

L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

**STIMA DELLA VULNERABILITA' CON
METODO SINTACS DELL'ACQUIFERO
PRESENTE NEL PUNTO SUO-VI-01,
UBICATO PRESSO COMUNE DI
VILLAGUARDIA (CO)**

Committente:

**Autostrada Pedemontana Lombarda SPA
Via Del Bosco Rinnovato, 4/ A Palazzo U9
20090 ASSAGO (MI)**

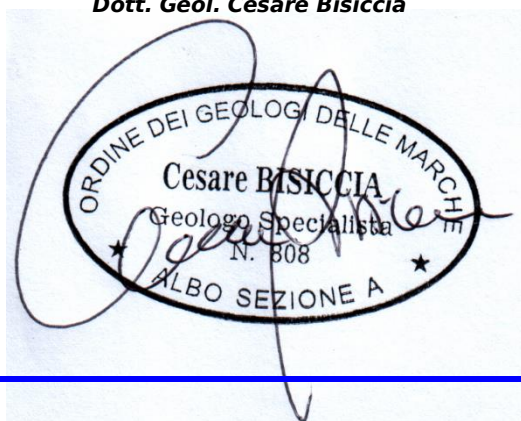
Estremi del contratto: 59/ 2008

CIG: Z2520C5643

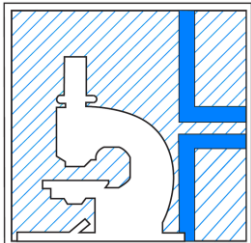
Data **20/ 09/ 2018**

I tecnici incaricati:

Dott. Geol. Cesare Bisiccia



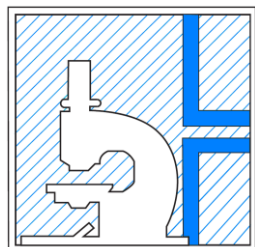
Dott. Enrico Maria Sacchi



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



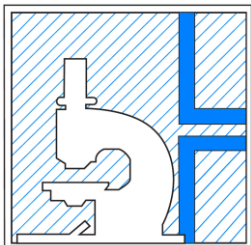
L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

INDICE

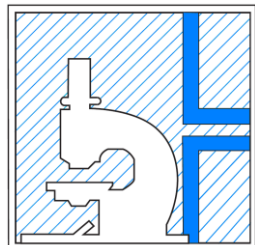
1. Premessa	5
2. Inquadramento e scopo del lavoro	7
2.1. Monitoraggio post operam e osservazioni ARPA Lombardia.....	7
2.2. Obiettivi del presente studio.....	7
3. Inquadramento dell'area di studio	9
3.1. Inquadramento geografico.....	9
Figura 1 – Inquadramento geografico.....	9
3.2. Caratteri climatici.....	9
3.3. Caratteri geomorfologici	12
3.4. Caratteri geologici e litotecnici	13
3.5. Caratteri idrogeologici.....	15
3.6. Aspetti connessi alla pericolosità idraulica	16
4. Modello geologico-idrogeologico dell'area di studio.....	19
5. Applicazione del Metodo SINTACS	21
5.1. Il metodo SINTACS per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi.....	21
5.2. Analisi e definizione dei parametri SINTACS nel caso in esame	21
5.2.1 Soggiacenza (S).....	22
5.2.2 Infiltrazione efficace (I)	23
5.2.3 Effetto di autodepurazione del non-saturo (N)	26
5.2.4 Tipologia della copertura (T)	27
5.2.5 Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (A).....	28
5.2.6 Conducibilità idraulica dell'acquifero (C).....	29
5.2.7 Acclività della superficie topografica (S)	31
5.3. Analisi e definizione della situazione idrogeologica e di impatto	31
5.3.1 Situazione idrogeologica di Impatto rilevante	32
5.3.2 Situazione idrogeologica di Drenaggio	32
5.4. Applicazione dell'algoritmo	33
5.4.1 Combinazioni relative al Topsoil.....	33
5.4.2 Combinazioni relative al Subsoil	34
6. Analisi dei risultati e Conclusioni.....	37
7. Bibliografia.....	39



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

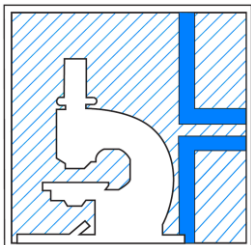
AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

1. Premessa

Il presente studio, commissionato da Autostrada Pedemontana Lombarda (APL) su indicazione di ARPA Lombardia, è finalizzato alla determinazione della vulnerabilità intrinseca di un sito, denominato **SUO-VI-01**, interessato nel recente passato dal cantiere C.O.C.1 della suddetta Opera stradale.

La metodologia scelta per le analisi è il metodo SINTACS (AA.VV., 2001; Civita M. & De Maio M., 2000), utilizzato in genere per la realizzazione di cartografie di vulnerabilità alla scala di bacino, ma che ben si presta, in presenza di dati relativamente accurati, anche alla definizione di valori di vulnerabilità di fatto puntuali come nel presente caso.

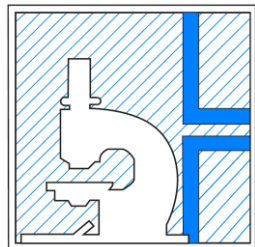
Al fine di determinare la vulnerabilità dell'acquifero locale, si è dapprima ricostruito l'assetto geologico e idrogeologico dell'area sulla base dei dati disponibili, in particolare facendo riferimento allo studio geologico allegato al Piano di Governo del Territorio (Civelli G., Frati S., 2010) del Comune di Villa Guardia (il Comune entro il quale ricade il sito in esame). In seguito, per la determinazione dei parametri di ingresso al modello SINTACS, oltre che al suddetto studio geologico si è fatto riferimento, fondamentalmente per la determinazione della tipologia e delle caratteristiche del suolo di copertura, all'Istruttoria del Supporto Tecnico (ST) di ARPA Lombardia relativa al Piano di Monitoraggio Ambientale effettuato da APL (AA.VV., 2017).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

2. Inquadramento e scopo del lavoro

2.1. Monitoraggio *post operam* e osservazioni ARPA Lombardia

Il sito **SUO-VI-01** è stato sottoposto, nel periodo 2014-2015, ad un piano di monitoraggio *post operam* (PO) effettuato da APL sulla componente Suolo.

I risultati di tale monitoraggio sono stati in seguito sottoposti ad un'analisi da parte di ARPA Lombardia, finalizzata sostanzialmente ai seguenti obiettivi (AA.VV., 2017):

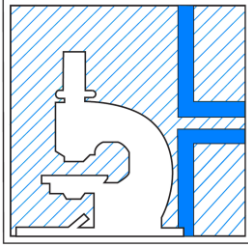
- verifica della corretta esecuzione delle attività di monitoraggio;
- valutazione della completezza e correttezza delle informazioni e dei dati rilevati e restituiti;
- analisi dei risultati finali e riconoscimento di eventuali impatti dovuti alla costruzione dell'opera sulla componente ambientale.

Il ST di ARPA Lombardia, alla fine dell'istruttoria tecnica, ha indicato in sintesi per il sito in esame, una situazione di **disomogeneità pedologica** rispetto alle condizioni *ante-operam* (AO), evidenziando **variazioni nell'organizzazione interna, nella struttura fisica e nel drenaggio, nella composizione granulometrica, nella fertilità e nel chimismo** e un **potenziale peggioramento della capacità protettiva nei confronti delle acque di falda** (AA.VV., 2017). In particolare per questo ultimo aspetto, anche in considerazione che il sito in esame ricade all'interno di una fascia di rispetto pozzi definita da A.C.S.M. (grande derivazione regionale), si rende necessario uno studio atto ad **approfondire la valutazione della capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque sotterranee, in relazione alle proprietà pedologiche riscontrate, alla soggiacenza della falda ed alla composizione litologica del terreno insaturo al di sotto del suolo** (AA.VV., 2017).

2.2. Obiettivi del presente studio

In relazione a quanto indicato al precedente paragrafo, il presente rapporto tecnico ha come obiettivo quello di riconoscere eventuali variazioni di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero in esame e l'entità delle medesime, in particolare per mettere in evidenza variazioni significative della capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque sotterranee.

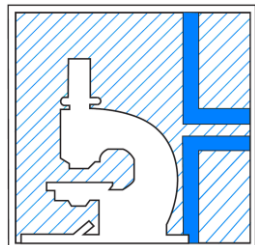
Al fine di cui sopra, è fondamentale innanzitutto ricostruire un adeguato modello geologico e idrogeologico dell'area di studio, che possa in seguito fungere da strumento base per l'applicazione di metodi per la valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi (in questo caso il metodo SINTACS).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

3. Inquadramento dell'area di studio

3.1. Inquadramento geografico

Il sito in esame si trova all'interno del territorio comunale del Comune di Villa Guardia, comune ubicato entro la fascia pedemontana prealpina, caratterizzata dal punto vista morfologico dalla presenza di rilievi collinari di origine morenica separati da ampie aree pianeggianti (Civelli G. & Frati S., 2010).

Il punto di misura **SUO-VI-01**, è localizzato in corrispondenza di un terreno agricolo e inserito in un contesto prevalentemente rurale. Esso è delimitato verso nord-est dal Torrente Seveso, il quale funge anche il confine comunale; oltre tale Corso d'acqua si trova un'area industriale, ricadente in Comune di Grandate (Fig.1).

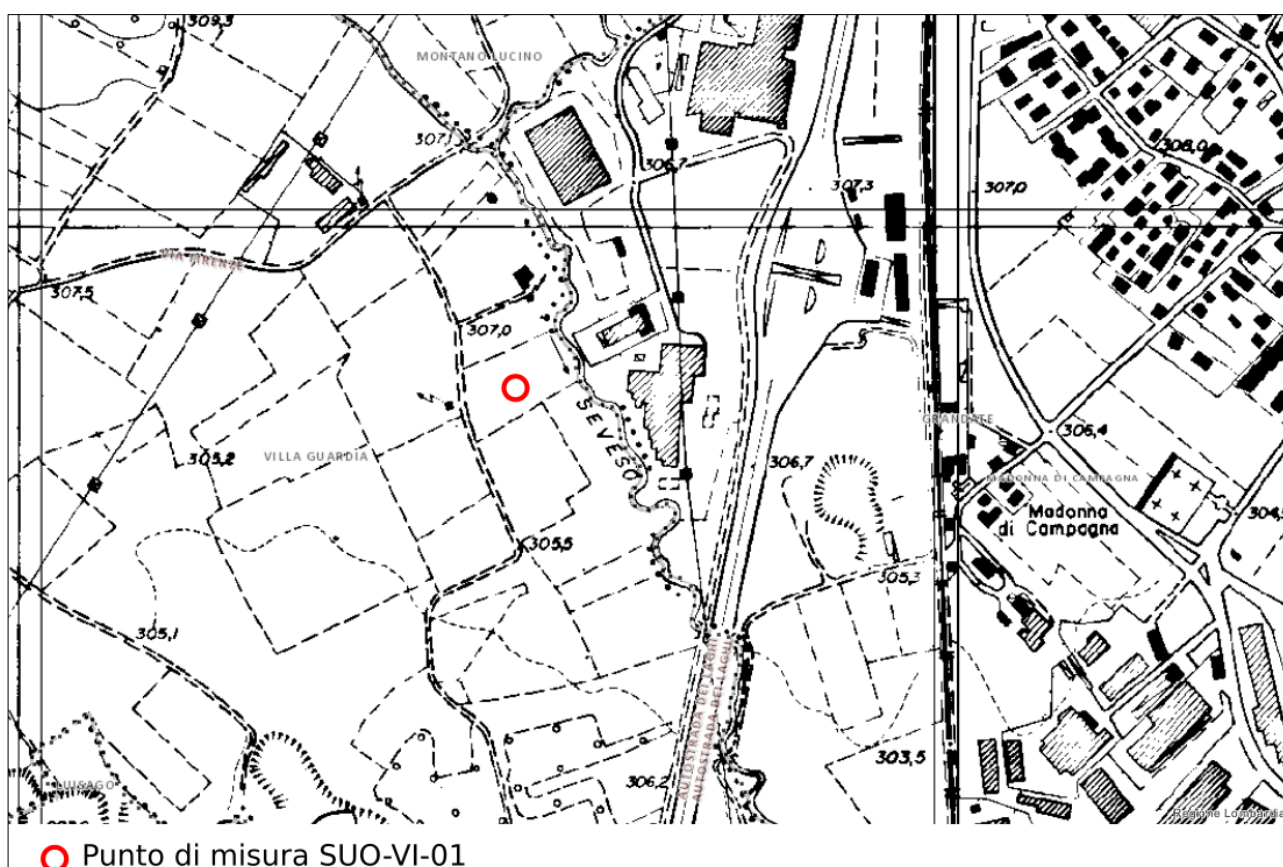
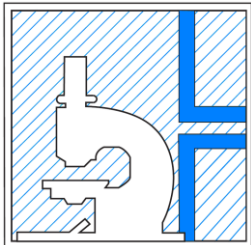


Figura 1 – Inquadramento geografico.

3.2. Caratteri climatici

Il clima dell'area in esame si inquadra in un regime di tipo prealpino, caratterizzato da due massimi di piovosità, il primo, più accentuato, in ottobre e il secondo in maggio; i minimi sono invece registrati



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

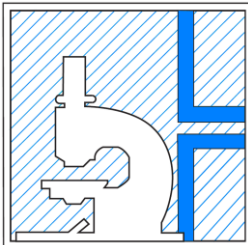
rispettivamente in febbraio ed in luglio.

Ai fini del presente studio un riferimento fondamentale per la stima delle precipitazioni medie relative all'area in esame è la “Carta delle precipitazioni medie annue relative al periodo 1881-1990”, redatta a cura della Regione Lombardia (Ceriani M. & Carelli M., 2000). In Figura 2 viene riportato un estratto della suddetta cartografia relativo alla provincia di Como; il rettangolo viola indica la posizione approssimativa del territorio comunale di Villa Guardia (Civelli G. & Frati S., 2010).

Da tale cartografia si evince come le precipitazioni medie annue (P), nel settore sud-orientale del territorio comunale (area in cui si trova il sito SUO-VI-01), si attestino su un valore di 1450 mm annui e tendano a diminuire indicativamente da N verso S e da O verso E.

Tale dato è confermato dalle misure di piovosità media annua registrate nelle stazioni più vicine al punto di interesse (Civelli G. & Frati S., 2010):

- **Como** (posta più a N del sito in esame): **P = 1571 mm**; **T** (temperatura media annua) = **13,2 °C**
- **Cantù** (posta più a S del sito in esame): **P = 1427 mm**; **T** (temperatura media annua) = **12,3 °C**.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

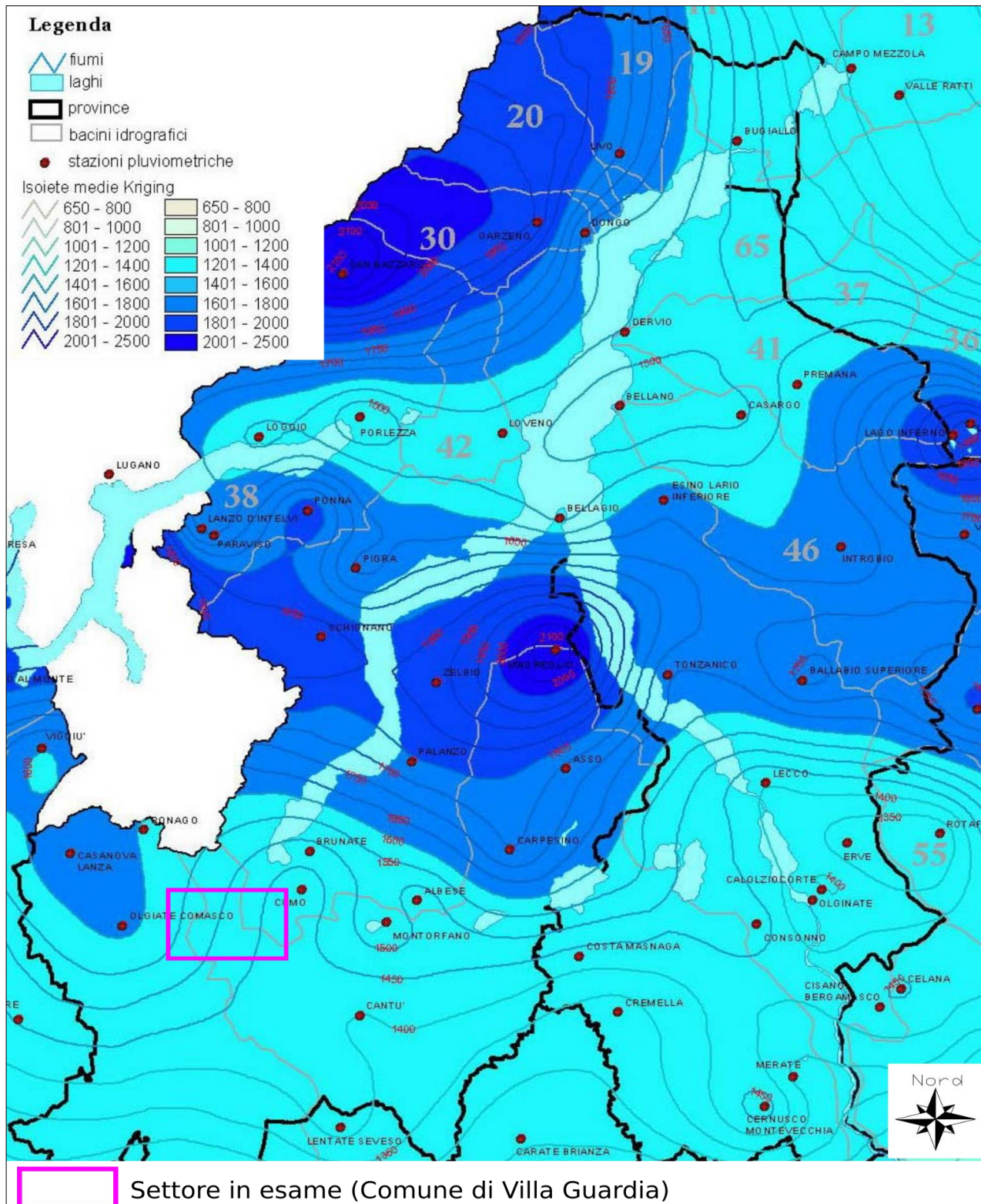
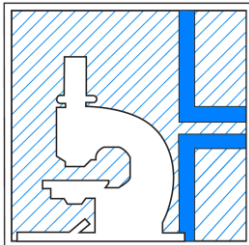


Figura 2 – Carta delle precipitazioni medie annue relative al periodo 1881-1990; stralcio relativo al settore Comasco (Civelli G. & Frati S., 2010; modificato da Ceriani M. & Carelli M., 2000).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

3.3. Caratteri geomorfologici

Dal punto di vista geomorfologico l'area in esame si presenta di fatto pianeggiante ed è indicata, sulla Carta geomorfologica allegata al P.T.G. (Piano di Governo del Territorio), come area morfologicamente ribassata rispetto ai settori interessati dai superiori ordini di terrazzi fluviali (più antichi) e dai depositi morenici (Fig. 3).

Il terreno agricolo in corrispondenza del quale si trova il punto di misura SUO-VI-01, termina ad est con un orlo di terrazzo fluviale attuale che lo separa morfologicamente dall'alveo del Torrente Seveso, il quale nel tratto in esame presenta un fondo piatto.

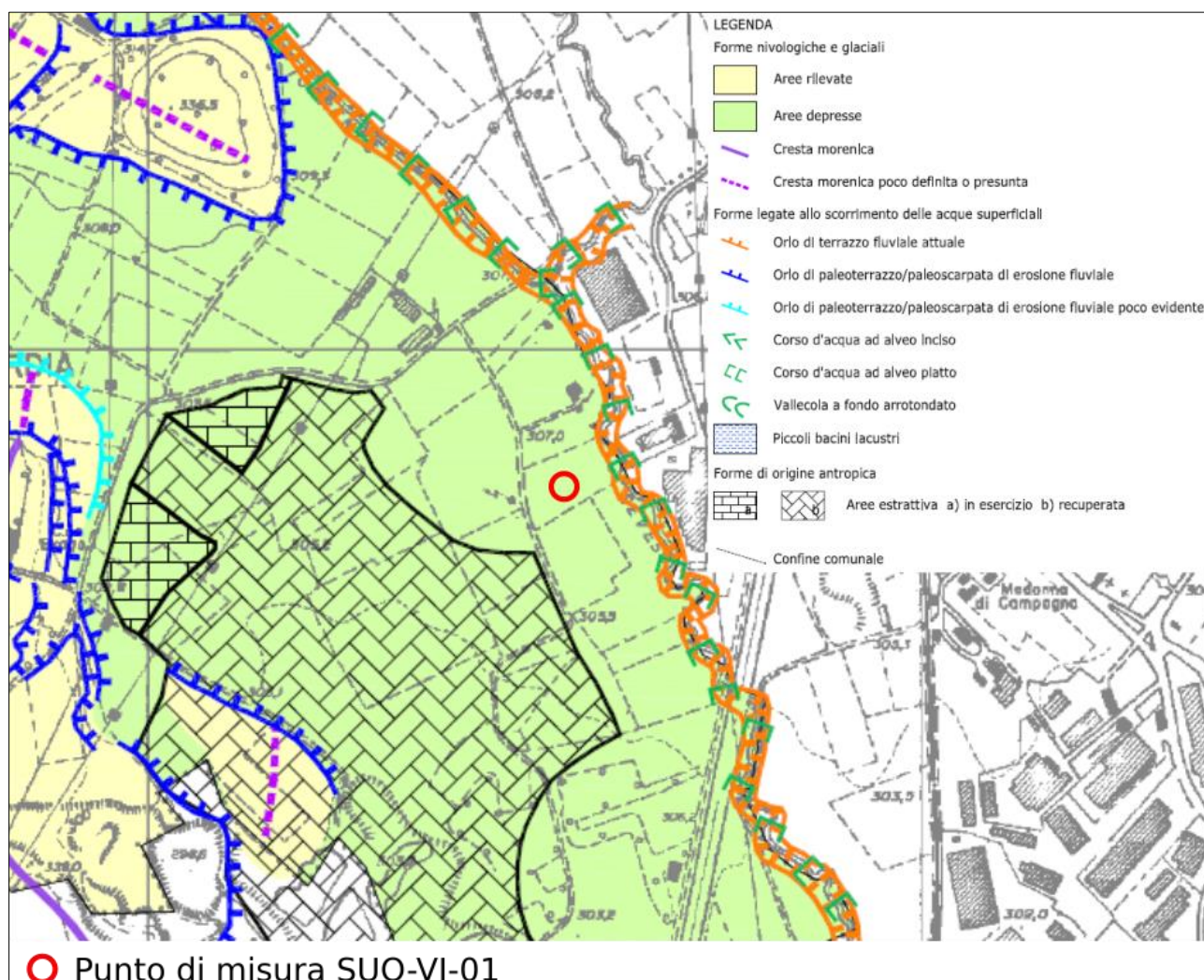
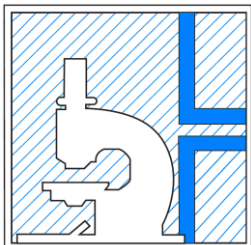


Figura 3 – Stralcio della Carta geomorfologica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Civelli G. & Frati S., 2010; modificato).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

In direzione SO rispetto al sito di interesse, si registra la presenza di un'area estrattiva allo stato attuale in gran parte recuperata e quindi non più attiva.

3.4. Caratteri geologici e litotecnici

Il sito in esame è geologicamente interessato dai depositi fluvioglaciali del Subsistema della Cà Morta, i quali sono litologicamente costituiti da alternanze di livelli di ghiaie in matrice sabbiosa grossolana, ghiaie pulite con sabbie da medie a fini e sabbie da medie a grossolane che presentano spesso una laminazione pianoparallela e incrociata concava (Civelli G. & Frati S., 2010). In Figura 4 si riporta uno stralcio della Carta geologica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia.

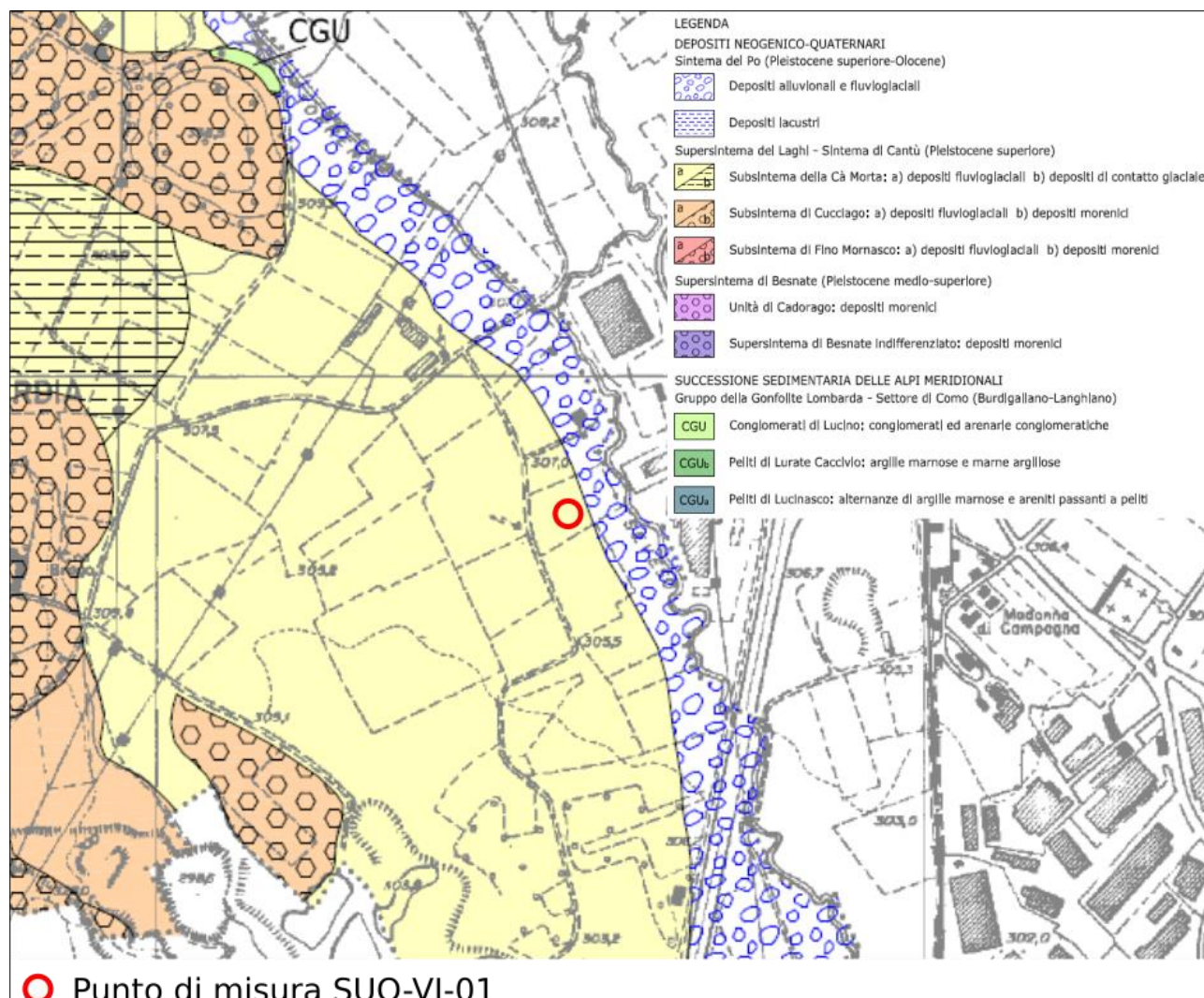
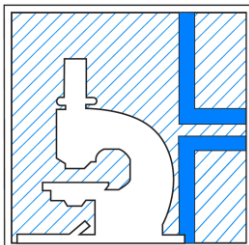


Figura 4 – Stralcio della Carta geologica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Civelli G. & Frati S., 2010; modificato).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

Dal punto di vista strettamente litotecnico il settore è indicato come “Area generalmente caratterizzata dalla presenza di depositi ghiaioso-sabbiosi in matrice limosa con orizzonte di alterazione superficiale di circa 1-2 m” (Fig.5). La presenza di depositi sedimentari prevalentemente grossolani e quindi commercialmente pregiati nell'area, è anche avvallata dall'attività estrattiva che viene di fatto ancora effettuata in un limitato settore dell'ampia cava posta verso SO rispetto ai terreni oggetto del presente studio.

Nei settori associabili a quello sopra descritto, la soggiacenza della falda è in genere sempre maggiore di 3 m dal p.c. (cfr. Paragrafo 3.5).

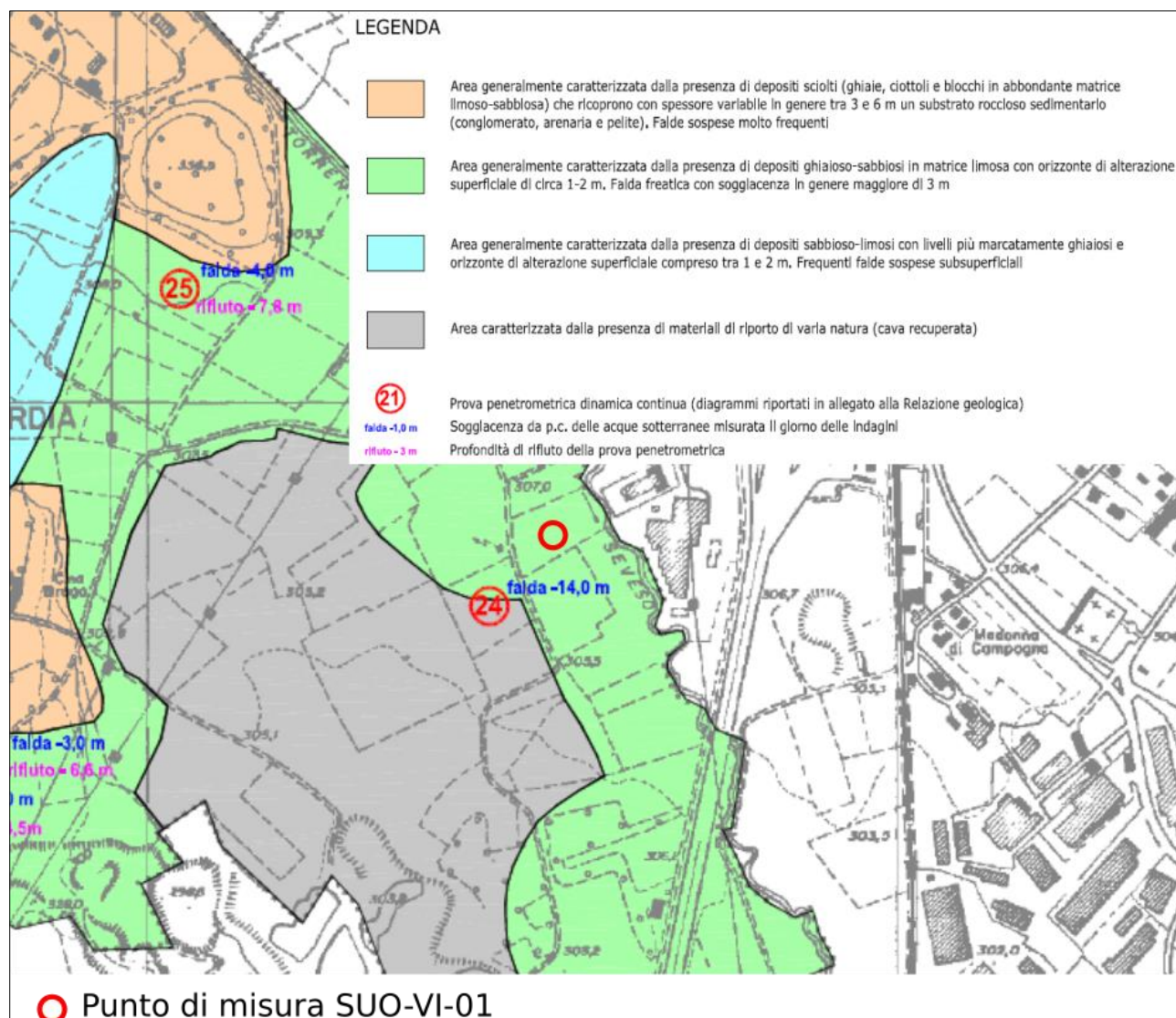
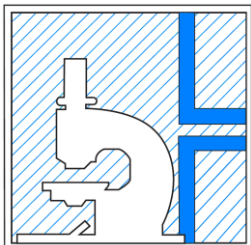


Figura 5 – Stralcio della Carta litotecnica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Civelli G. & Frati S., 2010; modificato).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

3.5. Caratteri idrogeologici

L'area cui si viene a trovare il punto di misura SUO-VI-01, è interessata da un acquifero relativamente superficiale, il quale è posto in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali e alluvionali di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa; esso mostra uno spessore massimo dell'ordine di 20 m, è sede di una falda libera con valori di soggiacenza in genere di pochi metri dal piano campagna (p.c.), ma che in taluni casi può comunque raggiungere e superare i 20 m dal p.c.. La produttività è in genere bassa. Considerato il livello di soggiacenza della falda, localmente assai limitato, la permeabilità dei depositi costituenti l'acquifero e la struttura idrogeologica in cui si inserisce, tale acquifero si configura come relativamente vulnerabile. Tale conclusione trova conferma nei fenomeni di inquinamento che hanno interessato le acque emunte da tale falda, la quale risente della pressione antropica insediata in superficie (Civelli G. & Frati S., 2010).

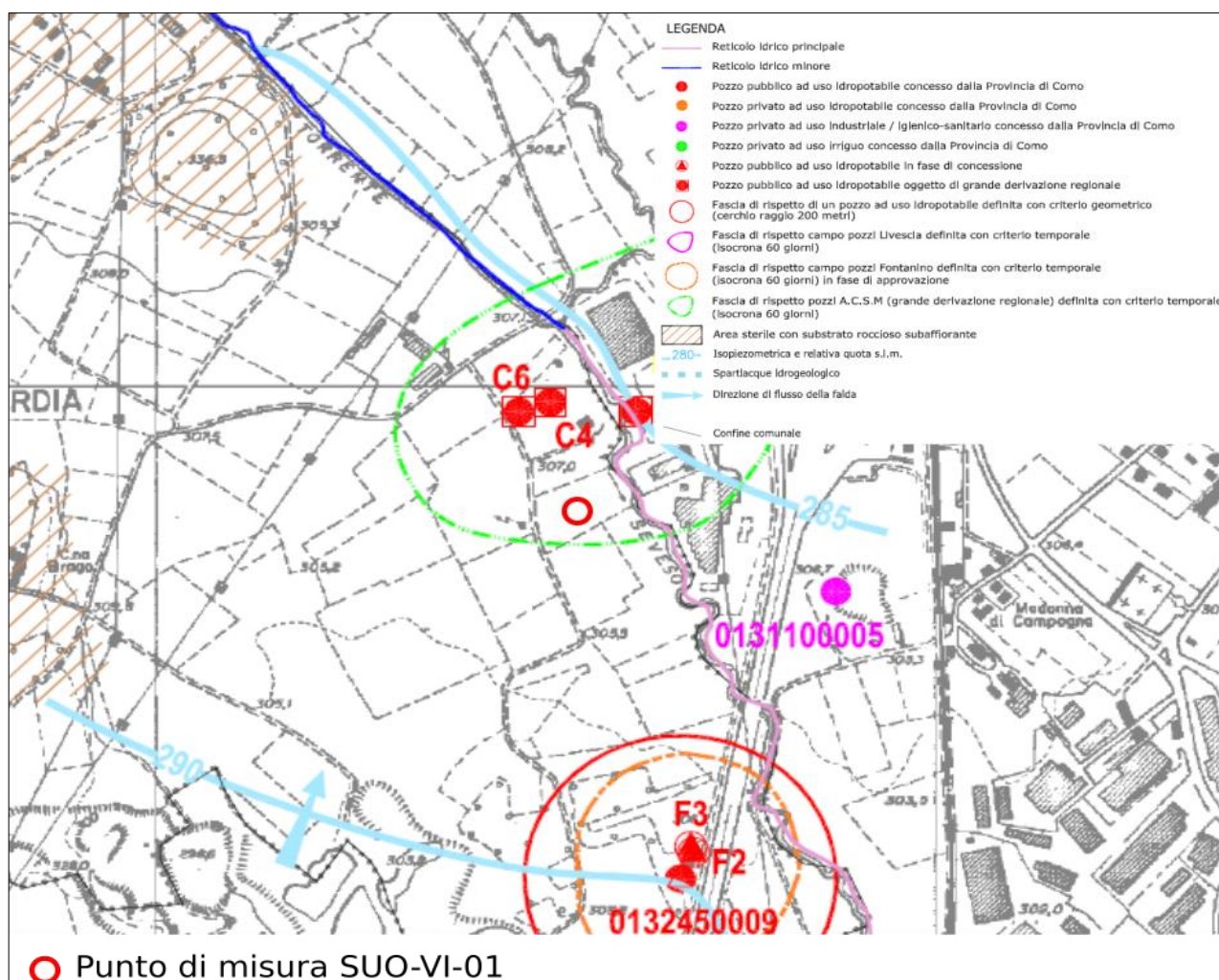
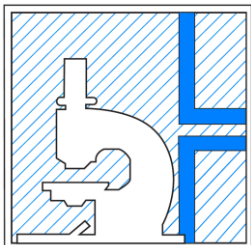


Figura 6 – Stralcio della Carta idrogeologica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Civelli G. & Frati S., 2010; modificato).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

Come risulta dalla Carta idrogeologica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Fig.6), nel settore immediatamente nei pressi del punto SUO-VI-01 la soggiacenza relativa è assai elevata rispetto ad altre aree interessate dal medesimo corpo acquifero, e si attesta attorno ad un valore di 20 m, fra le isopiezometriche 290 e 285 m s.l.m..

3.6. Aspetti connessi alla pericolosità idraulica

Sulla base delle informazioni rese disponibili dal PGT del Comune di Villa Guardia, a partire dai dati del PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, l'area in esame è classificabile come Area a pericolosità media o moderata **Em** (Fig.7); tali aree possono essere invase dalle acque di esondazione solo in occasioni molto rare e sono caratterizzate in genere da tempi di ritorno $Tr > 500$ anni.

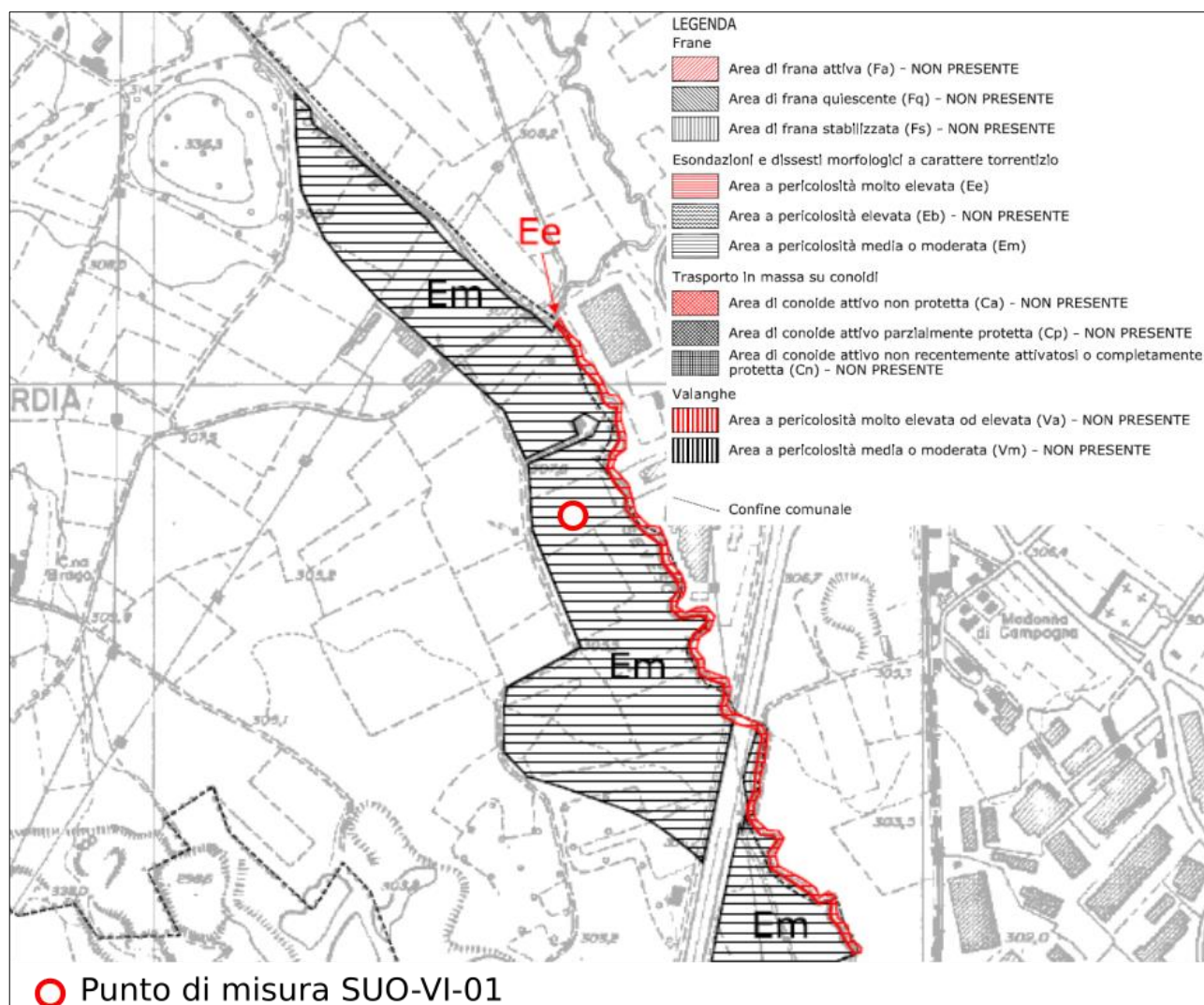
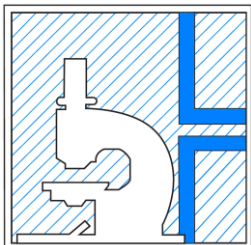


Figura 7 – Stralci della Carta della Pericolosità idraulica allegata al P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Civelli G. & Frati S., 2010; modificato).

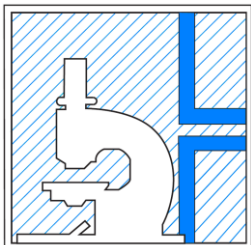


L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

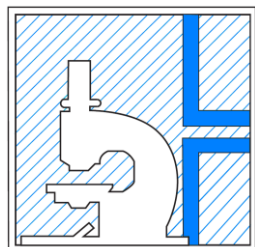
Stante quanto suddetto, deve comunque essere considerato un importante aspetto ai fini del presente lavoro, ossia l'esistenza di un significativo rapporto di reciproco drenaggio e filtrazione fra l'acquifero alluvionale oggetto del presente studio e il torrente Seveso, che, scorrendo in adiacenza ad esso, tende sicuramente ad alimentare la falda freatica presente in sito, in virtù della relativamente elevata soggiacenza di quest'ultima.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

4. Modello geologico-idrogeologico dell'area di studio

Sulla base dei dati geologici, litologici e idrogeologici disponibili per l'area in esame, è possibile ricostruire il modello geologico-idrogeologico che può essere assunto in corrispondenza del punto di monitoraggio SUO-VI-01 (Fig.8).

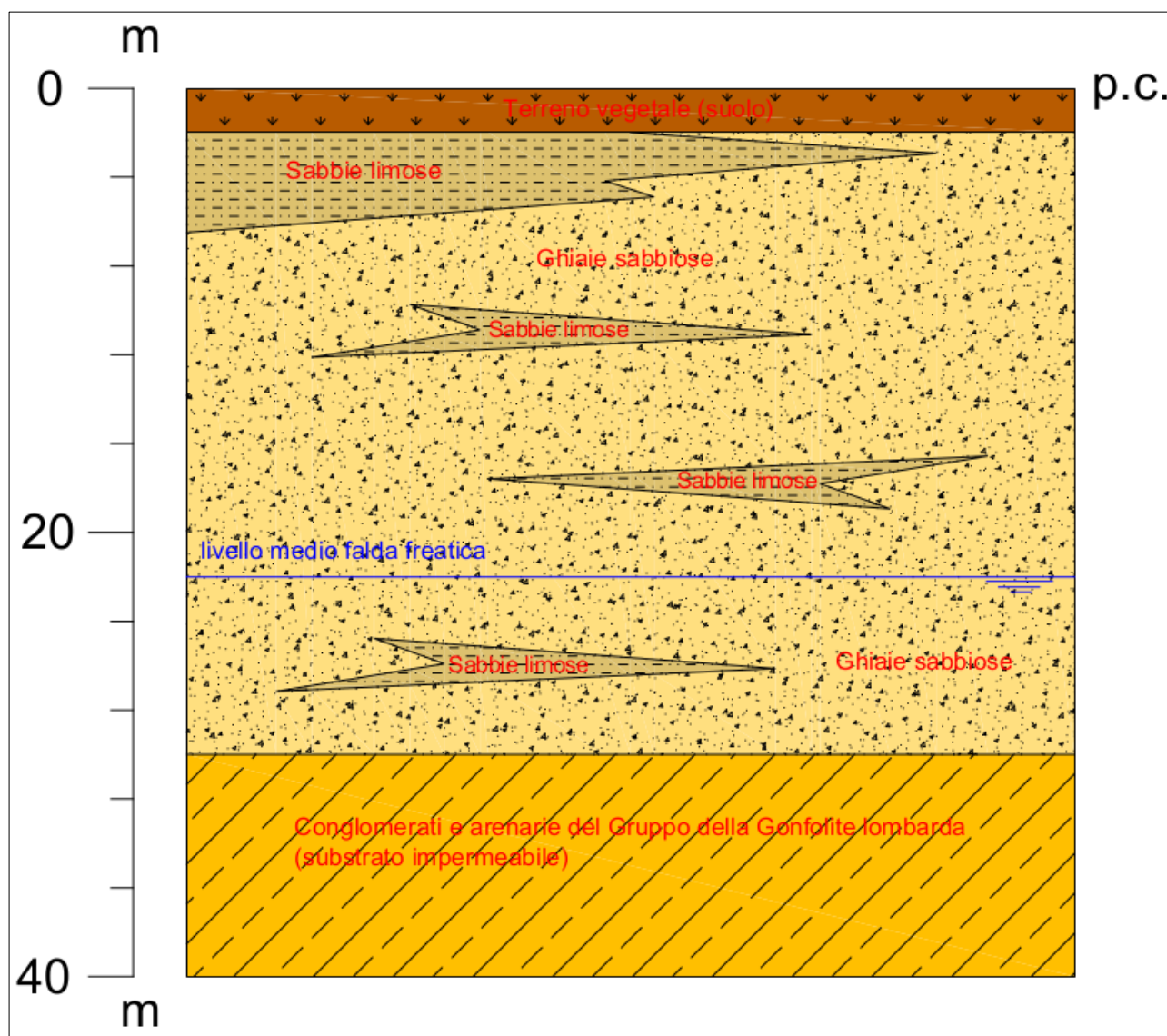
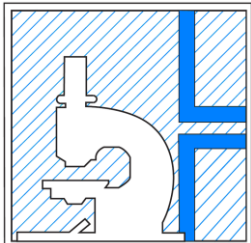


Figura 8 – Modello geologico-idrogeologico ricostruito per l'area in esame.

Tale modello è costituito da un orizzonte vegetale (suolo) di circa 1,5 m di spessore, da depositi alluvionali prevalentemente costituiti da ghiaie sabbiose che rappresentano sia la zona insatura che l'acquifero vero e

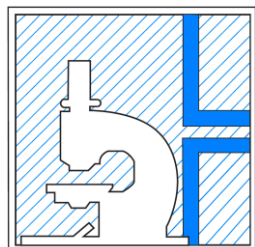


L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

proprio; localmente, in prevalenza nei primi metri dal piano campagna (p.c.), si osserva la presenza di livelli e lenti di sabbie limose e limi sabbiosi. La falda freatica (soggiacenza) si rinviene generalmente ad una profondità di poco superiore ai 20 m dal p.c.. Ad una profondità che si attesta attorno ai 30 m dal p.c. si osserva invece la presenza dei terreni del locale substrato roccioso, costituito da conglomerati e arenarie del Gruppo della Gonfolite lombarda, i quali, in relazione alla maggiore permeabilità delle litologie sovrastanti, fungono di fatto da *acquiclude*.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

5. Applicazione del Metodo SINTACS

5.1. Il metodo SINTACS per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi

La vulnerabilità intrinseca o naturale degli acquiferi si definisce come la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre un impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo (Civita M., 1987).

La vulnerabilità di un corpo idrico sotterraneo è funzione di diversi parametri, tra i quali prevalgono la litologia, la struttura e la geometria del sistema idrogeologico, la natura del suolo e la geometria della copertura, il processo di ricarica-dscarica del sistema ed i processi di interazione fisica ed idrogeochimica che determinano la qualità naturale dell'acqua sotterranea e la mitigazione di eventuali inquinanti che penetrano il sistema (Civita M. & De Maio M., 2000).

Il metodo SINTACS è un modello di valutazione della vulnerabilità che, messo a punto per la realizzazione di cartografie relative a territori di una significativa estensione, in particolare ai fini di pianificazione, può essere anche utilizzato, come nel presente caso, per valutare eventuali modifiche insorte nel tempo alla vulnerabilità intrinseca di un determinato acquifero in aree di limitata estensione (come ad esempio in seguito ad azioni antropiche, assumendo di fatto un modello a tutti gli effetti puntuale e considerando un inquinante generico).

L'acronimo deriva dalle denominazioni dei parametri che vengono presi in considerazione:

S – Soggiacenza;

I – Infiltrazione efficace;

N – Effetto di autodepurazione del non-saturo;

T – Tipologia della copertura;

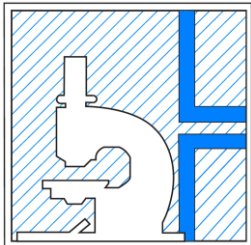
A – Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero;

C – Conducibilità idraulica dell'acquifero;

S – Acclività della superficie topografica.

5.2. Analisi e definizione dei parametri SINTACS nel caso in esame

Di seguito vengono analizzati e descritti nel dettaglio i singoli parametri che rientrano all'interno del Modello SINTACS, così come definiti nell'approccio utilizzato nel presente studio. Alcuni dei parametri necessari, in particolare quelli che non mostrano variazioni tra condizioni *ante-operam* e condizioni *post-operam*, sono stati



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

determinati sulla base del modello geologico-idrogeologico riportato al Capitolo 4, derivante a sua volta dai dati del P.G.T. del Comune di Villa Guardia (Civelli G., Frati S., 2010). I restanti, rappresentati di fatto dai parametri legati al suolo e alle coperture, sono invece stati definiti a partire dalle analisi specifiche rese disponibili dall'Istruttoria del Supporto Tecnico (ST) di ARPA Lombardia relativa al Piano di Monitoraggio Ambientale effettuato da APL (AA.VV., 2017).

5.2.1 Soggiacenza (S)

Il parametro della soggiacenza, la quale è definita sostanzialmente come la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano-campagna, è stato determinato in corrispondenza del punto di misura SUO-VI-01, prendendo come riferimento il vicino pozzo A.C.S.M. (grande derivazione regionale) “Caneda 6”, il quale mostra un valore di soggiacenza pari a 22 m dal piano di calpestio.

Sulla base del grafico SINTACS di Figura 9, che mette in relazione i valori di punteggio con quelli di soggiacenza osservata, alla situazione in esame è stato attribuito un punteggio di $S = 3$ (assumendo un approccio cautelativo). Suddetto valore rimane naturalmente il medesimo sia in condizioni *ante-operam* che in condizioni *post-operam*, in considerazione del fatto che le modifiche riscontrate al sito riguardano di fatto solo la componente suolo e quindi sono confinate ai primi metri dal piano campagna.

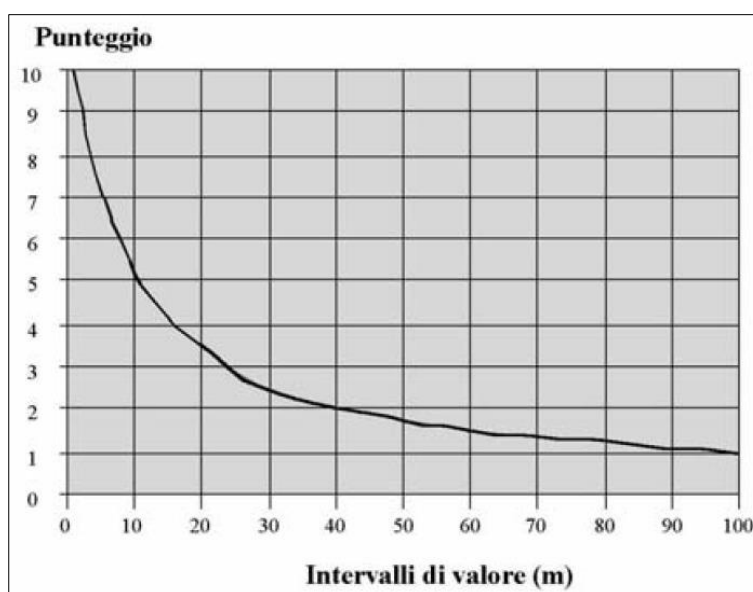
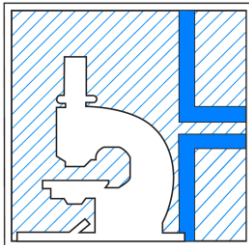


Figura 9 – Valori della soggiacenza e relativi punteggi (Civita M. & De Maio M., 2000).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

5.2.2 Infiltrazione efficace (I)

L'infiltrazione efficace assume un notevole importanza nella valutazione della vulnerabilità poiché essa regge il trascinarsi in profondità degli inquinanti, ma anche la loro diluizione, dapprima nell'insaturo e quindi nella zona di saturazione (Civita M. & De Maio M., 2000). Essa assume una minore incidenza in tutte quelle situazioni in cui sono presenti apporti idrici che non dipendono dalle precipitazioni atmosferiche (es. filtrazioni fra acquiferi e corpi idrici superficiali, grandi irrigazioni).

Il modello SINTACS offre due diversi approcci per la stima del parametro **I**, il primo applicabile nelle situazioni di assenza di suolo, il secondo nei casi di presenza di suolo potente; nel presente lavoro è stato naturalmente applicato quest'ultimo.

Nel caso di suoli spessi si assume quindi che: $I=P*\chi$ (mm/a), dove:

P = valore della precipitazione media annua (mm);

χ = coefficiente di infiltrazione potenziale nel caso di suoli spessi (Fig.10).

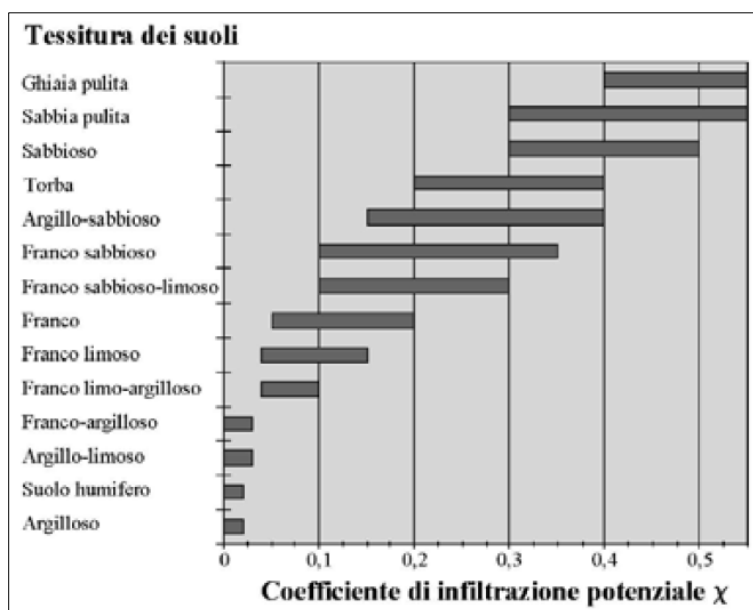
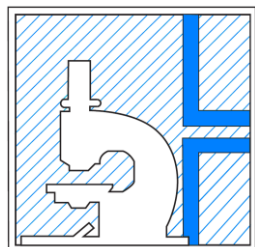


Figura 10 – Grafico per la valutazione del χ per suoli spessi (Civita M. & De Maio M., 2000).

Il valore di **P** è stato determinato a partire dalla Carta delle precipitazioni medie annue relative al periodo 1881-1990 (Civelli G. & Frati S., 2010), secondo la procedura illustrata al paragrafo 3.2, ed è stato assunto come **P** = 1450 mm/a.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

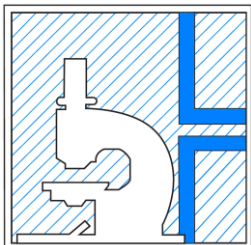
Il valore di χ è stato invece determinato sulla base della Tabella 1, estratta dall'Istruttoria del Supporto Tecnico (ST) di ARPA Lombardia (AA.VV., 2017) e relativa alle analisi pedologiche di laboratorio effettuate per il Punto di monitoraggio SUO-VI-01 in condizioni *ante-operam* e *post-operam* e in via differenziata per i primi 50 cm (*topsoil*) e i restanti 100 cm (*subsoil*) di suolo (Fig.11).

Parametro	um	AO 2011		PO 2014	
		50 cm	100 cm	50 cm	100 cm
Scheletro	%	2,6	2,0	28,1	3,4
Sabbia	%	33,2	24	74,1	80,5
Limo	%	57,5	60,8	6,4	13,5
Argilla	%	9,4	15,2	19,5	6
pH (10 g/100 ml)	unità pH	5,6	5,9	8,2	7,3
Carbonio Organico	%	1,2	1	0,6	0,9

Tabella 1 – Analisi pedologiche di laboratorio al Punto SUO-VI-01.

Tali analisi evidenziano come in condizioni *ante-operam* sia il *topsoil* che il *subsoil* possano essere riconosciuti come suolo **franco limoso** e come in condizioni *post-operam* il *topsoil* possa essere considerato **franco limoso-sabbioso** e il *subsoil* **sabbioso/franco sabbioso** (classificazione tessiturale effettuata tramite diagramma triangolare USDA – *Soil textural classification chart*). Sulla base della classificazione tessiturale suddetta, tramite il grafico di Figura 10 sono stati attribuiti i seguenti valori di χ e, conseguenzialmente, valori di **I**:

- 1) *topsoil – ante operam*; $\chi = 0,10$ -----> $I = P * \chi$ (mm/a) = 1450 * 0,1 = **145** (mm/a);
- 2) *subsoil – ante operam*; $\chi = 0,10$ -----> $I = P * \chi$ (mm/a) = 1450 * 0,1 = **145** (mm/a);
- 3) *topsoil – post operam*; $\chi = 0,30$ -----> $I = P * \chi$ (mm/a) = 1450 * 0,3 = **435** (mm/a);
- 4) *subsoil – post operam*; $\chi = 0,30$ -----> $I = P * \chi$ (mm/a) = 1450 * 0,3 = **435** (mm/a).



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

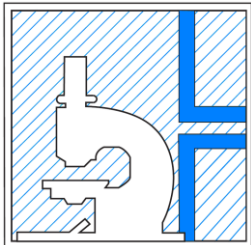
AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



Figura 11 – Documentazione fotografica che mostra la sostanziale differenza cromatica fra *topsoil* e *subsoil* in corrispondenza del Punto di monitoraggio SUO-VI-01 (da AA..VV., 2017).

Noti i valori di infiltrazione annui per ogni situazione considerata, il punteggio SINTACS associato ad ognuno di essi è stato attribuito come di seguito, tramite il grafico riportato in Figura 12:

- 1) *topsoil* – ante operam **I = 6**;
- 2) *subsoil* – ante operam **I = 6**;
- 3) *topsoil* – post operam **I = 5,5**;
- 4) *subsoil* – post operam **I = 5,5**.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

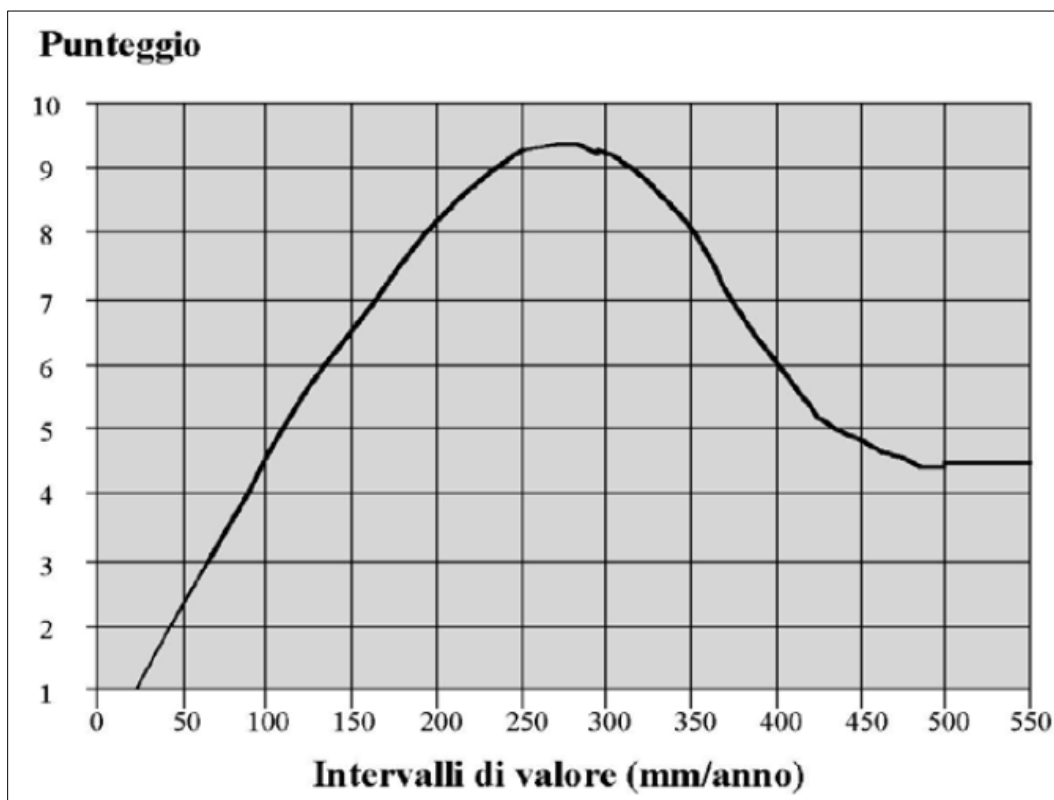


Figura 12 – Valori dell'infiltrazione e relativi punteggi (Civita M. & De Maio M., 2000).

5.2.3 Effetto di autodepurazione del non-saturo (N)

La zona insatura è la parte di sottosuolo compresa tra la base del suolo e la zona saturata dell'acquifero. Tale zona, ove avvengono spostamenti prevalentemente verticali dell'acqua sotterranea, è dunque limitata verso il basso dalla superficie piezometrica di un acquifero libero (Civita M. & De Maio M., 2000).

Al fine della valutazione di questo aspetto sono stati considerati i dati litotecnici del piano regolatore del Comune di Villa Guardia e quindi il modello geologico riportato in Figura 8. Nell'area in esame si riscontra la presenza di alluvioni per la maggior parte grossolane, con livelli a granulometria fine (sabbie limose; limi sabbiosi) di alcuni metri di spessore localizzati nei primi metri.

Sulla base del grafico SINTACS di Figura 13, che mette in relazione i valori di punteggio con i vari complessi idrogeologici esistenti, alla situazione in esame è stato attribuito un punteggio di $N = 7$ (in considerazione di una significativa presenza di materiale a granulometria fine). Suddetto valore rimane naturalmente il medesimo sia in condizioni *ante-operam* che in condizioni *post-operam*, in assunzione del fatto che le modifiche riscontrate al sito riguardano solo la componente suolo e quindi sono confinate ai primi metri dal piano campagna.

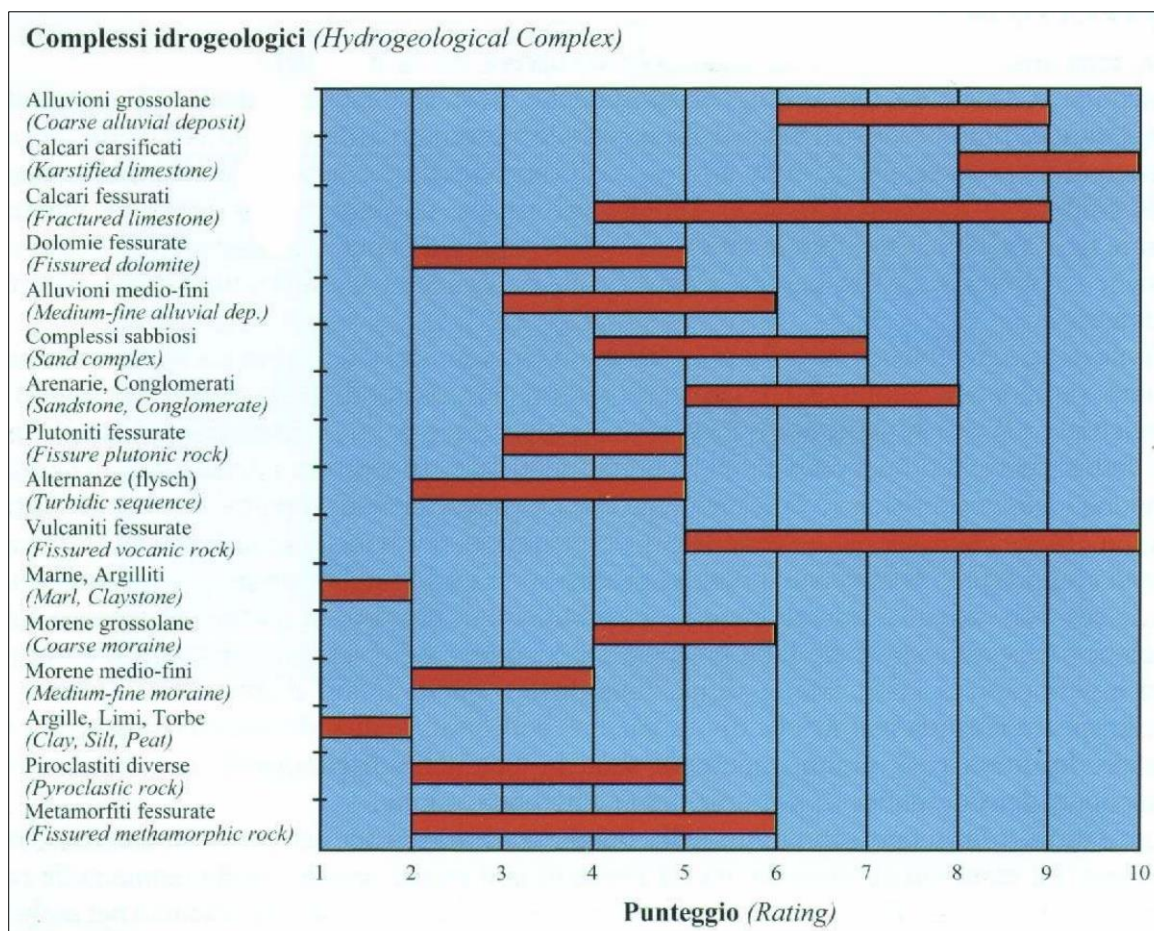
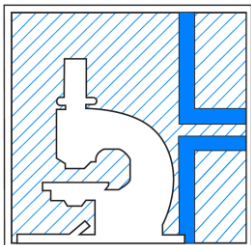


Figura 13 – Complessi idrogeologici e relativi punteggi per N (Civita M. & De Maio M., 2000).

5.2.4 Tipologia della copertura (T)

La tipologia della copertura, in particolare dei suoli, riveste un ruolo di massima importanza nella mitigazione dell'impatto degli inquinanti e nella valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi (Civita M. & De Maio M., 2000).

Nel presente studio, la determinazione accurata di questo parametro, che risulta fondamentale, in quanto è uno di quelli potenzialmente alterati dalle azioni di modifica del sito in esame, è stata effettuata grazie ai dati dell'Istruttoria del Supporto Tecnico (ST) di ARPA Lombardia (AA.VV., 2017), già descritti e riportati in Tabella 1 (cfr. paragrafo 5.1.2).

In seguito, sulla base del grafico di Figura 14, sono stati attribuiti i relativi punteggi T per ogni situazione.

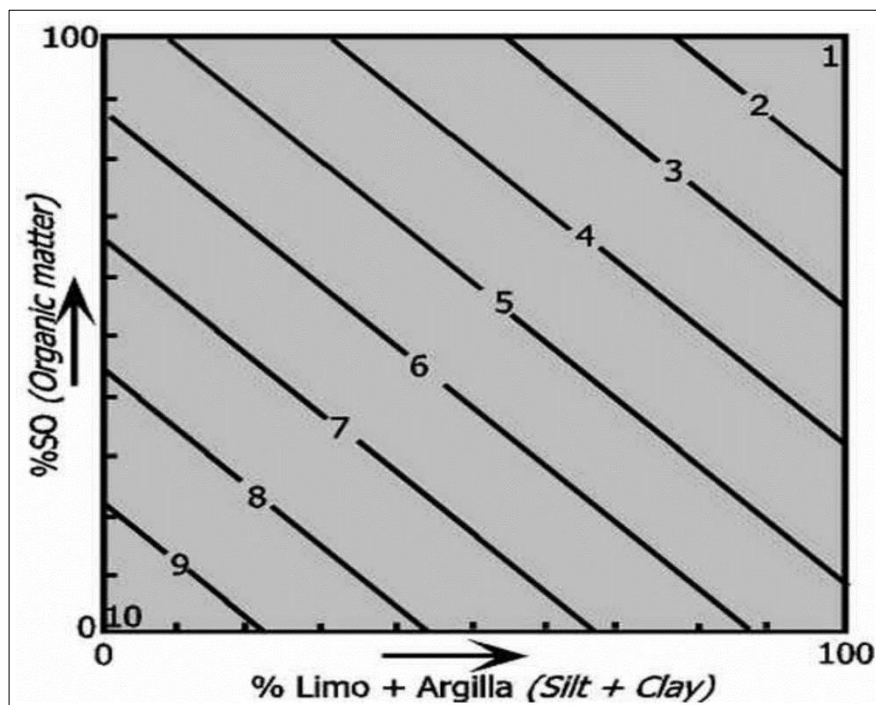
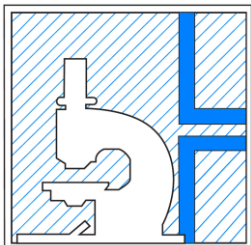


Figura 14 – Contenuto di sostanza organica, somma limo e argilla e relativi punteggi per N (Civita M. & De Maio M., 2000; modificato).

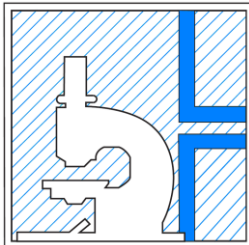
Le situazioni considerate sono le medesime già analizzate al paragrafo 5.1.2 e i punteggi SINTACS relativi al parametro T sono stati così attribuiti:

- 5) *topsoil – ante operam*; Argilla + limo = 66,9; Sostanza organica = $1,2 \cdot 1,72 = 2,06$ -----> T = 6,5;
- 6) *subsoil – ante operam*; Argilla + limo = 76; Sostanza organica = $1,0 \cdot 1,72 = 1,72$ -----> T = 6,0;
- 7) *topsoil – post operam*; Argilla + limo = 25,9; Sostanza organica = $0,6 \cdot 1,72 = 1,03$ -----> T = 8,5;
- 8) *subsoil – post operam*; Argilla + limo = 19,5; Sostanza organica = $0,9 \cdot 1,72 = 1,55$ -----> T = 8,5.

Si fa notare come, in seguito ad importanti variazioni granulometriche e alla diminuzione del contenuto di sostanza organica, i punteggi di T relativi alle condizioni *post-operam*, diventino sensibilmente più gravosi rispetto alla situazione *ante-operam*.

5.2.5 Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (A)

La tipologia dell'acquifero descrive i processi che avvengono al di sotto della superficie piezometrica, quando un inquinante idroveicolato giunge a mescolarsi con l'acqua sotterranea dopo aver superato le due linee di difesa costituite dalla copertura e dall'insaturo, con abbattimento di una parte più o meno rilevante della sua concentrazione iniziale (Civita M. & De Maio M., 2000). Tali processi sono rappresentati da:



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

- dispersione;
- diluizione;
- assorbimento;
- reattività chimica del mezzo.

Nel presente studio il punteggio relativo ad **A** è stato attribuito, analogamente a quanto fatto per **N**, sulla base dei dati litologici disponibili e della ricostruzione del modello geologico-idrogeologico (Fig.8); il grafico di riferimento per l'attribuzione dei punteggi viene riportato in Figura 15.

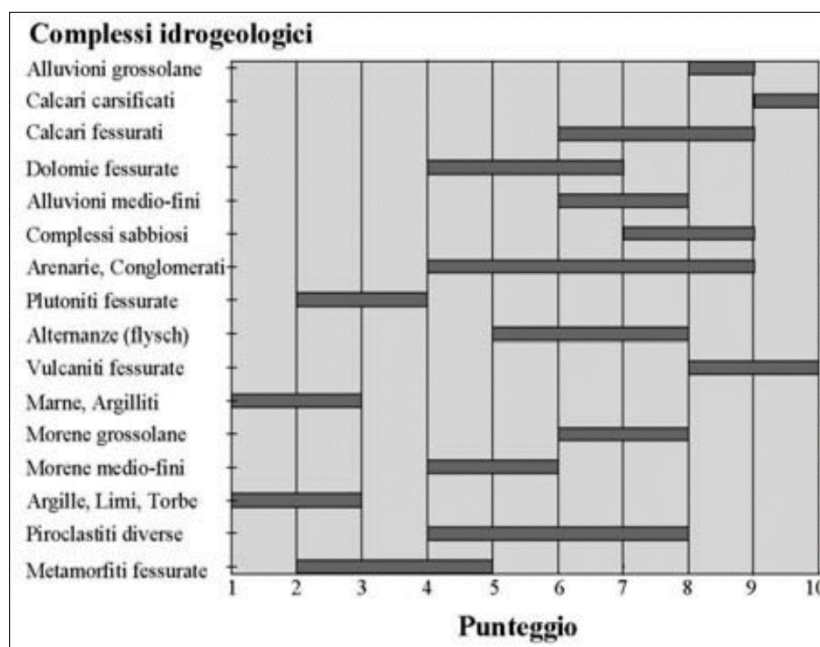


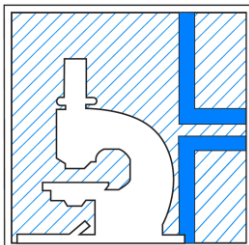
Figura 15 – Complessi idrogeologici e relativi punteggi per A (Civita M. & De Maio M., 2000).

Nella situazione in esame è stato attribuito un punteggio di **A = 8,5**. Suddetto valore rimane invariato, sia in condizioni *ante-operam* che in condizioni *post-operam*, per le medesime considerazioni fatte in precedenza.

5.2.6 Conducibilità idraulica dell'acquifero (C)

La conducibilità idraulica è la capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo e, dunque, di un inquinante idroportato o con le stesse caratteristiche di densità dell'acqua sotterranea (Civita M. & De Maio M., 2000).

Il punteggio di **C** viene determinato tramite l'utilizzo dei grafici delle figure 16 e 17.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
 Igiene degli Alimenti
 Microbiologia
 Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
 Indagini ambientali

AZIENDA CON
 SISTEMA DI GESTIONE
 QUALITÀ
 UNI EN ISO 9001:2008
 CERTIFICATO DA
 CERTIQUALITY

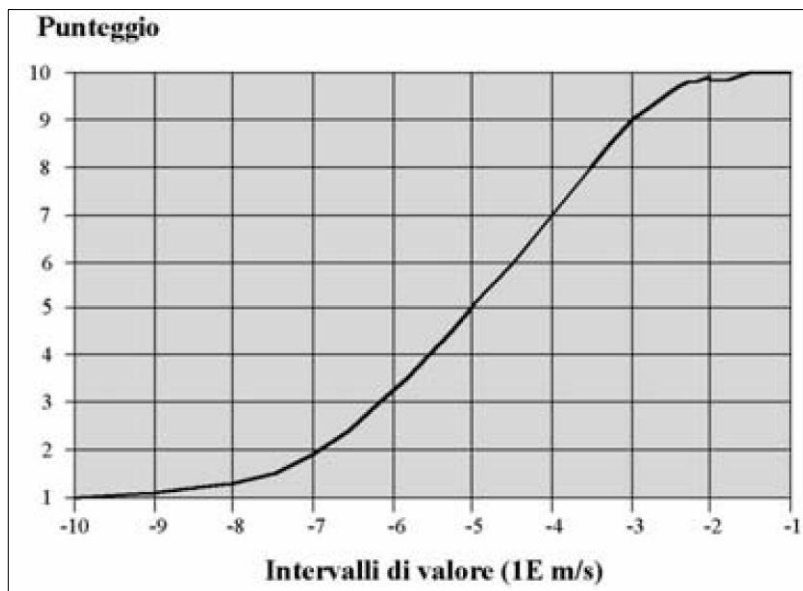


Figura 16 – Conducibilità idraulica e relativi punteggi per C (Civita M. & De Maio M., 2000).

Il primo dei due suddetti grafici indica gli intervalli di valore della conducibilità idraulica e i relativi punteggi attribuiti dal modello SINTACS, mentre il secondo, utile in assenza di misure dirette di permeabilità dell'acquifero, fornisce gli intervalli di conducibilità idraulica tipici dei principali complessi acquiferi.

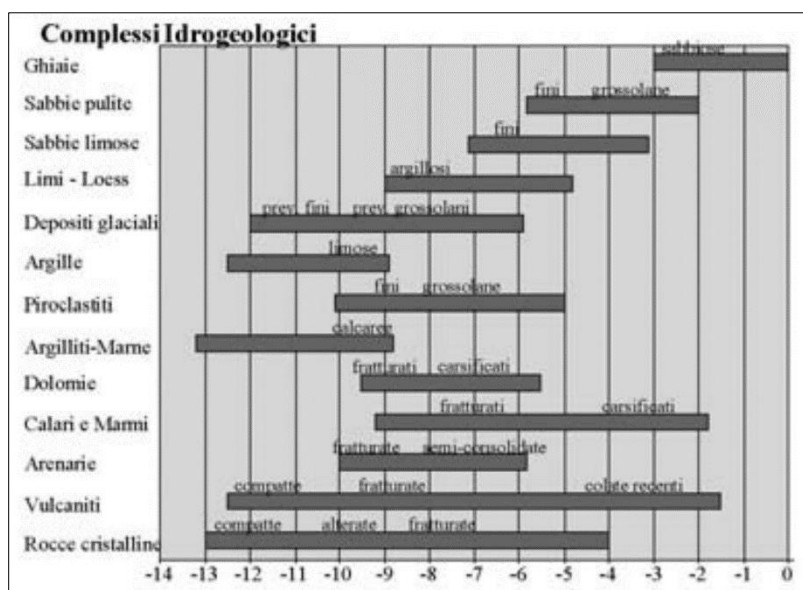
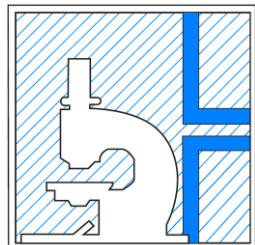


Figura 17 – Intervalli di conducibilità dei principali acquiferi. (Civita M. & De Maio M., 2000).

Nella situazione in esame, è stata considerata la presenza di un acquifero costituito da ghiaie-sabbiose, a cui



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

può essere associata una permeabilità $K = 1E-2 - 1E-3$ m/s; in virtù di quanto suddetto è stato attribuito un punteggio di **A = 9,5**. Anche suddetto valore rimane invariato, sia in condizioni *ante-operam* che in condizioni *post-operam*, per le medesime osservazioni fatte in precedenza.

5.2.7 Acclività della superficie topografica (S)

L'acclività della superficie topografica influisce sulla valutazione della vulnerabilità intrinseca soprattutto perché da essa dipende la quantità di ruscellamento che si produce a parità di precipitazione e la velocità di spostamento dell'acqua (e, dunque, di un inquinante fluido o idroveicolato) sulla superficie (Civita M. & De Maio M., 2000).

I punteggi, che vengono attribuiti in maniera inversamente proporzionale alla pendenza, vengono riassunti in Figura 18. Nel caso in esame, essendo il sito completamente pianeggiante, è stato assegnato un valore **S = 10**.

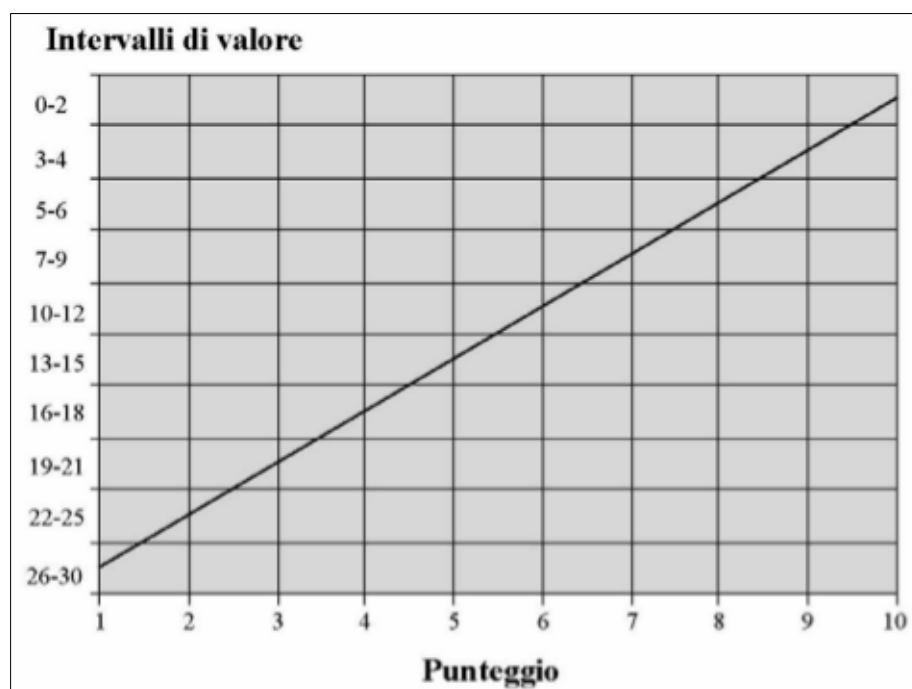
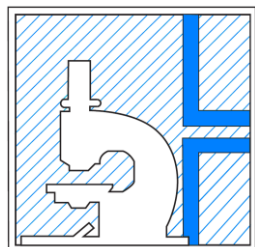


Figura 18 – Classi di pendenza (valori %) e punteggio relativo.
(Civita M. & De Maio M., 2000).

5.3. Analisi e definizione della situazione idrogeologica e di impatto

La struttura modulare dell'*input* di SINTACS è stata concepita per poter usare diverse stringhe di pesi moltiplicatori, rappresentati ognuna una specifica situazione idrogeologica o di impatto, la quale possa andare a descrivere e sintetizzare in qualche modo le condizioni locali.

Ai fini del calcolo e dell'ottenimento dell'indice SINTACS finale, ogni parametro previsto dal modello dovrà



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

essere moltiplicato per il corrispondente valore della stringa selezionata per il caso specifico in esame. Nel presente studio si è deciso di operare analizzando la risposta secondo la situazione idrogeologica di “**Impatto rilevante**” e secondo la situazione idrogeologica di “**Drenaggio**” (Tab.2).

Parametro	I. Normale	I. Rilevante	Drenaggio	Carsismo	Fessurato
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	3	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	3	2	2	5	4

Tabella 2 – Stringhe di pesi moltiplicatori previsti da SINTACS (Vers. R5).
(Civita M. & De Maio M., 2000; modificato).

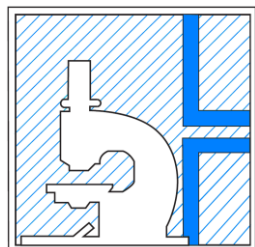
5.3.1 Situazione idrogeologica di *Impatto rilevante*

Questa linea di pesi serve a modellare situazioni territoriali che favoriscono impatti importanti da fonti diffuse di inquinamento potenziale. Si tratta di territori, con insaturo costituito in prevalenza da mezzi a permeabilità matriciale, morfologicamente adatti ad antropizzazione estensiva, con colture che prevedono abbondanti trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, applicazione di fert-irrigazione, spargimento di liquami; aree a discarica incontrollata, lagoni, vasche di dispersione, oleodotti, collettori fognari, etc.; aree industriali attive e dimesse, aree urbanizzate e assimilabili (Civita M. & De Maio M., 2000).

In queste condizioni è evidente che il sottosistema insaturo ha un ruolo preponderante indipendentemente dalla tipologia di acquifero sottostante. La stringa attribuisce un forte risalto al parametro soggiacenza (S), alle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (A) e alla tipologia di copertura presente (T); notevole importanza viene inoltre attribuita all'infiltrazione (I).

5.3.2 Situazione idrogeologica di *Drenaggio*

Uno scenario particolare è stato identificato per quelle aree ove avviene un continuo, o comunque frequente, drenaggio da corpi idrici superficiali a quelli sotterranei soggiacenti. Questa linea di pesi è stata calibrata fondamentalmente sulla forte riduzione se non sull'annullamento della soggiacenza in corrispondenza dei punti (o delle zone) nei quali può sussistere un collegamento tra acquifero e reticolo drenante superficiale, sia naturale che artificiale. Tali zone devono comprendere, oltre alle parti direttamente connesse al suddetto reticolo, le aree abitualmente esondabili dai corsi d'acqua in regime di piena e le aree soggette ad esondazione frequente; le aree di irrigazione con grandi volumi d'acqua (irrigazione per sommersione e per scorrimento); le aree di affioramento continuo o periodico della superficie piezometrica libera (stagni, marcite, paludi)



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

(Civita M. & De Maio M., 2000).

Nella presente situazione viene data una forte rilevanza al tipo di acquifero (**A**) e alla sua conducibilità idraulica (**C**).

5.4. Applicazione dell'algoritmo

Al fine di avere a disposizione un quadro più completo possibile della situazione sotto indagine e valutare eventuali variazioni di vulnerabilità dell'acquifero in oggetto, sono state effettuate, come già evidenziato, simulazioni secondo due situazioni idrogeologiche e di impatto (ritenute di fatto entrambe possibili per l'area in esame).

Inoltre, avendo a disposizione delle analisi accurate per quanto riguarda le coperture (cfr. paragrafi 5.2.2 e 5.2.4) ed essendo esse suddivise secondo la distinzione fra *Topsoil* (primi 50 cm di suolo) e *Subsoil* (sottostanti 100 cm di suolo), si è ritenuto opportuno assumere la medesima differenziazione anche nelle modellazioni SINTACS, simulando di fatto, alternativamente, una copertura con le caratteristiche del solo *Topsoil* e una copertura con le caratteristiche del solo *Subsoil*. Le combinazioni di modellazione SINTACS effettuate sono riassunte di seguito:

- 1) TOPSOIL – ANTE-OPERAM: **IR** (Impatto rilevante), **DR** (Drenaggio);
- 2) TOPSOIL – POST-OPERAM: **IR**, **DR**;
- 3) SUBSOIL – ANTE-OPERAM: **IR**, **DR**;
- 4) SUBSOIL – POST-OPERAM: **IR**, **DR**.

I calcoli veri e propri, relativamente alle suddette combinazioni, sono di seguito illustrati.

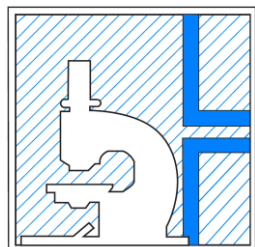
5.4.1 Combinazioni relative al Topsoil

ANTE-OPERAM:

$$\mathbf{IR} = S*5 + I*5 + N*4 + T*5 + A*3 + C*2 + S*2 = 3*5 + 6*5 + 7*4 + 6,5*5 + 8,5*3 + 9,5*2 + 10*2 = 15 + 30 + 28 + 32,5 + 25,5 + 19 + 20 = \mathbf{170}$$

$$\mathbf{DR} = S*4 + I*4 + N*4 + T*2 + A*5 + C*5 + S*2 = 3*4 + 6*4 + 7*4 + 6,5*2 + 8,5*5 + 9,5*5 + 10*2 = 12 + 24 + 28 + 13 + 42,5 + 47,5 + 20 = \mathbf{187}$$

POST-OPERAM (i parametri che hanno subito una variazione fra condizioni *ante-operam* e *post-operam* vengono evidenziati in blu):



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
 Igiene degli Alimenti
 Microbiologia
 Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
 Indagini ambientali

AZIENDA CON
 SISTEMA DI GESTIONE
 QUALITÀ
 UNI EN ISO 9001:2008
 CERTIFICATO DA
 CERTIQUALITY

$$IR = S*5 + I*5 + N*4 + T*5 + A*3 + C*2 + S*2 = 3*5 + 5,5*5 + 7*4 + 8,5*5 + 8,5*3 + 9,5*2 + 10*2 = 15 + 27,5 + 28 + 42,5 + 25,5 + 19 + 20 = 177,5$$

$$DR = S*4 + I*4 + N*4 + T*2 + A*5 + C*5 + S*2 = 3*4 + 5,5*4 + 7*4 + 8,5*2 + 8,5*5 + 9,5*5 + 10*2 = 12 + 22 + 28 + 17 + 42,5 + 47,5 + 20 = 189$$

In Tabella 3 vengono riassunti i risultati inerenti le simulazioni effettuate considerando il Topsoil come copertura; fra parentesi viene indicata anche la relativa classe SINTACS, attribuita sulla base di quanto riportato in Figura 19.

	Ante operam	Post operam
IR	170 (A-alta)	177,5 (A-alta)
DR	187 (E-elevata)	189 (E-elevata)

Tabella 3 – Sintesi dei risultati delle combinazioni relative al Topsoil.

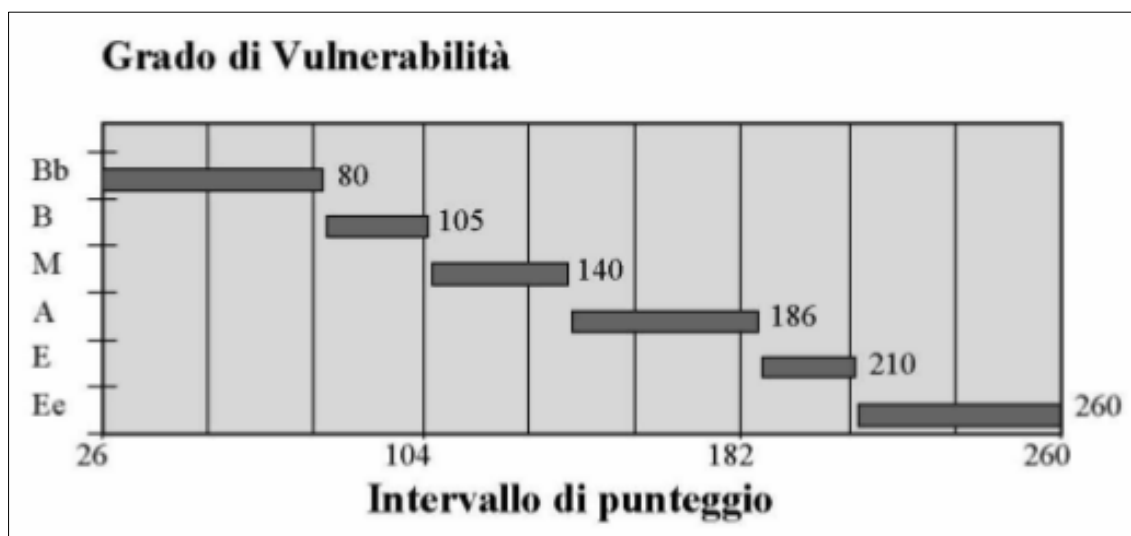


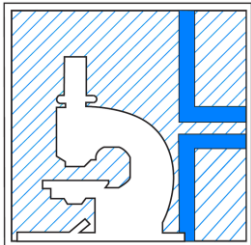
Figura 19 – Punteggi relativi agli intervalli/gradi di vulnerabilità intrinseca. (Civita M. & De Maio M., 2000).

5.4.2 Combinazioni relative al Subsoil

ANTE-OPERAM:

$$IR = S*5 + I*5 + N*4 + T*5 + A*3 + C*2 + S*2 = 3*5 + 6*5 + 7*4 + 6*5 + 8,5*3 + 9,5*2 + 10*2 = 15 + 30 + 28 + 30 + 25,5 + 19 + 20 = 167,5$$

$$DR = S*4 + I*4 + N*4 + T*2 + A*5 + C*5 + S*2 = 3*4 + 6*4 + 7*4 + 6*2 + 8,5*5 + 9,5*5 + 10*2 = 12 + 24 + 28 + 12 + 42,5 + 47,5 + 20 = 189$$



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

$$47,5+20 = \mathbf{186}$$

POST-OPERAM (i parametri che hanno subito una variazione fra condizioni *ante-operam* e *post-operam* vengono evidenziati in blu):

$$\mathbf{IR} = S*5 + I*5 + N*4 + T*5 + A*3 + C*2 + S*2 = 3*5 + \mathbf{5,5*5} + 7*4 + \mathbf{8,5*5} + 8,5*3 + 9,5*2 + 10*2 = 15 + \mathbf{27,5} + 28 + \mathbf{42,5} +$$

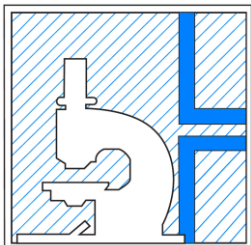
$$25,5 + 19 + 20 = \mathbf{177,5}$$

$$\mathbf{DR} = S*4 + I*4 + N*4 + T*2 + A*5 + C*5 + S*2 = 3x4 + \mathbf{5,5x4} + 7x4 + \mathbf{8,5x2} + 8,5x5 + 9,5x5 + 10x2 = 12 + \mathbf{22} + 28 + \mathbf{18} + 42,5 + 47,5 + 20 = \mathbf{189}$$

In Tabella 4 vengono riassunti i risultati inerenti le simulazioni effettuate considerando il Subsoil come copertura; fra parentesi viene indicata anche la relativa classe SINTACS, attribuita sulla base di quanto riportato in Figura 19.

	Ante operam	Post operam
IR	167,5 (A-alta)	177,5 (A-alta)
DR	186 (A-alta)	189 (E-elevata)

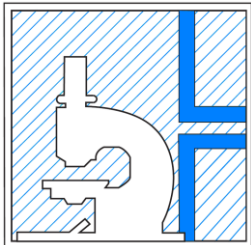
Tabella 4 – Sintesi dei risultati delle combinazioni relative al Topsoil.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



L.A.V. s.r.l.

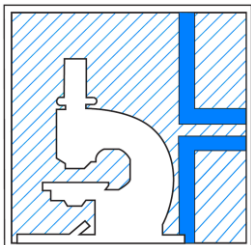
Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

6. Analisi dei risultati e Conclusioni

Sulla base dello studio effettuato si può concludere quanto segue:

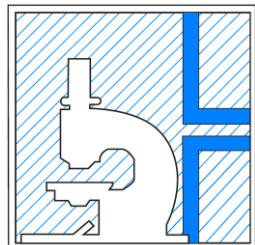
- il sito in esame, analizzato tramite la metodologia SINTACS, mostra, già in condizioni *ante-operam*, una vulnerabilità intrinseca variabile da A – alta a E – elevata (valori compresi fra 167,5 e 187);
- in entrambe le condizioni idrogeologiche e di impatto considerate, si registra un aumento dell'indice SINTACS passando dalle condizioni *ante-operam* a quelle *post-operam*;
- suddetto aumento si dimostra relativamente contenuto e tale da non determinare di fatto variazioni della classe SINTACS, tranne che nel caso di una tipologia di copertura assunta equivalente al Subsoil in condizioni idrogeologiche di drenaggio; anche in questa situazione i valori risultano comunque al limite fra le classi A ed E;
- le variazioni della tipologia di copertura riscontrate e oggetto del presente studio, non sembrano in grado di generare alterazioni significative della vulnerabilità intrinseca complessiva dell'acquifero analizzato, sulla base e nei limiti della metodologia applicata e in considerazione dei molteplici aspetti che influiscono sul sistema.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY

7. Bibliografia

AA.VV., 2001 – *Linee-guida per la redazione e l'uso delle carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Manuali e Linee guida 4/2001. ANPA – Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente – Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e sistemi informativi.

AA.VV., 2010 – *Linee guida per il trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture*. Manuali e linee guida 65.2/2010. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale – Dipartimento Difesa della Natura; Servizio Aree Protette e Pianificazione Territoriale.

AA.VV., 2017 – *Istruttoria Tecnica; Piano di Monitoraggio Ambientale – SUOLO – Risultati Monitoraggio PO*. Supporto tecnico all'osservatorio ambientale collegamento autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo e opere connesse. ARPA Lombardia.

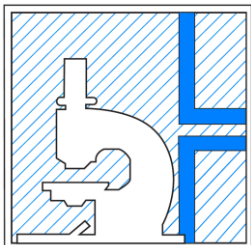
Ceriani M., Carelli M., 2000 – *Carta delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino della regione Lombardia*. Regione Lombardia, Servizio Geologico, Ufficio Rischi Geologici (da Civelli G. E Frati S., 2010).

Civelli G, Frati S., 2010 – *Analisi della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*. Comune di Villa Guardia (CO). Relazione geologica generale, allegati alla relazione e cartografia allegata.

Civita M., 1987 – *La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante la Carte di Vulnerabilità*. Atti del Convegno “Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione”, Mantova, pp. 9-18.

Civita M., De Maio M., 2000 – *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico – SINTACS R5 – A new parametric system for the assessment and automatic mapping of ground water vulnerability to contamination*. Quaderni e Tecniche di Protezione ambientale, 72, Pitagora, Bologna, 226 pp., 1 CD ROM.

Costantini E. A. C. (Ed.), 2007 – *Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici*. CRA-ABP, Firenze, Italia, pp. XV, 280.



L.A.V. s.r.l.

Laboratorio Analisi e Consulenza
Igiene degli Alimenti
Microbiologia
Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro
Indagini ambientali

AZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO DA
CERTIQUALITY