stati di conseguenza collocati in altre classi (vedi paragrafo 3.2.1).

Nella classe 3, che copre circa 55,29 Km² pari al 46,60% della superficie comunale, sono state inoltre associate anche formazioni facenti parte dei Depositi marini pliocenici (51) e affioramenti appartenenti al Dominio Ligure (29) ed al ciclo medio del Triassico Superiore delle Unità toscane metamorfiche (68).

Infine nella classe 4, occupante 33,27 Km² pari al 29,14% del Comune, sono state raggruppate le formazioni caratterizzate da una composizione prevalentemente argillosa nelle quali risulta ragionevolmente minima la penetrazione e la circolazione di acqua; tali rocce si presentano quindi praticamente prive di circolazione idrica sotterranea e gli eventuali inquinamenti raggiungono direttamente le acque superficiali. Appartengono a questo grado di vulnerabilità litotipi derivanti dai Depositi marini pliocenici (25, 26), dai Depositi lacustri e lagunari Messiniani (8); ne fanno parte 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. Nella figura 19 è riportata la distribuzione areale e percentuale, all'interno del Comune di Siena, delle quattro classi di vulnerabilità.

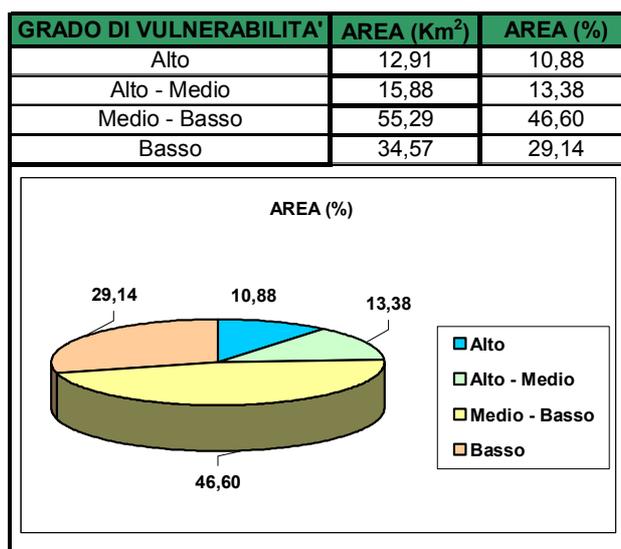


Figura 19 – Suddivisione del territorio comunale in base al grado di vulnerabilità

Il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena (PTCP), con lo scopo di tutelare attraverso delle norme gli acquiferi presenti nel proprio territorio, prevede anche il passaggio dai quattro gradi di vulnerabilità a tre classi di Sensibilità secondo quanto riportato nella tabella 12 di sintesi e secondo lo schema logico della tabella 11:

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

Tabella 11 – Relazione fra il grado di vulnerabilità e le classi di sensibilità previste dal PTCP di Siena

dove ogni classe di sensibilità ha la seguente corrispondenza:

- Classe di Sensibilità 1 => "Aree a vincolo elevato";
- Classe di Sensibilità 2 => "Aree a vincolo medio";
- Classe di Sensibilità 3 => "Aree non vincolate".

La tabella 12 riassume tutti i passaggi che hanno permesso la definizione delle aree di sensibilità ai fini della tutela degli acquiferi partendo dalle informazioni geologiche presenti nello strato informativo fornitoci dalla Regione Toscana (ST018) già utilizzato per lo Schema Metropolitano dell'area Senese; in particolare il "COD-UNI" della tabella fa riferimento ai codici progressivi adottati per il progetto sopra citato.

COD UNI	GEOLOGIA	PERMEABILITA'		VULNERABILITA'		SENSIBILITA'	
		CLASSE	GRADO	CLASSE	GRADO	CLASSE	GRADO
18	Calcare cavernoso	1	Molto elevato	1	Elevato	1	Vincolo elevato
43	Breccia di Grotti	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
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
15	Deposito colluviale (Olocene)	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
35	Terreni di riporto, bonifica per colmata	2a	Elevato	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
51	Sabbie di S. Vivaldo	3a	Medio	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
68	Formazione di Tocchi	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
29	Formazione di S.Fiora	3b	Basso	3	Medio-Basso	3	Nessun vincolo
8	Argille del Casino	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
25	Argille azzurre	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
26	Argille azzurre litofacies argilloso - sabbiosa	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo
33	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani	4	Molto basso	4	Basso	3	Nessun vincolo

Tabella 12 – Sintesi dei parametri permeabilità, vulnerabilità e sensibilità in relazione alle formazioni geologiche (*): indica che queste formazioni hanno subito una riclassificazione in base alla granulometria relativa a rilievi diretti e ad indagini geoenostiche in situ.

Individuate le classi di sensibilità si è provveduto ad analizzare le aree sottoposte a vincolo del Comune. Nella figura 20 è riportata la suddivisione del territorio comunale nelle tre classi di sensibilità. Come è possibile notare la maggior parte del territorio (74,74%) non è sottoposto a vincolo mentre la restante parte è suddivisa in un 13,38% a vincolo medio (sensibilità 2) e in un 10,88% a vincolo elevato (sensibilità 1).

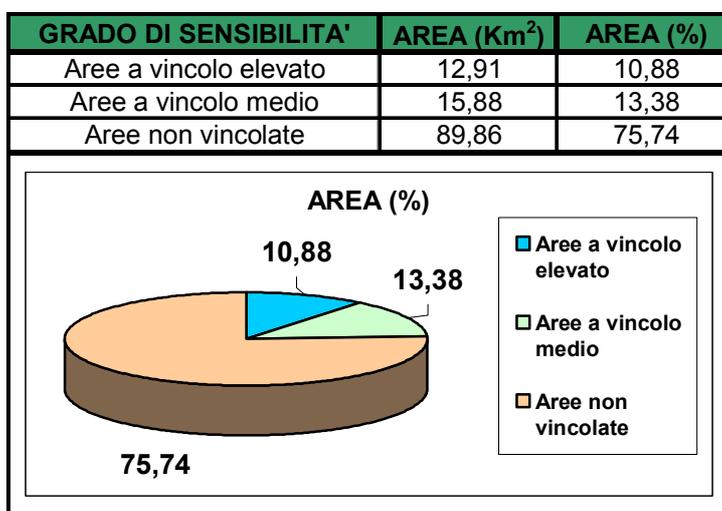


Figura 20 – Suddivisione del territorio comunale in base al grado di sensibilità

La carta della Vulnerabilità integrata (vedi figura 30) è stata realizzata dopo aver sovrapposto alla Carta della Vulnerabilità intrinseca, secondo la legenda Civita, tutti i centri di pericolo (C.D.P.) ovvero tutte le attività, gli insediamenti, i manufatti, ecc..., in grado di costituire, direttamente o indirettamente, fattori certi o potenziali di degrado qualitativo e quantitativo delle acque (per le principali modalità, vedi quanto illustrato dalla figura 21).

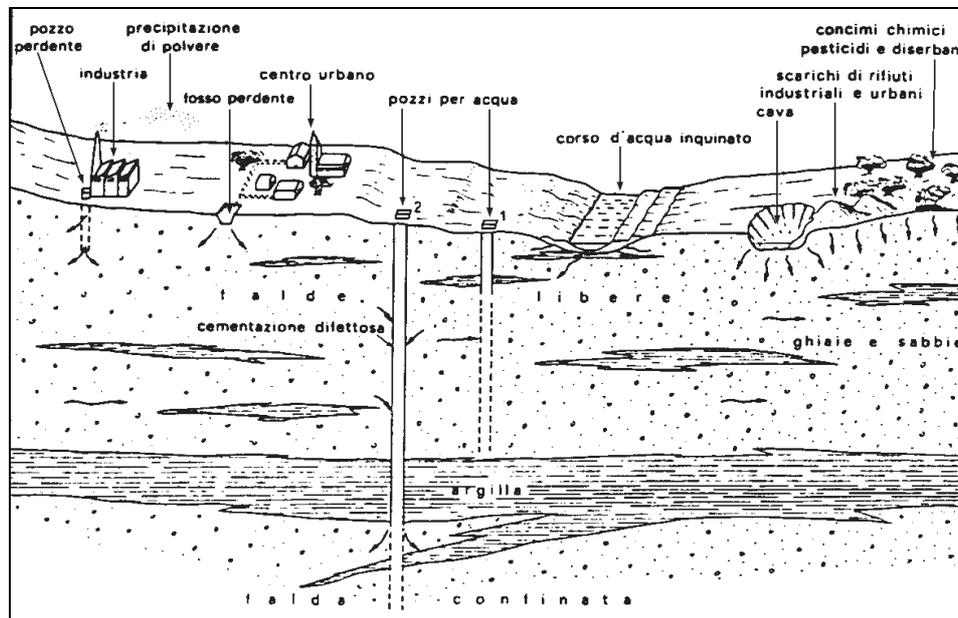


Figura 21 – Principali modalità di inquinamento delle acque sotterranee, dovute all'attività dell'uomo (ripresa da Celico, 1988)

Questi fattori sono già stati individuati ed analizzati per lo Schema Metropolitano dell'area Senese e per il Comune di Siena si è deciso di utilizzare queste informazioni apportando, però alcune variazioni. Per ciò che riguarda i *produttori reali e potenziali di inquinamento dei corpi idrici sotterranei* sono stati utilizzati gli stessi tematismi ad esclusione della distribuzione dei trattamenti con fitofarmaci nell'area comunale; questa categoria è stata integrata grazie al nuovo tematismo dell'uso del suolo in scala 1:10000. In base all'utilizzo del suolo e seguendo la legenda Civita (tabella 13) è stato possibile valutare secondo i codici semplificati dell'uso del suolo le modalità di utilizzo, nel territorio comunale, di fitofarmaci individuando tre possibili classi di trattamenti:

- 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.

Questa valutazione ci fornisce un'indicazione delle zone interessate dall'utilizzo di sostanze inquinanti.

Codici uso del suolo	Codici di riferimento	Legenda carta uso del suolo	Classi d'uso del suolo (secondo Civita, 1994)
111	111	Zone residenziali a tessuto continuo	Aree sterili, incolte o con colture spontanee o che non prevedono trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, etc.
1111			
1121	112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	
1123			
1124			
1125			
121			
1221	122	Reti stradali, commerciali, opere d'arte e infrastrutture tecniche	
1222			
131	131	Aree estrattive	
133	133	Cantieri	
141	141	Aree verdi urbane	
142	142	Aree ricreative sportive	
3112	311	Boschi di latifoglie	
3113			
3114			
31129			
31171			
3116	3116	Boschi di specie igrofile	
31214	31214	Rimboschimento di pini mediterranei e cipresso	
321	321	Prati - pascoli naturali e praterie	
322	322	Brughiere e cespuglieti	
3333	3333	Calanchi	
511	511	Corsi d'acqua, canali, idrovie	
512	512	Bacini d'acqua	
2212	221	Vigneti	Aree con colture che prevedono limitati trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, etc.
2213			
222	222	Frutteti	
2232	223	Oliveti	
2233			
224	224	Altre colture permanenti	
3111	3111	Boschi di leccio	
211	211	Seminativi in aree non irrigue	
212	212	Seminativi in aree irrigue	
242	242	Sistemi colturali e particellari complessi	

Tabella 13 – Relazione fra le classi di uso del suolo e l'intensità dei trattamenti

Per i potenziali ingestori e viacoli di inquinamento dei corpi idrici sotterranei la modifica apportata riguarda solo il tematismo "Doline" che da puntuale (vedi SMaS) è diventato poligonale per l'individuazione delle doline all'interno della nuova carta Geomorfologica della Provincia di Siena, dove queste sono rappresentate non come punto, ma come area (per ulteriori approfondimenti si rimanda al paragrafo 2.2). Nella sezione preventori e/o riduttori dell'inquinamento non è stato ritenuto necessario apportare alcun cambiamento,

mentre per la sezione dei *principali soggetti ad inquinamento* è stata applicata una variazione al tematismo “pozzi” (160) nel quale sono evidenziate le opere di captazione dove sono state effettuate prove di emungimento (come descritto nel paragrafo 2.5).

3.2.1 Riclassificazione delle alluvioni

Come accennato in precedenza (par. 3.2), il grado di permeabilità dei *depositi alluvionali*, rilevati direttamente, (b(G), b(GL), b(GS), b(LA), b(S), b(SG), b(SGL), b(SL), bna(GS), bna(GSL), bna(S), bna(SL), bnb(SL), bnb(S), bnb(SL)) è stato analizzato in dettaglio facendo, per questo, riferimento alle risultanze delle indagini geognostiche presenti all'interno delle aree di affioramento di questi terreni (vedi tabella 14); questa operazione ha permesso una riclassificazione basata sulla vera granulometria dei sedimenti e non solo su “ipotesi composizionali” ed è stata eseguita sfruttando la stretta correlazione esistente tra composizione granulometrica e grado di permeabilità relativa (vedi tabella 15).

CODICE PRATICA	LOCALITÀ	TIPO DI INDAGINE
30920	Str. del Renaccio - Ruffolo	3 DPSH
32028	Pod. Sant'Elena - Strada Molin Nuovo	4 sondaggi
1015	Loc. Il Piano - Ruffolo	4 CPT
27628	Fattoria Renaccio	1 CPT
28110	Loc. Ruffolo	1 sondaggio , 2 SPT
21524	Loc. Renaccio - Strada di Ribucciano	7 CPT
18175	Str. di Pescaia	4 sondaggi, 9 campioni, 14 SPT, 4 DPM
14624	Isola d'Arbia - C. Bassa	3 CPT
15224	Loc. Ruffolo	9 CPT
15333	Loc. Renaccio	3 CPT
31117	Pian delle Fornaci	9 sondaggi, 9 SPT
29409	Loc. Madonnina Rossa - ex distillerie	5 sondaggi, 10 SPT
28778	Strada di Renaccio	2 sondaggi
2012	Il Ruffolo	3 DPSH
2017	Colonna S.Marco	2 CPT
19140	Casa Bassa	1 sondaggio (S5)
19142	Poggio Giovannelli	1 sondaggio (S4)
34741	Poderuccio	CPT
28680	Renaccio	3 CPT
2028	Fontebranda	6 DPM
2026	Strada di Pescaia	2 sondaggi, 5 SPT
2034	Fontebecci	1 sondaggio
1110	Bucciano	1 sondaggio, 3 SPT

Tabella 14: Indagini geognostiche utilizzate per la riclassificazione delle alluvioni

In figura 22 è riportata la suddivisione del territorio secondo i diversi gradi di permeabilità prima di compiere, tramite un'analisi di dettaglio, una riclassificazione basata sulle granulometrie reali.

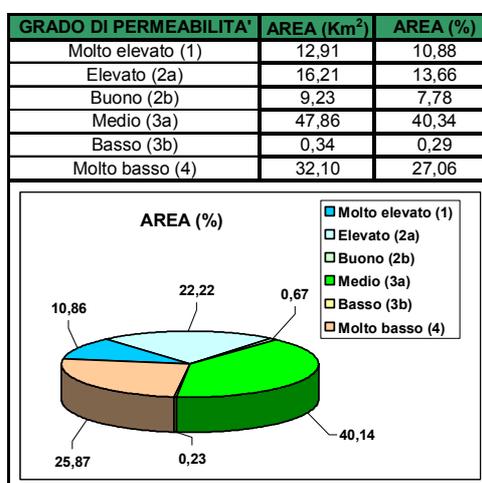


Figura 22: Suddivisione del Comune di Siena secondo le varie classi di permeabilità da valori di letteratura

Questa analisi è stata effettuata sulla quasi totalità dei terreni attribuibili, in origine, alla classe di permeabilità **2a** e cioè quella costituita dalle Alluvioni (vedi figura 23).
 In base alla distribuzione delle indagini e dalle indicazioni da queste emerse, è stato possibile riclassificare circa il 51% dei depositi alluvionali (vedi figure 24 e 25).

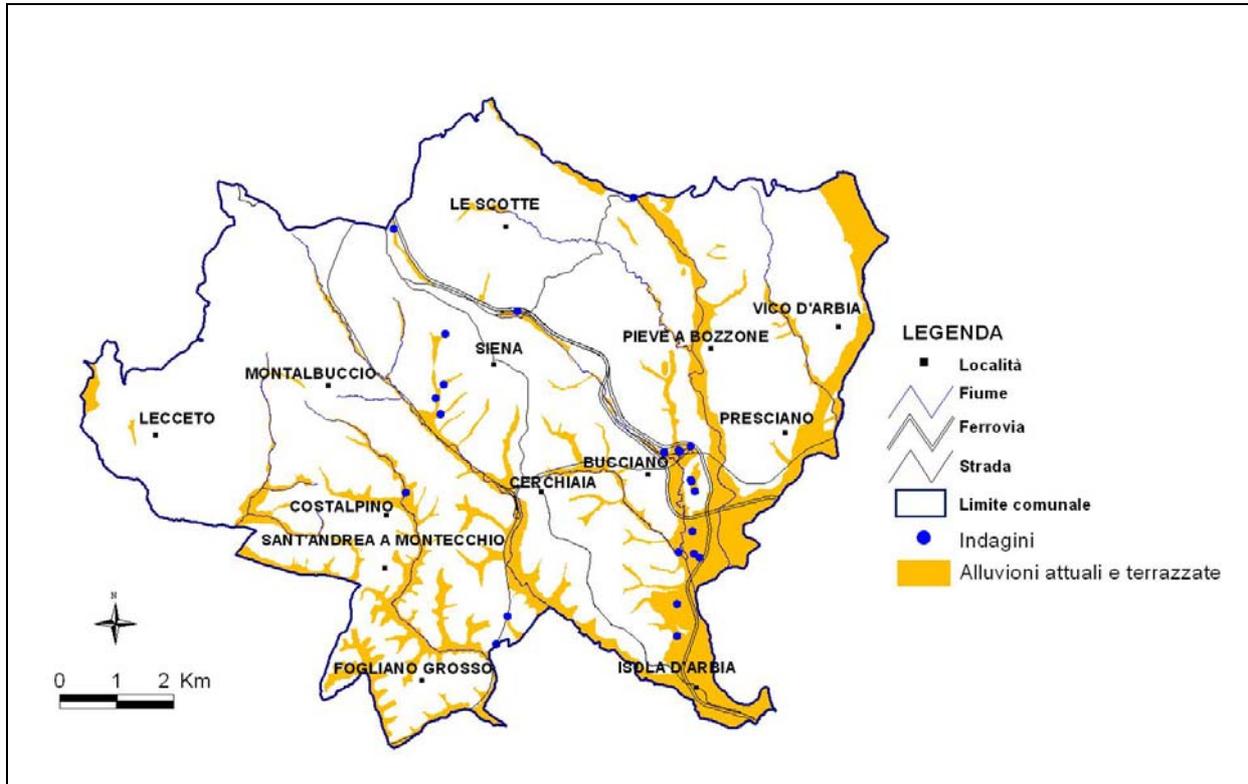


Figura 23: Distribuzione delle Alluvioni nel Comune di Siena

Tipi di rocce	Grado di permeabilità relativa	Coefficienti di permeabilità (m/s)
Ghiaie	Alto	$K > 10^{-2}$
Sabbie	Medio	$10^{-2} > K > 10^{-4}$
Sabbie fini - Silts	Basso	$10^{-4} > K > 10^{-9}$
Argille	Impermeabile	$K < 10^{-9}$

K (m/s)		10 ¹	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Granulometria	Omogenea	Ghiaia			Sabbia	Sabbia molto fine			Silt		Argilla		
	Varia	Ghiaia grossa media	Ghiaia e Sabbia		Sabbia e Argilla - Limi							Argilla	
Grado di permeabilità		ELEVATA					BASSA					NULLA	
Complesso idrogeologico		Permeabile					Semi-permeabile					Imper.	

Limiti convenzionali

Tabella 15: Correlazione tra Grado di permeabilità relativa e ordine di grandezza del coefficiente di permeabilità in alcune rocce

Attraverso le indicazioni di tabella 15 è stato possibile assegnare alle varie litologie il grado di permeabilità più idoneo; questo ha portato un generale abbassamento della permeabilità relativa (in origine = *Classe 2a - Elevata*) di tutte le alluvioni oggetto di analisi; queste risultano, infatti, costituite da materiale a granulometria variabile da *sabbie limose ad argille* e per ciò aventi, rispettivamente, un grado di permeabilità da buono (2b) a molto basso (4) (vedi figura 26).

Dal risultato di questa analisi di dettaglio ne consegue che, abbassandosi il grado di permeabilità, si abbassi anche il corrispondente grado di sensibilità e che quindi si riduca sensibilmente la superficie di territorio comunale soggetta alla vincolistica del PTCP in materia di salvaguardia qualitativa delle risorse idriche.

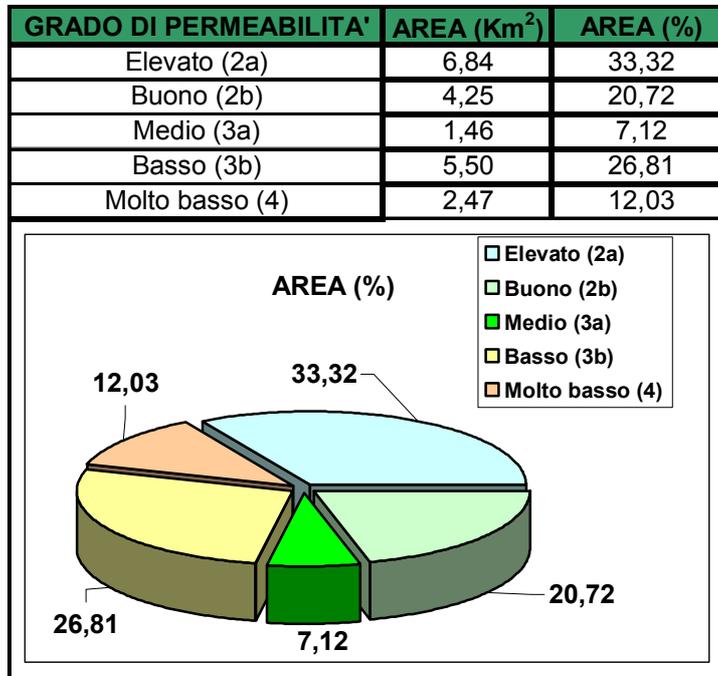


Figura 24: Riclassificazione delle alluvioni secondo la reale permeabilità

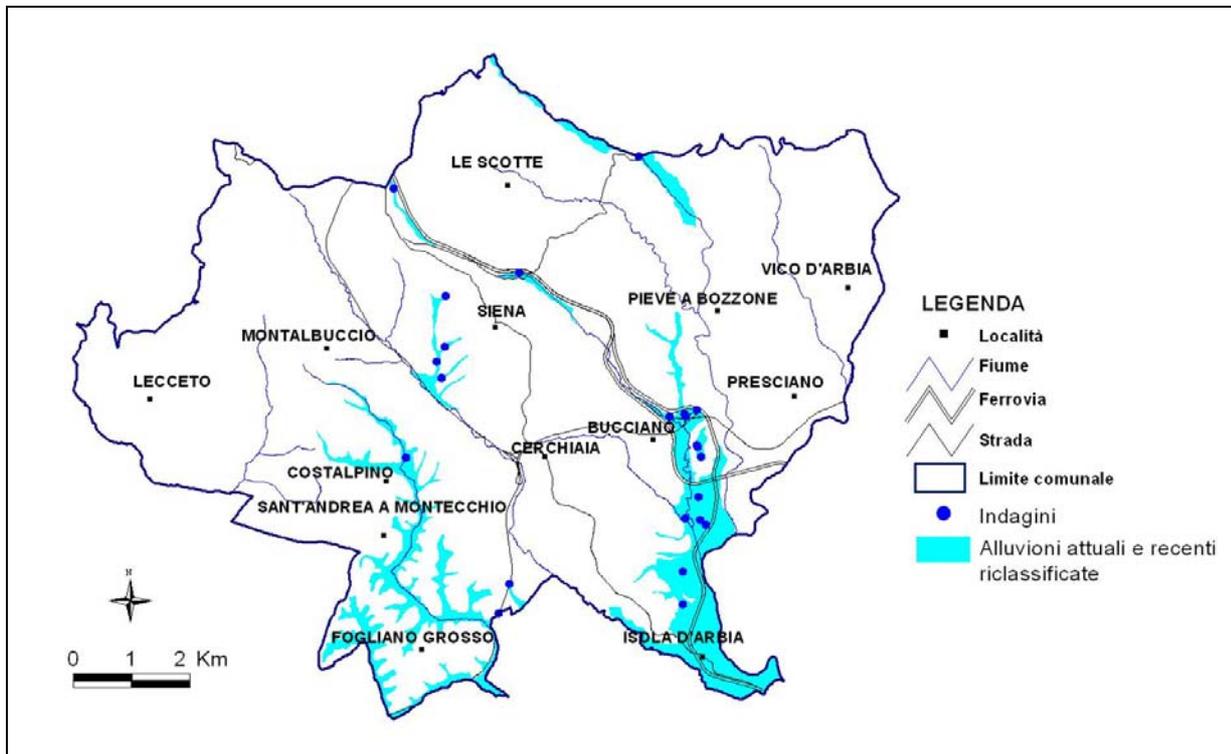


Figura 25: Distribuzione delle Alluvioni oggetto di riclassificazione nel territorio in studio

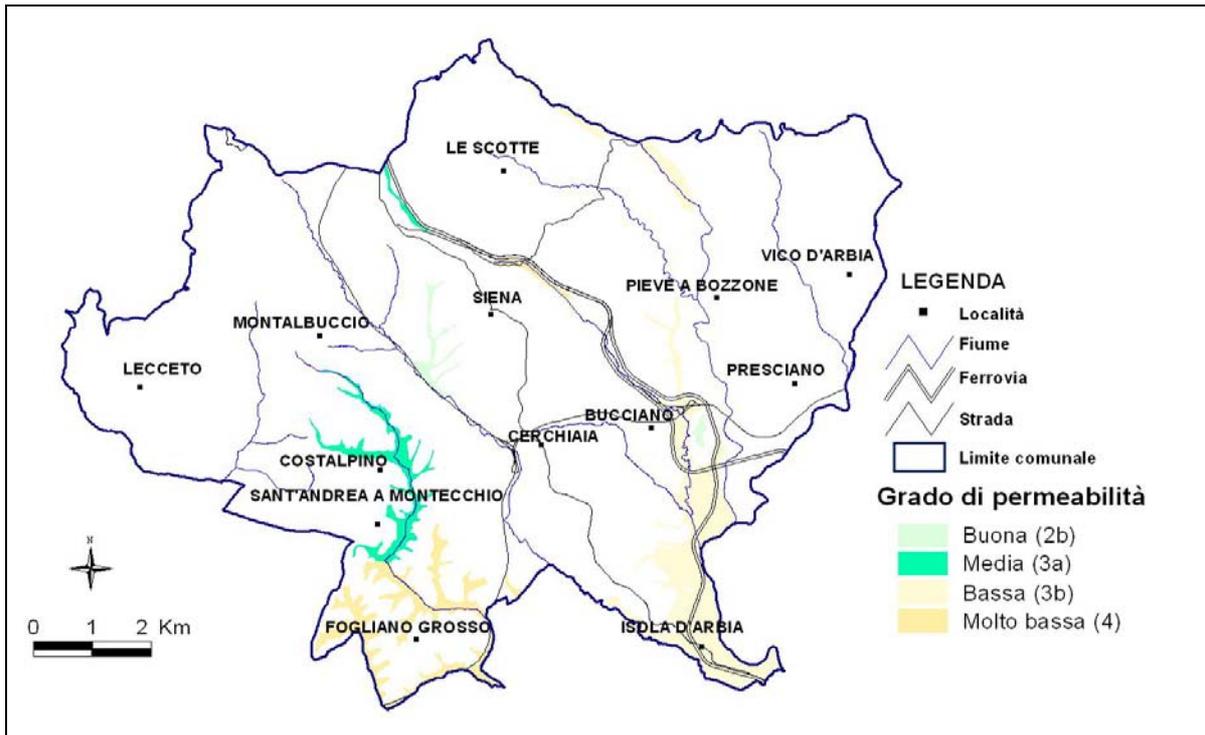


Figura 26: Alluvioni riclassificate secondo i nuovi gradi di permeabilità

Ad esemplificazione della metodologia adottata per tale “riclassificazione” è riportato di seguito un estratto dell’area del Ruffolo e di Abbadia (figura27).

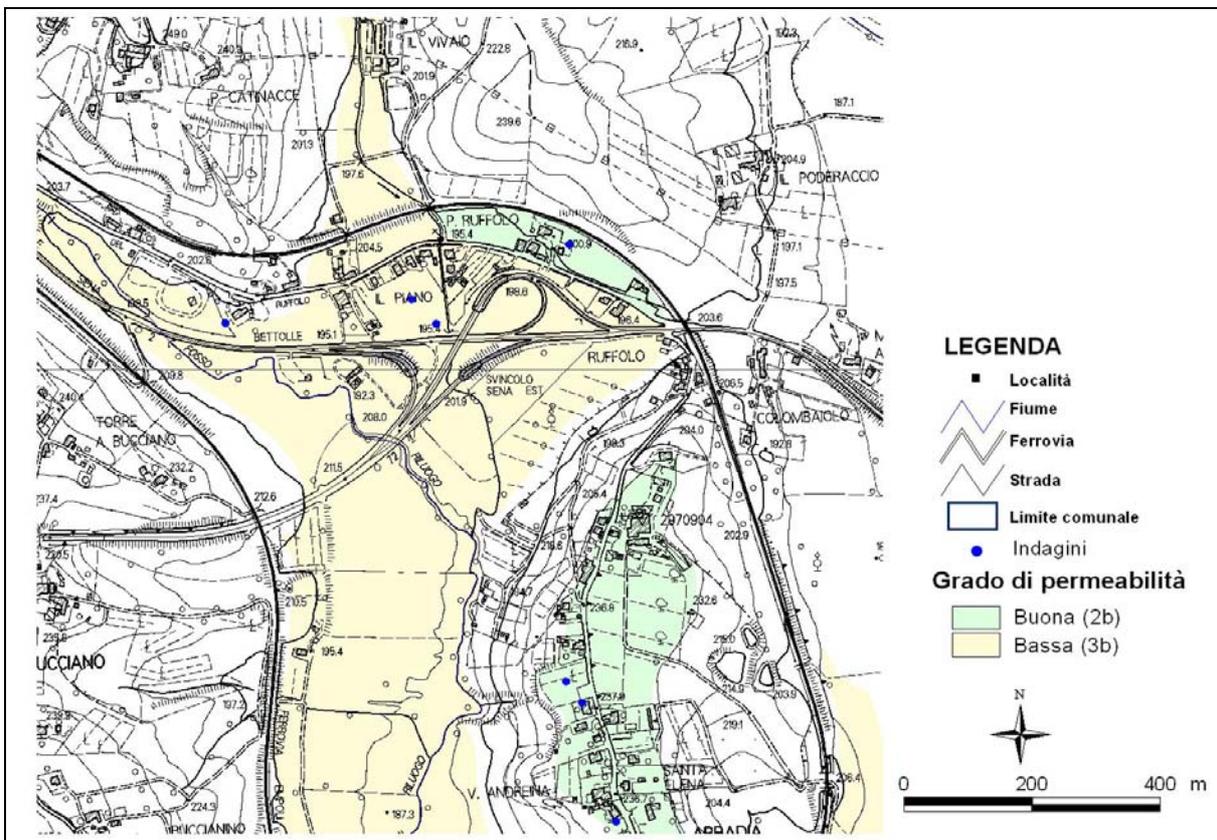


Figura 27: Estratto delle aree alluvionali riclassificate

Le figure 28 e 29 mostrano due tipologie di indagini (un sondaggio e una CPT) utilizzate per ricavare la composizione granulometrica e quindi per riclassificare, secondo le corrispondenze indicate in tabella 15, il grado di permeabilità delle Alluvioni all’interno dell’area di studio di figura 27.

COMMITTENTE : -					SONDAGGIO N° : 2							
LOCALITA' : Strada di Renaccio					TIPO SONDA:							
IMPRESA ESECUTRICE :					PERFORAZ. :							
DATA : settembre-97					QUOTA p. c. : 239 m s.l.m.							
Profondità	Spessore	Carotiere	Rivestimento	Litologia	Descrizione litologica	% carotaggio	rqd	livello falda	Campione	S.P.T.	Pocket p.	Vanerest
ml.	ml.	Ø						ml.			kg/cm ²	kg/cm ²
0,25					Terreno Agrario							
0,50	0,50											
0,75												
1,00												
1,25												
1,50												
1,75												
2,00												
2,25												
2,50												
2,75												
3,00												
3,25												
3,50												
3,75									C1			
4,00	6,50				Sabbie Limose di colore arancio marrone con ciottoli eterogenei ed eterometrici. I ciottoli sono costituiti in prevalenza da calcari di colore grigio scuro ed areniti calcaree fini.							
4,25												
4,50												
4,75									C2			
5,00												
5,25												
5,50												
5,75												
6,00								5,7				
6,25												
6,50												
6,75												
7,00	7,00											
7,25												

Figura 28: Esempio di sondaggio presente all'interno della pratica comunale n. 28778

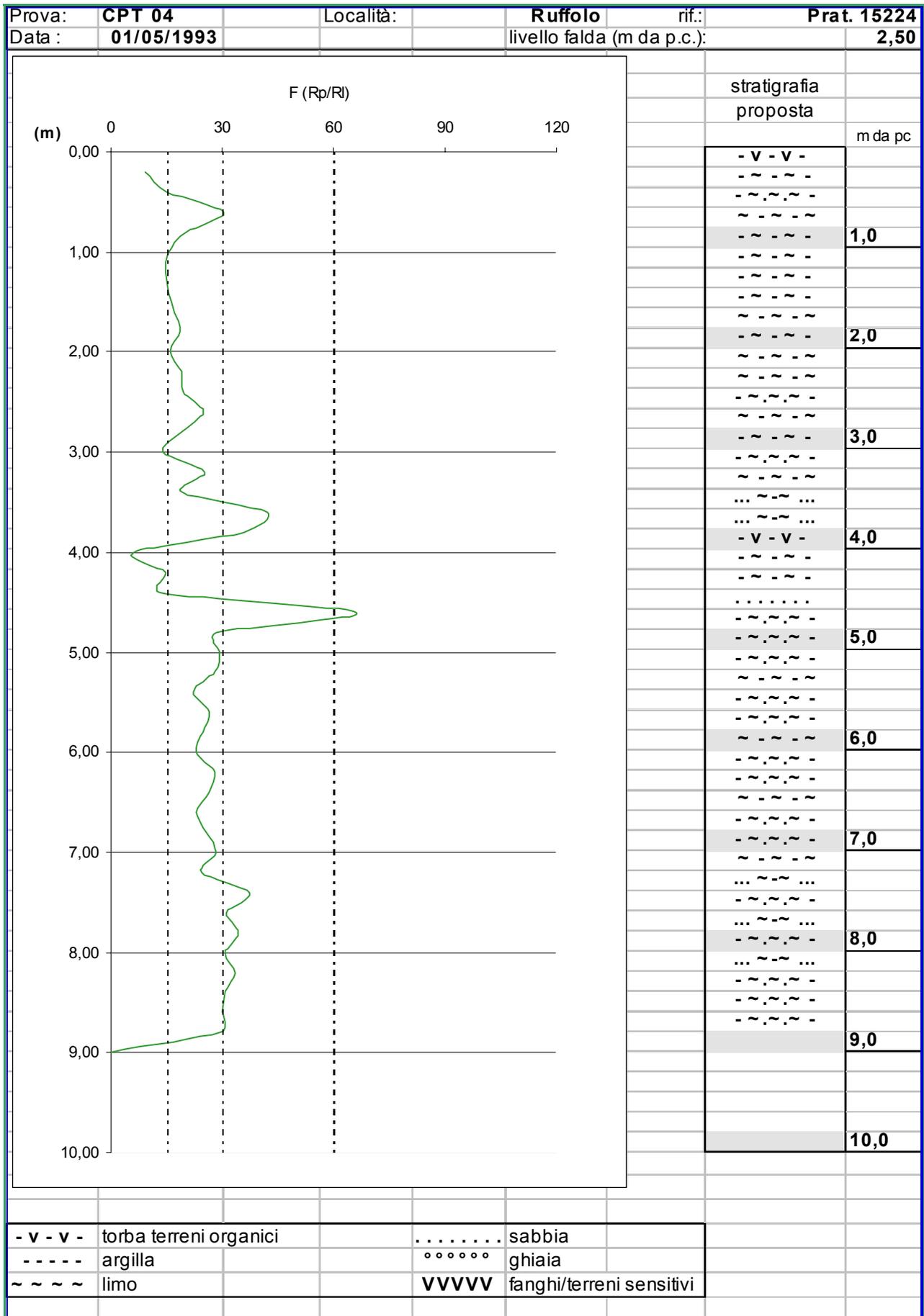


Figura 29: Esempio di CPT presente all'interno della pratica comunale n. 15224

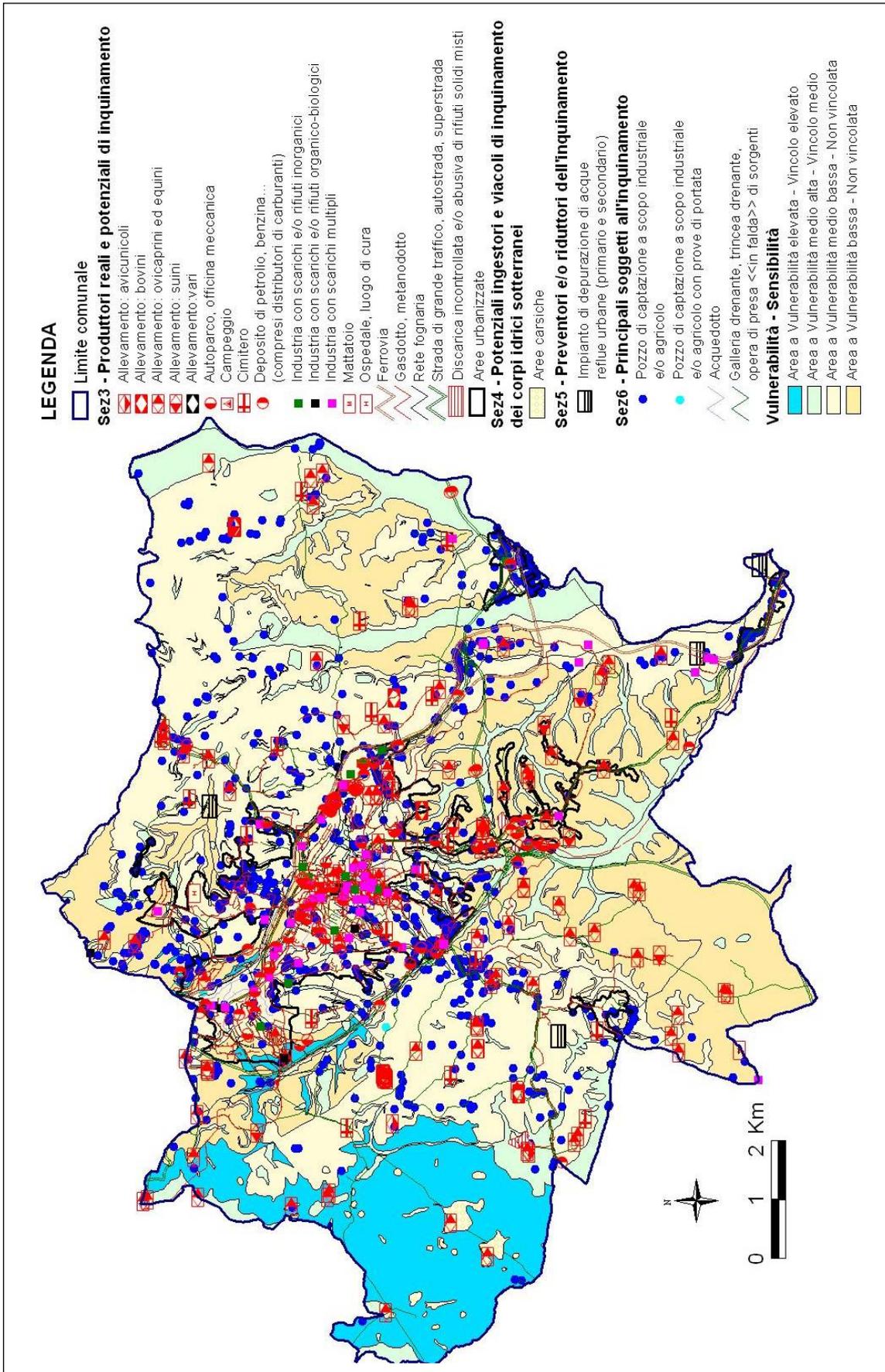


Figura 30 – Carta della Vulnerabilità integrata degli acquiferi all'inquinamento

3.3 Aspetti sismici (Tavola B.9.07)

Il Comune di Siena, secondo quanto prescritto dalla Regione Toscana (Del. C.R. n. 94 del 12.02.1985) attuazione della L.R. 17.04.1984 n. 21, viene classificato in classe 3 dei Comuni sismici di seconda categoria (accelerazione convenzionale max = 0.20g). Si è provveduto alla redazione della carta degli Aspetti Particolari per le Zone Sismiche (vedi figura 31 e tabella 16) con lo scopo di fornire informazioni circa situazioni particolari che possono portare a differenze nella risposta sismica locale.

Aspetti Sismici	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Cedimenti e cedimenti differenziali	o	o	o
Frane	o	o	o
Amplificazione per effetti morfologici	o	o	
Amplificazione per effetti litologici	o	o	
Liquefazione	o		

Tabella 16 – Aspetti sismici che devono essere presi in considerazione nei Comuni classificati sismici

Nell'elaborato realizzato sono state evidenziate quelle aree le cui caratteristiche sono tali da poter generare differenti risposte in caso di sisma e che rappresentano una debolezza del sistema e quindi possono portare a fenomeni di instabilità dinamica sia per fenomeni franosi che per cedimenti e cedimenti differenziali. Sarà necessario tenere conto di questi aspetti nella fase progettuale in modo che siano impiegati destinazioni d'uso e criteri costruttivi appropriati (dimensionamento delle strutture, valutazioni delle azioni sismiche di progetto, scelta del coefficiente di fondazione, ecc.).

Queste aree sono state valutate tenendo in considerazione gli effetti proposti dalla normativa vigente precedentemente citata; nello specifico sono state analizzate:

- Le caratteristiche e le condizioni dei terreni che potrebbero innescare fenomeni di instabilità dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali e instabilità dinamica per fenomeni franosi.

Nella presente carta sono stati individuati i seguenti aspetti sismici richiesti dalla normativa:

a) Instabilità dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali:

- Depositi a granulometria eterogenea, poco addensati suscettibili di densificazione.
In questa categoria sono stati inseriti tutti i depositi alluvionali (escluso bnb(SL), bnb(S), bnb(SL)), le discariche, i detriti, i terreni di riporto, le frane che sono costituiti da ghiaie e sabbie ma soprattutto da limi ed anche da argille.
- Contatti tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche diverse.
Grazie al supporto della carta litotecnica e della carta geologica sono stati raggruppati i litotipi a caratteristiche fisico meccaniche simili. Nello specifico si è deciso l'accorpamento di tutti i depositi alluvionali, escluso i depositi alluvionali terrazzati di secondo ordine (bnb(SL), bnb(S), bnb(SL)), colluviali, eluvio-colluviali, detriti e frane (b(G), b(GL), b(GS), b(LA), b(S), b(SG), b(SGL), b(SL), bna(GS), bna(GSL), bna(S), bna(SL), aa, b7a, b2a, a1q, a1a, e2a, e2a, h1, h5) , sono state accorpate tutte le argille (FAA, FAAb, ACN), tutti i conglomerati (MESa, CCA, MESb, VINb), le sabbie del Pliocene (PLIs, PLIb), ed in fine la Formazione di Santa Fiora (FIA). Una volta raggruppati i litotipi con le stesse caratteristiche fisico meccaniche, si è provveduto ad evidenziare i contatti tra le formazioni che presentano proprietà fisico meccaniche diverse.

b) Instabilità dinamica per fenomeni franosi:

- Frane attive e quiescenti.
Utilizzando come supporto sia la carta Geologica che la carta Geomorfologica entrambe in scala 1:10.000 (descritte nei par. 2.1 e 2.2) è stato possibile ottenere una visualizzazione completa della distribuzione delle frane attive e quiescenti presenti sul territorio comunale;

- Pendii a franapoggio meno inclinati del pendio.
Questa categoria comprende i versanti sui quali le Formazioni geologiche hanno una stratificazione disposta a franapoggio con angolo di inclinazione minore di quella del versante (questa situazione stratigrafica rappresenta quella più instabile); una sollecitazione indotta da un evento sismico potrebbe provocare dei franamenti. Tali versanti sono stati selezionati tramite delle query dalla carta delle Giaciture degli strati (vedi par. 6 e figura 14 nell'allegato 1);
- Pendii con presenza di sabbie sciolte, argille e limi soffici o detriti con pendenza media > 15%.
Dalla carta delle pendenze (paragrafo 2.4) sono stati selezionati tutti quei pendii caratterizzati da un'inclinazione del piano lungo la linea di massima pendenza maggiore del 15%; dalla carta geologica invece sono stati estratti tutti i depositi, le discariche, i detriti, i terreni di riporto e le frane. Interpolando i due tematismi con delle operazioni di overlay è stato possibile estrarre solo quei pendii che presentano una pendenza maggiore del 15% e sui quali affiorano i depositi sopraelencati. È stato scelto in via cautelativa di considerare il valore della pendenza maggiore del 15% che presuppone la presenza di una falda superficiale, questo in realtà è vero solo in parte (vedi par. 2.5 carta Idrogeologica).

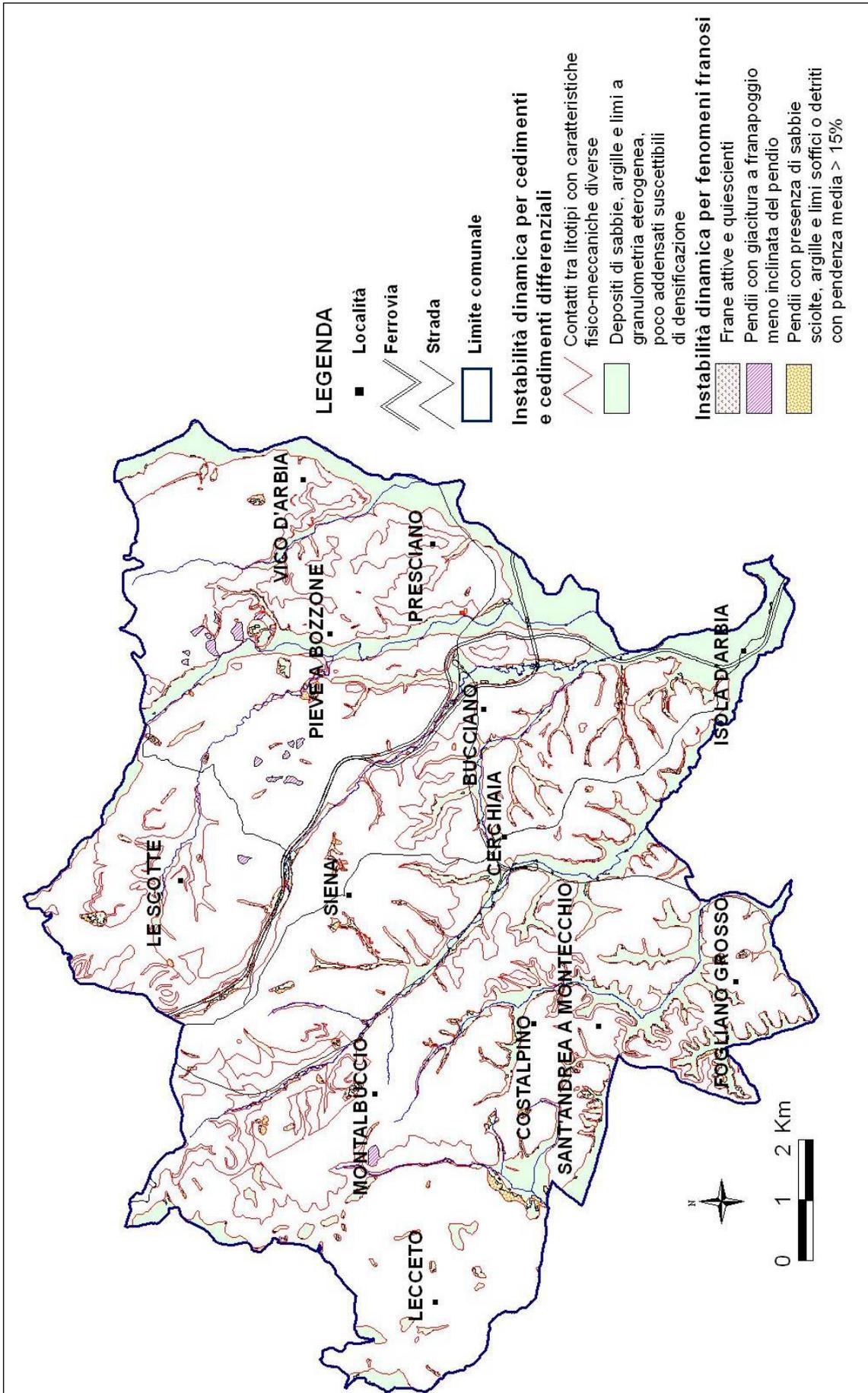


Figura 31: Carta degli Aspetti sismici

3.4 Rischio idraulico (Tavola B.9.10)

3.4.1 Gli Ambiti fluviali

(Lucia Buracchini, Benedetta Mocenni, Marco Signorelli – Comune di Siena)

Il presente studio è stato eseguito in ottemperanza della delibera n.12 del 25 Gennaio 2000 “Approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale”, che approva il Piano di Indirizzo Territoriale.

Nell’Allegato 5 della suddetta normativa sono elencati i corsi d’acqua sottoposti alle prescrizioni, ai vincoli e alle direttive sul rischio idraulico. I corsi d’acqua del Comune di Siena, interessati da tali prescrizioni, sono riportati nella tabella che segue.

NOME CORSO D'ACQUA	CODICE	AMBITO
FIUME ARBIA	SI706	AB
FOSSO ARNANO	SI848	AB
FOSSO BOLGIONE	SI894	A
TORRENTE BOZZONE	SI2489	AB
BOTRO FOGNA	SI328	AB
VENA DI FONTEBRANDA, FOSSO PESCAIA E PESCINI	SI2982	A
BOTRO QUERCIOLA	SI405	AB
FOSSO RIGO	SI2752	AB
BORRO DI RIGO	SI155	AB
FOSSO RILUOGO	SI1645	AB
FOSSO SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	SI1756	AB
TORRENTE SORRA	SI2863	AB
TORRENTE TRESSA	SI2912	AB
BORRO VALLI E BORRO RIBUCCIANO	SI218	A
FOSSO SCHEGGIOLLA ⁽¹⁾ (detto Borro del Molinaccio in alcune cartografie)	S383	A

Tabella 17: Corsi d’acqua sottoposti a vincolo e relativo ambito compresi nel territorio del Comune di Siena

⁽¹⁾ Corso d’acqua non inserito negli elenchi della D.C.R. 12/00, ma presente nei recenti dati vettoriali di classificazione idraulica della Regione Toscana.

La normativa vigente individua i corsi d’acqua sottoposti a vincoli su base cartografica 1:25.000; per cui è stato necessario, durante la prima fase di lavoro, individuarne la corrispondenza geografica con il reticolo idrografico della Cartografia Tecnica Regionale adottata per gli elaborati del piano strutturale. A tale riguardo in alcuni casi, soprattutto per i tratti iniziali del corso d’acqua, i tracciati sono stati rivisti secondo quanto riportato nella versione vettoriale della CTR.

Secondo gli articoli 75 e 77 della D.C.R. 12/00 nel territorio in esame devono essere individuati gli ambiti fluviali A1 e B, per i corsi d’acqua menzionati in tabella, al fine di poter applicare i vincoli e le prescrizioni previste dalla stessa (vedi figura 32).

Ambito A1 (art. 75)

“Si applicano agli interventi in ambito denominato “A1” definito “di assoluta protezione del corso d’acqua”, che corrisponde agli alvei, alle golene, in ambito A della tabella 8, nonché alle aree comprese nelle due fasce della larghezza di ml. 10 adiacenti a tali corsi d’acqua, misurate a partire dal piede esterno dell’argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda.”

In accordo con i tecnici dell’Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Siena è stato deciso di non tracciare il limite relativo all’Ambito A1 dei suddetti corsi d’acqua in quanto le basi cartografiche adeguate (scala 1:2.000) non coprono l’intero territorio comunale mentre questo è coperto solo da cartografie (1:5.000 e 1:10.000) che non avrebbero permesso di individuare l’ambito in modo sufficientemente preciso.

Pur non avendo delimitato il perimetro della fascia A1, i corsi d’acqua indicati dalla normativa e sui quali sono presenti le limitazioni previste da tale classificazione, sono comunque stati adeguatamente evidenziati nella carta.

Ambito B (art. 77)

“Si applicano per le previsioni urbanistiche nell’ambito denominato “B” comprendente le aree potenzialmente inondabili in prossimità dei corsi d’acqua elencati nella tabella precedente, che possono essere necessarie per gli eventuali interventi di regimazione idraulica tesi alla messa in sicurezza degli insediamenti. Tale ambito corrisponde alle aree a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a due metri sopra il piede esterno d’argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda. Il limite esterno di tale ambito è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all’asse del corso d’acqua con il terreno alla quota altimetrica come sopra individuata e non potrà, comunque, superare la distanza di metri lineari 300 dal piede esterno dell’argine o dal ciglio di sponda.”

Al fine di individuare geometricamente le fasce ricadenti in ambito B si è proceduto al disegno delle aree in sinistra e in destra idrografica dei corsi d’acqua in modo tale da rispettare le condizioni geometriche imposte dalla legge.

Il lavoro è stato effettuato su una base cartografica in scala 1:5.000.

3.4.2 Il Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale Ombrone

Il territorio comunale di Siena fa parte del bacino del Fiume Ombrone; l’Autorità di Bacino ha recentemente approvato il proprio Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) le cui norme sono parte integrante del presente Piano Strutturale.

Le carte sviluppate nel PS, come detto, hanno tenuto conto delle indicazioni contenute nel P.A.I. Ombrone per quanto riguarda la classificazione delle aree a pericolosità idraulica definite P.I.M.E. e P.I.E. e delle aree a pericolosità geomorfologica classificate P.F.E. e P.F.M.E.. La scala di rappresentazione degli elaborati del PAI utilizzata è 1:10.000.

Nella carta degli Ambiti, sono state riportate anche le A.S.I.P., ovvero le “Aree strategiche per interventi di prevenzione” nelle quali, come specificato nelle relative norme, non sono ammesse nuove destinazioni urbanistiche di carattere insediativo.

Per quanto riguarda le “Aree di pertinenza fluviale” così come definite dall’art. 9 delle norme del PAI, queste saranno definite su una specifica cartografia in fase di Regolamento Urbanistico.

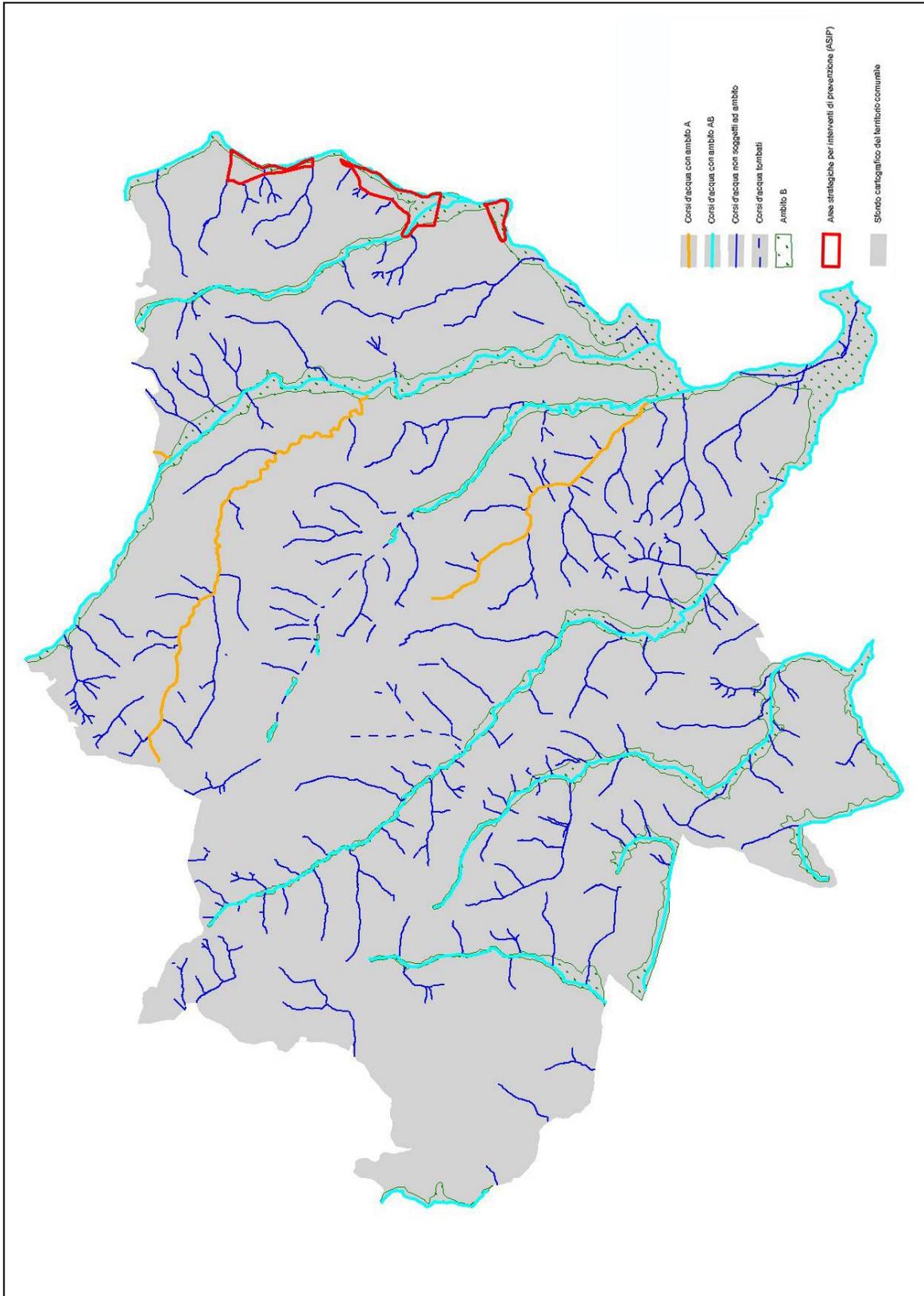


Figura 32: Carta degli Ambiti

4 LE CARTE DELLE PERICOLOSITA'

4.1 La carta della Pericolosità Geologica (Tavola C.3.01)

La carta della Pericolosità Geologica (vedi figura 34) è il risultato dell'integrazione della carta della Stabilità Potenziale Integrata dei versanti (par. 3.1) con alcuni elementi derivanti dalla carta Geomorfologica (frane attive o quiescenti, aree carsiche attive o non attive, scarpate morfologiche) e con le conoscenze acquisite dalla redazione della carta degli Aspetti Sismici (par. 3.3). Essa è stata pertanto redatta tenendo conto dei seguenti elementi:

- Caratteristiche litotecniche;
- Disposizione spaziale degli strati e loro rapporti con il versante su cui affiorano;
- Acclività dei versanti;
- Uso del suolo ed elementi antropici con relativi effetti sull'ambiente circostante;
- Elementi geomorfologici;
- Fenomeni di amplificazioni o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

In base ai valori delle classi di instabilità, relative alla carta della stabilità potenziale integrata, al tipo di elemento geomorfologico presente su una determinata area (frana attiva o quiescente, area carsica attiva o non attiva, scarpata morfologica) e alle caratteristiche dei terreni in caso di terremoto, tutto il territorio comunale è stato suddiviso, secondo quanto richiesto dalla D.C.R. n. 94/85, in quattro classi di Pericolosità Geologica crescente (vedi figura 33):

➤ **(CLASSE 1) Pericolosità irrilevante**

➤ **(CLASSE 2) Pericolosità bassa**

➤ **(CLASSE 3) Pericolosità media**

➤ **(CLASSE 4) Pericolosità elevata**

Le aree che ricadono nella **classe 1** sono zone in cui non vi sono limitazioni derivanti da caratteristiche geologico-tecniche e morfologiche e non sono stati ritenuti probabili fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica. Questa classe è presente sul territorio comunale solo nella parte a Ovest del Comune (vedi figura 34), dove affiora la Breccia di Grotti (per chiarimenti vedere paragrafo 3.3) e presenta un'estensione pari a 8.12 Km² corrispondenti a circa il 6.85% dell'intero territorio.

La **classe 2** individua le aree apparentemente stabili e prive di problematiche geologico-tecniche particolari, costituite da terreni in cui non sono presenti indizi geomorfologici attivi. Tali zone corrispondono, nel territorio comunale di Siena, a quelle superfici piane o collinari poco acclivi su depositi alluvionali e misti dove non si osservano particolari evidenze di instabilità potenziale. Le aree a bassa pericolosità corrispondono a 94.46 Km², ovvero più dei due terzi del Comune di Siena pari al 79.63%.

Si è assegnato una **classe 3** di pericolosità alle aree interessate da:

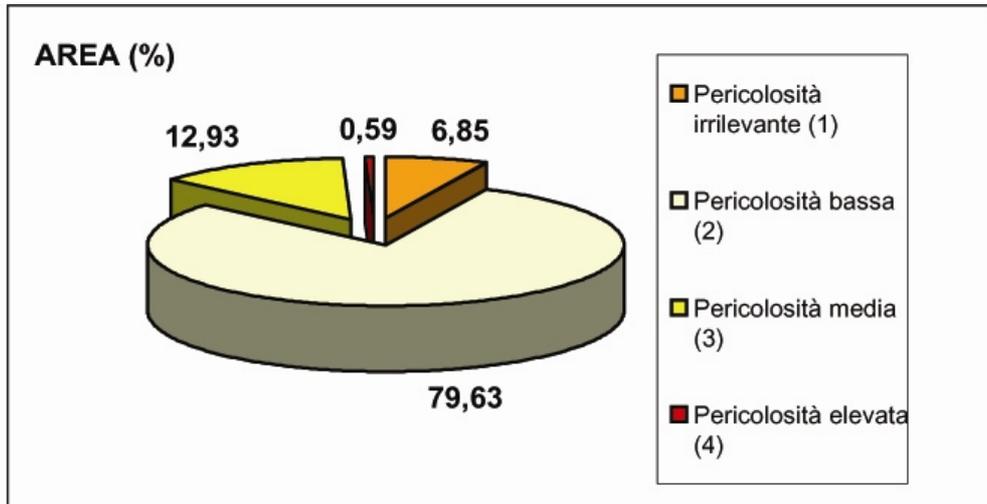
- Frane quiescenti
- Aree carsiche non attive
- Soliflusso
- Aree a forte pendenza (maggiore del 35%) non associate a scarpate attive
- Aree a media instabilità, così come individuate nella carta della stabilità potenziale integrata dei versanti

Inoltre è stata assegnata una classe 3 di pericolosità geologica come zona di passaggio nelle aree dove c'era un contatto diretto tra pericolosità 4 e pericolosità 2, definendo una fascia di 25 m di larghezza. Le zone interessate dalla classe 3 ricoprono il 12.93%, corrispondenti a circa 15,34 km² del territorio comunale.

La **classe 4** di pericolosità è stata assegnata a:

- Frane attive
- Aree carsiche attive
- Aree a forte pendenza (maggiore del 35 %) associate a scarpate attive (in erosione o con fenomeni gravitativi)
- Aree a forte instabilità, così come individuate nella carta della stabilità potenziale integrata dei versanti

Le aree interessate da questa classe ricoprono il 0.59% corrispondente a circa 0.70 km².



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA	AREA (%)	AREA (Kmq)
Pericolosità irrilevante (1)	6,85	8,12
Pericolosità bassa (2)	79,63	94,46
Pericolosità media (3)	12,93	15,34
Pericolosità elevata (4)	0,59	0,70

Figura 33 – Suddivisione del territorio comunale in base alle classi di Pericolosità Geologica

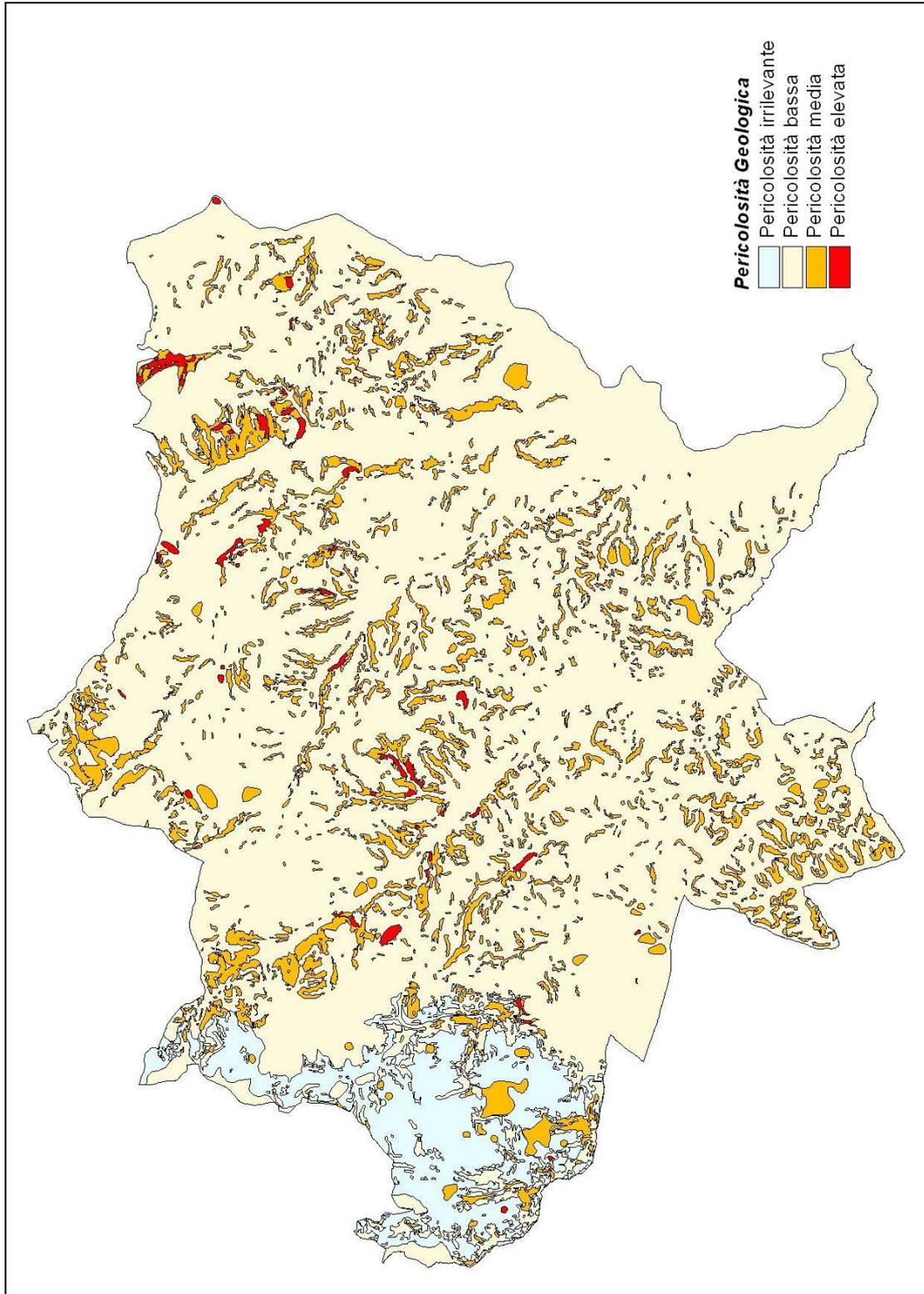


Figura 34 – Carta della Pericolosità Geologica

4.2 La carta della Pericolosità Idraulica (Tavola C.3.02)

(Lucia Buracchini, Benedetta Mocenni, Marco Signorelli – Comune di Siena)

Le classi di pericolosità

L'individuazione delle classi di pericolosità idraulica è stata effettuata per l'intero territorio comunale secondo le metodologie previste nell' art. 80 della Del.n.12 del 25.01.2000, suddividendo il territorio nelle seguenti quattro classi (vedi figura 35):

- Pericolosità irrilevante (Classe 1);
- Pericolosità bassa (Classe 2);
- Pericolosità media (Classe 3);
- Pericolosità elevata (Classe 4).

La suddetta carta è derivata dalla analisi di vari elementi provenienti dalle seguenti fonti:

1. Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Regionale Ombrone (PAI)
2. Carta Geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000
3. Delimitazione degli Ambiti
4. Notizie storiche.

Alle zone interessate dal passaggio di corsi d'acqua tombati, è stata assegnata una classe di Pericolosità Idraulica 3. Tale classificazione è stata ottenuta delimitando le porzioni di aree comprese entro i due metri di quota dalla sommità dello scatolare. Nel caso in cui quest'ultimo sia risultato ad una profondità dal p.c. superiore ai due metri, la zona con classificazione 3 corrisponde all'ingombro della sagoma del manufatto.

Classe 1 (pericolosità irrilevante)

Ricadono in questa classe di pericolosità idraulica le aree collinari o montane in situazioni favorevoli di alto morfologico laddove non si rilevino notizie di eventi critici e per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- *non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;*
- *sono in situazione favorevole di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori di ml. 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

In tali aree non sono necessarie considerazioni sulla riduzione del rischio idraulico".

Ricadono in questa classe tutti i rilievi collinari del territorio del Comune di Siena ovvero tutte le aree che si trovano in posizione altimetrica superiore di 2 m dal ciglio di sponda o argine e che non sono stati interessati da fenomeni di esondazione.

Classe 2 (pericolosità bassa)

Comprende le aree di fondovalle per le quali ricorrono seguenti condizioni:

- *non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;*
- *sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a ml. 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.*

Fanno parte di questa classe tutte le aree di fondovalle che siano prive di notizie storiche di esondazioni e contemporaneamente a quote sufficientemente alte da restare all'esterno dell'Ambito B. Nel nostro studio tali aree corrispondono ai depositi alluvionali attuali (b) e terrazzati di primo (bn_1) e di secondo ordine (bn_2).

Classe 3 (pericolosità media)

In tale classe rientrano quelle aree di fondovalle con morfologia sfavorevole per le quali ricorre almeno una delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a ml. 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Rientrano in questa classe le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorre una sola delle condizioni di cui sopra; relativamente alle aree di questa classe di pericolosità deve essere allegato allo strumento urbanistico uno studio anche a livello qualitativo che illustri lo stato di efficienza e lo schema di funzionamento delle opere idrauliche ove presenti o che comunque definisca il grado di rischio. I risultati dello studio dovranno costituire elemento di base per la classificazione di fattibilità degli interventi e ove necessario indicare soluzioni progettuali tese a ridurre al minimo possibile il livello di rischio ed i danni agli interventi per episodi di sormonto o di esondazione.

Sono state inserite in questa categoria le aree comprese in Classe 3 (P.I.E.) dall'Autorità di Bacino Ombrone nel PAI. Inoltre hanno avuto questa classificazione anche quelle aree ricadenti all'interno dell'Ambito B definito come descritto sopra in cui non vi erano contemporaneamente notizie storiche ricavate da cartografie precedentemente elaborate dal Comune di Siena. Sono state anche inserite in questa classe aree con quota posta a ml. 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda, circostanti i corsi d'acqua privi di ambito.

Classe 4 (pericolosità elevata)

Ricadono in questa classe le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono entrambe le seguenti condizioni

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a ml. 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Relativamente a queste aree deve essere allegato allo strumento urbanistico uno studio idrologico-idraulico che definisca attraverso i normali metodi dell'idrologia con precisione il livello di rischio relativo all'area nel suo complesso, i risultati dello studio dovranno costituire elemento di base per la classificazione di fattibilità degli interventi. Nel caso in cui dallo studio risulti che l'area interessata è soggetta a fenomeni di inondazione con tempi di ritorno compresi tra 0 e 20 anni i nuovi strumenti urbanistici generali o loro varianti non dovranno consentire previsioni edificatorie salvo che per infrastrutture a rete non diversamente localizzabili a condizione che per queste ultime si attuino tutte le precauzioni necessarie per la riduzione del rischio idraulico a livelli compatibili con le caratteristiche dell'infrastruttura.

Nel caso in cui dallo studio risulti invece che l'area interessata è soggetta a fenomeni di inondazione con tempi di ritorno superiori a 20 anni dovranno essere previsti interventi di messa in sicurezza atti alla riduzione del rischio ma non alteranti il livello dello stesso nelle aree adiacenti.

Tali interventi dovranno dimostrare il raggiungimento di un livello di rischio di inondazione per piene con tempo di ritorno superiore a cento anni e dovranno essere coordinati con altri eventuali piani idraulici esistenti.

Sono state inserite in quest'area le aree classificate in Classe 4 (P.I.M.E.) nel Piano di Assetto Idrogeologico.

Inoltre, sono state inserite in classe 4 quelle aree dove si è presentata la corrispondenza areale tra le notizie storiche e gli elementi geometrici (Ambito B).

Da un esame complessivo della carta prodotta appare evidente che le aree ricadenti in Classe 4 (circa 3.77%) e in Classe 3 (circa 7.24%) di pericolosità idraulica coprono circa il 11% dell'intero territorio comunale; le aree della Classe 4 risultano concentrate quasi totalmente in prossimità del Fiume Arbia, mentre quelle della Classe 3 si estendono principalmente in prossimità dei corsi d'acqua secondari. Il restante 90% del territorio è ricadente nelle Classi a pericolosità idraulica 1 e 2.

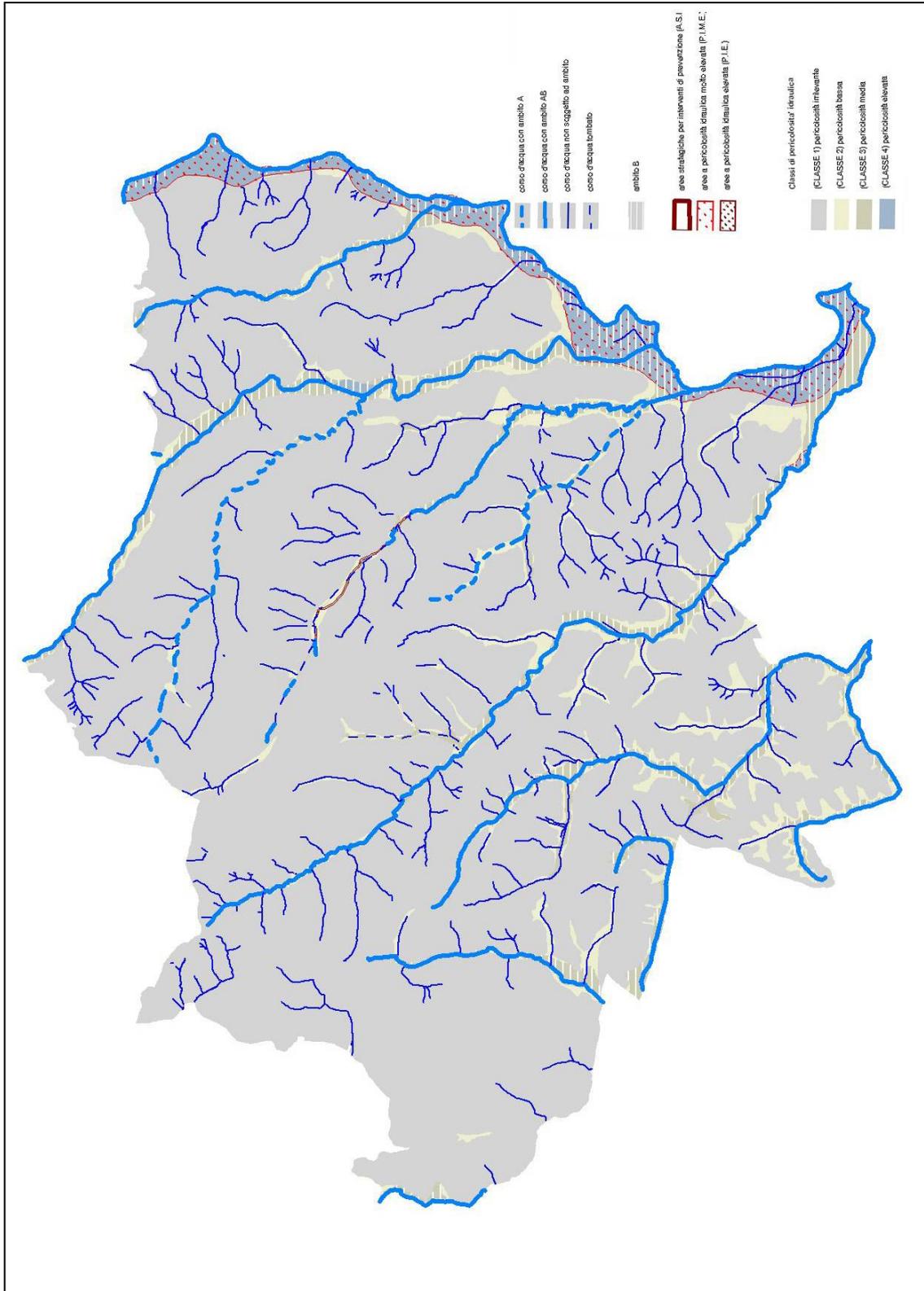


Figura 35 – Carta delle Pericolosità Idraulica

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE: LA CARTA DELLE PERICOLOSITÀ INTEGRATE (TAVOLA C.3.03)

La carta delle pericolosità integrate (vedi figura 37) rappresenta la sintesi di tutti gli elaborati cartografici redatti e di tutte le conoscenze geologiche, litotecniche, geomorfologiche, idrauliche e sismiche acquisite sul territorio comunale. Si è scelto di riprodurre questo tipo di carta sia per indicare l'ubicazione e l'intensità dei fenomeni e delle criticità presenti, sia per permettere una lettura di uno unico elaborato che individua oltre alla classe di pericolosità di una determinata area, anche la causa che ha portato a questa classificazione. La carta ottenuta è pertanto il risultato della sovrapposizione della carta della Pericolosità Geologica con la carta della Pericolosità Idraulica.

Il territorio comunale è stato suddiviso in 4 classi principali, ma al fine di evidenziare gli aspetti sopra citati si è resa necessaria un'ulteriore suddivisione di queste ultime adottata solamente per le classi 3 e 4 in quanto prevedono particolari vincoli di intervento (vedi tabella 18).

Nella **classe 1**, pericolosità irrilevante, ricadono le aree in cui sono assenti limitazioni derivanti da caratteristiche geologico-tecniche e morfologiche e non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

Alla **classe 2**, pericolosità bassa, corrispondono situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili sulle quali però permangono dubbi che, comunque, potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.

Nelle aree che ricadono in **classe 3**, pericolosità media, non sono presenti fenomeni attivi, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito sono tali da far ritenere che esso si trovi al limite dell'equilibrio e/o possa essere interessato da fenomeni di amplificazione della sollecitazione sismica o di liquefazione o interessato da episodi di alluvionamento o difficoltoso drenaggio delle acque superficiali. In queste zone ogni intervento edilizio è fortemente limitato e le indagini di approfondimento dovranno essere condotte a livello dell'area nel suo complesso; sono, inoltre, da prevedersi interventi di bonifica o miglioramento dei terreni e/o l'adozione di tecniche fondazionali di un certo impegno.

Tale classe di pericolosità è stata suddivisa in 3 sottoclassi (3a, 3b, 3c) allo scopo di mettere in evidenza gli elementi che determinano il grado di pericolosità e conseguentemente delineare il tipo di intervento più idoneo in fase di progettazione e realizzazione di una qualsiasi opera che vada ad incidere in maniera significativa su tali terreni:

- 3a: corrisponde ad una pericolosità media derivante dalla carta della Pericolosità Geologica;
- 3b: corrisponde ad una pericolosità media derivante dalla carta della Pericolosità Idraulica;
- 3c: corrisponde ad una pericolosità media derivante sia dalla carta della Pericolosità Geologica, sia dalla carta della Pericolosità Idraulica.

Infine nella **classe 4**, ricadono aree a pericolosità elevata. Anche in questo caso abbiamo suddiviso tale classe individuando 5 sottoclassi:

- 4a: corrisponde ad una pericolosità elevata derivante dalla carta della Pericolosità Geologica;
- 4b: corrisponde ad una pericolosità elevata derivante dalla carta della Pericolosità Idraulica;
- 4d: corrisponde ad una pericolosità elevata derivante sia da aree in classe 4 della carta della Pericolosità Idraulica, sia da aree in classe 3 della carta della Pericolosità Geologica;
- 4e: corrisponde ad una pericolosità elevata derivante sia da aree in classe 4 della carta della Pericolosità Geologica sia da aree in classe 3 della carta della Pericolosità Idraulica.
- 4f: corrisponde ad una pericolosità elevata derivante sia dalla carta della Pericolosità Geologica, sia dalla carta della Pericolosità Idraulica; questa non è presente all'interno del Comune di Siena;

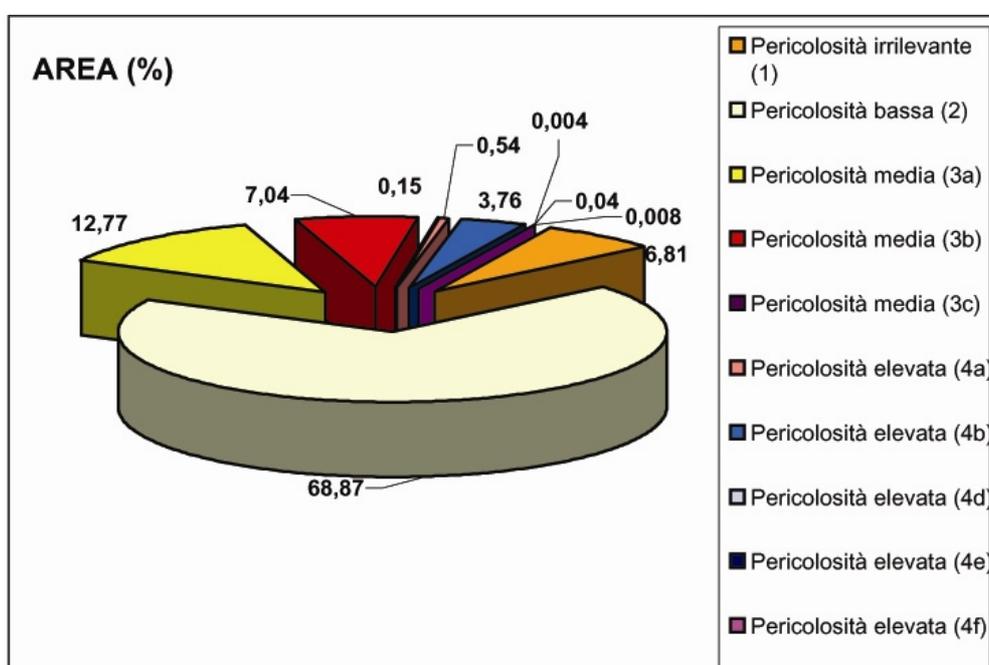
Complessivamente è possibile osservare che la classe predominante presente nel Comune di Siena è la classe 2 (pericolosità bassa) corrispondente a circa il 68.8% del territorio. Dalla cartografia è possibile osservare come questa sia distribuita in modo uniforme su tutta l'area comprendendo ben 81,69 Km².

Le zone a pericolosità irrilevante (classe 1) occupano circa 8.08 Km² pari a 6.8% del territorio comunale e sono situate solamente nella parte Ovest del Comune (ovvero dove è presente una pericolosità geologica di classe 1). In questa classe (come su tutto il territorio comunale) vale il fatto che, trattandosi comunque di un territorio classificato sismico (Classe 3), nella progettazione delle infrastrutture in essa eventualmente previste, si dovrà far riferimento alla normativa nazionale e regionale *per le costruzioni in zona sismica*.

Analizzando le 2 classi a maggior pericolosità, si può rilevare quanto segue:

- Per quanto riguarda la **classe 3** (vedi figura 36) essa costituisce circa il 20.0% del territorio, di cui circa 15.15 Km² dipendono da aspetti geologici, geomorfologici e sismici (vedi paragrafo 4.1); 8.35 Km² sono dovuti a motivi idraulici e ricadono nei fondovalle alluvionali dei corsi d'acqua minori e solo 0.18 Km² individuano le aree di sovrapposizione caratterizzate da una doppia pericolosità media (idraulica e geologica).
- La **classe 4** è quella meno presente sul territorio senese ed infatti occupa il 4.4% dell'intero Comune; di questa percentuale la pericolosità geologica comprende 0.64 Km² (classe 4a) del territorio e rappresenta aree caratterizzate o da un'instabilità forte o dalla presenza di frane attive, mentre i 4.46 Km² corrispondono ad un'elevata pericolosità idraulica (classe 4b) e sono poste soprattutto nell'area di pertinenza del Torrente Arbia.

Per quanto riguarda le aree di sovrapposizione è da rilevare che il Comune presenta un'unica zona dove la pericolosità elevata è causata sia da elementi derivanti dalla carta della Pericolosità Geologica, sia da elementi derivanti dalla carta dalla Pericolosità Idraulica (4f). Altre sovrapposizioni rilevate occupano un'area pari a 9000 m², classificata con grado di pericolosità geologica 4 e con grado di pericolosità idraulica 3 (classe 4e), ed un'area di 5000 m², quando la pericolosità elevata è dovuta ad una pericolosità idraulica di grado 4 ed una pericolosità geologica di grado 3 (classe 4f).



CLASSI DI PERICOLOSITA'	AREA (Kmq)	AREA (%)		
		Area (%)	Area (%)	Area (%)
Pericolosità irrilevante (1)	8,08	6,81	6,8	75,6
Pericolosità bassa (2)	81,69	68,87	68,8	
Pericolosità media (3a)	15,15	12,77	20,0	24,3
Pericolosità media (3b)	8,35	7,04		
Pericolosità media (3c)	0,18	0,15		
Pericolosità elevata (4a)	0,64	0,54	4,4	
Pericolosità elevata (4b)	4,46	3,76		
Pericolosità elevata (4d)	0,05	0,04		
Pericolosità elevata (4e)	0,005	0,004		
Pericolosità elevata (4f)	0,009	0,008		

Figura 36 – Suddivisione del territorio comunale in base alle classi di pericolosità

Nella tabella 18 è riportata una rappresentazione matriciale della legenda relativa a questo elaborato; la matrice realizzata permette di individuare le sovrapposizioni tra le due carte delle pericolosità precedentemente descritte che hanno permesso la realizzazione della carta delle Pericolosità Integrate.

	Pericolosità geologica (G)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Pericolosità idraulica (I)				
Classe 1	1	2	3a	4a
Classe 2	2	2	3a	4a
Classe 3	3b	3b	3c	4e
Classe 4	4b	4b	4d	4f

Tabella 18 – Matrice delle classi di pericolosità

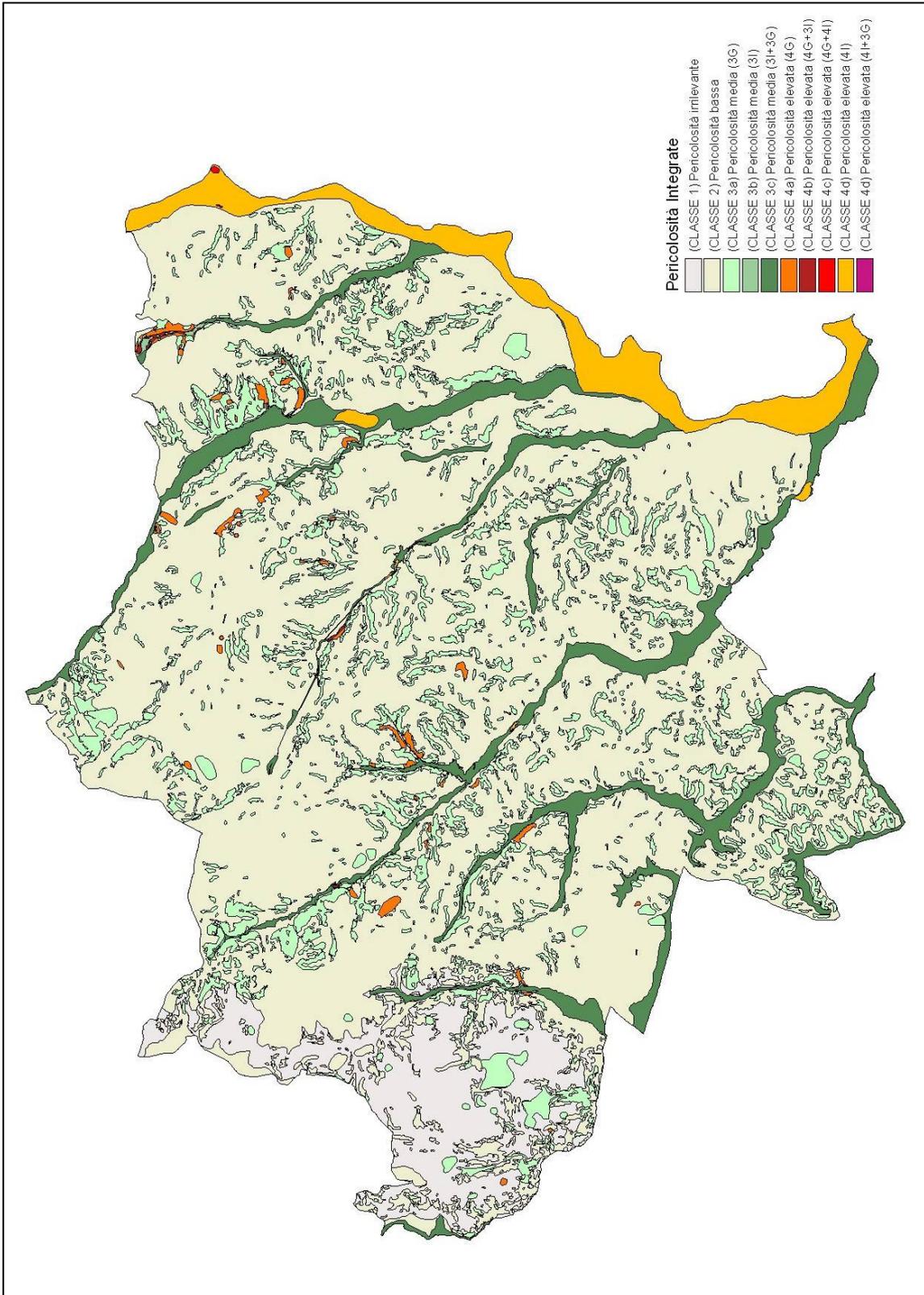


Figura 37 – Carta delle Pericolosità Integrate

6 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (TAVOLA C.3.05)

Ai fini dell'adeguamento del Piano Strutturale alle Norme del PAI del Bacino Regionale dell'Ombrone, è stata redatta la Carta della Pericolosità Geomorfológica sulla base dei sottoelencati elementi.

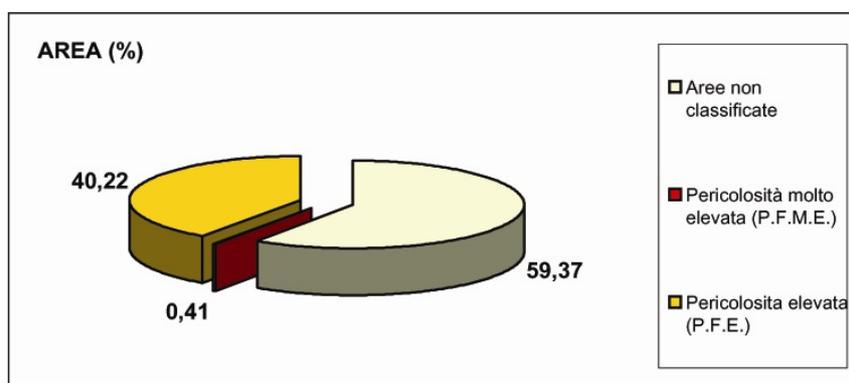
La classe di Pericolosità Geomorfológica Molto Elevata (P.F.M.E.) corrisponde a:

- Frane attive con relativa area di influenza
- Aree carsiche attive
- Aree a forte pendenza (maggiore del 35 %) associate a scarpate attive (in erosione o con fenomeni gravitativi)

La classe di Pericolosità Geomorfológica Elevata (P.F.E.) corrisponde a:

- Frane quiescenti con relativa area di influenza
- Aree carsiche non attive
- Soliflusso
- Aree definite con classe 3 e classe 4 nella Carta della Stabilità Potenziale dei Versanti
- Aree a forte pendenza (maggiore del 35 %) non associate a scarpate attive.

Complessivamente è possibile osservare che oltre la metà del territorio comunale (circa il 59%) non abbia una pericolosità geomorfológica secondo le Norme del PAI. Le aree con pericolosità molto elevata sono pari allo 0.41%, mentre quelle con pericolosità elevata rappresentano una notevole estensione che corrisponde a 47.71 Km², ovvero al 40.22% dell'intero comune.



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	AREA (%)	AREA (Kmq)
Aree non classificate	59,37	70,42
Pericolosità elevata (P.F.E.)	40,22	47,71
Pericolosità molto elevata (P.F.M.E.)	0,41	0,49

Tabella 19 – Classi di pericolosità geomorfológica

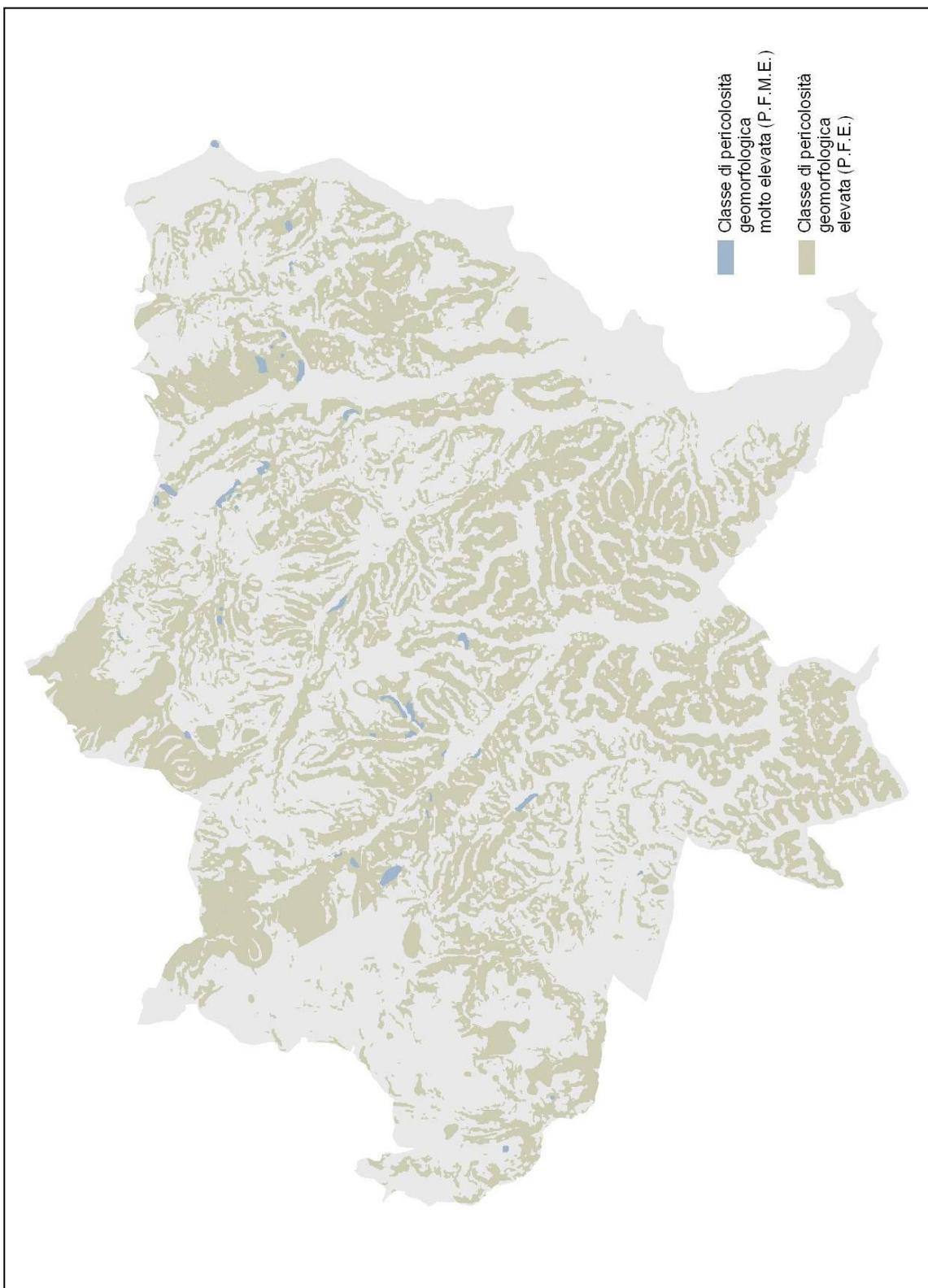


Figura 38 – Carta della Pericolosità Geomorfológica

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA.VV. (1998) – *Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena*. 1. Relazione generale. 2 Norme. 3 Allegati. Amministrazione Provinciale di Siena (2000).
- Amadesi E., Bonfatti F., Pignone R., Preti D., Vianello G. (1977) – *Guida alla realizzazione di una carta della stabilità dei versanti*. Collana di orientamenti geomorfologici ed agronomico-forestali, Pitagora Editrice, Bologna, 72 pp.
- Amadesi E., Vianello G. (1985) – *Metodologia per la realizzazione di una carta della stabilità*. Geol. Appl. e Idrogeologia, vol. 20, fasc. 2, Pitagora Editrice, Bologna.
- Bacino Regionale Ombrone (2005) – *Piano di Assetto Idrogeologico*. Regione Toscana.
- Barazzuoli P. & Micheluccini M. (1982) – *Idrologia ed aspetti idrogeologici*. In: Il Graben di Siena, CNR-PFE, SPEG, RF 9, Pisa, 37-60.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1993) – *L'acqua: risorsa, rischio e pianificazione*. In: "La storia naturale della Toscana meridionale", Pizzi Ed., Milano, 173-246.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1998) – *Analisi storica delle portate sorgive e delle precipitazioni*. In: "Studio della valutazione della vulnerabilità dell'acquifero del M. Amiata". Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto.
- Cestari F. (1990) – *Prove geotecniche in sito II Edizione*. Ed. GEO-GRAPH, Segrate, 1996, 401 pp.
- 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.
- 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 Ed., 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 Ed., 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., 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.
- Colombo P. (1974) – *Elementi di geotecnica*. Zanichelli, Bologna. 173 – 176.
- Colombo P. & Colleselli F. (1996) – *Elementi di geotecnica*. Zanichelli, Bologna.
- Comune di Siena (1992) – *Studio idrogeologico della falda idrica del Luco per la sua gestione e salvaguardia*. Rapporto pedologico e rapporto idrogeologico, coord. Baldi A.M.
- Comune di Siena (1990) – *Piano Regolatore Generale*.
- Comune di Siena (2005) – *Carta dell'uso del suolo, scala 1:10.000*.
- Comune di Siena (1996 – 2003) – *Relazioni geologico – tecniche, AA. VV.*
- Dipartimento di Scienze della Terra (1998a) – *Studio della valutazione della vulnerabilità dell'acquifero del M. Amiata: relazione preliminare*. Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto, maggio 1998. Coordinatori: P. Barazzuoli & M. Salleolini.
- Dipartimento di Scienze della Terra (1998b) – *Studio della valutazione della vulnerabilità dell'acquifero del M. Amiata: relazione finale Prog. A*. Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto, agosto 1998. Coordinatori: P. Barazzuoli & M. Salleolini.
- Dipartimento di Scienze della Terra (1998c) – *Valutazione del bilancio idrico ed idrogeo-logico dell'Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Ombrone"*. Relazione inedita per l'Autorità di Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Ombrone", agosto 1998. Coordinatore: M. Salleolini.

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena (1996) – *Studio idrogeologico della parte meridionale del Comune di Monteriggioni finalizzato al reperimento ed allo sfruttamento delle locali risorse idriche sotterranee*. Relazione inedita svolta per il Comune di Monteriggioni.

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena (1996/98) – *Ricerca idrogeologica finalizzata alla valutazione delle risorse idriche nell'area compresa tra la Montagnola Senese-Colle Val d'Elsa-Monteriggioni-Pian del Lago*. Relazione inedita svolta per la Publiser (Empoli).

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.

Regione Toscana (2004) – *Nuova carta Geologica* in scala 10.000. Cartografia inedita.

Ricci F. (1996) – *La circolazione idrica nel sottosuolo senese: idrogeologia e vulnerabilità*. Università degli Studi di Siena (tesi di laurea inedita), A.A. 1995 – 1996.

