

# Aeroporto di Milano Malpensa

## Masterplan aeroportuale 2035

### Risposta alle richieste di integrazioni e approfondimenti

*ALLEGATO 23*  
*Studio geologico ed idrogeologico a supporto*  
*del Masterplan Aeroportuale 2035 di Milano*  
*Malpensa*





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

# **Studio geologico ed idrogeologico a supporto del Masterplan Aeroportuale 2035 di Milano Malpensa**

Gruppo di lavoro

Prof. Cesare Perotti  
Prof. ssa Claudia Meisina  
Dott. Giorgio Pilla  
Dott. Massimiliano Bordoni

Pavia, 29 Ottobre 2019



## Indice

<b>1. Premessa</b>	pag. 4
<b>2. Metodologia di indagine</b>	pag. 5
2.1 <i>Fase A: Raccolta dei dati</i>	pag. 5
2.2 <i>Fase B: Elaborazione e analisi dei dati</i>	pag. 11
2.3 <i>Fase C: Analisi delle interazioni tra l'area aeroportuale e il sistema geologico, geomorfologico e idrico</i>	pag. 13
<b>3. Inquadramento geografico</b>	pag. 14
<b>4. Uso del suolo</b>	pag. 16
<b>5. Geologia e litologia superficiale</b>	pag. 19
<b>6. Pedologia</b>	pag. 22
<b>7. Geomorfologia</b>	pag. 32
<b>8. Idrografia superficiale</b>	pag. 39
8.1 <i>Reticolo idrico superficiale nell'area esterna al sedime</i>	pag. 39
8.2 <i>Livelli idrometrici del fiume Ticino e del torrente Arno</i>	pag. 42
8.3 <i>Aree soggette a esondazione e fasce PAI</i>	pag. 45
8.4 <i>Ciclo idrico integrato delle acque superficiali nell'area del sedime</i>	pag. 48
<b>9. Valutazione della vulnerabilità del primo acquifero</b>	pag. 52
9.1 <i>Metodologia di ricostruzione della vulnerabilità</i>	pag. 52
9.2 <i>Andamento della vulnerabilità</i>	pag. 57
<b>10. Caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee</b>	pag. 59
10.1 <i>Acque superficiali</i>	pag. 59
10.2 <i>Acque scaricate al suolo e acque emesse in fognatura</i>	pag. 63
10.3 <i>Acque sotterranee</i>	pag. 69



**UNIVERSITÀ DI PAVIA**  
**Dipartimento di**  
**Scienze della Terra**  
**e dell'Ambiente**

<b>11. Analisi dei movimenti del terreno mediante dati interferometrici</b>	pag. 83
<b>12. Inquadramento sismico</b>	pag. 88
<b>13. Analisi delle interazioni tra l'area aeroportuale e il sistema geologico, geomorfologico e idrico</b>	pag. 93
<b>Bibliografia</b>	pag. 98



## 1. Premessa

Il Gruppo SEA (Società per azioni Esercizi Aeroportuali S.E.A. S.p.A.) ha dato mandato al Dipartimento di Scienza della Terra e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Pavia di redigere uno studio sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idriche superficiali dell'area aeroportuale e di un suo adeguato contorno, a supporto del Masterplan Aeroportuale 2035 dell'aeroporto di Milano Malpensa. Questo studio, oltre a fornire un inquadramento delle principali caratteristiche fisiche dell'area indagata, ha lo scopo di valutare le eventuali influenze che l'aeroporto e le attività ad esso connesso possono esercitare sull'ambiente geologico, geomorfologico e idrico e, viceversa, le influenze di questo ambiente sull'area aeroportuale stessa. La presente relazione illustra i risultati di questo studio, riguardanti in particolare:

- 1) l'inquadramento geografico e le caratteristiche di uso del suolo dell'area indagata;
- 2) le caratteristiche geologiche, pedologiche, geomorfologiche e idrografiche superficiali peculiari di quest'area;
- 3) la valutazione della vulnerabilità intrinseca del primo acquifero;
- 4) le caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee nell'area indagata e delle acque raccolte negli scarichi all'interno del sedime;
- 5) l'analisi degli eventuali movimenti del terreno e l'inquadramento sismico nell'area studiata;
- 6) l'analisi e la valutazione dei fattori che possono potenzialmente favorire reciproche influenze e interazioni tra l'area aeroportuale e l'ambiente geologico, geomorfologico e idrico dell'area circostante.



## 2. Metodologia di indagine

La metodologia di indagine si articola nelle seguenti fasi:

- a) raccolta dei dati necessari alla sua realizzazione;
- b) elaborazione ed analisi dei dati raccolti;
- d) analisi e valutazione delle reciproche interazioni tra l'area aeroportuale e il sistema geologico, geomorfologico e idrico circostante.

### 2.1 Fase A: Raccolta dei dati

Per il presente studio, sono stati reperiti i dati necessari per poter realizzare, in maniera esaustiva, le elaborazioni finalizzate al raggiungimento degli obiettivi.

La fase di raccolta dei dati si è articolata in due stadi differenti:

a) **Raccolta dei dati da letteratura e presso enti pubblici:**

- i. Dati relativi all'uso del suolo dell'area studiata
- ii. Dati geologici e geomorfologici
- iii. Dati pedologici
- iv. Dati relativi alle acque superficiali e sotterranee (chimismo delle acque, livelli idrometrici)
- v. Dati interferometrici da satellite
- vi. Dati sismici

Per il reperimento di questi dati, sono state consultate diverse fonti bibliografiche e sono stati contattati enti amministrativi di diverso livello. Gli enti che hanno fornito dati sono stati:

- SEA (Tab. 1)
- Enti Pubblici (Tab. 2)
  - Comune di Vergiate
  - Comune di Somma Lombardo
  - Comune di Samarate
  - Comune di Ferno
  - Area Tutela e Valorizzazione Ambientale – Settori Risorse idriche e Cave della Città Metropolitana di Milano
  - Regione Lombardia (Geoportale regionale)
  - Arpa Lombardia (Database SIRE Acque; Database idro-meteorologico; Settore Monitoraggi Ambientali Centro Regionale Qualità delle Acque)



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Geoportale nazionale)
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (DISS versione 3; Catalogo CPTI15, Catalogo DMI15).

Inoltre, sono stati contattati i seguenti enti, che tuttavia non hanno fornito dati utili al lavoro:

- Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi

**b) Esecuzione di rilievi e indagini sul terreno:**

- i. Individuazione di sorgenti lungo la scarpata di terrazzo del fiume Ticino in prossimità del sedime di Malpensa, con campionamenti delle acque sotterranee e delle acque superficiali del Ticino stesso, in data 17 Febbraio 2017
- ii. Sopralluogo del sedime aeroportuale e campionamento delle acque sotterranee in corrispondenza di alcuni pozzi presenti nel sedime stesso, in data 7 Aprile 2017.

<b>Tipo di dato</b>
Masterplan Aeroportuale dell'aeroporto di Malpensa - Studio di Impatto Ambientale -Metodologie per le analisi ambientali
Masterplan Aeroportuale dell'aeroporto di Malpensa – Schede interventi
Masterplan Aeroportuale dell'aeroporto di Malpensa – Mappa dello stato di progetto configurazione finale
Linee di guida di sviluppo dell'aeroporto di Malpensa al 2030 - Fascicolo informativo
Studio di Impatto Ambientale-Nuovo Masterplan Aeroportuale dell'aeroporto di Malpensa (marzo 2010)
Nuovo Masterplan Aeroportuale
SEA Aeroporto di Malpensa - Piano acque Ottobre 2002 (elaborato da ERM Italia srl)
Studio di vulnerabilità dell'acquifero e modello di flusso e trasporto in insaturo e saturo (prima falda) dell'aeroporto intercontinentale di Malpensa - Marzo 2005 (elaborato da SNAM Progetti)
SEA Aeroporto di Malpensa: Modello di flusso della falda Dicembre 2002 (elaborato da ERM Italia srl)
Riperimetrazione delle fasce di rispetto dei pozzi aeroportuali (elaborato da studio Ing. E. Zamarra) - Relazione di sintesi
Riperimetrazione delle fasce di rispetto dei pozzi aeroportuali (elaborato da studio Ing. E. Zamarra) - Relazione tecnica
Indagine di geologia ambientale (elaborato da USSL n.6 Gallarate)
Planimetria generale dell'aeroporto di Malpensa aggiornata a Gennaio 2016 in dwg
Area di studio, relativa al SIA del Masterplan di Malpensa 2009-2012
Prelievi dai pozzi dell'area del sedime aeroportuale di Malpensa per il periodo 2009-2018
Valori di rifiuti raccolti dall'area aeroportuale di Malpensa per l'anno 2015



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Caratteristiche chimiche delle acque sotterranee misurate in corrispondenza dei pozzi del sedime aeroportuale per il periodo 2010-2018
Stratigrafie dei pozzi chiusi e attualmente in uso all'interno del sedime di Malpensa
Corografia con la distribuzione dei pozzi all'interno del sedime di Malpensa in formato pdf
Caratteristiche chimiche delle acque superficiali misurate in corrispondenza di alcuni scarichi nell'area del sedime aeroportuale nel periodo 2010-2016
Corografia con la distribuzione degli scarichi superficiali all'interno del sedime di Malpensa in formato pdf
Coordinate dei piezometri presenti nell'area del sedime di Malpensa
Misure del livello piezometrico misurate in corrispondenza dei pozzi G e L nel periodo 2006-2016
Sogetec – Indagine geognostica per nuovi piazzali in area Cargo (2007)
SEA Progettazioni - Cargo City Nuovo magazzino merci Index – Relazione geologica (2013)
Editecna – Progetto Palazzina ENAC fabbricato n. 210 nuove pensiline posti auto – Relazione geotecnica e sulle fondazioni (2011)
Celotti U. – Sondaggi geologici e geotecnici eseguiti nel terreno di fondazione di un sovrappasso ferroviario del nuovo Raccordo Sud di prossima costruzione nell'Aeroporto di Malpensa in comune di Lonate Pozzolo (VA) (2005)

Tabella 1. Elenco dei dati messi a disposizione da SEA per l'area aeroportuale di Malpensa.

Ente	Dati raccolti
Comune di Vergiate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documenti originali della componente geologica del Piano di Governo del Territorio</li> <li>- Documenti originali dello studio sul Reticolo Idrico Minore del Piano di Governo del Territorio</li> </ul>
Comune di Somma Lombardo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documenti originali della componente geologica del Piano di Governo del Territorio</li> <li>- Documenti originali dello studio sul Reticolo Idrico Minore del Piano di Governo del Territorio</li> </ul>
Comune di Samarate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documenti originali della componente geologica del Piano di Governo del Territorio</li> </ul>





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Comune di Ferno	<ul style="list-style-type: none"><li>- Documenti originali della componente geologica del Piano di Governo del Territorio</li></ul>
Area Tutela e Valorizzazione Ambientale - Settori Risorse idriche e Cave della Città Metropolitana di Milano ( <a href="http://ambiente.provincia.milano.it/sia/ot/acqsot/contenutisot.asp?rif1=H2Oсот&amp;rif2=H2Oсот&amp;idrf=0">http://ambiente.provincia.milano.it/sia/ot/acqsot/contenutisot.asp?rif1=H2Oсот&amp;rif2=H2Oсот&amp;idrf=0</a> )	<ul style="list-style-type: none"><li>- Catasto bonifiche e siti contaminati</li><li>- Catasto pozzi/piezometri</li><li>- Reticolo idrico superficiale</li><li>- Analisi biochimiche sui corsi acqua (1987-2000)</li></ul>
Regione Lombardia (Geoportale) ( <a href="http://www.geoportale.regione.lombardia.it/download-dati">http://www.geoportale.regione.lombardia.it/download-dati</a> )	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aree a vincolo idrogeologico aggiornate al 2013 (Fasce PAI)</li><li>- Banca dati geologica del sottosuolo (<i>database</i> CASPITA)</li><li>- Base informativa della cartografia Geoambientale - Carta geomorfologica</li><li>- Base informativa della cartografia Geoambientale - Carta litologica</li><li>- Basi Ambientali della Pianura - Attività di Sfruttamento del Suolo</li><li>- Basi Ambientali della Pianura - Geomorfologia</li><li>- Basi Ambientali della Pianura - Idrologia</li></ul>



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	<ul style="list-style-type: none"><li>- Basi Ambientali della Pianura – Litologia</li><li>- Basi informative dei suoli</li><li>- Carta Tecnica Regionale 1:10000 aggiornata dai <i>Database</i> Topografici</li><li>- Catasto cave</li><li>- Classificazione sismica dei Comuni</li><li>- DTM5x5 Modello Digitale del Terreno 2015</li><li>- DUSAF 5.0 Uso del suolo 2015</li><li>- Fontanili della Lombardia</li><li>- Esondazioni storiche nella regione Lombardia, per il periodo 1947-2019</li><li>- Limiti amministrativi 2016 con aggiornamenti DbT/PGT</li><li>- PGT - Tavola delle Previsioni di Piano</li><li>- Siti bonificati e siti contaminati</li><li>- Tavole dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali (PTCP) della Città Metropolitana di Milano e della Provincia di Varese</li><li>- Studi geologici comunali</li></ul>
--	--



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

<p>ARPA Lombardia (<i>Database</i> idro-meteorologico) (<a href="http://www2.arpalombardia.it/siti/arpalombardia/meteo/riciesta-dati-misurati/Pagine/RichiestaDatiMisurati.aspx">http://www2.arpalombardia.it/siti/arpalombardia/meteo/riciesta-dati-misurati/Pagine/RichiestaDatiMisurati.aspx</a>)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Dati di pioggia per il periodo Marzo 2000-Settembre 2019 della stazione di Somma Lombardo</li><li>- Dati di pioggia della stazione di Cavaria con Premezzo per il periodo Gennaio 2004-Settembre 2019</li><li>- Dati del livello idrometrico del fiume Ticino della stazione di Golasecca Miorina per il periodo Luglio 1998-Settembre 2019</li><li>- Dati del livello idrometrico del torrente Arno della stazione di Cavaria con Premezzo per il periodo Gennaio 2004-Settembre 2019</li></ul>
<p>ARPA Lombardia (SIRE Acque) (<a href="http://sireacque.arpalombardia.it/">http://sireacque.arpalombardia.it/</a>)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Database</i> delle analisi chimiche svolte sulle acque sotterranee nel periodo 2009-2018</li><li>- <i>Database</i> delle analisi chimiche svolte sulle acque superficiali nel periodo 2009-2018</li></ul>
<p>ARPA Lombardia (Settore Monitoraggi Ambientali Centro Regionale Qualità delle Acque)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Database</i> delle analisi chimiche svolte sulle acque sotterranee in alcuni pozzi nell'area circostante il sedime di Malpensa, nel periodo 2009-2018</li><li>- <i>Database</i> delle analisi chimiche svolte sulle acque superficiali nell'area</li></ul>



	circostante il sedime di Malpensa, nel periodo 2009-2018
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Geoportale nazionale) ( <a href="http://www.pcn.minambiente.it/viewer/">http://www.pcn.minambiente.it/viewer/</a> )	<ul style="list-style-type: none"><li>- Prodotti interferometrici ERS ascendenti</li><li>- Prodotti interferometrici ERS discendenti</li><li>- Prodotti interferometrici ENVISAT ascendenti</li><li>- Prodotti interferometrici ENVISAT discendenti</li></ul>
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ( <a href="http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml">http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml</a> )  <a href="http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/download_CPTI15.htm">http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/download_CPTI15.htm</a>  <a href="http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/">http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/</a>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Zonazione sismogenetica che individua aree omogenee caratterizzate dalle potenziali sorgenti sismiche in grado di generare terremoti superiori a 5.5 Mw (DISS version 3.2.1)</li><li>- Catalogo CPTI15 dei terremoti storici significativi (1000-2014)</li><li>- Catalogo DBMI15 delle intensità macrosismiche per terremoti storici del periodo 1000-2014</li></ul>

Tabella 2. Elenco dei dati reperiti presso enti amministrativi di diverso livello e società private.

## 2.2 Fase B: Elaborazione e analisi dei dati

I dati raccolti sono stati elaborati e analizzati allo scopo di raggiungere gli obiettivi prefissati per questo studio.

Oltre a un inquadramento geografico introduttivo dell'area analizzata (capitolo 3), in Tab. 3 si schematizzano, per ciascun obiettivo, i metodi di elaborazione utilizzati.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Obiettivo	Strumenti e metodi
Uso del suolo (capitolo 4)	- Distribuzione dell'uso del suolo nell'area indagata, a partire dal database DUSAF 5.0 (anno 2015) di Regione Lombardia
Geologia e litologia superficiale (capitolo 5)	- Analisi delle principali caratteristiche geologiche dell'area studiata, tramite la ricostruzione della distribuzione delle principali unità geologiche presenti e dei rapporti stratigrafici tra queste unità - Analisi delle caratteristiche litologiche dei depositi superficiali, immediatamente al di sotto del suolo
Pedologia (capitolo 6)	- Distribuzione delle unità pedologiche dell'area studiata - Valutazione, a partire dalle caratteristiche tessiturali dei suoli, del grado di protezione dei diversi tipi di suolo nei confronti di possibili inquinamenti della falda freatica
Geomorfologia (capitolo 7)	- Ricostruzione delle principali caratteristiche geomorfologiche dell'area indagata
Idrografia superficiale (capitolo 8)	- Ricostruzione del reticolo idrico superficiale nell'area esterna al sedime di Malpensa - Analisi dei livelli idrometrici dei due principali corsi d'acqua della zona (fiume Ticino e torrente Arno) - Analisi delle zone soggette a esondazioni nel periodo 1947-2019 e distribuzione della fasce PAI - Analisi del ciclo integrato delle acque superficiali e del reticolo interno al sedime di Malpensa
Valutazione della vulnerabilità del primo acquifero (capitolo 9)	- Applicazione della metodologia SINTACS per la valutazione della vulnerabilità intrinseca della prima falda, secondo diversi scenari
Caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee (capitolo 10)	- Caratterizzazione qualitativa delle acque superficiali, a monte e a valle del sedime aeroportuale - Caratterizzazione qualitativa delle acque degli scarichi al suolo e degli scarichi nella rete fognaria interni al sedime aeroportuale - Caratterizzazione qualitativa delle acque sotterranee, a monte e a valle del sedime aeroportuale



Analisi dei movimenti del terreno mediante dati interferometrici (capitolo 11)	- Utilizzo di dati satellitari interferometrici differenziali (DInSAR) per l'individuazione di aree del sedime aeroportuale soggette a fenomeni di movimento del terreno
Inquadramento sismico (capitolo 12)	- Analisi delle caratteristiche di sismicità dell'area indagata

Tabella 3. Metodi e strumenti utilizzati durante la fase di analisi e elaborazione dei dati.

### *2.3 Fase C: Analisi delle interazioni tra l'area aeroportuale e il sistema geologico, geomorfologico e idrico*

A partire dai risultati raggiunti nelle fasi precedenti, verranno quindi valutati i principali elementi attraverso i quali l'aeroporto e le attività ad esso connesse possono interagire con l'ambiente circostante e viceversa (capitolo 13).

In particolare, verranno valutate le reciproche interazioni tra l'area aeroportuale e il sistema geologico, geomorfologico e idrico dell'area circostante, considerando sia la situazione attuale che la situazione futura, in funzione delle opere previste nel Masterplan.

In funzione delle influenze reciproche trovate, sia per l'aeroporto che per l'ambiente su cui esso insiste, verranno proposti degli specifici piani di monitoraggio e interventi di mitigazione, che possano permettere di annullare le problematiche che possono eventualmente sorgere sia nella situazione attuale che nella situazione futura prevista dal Masterplan.



### 3. Inquadramento geografico

L'area oggetto dello studio (Fig. 1) ha una estensione di 168.4 km<sup>2</sup> e ricade all'interno di 19 comuni. 13 di questi comuni sono in Provincia di Varese: Arsago Seprio, Besnate, Cardano al Campo, Casorate Sempione, Ferno, Gallarate, Golasecca, Lonate Pozzolo, Mornago, Samarate, Somma Lombardo, Vergiate, Vizzola Ticino. I restanti 6 comuni sono in Città Metropolitana di Milano: Castano Primo, Magnago, Nosate, Robecchetto con Induno, Turbigo, Vanzaghello.

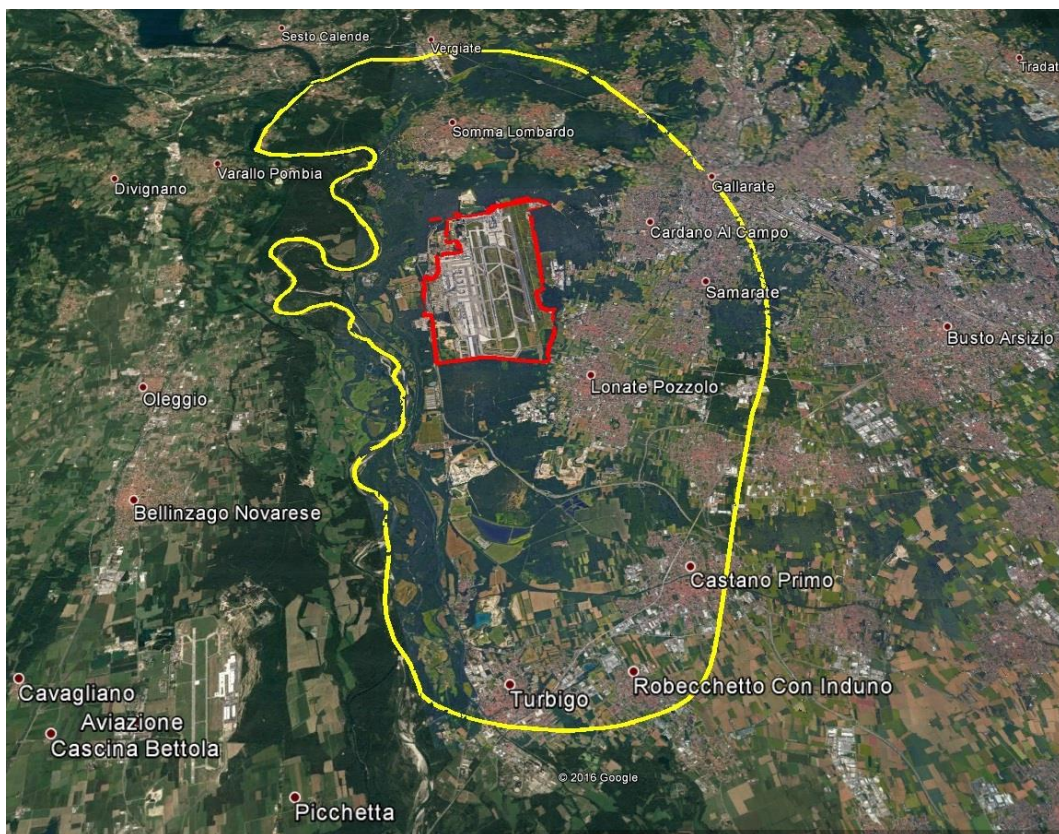


Figura 1. Inquadramento geografico dell'area di studio. Il poligono giallo rappresenta l'area di indagine, il poligono rosso il sedime di Malpensa. L'ortofoto di sfondo appartiene all'archivio di Google Earth (<http://www.google.it/intl/it/earth/>).

Il sedime aeroportuale di Malpensa è ubicato circa al centro dell'area di studio. Questo occupa un'area di 12 km<sup>2</sup> ed è diviso all'interno del territorio di 7 comuni: Cardano al Campo, Casorate Sempione, Ferno, Lonate Pozzolo, Samarate, Somma Lombardo, Vizzola Ticino.

L'area di studio si colloca nell'Alta Pianura Padana, in un'area intensamente urbanizzata, specie nel settore orientale dell'area di studio. A ovest, essa è limitata dal fiume Ticino, che rappresenta il principale corso d'acqua della zona, nonchè segna il confine amministrativo tra la regione Lombardia (dove si trova l'area di studio) e la regione Piemonte.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

**Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente**

L'area di studio ricopre la zona che può essere potenzialmente influenzata dall'aeroporto dal punto di vista geologico, idrologico e idrogeologico. Essa è limitata a ovest dal fiume Ticino, in quanto questo fiume è un limite idrogeologico marcato per le acque sia superficiali che sotterranee (il Ticino scorre in una valle incassata 50 m dal ripiano di Malpensa ed esplica un'azione fortemente drenante nei confronti della falda).





## 4. Uso del suolo

La distribuzione dell'uso del suolo nell'area di indagine (Fig. 2) è stata ricostruita utilizzando il database DUSAF 5.0 messo a punto dalla regione Lombardia e riferito alla situazione del 2015.

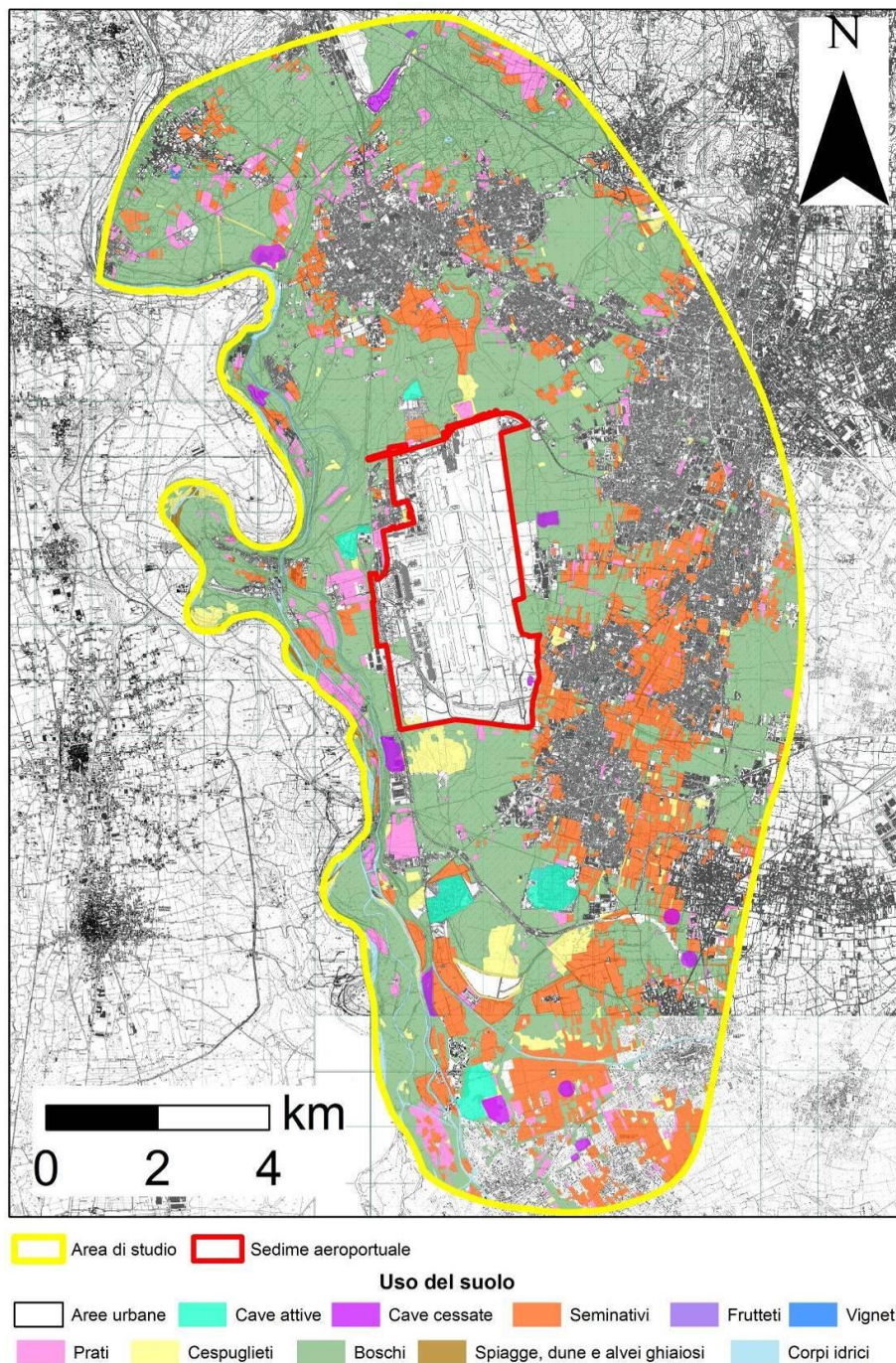


Figura 2. Distribuzione dell'uso del suolo nell'area di indagine.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Esso rappresenta il *database* più aggiornato presente per l'area di studio e la distribuzione delle diverse classi di uso del suolo è pressochè corrispondente a quella attuale.

Il contesto studiato si presenta intensamente urbanizzato, soprattutto nell'area a E e a S del sedime aeroportuale. In queste zone, infatti, si concentrano la maggior parte dei centri abitati e delle attività economiche, oltre alla fitta rete di strade secondarie e principali e delle altre vie di comunicazione presenti nella zona. Nella carta di Fig. 2, queste classi di uso del suolo sono state riassunte sotto la categoria di "aree urbane" per semplificare la comprensione della distribuzione dell'uso del suolo nel territorio studiato. Le aree urbane, nel complesso, occupano il 38.0% dell'area di indagine. Sono numerose anche le cave (1% dell'area totale), la cui attività è cessata o è ancora in atto. La maggior parte delle cave si concentra in prossimità del fiume Ticino o nell'area a S del sedime aeroportuale. Queste cave estraggono in particolare materiali inerti di tipo grossolano (in particolare, ghiaie e sabbie).

Nell'area di indagine, una percentuale significativa (11.9%) è occupata da terreni destinati all'agricoltura. In particolare, si tratta di campi coltivati con cereali (soprattutto mais) o foraggi.

Nonostante l'evidente impatto antropico che ha insistito sull'area di studio, è possibile osservare come il % dell'area studiata è ancora occupata da boschi (40.6%) o cespuglieti e prati (6.4%), con caratteristiche naturali pressochè intatti.

Classe di uso del suolo	Percentuale di area occupata (%)
Aree urbane	38.0
Cave attive	0.5
Cave cessate	0.5
Boschi	40.6
Cespuglieti	2.4
Corpi idrici	1.8
Frutteti	0.1
Prati	4.0
Seminativi	11.9
Spiagge, dune e alvei ghiaiosi	0.1
Vigneti	0.1

Tabella 4. Percentuale di area occupata da ciascuna delle classi di uso del suolo individuate nell'area di indagine.

In particolare, i boschi sono per lo più costituiti da latifoglie con densità bassa e media. Essi sono diffusi soprattutto in prossimità della valle del fiume Ticino, nella porzione occidentale dell'area di



UNIVERSITÀ DI PAVIA

**Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente**

indagine, e tutto intorno al sedime aeroportuale. Inoltre, proprio in prossimità del sedime di Malpensa si concentrano la maggior parte delle aree occupate da cespuglieti o prati con caratteristiche naturali.

In Tab. 4 sono riassunte le percentuali di area occupata dalla diverse classi di uso del suolo individuate nell'area di studio.



## 5. Geologia e litologia superficiale

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di estesi depositi di origine fluviale o fluvio-glaciale. Di particolare interesse ai fini applicativi, di realizzazione di opere e infrastrutture nel sedime e nel suo intorno, e per le successive analisi è la valutazione della litologia di superficie nell'area di studio.

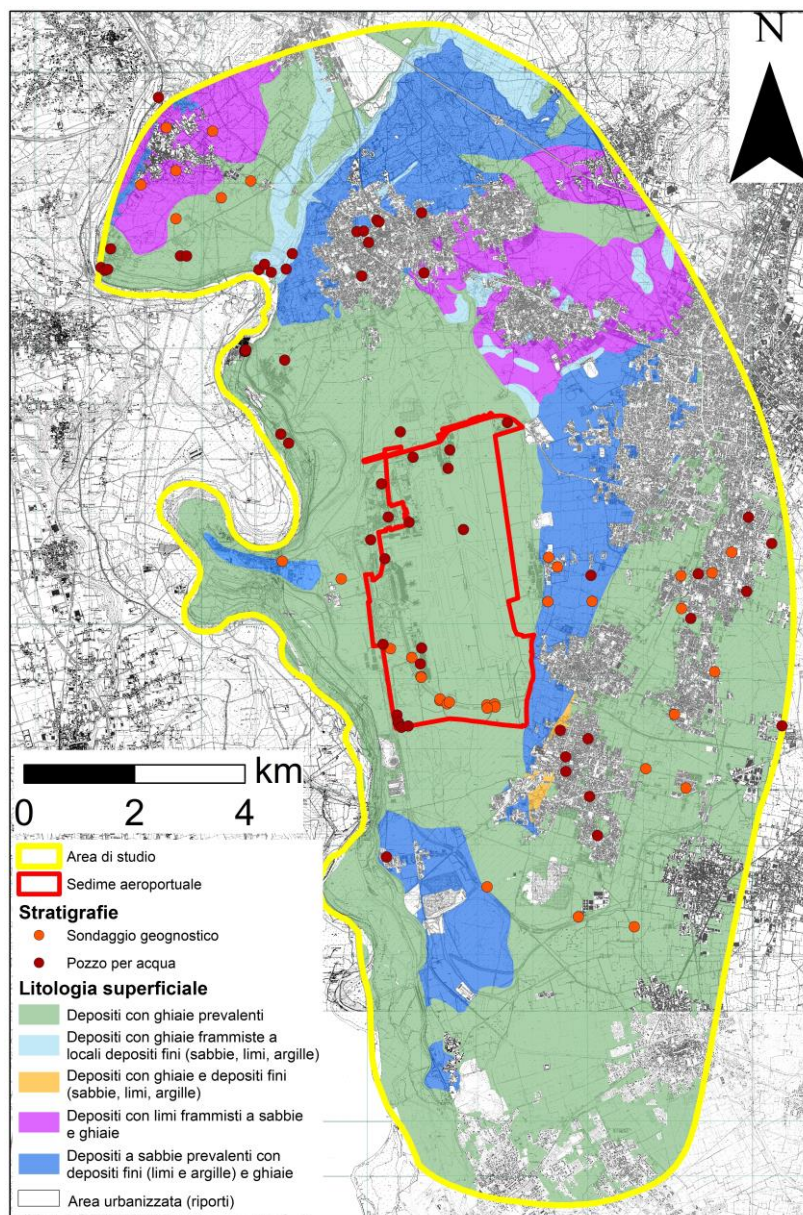


Figura 3. Carta della litologia superficiale dell'area di studio.



La carta della litologia di superficie (Fig. 3) è stata ricostruita integrando i dati litologici superficiali presenti nel Geoportale della Regione Lombardia (Carta della Litologia di Superficie delle Aree di Pianura; Tab. 2, capitolo 2.1) con l'interpretazione di alcune stratigrafie presenti nell'area di studio (Fig. 3).

Le stratigrafie considerate sono state 117: 63 sono relative ad indagini per la realizzazione di pozzi, 54 sono state realizzate con sondaggi geognostici. Le stratigrafie utilizzate sono state raccolte all'interno della Banca dati geologica del sottosuolo di Regione Lombardia (*database CASPITA*; 85 stratigrafie) e da altre indagini geognostiche eseguite nel tempo all'interno del sedime aeroportuale di Malpensa (32 stratigrafie).

Le stratigrafie sono distribuite in maniera abbastanza uniforme nella porzione centro-settentrionale dell'area di indagine, mentre nel suo settore a S dell'aeroporto di Malpensa la distribuzione di queste ha una densità di punti decisamente inferiore (Fig. 3).

Per ciascuna delle stratigrafie analizzate, si è considerata, come litologia superficiale, quella presente nei primi 5 m di profondità a partire dal piano campagna. In questo modo, è stato possibile tenere conto, laddove presenti, degli orizzonti del suolo e del materiale parentale da cui esso deriva. Analizzando la distribuzione delle litologie di superficie, si nota come in buona parte del settore centro-meridionale dell'area sono presenti depositi superficiali grossolani a ghiaie prevalenti (Fig. 4). Questi depositi sono costituiti esclusivamente da ghiaie e ciottoli centimetrici e pluricentimetrici sciolti o da ghiaie e ciottoli immersi in una matrice sabbiosa grossolana (Fig. 4). Localmente, questi depositi passano a litologie più fini, costituite da sabbie prevalenti che presentano livelli decimetrici ghiaiosi o limoso-argillosi.

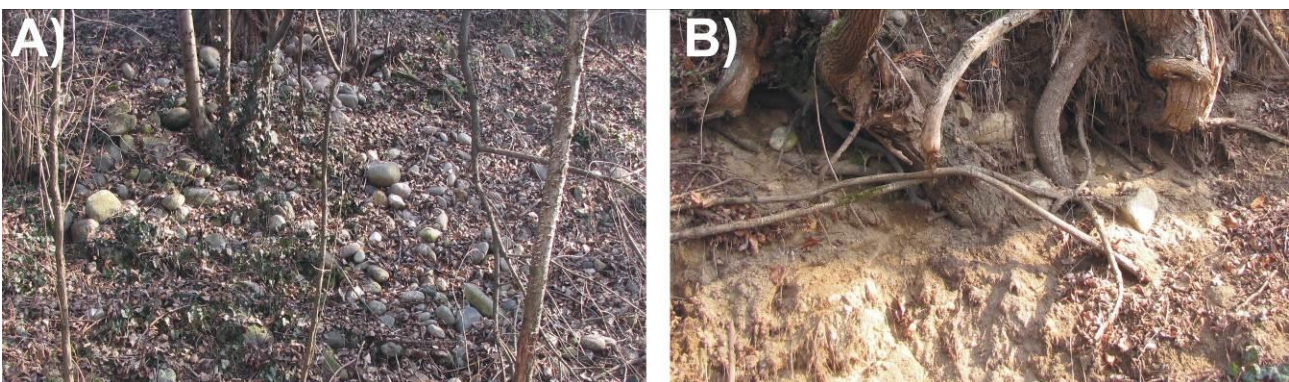


Figura 4. Depositi superficiali con ghiaie prevalenti affioranti in prossimità del sedime di Malpensa (comune di Somma Lombardo): a) ghiaie con ciottoli di dimensioni centimetriche e pluricentimetriche; b) ghiaie e ciottoli centimetrici e pluricentimetrici immersi in una matrice sabbiosa grossolana.

Depositi a sabbie prevalenti con subordinati depositi fini o livelli ghiaiosi caratterizzano anche i materiali più superficiali presenti immediatamente a E del sedime aeroportuale (Fig. 3).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Nel settore settentrionale dell'area di indagine, vi è una maggiore eterogeneità granulometrica dei depositi superficiali (Fig. 3). I materiali sono ancora, per la maggior parte, a predominante o esclusiva componente ghiaioso-sabbiosa, anche se sono presenti estese porzioni di territorio in cui la litologia di superficie ha una componente limosa con frammenti livelli decimetrici di sabbie e ghiaie (Fig. 3).

E' opportuno sottolineare anche la presenza di alcuni settori dell'area di indagine, soprattutto localizzati vicino al limite orientale di questa, in cui i materiali superficiali sono costituiti da terreni eterogenei di riporto (per rilevati di infrastrutture ed urbanizzazioni), il cui spessore è molto considerevole (3-5 m) (Fig. 3).

In corrispondenza del sedime di Malpensa, la litologia superficiale è a prevalente componente ghiaiosa, con la presenza anche di ciottoli più o meno arrotondati di dimensioni centimetriche e pluricentriche.



## 6. Pedologia

I dati pedologici (Fig. 5) sono stati desunti a partire dal *database* Basi informative dei suoli, della Regione Lombardia. Questi sono stati realizzati da ERSAF, che provvede anche a un loro periodico aggiornamento. I dati pedologici sono stati integrati con anche altri dati bibliografici (ERSAF, 2004).

In Tab. 5, vengono riportate le classi di appartenenza delle unità pedologiche e le loro caratteristiche principali, in termini di:

- 1) Unità di paesaggio a cui appartiene il suolo (UC)
- 2) Uso del suolo prevalente (UDS)
- 3) Classificazione tassonomica del suolo, secondo la classificazione USDA (1994), e sue principali caratteristiche granulometriche (TAX)
- 4) Attitudine del suolo all'utilizzo dei reflui in ambito agricolo (LIQ)
- 5) Attitudine del suolo all'utilizzo dei fanghi di depurazione urbana in ambito agricolo (FAN)
- 6) Capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque sotterranee (ACQ)
- 7) Capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque superficiali (SUP)
- 8) Valore naturalistico dei suolo (VAL).

UP	UC	UDS	TAX	LIQ	FAN	ACQ	SUP	VAL
ANNI	Estese superfici a morfologia subpianeggiante, solcate da evidenti tracce di paleoidrografia a canali intrecciati e talvolta dolcemente ondulate in prossimità dei principali solchi vallivi. Sono costituite dai depositi di conoide e rappresentano gli ambi	coltura foraggera permanente / seminativo avvicendato	Humic Dystrudepts, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare alcuni ostacoli nella gestione dei liquami zootecnici	Suoli adatti, con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare alcuni ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Bassa	Elevata	Moderato
BAII	Superfici subpianegginate e terrazzi, costituite da depositi stratificati, comprendenti:	coltura foraggera permanente / seminativo avvicendato	Humic Dystrudepts, Franco ghiaioso, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono	Bassa	Moderata	Moderato



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	1) aree in rilievo sulle piane fluvioglaciali intermoreniche, inclusi i terrazzi di contatto glaciale lacustri o deltizi ("kames"), costituite da materiali fini e pr			presentare alcuni ostacoli nella gestione dei liquami zootecnici	presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione			
CIM1/VRT1	Rilievi costituiti da depositi eterogenei non stratificati (morene), comprendenti: 1) cordoni a profilo arrotondato, con morfologia ondulata e pendenza tipicamente moderata - moderatamente elevata (range modale delle pendenze 7-25%; range estremo 1-70%),	seminativo avvicendato / coltura foraggera permanente	Typic Haplohumults, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic					
CRD1	Terrazzi ben conservati e solo marginalmente in erosione, a morfologia subpianeggiante o dolcemente ondulata. La pendenza è generalmente nulla o bassa (range modale delle pendenze =2%, range estremo 1-10%).	coltura foraggera permanente	Typic Haplohumults, Limoso fine, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti senza limitazioni: la gestione dei liquami zootecnici puo' generalmente avvenire senza particolari ostacoli	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Elevata	Moderata	Moderato
DRE1	Superfici a morfologia pianeggiante, situate alla stessa quota del corso d'acqua o poco in rilievo, inondabili durante le piene di maggiore consistenza (r.i.	seminativo avvicendato	Typic Endoaquolls, franco grossolano sovrastante sabbioso o sabbioso ghiaioso, Mixed, Superactive,	Suoli adatti con moderate limitazioni	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di	Bassa	Moderata	Moderato





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	assente o lieve). Sono presenti nel tratto medio-superiore dei corsi d'acqua e nelle piane monta				depurazione			
FIR1	Estese superfici a morfologia subpianeggiante, solcate da evidenti tracce di paleoidrografia a canali intrecciati e talvolta dolcemente ondulate in prossimità dei principali solchi vallivi. Sono costituite dai depositi di conoide e rappresentano gli ambi	seminativo avvicendato	Humic Dystrudepts, Sabbioso ghiaioso, Mixed, Mesic	Suoli adatti con moderate limitazioni	Suoli non adatti: presentano caratteristiche e qualità tali da sconsigliare l'uso di fanghi e da rendere delicate le pratiche di fertilizzazione in genere	Bassa	Elevata	Moderato
GGI1	Superfici a quota inferiore rispetto ai circostanti terrazzi, che attraversano (paleovalvei) o vi sono interamente racchiuse (conche), caratterizzate da moderati fenomeni di idromorfia. Comprendono le vallecole incise dai corsi d'acqua minori entro gli	coltura foraggera permanente	Fluvaquentic Humaquepts, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Nonacid, Mesic	Suoli adatti con moderate limitazioni	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Bassa	Moderata	Moderato
IGO1/NVO1	Superfici a morfologia pianeggiante, situate alla stessa quota del corso d'acqua o poco in rilievo, inondabili durante le piene di maggiore consistenza (r.i. assente o lieve).	seminativo avvicendato / bosco ceduo	Humic Dystrudepts, Sabbioso ghiaioso, Mixed, Mesic	Suoli adatti con moderate limitazioni	Suoli non adatti: presentano caratteristiche e qualità tali da sconsigliare l'uso di fanghi e da rendere delicate le pratiche di fertilizzazione	Bassa	Moderata	



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	Sono presenti nel tratto medio-superiore dei corsi d'acqua e nelle piane monta				in genere			
LUC1	Rilievi costituiti da depositi eterogenei non stratificati (morene), comprendenti: 1) cordoni a profilo arrotondato, con morfologia ondulata e pendenza tipicamente moderata - moderatamente elevata (range modale delle pendenze 7-25%; range estremo 1-70%),	coltura foraggera permanente	Ultic Hapludalfs, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare alcuni ostacoli nella gestione dei liquami zootecnici	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Bassa	Moderata	Basso
MORI/VIS1	Terrazzi fluviali a morfologia pianeggiante o ondulata, delimitati da scarpate, talvolta lievemente incisi da conche e paleovalvi. Rispetto al corso d'acqua attuale occupano posizioni la cui altimetria è proporzionale all'età; generalmente non mostrano c	coltura foraggera permanente	Humic Eutrudepts, Sabbioso ghiaioso, Mixed, Mesic			Bassa	Elevata	Moderato
MORI/VIS1	Terrazzi fluviali a morfologia pianeggiante o ondulata, delimitati da scarpate, talvolta lievemente incisi da conche e paleovalvi. Rispetto al corso d'acqua attuale occupano	coltura foraggera permanente	Humic Eutrudepts, Sabbioso ghiaioso, Mixed, Mesic			Bassa	Elevata	Moderato



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	posizioni la cui altimetria è proporzionale all'età; generalmente non mostrano c							
ORII	Superfici subpianeggianti e terrazzi, costituite da depositi stratificati, comprendenti: 1) aree in rilievo sulle piane fluvio-glaciali intermoreniche, inclusi i terrazzi di contatto glaciale lacustri o deltizi ("kames"), costituite da materiali fini e pr	seminativo avvicendato / bosco ceduo	Humic-pachic Dystrudepts, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare alcuni ostacoli nella gestione dei liquami zootecnici	Suoli non adatti: presentano caratteristiche e qualità tali da sconsigliare l'uso di fanghi e da rendere delicate le pratiche di fertilizzazione in genere	Bassa	Elevata	Alto
PRN1/VCT1	Superfici adiacenti ai corsi d'acqua, inondabili durante gli eventi di piena ordinaria (r.i. da moderato a p <sub>17</sub> elevato) a meno di protezioni (argini) artificiali. Comprendono il letto di piena dei corsi d'acqua a canali intrecciati ed intravallivi, iso	coltura foraggera permanente / bosco ceduo	Dystric Udorthents, Franco ghiaioso, Mixed, Superactive, Acid, Mesic		Suoli non adatti: presentano caratteristiche e qualità tali da sconsigliare l'uso di fanghi e da rendere delicate le pratiche di fertilizzazione in genere	Bassa	Moderata	
PSQ1/MTN1	Rilievi costituiti da depositi eterogenei non stratificati (morene), comprendenti: 1) cordoni, a morfologia netta, variamente pendenti (range modale delle pendenze 12-25%; range estremo 1-50%)	coltura foraggera permanente / seminativo avvicendato	Humic Dystrudepts, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli non adatti: presentano caratteristiche e qualità tali da sconsigliare l'uso di reflui non strutturati e da rendere di norma delicate le pratiche di fertilizzazione in genere	Suoli non adatti: presentano caratteristiche e qualità tali da sconsigliare l'uso di fanghi e da rendere delicate le pratiche di fertilizzazione in genere	Moderato		Moderato



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	, costituiti da depositi eterometrici immersi in matrice fine							
PSQ2	Rilievi costituiti da depositi eterogenei non stratificati (morene), comprendenti: 1) cordoni, a morfologia netta, variamente pendenti (range modale delle pendenze 12-25%; range estremo 1-50%) , costituiti da depositi eterometrici immersi in matrice fine	coltura foraggera permanente	Humic Dystrudepts, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti con moderate limitazioni	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Moderata	Moderata	Moderato
ROB1	Estese superfici a morfologia subpianeggiante, solcate da evidenti tracce di paleoidrografia a canali intrecciati e talvolta dolcemente ondulate in prossimità dei principali solchi vallivi. Sono costituite dai depositi di conoide e rappresentano gli ambi	seminativo avvicendato / coltura foraggera permanente	Typic Dystrudepts, Limoso grossolano sovrastante sabbioso o sabbioso ghiaioso, Mixed, Superactive,	Suoli adatti con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare alcuni ostacoli nella gestione dei liquami zootecnici	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Moderata	Elevata	Basso
SLO1	Superfici subpianeggianti e terrazzi, costituite da depositi stratificati, comprendenti: 1) aree in rilievo sulle piane fluvioglaciali intermoreniche, inclusi i terrazzi di contatto	bosco ceduo / coltura foraggera permanente	Humic Dystrudepts, Limoso grossolano, Mixed, Superactive, Mesic	Suoli adatti con lievi limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare alcuni ostacoli nella gestione dei liquami zootecnici	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Bassa	Elevata	Moderato



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

	glaciale lacustri o deltizi ("kames"), costituite da materiali fini e pr							
SOM1	Terrazzi ben conservati e solo marginalmente in erosione, a morfologia subpianeggiante o dolcemente ondulata. La pendenza è generalmente nulla o bassa (range modale delle pendenze =2%, range estremo 1-10%).	seminativo avvicendato	Typic Hapludults, Limoso fine, Mixed, Active, Mesic	Suoli adatti senza limitazioni: la gestione dei liquami zootecnici può generalmente avvenire senza particolari ostacoli	Suoli adatti con moderate limitazioni: richiedono attenzioni specifiche e possono presentare ostacoli nella gestione dei fanghi di depurazione	Moderata	Elevata	Basso

*Tabella 5. Caratteristiche principali delle unità pedologiche individuate nell'area studiata. UP) unità pedologica; UC) Unità di paesaggio a cui appartiene il suolo; UDS) Uso del suolo prevalente; TAX) Classificazione tassonomica del suolo; LIQ) Attitudine del suolo all'utilizzo dei reflui in ambito agricolo; FAN) Attitudine del suolo all'utilizzo dei fanghi di depurazione urbana in ambito agricolo; ACQ) Capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque sotterranee; SUP) Capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque superficiali; VAL) Valore naturalistico del suolo.*

I suoli appartengono a diverse unità morfologiche. Nell'area settentrionale, i suoli appartengono all'unità localizzata in corrispondenza dei cordoni e dei depositi morenici appartenenti al Sistema Morenico del Lago Maggiore. Nella zona occidentale, i suoli appartengono all'unità morfologica della valle del Ticino. Nelle restanti porzioni dell'area indagata, i suoli appartengono alle unità morfologiche riconducibili ai diversi terrazzi alluvionali che caratterizzano questa zona.

Pur non esistendo una carta dettagliata dell'andamento spaziale dello spessore dei suoli, va sottolineato che lo spessore dei suoli dell'area è in genere compreso, anche all'interno di una particolare unità, tra 0.6 e 1.7 m (ERSAF, 2004).

La maggior parte dei suoli sono a tessitura sabbioso ghiaiosa, franco ghiaiosa o limosa grossolana, seppur presentando localmente una tessitura a grana più fine (limosa fine).

Ai fini di una valutazione della vulnerabilità della prima falda nell'area di indagine, risulta particolarmente importante la capacità di protezione dei suoli dalla propagazione di inquinanti superficiali verso le acque sotterranee. Questa azione dei suoli è strettamente connessa alla loro tessitura, al loro spessore e alla profondità a cui si posiziona la superficie piezometrica della prima falda.



Per quanto riguarda l'area investigata emerge che la protezione della falda da parte del suolo sia per lo più bassa nella porzione occidentale e settentrionale dell'area di studio e in prossimità di tutto il contorno del sedime aeroportuale di Malpensa (Fig. 6). La protezione della falda da parte dei suoli è invece prevalentemente moderata nel settore orientale e meridionale dell'area di indagine (Fig. 6).

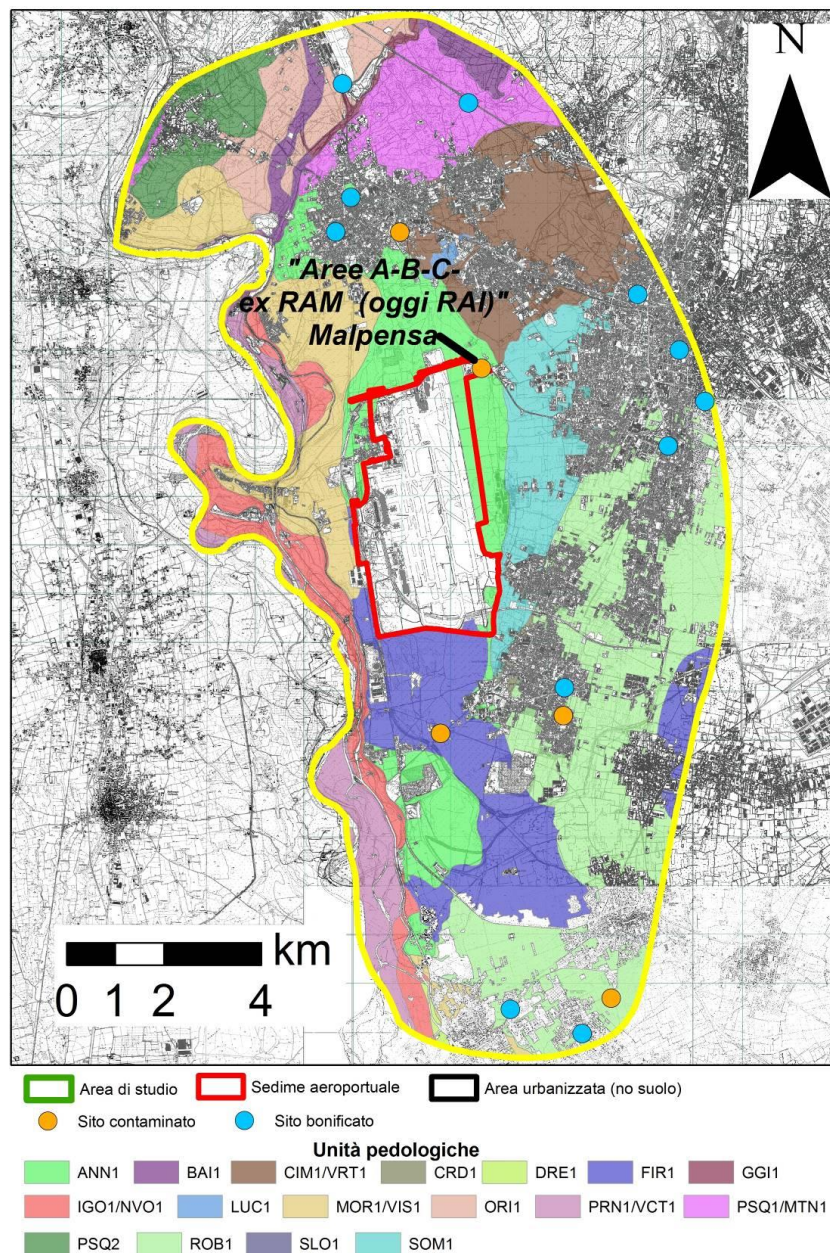


Figura 5. Carta pedologica dell'area studiata. E' messa in evidenza la posizione del sito contaminato presente all'interno del sedime di Malpensa.

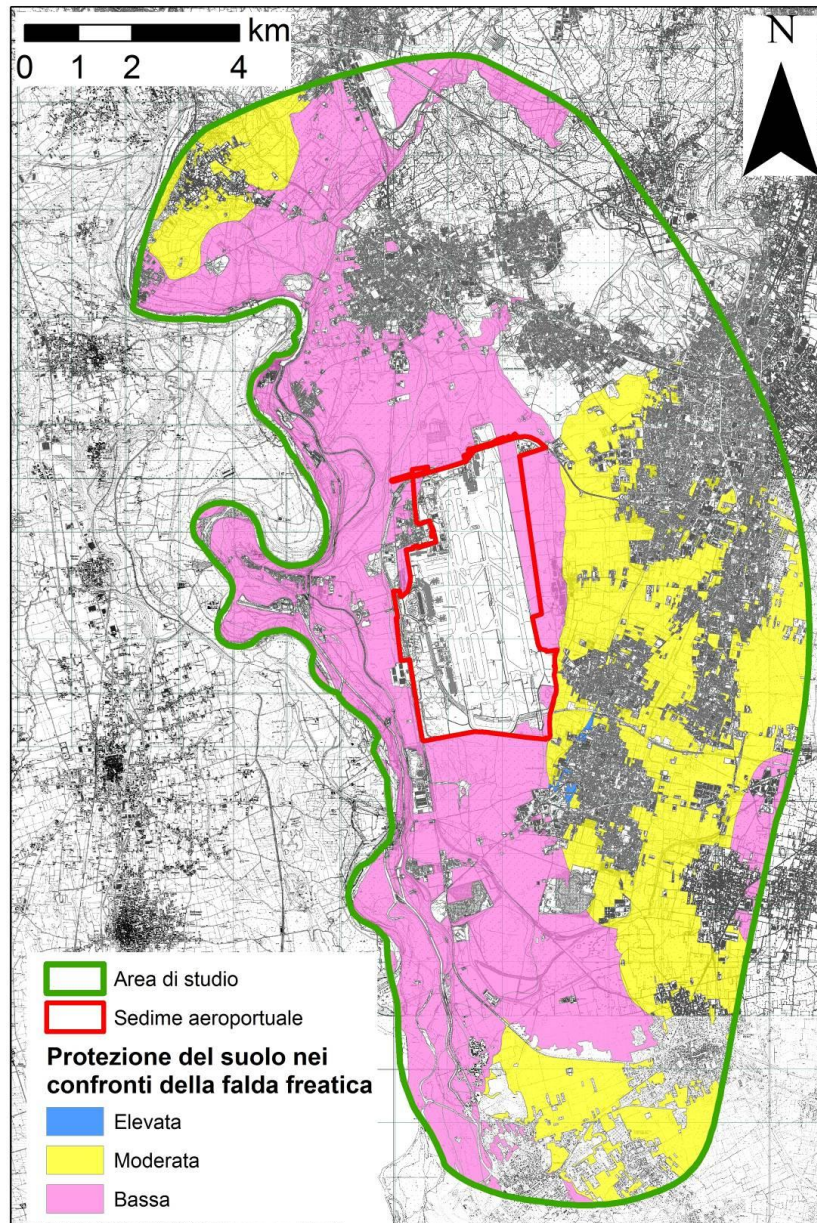


Figura 6. Grado di protezione garantito dal suolo nei confronti della falda freatica per l'area studiata.

Integrando i dati relativi alle proprietà pedologiche della zona con i dati granulometrici anche dei materiali immediatamente sottostanti i suoli stessi, sarà possibile valutare con maggiore precisione la vulnerabilità intrinseca della prima falda nell'area di studio, in particolare nel sedime aeroportuale.

Per completezza di informazione, nella carta pedologica di Fig. 5 sono state riportate le zone urbanizzate dove il suolo non è più rilevabile. In queste aree, è possibile rinvenire comunque



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

depositi superficiali di terreni sciolti, i quali tuttavia si presentano disturbati o ricoperti da riporti eterogenei, perdendo così le caratteristiche pedogenetiche che permettono di identificare gli orizzonti diagnostici del suolo.

Inoltre, sono stati anche riportati i siti che sono stati oggetto di bonifica o che sono tuttora contaminati, per cui le caratteristiche originali del suolo risultano essere alterate (Fig. 5). Tra questi, è presente, all'interno del sedime aeroportuale, il sito denominato "Aree A-B-C- ex RAM (oggi RAD)", indicato come "sito contaminato" all'interno del *database* delle zone contaminate e bonificate della Regione Lombardia, disponibile sul Geoportale regionale.





## 7. Geomorfologia

L'area di studio si trova nel contesto dell'alta pianura padana e presenta un'altitudine compresa tra 310 e 140 m sul livello del mare (s.l.m.), con una pendenza molto debole verso SSW. Nella zona del sedime di Malpensa, le quote variano tra 220 e 210 m s.l.m., con una debole pendenza sempre verso S-SSW (Fig. ).

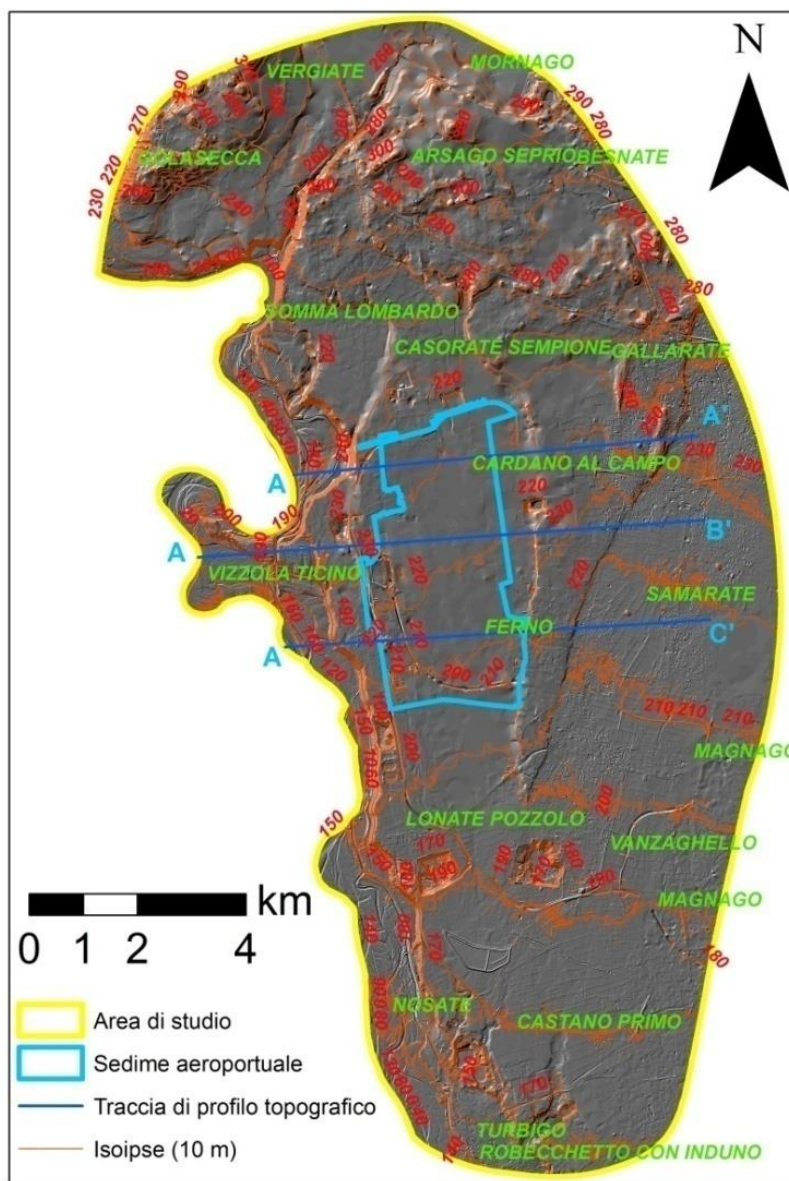


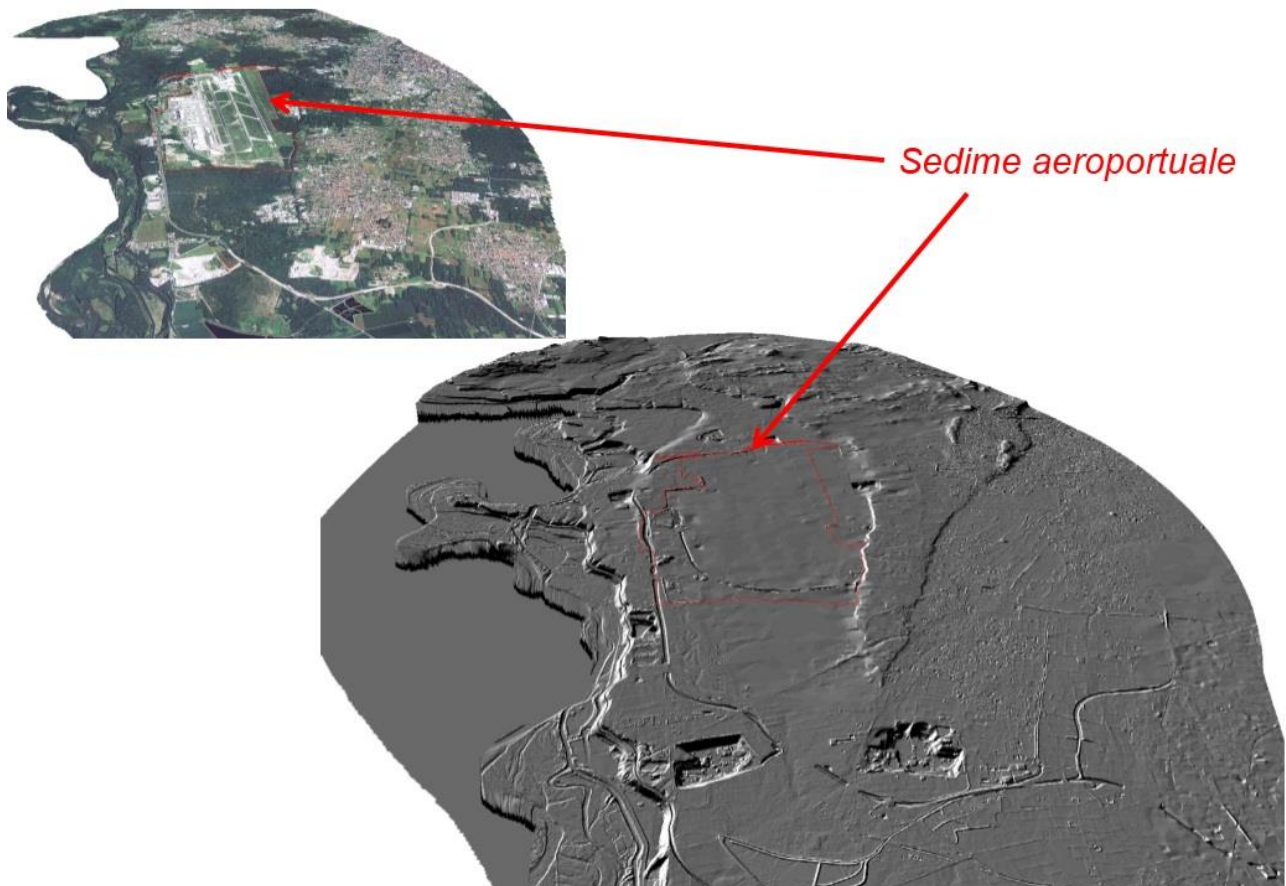
Figura 7. Isoipse e andamento del rilievo (hillshade) dell'area di studio. Nella carta, sono indicate anche le tracce dei profili topografici di Fig. .



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

In quest'area, i principali elementi geomorfologici naturali presenti sono connessi a due unità morfologiche fondamentali (Figg. 7, 8, 9): a) le propaggini meridionali del sistema morenico del Lago Maggiore, presenti nella porzione settentrionale dell'area di studio; b) i sistemi terrazzati fluvioglaciali, legati alle fasi deposizionali ed erosive pleistoceniche ed oloceniche, che si rinvengono nella restante parte dell'area di studio, tra cui lo stesso sedime aeroportuale.



*Figura 8. Block-diagram 3D dell'area di studio. Sono evidenti i diversi ordini di terrazzi che caratterizzano l'area di studio e le relative scarpate che delimitano questi.*

Queste unità sono state già introdotte nel precedente capitolo sull'inquadramento litologico superficiale dell'area di studio (capitolo 5). In questo capitolo, vengono messe in evidenza le principali forme del territorio che le caratterizzano.

I lembi meridionali del sistema morenico del Lago Maggiore sono stati formati dall'azione del Ghiacciaio del Verbano. Questi sono formati da depositi e forme morfologiche messe in posto durante due fasi glaciali: la fase glaciale Riss (300,000-130,000 anni fa, Pleistocene Medio) e la fase glaciale Wurm (110,000-12,000 anni fa, Pleistocene Superiore). In particolare, i depositi morenici della fase glaciale Wurm affiorano nella parte più settentrionale dell'area di studio.

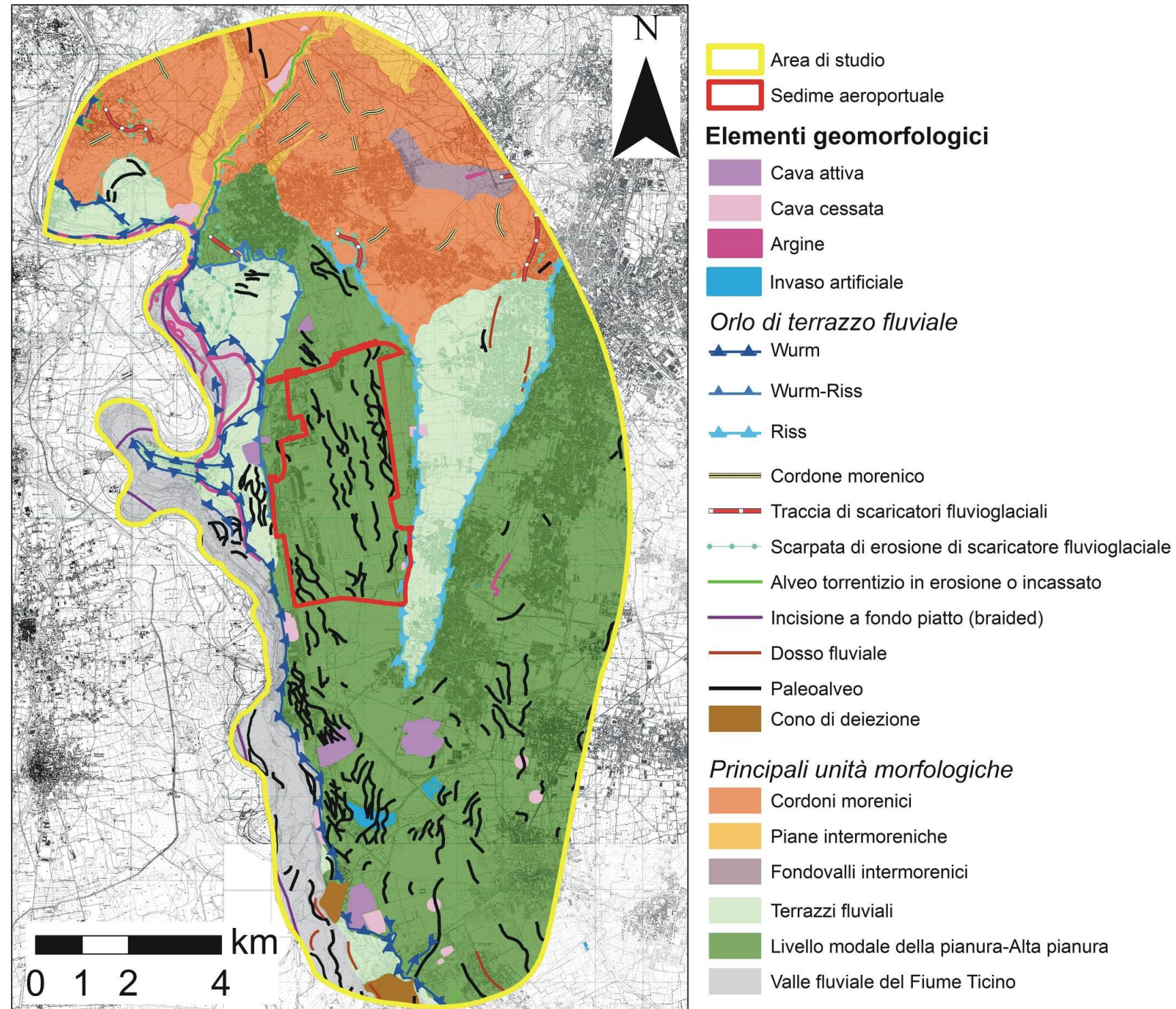


Figura 9. Carta geomorfologica dell'area di studio.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Le forme legati all'azione glaciale si presentano sotto forma di colline appiattite o di piccoli dossi isolati caratterizzati da modeste altezze (200-310 m s.l.m.). All'interno di questa unità morfologica, sono ancora identificabili anche una serie di cordoni morenici, con una tipica forma allungata a direzione circa N-S, che identifica la direzione di movimento del ghiacciaio che li ha formati. All'interno del sistema morenico, sono visibili le tracce dell'erosione operata da torrenti attivi durante la messa in posto del sistema morenico stesso. In corrispondenza del limite NE dell'area di studio, questi scaricatori hanno formato un fondovalle intermorenico più esteso, che si trova circa 20 m più in basso rispetto alle collinette moreniche (Fig. 10). Durante il periodo olocenico, l'anfiteatro morenico è stato ulteriormente eroso dall'azione del torrente Arno, che scorre proprio al suo interno, e da altri corsi d'acqua minori che si ritrovano in questa fascia.

Il resto dell'area di studio appartiene ai sistemi terrazzati fluvioglaciali dell'alta pianura. I diversi ordini di terrazzo si susseguono a partire dalla valle attuale del Ticino, che segna il confine occidentale dell'area (Fig. 10). Essi corrispondono alle diverse fasi della modellazione operata da questo fiume.

Procedendo da W verso E, il primo terrazzo che si incontra è quello formatosi durante il periodo glaciale-interglaciale Wurm (110,000-12,000 anni fa, Pleistocene Superiore). La scarpata di terrazzo delimita la valle attuale del fiume Ticino, in cui si rinvengono i depositi alluvionali olocenici di questo fiume. Nella sua valle attuale, larga circa 200-300 m, il Ticino presenta un tipico andamento a canali intrecciati, particolarmente evidente nella porzione settentrionale dell'area di studio fino circa alla zona ubicata in prossimità del limite meridionale del sedime di Malpensa (Fig. 11). L'alveo di questo fiume è di tipo ghiaioso-ciottoloso, con sponde poco pendenti.

Come si nota nel *block-diagram* 3D di Fig. 8 e nei profili topografici, rappresentativi dell'area di Malpensa, di Fig. , l'altezza della sua scarpata è considerevole, compresa tra 30 e 60 m. La scarpata di terrazzo è riconoscibile lungo tutta l'area di studio e presenta un tipico andamento N-S, che segue l'andamento principale del Ticino stesso.

Immediatamente a W-NW del sedime aeroportuale (Figg. 10a e b), è presente un secondo ordine di terrazzi, formatosi durante il periodo interglaciale Wurm-Riss (130,000-110,000 anni fa, Pleistocene Medio-Superiore). Anche questo terrazzo ha direzione N-S. La scarpata che lo delimita a W non è chiaramente distinguibile o presenta altezze limitate a 1-2 m. Ciò è legato anche all'azione di rimodellazione antropica che ha interessato tutta quest'area, soprattutto in prossimità della zona aeroportuale.

Il ripiano che si trova sopra l'orlo dei terrazzi Wurm e Wurm-Riss corrisponde al livello modale della pianura, detto anche Livello Fondamentale della Pianura (Fig. 10). Esso rappresenta una superficie pianeggiante di significativa estensione apparentemente omogenea e priva di importanti discontinuità morfologiche, presente in tutta la Pianura Padana, che si è formata durante la fase di deposizione fluvioglaciale del periodo Wurm. Tutto il sedime aeroportuale sorge in corrispondenza di questa unità morfologica.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

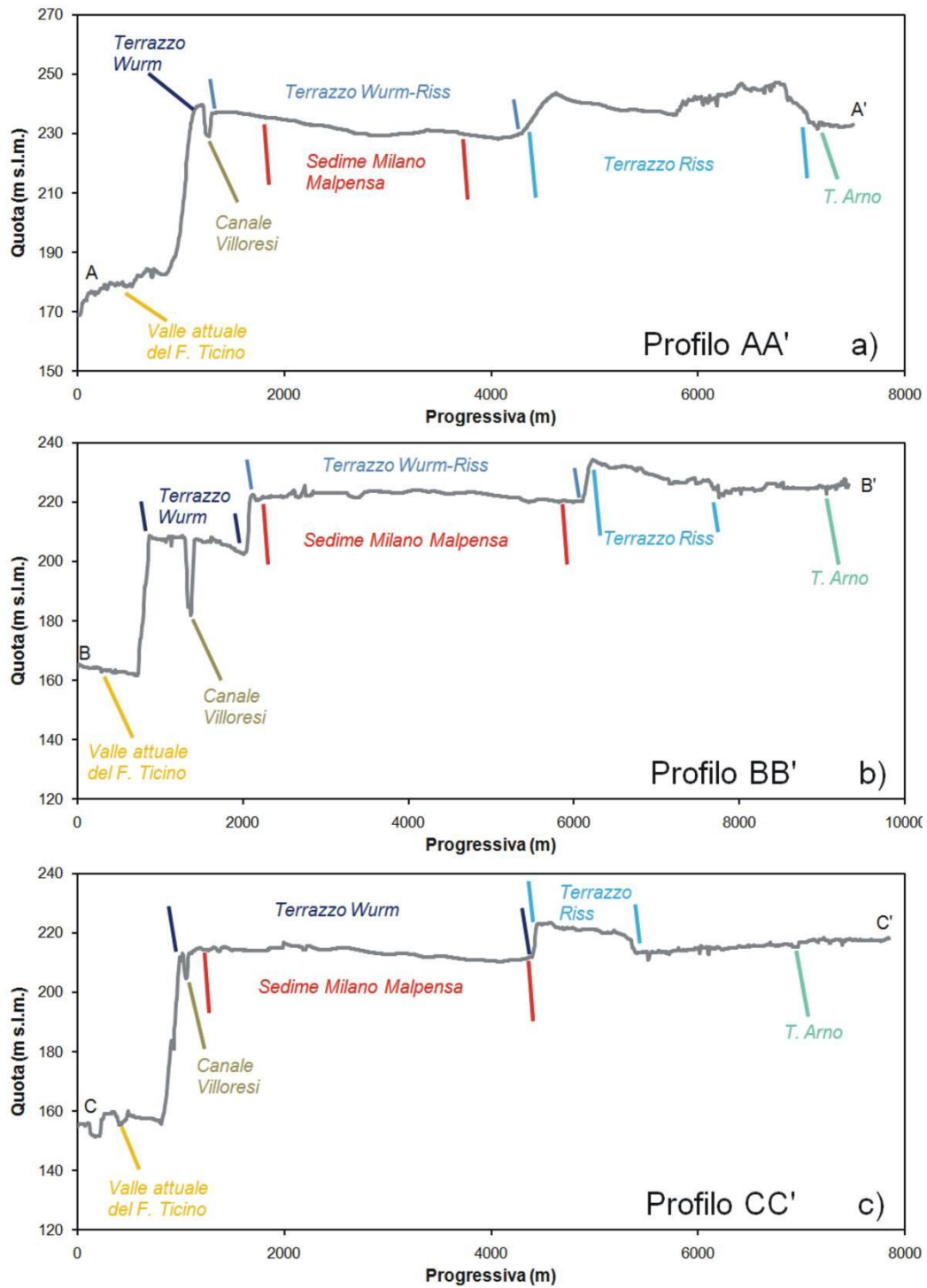


Figura 10. Profili topografici rappresentativi dell'area di studio: a) profilo AA'; b) profilo BB'; c) profilo CC'. La traccia di questi profili è presente in Fig. .



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente



*Figura 11. La valle del Fiume Ticino, nei pressi di Somma Lombardo. Si notano la scarpata del terrazzo che delimita la valle attuale del fiume dai depositi wurmiani più antichi.*

Alcune depressioni di minore entità si rinvencono all'interno del livello modale della pianura (Fig. 10). Esse sono delimitate da scarpate e da orli di terrazzo di modesta altezza (poche decine di centimetri). Queste scarpate rappresentano antichi percorsi fluviali (paleoalvei), probabilmente connessi sia a vecchie divagazioni del Ticino sia alle vie di drenaggio minori che solcano questa zona della pianura, in particolare nella porzione più meridionale dell'area di studio. Molte di queste incisioni sono state rimodellate dall'azione antropica, per cui risultano essere attualmente non più visibili. In generale, le scarpate minori e i paleoalvei che si individuano in questa zona hanno un tipico andamento N-S, parallelo alla direzione caratteristica del fiume Ticino.

A E del sedime aeroportuale si incontra il terzo ordine di terrazzi, delimitato da una scarpata rialzata rispetto al Livello Fondamentale della Pianura di circa 10-12 m (Figg. 10 e 11). Questo terrazzo si è depositato durante la fase Riss (300,000-130,000 anni fa, Pleistocene Medio) e mantiene lo stesso andamento circa N-S che caratterizza gli altri orli di terrazzo. Esso non è presente in tutta l'area di



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

indagine, ma tende a chiudersi immediatamente a S del sedime di Malpensa. La sua estensione areale, in direzione W-E, è quindi variabile tra poche centinaia di metri e circa 3 km e diminuisce proprio procedendo da N verso S.

Tutte le scarpate del sistema terrazzato hanno pendenze medio-alte, generalmente dell'ordine del 20-30%.

Soprattutto a partire dalla metà del XIX secolo, l'attività antropica ha apportato modifiche sostanziali alla morfologia del territorio. Queste modifiche si sono tradotte, in particolare, in: i) riporti antropici con spessore mediamente dell'ordine di 2-3 m, per rilevati di infrastrutture ed altre opere di urbanizzazione dell'area; ii) cave dedicate all'estrazione di terreni sciolti (ghiaia e sabbia); iii) argini e altre opere di ingegneria idraulica, volti in particolare alla regolarizzazione del corso del fiume Ticino e alla realizzazione di canali artificiali e altre opere di derivazione minori, aventi lo scopo di convogliare le acque del Ticino verso le aree centro-meridionali della Pianura Padana per scopi irrigui e energetici (es. sistemi di dighe del Panperduto, dove viene derivato il Canale Villoresi); iv) invasi artificiali, corrispondenti alle vasche di laminazione del torrente Arno, volte a ridurre gli effetti di sue eventuali piene sulle zone limitrofe al suo corso.



## 8. Idrografia superficiale

### 8.1 Reticolo idrico superficiale nell'area esterna al sedime

Nell'area intorno al sedime di Malpensa, è presente un reticolo idrico superficiale, che si presenta particolarmente fitto soprattutto nelle porzioni più occidentali e meridionali dell'area studiata (Fig. 14). In questi settori, infatti, al reticolo idrico minore naturale, si aggiungo numerose rogge e cavi di origine antropica, che raccolgono le acque destinate all'uso irriguo.

A N del sedime aeroportuale e intorno a esso, il reticolo idrico si presenta meno fitto, anche a causa della presenza di estese zone coperte da boschi, in cui il reticolo idrico di origine antropica è sostanzialmente assente (Fig. 14). A ciò vi è da aggiungere che la granulometria grossolana (ghiaie, ciottoli, ghiaie sabbiose) dei materiali superficiali favorisce l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque di origine meteorica, non permettendo lo sviluppo di un reticolo di drenaggio superficiale fitto e ben organizzato (ERM, 2002).

Nell'area di studio, i principali corsi d'acqua naturali presenti sono il fiume Ticino, il torrente Arno e il torrente Strona.

Come già messo in evidenza nel capitolo precedente (capitolo 7), il fiume Ticino rappresenta il principale corso d'acqua dell'area e si trova in corrispondenza del confine occidentale della zona di indagine. Questo fiume nasce in Svizzera, al Passo di Novena nel massiccio del San Gottardo. Scorre in territorio elvetico fino a Locarno dove si getta nel Lago Maggiore, di cui è l'immissario principale. Dal Lago Maggiore esce verso la Pianura Padana sottostante fino alla confluenza nel Po. Il suo bacino imbrifero è pari a circa 7.200 km<sup>2</sup> e per il 90% è localizzato in zona montuosa. Nell'area di studio, la larghezza dell'alveo ha un massimo di circa 400 m e la profondità non supera i 6 m. La pendenza media del suo alveo è di 1.15%, con velocità di deflusso inferiori ai 3.5 m/s e portata media di 264 m<sup>3</sup>/s (ERM, 2002).

Gli altri due corsi d'acqua naturali, che costituiscono assieme al Ticino il reticolo idrico principale dell'area, sono entrambi affluenti sinistri del Ticino stesso.

Il Torrente Arno nasce in prossimità di Varese presso Gazzada e presenta un bacino imbrifero di circa 100 km<sup>2</sup>. Nella porzione settentrionale dell'area di studio, esso scorre tra le collinette del sistema morenico del Lago Maggiore. Per il resto del suo percorso, l'Arno scorre in un'area pianeggiante estremamente urbanizzata, con un alveo spesso canalizzato. La portata media del torrente Arno è molto modesta: il valore medio è pari a 1.03 m<sup>3</sup>/s, con un minimo di 0.12 m<sup>3</sup>/s nei mesi di Luglio e un massimo di 1.70 m<sup>3</sup>/s nei mesi di Gennaio (ERM, 2002).

Il Torrente Strona, invece, nasce tra Golasecca e Somma Lombardo, confluendo nel Ticino dopo appena 11 km di percorso. L'estensione del suo bacino imbrifero è di circa 10 km<sup>2</sup>. La portata di questo torrente si mantiene pressochè sempre esigua, essendo fortemente influenzata dalle precipitazioni a causa del ridotto tempo di corrvazione del suo piccolo bacino (ERM, 2002).





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Al reticolo idrico principale appartengono anche due canali artificiali, le cui acque derivano direttamente dal fiume Ticino.

Il Canale Villoresi è stato realizzato per scopi irrigui tra il 1884 e il 1888. Esso ha origine in corrispondenza del sistema di dighe del Panperduto a Somma Lombardo (Figg. 12 e 13). Esso scorre circa parallelo al Ticino per i primi 15 km. In prossimità del limite meridionale dell'area di studio, il canale si dirige verso E.



*Figura 12. Il sistema delle Dighe di Panperduto, da cui nasce il Canale Villoresi.*



*Figura 13. Il Canale Villoresi, nei pressi delle Dighe di Panperduto (Comune di Somma Lombardo).*

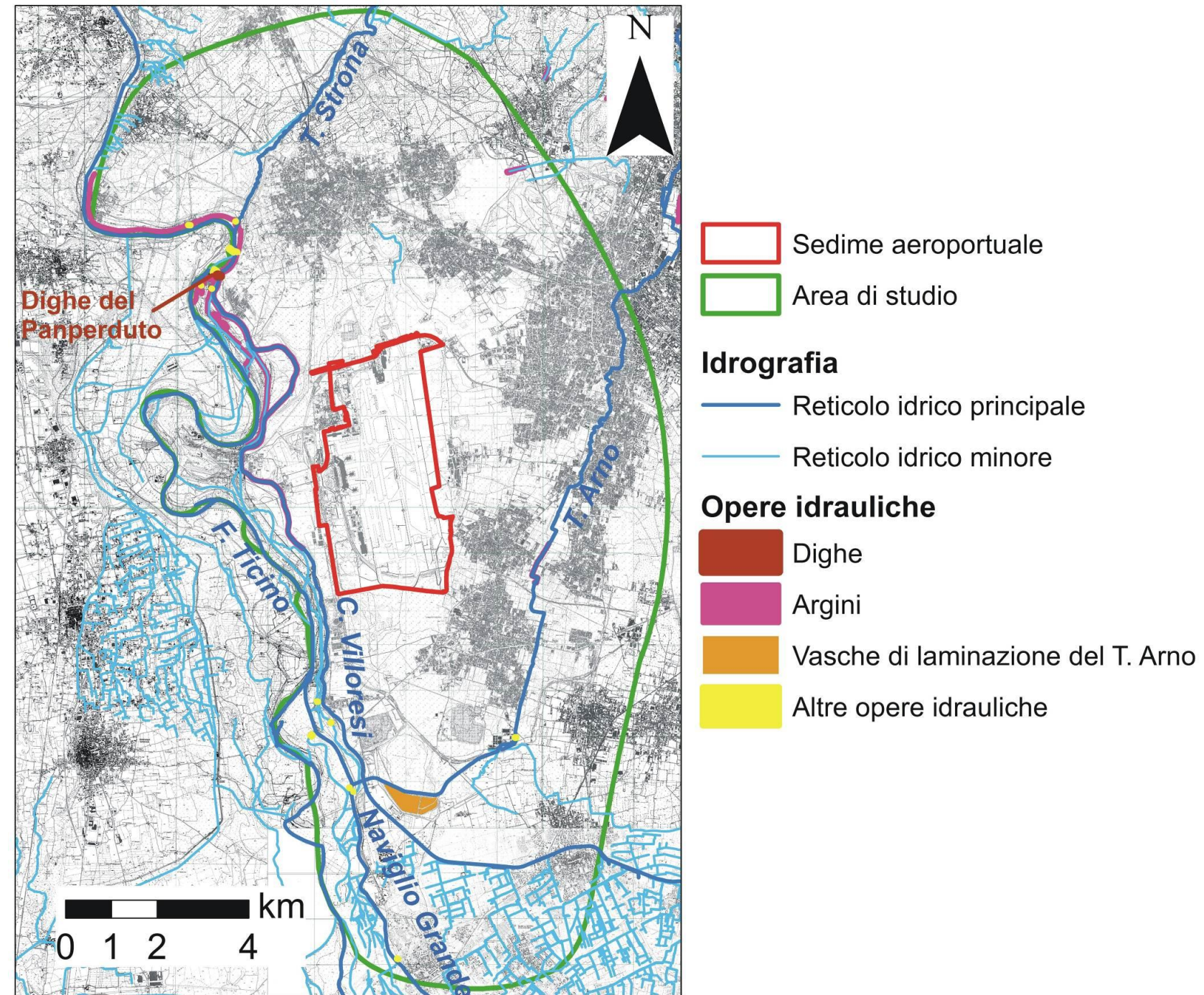


Figura 14. Carta dell'idrografia superficiale dell'area di studio.



Le concessioni di prelievo consentite dal Ticino variano con le stagioni (ERM, 2002): in media, 70 m<sup>3</sup>/s in estate e 10 m<sup>3</sup>/s in inverno.

Inoltre, per questioni irrigue e ittiche, il canale si trova in situazione di asciutta idrica dai primi di Marzo alla fine di Aprile e dalla fine di Settembre ai primi di Novembre. Le acque del Canale Villoresi sono utilizzate sia per alimentare la rete irrigua minore sia per la produzione di energia idroelettrica in corrispondenza di alcune centrali lungo il suo percorso.

L'altro importante canale artificiale dell'area è il Naviglio Grande. Esso è stato realizzato nel XII secolo e nasce dalla deviazione del Ticino in località Tornavento (Lonate Pozzolo). In funzione del flusso nel Ticino e mancando opere di regimazione (la presa è uno sfioro del Ticino), la portata varia tra 80 e 120 m<sup>3</sup>/s (ERM, 2002). Attualmente, le acque del Naviglio Grande hanno lo scopo di alimentare la centrale termoelettrica di Turbigo, garantita tramite l'invaso a livello costante formato dalle paratie a valle della stessa.

## 8.2 Livelli idrometrici del fiume Ticino e del torrente Arno

Sono stati analizzati i dati dei livelli idrometrici giornalieri dei due principali corsi d'acqua dell'area in prossimità del sedime di Milano Malpensa, ovvero il fiume Ticino e il torrente Arno. Questi sono monitorati presso due diverse stazioni (Golasecca-Miorina per il Ticino, Cavaria con Premezzo per l'Arno) appartenenti alla rete regionale idro-meteorologica di ARPA Lombardia, ubicate circa 7 km a N del limite settentrionale del sedime (Fig. 15).

Per entrambe le stazioni, sono stati analizzati i dati del periodo Gennaio 2005-Settembre 2019. I livelli idrometrici sono stati messi in relazione con le piogge giornaliere misurate, sempre per lo stesso periodo, presso la stazione pluviometrica sempre di Cavaria con Premezzo. La distanza tra i due punti di misura è di 12 km, perciò i dati di pioggia misurati possono essere considerati rappresentativi per tutti i due punti di misura del livello idrometrico.

Lo zero idrometrico del Ticino presso Golasecca-Miorina è pari a 189.92 m s.l.m. L'altezza idrometrica rispetto allo zero è variata tra 1.38 m e 4.99 m, corrispondenti a livelli idrometrici tra 191.30 e 193.94 m s.l.m. (Fig. 16). Le oscillazioni dei livelli idrometrici del Ticino sono dunque relativamente limitate durante l'anno, non risentendo significativamente dei periodi secchi e umidi. In Estate, si hanno valori minimi di altezza idrometrica, dell'ordine di 1.5-2.5 m. In Autunno e in Primavera si misurano i valori massimi, dell'ordine di 3-3.5 m. I livelli idrometrici non risentono soltanto delle piogge cadute nell'area di studio (Fig. 16). La portata del Ticino, infatti, risente molto delle piogge che avvengono a monte, nella zona pedemontana e alpina, dato il suo grande bacino imbrifero. I picchi dei livelli idrometrici si hanno quindi qualche giorno dopo gli eventi meteorici più intensi. E' il caso dell'evento del Novembre 2014, in cui si sono misurati i massimi livelli idrometrici del periodo considerato. Infatti, il picco di 193.94 m s.l.m. è stato raggiunto il 17 Novembre, due giorni dopo la conclusione di un periodo estremamente piovoso (391 mm in 13 giorni tra il 3 Novembre e il 15 Novembre 2014).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

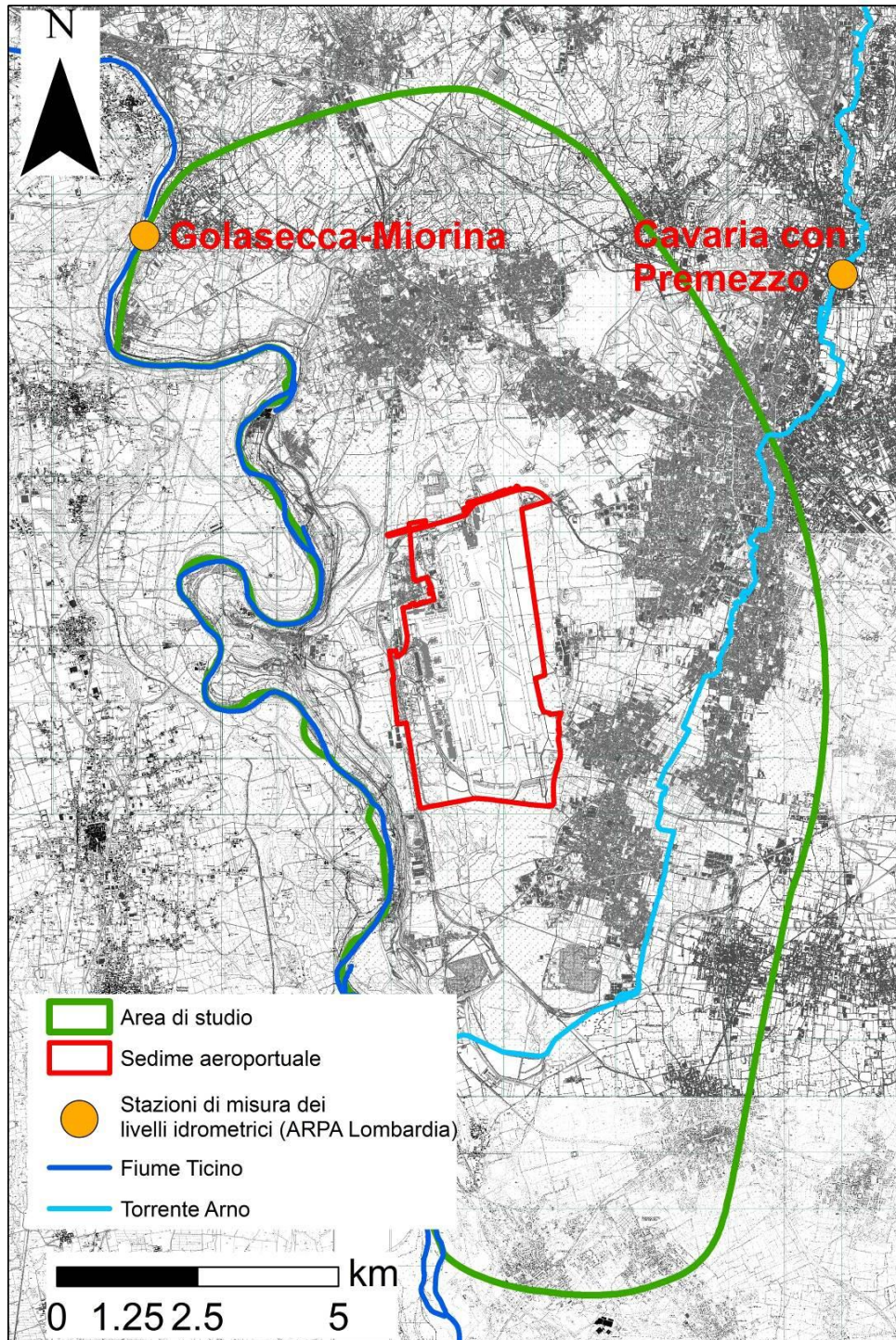


Figura 15. Ubicazione delle stazioni di misura dei livelli idrometrici del fiume Ticino e del torrente Arno utilizzate.

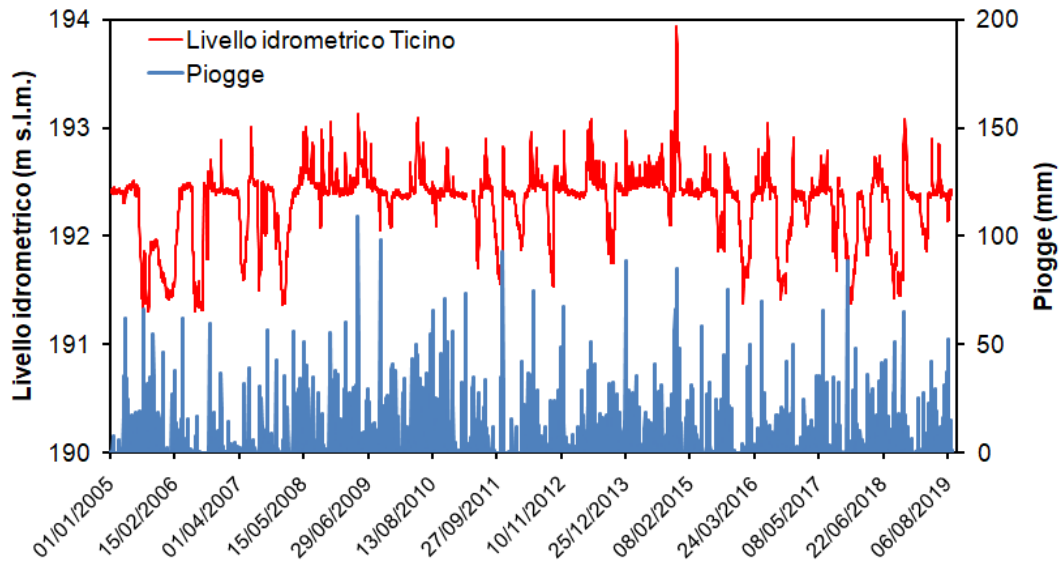


Figura 16. Andamento dei livelli idrometrici giornalieri del fiume Ticino misurati presso la stazione di Golasecca-Miorina per il periodo Gennaio 2005-Settembre 2019 (precipitazioni giornaliere della stazione meteo di Cavaria con Premezzo).

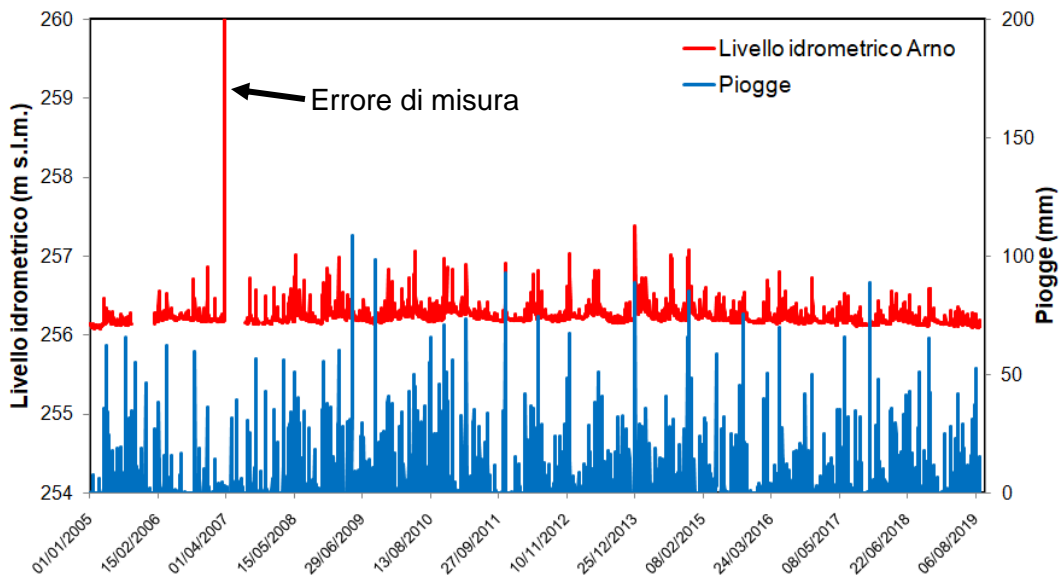


Figura 17. Andamento dei livelli idrometrici giornalieri del torrente Arno misurati presso la stazione di Cavaria con Premezzo per il periodo Gennaio 2005- Settembre 2019 (precipitazioni giornaliere della stazione meteo di Cavaria con Premezzo).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Per quanto riguarda il torrente Arno, lo zero idrometrico presso Cavaria con Premezzo è di 255.96. L'altezza idrometrica è variata in un range molto piccolo, compreso tra 0.12 e 1.42 m, corrispondenti a livelli idrometrici tra 256.08 e 257.38 (Fig. 17). Le oscillazioni dei livelli idrometrici dell'Arno sono dunque molto contenute. Inoltre, le altezze idrometriche sono molto più basse di quelle del Ticino, a causa proprio del carattere torrentizio di questo corso d'acqua. A differenza del Ticino, i livelli idrometrici risentono della quantità di pioggia che cade nell'area di studio (Fig. 16). In corrispondenza degli eventi meteorici più intensi, si misurano infatti i livelli idrometrici più elevati. Questo è legato al fatto che il bacino dell'Arno è molto contenuto, con tempi di corrivazione più bassi di quelli del Ticino che favoriscono l'innalzamento dei livelli idrometrici in corrispondenza delle piogge più intense. Non a caso, in corrispondenza dell'evento meteorico più intenso registrato durante il periodo di monitoraggio dalla stazione di Cavaria con Premezzo (158.6 mm in 2 giorni tra il 25 e il 26 Dicembre 2013), è stato registrato il livello idrometrico più alto, pari a 257.38 m s.l.m. (altezza idrometrica di 1.42 m).

E' importante sottolineare come, nelle condizioni di livello idrometrico misurate per entrambi i corsi d'acqua durante il periodo considerato, non sono mai state misurate fasi di inondazione che sono arrivate a interessare o lambire il sedime aeroportuale, che risulta quindi poco suscettibile a questi rischi.

### *8.3 Aree soggette a esondazione e fasce PAI*

Come già sottolineato nel capitolo 8.1, il sedime di Malpensa è situato in prossimità dei due principali corsi d'acqua della zona, ovvero il fiume Ticino (a W del sedime) e il torrente Arno (a E del sedime).

E' stato analizzato il *database* della Regione Lombardia che riporta le aree soggette a esondazione nel periodo 1947-2019. Come si può notare dalla carta di Fig. 18, l'evento alluvionale che ha prodotto esondazioni all'interno dell'area di studio è stato quello di Ottobre 2000. In corrispondenza di questo evento, il fiume Ticino ha completamente inondato la sua valle attuale, fino a raggiungere la scarpata del terrazzo wurmiano che la separa dal sedime di Malpensa e dalle altre zone a E rispetto al fiume.

Proprio per l'elevata altezza (almeno 20 m) della scarpata di terrazzo che delimita la valle in cui scorre attualmente il fiume Ticino, la piena di Ottobre 2000 non è stata comunque in grado di allagare anche aree oltre tale scarpata, andando a coinvolgere zone del sedime o aree a esso prospicienti.

In generale, quindi, non si segnalano zone interne al sedime di Malpensa alluvionate in tempi moderni.

Inoltre, va sottolineato che non sono presenti in questo *database* evidenze di estese zone alluvionate in tempi moderni a seguito dell'esondazione del torrente Arno o degli altri corsi d'acqua minori presenti nell'area di studio. Va, tuttavia, segnalata la possibilità di limitati allagamenti a seguito di limitate esondazioni del torrente Arno, con frequenza circa triennale, nel tratto compreso tra



Cardano al Campo e Samarate (ERM, 2002), interessanti aree comunche lontane circa 3.5 km dal bordo orientale del sedime.

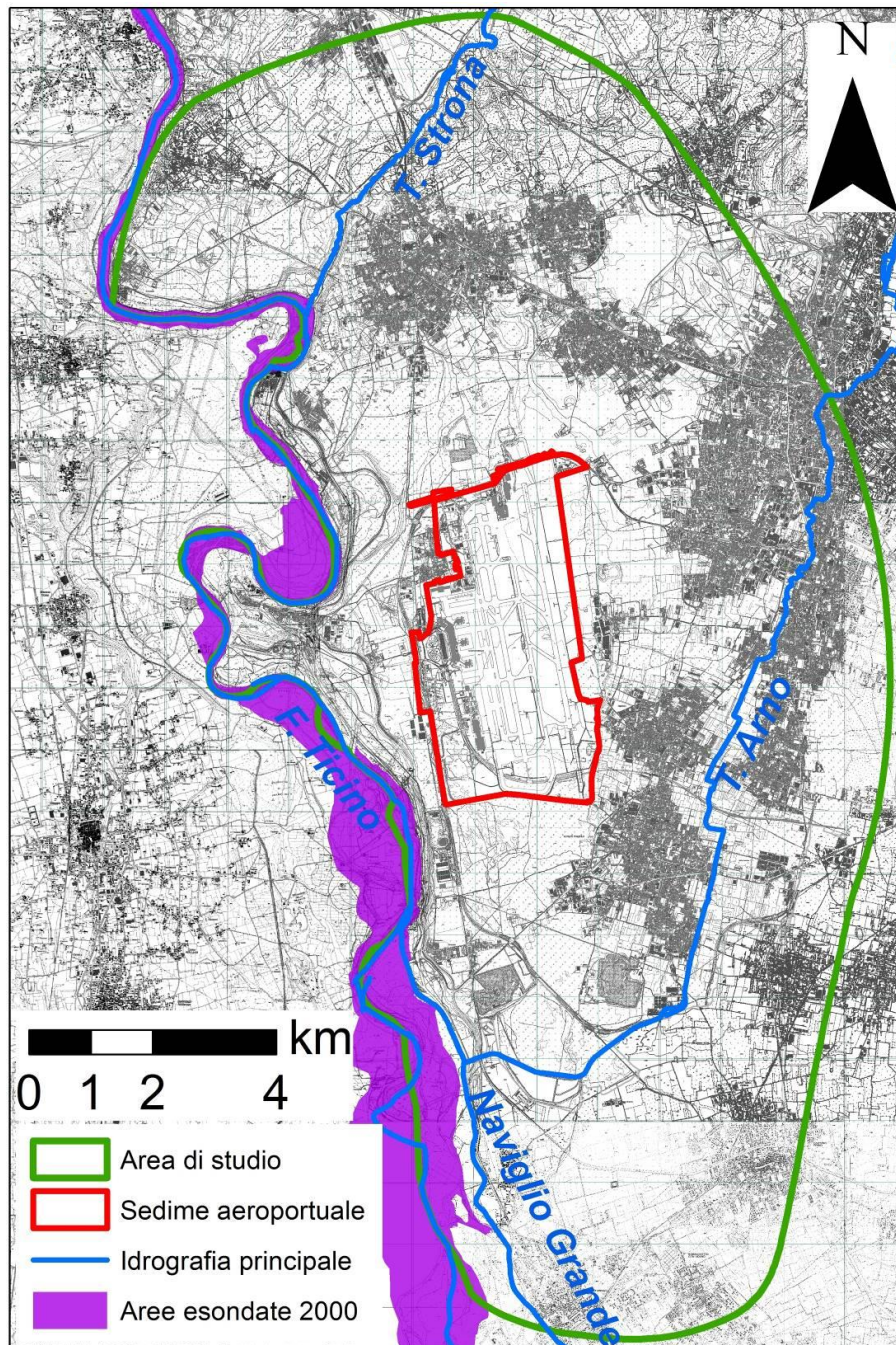


Figura 18. Aree soggette a esondazione nel periodo 1947-2019 (fonte: Geoportale della Regione Lombardia).

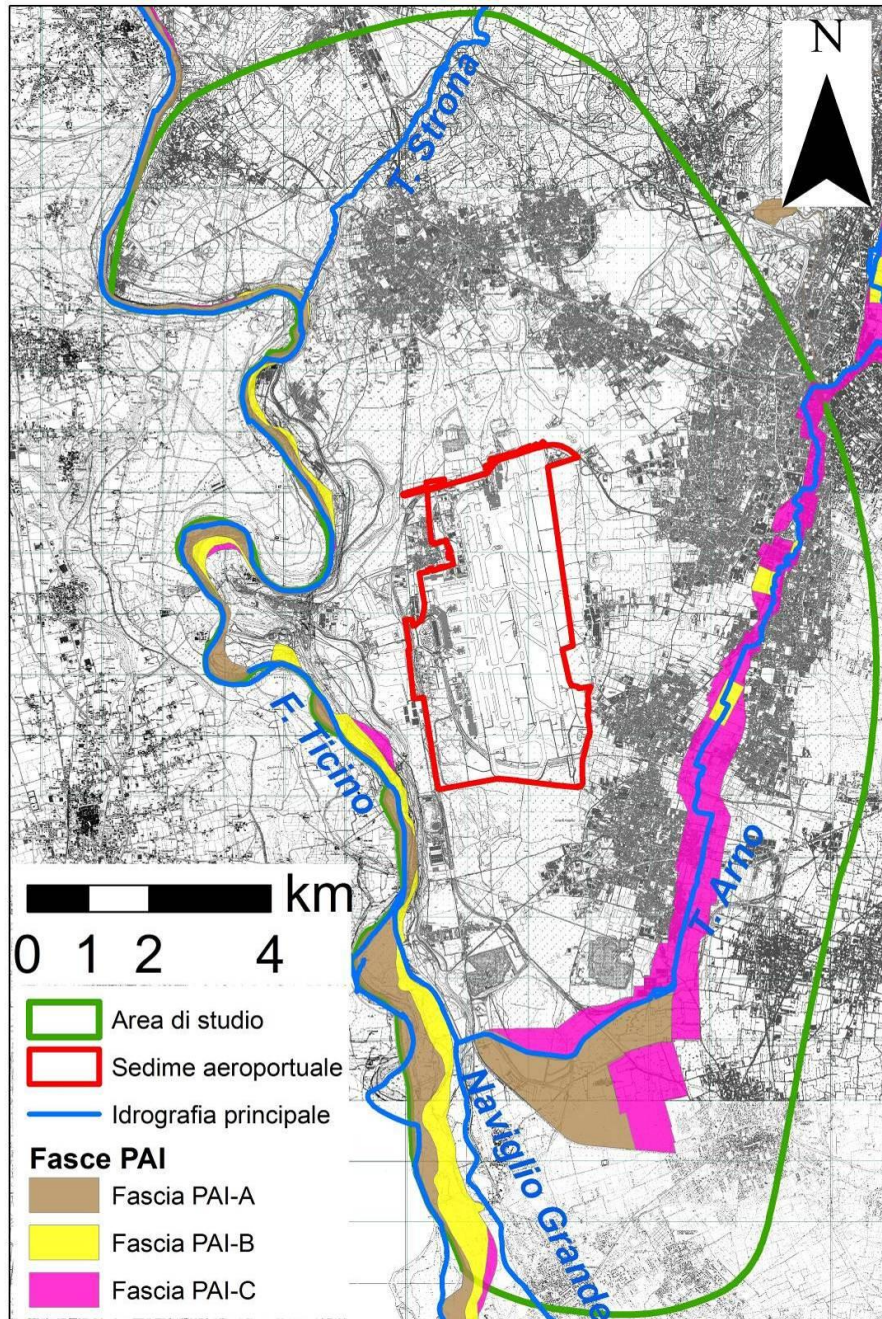


Figura 19. Fasce PAI all'interno dell'area di studio (fonte: Geoportale della Regione Lombardia).

E' stata anche analizzata la distribuzione delle fasce di possibile esondazione fluviale, definite secondo le direttive Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) a livello comunale nei PGT dei comuni della zona e disponibili sul Geoportale regionale lombardo (Fig. 19). In particolare, sono state mappate: a) la fascia A, in cui ricadono le aree di esondazione diretta e indiretta delle piene con tempo di ritorno  $T_R$  di 50 anni; b) la fascia B, in cui ricadono le aree di esondazione diretta e





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

indiretta delle piene con  $T_R$  di 200 anni; c) la fascia C, in cui ricadono le aree di esondazione diretta e indiretta delle piene con  $T_R$  di 500 anni.

Nessuna fascia PAI interessa zone del sedime di Malpensa (Fig. 19).

A W del sedime, le fasce PAI A, B e C del fiume Ticino sono tutte ubicate all'interno della sua valle attuale. Questo è legato all'elevata altezza della scarpata (almeno 20 m) di terrazzo wurmiano che delimita la valle attuale del Ticino, per cui anche le piene più significative non sembrano potenzialmente essere in grado di allagare zone poste a E rispetto a questa scarpata. A questo fatto vanno aggiunti i numerosi interventi di regolarizzazione delle portate di questo fiume, realizzate negli anni al fine di limitare le escursioni dei livelli idrometrici di questo fiume in quest'area.

A E e a S del sedime, nessuna delle fasce PAI del torrente Arno è prospiciente all'area aeroportuale, nemmeno quelle relative a piene con  $T_R$  di 500 anni (fascia C; Fig. 19).

#### *8.4 Ciclo idrico integrato delle acque superficiali nell'area del sedime*

All'interno dello scalo aeroportuale, le acque meteoriche (o acque di prima pioggia) vengono direttamente recapitate al suolo. Tra i diversi scarichi al suolo presenti, uno scarico, indicato nella carta di Fig. 20 "Scarico caserma interpista VVF", raccoglie anche le acque utilizzate dalla Caserma dei Vigili del Fuoco presente all'interno del sedime.

A questa rete di scarichi al suolo superficiali, si associa la rete fognaria che raccoglie le acque nere e le acque di natura domestica dai diversi settori del sedime aeroportuale. In questa rete, lo scarico, indicato nella carta di Fig. 20 "Scarico lavaggio motori", raccoglie le acque nere che vengono utilizzate per il lavaggio e la pulizia degli aerei e delle loro parti meccaniche.

Le acque della rete fognaria sono a loro volta raccolte insieme verso un unico punto di scarico verso l'esterno del sedime. Questo scarico, indicato nella carta di Fig. 20 come "Scarico terminale", recapita le acque raccolte all'interno del sedime verso l'esterno. Il punto di uscita di esse è ubicato circa a metà del lato meridionale dell'area aeroportuale (Fig. 20).

Una volta uscite dal sedime aeroportuale, queste acque vengono convogliate nella rete fognaria pubblica, e da qui verso il depuratore consortile di S. Antonino per essere trattate.

Tutte le soluzioni messe in opera attualmente mirano a perseguire i seguenti obiettivi: i) garantire la protezione del sedime aeroportuale portando tutta l'area ad un livello di sicurezza idraulica idoneo agli usi previsti; ii) assicurare la conformità qualitativa delle acque di scarico alle normative vigenti. In questo caso, si fa particolare riferimento alle acque di dilavamento di superfici potenzialmente inquinate, che sono trattate a monte dello scarico iniziale. Tutte queste azioni vengono regolate secondo le seguenti norme e leggi principali: D.Lgs. 152/2006 (Norme in materia ambientale); R.R. 3, 24/03/2006 (Scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie); R.R. 4, 24/03/2006 (Smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne); Programma di tutela e uso delle acque (PTUA) – Regione Lombardia; DPR n.59/2013 (Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) – Regione Lombardia).

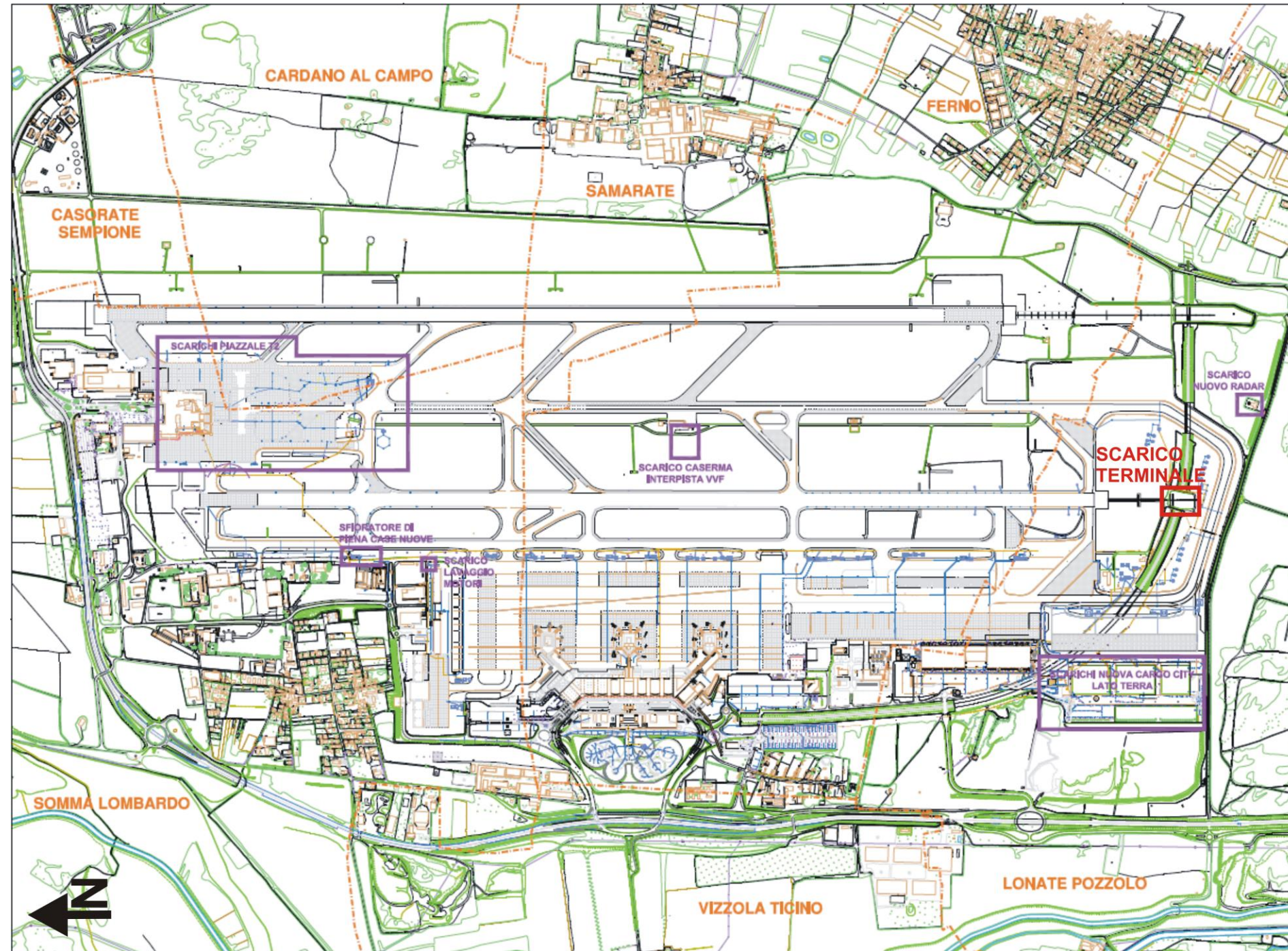


Figura 20. Ciclo idrico integrato del sedime di Malpensa.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Anche le nuove aree di urbanizzazione, programmate nel Masterplan, dovranno essere dotate di opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche, che seguano le normative e abbiano gli stessi obiettivi delle opere attualmente presenti nell'area del sedime.

A questo fine, la raccolta delle acque piovane dovrà avvenire tramite caditoie o canalette drenanti a seconda della convenienza tecnico-economica della soluzione. Le acque meteoriche verranno poi disperse nello strato permeabile del sottosuolo tramite trincee drenanti e pozzi perdenti ad eccezione delle acque di dilavamento dei piazzali di sosta aeromobili che verranno scaricate nella rete fognaria, previo trattamento e accumulo delle stesse.

Le acque di dilavamento di sostanze inquinanti dovranno essere trattate a monte dello scarico. In genere, si deve prediligere il sistema di trattamento dotato di dissabbiatore e disoleatore in continuo. Questa tipologia, infatti, in confronto ai sistemi di accumulo in discontinuo, richiede una manutenzione più semplice e permette, a parità di quantitativi d'acqua, l'adozione di vasche di minore dimensione.

Dovranno essere trattate le acque di prima pioggia che sono da considerarsi potenzialmente inquinanti, ovvero quelle derivanti dalle nuove aree dedicate alla sosta ed al transito di automezzi, e le prime piogge derivanti dai piazzali di sosta aeromobili. Nei piazzali di sosta degli aeromobili le acque di dilavamento trattate verranno convogliate alla rete fognaria in linea con l'articolo 7 del RR n.4 del 2006, per cui solo le acque di seconda pioggia, non inquinate, verranno scaricate nel sottosuolo tramite pozzi drenanti. In questo caso, il sistema di trattamento potrà essere associato ad una vasca di accumulo in modo tale che le portate e le modalità di scarico siano compatibili con la capacità idraulica della rete e dell'impianto di trattamento finale secondo anche indicazioni dell'ente gestore.

Nelle aree non soggette a traffico veicolare di aeromobili, l'acqua depurata sarà reimpressa nel sistema principale e quindi dispersa assieme alle seconde piogge. Ciò eviterà di aggravare ulteriormente il sistema fognario esistente, che già riceve le prime piogge di impianti esistenti.

Le acque meteoriche provenienti dalla nuova area di de-icing interpista dovranno essere trattate con opportuno impianto per il trattenimento dei glicoli presenti nei fluidi derivanti dall'attività di de-icing e quindi scaricate alla rete fognaria.

Al fine della riduzione del consumo di acqua potabile nell'area del sedime, SEA prevede nel Masterplan anche il riutilizzo delle acque meteoriche raccolte dalle coperture degli edifici per fini non potabili, quali ad esempio:

- acqua di processo;
- riserva antincendio;
- utilizzo negli scarichi dei wc.

Le coperture dei tetti dovranno, pertanto, essere munite di canali di gronda impermeabili, atti a convogliare le acque meteoriche nei pluviali e nel sistema di raccolta per poter essere riutilizzate.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

**Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente**

Gli edifici di nuova costruzione dovranno quindi dotarsi di cisterne per la raccolta delle acque meteoriche.

Nel caso in cui sia richiesto da normativa, potrà essere previsto un adeguamento dei sistemi di trattamento del piazzale AAMM afferente al terminal 2 allo scopo di scaricare le piogge di dilavamento superficiale alla rete fognaria.



## 9. Valutazione della vulnerabilità del primo acquifero

### 9.1 Metodologia di ricostruzione della vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità del primo acquifero nell'area del sedime aeroportuale di Milano Malpensa è importante ai fini di valutare gli impatti che l'aeroporto potrebbe avere sulla prima falda, a seguito delle loro inter-relazioni.

Per l'area di studio, è stata valutata la vulnerabilità intrinseca dell'area, ovvero la vulnerabilità dell'acquifero a un qualsiasi ipotetico inquinante prodotto dalle attività umane. Essa tiene conto delle caratteristiche geologiche, idrologiche e idrogeologiche dell'area, ma è indipendente dal tipo di sostanza contaminante. Nel resto del capitolo, la vulnerabilità intrinseca sarà più semplicemente indicata con il termine di vulnerabilità.

Tra i metodi di valutazione della vulnerabilità, uno dei più diffusamente utilizzati è il metodo SINTACS (Civita, 1994; Civita e De Maio, 2000; Civita, 2005). Si tratta di una metodologia parametrica, per cui a ciascun parametro del modello, suddiviso per intervalli di valore e/o tipologie, viene attribuito un punteggio crescente in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale. I punteggi ottenuti per ciascun parametro sono moltiplicati per stringhe di pesi che descrivano la situazione idrogeologica e/o d'impatto, enfatizzando in varia misura l'azione e l'importanza dei vari parametri.

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

- Soggiacenza della falda;
- Infiltrazione efficace;
- Non - saturo (effetto di autodepurazione del);
- Tipologia della copertura;
- Acquifero (caratteristiche idrogeologiche dell');
- Conducibilità idraulica dell'acquifero;
- Superficie topografica (acclività della).

L'effetto dei diversi parametri del modello SINTACS sulla vulnerabilità è stato descritto da Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (2001).

La soggiacenza della falda, lo spessore del non saturo e la tipologia della copertura (tipo di suolo) hanno notevole influenza sulla vulnerabilità degli acquiferi; da essi, dipendono il tempo di transito di un qualsiasi inquinante idro-portato e la durata delle azioni autodepurative dell'insaturo, in particolare dell'azione ossidante dell'ossigeno atmosferico.

L'infiltrazione efficace assume notevole importanza poiché regola il trascinarsi in profondità degli inquinanti, ma anche la loro diluizione.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

La tipologia dell'acquifero descrive i processi che avvengono al di sotto della superficie piezometrica, regolando i possibili processi di dispersione, diluizione ed assorbimento che possono limitare la diffusione di un inquinante idro-veicolato.

La conducibilità idraulica dell'acquifero influenza la velocità con cui l'inquinante può spostarsi nello spazio.

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.

Di seguito si elencano i procedimenti utilizzati per pervenire alla definizione dei vari parametri previsti dal metodo SINTACS per valutare la vulnerabilità dell'area studiata.

La vulnerabilità è stata valutata arealmente, partendo da un reticolo di maglie quadrate 5x5 m in cui l'area di studio è stata suddivisa. Questa suddivisione corrisponde alla medesima utilizzata per la realizzazione delle carte di distribuzione delle litologie (capitolo 5). Per ciascuna cella, è stato quindi calcolato l'indice SINTACS, permettendo così di avere un valore di vulnerabilità caratteristico di ciascuna cella dell'area di studio.

Di seguito, vengono riportate le modalità con cui sono stati calcolati i punteggi relativi ai diversi parametri del modello.

### ***Soggiacenza della falda***

Nell'area del sedime aeroportuale e prospiciente ad essa, la soggiacenza varia mediamente tra 30 e 50 m dal piano campagna (Politecnico di Milano, 2017). Per valori così elevati di soggiacenza, Civita e De Maio (2000) individuano un punteggio da assegnare al parametro soggiacenza circa pari a 2. Di conseguenza, per la valutazione della vulnerabilità è stato considerato un unico scenario di soggiacenza della prima falda, corrispondente appunto ai valori medi dell'area indagata (30-50 m dal piano campagna).

### ***Infiltrazione efficace***

Il punteggio dell'infiltrazione efficace è stato calcolato mediante i seguenti passaggi:

- 1) è stato calcolato il deflusso idrico annuo medio dell'area (D), come differenza tra le precipitazioni medie annue (P) misurate nell'area (1012 mm; Politecnico di Milano, 2017) e l'evapotraspirazione media annua (E), valutata tramite la formula di Turc a partire dalle temperature medie mensili (Politecnico di Milano, 2017) (eq. 1 e 2):



$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{\left(300 + 25T_P + 0.05T_P^3\right)^2}}} \quad \text{eq. 1}$$

$$T_P = \frac{\sum P_{mens} T_{mens}}{P} \quad \text{eq. 2}$$

2) i valori di D sono moltiplicati per un coefficiente di infiltrazione efficace,  $\chi$ , che dipende dal tipo di litologia di superficie (carta della litologia superficiale; capitolo 5), ottenendo l'infiltrazione efficace;

3) in funzione del valore di infiltrazione efficace, si assegna quindi un certo punteggio a questo parametro.

#### ***Non - saturo (effetto di autodepurazione del)***

Il punteggio del non saturo dipende dalla tipologia di materiale presente nell'area priva di falda e dal suo spessore (distribuzione delle litologie superficiali; capitolo 5). In funzione del tipo di materiale che forma la zona non satura, si assegna quindi un certo punteggio a questo parametro, che viene moltiplicato per lo spessore della zona non satura. Lo spessore del non saturo dipende a sua volta dalla soggiacenza dell'area, valutata in questo caso come valore medio dell'area di indagine.

#### ***Tipologia della copertura***

Il metodo SINTACS considera la tessitura del tipo di suolo eventualmente presente e la presenza di aree urbanizzate nella definizione del punteggio da assegnare a questo parametro. Per la distribuzione del tipo di suolo, è stata considerata la carta pedologica dell'area con la carta del grado di protezione garantito dal suolo nei confronti della falda freatica (capitolo 6), integrata con la distribuzione delle aree urbanizzate, desunta dal database DUSAF 4.0 (anno 2012), disponibile dal Geoportale della Regione Lombardia.

#### ***Acquifero (caratteristiche idrogeologiche dell')***

Per l'assegnazione del punteggio relativo alle caratteristiche dell'acquifero, si è fatto riferimento alla litologia del primo acquifero dell'area. In particolare, nell'area di studio, i depositi del primo acquifero sono caratterizzati in prevalenza da ghiaie eterometriche, sabbie e ciottoli, con subordinate intercalazioni di conglomerati, argille e limi sabbiosi privi di continuità laterale.

#### ***Conducibilità idraulica dell'acquifero***



Nell'area di studio, la conducibilità idraulica del primo acquifero ha un valore medio di  $1.6 \cdot 10^{-4}$  m/s (ERM, 2002). Questo valore è stato utilizzato per l'assegnazione del punteggio relativo alla conducibilità idraulica dell'acquifero.

### ***Superficie topografica (acclività della)***

L'acclività della superficie topografica, espressa come sua pendenza in %, è stata calcolata mediante il software ArcGIS 9.3, a partire dal modello digitale del terreno (DEM), con celle quadrate di 5x5 m.

In Tab. 6, sono elencati i punteggi relativi alle diverse classi di ciascuno dei parametri utilizzati dal metodo SINTACS per valutare la vulnerabilità.

Per ciascuna cella in cui è stata suddivisa l'area di indagine, l'indice SINTACS (IS) è stato calcolato, attraverso il software ArcGIS 9.3, come somma dei prodotti del punteggio di ciascun parametro (Punt) per il relativo peso (Weight) (eq. 3):

$$IS = \sum_{i=1}^7 Punt_i * Weight_i \quad \text{eq. 3}$$

Come classe di pesi da assegnare ai parametri, si è scelto, a fini cautelativi, la classe relativa ad uno scenario di impatto rilevante. Questa scelta è legata al fatto che si tratta di un'area fortemente urbanizzata, con numerosi insediamenti industriali (pochi metri di soggiacenza, capitolo 13). L'indice risulta avere un valore compreso tra 26 e 260. Questo viene quindi normalizzato ( $IS_{norm}$ ) e riportato in percentuale tramite eq. 4:

$$IS_{norm} = \left( \frac{IS - 26}{260 - 26} \right) * 100 \quad \text{eq. 4}$$

$IS_{norm}$  è quindi suddiviso in 6 classi che definiscono le diverse classi di vulnerabilità:

- Molto bassa:  $0 < IS_{norm} < 24\%$
- Bassa:  $24 < IS_{norm} < 35\%$
- Media:  $35 < IS_{norm} < 49\%$
- Alta:  $49 < IS_{norm} < 69\%$
- Elevata:  $69 < IS_{norm} < 79\%$
- Estremamente elevata:  $79 < IS_{norm} < 100\%$ .

In questo modo, è stato possibile ricostruire la distribuzione delle classi di vulnerabilità del primo acquifero dell'area indagata.





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Parametro	Peso del parametro (Impatto rilevante)	Classe	Punteggio SINTACS
Soggiacenza della falda	5	30-50 m	2
Infiltrazione efficace	5	Depositi a ghiaia prevalente - 510 mm	4
		Depositi a ghiaie frammiste a locali depositi fini; depositi con ghiaie e depositi fini - 500 mm	4
		Depositi con limi frammiste a sabbie e ghiaie - 285 mm	9
		Depositi a sabbie prevalenti con depositi fini e ghiaie - 400 mm	5
		Aree urbanizzate - 145 mm	6
Non - saturo (effetto di autodepurazione del)	4	Depositi a ghiaia prevalente	8
		Depositi a ghiaie frammiste a locali depositi fini; depositi con ghiaie e depositi fini	6
		Depositi con limi frammiste a sabbie e ghiaie	4
		Depositi a sabbie prevalenti con depositi fini e ghiaie	6
		Aree urbanizzate	7
Tipologia della copertura	5	Suoli con grado di protezione elevato nei confronti della falda freatica	7
		Suoli con grado di protezione moderato nei confronti della falda freatica	5
		Suoli con grado di protezione basso nei confronti della falda freatica	4
		Suolo assente (aree urbane)	10
Acquifero (caratteristiche idrogeologiche dell')	3	Ghiaie eterometriche, sabbie e ciottoli, con subordinate intercalazioni di conglomerati, argille e limi sabbiosi privi di continuità laterale	8
Conducibilità idraulica dell'acquifero	2	Conducibilità idraulica di $1.6 \cdot 10^{-4}$ m/s	7
Superficie topografica (acclività della)	2	>26%	1
		22-25%	2
		19-21%	3
		16-18%	4
		13-15%	5
		10-12%	6
		7-9%	7
		5-6%	8
		3-4%	9
0-2%	10		

Tabella 6. Punteggi assegnati alle diverse classi di ciascun parametro utilizzato nel calcolo dell'indice SINTACS. I valori dei punteggi sono stati desunti da Civita e De Maio (2000).



## 9.2 Andamento della vulnerabilità

In Fig. 21 è riportata la carta di distribuzione delle classi di vulnerabilità, secondo lo scenario considerato.

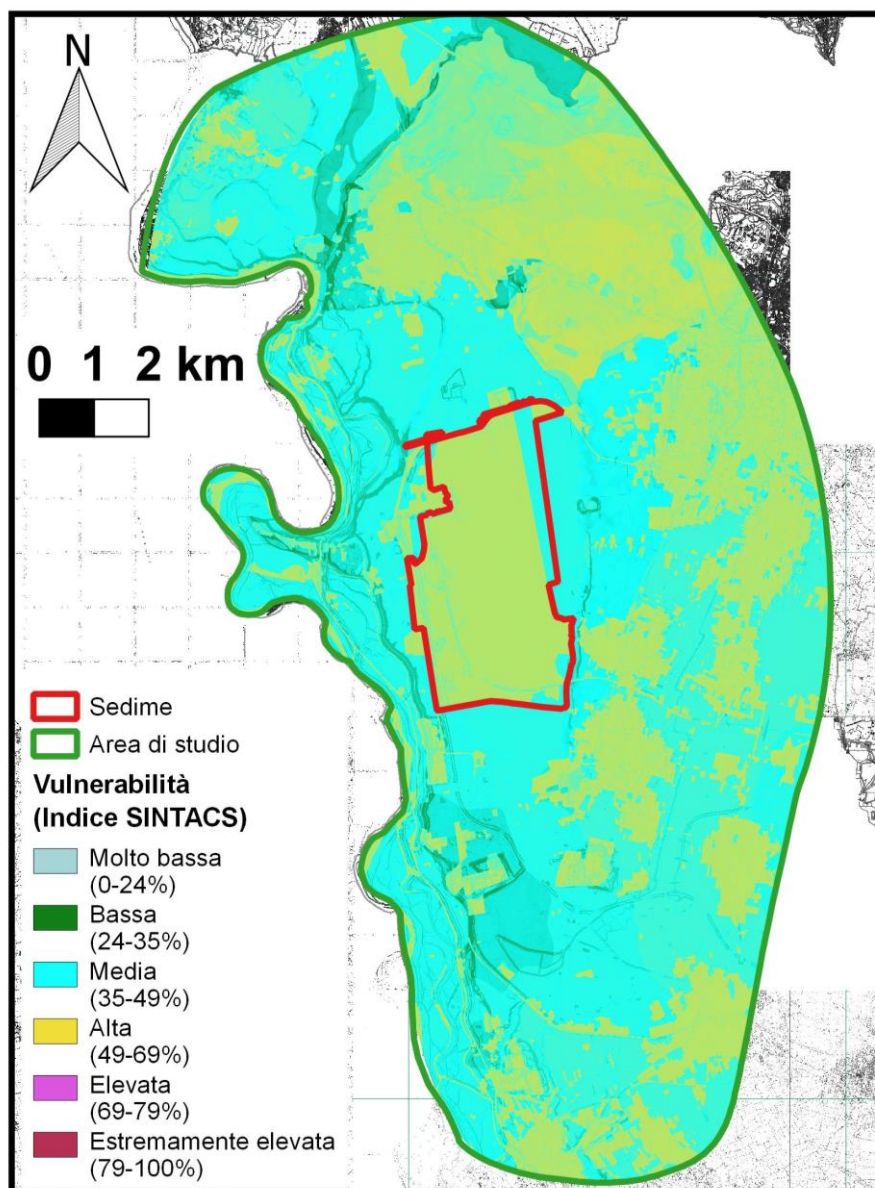


Figura 21. Vulnerabilità del primo acquifero, calcolata mediante l'indice SINTACS, per l'intera di studio.



Le due classi più diffuse sono quelle identificate rispettivamente come media e alta. Questa vulnerabilità è dovuta alle caratteristiche intrinseche dell'acquifero (elevata permeabilità, elevata infiltrazione efficace, suoli superficiali di spessore limitato con poca capacità di protezione nei confronti della falda), ma viene in parte mitigata dalla elevata soggiacenza media della falda in esso presente (30-50 m dal piano campagna).

Le aree prospicienti al sedime aeroportuale presentano una vulnerabilità media, mentre la maggior parte del sedime aeroportuale ricade nella classe di vulnerabilità alta (Fig. 22). Soltanto porzioni limitate al settore più orientale del sedime presentano una vulnerabilità media (Fig. 22). Questi risultati sono in accordo con quanto ottenuto anche dallo studio ERM (2002), che identificava una classe di vulnerabilità medio-alta per l'area del sedime aeroportuale.

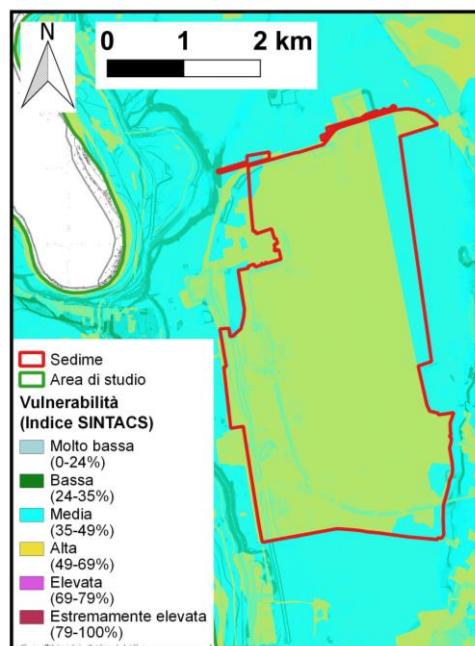


Figura 22. Particolare, nell'area del sedime di Milano Malpensa, della vulnerabilità del primo acquifero, calcolata mediante l'indice SINTACS.

In conclusione, la carta di vulnerabilità ricostruita, mediante l'utilizzo del metodo SINTACS, mostra come la vulnerabilità del primo acquifero risulti essere sempre significativa (media/alta) in tutta l'area di studio, con valori di vulnerabilità quasi uniformemente alti per l'area del sedime.

Sarà quindi opportuno tenere conto di questa alta vulnerabilità del primo acquifero nell'area del sedime, in modo da realizzare e dimensionare le opere previste nel Masterplan al fine di evitare eventuali sversamenti di contaminanti in falda.



## 10. Caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee

### 10.1 Acque superficiali

La normativa sulla tutela delle acque superficiali e sotterranee trova il suo principale riferimento nella Direttiva Europea 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.

Sostanza	SQA-MA <sup>(1)</sup> (µg/L)	SQA-CMA <sup>(2)</sup> (µg/L)
Alaclor	0,3	0,7
Alcani, C <sub>10</sub> -C <sub>13</sub> , cloro	0,4	1,4
Antiparassitari del ciclodiene: Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin	Σ = 0,01	
Antracene	0,1	0,4
Atrazina	0,6	2,0
Benzene	10	50
Cadmio e composti (in funzione della classe di durezza) <sup>(3)</sup>	≤ 0,08 (Classe 1) 0,08 (Classe 2) 0,09 (Classe 3) 0,15 (Classe 4) 0,25 (Classe 5)	≤ 0,45 (Classe 1) 0,45 (Classe 2) 0,6 (Classe 3) 0,9 (Classe 4) 1,5 (Classe 5)
Clorfenvinfos	0,1	0,3
Clorpirifos (Clorpirifos etile)	0,03	0,1
DDT totale	0,025	
p,p'-DDT	0,01	
1,2-Dicloroetano	10	
Diclorometano	20	
Di(2-etiltilftalato)	1,3	
Difenileterobromato	0,0005	
Diuron	0,2	1,8
Endosulfan	0,005	0,01
Esaclorobenzene	0,005	0,02
Esaclorobutadiene	0,05	0,5
Esaclorocicloesano	0,02	0,04
Fluorantene	0,1	1
Idrocarburi policiclici aromatici		
Benzo(a)pirene	0,05	0,1
Benzo(b)fluorantene		
Benzo(k)fluorantene	Σ = 0,03	
Benzo(g,h,i)perylene		
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Σ = 0,002	
Isoproturon	0,3	1,0
Mercurio e composti	0,03	0,06
Naftalene	2,4	
Nichel e composti	20	
4-Nonilfenolo	0,3	2,0
Ottifenolo	0,1	
Pentaclorobenzene	0,007	
Pentaclorofenolo	0,4	1
Piombo e composti	7,2	
Simazina	1	4
Tetracloruro di carbonio	12	
Tetracloroetilene	10	
Tricloroetilene	10	
Tributilstagno composti	0,0002	0,0015
Triclorobenzeni	0,4	
Triclorometano	2,5	
Trifluralin	0,03	

<sup>(1)</sup> SQA - MA Standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo

<sup>(2)</sup> SQA - CMA Standard di qualità ambientale espresso come concentrazione massima ammissibile

<sup>(3)</sup> Per il Cadmio e composti i valori degli SQA e CMA variano in funzione della durezza dell'acqua secondo le seguenti 5 categorie: Classe 1: < 40mg CaCO<sub>3</sub>/l, Classe 2: da 40 a < 50mg CaCO<sub>3</sub>/l, Classe 3: da 50 a < 100mg CaCO<sub>3</sub>/l, Classe 4: da 100 a < 200mg CaCO<sub>3</sub>/l, Classe 5: ≥ 200mg CaCO<sub>3</sub>/l.

Figura 23. Elenco delle sostanze prioritarie, e della loro concentrazione, utilizzate per la valutazione dello stato chimico di un corso d'acqua superficiale (fonte: <http://www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/acqua/3893.asp>).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Il D.Lgs. 152/2006, con le sue successive modifiche ed integrazioni (D.M. 131/2008, D.M. 56/2009, D.M. 260/2010 e D.L. 10.12.2010), recepisce formalmente la Direttiva 2000/60/CE, istituendo i criteri per la caratterizzazione ambientale dei corpi idrici superficiali.

Lo stato di un corpo idrico superficiale è definito attraverso la valutazione del suo stato ecologico e del suo stato chimico.

Lo stato ecologico è definito dalla qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici, stabilita attraverso il monitoraggio degli elementi biologici, degli elementi chimici e fisico-chimici a sostegno e degli elementi idromorfologici. Gli elementi biologici utilizzati ai fini della classificazione dello stato ecologico dei fiumi sono le macrofite, le diatomee, i macroinvertebrati bentonici e la fauna ittica. Gli elementi generali chimico-fisici a sostegno degli elementi biologici da utilizzare ai fini della classificazione dello stato ecologico dei fiumi sono i nutrienti (azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale) e l'ossigeno disciolto, che definiscono l'indice LIMeco. Per una migliore interpretazione del dato biologico, ma non per la classificazione, si tiene conto anche di temperatura, pH, alcalinità e conducibilità.

La presenza delle sostanze appartenenti all'elenco di priorità definisce lo stato chimico dei corpi idrici. Per ciascuna sostanza sono stabiliti uno standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo (SQA-MA) e uno standard di qualità ambientale espresso come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA).

Per la valutazione dello stato chimico delle acque superficiali si devono analizzare le sostanze dell'elenco di priorità previste dal D.M. 260/2010 (Fig. 23). Le sostanze (33+8) dell'elenco di priorità sono composti chimici per i quali sono stati fissati gli Standard di Qualità Ambientali (SQA) da rispettare, espressi come valore medio annuo (SQAMA) e come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA). Lo stato chimico può essere classificato come buono/non buono in base al rispetto o al superamento degli SQA. Fanno parte della lista di priorità alcuni metalli, numerosi prodotti fitosanitari, i VOC (Composti Organici Volatili quali i solventi alifatici e aromatici clorurati e non-), gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici).

La frequenza di campionamento ed analisi delle sostanze richieste per valutare stato ecologico e chimico di un corso d'acqua è mensile nell'arco dell'anno di monitoraggio. La media dei valori mensili definisce, per ciascun parametro, l'indice con cui confrontare i valori soglia, con cui quindi definire lo stato di un corso d'acqua. Per ottenere un livello attendibile della qualità, si fa generalmente riferimento a dati mediati su scala triennale.

Nei pressi del sedime di Malpensa, sono presenti alcune stazioni facenti parte della rete di monitoraggio ARPA Lombardia delle acque superficiali (Fig. 24). Esse monitorano, su scala mensile, i dati chimici ed ecologici relativi ai principali corsi d'acqua naturali della zona: fiume Ticino, torrente Arno, torrente Strona.

Sono stati considerati dati (forniti da ARPA Lombardia-Settore Monitoraggi Ambientali Centro Regionale Qualità delle Acque), relativi a 5 stazioni di monitoraggio (Fig. 24): i) una stazione



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

relativa al torrente Arno (stazione di Samarate); ii) una stazione relativa al torrente Strona (stazione di Somma Lombardo); iii) tre stazioni relative al fiume Ticino (stazioni di Golasecca, Lonate Pozzolo e Abbiategrasso).

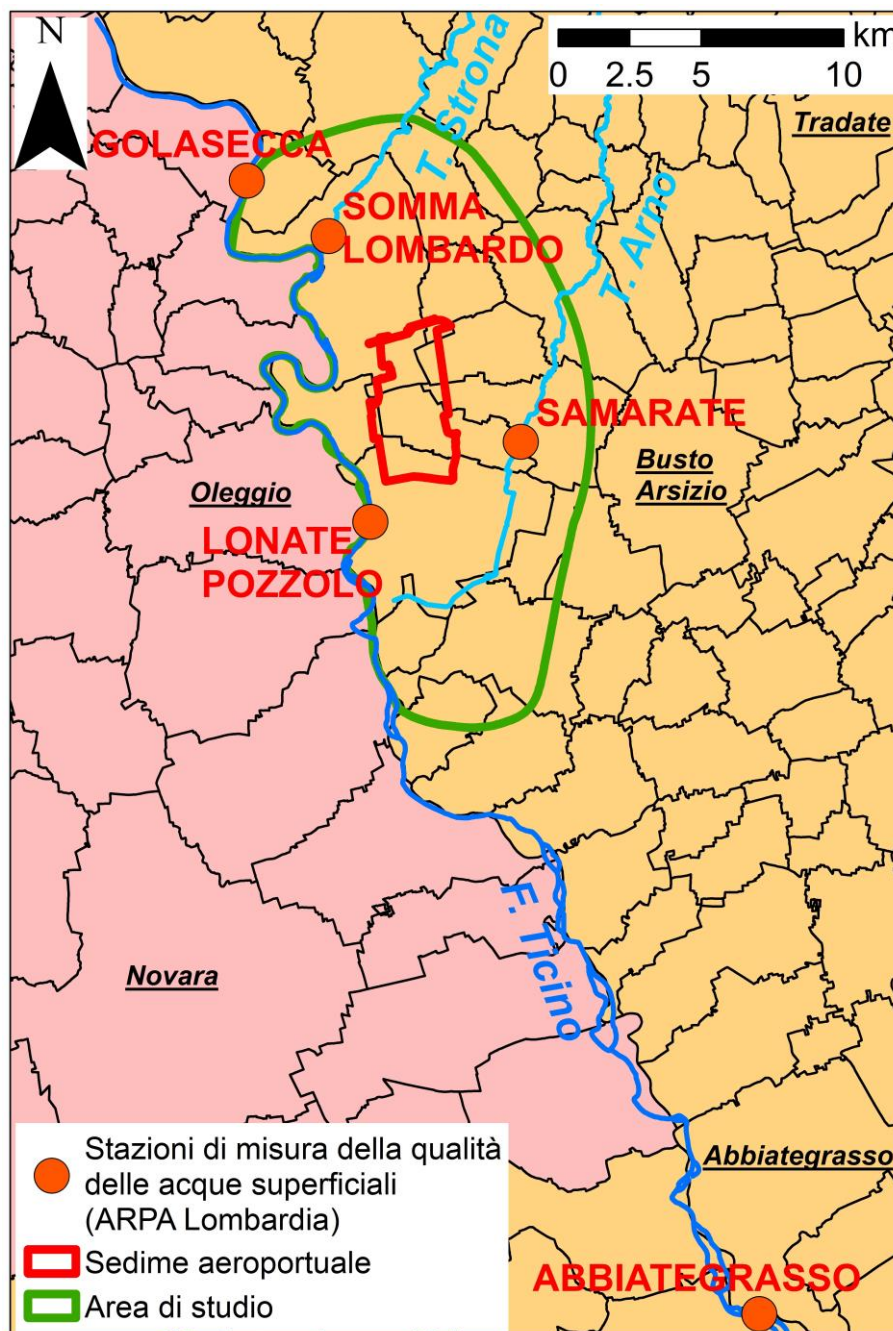


Figura 24. Ubicazione delle stazioni di misura delle caratteristiche qualitative delle acque superficiali nell'area del sedime di Malpensa.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Mentre per i primi due torrenti sono disponibili dati relativi soltanto a un punto di misura per ciascun corso d'acqua, per il fiume Ticino sono state analizzate più stazioni, in modo da valutare l'effetto che l'area aeroportuale potrebbe avere sulla qualità chimico-biologica delle acque superficiali di questo fiume. Infatti, la stazione di Golasecca è posta a monte, dal punto di vista del deflusso, del sedime aeroportuale di Malpensa, mentre quella di Lonate Pozzolo è posta immediatamente a valle di questo (Fig. 24). Inoltre, la stazione di Abbiategrasso è posta a valle sia del sedime aeroportuale che a valle della confluenza del torrente Arno, permettendo così di valutare l'impatto che le acque di scarico provenienti dall'aeroporto che finiscono nel torrente Arno hanno sulla qualità delle acque del fiume Ticino.

I dati analizzati fanno riferimento al periodo 2009-2017. Sono stati analizzati i trienni 2009-2011, 2012-2014 e 2014-2016 (ARPA Lombardia, 2014, 2015, 2018) e gli anni 2017 e 2018 (<http://www.arpalombardia.it/>).

Per quanto riguarda lo stato ecologico (Tab. 7), per tutte le stazioni considerate si è assistito a un miglioramento o a un mantenimento delle condizioni ecologiche tra i periodi analizzati. A partire dal triennio 2012-2014, tutte le stazioni analizzate lungo il fiume Ticino hanno raggiunto uno stato ecologico "Buono", sia a monte che a valle del sedime. Per il torrente Arno, lo stato ecologico è peggiorato nel periodo 2014-2016 in "Scarso", per poi mantenersi tale nel 2017 e 2018. Per il torrente Strona, lo stato ecologico è migliorato in "Sufficiente" a partire dal triennio 2012-2014, per poi mantenersi tale nei periodi successivi analizzati.

Fiume	Stazione	Stato ecologico				
		2009-2011	2012-2014	2014-2016	2017	2018
Ticino	Golasecca	Sufficiente	Buono	Buono	Buono	Buono
Ticino	Lonate Pozzolo	Buono	Buono	Buono	Buono	Buono
Ticino	Abbategrasso	Sufficiente	Buono	Buono	Buono	-
Arno	Samarate-Cassano Magnago*	Scarso	Sufficiente	Scarso	Scarso	Scarso
Strona	Somma Lombardo	Scarso	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente

Tabella 7. Stato ecologico valutato per il periodo 2009-2018 nei punti di monitoraggio analizzati posti in prossimità del sedime di Malpensa. \*Dal 2015, la stazione considerata lungo il torrente Arno è ubicata a Cassano Magnago.

L'indice LIMeco (Tab. 8) conferma i risultati di valutazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua analizzati. Il fiume Ticino presenta un'indice LIMeco ottimo ("Buono" o "Elevato"), per tutto il periodo monitorato e per tutte le stazioni considerate. Viceversa, i valori di indice LIMeco si mantengono molto più bassi per i torrenti Arno e Strona, lungo i quali sono stati misurati valori di questo indice del tutto simili a quelli dello stato ecologico. Riferendosi al 2018, quindi, l'indice LIMeco è "Scarso" per l'Arno e "Sufficiente" per lo Strona.



Fiume	Stazione	LIMeco				
		2009-2011	2012-2014	2014-2016	2017	2018
Ticino	Golasecca	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato
Ticino	Lonate Pozzolo	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato	Elevato
Ticino	Abbiategrasso	-	Elevato	Buono	Buono	-
Arno	Samarate-Cassano Magnago*	Sufficiente	Scarso	Scarso	Scarso	Scarso
Strona	Somma Lombardo	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente	Sufficiente

Tabella 8. Indice LIMeco valutato per il periodo 2009-2018 nei punti di monitoraggio analizzati posti in prossimità del sedime di Malpensa. \*Dal 2015, la stazione considerata lungo il torrente Arno è ubicata a Cassano Magnago.

Per quanto riguarda lo stato chimico (Tab. 9), si è assistito a un notevole miglioramento per tutte le stazioni analizzate in corrispondenza del 2017-2018, tanto che per questi anni lo stato chimico di tutti i punti di misura è risultato essere “Buono”, anche per quelli in cui era stato rilevato uno stato chimico peggiore negli anni precedenti.

Fiume	Stazione	Stato chimico				
		2009-2011	2012-2014	2014-2016	2017	2018
Ticino	Golasecca	Buono	Buono	Non buono	Buono	Buono
Ticino	Lonate Pozzolo	Buono	Buono	Buono	Buono	Buono
Ticino	Abbiategrasso	Buono	Buono	Buono	Buono	Buono
Arno	Samarate-Cassano Magnago*	Sufficiente	Non buono	Buono	Buono	Buono
Strona	Somma Lombardo	Sufficiente	Non buono	Non buono	Buono	Buono

Tabella 9. Stato chimico valutato per il periodo 2009-2018 nei punti di monitoraggio analizzati posti in prossimità del sedime di Malpensa. \*Dal 2015, la stazione considerata lungo il torrente Arno è ubicata a Cassano Magnago.

In conclusione, le analisi delle caratteristiche qualitative delle acque superficiali nell'area intorno al sedime di Malpensa mostrano come l'aeroporto non ha alcun effetto sullo stato ecologico e chimico dei corsi d'acqua presenti, dato che i livelli degli indici chimici ed ecologici si mantengono uguali sia a monte che a valle del sedime rispetto al senso di deflusso. I valori inferiori dei parametri ecologici misurati per il torrente Arno e per il torrente Strona sono probabilmente legati al fatto che questi corsi d'acqua hanno un percorso molto più corto rispetto a quello del Ticino e che sono molto più influenzati dalle numerose altre attività agricole e industriali presenti nella zona.

## 10.2 Acque scaricate al suolo e acque emesse in fognatura

Il D.Lgs. 152/2006 definisce i limiti di legge che determinate sostanze contaminanti devono avere per poter essere scaricate al suolo o in fognatura senza essere precedentemente trattate.





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Come già descritto nel capitolo 9.4, all'interno del sedime di Malpensa sono presenti alcuni scarichi di acque bianche o nere, che raccolgono queste al suolo o nelle rete fognaria. A questi, si aggiunge lo scarico terminale (Fig. 25), che convoglia le acque della rete fognaria interna al sedime verso la rete pubblica esterna.

Sono presenti due zone di scarichi al suolo: gli scarichi del piazzale del T2 e gli scarichi del piazzale della Nuova Cargo City (Fig. 25).

Per questi scarichi, sono stati analizzati i trend temporali, per il periodo 2011-2018, dei valori dei parametri monitorati per valutare la qualità delle acque scaricate al suolo: pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand 5 days (BOD5), fosforo totale, solidi sospesi totali, cromo esavalente, rame, piombo, zinco, tensioattivi totali, idrocarburi totali.

Per quanto riguarda gli scarichi al suolo, per tutti i punti di misura analizzati, i valori dei parametri considerati si mantengono al di sotto dei limiti di legge (Figg. 26 e 27). Unico valore sopra legge è stato quello del pH misurato presso il punto di misura "scarico n.9-T2" per il primo campione analizzato (Novembre 2011; valore di pH di 11.6, rispetto a un limite di legge di 8; Fig. 26).

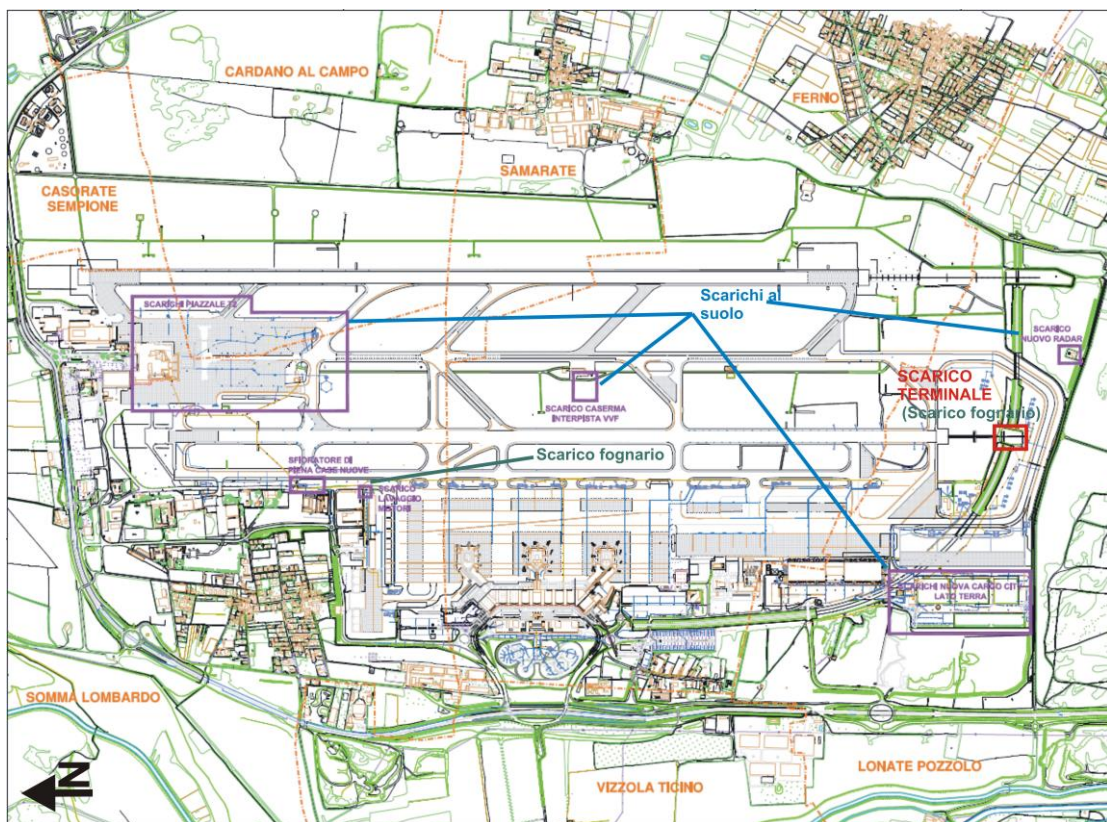


Figura 25. Ubicazione degli scarichi al suolo e degli scarichi fognari all'interno del sedime di Malpensa.

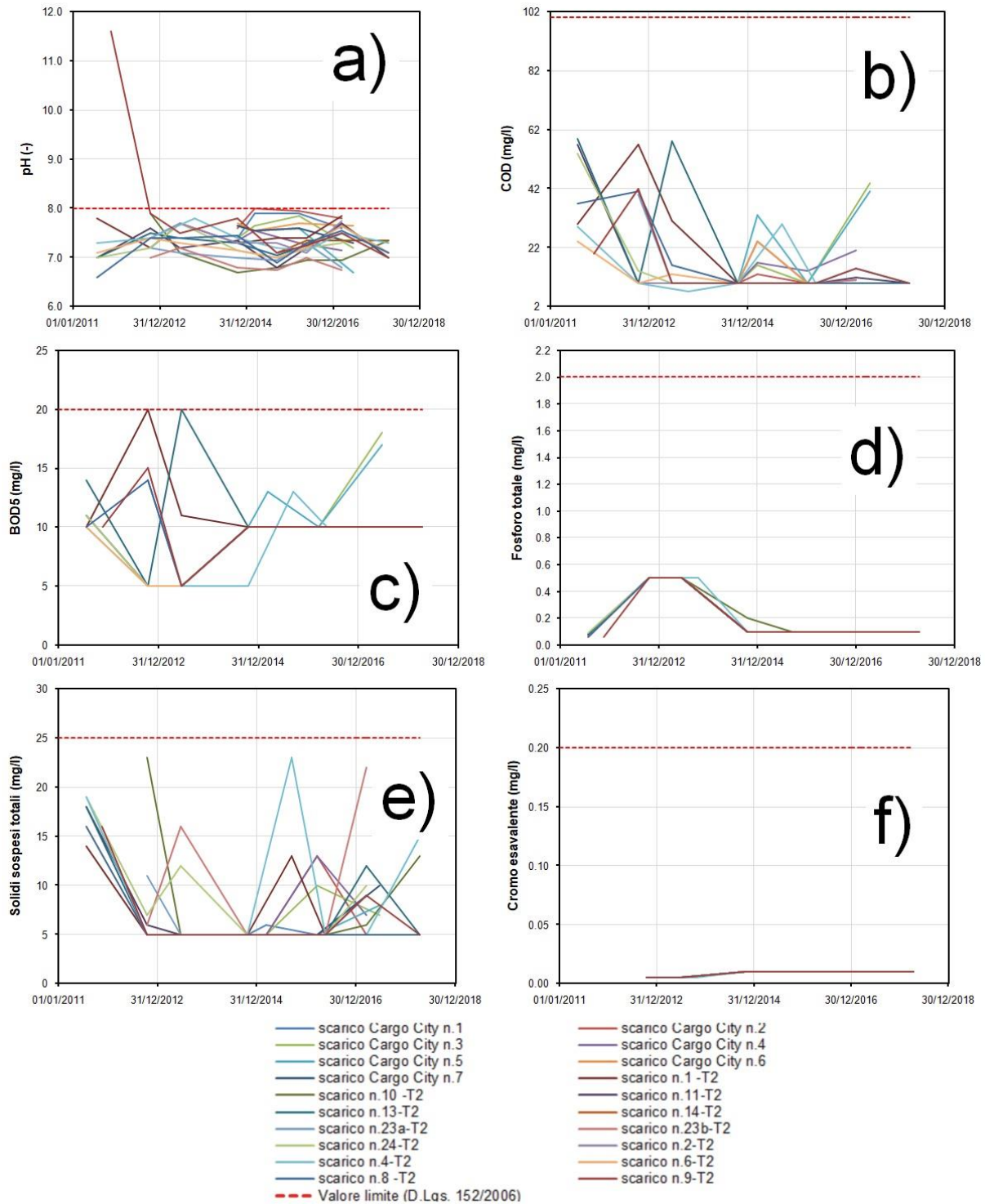


Figura 26. Valori dei parametri considerati per la caratterizzazione qualitativa delle acque degli scarichi al suolo: a) pH; b) COD; c) BOD5; d) fosforo totale; e) solidi sospesi totali; f) cromo esavalente.

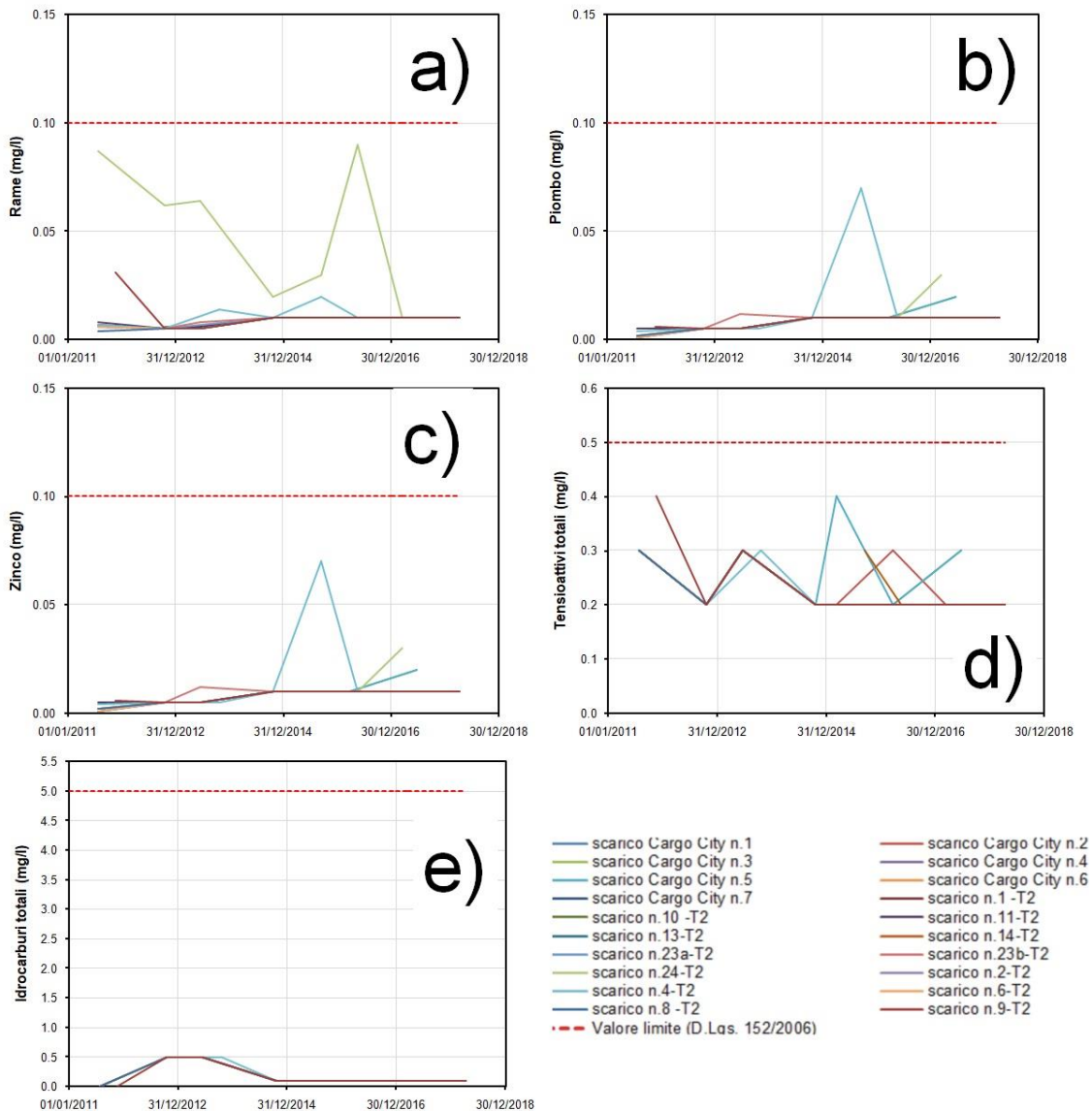


Figura 27. Valori dei parametri considerati per la caratterizzazione qualitativa delle acque degli scarichi al suolo: a) rame; b) piombo; c) zinco; d) tensioattivi totali; e) idrocarburi totali.

Nel complesso, è evidente come la qualità delle acque scaricate al suolo si mantenga all'interno dei limiti imposti dalla legislazione vigente.

Per quanto riguarda gli scarichi fognari (Fig. 25), sono stati analizzati due scarichi: lo "scarico lavaggio motori"; lo "scarico terminale", dove le acque fognarie sono convogliate alla rete esterna al sedime.

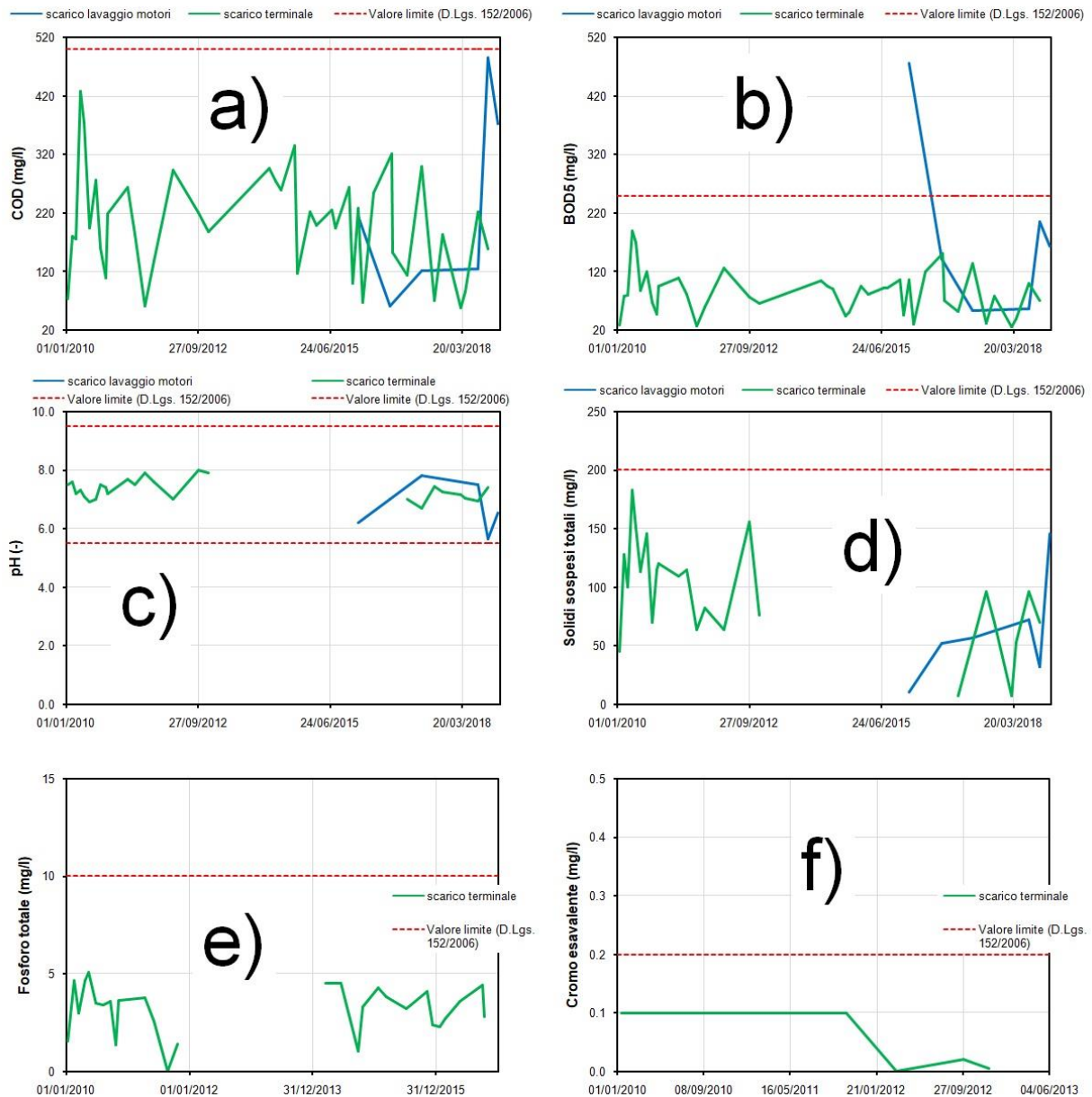


Figura 28. Valori dei parametri considerati per la caratterizzazione qualitativa delle acque degli scarichi nella rete fognaria: a) COD; b) BOD5; c) pH; d) solidi sospesi totali; e) fosforo totale; f) cromo esavalente.

Per lo "scarico lavaggio motori", sono stati analizzati dati disponibili per il periodo 2016-2018, relativi a: COD, BOD5, pH, solidi sospesi totali. Per lo "scarico terminale", sono stati analizzati dati del periodo 2010-2018 relativi a: COD, BOD5, pH, solidi sospesi totali, fosforo totale. Dati relativi al periodo 2010-2012 sono stati analizzati per: cromo esavalente, rame, idrocarburi totali, zinco, tensioattivi totali, azoto ammoniacale.

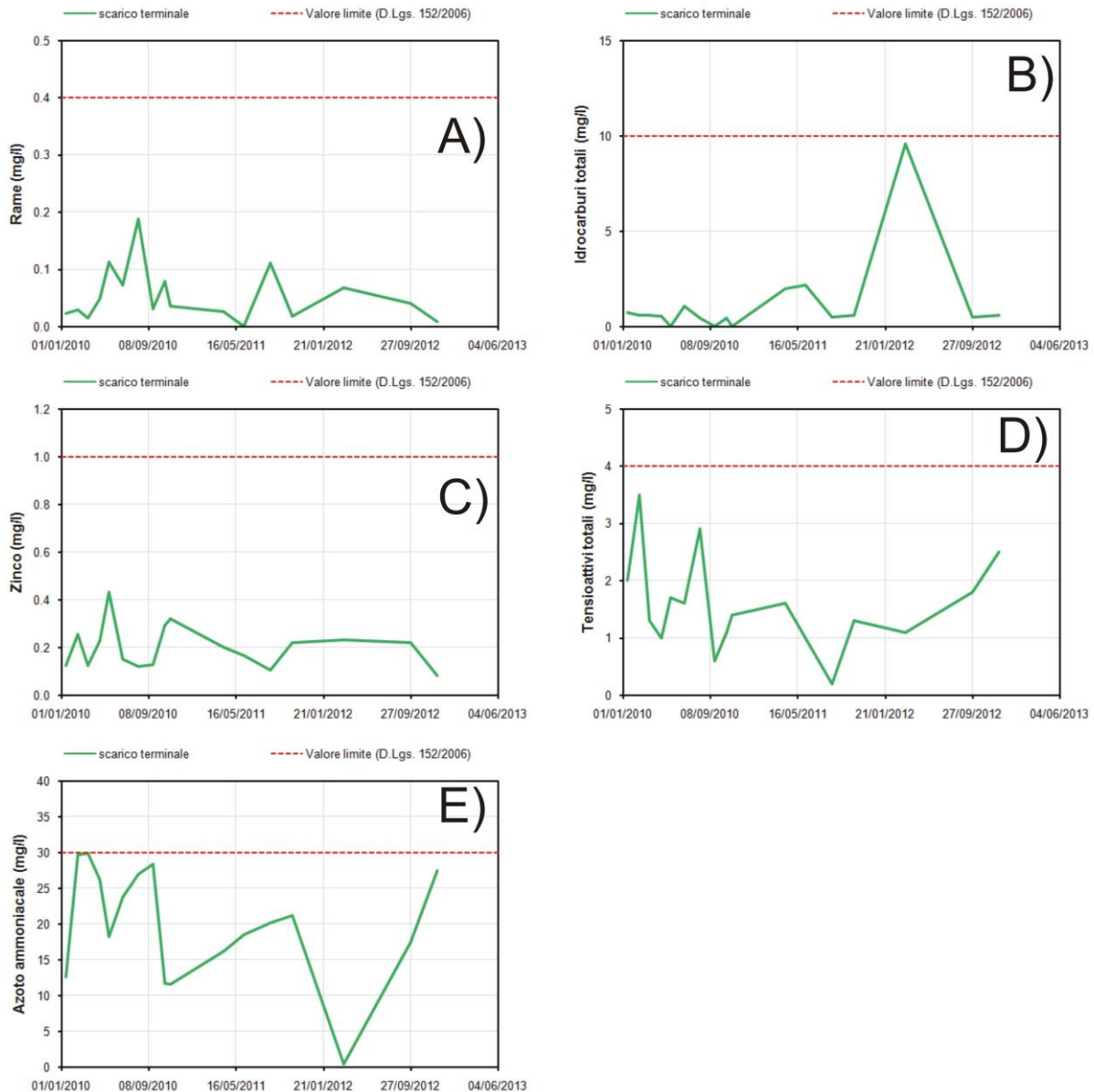


Figura 29. Valori dei parametri considerati per la caratterizzazione qualitativa delle acque degli scarichi nella rete fognaria: a) rame; b) idrocarburi totali; c) zinco; d) tensioattivi totali; e) azoto ammoniacale.

Per tutti i punti di misura analizzati, i valori dei parametri considerati si mantengono nei limiti di legge per gli scarichi fognari (Figg. 28 e 29). Unico valore sopra legge è stato quello del BOD5 misurato presso lo "scarico lavaggio motori" per il primo campione analizzato (Gennaio 2016; valore di BOD5 di 476 mg/l, rispetto a un limite di legge di 250 mg/l; Fig. 27). Dopo questo valore oltre i limiti, il BOD5 si è mantenuto sempre entro i limiti di legge per i mesi successivi (Fig. 28).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

Nel complesso, è evidente come la qualità delle acque scaricate nella rete fognaria si mantenga all'interno dei limiti imposti dalla legislazione vigente. Tuttavia, è importante sottolineare la necessità di tornare a effettuare un monitoraggio continuo anche di quei parametri (cromo esavalente, rame, idrocarburi totali, zinco, tensioattivi totali, azoto ammoniacale) che sono stati analizzati per le acque degli scarichi nella rete fognaria soltanto per il periodo 2010-2012, in modo da avere una caratterizzazione ancora più completa della qualità delle acque che si immettono nella rete fognaria.

### 10.3 Acque sotterranee

I criteri per la valutazione dello stato quantitativo e dello stato chimico delle acque sotterranee, in relazione alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento, sono regolamentati dal D.Lgs. 30/09, che ha dato attuazione alla direttiva 2006/118/CE.

Tali direttive impongono che i corpi idrici sotterranei dovevano raggiungere, sia per gli aspetti chimici sia per quelli quantitativi, entro il 22 dicembre 2015 uno stato ambientale definito "buono".

I criteri per la definizione dei corpi idrici sotterranei, le modalità di monitoraggio chimico e quantitativo della risorsa sono tra gli aspetti modificati rispetto alle norme precedenti. Le pressioni antropiche sulle acque sotterranee e gli eventuali impatti sono alla base dei criteri assunti per la definizione dei corpi idrici, insieme alle caratteristiche geologiche e idrogeologiche.

Per quanto riguarda la qualità delle acque sotterranee, i parametri di base presi in considerazione sono quelli riportati in Tab. 10.

Tra questi, alcuni indicati, nella predetta tabella, con l'asterisco sono quelli utilizzati per la classificazione.

Temperatura (°C)	Potassio (mg/L)
Durezza totale (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Sodio (mg/L)
Conducibilità elettrica (µS/cm (20°C))*	Solfati (mg/L) come SO <sub>4</sub> *
Bicarbonati (mg/L)	Ione ammonio (mg/L) come NH <sub>4</sub> *
Calcio (mg/L)	Ferro (mg/L)*
Cloruri (mg/L)*	Manganese (mg/L)*
Magnesio (mg/L)	Nitrati (mg/L) come NO <sub>3</sub> *

Tabella 10. Parametri di base. \*Parametri utilizzati per la classificazione.

I valori soglia degli inquinanti organici ed inorganici (espressi in µg/L) definiti dal D.Lgs. 30/09 sono, invece, riportati in Tab. 11.

Per la valutazione di eventuali impatti prodotti dalla gestione dell'aeroporto di Milano-Malpensa sulla qualità delle acque sotterranee sono stati analizzati ed elaborati i dati relativi a 14 pozzi appartenenti alla rete di monitoraggio qualitativo delle acque sotterranee di ARPA Lombardia, per il periodo 2009/2017-2018 (campagne di campionamento primaverili ed autunnali e a volte estive) e i dati provenienti dal monitoraggio chimico commissionati direttamente da SEA dei pozzi presenti



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

all'interno del sedime aeroportuale, adibiti ad uso idropotabile e industriale/antincendio (analisi relative al periodo 2010-2019).

I pozzi utilizzati della rete di monitoraggio ARPA sono localizzati idraulicamente sia a monte che a valle del sedime aeroportuale di Malpensa (Fig. 30) e permettono il monitoraggio della qualità delle acque sotterranee provenienti dagli acquiferi sia superficiali che profondi.

Tali pozzi permettono, infatti, il monitoraggio delle acque sotterranee del corpo idrico sotterraneo superficiale di Alta Pianura del bacino Ticino-Adda, che si sviluppa, nella zona d'interesse, fino a profondità dell'ordine di 100 m dal piano di campagna, e del corpo idrico sotterraneo profondo di Alta e Media Pianura Lombarda, che si sviluppa a maggiori profondità, denominati da ARPA Lombardia rispettivamente come GWBISSAPTA e GWBISPAMPLO.

INQUINANTI	VALORI SOGLIA	INQUINANTI	VALORI SOGLIA
<b>METALLI</b>		Cloruro di Vinile	0.5
Antimonio	5	1.2 Dicloroetano	3
Arsenico	10	Tricloroetilene	1.5
Cadmio**	5	Tetracloroetilene	1.1
Cromo Totale	50	Esaclorobutadiene	0.15
Cromo VI	5	Sommatoria organoalogenati	10
Mercurio	1	<b>ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI</b>	
Nichel	20	1.2 Dicloroetilene	60
Piombo	10	<b>ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI</b>	
Selenio	10	Dibromoclorometano	0.13
Vanadio	50	Bromodiclorometano	0.17
<b>INQUINANTI INORGANICI</b>		<b>NITROBENZENI</b>	
Boro	1000	Nitrobenzene	3.5
Cianuri liberi	50	<b>CLOROBENZENI</b>	
Fluoruri	1500	Monoclorobenzene	40
Nitriti	500	1.4 Diclorobenzene	0.5
Solfati	250 (mg/L)	1.2.4 Triclorobenzene	190
Cloruri	250 (mg/L)	Triclorobenzeni (12002-48-1)	0.4
Ammoniaca (ione ammonio)	500	Pentaclorobenzene	5
<b>COMPOSTI ORGANICI AROMATICI</b>		Esaclorobenzene	0.01
Benzene	1	<b>PESTICIDI</b>	
Etilbenzene	50	Aldrin	0.03
Toluene	15	Beta-esaclorocicloesano	0.1
Para-xilene	10	DDT, DDD, DDE	0.1
<b>POLICLICI AROMATICI</b>		Dieldrin 0.03	



Benzo (a) pirene	0.01	Sommatoria -	
Benzo (b) fluorantene	0.1	(aldrin, dieldrin, endrin, isodrin)	0.01
Benzo (k) fluorantene	0.05	<b>DIOSSINE E FURANI</b>	
Benzo (g,h,i,) perilene	0.01	Sommatoria PCDD, PCDF	$4 \times 10^{-6}$
Indeno(1,2,3- -c,d) pirene	0.1	<b>ALTRE SOSTANZE</b>	
Dibenzo (a, h) antracene	0.01	PCB	0.01
Indeno (1,2,3-c,d) pirene	0.1	Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	350
<b>ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI</b>		Conduttività ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ a $20^\circ\text{C}$ ) -	
Triclorometano	0.15	acqua non aggressiva	2500

Tabella 11. Valori soglia, espressi in  $\mu\text{g/L}$ , per la concentrazione degli inquinanti inorganici e organici (D.Lgs. 30/09, all'Allegato 3, Parte A, Tabella 3).

I pozzi che prelevano le acque di falda dal GWBISSAPTA possiedono il loro sistema di filtraggio a partire da profondità di 30 m (Pozzo PO0120700R1085 in comune di Gallarate) fino a profondità di 95 m (Pozzo PO012026NU3021 in comune di Busto Arsizio). I pozzi più profondi possiedono, invece, il loro sistema di filtraggio localizzato tra le profondità di 76 m (Pozzo PO0121180U2006 in comune di Samarate) e 230 m (Pozzo PO012090NU1009 in comune di Lonate Pozzolo).

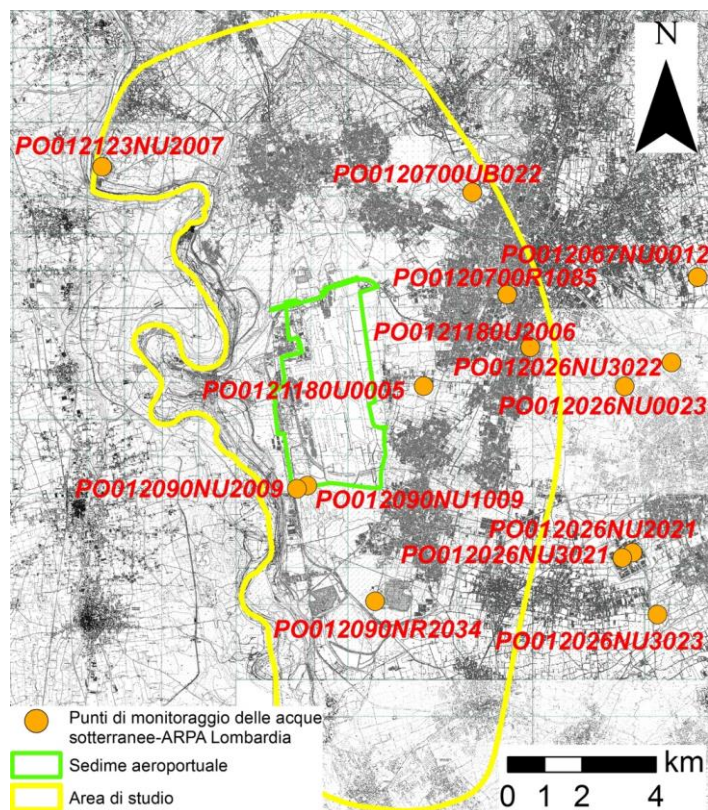


Figura 30. Rete di monitoraggio della qualità delle acque di ARPA Lombardia, con i pozzi considerati nell'analisi delle caratteristiche qualitative delle acque sotterranee.





UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

L'ubicazione dei pozzi SEA, localizzati tutti all'interno del sedime aeroportuale è riportata in Fig. 31. I pozzi SEA sono così suddivisi:

- i. pozzi B, C, D ed E: alimentano prevalentemente le utenze della rete di distribuzione idrica del Terminal 2;
- ii. pozzi F, G, H e L: alimentano prevalentemente le utenze della rete di distribuzione del Terminal 1;
- iii. pozzo A: dedicato all'alimentazione idrica dell'area Deposito Carburante;
- iv. pozzo I: dedicato prevalentemente all'alimentazione della vasca di riserva idrica di 1,600 m<sup>3</sup> predisposta per necessità antincendio;
- v. pozzi 1 e 2 (1EX C.P. e 2EX C.P.): alimentano prevalentemente le utenze remote (comprese le aree di cantiere) e l'area cargo.

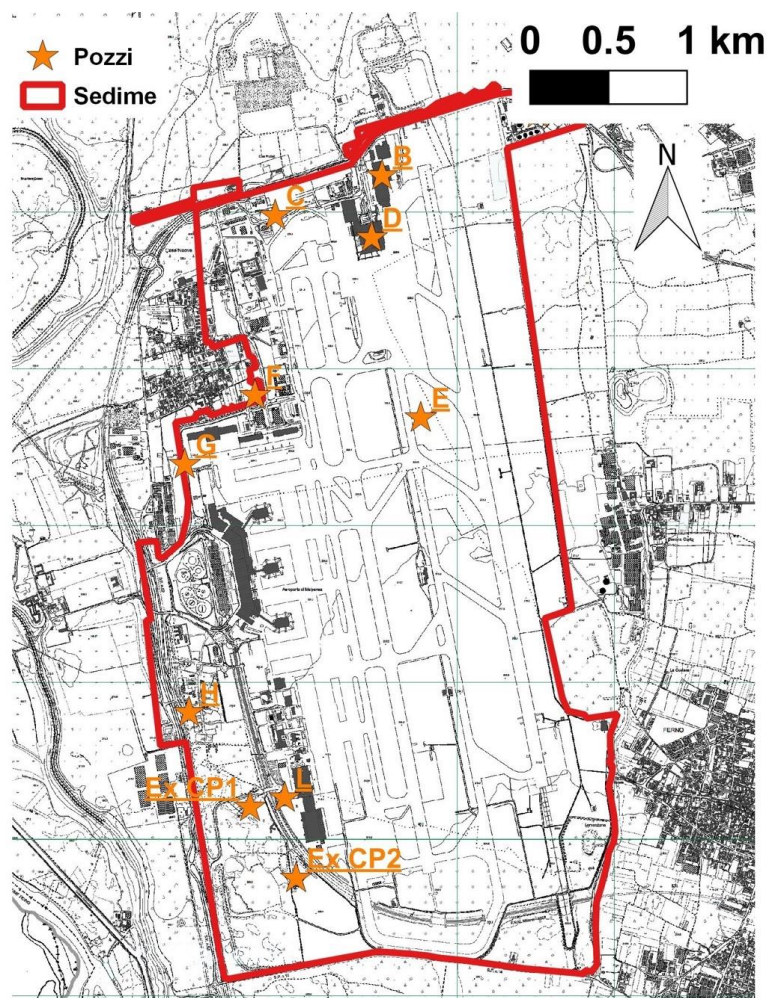


Figura 31. Ubicazione dei pozzi SEA all'interno del sedime aeroportuale.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

I pozzi SEA si localizzano all'interno dell'acquifero superficiale (GWBISSAPTA) con un sistema di filtraggio che si sviluppa tra le profondità di 45 m circa (Pozzi 1 e 2) fino a profondità di 93 m (Pozzi D e L).

Nella zona d'indagine sono stati, inoltre, campionati nel febbraio 2017 ulteriori punti relativi a differenti tipologie di acque la cui ubicazione è riportata in Fig. 32

- i. tre emergenze sorgentizie individuate lungo il fondovalle della Valle del F. Ticino;
- ii. il F. Ticino a monte e a valle dell'area in studio;
- iii. quattro pozzi a servizio dell'aeroporto di Malpensa intestati nell'acquifero superficiale (Pozzi D, F, H, e L).

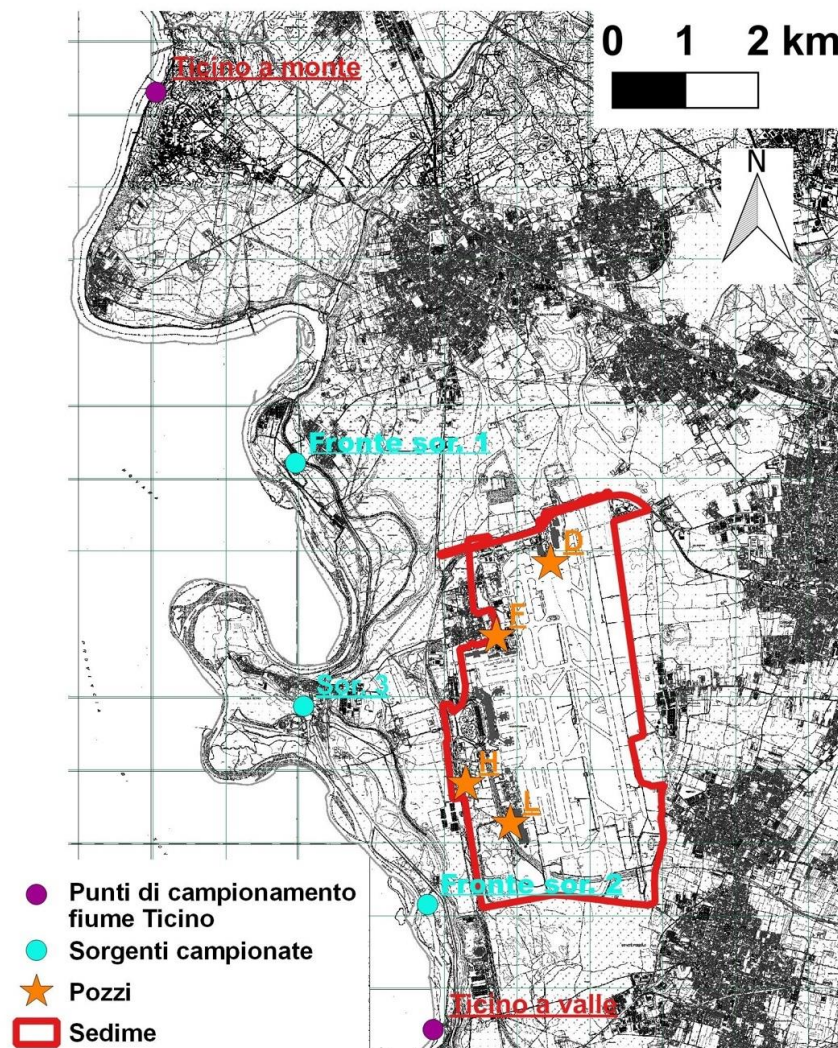


Figura 32. Ubicazione dei punti d'acqua campionati nel febbraio 2017



Da un punto di vista chimico, le acque dell'acquifero superficiale e dell'acquifero profondo evidenziano entrambe una idrofacies di tipo bicarbonato-calcica, con un grado di mineralizzazione variabile: da medio a medio-alto per gli acquiferi superficiali e medio-basso per gli acquiferi profondi.

In base al loro grado di mineralizzazione evidenziato dalla conducibilità elettrica delle acque è possibile individuare all'interno degli acquiferi superficiali (GWB ISSAPTA) 3 gruppi di corpi idrici sotterranei principali e uno secondario (Fig. 33):

- GRUPPO A:** corpi idrici a medio-bassa mineralizzazione con conducibilità elettriche grossomodo comprese tra 350 e 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (pozzi PO0120700R1085, PO0121180U0005, PO012090NU2009);
- GRUPPO B:** corpi idrici a media mineralizzazione con conducibilità elettriche intorno a valori di 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (pozzi PO012067NU0012, PO012026NU0023, PO012026NU2021);
- GRUPPO C:** corpi idrici a medio-alta mineralizzazione con conducibilità elettriche all'incirca comprese tra 800 e 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (pozzi PO012026NU3021, PO012090NR2034, PO012026NU3023). In questo gruppo il pozzo PO012026NU3021 mostra una variazione di mineralizzazione più pronunciata, con valori della conducibilità elettrica che variano tra 300 e circa 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A questi gruppi di corpi idrici sotterranei si aggiunge l'acquifero captato dal pozzo PO012123NU2007 (**Gruppo D**) che mostra un grado di mineralizzazione basso e costante nel tempo delle sue acque (200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

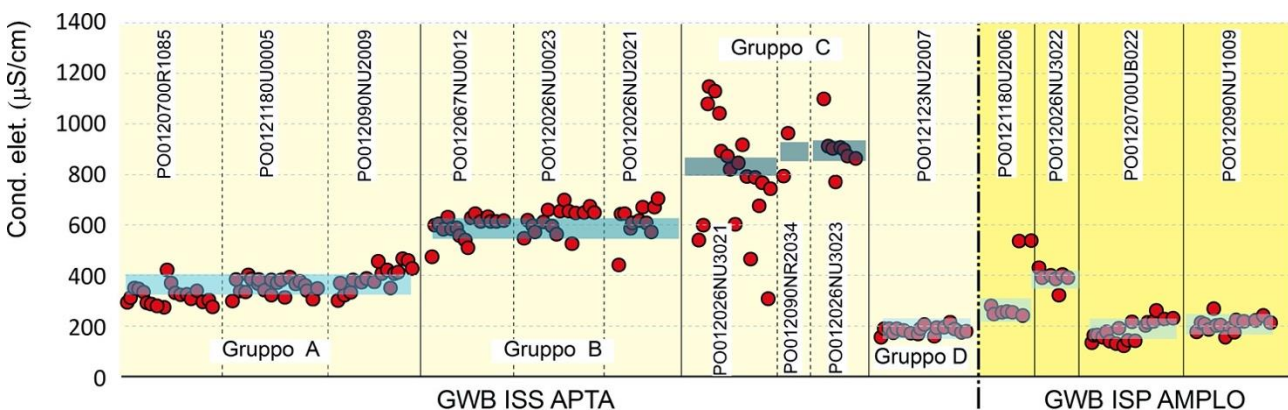


Figura 33. Variazione della conducibilità elettrica nei pozzi della rete di monitoraggio ARPA Lombardia (2009-2014).

Tale pozzo è intestato in sedimenti dell'anfiteatro morenico del Lago Maggiore al limite meridionale dello stesso anfiteatro, dove l'acquifero captato è verosimilmente alimentato più o



meno direttamente anche dalle acque superficiali del F. Ticino e/o del Lago Maggiore, che possiedono un grado di mineralizzazione anch'esso basso, circa 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (come riscontrato dalle analisi chimiche condotte e riportate in Tab. 12).

Il medesimo basso grado di mineralizzazione caratterizza anche le acque provenienti dagli acquiferi profondi (GWBISPAMPLO) con i filtri che si sviluppano oltre i 120 m di profondità (pozzi PO0120700UB022 e PO012090NU1009). I pozzi PO0121180U2006 e PO012026NU3022 prelevano acque con un maggior grado di mineralizzazione verosimilmente condizionato dal fatto che attingono parte delle proprie acque anche da acquiferi più superficiali (sistemi di filtraggio sviluppati a profondità rispettivamente tra 76 e 131 m e tra 93 e 167 m).

nome	t °C	cond. El. $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l
ticino valle	8,7	156	7,3	4,7	1,4	5,5	12,8	3,6	4,1	23,7	49
fronte sorgivo 2	11,4	191	7,4	7,5	1,2	8,6	16,3	4,7	7,2	22,6	73
sorgente 3	10,2	160	7,6	5,1	1,0	7,2	13,8	4,1	4,6	23,6	55
pozzo H (SEA)	14,5	339	7,5	14,2	1,9	22,5	28,2	13,1	18,7	13,0	165
pozzo L (SEA)	13,3	307	7,4	12,1	2,4	19,7	26,9	6,5	16,0	10,8	159
fronte sorgivo 1	7,3	134	7,4	4,8	3,1	5,5	12,5	3,6	7,1	22,1	37
pozzo F (SEA)	13,5	356	7,5	14,1	2,5	23,7	31,9	10,9	20,9	15,7	195
pozzo D (SEA)	13,1	339	7,3	12,0	1,7	22,9	30,9	8,5	25,4	13,0	189
ticino monte	8,1	160	7,6	5,9	1,6	6,9	14,9	3,8	4,3	24,9	55

Tabella 12. Chimismo delle acque campionate nel febbraio 2017.



Figura 34. Variazione della conducibilità elettrica nei pozzi SEA dell'area del sedime aeroportuale (2010-2019).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

I pozzi SEA, ubicati all'interno del sedime aeroportuale, presentano conducibilità elettriche delle loro acque mediamente tra 300 e 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con valori minimi di 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Pozzo A e L) e massimi di circa 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Pozzi 1, B ed E). Gli acquiferi captati dai pozzi SEA possono quindi essere collocati all'interno del Gruppo A, cioè nel gruppo degli acquiferi superficiali (GWBISSAPTA), con un grado di mineralizzazione medio-bassa (Fig. 34).

Dall'analisi dei dati acquisiti si osservano variazioni sostanziali di chimismo tra le acque sotterranee degli acquiferi superficiali (GWBISSAPTA) e le acque degli acquiferi profondi (GWBISPAMPLO). Gli anioni che in gran parte possono derivare da apporti superficiali di origine antropica (solfati, cloruri e, specialmente, nitrati) mostrano concentrazioni molto differenziate grossomodo in funzione

della profondità di provenienza delle acque (Fig. 35).

I solfati, per le acque della rete di monitoraggio ARPA, variano tra 10 e 40 mg/L per gli acquiferi superficiali e tra 5 e 15 mg/L per gli acquiferi profondi e per quello in cui è terebrato il pozzo PO012123NU2007 (anfiteatro morenico verbanò).

I cloruri mostrano concentrazioni maggiori per gli acquiferi superficiali (10÷20 mg/L) e minori, normalmente comprese tra 2 e 6 mg/L, per gli acquiferi profondi e per quello in cui è terebrato il pozzo PO012123NU2007 (posizione dei filtri tra 68 m e 80 m di profondità).

Concentrazioni decisamente maggiori sia in cloruri che in solfati sono state individuate negli acquiferi superficiali localizzati nel settore sud-orientale dell'area investigata (comuni di Busto Arsizio e Lonate Pozzolo) nei pozzi PO012026NU3021, PO012090NR2034 e PO012026NU3023: i cloruri mostrano concentrazioni a volte superiori a 170 mg/L (pozzo PO012026NU3021) e i solfati oltre i 140 mg/L (pozzo PO012090NR2034). La presenza di questi anioni nelle acque dell'acquifero superficiale è sicuramente da attribuirsi ad un'origine prevalentemente antropica.

I nitrati, la cui origine è legata essenzialmente ad apporti dalla superficie, mostrano concentrazioni molto basse (normalmente inferiori a 5 mg/L) per gli acquiferi profondi (pozzi PO0120700UB022 e PO012090NU1009) e per l'acquifero captato dal pozzo PO012123NU2007 (anfiteatro morenico verbanò) e variabili circa tra 20 e 60 mg/L per gli acquiferi superficiali.

Tra questi ultimi quelli che mostrano concentrazioni maggiori (oltre i 40 mg/L) si localizzano nei settori centro-orientali e sud-orientali dell'area presa in considerazione (pozzi PO012067NU0012, PO012026NU0023, PO012026NU2021, PO012026NU3021, PO012090NR2034 e PO012026NU3023), nei settori, quindi, posti idraulicamente a monte del sedime aeroportuale di Malpensa.

Per quanto riguarda, invece, i pozzi a servizio dell'aeroporto di Malpensa (pozzi SEA) dall'analisi dei dati si evince che le concentrazioni in solfati variano tra 10 mg/L e 25 mg/L (Fig. 36).





I cloruri e i nitrati mostrano concentrazioni rispettivamente comprese tra i 5 mg/L e i 15-20 mg/L e tra i 15 mg/l e 25-30 mg/L (concentrazioni sempre al di sotto comunque di 50 mg/L, che rappresenta la concentrazione massima per la potabilità dell'acqua).

Sia i solfati che i cloruri ed i nitrati non mostrano incrementi della loro concentrazione nel tempo, almeno per il periodo 2010-2019 (Fig. 36).

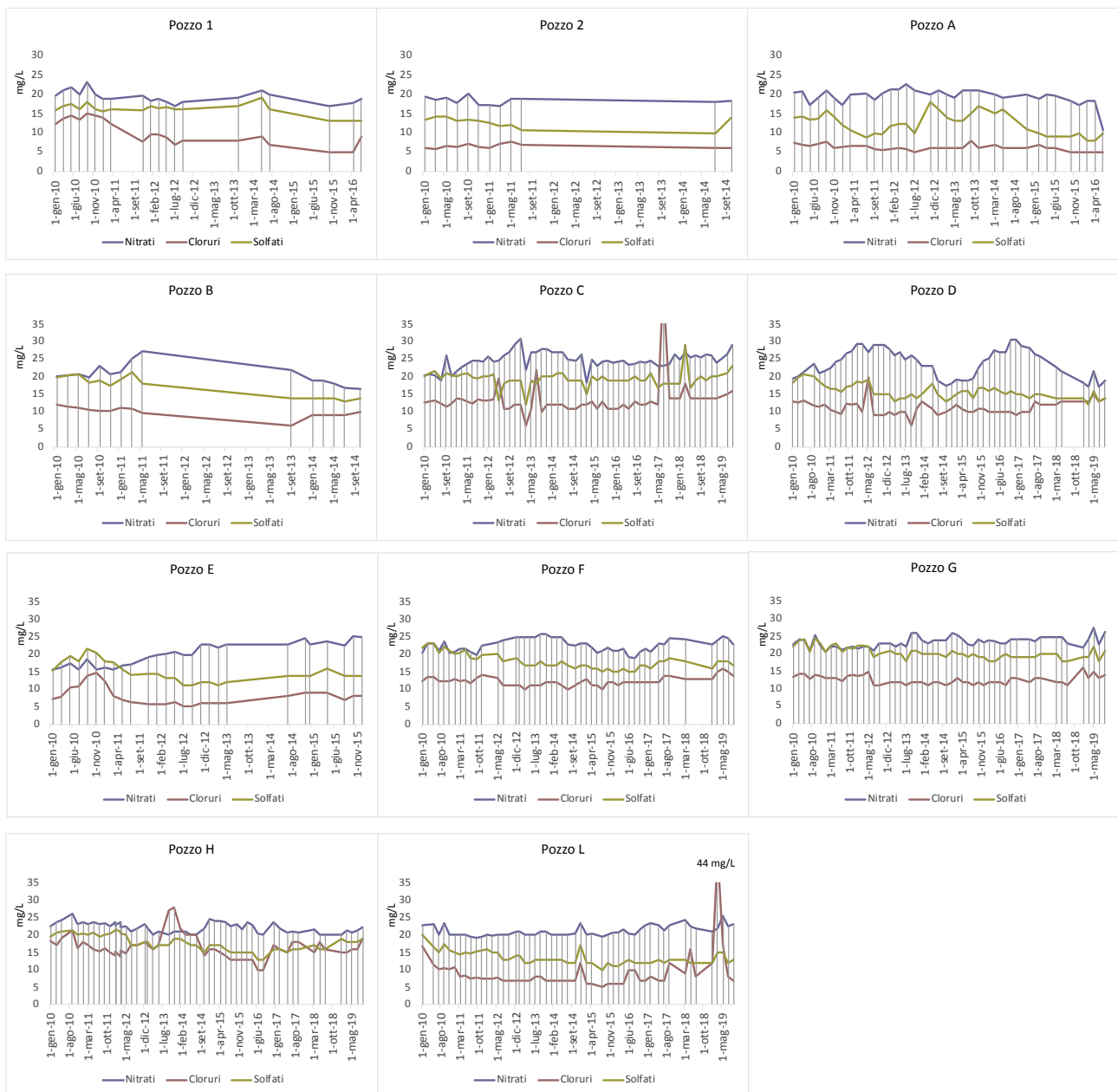


Figura 36. Variazione temporale della concentrazione in nitrati, cloruri e solfati nei pozzi SEA dell'area del sedime aeroportuale(2010-2019).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

I parametri analizzati per la valutazione di possibili contaminazioni pregresse o in atto dalla rete di monitoraggio qualitativo ARPA Lombardia sono rappresentati da inquinanti inorganici, metalli, idrocarburi, antiparassitari, pesticidi, per circa 120 determinazioni analitiche.

Per il medesimo scopo, per le acque captate dai pozzi SEA sono state monitorate molte specie chimiche di origine antropica e naturale, quali: metalli (arsenico, cromo totale, piombo, cadmio, ferro e manganese) e insetticidi, diserbanti, idrocarburi, solventi ecc (aldrin, dieldrin, eptacoloro, eptacoloro epossido, atrazina, terbutilazina, des-etil-terbutilazina, simazina, propazina, alachlor, des-etil atrazina, des-isopropil atrazina, 2,6 diclorobenzamide, 2,4' DDE, 4,4' DDE, 2,4' DDD, 4,4' DDD, 2,4' DDT, 4,4' DDT, esaclorobenzene (HCB),  $\alpha$ -esacloroesano ( $\alpha$ -HCH),  $\beta$ -esacloroesano ( $\beta$ -HCH),  $\gamma$ -esaclorocicloesano ( $\gamma$ -HCH), lindano, trifluralin, deltametrina e glifosate (benzene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(g,h,i)perilene, indeno(1,2,3-cd)pirene, tricloroetilene, tetracloroetilene, benzene, bromoformio, cloroformio, dibromoclorometano, bromodiclorometano, 1,1,1 tricloroetano).

Dall'analisi delle sostanze rilevate nella rete di monitoraggio ARPA Lombardia si rileva che le problematiche maggiori sono rappresentate dalla presenza di Tetracloroetilene, Tricloroetilene e Triclorometanosostanze rinvenute spesso al di sopra dei limiti di legge ed in modo persistente (Pozzi PO0120700R1085, PO0121180U0005, PO012026NU0023, PO012026NU2021, PO012026NU3021, PO0121180U2006, PO012026NU3022, tutti ubicati ad est del sedime aereoportuale di Malpensa)(Fig. 37).

Altri tipi di contaminazioni rilevate in modo sporadico sono relative alla presenza di Cromo VI (pozzo PO012026NU3021 con concentrazioni poco superiori a  $5\mu\text{g/L}$ ), Atrazina (pozzo PO012026NU3023) con concentrazioni comprese tra 0,1 e  $0,2\mu\text{g/L}$ , Dibromo-cloro-metano e Bromo-dicloro-metano, con concentrazioni di  $0,94-5,13\mu\text{g/L}$  e di  $8,99$  e  $20,7\mu\text{g/L}$ , individuate rispettivamente nelle acque dei pozzi PO012026NU2021 e PO0120700R1085) e di Arsenico.





Figura 37. Variazione della concentrazione in Tetracloroetilene, Tricloroetilene e Triclorometano nei pozzi della rete di monitoraggio ARPA Lombardianelle campagne di analisi autunnali e primaverili (2009/2017-2018).

Per quest'ultima specie chimica è necessario effettuare alcune considerazioni. L'Arsenico è stato rinvenuto solamente nelle acque emunte dal pozzo PO012123NU2007, che come già indicato precedentemente si localizza al limite meridionale dell'anfiteatro morenico del Lago Maggiore. Le



concentrazioni rilevate sono dell'ordine di 30-60 µg/L circa, decisamente superiori ai limiti di legge (10 µg/L).

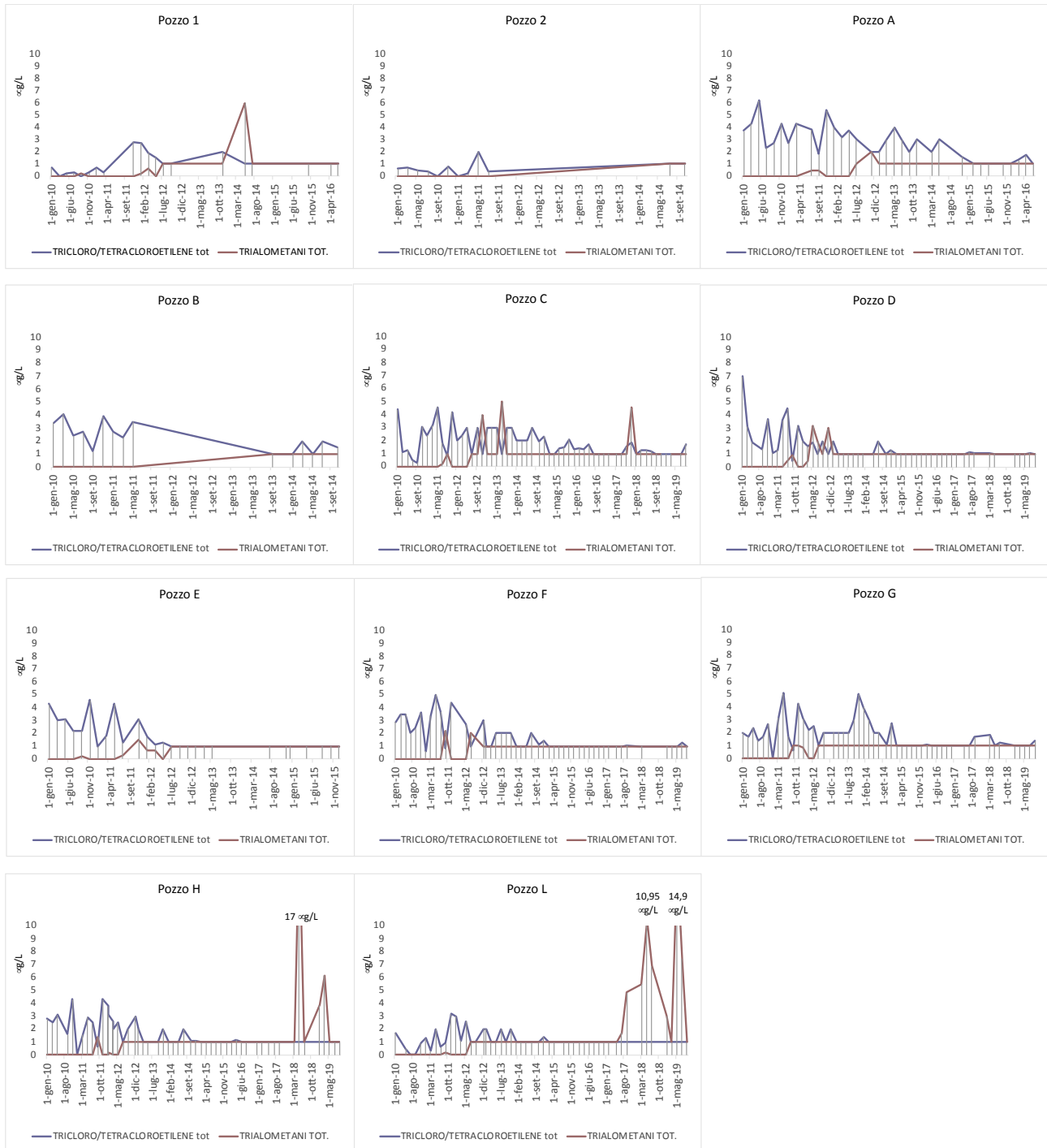


Figura 38. Variazione della concentrazione in Tricloroetilene+Tetracloroetilene in Trialometani tot. nei pozzi SEA dell'area del sedime aeroportuale (2010-2019).



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

L'Arsenico presente è verosimilmente, però, di origine naturale, legato ai sedimenti di origine glaciale in cui è intestato il pozzo. Contaminazioni di origine naturale di acque sotterranee sia del Canton Ticino sia lungo i versanti orientali del Lago Maggiore sono infatti conosciute da tempo (Pfeifer et al., 2002; Pfeifer et al., 2004; Bianchi, 2005).

Per quanto riguarda i pozzi SEA a servizio dell'area aeroportuale di Malpensa, dall'analisi dei dati si può riscontrare che la maggior parte delle sostanze contaminanti analizzate sono sempre al di sotto dei limiti di rilevabilità strumentale.

Le uniche sostanze rinvenute dalle indagini analitiche sono relative alla sommatoria Tetracloroetilene+Tricloroetilene (con concentrazioni sempre inferiori a 10 µg/L). Tali sostanze, quando rinvenute, sono rappresentate per lo più da Tetracloroetilene. Analizzando i diagrammi di Fig. 38 si può constatare, inoltre, come nel tempo tali sostanze abbiamo mostrato una significativa diminuzione della loro concentrazione fino a valori inferiori a 1 µg/L.

Altre sostanze riconosciute in questi ultimi anni specialmente nei pozzi H ed L sono i Triometani, rappresentati per lo più da cloroformio, dibromoclorometano e bromodichlorometano. Le concentrazioni totali hanno raggiunto anche concentrazioni non trascurabili dell'ordine di 11-17 µg/L (anni 2018 e 2019).

L'origine di tali contaminazioni non è attualmente di chiara determinazione.

Un aspetto certamente importante per la valutazione degli impatti sulle acque sotterranee prodotto dall'area aeroportuale di Malpensa è rappresentato dai Pozzi PO012090NU1009 e PO012090NU2009 localizzati nel comune di Lonate Pozzolo e ubicati idraulicamente a valle del sedime aeroportuale. Questi pozzi sono intestati nell'acquifero superficiale (PO012090NU2009) e nell'acquifero profondo (PO012090NU1009).

Il pozzo intestato nell'acquifero superficiale (filtri localizzati a profondità di 55-74 m) non mostrano contaminazione delle acque emunte. I parametri analizzati si mantengono sempre al di sotto dei limiti di rilevabilità strumentale.

Mentre nelle acque prelevate dal pozzo profondo (PO012090NU1009) con i filtri localizzati a profondità comprese tra 200,7 m e 230,7 m è stata riscontrato del Tricloroetilene con concentrazioni di 4,79 µg/l nella primavera del 2011 e 1,6 µg/L nell'autunno 2014.

In relazione alla tipologia dell'acquifero captato (profondo) e alla profondità dei filtri è da ritenere che tale tipo di contaminazione sia stata prodotta, verosimilmente, in territori ubicati idraulicamente molto più a monte dell'area aeroportuale.



## 11. Analisi dei movimenti del terreno mediante dati interferometrici

L'interferometria è una tecnica di telerilevamento che si basa sull'analisi di immagini SAR (radar ad apertura sintetica), rilevate da sensori radar montati su una piattaforma mobile che emettono onde elettromagnetiche con particolari bande.

Quando il sensore acquisisce due immagini SAR di una medesima area in momenti diversi, si può utilizzare le informazioni contenute in entrambe le immagini per ottenere determinate misure. In particolare. Sottraendo la fase di un'immagine a quella dell'altra (interferometria differenziale o Synthetic Aperture Radar Differential Interferometry - DInSAR), si genera un interferogramma. Se non avvengono particolari cambiamenti nel periodo tra le due acquisizioni (spostamenti molto significativi in una certa area, es. collasso di una frana), la fase dell'interferogramma generato dipende solo dalla distanza sensore-bersaglio sulla superficie terrestre. Se quindi sono misurate delle differenze tra le due immagini SAR, è ragionevole ipotizzare che sia cambiata la distanza sensore-bersaglio a causa di particolari movimenti intercorsi tra le due acquisizioni (Fig. 39).

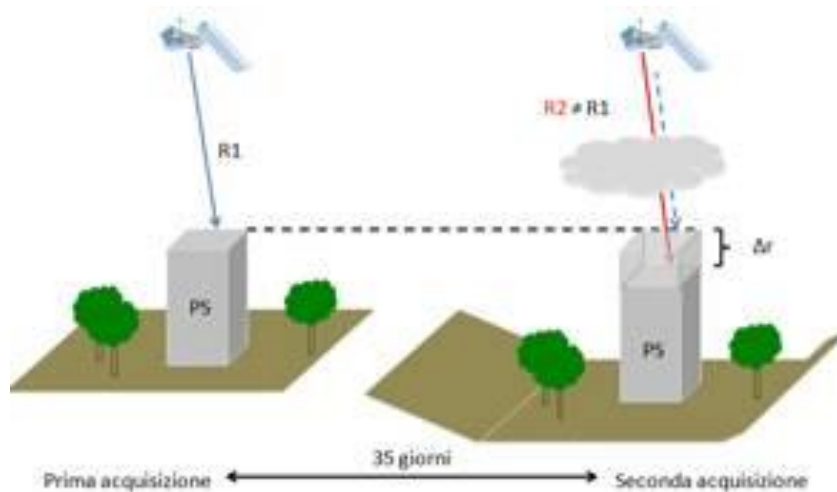


Figura 39. Principio alla base della tecnica DInSAR: combinando due o più immagini SAR è possibile misurare l'entità e la direzione dello spostamento di un bersaglio (fonte: <http://www.pcn.minambiente.it/GN/interferometria-differenziale-sar?showall=&start=1>).

Questo principio fisico permette quindi di sfruttare due o più immagini SAR acquisite sulla stessa area in intervalli di tempo differenti per monitorare gli spostamenti dei bersagli sulla superficie legati a particolari processi geologici o strutturali. Per questo motivo la tecnica DInSAR è diventata uno tra i più comuni strumenti di monitoraggio dei movimenti del terreno, soprattutto dopo che si è cominciato ad utilizzare immagini SAR acquisite da sensori montati su satelliti orbitanti intorno alla Terra. In questo modo, è stato possibile ottenere misure degli spostamenti anche a scala molto vasta



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

(plurichilometrica), monitorando l'andamento di questi per periodi temporali lunghi (pluriannuali), con misure relativamente vicine nel tempo (mediamente, a cadenza settimanale o plurisettimanale). I limiti della tecnica, legati alla cadenza plurigiornaliera dell'acquisizione delle immagini SAR da satellite e alle informazioni desumibili dall'interferogramma, permettono di monitorare in maniera efficace processi lenti o molto lenti, con tassi di deformazione millimetrici o centimetrici. Di conseguenza, la tecnica DInSAR che utilizza immagini SAR satellitari è particolarmente utilizzata nel monitoraggio di frane con cinematisimo lento, faglie attive, masse magmatiche in lento movimento, fenomeni di subsidenza del terreno con cedimenti piccoli ma continui nel tempo. Inoltre, questa tecnica è stata applicata anche all'analisi di cedimenti strutturali di edifici o altre infrastrutture.

Per maggiori dettagli e considerazioni sulla tecnica DInSAR e le sue applicazioni si fa riferimento in particolare ai lavori di Ferretti et al. (2001, 2011), Colesanti et al. (2003), Wasowsky e Bovenga (2014) e Bonì et al. (2016).

Date le potenzialità di questa tecnica, si è ritenuto opportuno utilizzare dati DInSAR da satellite per valutare eventuali movimenti significativi del terreno nell'area del sedime di Malpensa. Sono stati utilizzati dati interferometrici acquisiti nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale, i quali sono consultabili all'interno del Geoportale nazionale messo a punto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Tab. 2, capitolo 2.1).

I dati utilizzati fanno riferimento ad immagini SAR acquisite da diversi satelliti in momenti diversi. I satelliti ERS-1/2 ed ENVISAT operano in banda C con tempo di rivisitazione di 35 giorni.

Sono stati considerati dati acquisiti con entrambe le geometrie possibili nel caso della tecnica DInSAR con dati satellitari: ascendente, per cui la direzione di spostamento del satellite è da sud verso nord; discendente, per cui la direzione di spostamento del satellite è da nord verso sud. Sono stati considerati dati acquisiti con entrambe le geometrie per avere una ulteriore conferma dei tassi di movimento misurati nell'area.

In particolare, sono stati utilizzati dati acquisiti dai satelliti ESA (European Space Agency) ERS-1/2 ed ENVISAT. Le immagini acquisite da ERS-1/2 hanno coperto il periodo Aprile 1992-Dicembre 2000 mentre quelle acquisite da ENVISAT il periodo Dicembre 2002-Luglio 2010. In questo modo, è stato monitorato un intervallo di tempo significativo, pari a circa 18 anni.

Le immagini relative ai satelliti ERS-1/2 ed ENVISAT sono state processate mediante una tecnica chiamata PSInSAR<sup>TM</sup> (Ferretti et al., 2000, 2001). Questa tecnica permette di misurare spostamenti di bersagli assimilabili a punti, chiamati Persistent Scatterers (PS). Questi corrispondono a elementi naturali o manufatti antropici dotati di una elevata capacità riflettiva e che mantengono invariate le proprie caratteristiche. Nell'area di Malpensa, si tratta sostanzialmente di elementi antropici quali tetti di edifici, antenne, limiti di strade, guardrail.

La precisione di misura degli spostamenti misurati è dell'ordine di  $\pm 1$  mm/anno per tutti i satelliti considerati. La precisione di geocodifica dei bersagli, che indica l'errore di posizione rispetto al



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

punto in cui un bersaglio si trova nella realtà, è dell'ordine di  $\pm 6-10$  m lungo la direzione est-ovest,  $\pm 2-5$  m lungo la direzione nord-sud,  $\pm 1$  m in altezza per dati elaborati con la tecnica PSInSAR<sup>TM</sup>. Per maggiori dettagli sulla tecnica di processamento, si fa riferimento a Ferretti et al. (2001).

Il parametro utilizzato per avere indicazioni sui movimenti del terreno nell'area di Malpensa è la velocità di spostamento di ciascun bersaglio misurata dal satellite lungo la sua linea di vista ( $V_{LOS}$ ). Si tratta del parametro più usato per caratterizzare i tassi di deformazione in un'area, in quanto indica il tasso medio di deformazione misurato per un certo bersaglio nel periodo di acquisizione delle immagini SAR di un certo satellite.



VLOS (mm/anno)

● -10/-5   ● -5/-3   ● -3/-1.5   ● -1.5/1.5   ● -1.5/3.0   ● 3.0/5.0

Figura 40. Andamento della VLOS misurato con dati dei satelliti ERS-1/2 (periodo di misura: Aprile 1992-Dicembre 2000): a) dati in geometria ascendente; b) dati in geometria discendente.



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente



VLOS (mm/anno)

● -10/-5   ● -5/-3   ● -3/-1.5   ● -1.5/1.5   ● -1.5/3.0   ● 3.0/5.0

Figura 41. Andamento della VLOS misurato con dati del satellite ENVISAT (periodo di misura: Dicembre 2002-Luglio 2010): a) dati in geometria ascendente; b) dati in geometria discendente.

Le caratteristiche pianeggianti dell'area studiata fanno sì la  $V_{LOS}$  corrisponda circa al reale tasso medio di deformazione (Wasowsky & Bovenga, 2014), per cui tale parametro è un efficace indice dei movimenti del terreno nell'area di Malpensa.

Dall'analisi delle  $V_{LOS}$  misurate dal satellite ERS-1/2 nel periodo Aprile 1992-Dicembre 2000, si notano abbassamenti del terreno, che raggiungono valori massimi di -5 mm/anno, in corrispondenza dei satelliti e degli hangar più meridionali dell'aeroporto (Fig. 40). Questi movimenti sono avvenuti in corrispondenza dei lavori di realizzazione delle nuove strutture che hanno interessato il sedime di Malpensa proprio tra il 1990 e il 1998. Infatti, i dati misurati più recentemente dal satellite



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

ENVISAT nel periodo Dicembre 2002-Luglio 2010 mostrano come, in questo settore, i tassi di deformazione sono ritornati in un intervallo di valori, dell'ordine dei  $-1.5/1.5$  mm/anno (Fig. 41). Generalmente, infatti, bersagli con  $V_{LOS}$  compresa tra  $-2/2$  mm/anno sono ritenuti sostanzialmente stabili (Wasowsky e Bovenga, 2014).

Questo dimostra come i tassi di deformazione precedentemente misurati sono stati dovuti soltanto alle operazioni di scavo e di realizzazione delle nuove strutture aeroportuali, e non sono legati a processi naturali/antropici continui nel tempo che possono portare a problematiche alle strutture e all'ambiente in quest'area.

Dall'analisi dei dati ENVISAT, si nota la presenza di locali bersagli caratterizzati da  $V_{LOS}$  inferiori a  $-3$  mm/anno (Fig. 41), ma non è possibile individuare aree più o meno estese con tassi di abbassamento significativamente alti da poter giustificare la presenza di un particolare processo di deformazione del terreno.





## 12. Inquadramento sismico

L'analisi della sismicità di un territorio, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti avvenuti nel tempo in quella determinata area, costituisce il primo elemento di futuri studi di valutazione della pericolosità sismica locale.

Secondo la zonazione sismogenetica che individua aree omogenee caratterizzate dalle potenziali sorgenti sismiche in grado di generare terremoti superiori a 5.5 Mw, aggiornata al 2018 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV; Database of Individual Seismogenic Sources, DISS version 3.2.1; DISS Working Group, 2018), il territorio indagato non è interessato da zone sismogenetiche (Fig. 42). Inoltre, estendendo l'analisi a scala maggiore, è opportuno sottolineare che le più vicine zone sismogenetiche si trovano a distanze maggiori di 40 km dall'area indagata.

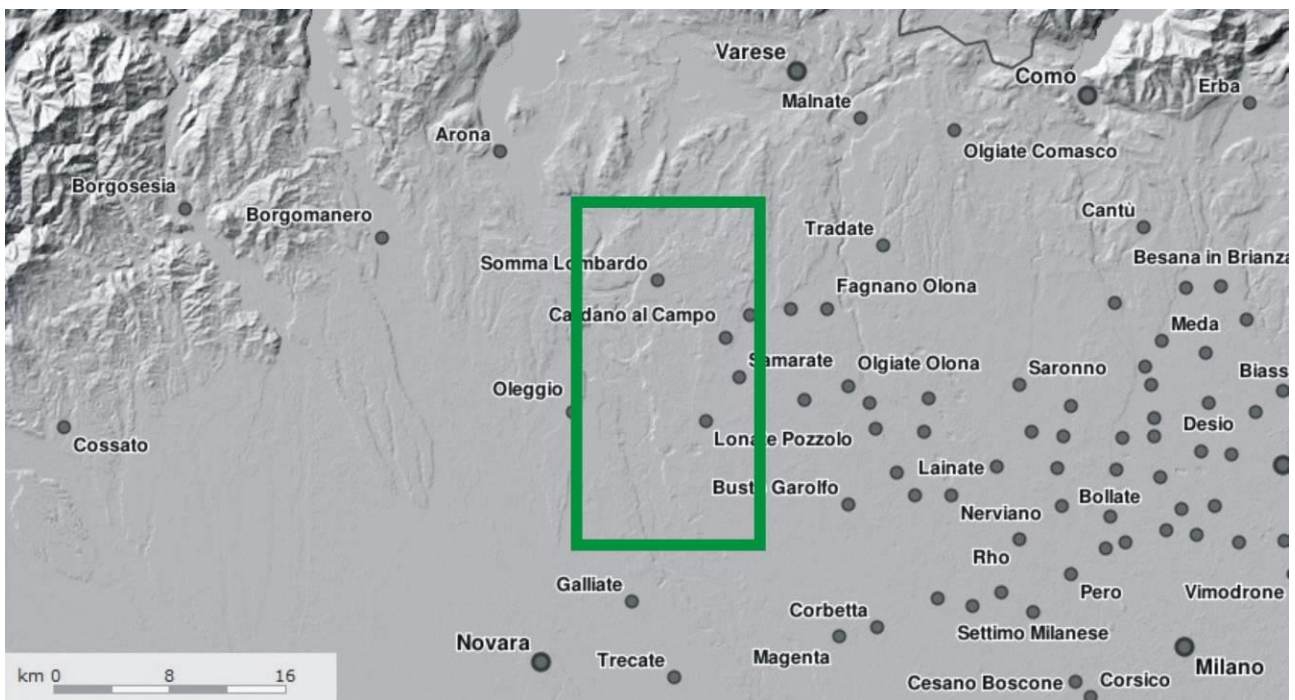


Figura 42. Zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale, secondo la zonazione sismogenetica del database DISS version 3.2.1 (DISS Working Group, 2018). L'area di studio è indicata dal rettangolo verde.

Consultando CPTI15, il catalogo parametrico, redatto dall'INGV, dei terremoti storici, con magnitudo momento  $M_w$  superiore a 2, avvenuti in Italia dal 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016), si nota come il territorio di indagine non è stato interessato da eventi sismici significativi, come testimoniato dall'assenza di epicentri di terremoti (Fig. ). Questo è in linea con l'assenza di zone sismogenetiche nell'area di studio. La bassa sismicità di questa zona è inoltre confermata dal numero limitato di sismi accaduti nelle zone prospicienti all'area di indagine. Come si



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

nota dalla carta di Fig. , i terremoti più significativi sono stati registrati ad almeno circa 10 km a S del bordo meridionale dell'area di indagine. Essi sono stati molto limitati come numero (3) e hanno avuto una  $M_w$  epicentrale compresa tra 3.9 e 4.8 (Fig. 43).

I sismi che avvengono in queste zone e in altre aree poste a distanze maggiori potrebbero comunque provocare un effetto macrosismico superficiale anche nell'area di indagine. Il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15; Locati et al., 2016) fornisce, per tutto il territorio italiano, un set di dati di intensità macrosismica relativa ai terremoti italiani avvenuti nel periodo 1000-2014. Nell'area di indagine, l'intensità massima superficiale ( $I_{max}$ ), dei sismi che possono interessare quest'area, è variabile (Fig. 44).

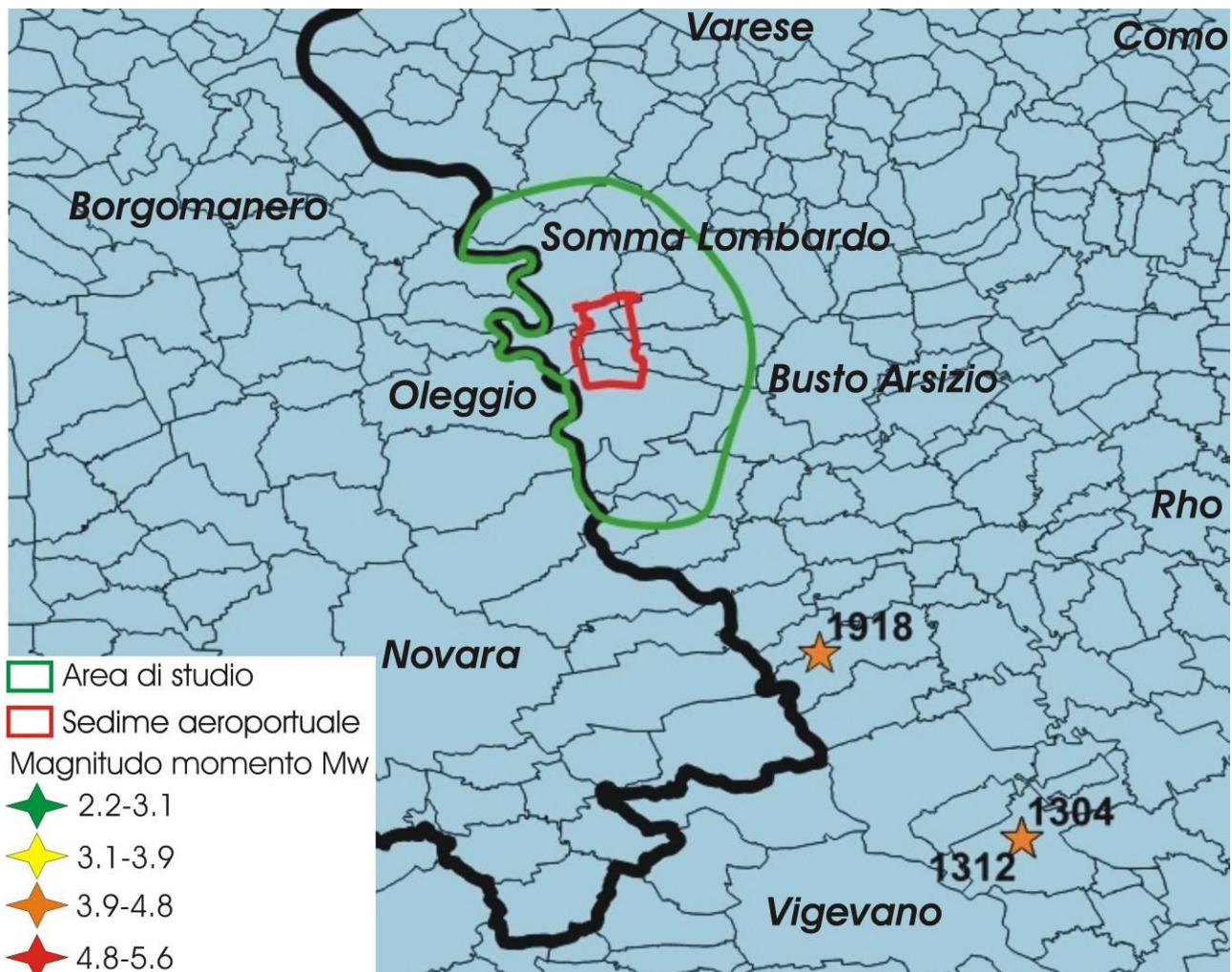


Figura 43. Terremoti significativi contenuti nel database CPTI15, per l'area di studio e un suo significativo contorno. Di fianco alla stelle dell'epicentro di ciascun sisma, è indicato l'anno in cui è accaduto.

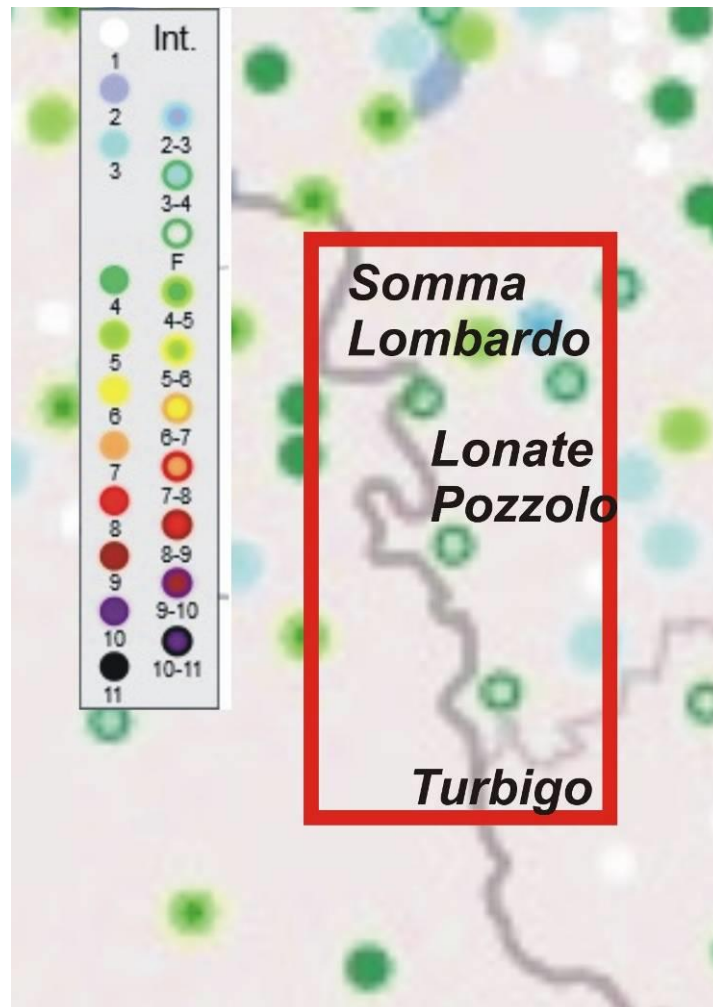


Figura 44. Carta della massima intensità macrosismica  $I_{max}$  dedotta dal database DBMI15 (Locati et al., 2016). L'area di studio è indicata dal rettangolo rosso.

I comuni al cui interno ricade il sedime di Malpensa hanno una  $I_{max}$  che varia tra l'indicazione qualitativa di "NF" ("sisma non percepito") e un valore di  $I_{max}$  di 5. Questi valori sono stati assegnati, nel DBMI15, a partire al massimo da 3 soli sismi che hanno prodotto effetti macrosismici su questa zona.

Di seguito, si riportano per tutti i comuni che ricadono nell'area di studio i valori di  $I_{max}$  e il numero di eventi sismici tramite cui è stata valutata:

1. Arsago Seprio:  $I_{max}$  2-3 (dedotta da 1 evento sismico)
2. Besnate:  $I_{max}$  3-4 (dedotta da 1 evento sismico)
3. Cardano al Campo:  $I_{max}$  3 (dedotta da 2 eventi sismici)
4. Casorate Sempione:  $I_{max}$  3-4 (dedotta da 1 evento sismico)
5. Castano Primo: nessuna informazione



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

6. Ferno: I<sub>max</sub> "NF" ("sisma non percepito") (dedotta da 1 evento sismico)
7. Gallarate: I<sub>max</sub> 5 (dedotta da 13 eventi sismici)
8. Golasecca: nessuna informazione
9. Lonate Pozzolo: I<sub>max</sub> 3 (dedotta da 2 eventi sismici)
10. Magnago: I<sub>max</sub> "F" ("sisma percepito") (dedotta da 1 evento sismico)
11. Mornago: nessuna informazione
12. Nosate: nessuna informazione
13. Robecchetto con Induno: I<sub>max</sub> "NF" ("sisma non percepito") (dedotta da 1 evento sismico)
14. Samarate: I<sub>max</sub> 3 (dedotta da 1 evento sismico)
15. Somma Lombardo: I<sub>max</sub> 5 (dedotta da 3 eventi sismici)
16. Turbigo: nessuna informazione
17. Vanzaghello: nessuna informazione
18. Vergiate: nessuna informazione
19. Vizzola Ticino: I<sub>max</sub> "F" ("sisma percepito") (dedotta da 2 eventi sismici).

Come per il resto della regione Lombardia, analizzando le zone sismogenetiche, i parametri dei terremoti storici e gli effetti macrosismici, è stata assegnata una classe sismica ai comuni in cui ricade l'area di studio.

A conferma della bassa sismicità dell'area, mostrata tramite l'analisi della distribuzione delle zone sismogenetiche, dei sismi avvenuti in passato e dell'intensità macrosismica, tutti questi comuni sono classificati in zona sismica 4 (sismicità molto bassa), secondo la classificazione sismica del territorio lombardo entrata in vigore il 10 Aprile 2016, recependo il D.G.R. 2129/2014 (Figura 45). Secondo tale classificazione vigente, i comuni di questa area risultano identificati da un valore di accelerazione massima orizzontale ( $a_g$ ) su suolo di riferimento con la probabilità del 10% di essere superato nei prossimi 50 anni, inferiore a 0.05 g. In Tab. 13 sono riportati i valori di  $a_g$  dei comuni dell'area studiata, secondo la classificazione sismica del territorio lombardo entrata in vigore il 10 Aprile 2016.

Comune	$a_g$ (g)
Arsago Seprio	0.0376
Besnate	0.0377
Cardano al Campo	0.0378
Casorate Sempione	0.0376
Castano Primo	0.0380
Ferno	0.0378
Gallarate	0.0381
Golasecca	0.0377



Lonate Pozzolo	0.0379
Magnago	0.0382
Mornago	0.0378
Nosate	0.0378
Robecchetto con Induno	0.0381
Samarate	0.0380
Somma Lombardo	0.0376
Turbigo	0.0378
Vanzaghello	0.0379
Vergiate	0.0379
Vizzola Ticino	0.0374

Tabella 13. Valori di  $a_g$  dei comuni dell'area studiata.

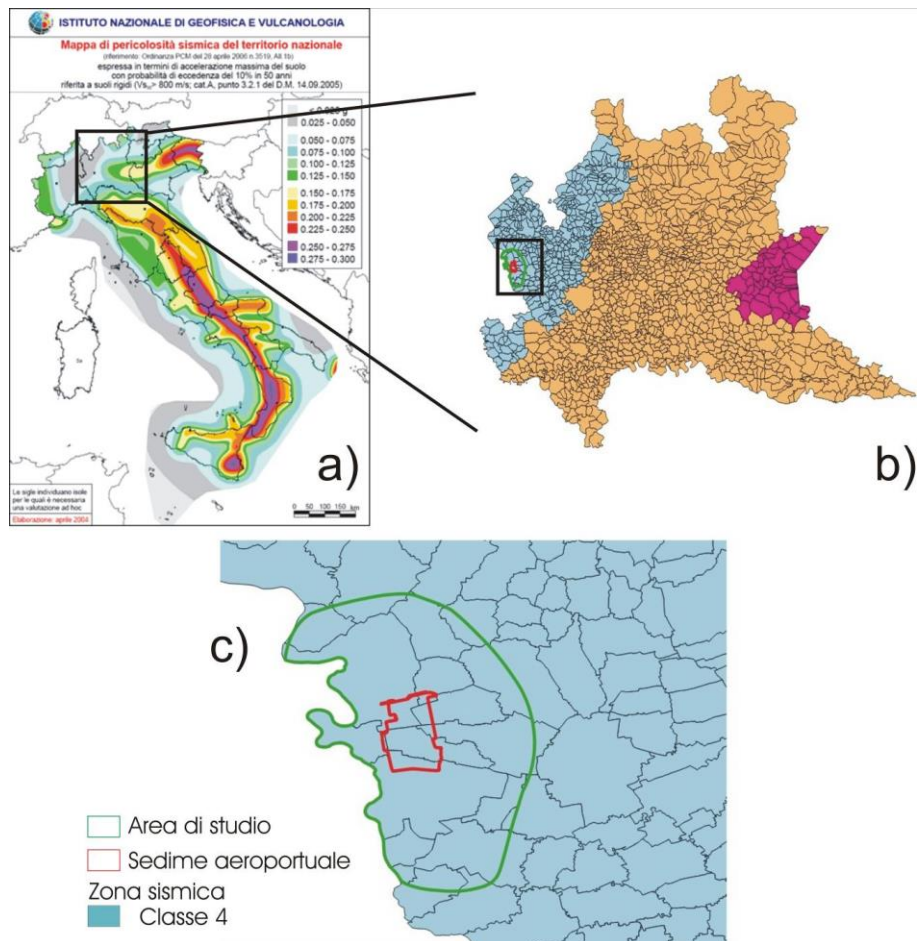


Figura 45. Mappa della pericolosità sismica italiana (INGV, 2009; a); classificazione sismica dei comuni lombardi (b); classificazione sismica dei comuni posti nell'area di indagine (c).



### **13. Analisi delle interazioni tra l'area aeroportuale e il sistema geologico, geomorfologico e idrico**

Lo studio condotto ha messo in luce i seguenti aspetti fondamentali:

- 1) il sedime aeroportuale si inserisce in un contesto pianeggiante, le cui forme morfologiche derivano dall'azione di erosione e deposito operata dal fiume Ticino e dai numerosi corsi d'acqua minori della zona, sia naturali (torrenti e cavi derivanti da fontanili) sia artificiali (cavi e rogge utilizzate del sistema irriguo o per lo smaltimento delle acque superficiali), e dall'azione modellatrice dei ghiacciai quaternari che si estendevano a N dell'area del sedime;
- 2) dal punto di vista geologico, l'area aeroportuale e il suo intorno sono caratterizzati dalla presenza di potenti depositi alluvionali di origine fluviale, depositi dal fiume Ticino e dagli altri corsi d'acqua minori presenti nella zona o originatisi durante le glaciazioni quaternarie. Nell'area del sedime aeroportuale, nei primi metri (20-30 m) dalla superficie, questi depositi hanno granulometria grossolana, prevalentemente ghiaiosa o ghiaioso-sabbiosa, i quali costituiscono anche il primo acquifero dell'area. Le opere antropiche attualmente presenti nel sedime e quelle in progetto nel Masterplan insistono su questa tipologia di materiali, che dovranno essere caratterizzati dal punto di vista geologico e geotecnico in corrispondenza dei vari interventi in progetto;
- 3) nonostante l'estesa presenza di zone urbanizzate o con riporti antropici, numerose aree esterne al sedime aeroportuale presentano suoli, che generalmente hanno un limitato spessore (compreso tra 0.6 e 1.7 m) e una granulometria ghiaioso-sabbiosa simile a quella dei depositi alluvionali sottostanti da cui derivano. Il limitato spessore dei suoli e la loro granulometria grossolana implicano una loro limitata azione di protezione della prima falda da possibili contaminazioni;
- 4) l'area del sedime aeroportuale e quelle a esso prospicienti non sono state soggette a esondazioni del fiume Ticino e degli altri corsi d'acqua minori presenti almeno dal 1947. Inoltre, nessuna fascia PAI interessa zone del sedime di Malpensa, nemmeno quella di eventi con tempi di ritorno pari a 500 anni. Questo è legato all'elevata altezza della scarpata (almeno 20 m) del principale terrazzo alluvionale che delimita la valle attuale del Ticino, per cui anche le piene più significative non sembrano potenzialmente essere in grado di allagare zone poste a E rispetto a questa scarpata. A questo fatto vanno aggiunti i numerosi interventi di regolarizzazione delle portate di questo fiume, realizzate negli anni al fine di limitare le escursioni dei livelli idrometrici di questo fiume in quest'area;
- 5) La gestione delle acque di prima pioggia, di lavaggio delle aree esterne e di scorrimento superficiale all'interno del sedime aeroportuale è regolata seguendo la normativa predisposta: D.Lgs. 152/2006 (Norme in materia ambientale); R.R. 3, 24/03/2006 (Scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie); R.R. 4, 24/03/2006 (Smaltimento delle acque



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne); Programma di tutela e uso delle acque (PTUA) – Regione Lombardia; DPR n.59/2013 (Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) – Regione Lombardia). Anche le nuove aree di urbanizzazione, programmate nel Masterplan, saranno dotate di opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche, che seguano le normative e abbiano gli stessi obiettivi delle opere attualmente presenti nell'area del sedime. In particolare, la raccolta delle acque piovane dovrà avvenire tramite caditoie o canalette drenanti, mentre la loro dispersione avverrà nello strato permeabile del sottosuolo tramite trincee drenanti e pozzi perdenti ad eccezione delle acque di dilavamento dei piazzali di sosta aeromobili, che verranno scaricate nella rete fognaria, previo trattamento e accumulo delle stesse. Le acque di dilavamento di sostanze inquinanti dovranno essere trattate a monte di ciascuno scarico presente. Nei piazzali di sosta degli aeromobili le acque di dilavamento trattate verranno convogliate alla rete fognaria, per cui solo le acque di seconda pioggia, non inquinate, verranno scaricate nel sottosuolo tramite pozzi drenanti. In questo caso, il sistema di trattamento potrà essere associato ad una vasca di accumulo in modo tale che le portate e le modalità di scarico siano compatibili con la capacità idraulica della rete e dell'impianto di trattamento finale secondo anche le indicazioni dell'ente gestore. Nelle aree non soggette a traffico veicolare di aeromobili, l'acqua depurata sarà reimpressa nel sistema principale e quindi dispersa assieme alle seconde piogge. Ciò eviterà di aggravare ulteriormente il sistema fognario esistente, che già riceve le prime piogge di impianti esistenti. Le acque meteoriche provenienti dalla nuova area di de-icing interpista dovranno essere trattate con opportuno impianto per il trattenimento dei glicoli presenti nei fluidi derivanti dall'attività di de-icing e quindi scaricate alla rete fognaria;

- 6) al fine della riduzione del consumo di acqua potabile nell'area del sedime, sarà necessario prevedere il riutilizzo delle acque meteoriche raccolte dalle coperture degli edifici per fini non potabili (acqua di processo, riserva antincendio, utilizzo negli scarichi dei wc). Le coperture dei tetti dovranno, pertanto, essere munite di canali di gronda impermeabili, atti a convogliare le acque meteoriche nei pluviali e nel sistema di raccolta per poter essere riutilizzate. Gli edifici di nuova costruzione dovranno quindi dotarsi di cisterne per la raccolta delle acque meteoriche;
- 7) la vulnerabilità del primo acquifero, valutata mediante la metodologia SINTACS, si presenta sempre media/alta in tutta l'area di studio, compresa quindi la zona del sedime aeroportuale. Sarà quindi opportuno tenere conto di questa alta vulnerabilità del primo acquifero nell'area del sedime, in modo da realizzare e dimensionare le opere previste nel Masterplan al fine di evitare eventuali sversamenti accidentali di contaminanti in falda;
- 8) nel periodo monitorato (2009-2018), le analisi delle caratteristiche qualitative delle acque superficiali nell'area intorno al sedime di Malpensa mostrano come l'aeroporto non ha alcun effetto sullo stato ecologico e chimico dei corsi d'acqua presenti, dato che i livelli degli indici chimici ed ecologici e dell'indice LIMeco si mantengono uguali sia a monte che a



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente

valle del sedime rispetto al senso di deflusso. I valori inferiori dei parametri ecologici misurati per il torrente Arno e per il torrente Strona sono probabilmente legati al fatto che questi corsi d'acqua hanno un percorso molto più corto rispetto a quello del Ticino e che sono molto più influenzati dalle numerose altre attività agricole e industriali presenti nella zona;

- 9) per il periodo monitorato (2010-2018), la qualità delle acque scaricate al suolo e di quelle scaricate nella rete fognaria si è mantenuta all'interno dei limiti imposti dalla legislazione vigente. E' importante sottolineare la necessità di effettuare un monitoraggio continuo anche di quei parametri (cromo esavalente, rame, idrocarburi totali, zinco, tensioattivi totali, azoto ammoniacale) che sono stati analizzati, nei punti di scarico nella rete fognaria, soltanto per il periodo 2010-2012, in modo da avere una caratterizzazione ancora più completa della qualità delle acque che si immettono nella rete fognaria. Si rileva comunque che nel periodo esaminato questi parametri sono sempre risultati nella norma;
- 10) nel complesso si riscontra un sostanziale miglioramento nella qualità delle acque sotterranee a partire circa dal 2012. Recentemente, si è riscontrata la presenza di alcune contaminazioni (comunque abbondantemente al di sotto dei limiti di legge) locali (pozzo H e pozzo L) in Trialometani (cloroformio), la cui origine non è definibile. La qualità delle acque è comunque sostanzialmente migliore in tutta l'area del sedime aeroportuale rispetto alle zone localizzate idraulicamente a monte (settori orientali dell'area investigata). La mancanza di contaminazioni sensibili derivante dall'attività aeroportuale è dimostrata anche dalla qualità delle acque emunte da alcuni pozzi ubicati immediatamente a valle dell'aeroporto (pozzo PO012090NU2009, con filtri tra 55 e 74 m di profondità nell'acquifero superficiale);
- 11) l'analisi dei movimenti del terreno nell'area aeroportuale, effettuata tramite dati interferometrici satellitari tra il 1992 e il 2010, mostra tassi di movimento estremamente esigui, dell'ordine dei  $-1.5/+1.5$  mm/anno. Anche in quelle aree (satelliti e hangar più meridionali dell'aeroporto) in cui i dati satellitari nel periodo Aprile 1992-Dicembre 2000 avevano mostrato un significativo abbassamento del terreno (fino a  $-5$  mm/anno), i dati misurati più recentemente, nel periodo Dicembre 2002-Luglio 2010, mostrano come i tassi di deformazione siano ritornati in un intervallo di valori dell'ordine dei  $-1.5/+1.5$  mm/anno. Ciò mostra che questi movimenti di abbassamento non sono legati a processi di deformazione continui in atto;
- 12) l'area di studio non è stata interessata da eventi sismici significativi in tempi storici, come testimoniato dall'assenza di epicentri di terremoti con magnitudo momento  $M_w$  superiore a 2 (Catalogo CPTI15). Tutti i comuni dell'area di studio sono classificati in zona sismica 4 (sismicità molto bassa), secondo la classificazione sismica del territorio lombardo aggiornata al 10 Aprile 2016 (D.G.R. 2129/2014).

Sulla base di questi risultati, si può quindi affermare che:





1. il potenziale di esondazione del fiume Ticino e dei corsi d'acqua minori nell'area del sedime aeroportuale è trascurabile anche per scenari con tempi di ritorno a 500 anni;
2. data l'elevata permeabilità del primo acquifero e la media/alta vulnerabilità della prima falda, si raccomanda che l'esecuzione di eventuali nuove opere venga operata adottando in fase progettuale, di esecuzione dei lavori e durante la vita dell'opera stessa tutte le idonee procedure volte ad annullare lo sversamento accidentale di potenziali contaminanti nella falda stessa;
3. sempre a causa dell'elevata vulnerabilità della prima falda, sarà necessario un adeguato controllo di tutta la rete idrica connessa alle attività aeroportuali attuali e future, che può entrare in contatto con le acque della prima falda;
4. la qualità delle acque superficiali non sembra essere influenzata dalle attività dell'area aeroportuale, essendo simile a monte (a N) e a valle (a S) dell'aeroporto rispetto alla direzione di flusso principale;
5. la qualità delle acque sotterranee non sembra essere influenzata dalle attività dell'area aeroportuale essendo simile a monte (a NE) e a valle (a SW) dell'aeroporto rispetto alla direzione di flusso principale della prima falda. In particolare, non si riscontra nessuna influenza negativa sulla qualità delle acque sotterranee da parte delle attività legate all'area aeroportuale;
6. si suggerisce di continuare il monitoraggio delle caratteristiche chimiche sia delle acque sotterranee, emunte dai pozzi dell'aeroporto, che delle acque superficiali della rete idrica del sedime prima della loro immissione nel reticolo idrico superficiale. A tal riguardo, si consiglia di effettuare un monitoraggio continuo anche di quei parametri (cromo esavalente, rame, idrocarburi totali, zinco, tensioattivi totali, azoto ammoniacale) che sono stati analizzati soltanto per il periodo 2010-2012 nei punti di scarico della rete fognaria, in modo da avere una caratterizzazione ancora più completa della qualità delle acque superficiali interne al sedime che si immettono nella rete fognaria stessa;
7. le nuove aree di urbanizzazione, programmate nel Masterplan, dovranno essere dotate di opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche, che seguano le normative e abbiano gli stessi obiettivi delle opere attualmente presenti nell'area del sedime;
8. non si evidenziano movimenti significativi del terreno indotti da processi continui nel tempo nel periodo di tempo analizzato (1992-2010), per cui l'area del sedime aeroportuale sembra essere stabile;
9. si consigliano, inoltre, le seguenti opere di monitoraggio: a) in considerazione della presenza di una direzione di flusso delle acque della prima falda costante nel tempo e rivolta secondo una direttrice NE-SW verso il fiume Ticino, si consiglia la realizzazione di un piezometro a monte (a NE) e di uno valle (a SW) del sedime aeroportuale, per un controllo periodico dei livelli piezometrici e della qualità delle acque sotterranee; b) continua analisi di dati interferometrici satellitari, anche con risoluzione temporale maggiore (es. Sentinel-1A -



UNIVERSITÀ DI PAVIA

**Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente**

Sentinel-1B, tempo di rivisitazione di 6 giorni), per un costante controllo dei movimenti del terreno.

Nel complesso, si rileva come l'area aeroportuale non abbia influito negativamente sull'ambiente geologico-geomorfologico, compreso il reticolo idrico superficiale e la qualità delle acque superficiali e sotterranee. Anche il previsto aumento delle zone impermeabilizzate non appare influire in maniera significativa sull'alimentazione della falda, in quanto è prevista la depurazione delle acque potenzialmente contaminate (acque di prima pioggia, acque di lavaggio, de-icing) e la re immissione in falda delle acque meteoriche di buona qualità.



## Bibliografia

- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (2001). *Linee-guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. I.G.E.R., Roma.
- ARPA Lombardia (2014). *Stato delle acque superficiali Bacino del fiume Ticino e Lago Maggiore – Rapporto annuale 2013*. ARPA LOMBARDIA, Settore Monitoraggi Ambientali, Milano.
- ARPA Lombardia (2015). *Stato delle acque superficiali Bacino del fiume Ticino e Lago Maggiore – Rapporto annuale 2014*. ARPA LOMBARDIA, Settore Monitoraggi Ambientali, Milano.
- ARPA Lombardia (2018). *Stato delle acque superficiali Bacino del fiume Ticino e Lago Maggiore – Rapporto triennale 2014-2016*. ARPA LOMBARDIA, Settore Monitoraggi Ambientali, Milano.
- Bianchi D. (2005). Prime valutazioni delle cause delle elevate concentrazioni di arsenico nelle acque captate da sorgenti in Val Dumentina e Val Veddasca. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Università degli Studi di Pavia.
- Bonì R., Pilla G. & Meisina C. (2016). *Methodology for detection and interpretation of ground motion areas with the A-DInSAR time series analysis*. Remote Sensing 8, 686. doi:10.3390/rs8080686.
- Civita M. (1994). *Le Carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: Teoria & Pratica*. Pitagora Editrice, Bologna.
- 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*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Civita M. (2005). *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, Rozzano.
- Colesanti C., Ferretti A., Novali F., Prati C. & Rocca F. (2003). *SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41, 7, 1685–1700.
- DISS Working Group (2018). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1
- ERM (2002). *SEA Aeroporto di Malpensa: Piano Acque*.
- ERSAF (2004). *Suoli e paesaggi delle province di Como, Lecco e Varese*. Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste - ERSAF, Milano.



Ferretti A., Prati C. & Rocca F. (2000). *Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 38, 2202–2212.

Ferretti A., Prati C. & Rocca F. (2001). *Permanent Scatterers InSAR Interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 39, 8-20.

Ferretti A., Fumagalli A., Novali F., Prati C., Rocca F. & Rucci A. (2011). *A new algorithm for processing interferometric datastacks: SqueeSAR™*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 49, 3460–3470.

<http://www.arpalombardia.it/>

INGV (2009). *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S. & Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

Pfeifer H.R., Beatrizotti G., Berthoud J., Derossa M., Girardet A., Jäggi M., Lavanchy J.C., Reymond D., Righetti G., Schlegel C., Schmit V., Temgoua E. (2002). *Natural arsenic-contamination of surface and ground waters in Southern Switzerland (Ticino)*. Bull. Appl. Geol. 7, 83-105.

Pfeifer H.R., Gueye-Girardet A., Reymond D., Schlegel C., Temgoua E., Hesterberg D.L., Weiqing Chouc J. (2004). *Dispersion of natural arsenic in the Malcantone watershed, Southern Switzerland: field evidence for repeated sorption–desorption and oxidation–reduction processes*. Geoderma 122 (2–4), 205-234.

Politecnico di Milano (2017). *Analisi del comportamento idrodinamico delle acque sotterranee nell'area di Malpensa - Rapporto finale*.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (2016). *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

USDA (1994). *Keys to soil taxonomy, 6th edn*. USDA-NRCS, US Government Printing office, Washington DC.

Wasowski J. & Bovenga F. (2014). *Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives*. Engineering Geology 174, 103–138.