

PIANO STRUTTURALE

INTERCOMUNALE

INDAGINI GEOLOGICHE AI SENSI DEL DPGR 53R/2011

QG.00 RELAZIONE ILLUSTRATIVA INDAGINI GEOLOGICHE

(con modifiche ed integrazioni a seguito dell'istruttoria Genio Civile Deposito n.424 del 10.04.2020 ed esito del controllo Prot.n.0036277 del 23.03.2023)

APPROVAZIONE AI SENSI DELL'ART. 23 L.R 65/2014



Responsabile del procedimento: Ing. Daisy Ricci

Garante della informazione e partecipazione: Dott. Valeria Pagni

Responsabile Macrostruttura Patrimonio e Governo del Territorio- Cascina-: Ing. Luisa Nigro

UFFICIO DI PIANO

arch. Sandro Ciabatti coordinamento tecnico

arch. Alice Lenzi comune di Cascina

arch. Davide Tonelli comune di Cascina

geol. Alessandra Pippi comune di Pisa

dott.ssa biol. Manuela Ferri comune di Pisa

Coadiuvato da:

ufficio Urbanistica, ufficio Edilizia comune di Pisa

servizio Urbanistica, servizio Edilizia comune di Cascina

Sindaco di Pisa
MICHELE CONTI

Assessore Urbanistica
MASSIMO DRINGOLI

Sindaco di Cascina
MICHELANGELO BETTI

Assessore Urbanistica
IRENE MASONI

INDAGINI DI SUPPORTO

geol. Roberta Giorgi indagini geologiche e sismiche

ing. Gazzini (Hiderogeolngegnerie) indagini idrauliche

Città Futura ricognizione patrimonio edilizio esistente – adeguamento

PSI a PRC

Scuola Superiore S. Anna: territorio rurale

dott.ssa Elisabetta Norci: valutazioni ambientali

TAGES Società Cooperativa mobilità

Restituzione grafica e cartografica: dott. Lorenzo Pagnini, dott.ssa Patricia Guerriero, dott. Eni Nurihana

INDICE

1 - PREMESSA	2
2 - METODOLOGIA DI LAVORO E CONTENUTI	3
3 - STRUMENTI SOVRAORDINATI.....	8
3.1 - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale	8
3.2 - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (PTCP) variante 2020/22	10
3.3 - Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) approvato dalla Regione Toscana con Delibera C.R n. 37. del 27 marzo 2015, con valenza di piano paesaggistico	12
3.4 - Piano Regionale Attività Estrattive (PRC, PAERP).....	12
4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	14
4.1 - Evoluzione paleogeografica della pianura di Pisa	18
4.2 – Morfologia	20
5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	21
5.1 – Geologia (Tav. QG.01).....	21
5.2 – Geomorfologia (Tav. QG.02)	24
5.3 – Caratteristiche litotecniche dei terreni (Tav. QG.03).....	26
6 - DINAMICA COSTIERA (Tav. QG.04)	28
7 - IDROGEOLOGIA E PROBLEMATICHE IDRAULICHE	37
7.1 – Caratteristiche idrogeologiche (Tav. QG.05).....	37
7.2 – Carta della Vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche (Tav. QG.06).....	40
7.2.1 Studi recenti sul corpo idrico del Valdarno inferiore e piana costiera pisana	44
7.3 – Rete di monitoraggio comunale	48
7.3.1 Carte conducimetriche.....	59
7.3.2 Carte dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata.....	67
7.4 – Reticolo idrografico e problematiche idrauliche	86
8 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA (Tav. QG.10).....	86
9 - PERICOLOSITA' SISMICA (Tav. QG.11)	87
10 - PERICOLOSITA' IDRAULICA	87
11 - PRESCRIZIONI PER LA FORMAZIONE DEL PIANO OPERATIVO.....	87
11.1 - Problematiche geologiche	88

11.2 - Prevenzione del rischio dovuto alle problematiche sismiche	91
11.3 - Prevenzione del rischio idrogeologico.....	92
12 - BIBLIOGRAFIA	95

ELENCO TAVOLE E ALLEGATI

Allegati

QG.00.1	ALL.1 Relazione tecnica illustrativa degli studi di MS di Livello 1
QG.00.2	ALL.2 Report dati di base comune di Pisa
QG.00.3	ALL.3 Report dati di base comune di Cascina

Tavole

QG.01.1	Carta geologica_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.01.2	Carta geologica_Quadro 2 - scala 1:10.000
QG.01.3	Carta geologica_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.01.4	Carta geologica_Quadro 4 - scala 1:10.000
QG.01.5	Carta geologica_Quadro 5 - scala 1:10.000
QG.01.6	Carta geologica_Quadro 6 - scala 1:10.000
QG.02.1	Carta geomorfologica_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.02.2	Carta geomorfologica_Quadro 2 - scala 1:10.000
QG.02.3	Carta geomorfologica_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.02.4	Carta geomorfologica_Quadro 4 - scala 1:10.000
QG.02.5	Carta geomorfologica_Quadro 5 - scala 1:10.000
QG.02.6	Carta geomorfologica_Quadro 6 - scala 1:10.000
QG.03.1	Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.03.2	Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 2 - scala 1:10.000
QG.03.3	Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.03.4	Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 4 - scala 1:10.000
QG.03.5	Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 5 - scala 1:10.000
QG.03.6	Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 6 - scala 1:10.000
QG.04.1	Carta della dinamica costiera_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.04.3	Carta della dinamica costiera_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.04.6	Carta della dinamica costiera_Quadro 6 - scala 1:10.000
QG.05.1	Carta idrogeologica_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.05.2	Carta idrogeologica_Quadro 2 - scala 1:10.000
QG.05.3	Carta idrogeologica_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.05.4	Carta idrogeologica_Quadro 4 - scala 1:10.000
QG.05.5	Carta idrogeologica_Quadro 5 - scala 1:10.000
QG.05.6	Carta idrogeologica_Quadro 6 - scala 1:10.000
QG.06.1	Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.06.2	Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 2 - scala 1:10.000
QG.06.3	Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.06.4	Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 4 - scala 1:10.000
QG.06.5	Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 5 - scala 1:10.000
QG.06.6	Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 6 - scala 1:10.000
QG.07.1	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 1 - scala 1:10.000
QG.07.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 2 - scala 1:10.000
QG.07.3	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 3 - scala 1:10.000
QG.07.4	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 4 - scala 1:10.000

- QG.07.5 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica _Quadro 5 - scala 1:10.000
- QG.07.6 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica _Quadro 6 - scala 1:10.000
- QG.07.A Sezioni geologico-stratigrafiche comune di Pisa_scala orizz.1:20.000/vert.1.2.000
- QG.07.B Sezioni geologico-stratigrafiche comune di Cascina_scala orizz.1:20.000/vert.1.2.000
- QG.08.1 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi_Quadro 1_scala 1:10.000
- QG.08.2 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi_Quadro 2_scala 1:10.000
- QG.08.3 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 3_scala 1:10.000
- QG.08.4 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 4_scala 1:10.000
- QG.08.5 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 5_scala 1:10.000
- QG.08.6 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi_Quadro 6_scala 1:10.000
- QG.09.1 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 1_scala 1:10.000
- QG.09.2 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 2_scala 1:10.000
- QG.09.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 3_scala 1:10.000
- QG.09.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 4_scala 1:10.000
- QG.09.5 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 5_scala 1:10.000
- QG.09.6 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 6_scala 1:10.000
- QG.10.1 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 1_scala 1:10.000
- QG.10.2 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 2_scala 1:10.000
- QG.10.3 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 3_scala 1:10.000
- QG.10.4 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 4_scala 1:10.000
- QG.10.5 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 5_scala 1:10.000
- QG.10.6 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 6_scala 1:10.000
- QG.11.1 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 1_scala 1:10.000
- QG.11.2 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 2_scala 1:10.000
- QG.11.3 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 3_scala 1:10.000
- QG.11.4 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 4_scala 1:10.000
- QG.11.5 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 5_scala 1:10.000
- QG.11.6 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 6_scala 1:10.000

ELENCO ALLEGATI

ADEGUAMENTO AL PRC

ALL.1 Relazione geologica e allegati Giacimento Cod.09050008009001

TAV.1 - Planimetria e sezione stratigrafiche trasversali - Giacimento COD. 09050008009001

TAV.2 - Sezioni stratigrafiche longitudinali - Giacimento COD. 09050008009001

ALLEGATO – STUDIO IDRAULICO Ing. Gazzini

1 - PREMESSA

Per incarico dei comuni di Pisa e Cascina sono state eseguite le indagini geologico-tecniche di supporto al Piano Strutturale Intercomunale, in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa vigente in materia, in particolare dall'art.62 della L.R. n. 1/2005 e art-104 della L.R. n. 65/2014 "Norme per il governo del territorio" e dalle seguenti leggi e strumenti di governo del territorio sovraordinati:

- Legge Regionale 3 gennaio 2005 n.1 "Norme per il governo del territorio" e relativi Regolamenti di attuazione di indagini geologiche, con particolare riferimento al D.P.G.R. n.53/R del 25 ottobre 2011 "Regolamento di Attuazione dell' Art.62 della LR n. 1/2005 in materia di indagini geologiche";
- Legge Regionale 10 novembre 2014, n. 65 "Norme per il governo del territorio";
- Piano stralcio "Assetto Idrogeologico" Autorità di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) approvato con D.P.C.M. del 06.05.2005;
- Piano stralcio "Riduzione rischio idraulico" Autorità di Bacino del Fiume Arno approvato con D.P.C.M. del 05.11.1999 e succ. mod. ed int.;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per il Bacino del fiume Arno ai sensi dell'ex art. 4 comma 3 del D.Lgs. 219/2010, con deliberazione n. 235 del 3 marzo 2016 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Arno;
- Distretto Settentrionale - Piano di Gestione delle Acque - Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016 Del.234;
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 ottobre 2016 . Approvazione del secondo piano di gestione delle acque del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale.
- Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.) Del.C.P. n. 100 del 27.07.2006;
- Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.) - Variante per la disciplina del territorio rurale approvata con D.P.C.M. n.7 del 13/01/2014 - pubblicata sul Burt n.8 del 26/02/2014;
- Piano di indirizzo territoriale (PIT) con valenza di piano paesaggistico, approvato con Del.G.R. n.37 del 27.03.2015;
- OPCM n. 3907 del 13.11.2010;
- OPCM 4007/2012, che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, previsti dall'Art. 11 della Legge n. 77 del 24/06/2009;
- LR n. 58/2009 inerente alle norme regionali in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico;
- "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" per la Microzonazione Sismica, versione 4.0b., Commissione tecnica per la Microzonazione sismica, Roma . ottobre 2015;
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (di seguito indicato con la sigla ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome e aggiornamento 2012;
- "Specifiche Tecniche Regionali per la Microzonazione Sismica Regionale" Edizione n. 6 – approvata con Del. G.R.T. n.1162/2018;
- "Vademecum operativo per la redazione delle indagini e studi di MS di livello 1", Vers.1.0 - aggiornamento 18/06/2012 e ss.mm.ii., Settore Sismica, Regione Toscana;
- Volume di "Ingegneria Sismica 2/2011";
- "La norma sismica relativa alla riclassificazione del territorio regionale", Deliberazione GRT n. 421 del

26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012;

- Istruzioni Programma VEL (Valutazione degli effetti locali) L.R. 56 del 30/07/97;
- Variante di monitoraggio al Regolamento Urbanistico con contestuale variante al Piano Strutturale Piano Strutturale approvato dal comune di Cascina;
- Piano Strutturale del comune di Pisa approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 18 in data 22.05.2003 e successive varianti;
- Regolamento Urbanistico di Pisa, aggiornamento del Quadro Conoscitivo approvato;
- Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014 e s.m.i..

Gli approfondimenti relativi agli aspetti idraulici sono stati condotti dall'Ing. Giacomo Gazzini (Studio Hydrogeo) che ha studiato i corsi d'acqua minori del reticolo di gestione di cui alla L.R. n.79/2012 definendo le aree interessate dalle potenziali esondazioni e le perimetrazioni della aree a pericolosità idraulica secondo gli indirizzi del DPGR53/R, definendo magnitudo e battenti per Tr2000 anni in attuazione della LR41/2018.

2 - METODOLOGIA DI LAVORO E CONTENUTI

La pianificazione urbanistica non può prescindere da una conoscenza approfondita della strutturazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica di un territorio, conoscenza che è indispensabile per la definizione delle sue condizioni di fragilità e quindi delle pericolosità geologica, idraulica e sismica connesse.

Il percorso di studi e accertamenti che porta alla definizione delle condizioni di pericolosità e delle relative condizioni di rischio incidenti sul territorio, è normato dal D.P.G.R. n. 53/R del 2011 - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio).

Le indagini e gli studi geologici, il cui scopo è quello di arrivare a fissare i limiti di trasformabilità di un determinato territorio, così da permettere di garantire e mantenere condizioni di equilibrio idrogeologico e/o da fissare condizioni per recuperare situazioni di criticità esistenti, devono essere effettuati in conformità a quanto prescritto dalle direttive tecniche contenute nell'Allegato A del citato Regolamento.

In particolare gli elaborati cartografici di base derivano da un aggiornamento ed integrazione delle carte e dei dati derivanti dai Quadri Conoscitivi dei due comuni dell'Unione, secondo le seguenti fasi di lavoro:

- revisione delle carte geologiche, correlazione tra le varie formazioni e omogeneizzazione delle legende;
- verifica ed integrazione degli elementi geomorfologici attraverso metodologia di analisi del DTM, suggerita dall'Autorità di Bacino del F. Arno, per la ricognizione della aree arginali del F. Arno e reticolo minore di carattere rilevante, al fine di evidenziare eventuali zone di fragilità per cedimenti e scoscendimenti arginali, finalizzata anche all'iter di modifica del quadro conoscitivo del P.A.I.;
- acquisizione dei numerosi dati di base (sondaggi prove in situ, prospezioni sismiche) ad oggi a disposizione delle amministrazioni comunali effettuate di supporto alle pratiche edilizie sia di

numerosi piani attuativi che di importanti interventi diretti ed aggiornamento della carta litotecnica e dei dati di base;

- censimento di pozzi dal data base della Provincia di Pisa e dall'archivio comunale;
- analisi dei dati di interferometria satellitare anche sul territorio del comune di Pisa al fine di identificare le aree soggette a subsidenza, così come identificate per il comune di Cascina.

L'adempimento ai criteri impartiti dal D.P.G.R. n.53/R del 25.10.2011 è stato facilitato dalla disponibilità di studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici dei singoli comuni, già conformi alle direttive di cui all'Allegato A del regolamento stesso.

La sintesi delle conoscenze gli aggiornamenti ai quadri conoscitivi esistenti conoscenze è stata articolata nelle seguenti attività:

- Consultazione della cartografia geologica regionale (Progetto Carta Geologico-Regionale della Toscana);
- Consultazione del Piano di Bacino redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- Consultazione del Piano di Indirizzo Territoriale della Regione Toscana (P.I.T.);
- Consultazione del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.P.);
- Consultazione delle Indagini geologiche di supporto alla pianificazione urbanistica;
- Ricerca dei dati di base litostratigrafici e geotecnici presenti negli archivi comunali;
- Consultazione degli archivi della Regione Toscana, in particolare della Banca Dati del sottosuolo e della Banca Dati Geotermia (LaMMA), della Banca Dati indagini geotematiche (BDIG) e della Banca Dati stratigrafica della Toscana (SIRA);
- Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Pisa (S.I.T.);
- Studi di fotointerpretazione effettuati su dati Leader disponibili sul DB regionale;
- Ricerca bibliografica riguardante studi di carattere geologico in senso lato aventi ad oggetto il territorio comunale- Università degli Studi di Firenze- Università degli Studi di Pisa;
- Consultazione della Banca dati del Ministero dell'Ambiente - geo-portale nazionale – Persistent Scatterers Interferometry (PSI) per aree in subsidenza;
- Consultazione portale SISBON - Sistema Informativo Siti interessati da procedimento di
- Bonifica "<http://sira.arp.at.toscana.it>";
- Consultazione della Banca dati Acque Ingegneria- Pisa;
- Consultazione Banca dati del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), archivio 'Indagini del sottosuolo (L. 464/84);

La restituzione cartografica delle indagini svolte, è stata effettuata adottando la scala 1:25000, utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale 1:10000:

Di seguito l'elenco gli elaborati del Quadro Conoscitivo delle Indagini Geologiche redatte ai sensi del DPGR 53R/2011 prodotti. Di seguito sono indicati gli elaborati che sono stati modificati per correzione di meri errori materiali, nella fase finale dell'iter di deposito, in adeguamento all'esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023:

Elaborati di testo

- | | |
|---------|---|
| QG.00 | Relazione illustrativa indagini geologiche
<i>(modificato a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)</i> |
| QG.00.1 | ALL.1 Relazione tecnica illustrativa degli studi di MS di Livello 1
<i>(modificato a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)</i> |

- QG.00.2 ALL.2 Report dati di base comune di Pisa
- QG.00.3 ALL.3 Report dati di base comune di Cascina

Elaborati grafici (Tavole)

QG.01 CARTA GEOLOGICA- scala 1:10.000

- QG.01.1 Carta geologica_Quadro 1
- QG.01.2 Carta geologica_Quadro 2
- QG.01.3 Carta geologica_Quadro 3
- QG.01.4 Carta geologica_Quadro 4
- QG.01.5 Carta geologica_Quadro 5
- QG.01.6 Carta geologica_Quadro 6

QG.02 CARTA GEOMORFOLOGICA - scala 1:10.000

(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)

- QG.02.1 Carta geomorfologica_Quadro 1
- QG.02.2 Carta geomorfologica_Quadro 2
- QG.02.3 Carta geomorfologica_Quadro 3
- QG.02.4 Carta geomorfologica_Quadro 4
- QG.02.5 Carta geomorfologica_Quadro 5
- QG.02.6 Carta geomorfologica_Quadro 6

QG.03 CARTA LITOTECNICA E DEI DATI DI BASE - scala 1:10.000

- QG.03.1 Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 1
- QG.03.2 Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 2
- QG.03.3 Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 3
- QG.03.4 Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 4
- QG.03.5 Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 5
- QG.03.6 Carta litotecnica e dei dati di base_Quadro 6

QG.04 CARTA DELLA DINAMICA COSTIERA - scala 1:10.000

(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)

- QG.04.1 Carta della dinamica costiera_Quadro 1
- QG.04.3 Carta della dinamica costiera_Quadro 3
- QG.04.6 Carta della dinamica costiera_Quadro 6

QG.05 CARTA IDROGEOLOGICA - scala 1:10.000

- QG.05.1 Carta idrogeologica_Quadro 1
- QG.05.2 Carta idrogeologica_Quadro 2
- QG.05.3 Carta idrogeologica_Quadro 3
- QG.05.4 Carta idrogeologica_Quadro 4
- QG.05.5 Carta idrogeologica_Quadro 5
- QG.05.6 Carta idrogeologica_Quadro 6

QG.06 CARTA DELLA VULNERABILITÀ E DELLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE- scala 1:10.000
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)

- QG.06.1 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 1
- QG.06.2 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 2
- QG.06.3 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 3
- QG.06.4 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 4
- QG.06.5 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 5
- QG.06.6 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche_Quadro 6

QG.07 CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA _scala 1:10.000
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)

- QG.07.1 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 1
- QG.07.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 2
- QG.07.3 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica_Quadro 3
- QG.07.4 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica _Quadro 4
- QG.07.5 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica _Quadro 5
- QG.07.6 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica _Quadro 6

QG.07A/B SEZIONI GEOLOGICO-STRATIGRAFICHE _scala orizz.1:20.000/vert.1.2.000
(modificate a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)

- QG.07.A Sezioni geologico-stratigrafiche comune di Pisa
- QG.07.B Sezioni geologico-stratigrafiche comune di Cascina

QG.08 CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI _scala 1:10.000

- QG.08.1 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi_Quadro 1
- QG.08.2 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi_Quadro 2

- QG.08.3 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 3
- QG.08.4 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 4
- QG.08.5 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 5
- QG.08.6 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi _Quadro 6
-
- QG.09 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA_MOPS_scala 1:10.000
- QG.09.1 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 1
- QG.09.2 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 2
- QG.09.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 3
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)
- QG.09.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 4
- QG.09.5 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 5
- QG.09.6 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica_MOPS_Quadro 6
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)
-
- QG.10 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA AI SENSI DEL DPGR 53R/2011_scala 1:10.000
- QG.10.1 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 1
- QG.10.2 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 2
- QG.10.3 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 3
- QG.10.4 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 4
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)
- QG.10.5 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 5
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)
- QG.10.6 Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR 53R/2011_Quadro 6
-
- QG.11 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA AI SENSI DEL DPGR 53R/2011_scala 1:10.000
- QG.11.1 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 1
- QG.11.2 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 2
- QG.11.3 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 3
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)
- QG.11.4 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 4
- QG.11.5 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 5
- QG.11.6 Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR 53R /2011_Quadro 6
(modificata a seguito esito del controllo prot. n.0036277 del 23.03.2023)

Sulla base del quadro conoscitivo disponibile, opportunamente confrontato anche con i quadri di rischio e pericolosità sovraordinati esistenti, attraverso opportune valutazioni e tenuto conto dei criteri generali per l'attribuzione del grado di pericolosità così come definiti nell'Allegato A del D.P.G.R. 53/R, si è proceduto alla costruzione delle carte della pericolosità elencate sopra

Per quanto riguarda l'approfondimento degli aspetti idraulici ciò ha comportato la redazione di un approfondito studio idraulico, che costituisce parte delle indagini geologiche, condotto dallo Studio Hydrogeo Ingegneria per l'ambiente e il Territorio, ing. Giacomo Gazzini, definito in accordo con i competenti uffici del Genio Civile (competenze reticolo secondario) e dell'Autorità di bacino distrettuale Appennino Settentrionale (competenze sul reticolo principale del Fiume Arno-CANALE SCOLMATORE) . Per maggiori dettagli e contenuti si rimanda agli elaborati allegati.

Per quanto riguarda le carte dei battenti idraulici e della pericolosità e rischio idraulico ai sensi del DPGR 53R/2011 si rimanda allo STUDIO IDRAULICO.

La consegna degli elaborati è predisposta in formato .pdf/.docx per la Relazione Geologica ed in formato .pdf/.shp per le cartografie, prodotte in ambiente GIS (QGIS v 3.4). Il quadro conoscitivo è stato costruito in scala di dettaglio 1:10.000, di cui si restituiscono gli shp relativi. Le cartografie sono state restituite in scala 1:10.000, mediante 6 quadri (formato stampa A1), avendo mantenuto separati i Data base e shpfile relativamente ad ogni singolo comune.

Le metodologie utilizzate per il rilievo, l'elaborazione e la restituzione cartografica sono illustrate negli specifici capitoli illustranti il quadro conoscitivo, in cui vengono descritte le singole tavole descrittive della tematica incidente sul territorio.

3 - STRUMENTI SOVRAORDINATI

3.1 - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Piano di Gestione Rischio alluvioni (PGRA)

Il PGRA è previsto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. '*Direttiva Alluvioni*') e mira a costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche. L'elaborazione dei PGRA è temporalmente organizzata secondo cicli di pianificazione in quanto la Direttiva prevede che i Piani siano riesaminati e, se del caso, aggiornati ogni sei anni. Il primo ciclo ha avuto validità per il periodo 2015-2021. Attualmente è in corso il secondo ciclo. La Conferenza Istituzionale Permanente (CIP), con delibera n. 26 del 20 dicembre 2021, ha adottato il primo aggiornamento del PGRA (2021-2027).

Nel territorio distrettuale a seguito della delibera di CIP n. 26 del 20 dicembre 2021 e della pubblicazione del relativo avviso in Gazzetta Ufficiale:

- Le mappe del PGRA sono vigenti su tutto il territorio distrettuale.
- Per il bacino del fiume Arno, del fiume Serchio e per i bacini regionali toscani la Disciplina di Piano e le mappe sono adottate quale misura di salvaguardia immediatamente vincolante.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni evidenzia, per le aree collocate in area pianeggiante, pericolosità da alluvione elevate e molto elevate aree rispettivamente P2 e P3.

I recepimenti e l'adeguamento al PAI e/o la procedura di proposta di modifica al PAI, sono oggetto dello Studio idraulico e di competenza dell'Ing. Gazzini.

Restano ferme le disposizioni emanate con la Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014., e successive modifiche che valgono per il reticolo individuato dalla LR 79/2012 aggiornato con DCRT con Delibere di Giunta 1357/2017 e 899/2018.

Si rimanda alle cartografie della magnitudo, dei battenti e della pericolosità idraulica definite a seguito dello studio condotto.

Piano di bacino Stralcio Riduzione del Rischio Idraulico

Alcune aree, poste lungo le aree di pianura interferiscono con gli interventi previsti per la riduzione del rischio idraulico (casse di espansione – Tipo A – PAI e Tipo B) di cui al Piano Stralcio "Riduzione rischio idraulico" Autorità di Bacino del Fiume Arno approvato con D.P.C.M. del 05.11.1999 e succ. mod. ed int. Tali aree sono evidenziate mediante apposita campitura nella Carte di Pericolosità Idraulica PGRA

In particolare nel territorio del comune di Cascina si evidenzia

- intervento Tipo A (zona est di Ripoli) in sponda sinistra dell'Arno;
- intervento tipo B (zona ovest di Ripoli) in sponda sinistra dell'Arno;

Nel comune di Pisa risulta un intervento tipo B in destra idraulica all'Emissario Bientina in prossimità della foce.

Si rimanda alle cartografie dello studio idraulico per tali evidenze.

Piano Stralcio Assetto Idrogeologico Arno - Distretto Idrografico Appennino Settentrionale

Il Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI Arno) è stato approvato ed è entrato in vigore con la pubblicazione del DPCM 6 Maggio 2005. Il PAI del bacino dell'Arno è tutt'ora vigente e dal 2 febbraio 2017, con la pubblicazione in G.U. del decreto ministeriale n. 294 del 26 ottobre 2016, la sua competenza è passata all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale.

Non sono perimetrati dissesti geomorfologici in atto o quiescenti nei territori di Pisa-Cascina legati a fenomeni franosi, in ragione della scarsa acclività.

Progetto di Piano PAI "Dissesti geomorfologici - Distretto Idrografico Appennino Settentrionale

Il Progetto di Piano – PAI "Dissesti geomorfologici" Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale adottato con Del. della Conferenza Istituzionale Permanente n.28 del 21 Dicembre 2022 caratterizzato da omogeneità sia per i criteri metodologici che normativi su tutto il Distretto, completato l'iter di approvazione sostituirà interamente i PAI.

Il Piano "Dissesti geomorfologici" è stato adottato recentemente. E' stata fatta opportuna verifica relativamente al territorio dei due comuni per verificare eventuali variazioni del quadro conoscitivo.

Non sono emerse problematiche inerenti il rischio frana, in ragione dell'assetto pianeggiante del territorio, sono state invece acquisite dalla banca dati, le perimetrazioni delle "aree soggette a

fenomeni di subsidenza del terreno”, riportate nella Carta della Vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche -Tav.QG.06. Si tratta di una problematica indotta dall'emungimento delle acque, per le quali la Disciplina di Piano, all'Art.13, demanda alle Regioni, alle Città Metropolitane, alle Province e ai Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio la disciplinano delle condizioni di gestione del rischio per il patrimonio insediativo ed urbanizzato esistente e per il suo eventuale sviluppo. È possibile la revisione di tali aree da questa Autorità sulla base di successivi aggiornamenti del quadro conoscitivo riguardanti i valori puntuali di deformazione superficiale (Permanent Scatterers) derivati da analisi multi-interferometrica di immagini radar satellitari. Al momento le aree indicate mostrano una anomalia interferometrica.

Attualmente a tali aree è stata assegnata una Pericolosità geologica elevata G3, ai sensi del DPGR53R/2011.

Piano stralcio “Bilancio idrico” Arno - Distretto Idrografico Appennino Settentrionale

Il Piano Stralcio Bilancio Idrico F. Arno approvato con DPCM 20 febbraio 2015, fatte salve le modifiche al quadro conoscitivo apportate dal decreto n. 33/2020. La definizione del bilancio idrico dei corpi idrici sotterranei e superficiali è una attività prevista dall'art.145 del Dlgs. 152/2006 in capo alle Autorità di bacino. Tale attività non è lo strumento conoscitivo ed operativo per la valutazione, in termini di equilibrio di bilancio idrico, delle richieste di nuove concessioni idriche, quindi essenziale per la corretta gestione della risorsa. L'aggiornamento del bilancio idrico è un'attività complessa, che non si limita al conteggio delle entrate e delle uscite da un sistema acquifero (da definire in termini di geometria e parametri idrodinamici), ma che utilizza per la determinazione delle disponibilità idriche anche gli altri parametri previsti dalla direttiva 2000/60 per la determinazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei, ed in particolare l'intrusione salina e la connessione con le acque superficiali.

Con decreto del Segretario Generale n. 33 del 5 agosto 2020 sono stati recepiti studi e aggiornamenti relativi ad alcuni corpi idrici ricadenti all'interno del territorio toscano del distretto, con i risultati in termini di disponibilità idrica. Per quanto riguarda il Bacino del F. Arno è ancora vigente il Piano Stralcio Bilancio Idrico, fatte salve le modifiche al quadro conoscitivo apportate dal decreto n. 33/2020.

3.2 - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (PTCP) variante 2020/22

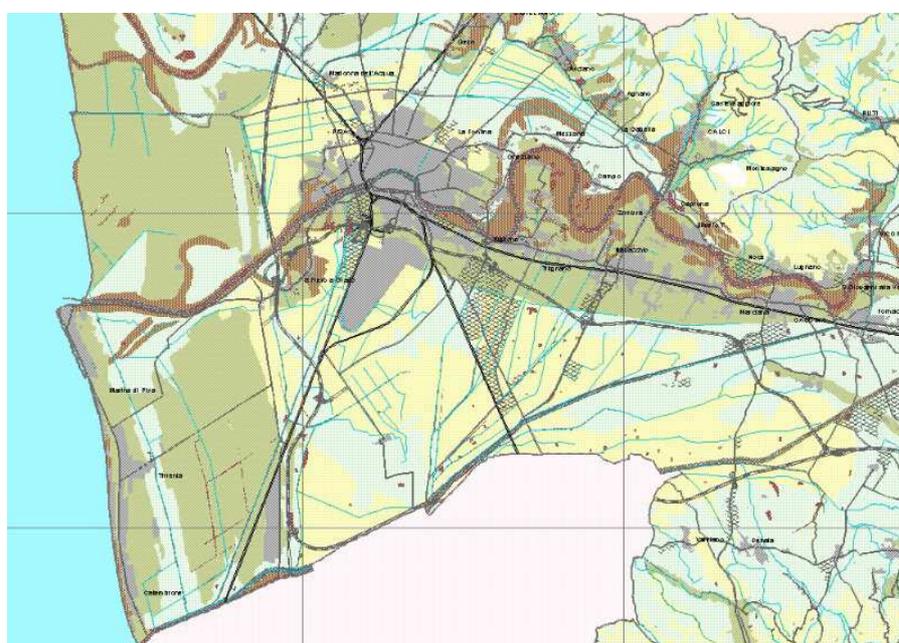
Con Delibera di Consiglio Provinciale di Pisa nr. 7 del 16/03/2022 è stato approvato l'adeguamento al Piano di Indirizzo Territoriale - PPR della Regione Toscana e alla L.R. 65/2014 del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa - definitiva approvazione agli esiti della conferenza paesaggistica regionale (art.19 e art. 31 L.R. 65/2014 e art. 21 disciplina del piano di PIT – PPRC

La conferenza Paesaggistica con la quarta seduta del 5/05/2022, ha dichiarato conformato il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa ai sensi dell'art. 21 della Disciplina del Piano del PIT con valenza di Piano Paesaggistico, approvato con D.C.R. n. 37 del 27/03/2015.

Viene preservata la disciplina inerente la vulnerabilità degli acquiferi del previgente PTCP Approvato con DCP n.100 del 27.07.2006 e aggiornato alla Variante per la disciplina del territorio rurale DCP n.7 del 13.01.2014, Pubblicazione: BURT n.8 del 26.02.2014.

Sono sempre vigenti le Classi di vulnerabilità di cui all' Art.20.1 e i livelli di rischio e relative le disposizioni per l'integrità degli acquiferi, Art. 20.2. Di seguito si riporta lo stralcio della carta della vulnerabilità e le relative classi, con le quali è stata redatta la carta della Vulnerabilità del PSI-Tav. QG 06.

Nella Tav.QG.06 della Vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche, si è recepito il PTCP relativamente alle aree a vulnerabilità elevata 4a e 4b, in modo da avere allineamento e conformità per le classi più gravose, al di là delle differenze legate al grado di dettaglio. Per quanto riguarda la classe di vulnerabilità media 3b, è stata riportata in carta con sovrapposizione di retino, ma di fatto non coincide in alcuni settori, avendo ritracciato i contatti tra formazioni, con l'aggiornamento dei dati di base disponibili.



LA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA P.09

Classi di Vulnerabilità
(art. 20, comma 1 - norme P.T.C.)

	irrelevante
	bassa
	media (sottoclasse 3a)
	media (sottoclasse 3b)
	elevata (sottoclasse 4a)
	elevata (sottoclasse 4b)

Fig.3.1 Stralcio Carta della Vulnerabilità idrogeologica (P09) del PTCP

3.3 - Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) approvato dalla Regione Toscana con Delibera C.R n. 37. del 27 marzo 2015, con valenza di piano paesaggistico

Nella lista dei corsi d'acqua principali ai fini del corretto assetto idraulico, di cui all'Allegato L del P.I.T. si identifica l' Elenco di Fiumi e Torrenti riconosciuti tramite CTR:

In attesa della individuazione dei contesti fluviali di cui all'Art.16 comma 3, lettera a) del PIT e fatto salvo il rispetto dei requisiti tecnici derivanti da obblighi di legge per la messa in sicurezza idraulica, per i corsi d'acqua di cui all'Allegato L "Elenco di Fiumi e Torrenti riconosciuti tramite CTR" sopra riportati, valgono le tutele previste dall'Art.16, comma 4 del PIT nella fascia di 150 metri individuata con le modalità di cui all'elaborato di piano 7B:

- a) tutela dei caratteri morfologici e figurativi dei fiumi e torrenti e gli aspetti storico-culturali del paesaggio fluviale;
- b) evitare i processi di artificializzazione dei fiumi e dei torrenti e ulteriori processi di urbanizzazione, garantendo che gli interventi di trasformazione non compromettano i rapporti figurativi identitari dei paesaggi fluviali, le visuali connotate da un elevato valore estetico-percettivo e la qualità degli ecosistemi.

Restano ferme le disposizioni emanate con la Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla LR. n.80/2015 e alla L.R. 65/2014., e successive modifiche che valgono per il reticolo individuato dalla LR n.79/2012 aggiornato con DCRT con Delibere di Giunta 1357/2017 e 899/2018.

3.4 - Piano Regionale Attività Estrattive (PRC, PAERP)

Le indagini geologiche hanno previsto l'attività a supporto al procedimento di adeguamento del PSI al Piano Regionale Cave (PRC) approvato con Del.C.R. n.47/2020, che ha sostituito i precedenti Piani provinciali (PAERP).

Il Piano delle attività estrattive, di recupero delle aree scavate e riutilizzo dei residui recuperabili della Provincia di Pisa (PAERP) relativo al III stralcio territoriale, redatto ai sensi degli articoli 7, 8 e 9 della L.R.T. 78/1998 e articolo 10 della L.R..1/2005 approvato con Delibera n.67 del 04/12/2012 identificava le seguenti risorse (Tab.1), confermate dal Piano Regionale Cave (PRC) in materia di attività estrattive ai sensi della L.R. 35/2015 adottato con D.C.R. n.61 31 luglio 2019, BURT n. 41 parte I del 21/08/2019 approvato con D.C.R. n.47 del 21/07/2020, nel territorio dei Comuni Pisa-Cascina, appartenenti al Settore I – materiali per usi industriali e per costruzioni suscettibili di attività estrattive:

Codice PAERP	Codice PRC	Comune	Località
708 6 6	090500080060	Cascina	Merli
708 7 6	090500080070	Cascina	Sant'Anna e San Franceco
708 II6	090500080090	Cascina	Nugolaio
708 3 6	090500080100	Cascina	Alessandrini 1
708 5 6	090500080110	Cascina	Le sedici

Tab.3.1 Risorse PAERP/PRC

Nella ricognizione dei siti inattivi di cui all'elaborato QC10 – SITI INATTIVI del PRC non risultano siti nei territori di Cascina e Pisa.

Relativamente alle risorse di Tab.3.1, ricadenti nel territorio comunale di Cascina, il PRC individua i giacimenti e i giacimenti potenziali.

Nella fase di adeguamento allo strumento sovraordinato i "giacimenti potenziali" previsti nel PRC nel territorio del comune di Cascina non sono oggetto di recepimento nel PSI.

Il PSI effettua l'adeguamento al PRC, esclusivamente per il giacimento Cod. 090500080009001 "Nugolaio1" (Fig.3.2) .

Il comune di Cascina risulta unico comune facente parte del **comprensorio cod.46-Inerti naturali della Valdera**.

In particolare sono stati eseguiti gli approfondimenti richiesti dalla disciplina e linee guida del PRC, relativamente all'unico giacimento riconosciuto nel territorio intercomunale, individuato nell'elaborato PR08 – Giacimenti, nel comune di Cascina:

Giacimento Cod. 09050008009001 "Nugolaio1" (Borgarello) ", Loc. Borgarello

Per l'analisi della risorsa è stata eseguita apposita campagna geognostica per la stima, seppur indicativa, delle quantità escavabili, suddivise per tipologia merceologica (sabbie, argille) come richiesto dalle direttive del PRC.

Per una maggiore trattazione sulla risorsa, sulle volumetrie disponibili stimate e sulla disciplina di gestione della risorsa che sarà attuata dal Piano Operativo si rimanda agli elaborati geologici redatti per la procedura di adeguamento:

ALL.1 Relazione geologica e allegati Giacimento Cod.09050008009001

TAV.1 - Planimetria e sezione stratigrafiche trasversali - Giacimento COD. 09050008009001

TAV.2 - Sezioni stratigrafiche longitudinali - Giacimento COD. 09050008009001.

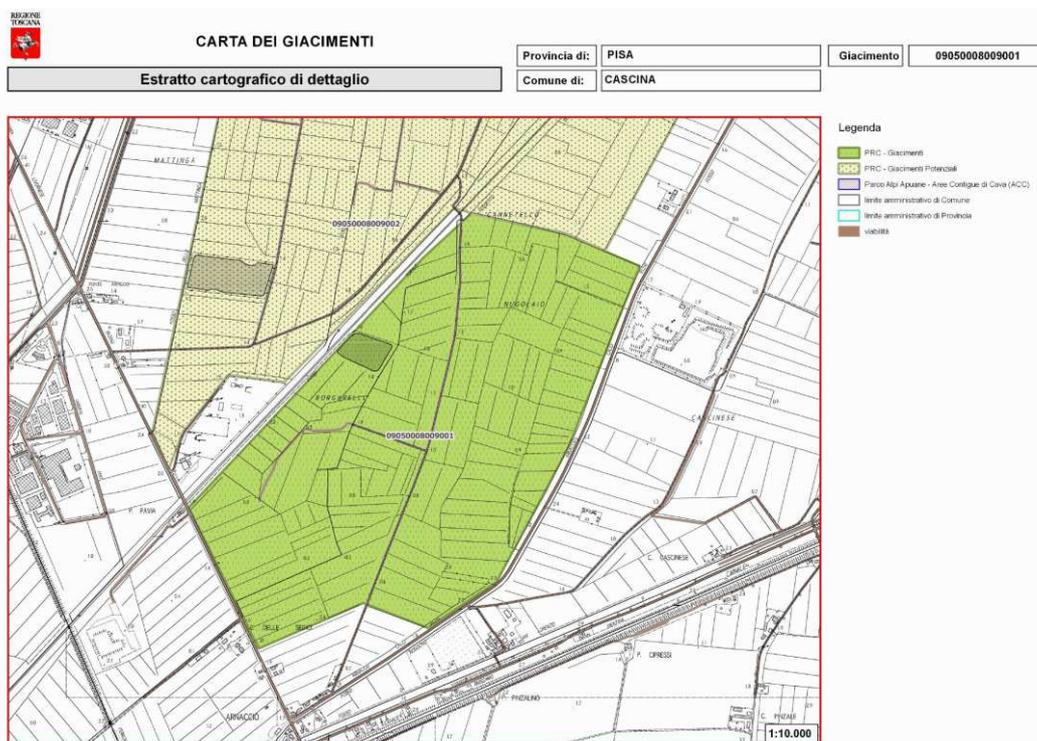


Fig.3.2. Stralcio Carta dei Giacimenti, PRC, giacimento "Nugolaio1"

4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La pianura di Pisa, Valdarno Inferiore risulta localizzata in corrispondenza di una vasta depressione tettonica, miocenica che si è originata in seguito al progressivo sprofondamento (dell'ordine di migliaia di metri) del litorale pisano-versiliese causato dalla azione distensiva di faglie dirette che ha dato luogo ad un sistema di bacini distensivi Neogenici (Martini & Sagri 1993; Pasquinucci, 2005) formati in conseguenza dell'apertura del Mar Tirreno, e colmati con depositi pre-Quaternari e Quaternari (Ghelardoni et al., 1968; Mariani & Prato, 1988; Cantini et al., 2001, Pascucci et al., 2001). In particolare ci troviamo all'interno del bacino sedimentario di Pisa-Viareggio (Mazzanti, 2000) originatosi, fin dal tardo Tortoniano, dal riempimento del sistema di semi-graben (Mariani e Prato, 1988; Nagi & Pascucci, 2002) posto lungo il margine tirrenico.

Un sistema di faglie dirette, che passano alle pendici del Monte Pisano, dei monti d'Oltreserchio e delle Alpi Apuane, ha prodotto lo sprofondamento del basamento roccioso che adesso si trova a circa 700 m sotto la città di Pisa, e si approfondisce verso la linea di costa fino a 900 m, a San Piero a Grado e 2000 m sotto Tirrenia.

La subsidenza di quest'area, collegata al sollevamento generale dei rilievi montuosi formati durante le fasi parossistiche del corrugamento dell'Orogene Appenninico, è stata controbilanciata dalla sedimentazione marina e fluvio-lacustre a partire dal Miocene superiore.

Questa attività tettonica distensiva è ben documentata fino al Pleistocene medio, ma non è escluso che sia tuttora attiva, considerando l'attuale morfologia e le tendenze evolutive della pianura alluvionale di Pisa.

La pianura di Pisa in gran parte sottomarina si è impostata lungo il prolungamento sud orientale del graben del fiume Magra (bacino Pisano - versiliese). Questa depressione è limitata ad est dalla struttura positiva dei Monti Pisani, mentre ad ovest è presente la dorsale di Viareggio sommersa a circa 30 km dai Monti Pisani.

Il limite della pianura, a sud, è probabile che coincida con una faglia trascorrente trasversale alla struttura appenninica.

Studi più recenti segnalano la probabile presenza di una faglia diretta sepolta comunque non attiva né capace in base ai dati ufficiali del progetto ITHACA, di età tardo pleistocenica, attribuibile al sistema di faglie distensive a direzione SE-NW chiamato Meloria-Bientina. Tale faglia sepolta borda il settore sud-orientale dei Monti Pisani causando la depressione tettonica compresa tra i monti stessi e il rilievo delle Cerbaie (Cantini ed al., 2000). Alla faglia principale sono probabilmente associate faglie minori, due faglie presunte sono riportate in cartografia. Data l'incertezza sulla localizzazione sono state definite, ai fini dello studio di microzonazione sismica di livello 1, come "faglie potenzialmente attive e capaci".

Nello studio della pianura di Pisa è possibile suddividere il substrato in tre parti (FANCELLI & alii, 1986):

- il substrato profondo, con tutte le formazioni litostratigrafiche che stanno al di sotto dei primi sedimenti del complesso neoautoctono, il cui inizio varia da zona a zona, ma non anteriore al Miocene sup. (Tortoniano sup.? Messiniano inf., secondo GIANNELLI & alii, 1981a);
- il substrato intermedio, comprensivo dei sedimenti neoautoctoni fino a tutto il Pleistocene inf., caratterizzati da una deposizione prevalentemente controllata dalla subsidenza di origine tettonica;
- il substrato superiore, formato dai sedimenti posteriori al Pleistocene inf. e legati a una deposizione controllata principalmente dalle variazioni eustatiche del livello del mare e da quelle degli apporti fluviali conseguenti alle prime e alle modificazioni climatiche.

Sondaggi profondi eseguiti nella pianura, hanno messo in evidenza il substrato profondo sul quale è avvenuto il riempimento sedimentario (Fancelli et alii, 1986); si tratta del "tetto" delle successioni litologiche pre - mioceniche, ricostruite mediante rilievo sismico a riflessione a profilo continuo dall'AGIP Mineraria (Ghelardoni et al. 1968) (Pozzo "Zannone" e "Poggio") (Fig.4.3).

Questa superficie di substrato, si presenta con oscillazioni molto variabili in senso verticale; talvolta mostra aree relativamente prossime alla superficie, in altri casi poste tra i 1500 - 2000 m sotto il livello del mare. Esistono anche zone in cui le isobate si infittiscono prospettando l'esistenza di pareti sub verticali sepolte, corrispondenti con molta probabilità, ai fasci di faglie responsabili dell'apertura e sprofondamento delle stesse fosse.

I sedimenti che riempiono questa depressione tettonica, sono stati suddivisi in due sequenze successive (Fancelli et al. 1986); quella più profonda, definita substrato intermedio, comprende sedimenti che dal Miocene superiore raggiungono la fine del Pleistocene inferiore (terreni che affiorano sulle Colline dei Monti Livornesi e sui Monti di Casciana Terme), quella superiore è ben riconoscibile lungo la sezione della strada agli Archi, tra Livorno e la Via Emilia, studiata da Bossio et al. 1981 e riproposta da Fancelli et al. 1986.

Il bacino di Pisa-Viareggio include un considerevole spessore di depositi in successione stratigrafica dal Neogene al Quaternario. La successione quaternaria della pianura Pisana è stata suddivisa in n. 3 unità tettonico-stratigrafiche (substrato inferiore, medio e superiore).

La sequenza del **substrato superiore** è costituita da sedimenti successivi al Pleistocene inferiore, depositi in presenza di variazioni del livello del mare e di mutazioni del regime dei fiumi, il cui trasporto solido cambiava, in seguito alle variazioni del clima, sia nella sua entità che nella granulometria dei clasti, questi sedimenti possono essere sintetizzati dalla base a tetto come segue

Argille e sabbie marine poco profonde: questa unità individuata tra circa 86 m e 100 m di profondità dal livello del mare è attribuibile al Pleistocene inferiore;

Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina: Questa unità individuata per la prima volta da *Sagri 1955* è considerata un livello guida stratigrafico e idrogeologico per la pianura pisana, si attesta a profondità comprese tra 15 e 145 m sotto il livello del mare ed è la testimonianza di un momento paleoclimatico, marcato dall'intensa azione erosiva e di trasporto di materiali ghiaiosi ad opera dei fiumi della pianura. Nel territorio del comune di Cascina questa formazione si estende con continuità alla profondità di circa 50 m di profondità. I Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina, sono costituiti da ciottoli delle formazioni affioranti sui Monti Pisani e sono sede di un importante acquifero artesiano attualmente molto sfruttato. Si ritiene che l'apporto dei clasti più grossolani di questi conglomerati siano dovuti al trasporto del Serchio mentre le acque dell'Arno avrebbero fornito un contributo clastico più fine;

Limi fluvio-palustri: questi depositi che sovrastano i Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina sono stati messi in relazione con un forte decremento dell'attività fluviale, sono infatti caratterizzati da una notevole diminuzione delle dimensioni dei clasti rispetto a quelle della formazione sulla quale poggiano;

Calcareni e sabbie dell'isola di Coltano e Sabbie e limi di Vicarello: queste due unità, interpretate come depositi eolici e fluviali, affiorano localmente nella pianura pisana. In particolare nel territorio del Comune di Cascina si individuano pochi affioramenti delle Sabbie e Limi di Vicarello (QVC) nel quadrante di SE;

Limi di pianura alluvionale: questa unità contraddistingue una porzione significativa della pianura pisana, con spessori che si aggirano intorno ai 30 m (Della Rocca et al.,1987) e attribuibili all'Olocene. L'intero territorio comunale di Pisa e Cascina è dominato dall'affioramento di questa unità (*b*)

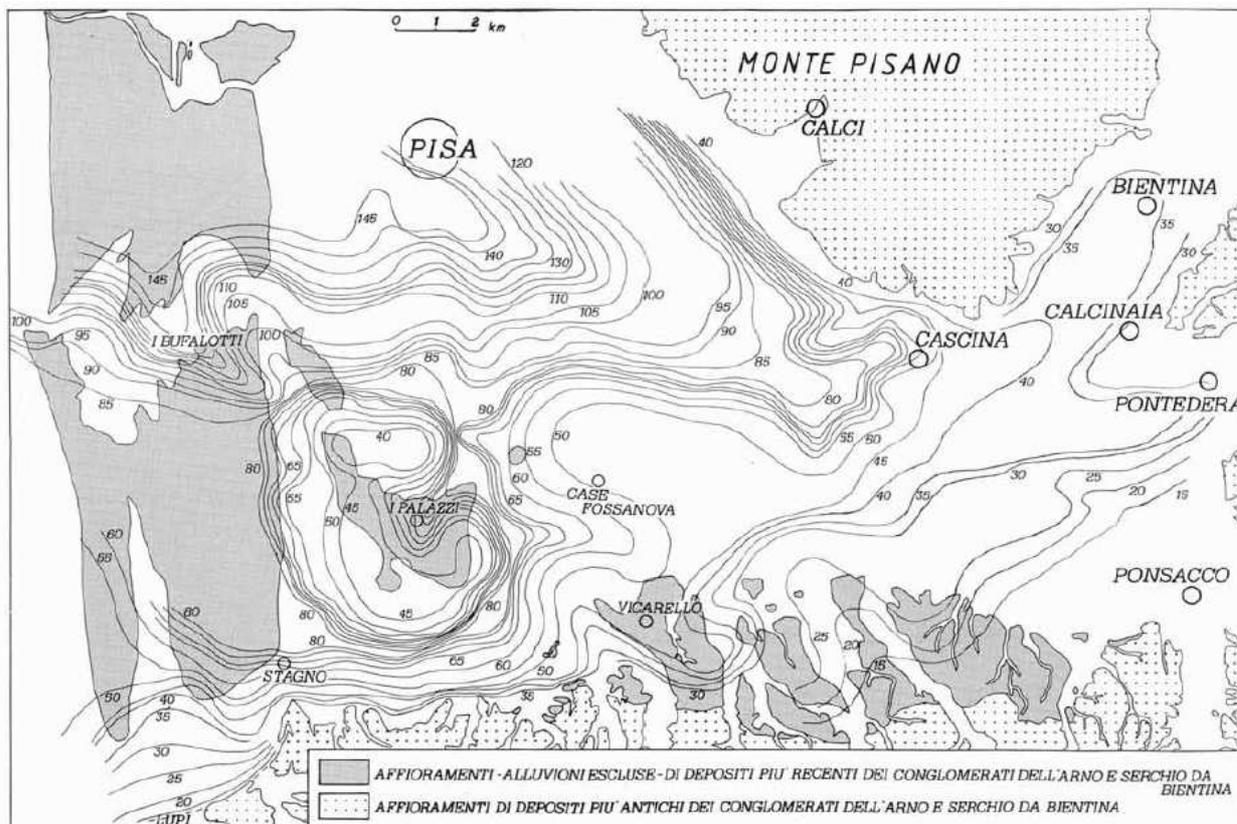


Fig. 4.3 Isobate del fondo del conglomerato dell'Arno e Serchio da Bientina (Fancelli et Alii. 1986)

4.1 - Evoluzione paleogeografica della pianura di Pisa

Nel Miocene superiore, con l'istaurarsi del regime tettonico disgiuntivo, si formano depressioni bacinali e sollevamenti tettonici delimitati da faglie dirette, parallele alla neo-formata catena appenninica; la regione viene interessata da una trasgressione marina testimoniata dai sedimenti che oggi costituiscono le colline pisane. Si formano i depositi conglomeratici ai quali seguono argille lagunari, quindi sedimenti evaporitici con strati di gesso intercalati alle argille ed infine sabbie argille e conglomerati depositati in un bacino ristretto e con acque poco profonde.

Nel Pliocene inferiore, si ha una più intensa subsidenza che determina una trasgressione marina più estesa (Baldacci et a., 1995), i depositi di questa fase arrivano ad appoggiare direttamente sulle rocce del substrato profondo. La sedimentazione inizialmente di tipo argilloso evolve in facies sabbiosa. In questo periodo fino al Pliocene medio la Toscana ad ovest di Cecina e a nord di Volterra è completamente sommersa dal mare ed emergerà solo nel Pliocene superiore grazie ad un sollevamento epirogenetico.

Nel Pliocene medio si verifica una regressione che si conclude nel Pliocene superiore con la completa emersione del Valdarno Inferiore. Con la regressione del mare, si verificano le condizioni che provocano la completa erosione dei depositi marini del Pliocene superiore. Sulle terre emerse inizia a svilupparsi l'idrografia tirreno vergente e si prefigura il sistema idrografico Arno - Serchio (Federici & Mazzanti, 1988); si intuisce infatti, la presenza di un corso d'acqua ad est dei Monti Pisani che si congiunge con un antico Arno.

Trasgressioni e regressioni marine hanno ripetutamente, negli ultimi 13 milioni di anni, cambiato il regime di sedimentazione fino ad alcune decine di chilometri verso l'entroterra, dall'attuale linea di costa, mentre gli apporti solidi di Arno e Serchio hanno progressivamente ridotto l'ampiezza delle lagune, lagune salmastre ed aree umide dolci, inizialmente molto estese, re incidendo ciclicamente i propri sedimenti con meandri, ramificazioni ed alvei deltizi relativamente effimeri spesso anche alla semplice scala temporale dei decenni).

La presenza nel sottosuolo della pianura pisana dell'orizzonte dei conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina, orizzonte il cui tetto si immerge da Calcinaia (profondità circa 40 m) fino all'attuale linea di costa (profondità oltre cento metri), è il testimone di un momento paleoclimatico, marcato dall'intensa azione erosiva e di trasporto materiali ghiaiosi ad opera dei fiumi della pianura, durante l'anaglaciale Wurm II (40.000 anni fa) cioè durante una fase di regressione che porterà la pianura di Pisa 15 Km più ad ovest rispetto all'attuale limite

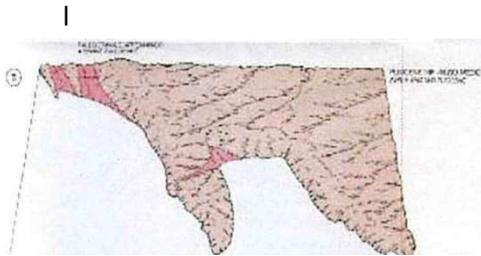


Fig. 4.4 Paleo-geografia fine Pliocene Inferiore
Inizio Pliocene Medio (Federici & Mazzanti, 1988)

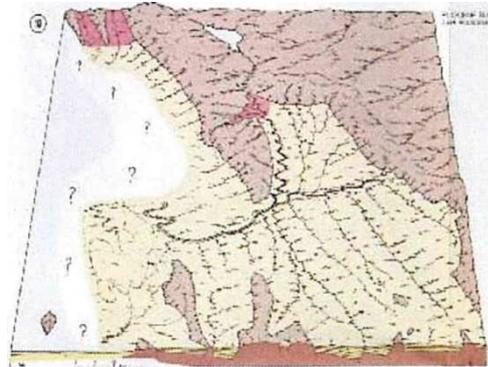


Fig. 4.5 Paleo-geografia Pliocene Superiore
(Federici & Mazzanti, 1988)

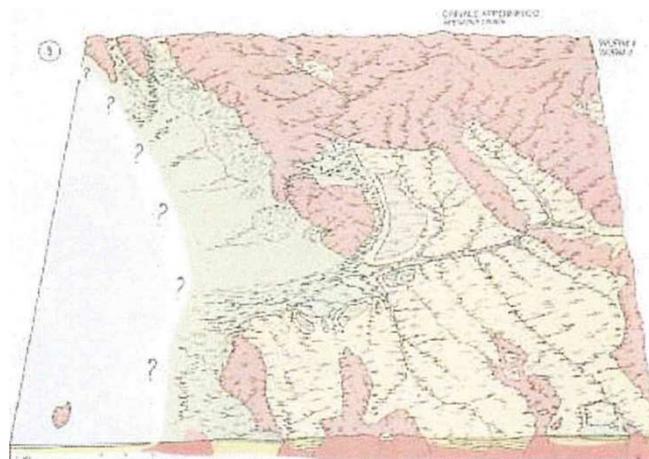


Fig. 4.6 Paleo-geografia Wiinn II (0,06-0,04 ma) (Federici & Mazzanti, 1988)

Al di sopra di tali conglomerati si trovano i limi fluviopalustri, corrispondenti ad un forte calo del trasporto fluviale. I limi fluviopalustri sono a loro volta coperti dalle sabbie eoliche che indicano una fase climatica con tendenza ad ulteriore diminuzione della piovosità. Terminato l'episodio di sedimentazione del Wurm II (spessore dei sedimenti circa 100 m) ha inizio un ciclo di erosione che produsse profondi solchi fluviali nella pianura pisana durante l'anaglaciale Wurm III.

Nell'Olocene si ha la fine della glaciazione Wurmiana con la conseguente trasgressione marina che porta il mare, tra il 6.000 a.c e il 5.000 a.c, a lambire il piede dei monti d'oltre-serchio per poi regredire fino al livello attuale

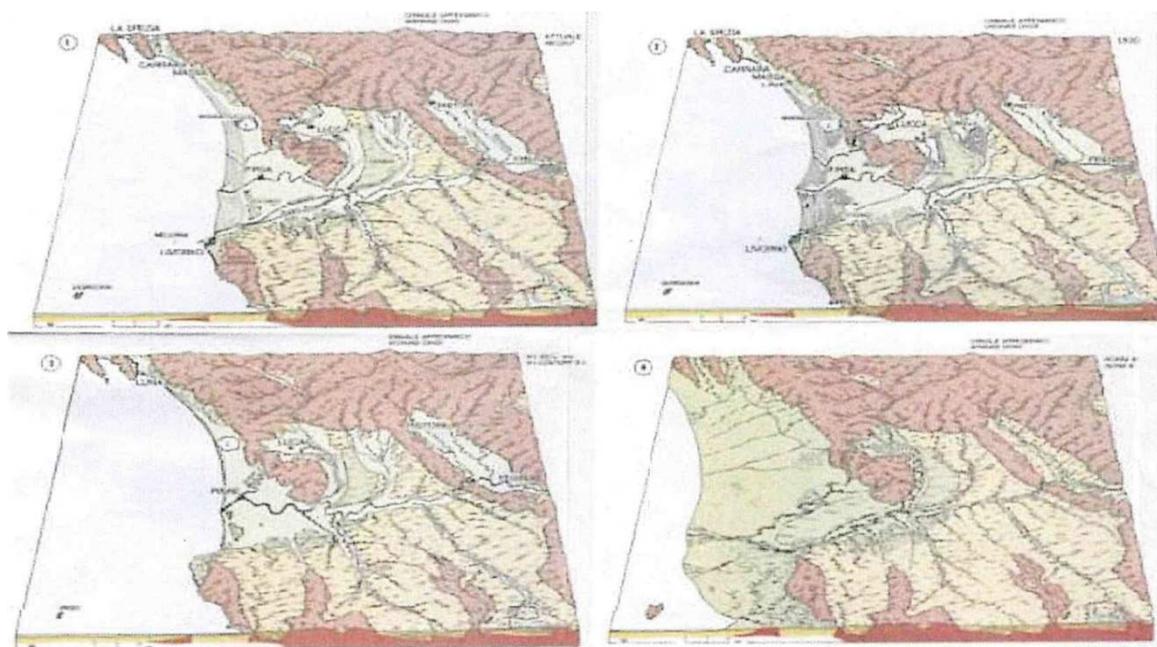


Fig. 4.7 Paleo-geografia dal Wiinn II/ (0,04-0,02) all' Olocene (Federici & Mazzaznfi, 1988)

4.2 – Morfologia

Nella pianura pisana confluiscono i due importanti sistemi idrografici dell'Arno e del Serchio, le cui aree di drenaggio sono per lo più confinate entro argini artificiali. Si configurano, inoltre, altre aree di drenaggio naturale e artificiale in parte fraposte ai corsi dell'Arno e del Serchio, ma da essi indipendenti, definibili nel loro insieme come "Bacino idrografico della Pianura di Pisa". La pianura pisana ha una forma a ventaglio e si restringe notevolmente dalla costa verso l'interno, fino alla sezione di confluenza della Valle di Bientina in quella dell'Arno. A Cascina e nelle aree limitrofe, la piatta superficie alluvionale raggiunge quote massime appena intorno ai 15 metri s.l.m.; le deboli pendenze favoriscono vasti ristagni d'acqua e la tendenza alla formazione di nuove aree paludose, nonostante le opere di canalizzazione e di bonifica effettuate nel corso dei secoli.

Il territorio si restringe ad E tra i Monti Pisani, e la Valle di Bientina e si allarga ad ovest tra il corso dell'Arno e quello dello Scolmatore. Esso rappresenta il risultato di un vasto processo di sedimentazione, in epoche geologiche recenti (Pleistocene- Olocene), da parte dei due corsi d'acqua

principali: l'Arno e il Serchio, che si univano in prossimità dell'abitato di Cascina. Il Paleoserchio che proveniva dalla Valle di Bientina, ha subito poi una migrazione piano-altimetrica dell'alveo, durante il colmamento della Pianura pisana, questa migrazione verso la sua attuale direzione (verso Filettale e Vecchiano) può essere attribuita sia ad un basculamento tettonico del suo substrato (Della Rocca et al., 1987), sia ad una maggiore "spinta sedimentaria" da parte degli affluenti di destra originati dai Monti Pisani, rispetto a quella degli affluenti di sinistra originati dalle Colline livornesi-pisane (Baldacci, 1999).

Gli apporti alluvionali di Arno e Serchio insieme (Conglomerati di Arno e Serchio da Bientina) risultano piuttosto grossolani e localizzabili a quote comprese tra -15 e -145 m sotto il livello del mare procedendo da Bientina a Pisa. Dopo che il Serchio ha cessato i suoi apporti, quelli dell'Arno sono diventati prevalenti e a granulometria più fine.

Le abbondanti alluvioni hanno rapidamente colmato la depressione compresa tra i Monti Pisani a N e le colline plioceniche a S creando così le condizioni per il formarsi di una vera e propria area deltizia, che ha continuato ad espandersi verso il mare, fino a tempi storici ed attuali.

L'ambiente di pianura alluvionale ha favorito l'insorgere dei meandri lungo il corso del fiume Arno; di una serie di essi restano tracce alquanto evidenti nella morfologia.

L'ultimo periodo di tale fase è stato caratterizzato dalla formazione di un vasto sistema di barriere in prossimità del mare costituito da lidi e dune litoranee che hanno presentato grosse difficoltà al drenaggio delle acque superficiali della pianura favorendo, in tal modo, l'insorgere di ampie zone paludose fino ad interessare anche il territorio di Cascina. In tale quadro si spiega la presenza, nel territorio di una fitta rete di canali di bonifica realizzati negli ultimi secoli allo scopo di recuperare all'uso agricolo o comunque all'antropizzazione, vaste aree altrimenti soggette a continue inondazioni e quindi inutilizzabili.

5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

5.1 – Geologia (Tav. QG.01)

Nella Carta Geologica (QG.01) sono descritte le formazioni geologiche ed i relativi membri litologici con gli assetti giacitureali delle formazioni; essa rappresenta la base descrittiva per inquadrare geologicamente l'intero territorio.

La Tavola è frutto di una revisione delle carte geologiche dei singoli comuni e di una omogeneizzazione tramite correlazioni, delle formazioni litologiche affioranti, con riferimento alle informazioni geomorfologiche della cartografia regionale, come indicato dal DPGR 53/R , DB geologico regionale (CARG) e dalle informazioni disponibili nei piani di bacino.

Il territorio compreso entro i limiti amministrativi dei Comuni Pisa-Cascina, è interamente rappresentato da aree pianeggianti. Gli elementi descritti sono distinti per le due diverse aree morfologiche:

Nella carta geologica in conformità a quanto contenuto nel CARG e nella Cartografia geologica regionale (Progetto Carta Geologico-Regionale della Toscana) sono stati rappresentati i litotipi significativi per caratteristiche litologiche-stratigrafiche e sviluppo areale.

FORME E STRUTTURE ANTROPICHE:

- Terreni di riporto e le aree di colmata, discariche;
- Discariche per inerti;
- Lago artificiale o specchio d'acqua: si tratta di invasi creati artificialmente;
- Area urbanizzata (Territorio Urbanizzato).

DEPOSITI OLOCENICI

DEPOSITI EOLICI E DI SPIAGGIA

Depositi di spiagge emerse: sabbie medie (**g2a**):

Sedimenti delle spiagge attuali costituiti da sabbie sciolte - (s).

I sedimenti delle spiagge attuali sono costituiti in generale da sabbie fini, mentre i sedimenti di battigia sono leggermente più grossolani (sabbie medie). I sedimenti più distanti dalla linea di battigia sono da considerare di origine eolica vista le loro dimensioni e la loro elevata classazione.

Per quanto riguarda invece la variazione granulometrica nel senso parallelo all'andamento della spiaggia, da studi sedimentologici recenti (Pranzini 1996) è stata verificata una evidente riduzione delle dimensioni dei clasti a partire dalla foce dell'Arno e procedendo verso Livorno. A nord della foce dell'Arno le dimensioni dei granuli sembrano invece più grossolane. A questo proposito, un sondaggio (n.759) effettuato nella spiaggia in prossimità della foce del F. Morto Nuovo, ha permesso di osservare, nei primi 10 m di terreno, delle sabbie addensate a grana grossa di colore nocciola.

A sud della foce dell'Arno, i sedimenti sabbiosi delle spiagge attuali si trovano a partire da Calambrone fino all'abitato di Tirrenia mentre a nord di quest'ultima, la costa è soggetta a fenomeni erosivi ed è quindi protetta da opere di difesa trasversale o longitudinali in prossimità delle quali non è presente o è molto scarso un accumulo di sedimenti.

A nord della foce dell'Arno, le spiagge attuali aumentano la loro entità procedendo da sud verso nord in quanto i fenomeni erosivi raggiungono la massima intensità in prossimità del delta dell'Arno che è attualmente in fase di smantellamento. In tutto il litorale pisano i sedimenti di spiaggia attuali sono comunque alimentati prevalentemente da materiali trasportati dall'Arno.

Depositi eolici: Depositi sabbiosi dei lidi e dune litoranee (**da**): sabbie da medio a fine.

I depositi sabbiosi si trovano lungo una fascia della larghezza di circa 7 km posta in direzione nord-sud che separa la pianura alluvionale di Pisa dal mare. Tale disposizione spaziale rappresenta gli antichi andamenti del litorale che è andato espandendosi fino al secolo scorso.

I lidi e le dune litoranee sono costituiti da depositi sabbiosi su cui prevalgono composizionalmente i granuli quarzosi. Tali sabbie si presentano sciolte in superficie e mediamente addensate in profondità.

I lidi, chiamati localmente "Cotoni", non raggiungono quote molto elevate. Corrispondono a barre emerse per sovraccumulo di sedimenti trasportati dall'azione marina litoranea, scaricati sulle spiagge dalle onde e, in tempi successivi, stabilizzati dalla vegetazione (Mazzanti, 1994b).

Le dune sabbiose, dette "Tomboli", si sono formate invece in seguito ad accumuli di origine eolica. Si presentano mediamente più elevate rispetto ai lidi ed hanno una forma allungata prevalentemente nel senso del litorale. In generale la loro formazione è legata al prevalere di un vento costante ed hanno per questo un profilo asimmetrico che rimane visibile dove non è stato alterato dall'azione antropica.

DEPOSITI CONTINENTALI

Depositi alluvionali attuali- prevalentemente limoso-argillosi **b(al)**

Depositi alluvionali attuali prevalentemente sabbiosi e limosi **b(ls)**

La distribuzione di questi terreni è stata cartografata in base ai risultati di indagini geognostiche. In queste aree i primi 5 metri di sottosuolo sono costituiti in prevalenza da sabbie con argille e limi in quantità subordinata. Si ritrovano nella zona di Ospedaletto e in lacune fasce adiacenti al corso attuale dell'Arno. L'ambiente di deposizione è analogo a quello dei depositi sopra descritti. Nelle zone laterali al fiume possono essere interpretati come arenili formatesi nella parte interna di meandri in seguito al deposito dei materiali sabbiosi in sospensione nelle acque a causa del rallentamento della corrente.

Le zone il cui substrato è costituito da questi terreni sono leggermente più rilevate rispetto alle ex aree palustri in cui si ritrovano sedimenti mediamente più fini.

Depositi palustri, lagunari e di colmata prevalentemente argillosi **(ea)**

Rappresentano in parte i sedimenti interdunali presentano un andamento parallelo ai lidi e sono stati deposti nelle depressioni comprese tra i lidi e le dune. Nelle aree interdunali, in quanto morfologicamente depresse, si sono verificati ristagni d'acqua nei periodi di maggiore piovosità. Di conseguenza, in queste zone si è spesso notevolmente sviluppata una vegetazione igrofila, la cui alterazione ha dato origine a depositi organici e torbosi negli strati più superficiali di terreno.

Depositi palustri prevalentemente argillosi **(e3a)** (*Olocene*)

Questi terreni sono costituiti prevalentemente da argille (la cui consistenza può variare localmente), da argille organiche e torbe. Queste ultime sono caratterizzate dal colore grigio scuro o nero e dalle scadenti proprietà meccaniche.

All'interno degli strati argillosi sono talvolta presenti sottili livelli costituiti da limi e subordinatamente da sabbie. I depositi appartenenti a questo gruppo sono rappresentati da sedimenti molto fini e sono generalmente localizzati nelle zone più lontane dai fiumi sulle quali si sono verificati fenomeni di sovralluvionamento. Nelle zone ancora più depresse inoltre, soggette ad impaludamento, si sono deposte anche argille organiche e torbe.

La deposizione delle torbe è causata da un processo di degradazione anaerobica subito dalla vegetazione igrofila che si verifica in seguito alla permanenza del terreno allo stato palustre.

Questi depositi si ritrovano infatti nelle zone che nel passato erano permanentemente paludose mentre attualmente lo diventano solo occasionalmente in concomitanza degli eventi meteorici più consistenti. Tali aree si trovano a Nord di Coltano, a Stagno, nella zona della Ballerina, del Gracitone e, più a Nord, nelle vicinanze di Campaldo.

I suddetti depositi sono costituiti prevalentemente da limi e sabbie di esondazione fluviale o di barra di meandro dei fiumi attuali ed antichi che hanno solcato questo tratto di pianura. Nella carta i depositi sono stati distinti in base al litotipo prevalente:

DEPOSITI PLEISTOCENICI

Depositi alluvionali terrazzati **(bnb)** , Sabbie e limi di Vicarello **(QVC)**: Sabbie medio-fini limose di colore giallo con screziature arancioni.

Al loro interno si ritrovano frequentemente concrezioni di CaCO₃ e manufatti del Paleolitico medio. Localmente presentano ciottoli sparsi. L'ambiente deposizionale di questa formazione è essenzialmente eolica-palustre e di piana di esondazione fluviale (Pieiostocene Superiore). Questa formazione si rileva in sporadici affioramenti nella parte SE del comune di Cascina.

5.2 – Geomorfologia (Tav. QG.02)

La tavola individua e descrive i principali caratteri geomorfologici superficiali e sub - superficiali del territorio, rilevati da specifica campagna di rilievo e dall'indagine fotointerpretativa condotta dai redattori delle indagini, in riferimento alle cause e ad i processi che gli hanno generati, sia di origine naturale che legati alle attività antropiche.

La redazione della carta geomorfologica costituisce un coordinamento tra le carte dei singoli comuni, e redatta in conformità del DB Geomorfologico della Regione Toscana, come indicato dal DPGR 53/R. Si è tenuto conto anche delle informazioni disponibili nei piani di bacino.

Di seguito si descrivono le diverse forme nell'ordine elencato ed in dipendenza dell'agente morfodinamico che le ha generate, entrando nel dettaglio sulle loro caratteristiche.

Nella legenda della Carta, le forme sono suddivise in 3 gruppi che comprendono forme connesse all'azione di:

- 1 – acque correnti superficiali
- 2 – gravità
3. -vento
- 4– attività antropica

Forme o processi morfodinamici dovuti alle acque correnti superficiali

FORME E DEPOSITI DI SEDIMENTAZIONE FLUVIALE

Alveo attivo

Area golenale

Area di alveo fluviale abbandonato o paleoalveo

Tra questi rientrano anche i tagli avvenuti in epoca storica:

- i tagli di meandro avvenuti nel 1338, della Vettola e di Cascine Nuove, identificabile grazie alla forma con cui ha tagliato le dune sabbiose più antiche;
- il "Taglio Ferdinando" del 1606 che deviò la foce dell'Arno di circa 2 km più a nord per evitare gli effetti del vento di Libeccio sull'insabbiamento della foce;
- il taglio effettuato tra il 1771-74 a Barbaricina.

Tali paleoalvei sono generalmente caratterizzati da terreni più sabbiosi ad andamento lenticolare alternati a sedimenti più fini limo-argillosi. In superficie possono essere presenti depositi più fini talvolta organici dovuti a locali impaludamenti verificatesi in seguito al taglio del meandro.

Alcuni paleoalvei sono stati osservati grazie ad immagini da satellite anche al di sotto di spessori di sedimenti di natura diversa (esempio lacustre). Sono stati rilevati i due paleoalvei di Cisanello, del Fiume Morto, della Vettola e dell'Aeroporto.

Orlo di scarpata di erosione fluviale

Sono distinte sulla base di una altezza di riferimento di H=10m

Corso d'acqua con tendenza alla migrazione laterale dell'alveo e all'erosione di sponda.

Tale tratto è stato evidenziato a seguito dell'analisi condotta con il DTM, in conformità con quanto eseguito dal PS del comune di SCINA concordato con l'Autorità distrettuale appennino settentrionale, relativo alle problematiche relative ad eventuali di cedimenti o dissesti delle strutture arginali del F. Arno. Non si sono rilevate criticità, situazioni localizzate di erosione di dimensioni areali molto ridotte, che l'autorità di bacino ha ritenuto di cartografare come legate alla tendenza all'erosione di sponda da parte dell'Arno in curva. Il tratto interessato, esteso lateralmente a titolo cautelativo, è stato evidenziato con simbologia nella carta geomorfologica (Tav QG02.5).

Depositi lacustri, palustri, zona palustre o zona umida: relative principalmente alle aree retrodunali ribassate.

Forme o processi morfodinamici dovuti alla gravità

La configurazione topografica del territorio è prevalentemente di pianura quindi non è interessato da fenomeni gravitativi di versante. L'indagine ha previsto di estendere lo studio già eseguito sul territorio del comune di Cascina, concordato con l'Autorità distrettuale appennino settentrionale, relativo alle problematiche di cedimenti delle strutture arginali del F. Arno. La ricognizione è stata fatta utilizzando l'approccio con il DTM disponibile sul Data Base regionale (LEADAR), estesa anche al reticolo secondario significativo. Non si sono rilevate criticità, i situazioni localizzate di dimensioni areali molto ridotte, sono state cartografate come legate alla tendenza all'erosione di sponda da parte dell'Arno, in accordo con l'Autorità di bacino distrettuale. Il tratto di alveo interessato, è stato evidenziato con apposita simbologia nella carta geomorfologica (Tav QG02.5) come "*corso d'acqua con tendenza alla migrazione laterale dell'alveo e all'erosione di sponda*".

Forme e depositi di origine eolica

Deposito eolico

Depressione interdunale

Area a dune

FORME E DEPOSITI DI ORIGINE MARINA

Spiaggia, sabbie.

Maggiore dettaglio e distinzione delle forme e depositi eolici è stata effettuata nella Carta della Dinamica Costiera (QG.04).

Forme derivanti dall'attività antropica

Nel corso degli anni si sono avvicinati diverse usi del territorio per renderlo più adeguato alle necessità umane e per salvaguardarlo dall'impaludamento. Un po' ovunque sono riconoscibili modifiche della morfologia naturale dovuti ad interventi dell'Uomo.

Nella Carta Geomorfologica, sono state segnalate le "forme" principali, significative alla scala del rilievo, che in qualche modo possono interferire con altri fattori (acque superficiali e sotterranee, gravità etc.).

Tra le attività antropiche che più hanno modificato la morfologia del paesaggio si segnalano le cave di sabbia ed argilla da fornace oggi dismesse, localizzate in corrispondenza dell'antico corso dell'Arno o in prossimità delle aree golenali.

Anche gli scavi per la realizzazione dei diversi tratti canalizzati hanno lasciato tracce indelebili sul territorio, basti pensare agli accumuli di escavazione disposti lungo le aste fluviali principali a cui si riferiscono. Nella Tavole, in molti casi, questi terreni di riporto sono cartografati distintamente e con lo spessore che presentano in corrispondenza delle estremità stimabili con il profilo topografico.

Orlo di scarpata antropica: Scarpate artificiali delimitano un po' ovunque le pendici dei rilievi sopraelevati dei sedimenti Pliocenici. Sono distinte sulla base di una altezza di riferimento di H=10m; sono state inoltre distinte quelle relative ad area di cava o miniera.

Argine artificiale – Sono stati cartografati tutti gli argini in terra realmente presenti. In taluni casi (tratto terminale del Rio Nero) la base topografica adottata, non riporta l'esistenza dell'argine; in altri casi ancora (Arno a Fornacette), l'argine in sinistra idrografica è cartografato come "muro".

Lago di cava

Lago antropico

Superficie di sbancamento (area di cava)

Area urbanizzata (territorio urbanizzato)

Area urbanizzata

5.3 – Caratteristiche litotecniche dei terreni (Tav. QG.03)

Allo scopo di giungere ad una suddivisione dei terreni che possiedono comportamento meccanico omogeneo, i litotipi presenti nella zona studiata sono stati raggruppati in "unità litologico-tecniche" (U.L.T.) sulla base dei seguenti parametri: litologia, grado di alterazione, presenza e frequenza di stratificazione e/o di altre discontinuità, grado di addensamento e/o di cementazione. Tali parametri sono stati valutati in maniera qualitativa o semi-quantitativa, mediante prove manuali e/o con penetrometro tascabile.

La suddivisione in U.L.T., riportata nella legenda di Tavola QG.4, è stata fatta in accordo con le istruzioni tecniche dettate dalla Regione Toscana, nell'ambito del Programma V.E.L. (L.R. n. 56/97).

Le U.L.T. sono tutte identificate nella "copertura", secondo lo schema seguente:

COPERTURA

UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "C" _Rocce e rocce deboli costituite da materiale prevalentemente granulare con grado di cementazione medio-basso

Unità C3.r7 - Depositi pleistocenici: Sabbie e limi di Vicarello granulometria dominante: sabbie medio-fini, sabbie limose lievemente cementate

UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "E" Terreni granulari non cementati o poco cementati

Unità E3.a4 - Depositi quaternari di spiaggia emersa. Granulometria dominante: sabbie medie da poco addensate a sciolte

Unità E3.a2.t3 - Depositi quaternari di cordone litorale. Granulometria dominante: sabbie da medie a fini moderatamente addensate con presenza di frazione interstiziale coesiva

UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "F" Terreni coesivi a consistenza bassa, limitata o nulla

Unità F1.s3/4.t2 - Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi e argille limose da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa.

Unità F1.s5/6.t2 - Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi e argille limose da poco consistenti a privi di consistenza, con presenza di frazione sabbiosa.

Unità F2.s3/4 - Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: argille limose, limi argillosi e argille da consistenti a moderatamente consistenti

Unità F2.s5/6 - Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: argille limose, limi argillosi e argille da poco consistenti a privi di consistenza.

Unità F2.s5/6.t4 - Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: argille limose, limi argillosi e argille da poco consistenti a privi di consistenza, con presenza di materiale torboso.

Sono state inoltre evidenziate, aree i cui litotipi, per le scadenti caratteristiche geotecniche non sono assimilabili a quelli delle classi V.E.L, o per caratteristiche geotecniche particolari, a cui prestare debita attenzione nell'attività di progettazione:

- Depositi limoso-argillosi con scadenti caratteristiche geotecniche (depositi golenali, bonifiche per comata);
- Terreni eterogenei al fondo di laghi artificiali;
- Terreni di riporto.
- "Aree soggette a subsidenza" il cui areale è stato derivato dalle carte del Piano di Bacino.

La massa dei dati disponibili è, come intuibile, concentrata nelle aree urbane e di nuova espansione urbanistica; per la restante parte del territorio agricolo, sono ben evidenti ampie zone prive di informazioni puntuali, stratigrafiche e/o geotecniche. Si tratta, tuttavia, di aree di pianura abbastanza chiare dal punto di vista litostratigrafico in quanto sono assimilabili, per analogia di storia evolutiva ai noti territori adiacenti, originati dallo stesso modello di deposizione fluviale rappresentato dalla "barra di meandro".

I dati di base localizzati in carta e classificati con la simbologia ufficiale della Microzonazione Sismica (MS) sono stati numerati e collegati in modo univoco con il relativo report dell'indagine, contenuto nei due archivi distinti per i singoli comuni:

QG.00.1 ALL.1: Report dati di base comune di Pisa

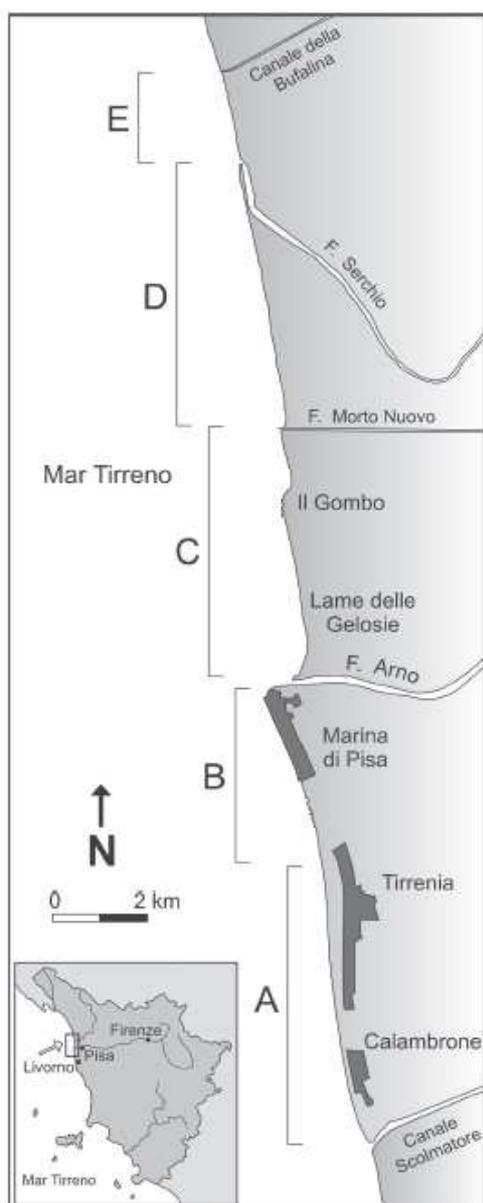
QG.00.2 ALL.2: Report dati di base comune di Cascina

6 - DINAMICA COSTIERA (Tav. QG.04)

Il litorale pisano, si estende per circa 25 km dal Porto di Livorno a Marina di Torre del Lago ha una marcata valenza paesaggistica con dinamiche evolutive importanti con una marcata erosione che da oltre un secolo affligge la costa ed è stato pertanto oggetto di studi condotti sulla variazione della linea di riva a partire dai primi del '900; effettuati essenzialmente tramite documenti cartografici storici, rilievi diretti e immagini telerilevate (Toniolo, 1910, 1927; Albani, 1940; Vittorini, 1977; Federici, 1983; Palla, 1983a, 1983b; Pranzini, 1983, 2001, 2004, 2008; Noli e Franco, 1989; Milano, 1994; Cipriani et al., 2001; Bini et al., 2008; Sarti et al., 2010).

La foce dell'Arno divide il litorale in un tratto meridionale ed uno settentrionale, delimitati rispettivamente dal Canale Scolmatore e dal Canale della Bufalina .

Alle spalle dei depositi di spiaggia attuale, la pianura costiera presenta una fitta successione di cordoni litoranei sormontati da dune (Federici & Mazzanti, 1993).



Per quanto riguarda la recente dinamica costiera, il Servizio Difesa Suolo della Provincia di Pisa ha condotto, fra il 2008 e il 2014 un monitoraggio dell'evoluzione del litorale pisano con il rilievo sia della posizione della linea di riva sia della morfologia dei fondali. In tutti la posizione è stata acquisita con GPS differenziale in modalità RTK (accuratezza x, y = 8 mm), mentre il rilievo batimetrico è stato eseguito con strumentazione single beam (accuratezza z = 15 mm).

L'indagine impostata su di un arco temporale ridotto di sei anni 2008-2014 (Casarosa, 2016), ma con frequenza di monitoraggio annuale e una "alta" risoluzione spaziale delle indagine (Pranzini e Simonetti, 2008), permette di quantificare variazioni contenute dei tassi di spostamento medio della linea di riva ed evidenziare i meccanismi di trasporto litoraneo per settori di ridotta lunghezza. Si fa pertanto riferimento alle conclusioni degli studi condotti per valutare la recente dinamica costiera.

Il bilancio areale complessivo 2008-2014, esteso ai due tratti meridionale e settentrionale del litorale pisano, ha permesso inoltre di valutare eventuali scostamenti nei trend storici individuati da studi precedenti e fornire una stima aggiornata delle variazioni areali di spiaggia emersa in relazione alla presenza in alcuni tratti di strutture antropiche e difensive.

Fig. 6.1 Tratti del litorale oggetto di studio (Bini, Casarosa, Ribolini, 2008)

Dal 2008 al 2014 il tratto meridionale subisce variazioni areali contenute e tendenzialmente positive, ad esclusione dei settori delimitati dalla barriera soffolta; il bilancio totale è positivo per 13.297 m².

Nello stesso periodo il litorale settentrionale mostra tendenze opposte in due tratti ben delimitati: nel primo, che si estende dalla Foce dell'Arno fino alla Foce del Serchio (11,7 km), prevalgono i processi erosivi (-140.353 m²), mentre nel secondo, dalla Foce del Serchio alla Foce del Canale della Bufalina (3,5 km), prevalgono i processi deposizionali (131.457 m²).

Gli spostamenti di ciascuna linea di riva sono stati calcolati rispetto ad un valore zero di riferimento corrispondente all'anno più vecchio di ripresa aerea disponibile, coincidente con il 1938 per i tratti A, B, C, D e con il 1944 per il tratto E.

Le aree dei poligoni delimitati delle due linee di riva tracciate su due riprese aeree consecutive sono state calcolate per valutare le superfici di spiaggia persa/guadagnata per ogni singolo tratto. Per poter confrontare i dati, i valori di area calcolati sono stati pesati secondo la lunghezza dei singoli tratti.

Tab. 2 - Variazione areale di spiaggia nei singoli tratti per ogni intervallo temporale considerato. I valori sono pesati secondo la lunghezza dei tratti (A, B, C, D, E) corrispondenti.

	1938-1944	1944-1954	1954-1965	1965-1975	1975-1982	1982-1986	1986-1990	1990-1996	1996-2003	2003-2004	1938-2004
m	m ² /m										
A (6604)	22,341	13,882	6,330	1,842	-12,856	-4,947	1,742	10,310	-2,376	-2,302	40,232
B (5430)	-18,057	-3,351	-6,978	-4,126	1,317	-2,185	-0,269	4,413	0,896	3,498	-27,503
C (7330)	-50,581	-46,373	-54,441	-13,092	-13,634	-2,302	-8,100	-12,856	-20,893	-1,346	-232,355
D (5400)	-31,707	-33,790	-0,781	-26,279	-13,225	-2,700	-20,110	-15,622	-19,365	-4,261	-170,673
E (1710)		45,181	12,923	30,228	7,840	-1,786	3,185	15,353	-1,570	9,447	

Tab.6.1 Variazione areale di spiaggia

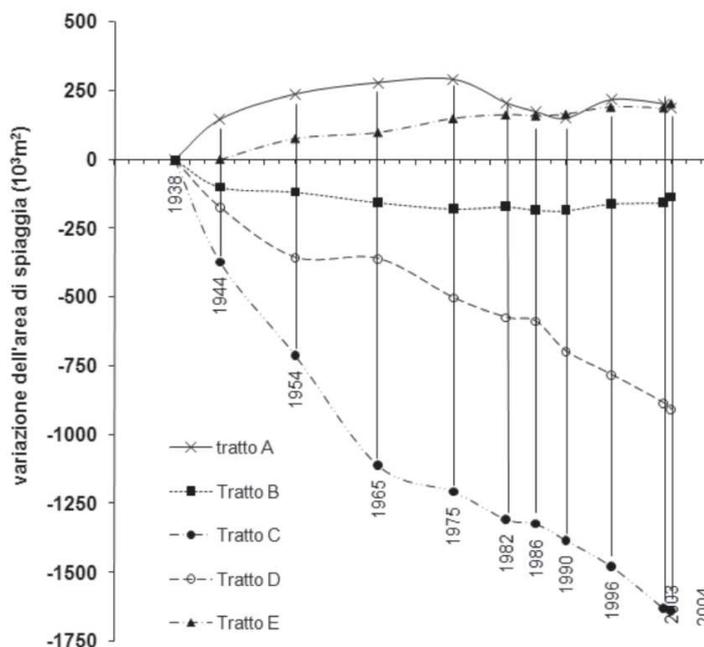


Fig. 6.2 Variazione areale di spiaggia dell'intero litorale (tratti A,B,C,D,E) per l'intervallo 1938-2004 (da Bini, Casarosa, Ribolini, 2008)

Lo spettro delle linee di riva ottenute mostra, poco a nord dell'abitato di Tirrenia, l'esistenza di una fascia di costa in cui esse tendono ad intersecarsi, suddividendo il litorale in due tronconi con caratteristiche morfologiche ed evolutive opposte. A sud di questa fascia, verso Calambrone (tratto A), le linee di riva risultano convesse verso mare e mostrano una complessiva tendenza all'avanzamento, mentre a nord (tratto B) si ha una tendenza opposta, concavità rivolta verso mare e complessiva tendenza alla regressione. In alcuni anni (1938, 1944, 1954, 1975) questa fascia si riduce a un vero e proprio punto (punto neutro) mentre in altri (riprese aeree posteriori al 1975) si estende anche per 500-600 m, con settori in cui le linee di riva coincidono per centinaia di metri. La continua fase di accrescimento areale nel tratto A può essere messa in relazione all'apporto sedimentario da nord generato dall'erosione del tratto B (Marina di Pisa, le spiagge settentrionali di Tirrenia e rispettivi fondali). Non è inoltre da trascurare una potenziale alimentazione dal Canale Scolmatore e/o dalle Secche delle Melorie (Gandolfi & Paganelli, 1975).

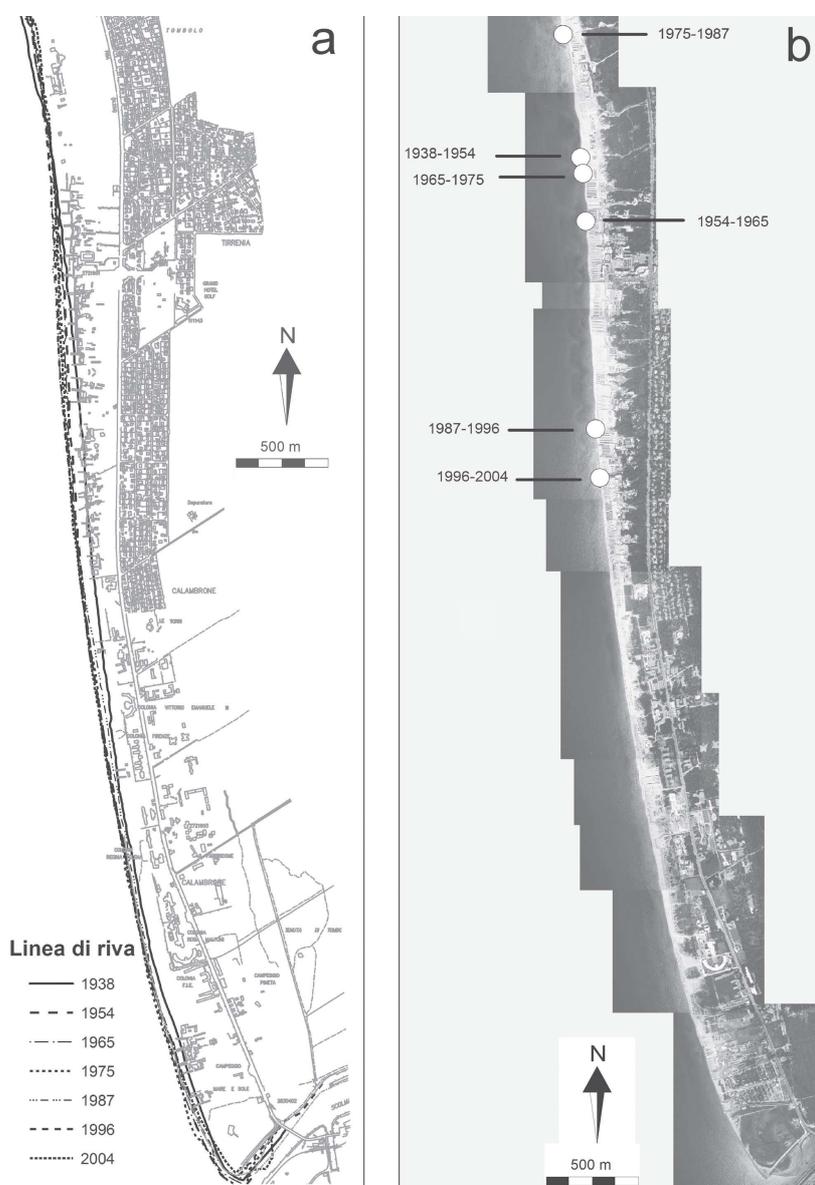


Fig. 6.3 Variazione areale di spiaggia dell'intero litorale (tratti A,B,C,D,E) per l'intervallo 1938-2004 (da Bini, Casarosa, Ribolini, 2008)

Utilizzando esclusivamente le linee di riva dei periodi 1938, 1954, 1965, 1975, 1987, 1996 e 2004, al fine di escludere le piccole oscillazioni interannuali, è stata analizzata la variazione della distanza di questo fascia/ punto neutro dal Canale Scolmatore. L'intersezione delle linee di riva del 1938 e 1954 mostra tale punto ubicato a 5750 m dal Canale Scolmatore, nel 1965 si ha un leggero spostamento del punto neutro di circa 350 m verso sud, con una velocità media di 31,5 m/anno. Dal 1965 al 1975 la fascia neutra si sposta verso nord di circa 250 m, con una velocità media di 27 m/anno che si intensifica notevolmente nel periodo 1975-1987 (800 m con una velocità media di 66 m/a). Da segnalare che dal 1975 avviene una migrazione verso sud delle difese costiere con la costruzione della seconda serie di barriere al margine meridionale di Marina di Pisa.

Dal 1987 al 1996 si ha un'intensa migrazione della fascia neutra verso sud, che in soli 9 anni si sposta di 2150 m con una velocità media di 238 m/anno. Il periodo 1996-2004 registra un ulteriore spostamento di 300 m verso sud (con velocità media di 40 m/a) che porta la fascia neutra ad una distanza di circa 4 km dal Canale Scolmatore.

Al margine meridionale del tratto A, gli spostamenti delle linee di riva sono stati correlati con la variazione della geometria a mare del Porto di Livorno. Nel 2000, infatti, è stato ultimato l'ampliamento verso mare della porzione Nord del Porto di Livorno tra la Darsena Toscana ed il Molo Marzocco. Come già ipotizzato da Cappietti *et al.* (2003), la nuova porzione di porto genera notevoli variazioni nell'andamento delle correnti, provocando una marcata erosione nel segmento di costa corrispondente alla porzione meridionale del tratto A. Per studiare nel dettaglio la dinamica di questo settore è stata intensificata la scansione temporale delle osservazioni utilizzando le immagini aeree degli anni 1996, 2000, 2003, 2005. Gli spostamenti e la velocità media lineare di variazione della linea di costa sono stati calcolati lungo due sezioni ortogonali alla linea di riva.

In particolare i risultati di questa analisi registrano un avanzamento della linea di riva nel periodo 1996-2000, concorde con il *trend* evolutivo registrato a partire dal 1938, mentre nel periodo immediatamente successivo all'ampliamento del porto si osserva un arretramento che si protrae fino al 2003 (-18,3 m/a in sezione 1; -10,0 m/a in sezione 2). Successivamente tra il 2003 e il 2005 si registra un'inversione di tendenza con il ristabilirsi delle condizioni di progradazione.

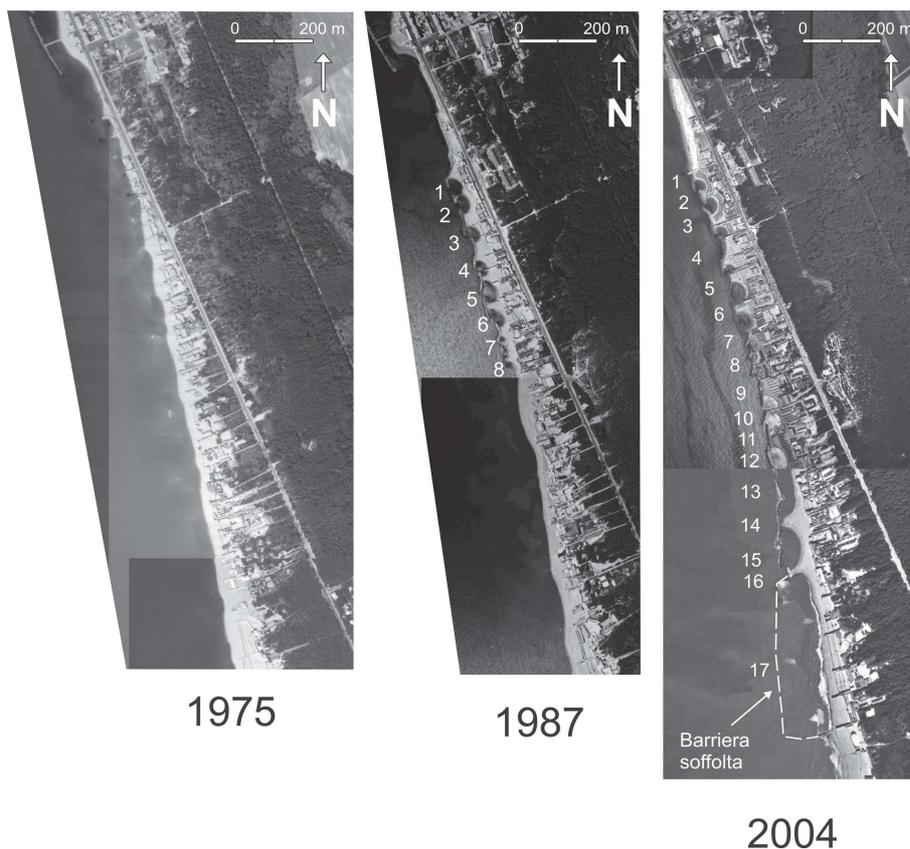


Fig. 6.4 Evoluzione delle difese litoranee nel tratto meridionale di Marina di Pisa (tratto B) dal 1975 al 2004.
(da Bini, Casarosa, Ribolini, 2008)

Fra i principali periodi erosivi del litorale pisano, spiccano gli intervalli 1975-1990 per il tratto immediatamente a Nord del Canale Scolmatore, 1938-1954 per il tratto compreso tra le foci dei fiumi Morto Nuovo e Serchio e 1938-1965 per quello a nord della foce dell'Arno. Per questi ultimi due tratti è stata calcolata una superficie di spiaggia persa rispettivamente di circa $900 \times 103 \text{ m}^2$ e $1700 \times 103 \text{ m}^2$. Per quest'ultimo da segnalare che $1100 \times 103 \text{ m}^2$ sono stati erosi dal 1938 al 1965, con una velocità media di arretramento lineare di circa $11,5 \text{ m/a}$. I tratti agli estremi opposti della costa pisana risultano prevalentemente in avanzamento per tutto il periodo di osservazione. I motivi di questo comportamento sono comunque diversi: la barriera esercitata dal porto di Viareggio nei confronti dei *drift* litoranei nel tratto più settentrionale, l'apporto sedimentario da spiagge immediatamente a nord per il tratto più meridionale. Il bilanciamento tra spiagge contigue in erosione o in accrescimento che si verifica nel tratto meridionale della costa trova un suo equilibrio in una fascia/punto neutro ubicato nella zona di Tirrenia.

È stata evidenziata una correlazione fra la costruzione di difese costiere e di opere antropiche e successive variazioni nel comportamento della linea di costa. La migrazione verso sud delle difese si accompagna con lo spostamento del punto neutro verso i tratti meridionali del litorale, coinvolgendo nei processi erosivi tratti di costa sempre più prossimi al Canale Scolmatore.

Come l'ampliamento del porto di Livorno (2001) ha causato l'erosione del tratto di costa nei pressi del Canale Scolmatore (fino a 18 m/a di arretramento lineare), la creazione della foce armata dell'Arno (completata nel 1926) ha fortemente incrementato il processo di erosione già attivo nella zona delle

«Lame delle Gelosie» (da 3 a 20 m/a di arretramento lineare), diminuito solo nel periodo di creazione di un'apertura nel suo argine destro (1,5 m/a).

Anche se la completa comprensione della dinamica delle spiagge non può prescindere dalla ricostruzione dell'evoluzione dei fondali, dai valori di trasporto solido fluviale e meteomarinari, i dati elaborati in questo lavoro hanno permesso in prima analisi di ricostruire le principali tappe di erosione e accrescimento del litorale pisano, proponendo anche le correlazioni più evidenti con la costruzione delle opere di difesa.

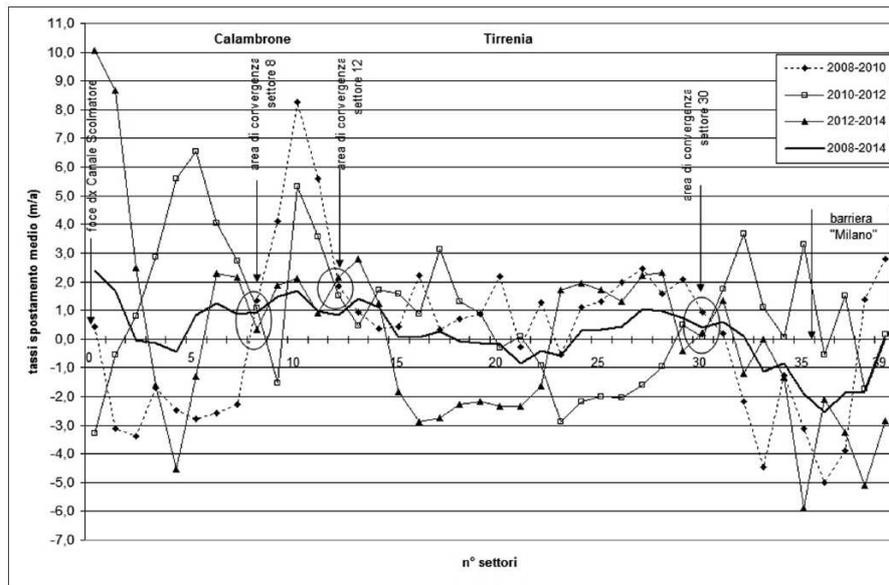


Figura 5. Tasso di spostamento medio annuo della linea di riva del tratto meridionale del litorale pisano.

Fig. 6.5 *Spostamento medio annuo della linea di riva nel tratto meridionale urbanizzato del litorale Calabrone-Tirrenia (Casarosa,2016)*

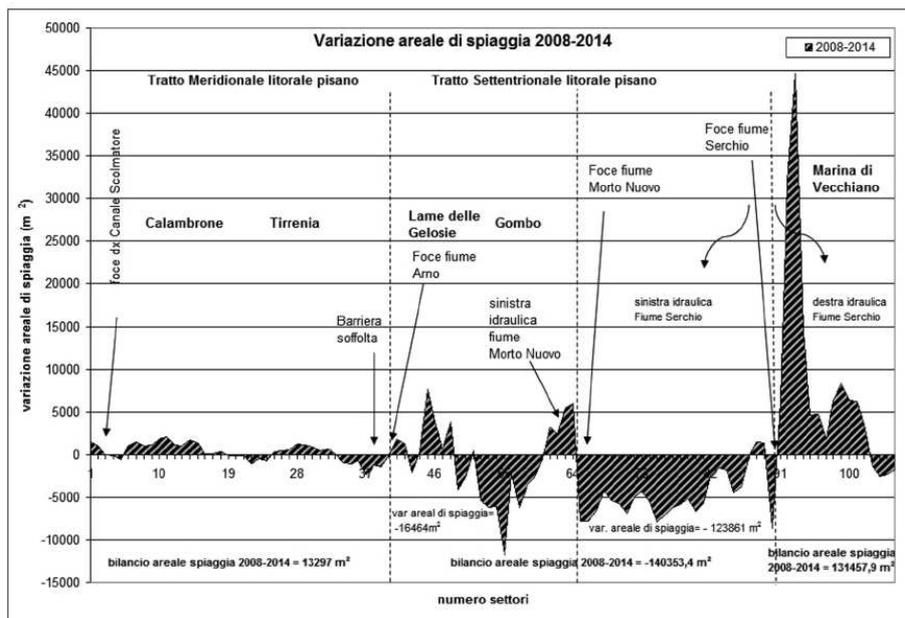


Fig. 6.6. *Variazione areale della spiaggia del litorale pisano 2008-2014 (Casarosa,2016)*

Valori ricavati da Tab. 2 in Bini et al., 2008			Valori ricavati dal presente lavoro		
Tratto (m)	1938-2004	66 anni	Intervallo settori	2008-2014	6 anni
	m	m/a		m	m/a
A: Canale Scolmatore-Marina di Pisa	40,23	0,61	0 - 39	2,01	0,33
C: F.Arno - F.Morto Nuovo	-232,35	-3,52	40 - 63	-2,69	-0,44
D: F.Morto Nuovo - F.Serchio	-170,67	-2,58	64 - 89	-22,94	-3,82
E: F.Serchio - Canale Bufalina	120,8	1,83	90 - 105	39,83	6,63

Fig. 6.7 Variazione areale della spiaggia del litorale pisano 2008-2014 (Cararosa,2016)

Fra i principali periodi erosivi del litorale pisano, spiccano gli intervalli 1975-1990 per il tratto immediatamente a Nord del Canale Scolmatore, 1938-1954 per il tratto compreso tra le foci dei fiumi Morto Nuovo e Serchio e 1938-1965 per quello a nord della foce dell'Arno. Per questi ultimi due tratti è stata calcolata una superficie di spiaggia persa rispettivamente di circa 900 x 103 m² e 1700 x 103 m². Per quest'ultimo da segnalare che 1100 x 103 m² sono stati erosi dal 1938 al 1965, con una velocità media di arretramento lineare di circa 11,5 m/a.

I tratti agli estremi opposti della costa pisana risultano prevalentemente in avanzamento per tutto il periodo di osservazione. I motivi di questo comportamento sono comunque diversi: la barriera esercitata dal porto di Viareggio nei confronti dei *drift* litoranei nel tratto più settentrionale, l'apporto sedimentario da spiagge immediatamente a nord per il tratto più meridionale.

Il bilanciamento tra spiagge contigue in erosione o in accrescimento che si verifica nel tratto meridionale della costa trova un suo equilibrio in una fascia/punto neutro ubicato nella zona di Tirrenia. È stata evidenziata una correlazione fra la costruzione di difese costiere e di opere antropiche e successive variazioni nel comportamento della linea di costa. La migrazione verso sud delle difese si accompagna con lo spostamento del punto neutro verso i tratti meridionali del litorale, coinvolgendo nei processi erosivi tratti di costa sempre più prossimi al Canale Scolmatore.

Come l'ampliamento del porto di Livorno (2001) ha causato l'erosione del tratto di costa nei pressi del Canale Scolmatore (fino a 18 m/a di arretramento lineare), la creazione della foce armata dell'Arno (completata nel 1926) ha fortemente incrementato il processo di erosione già attivo nella zona delle «Lame delle Gelosie» (da 3 a 20 m/a di arretramento lineare), diminuito solo nel periodo di creazione di un'apertura nel suo argine destro (1,5 m/a).

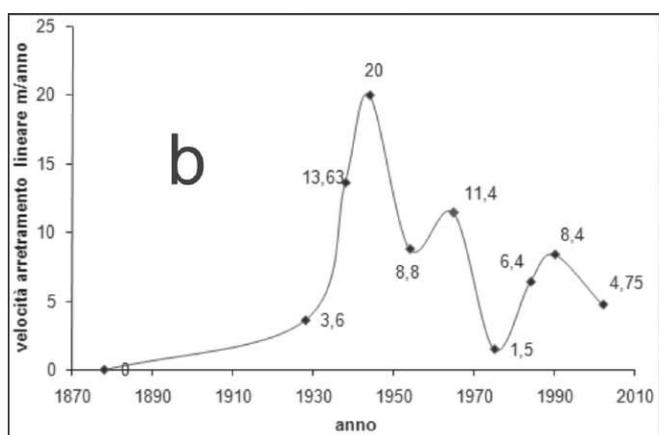


Fig. 6.8. Variazione areale della spiaggia del litorale pisano 2008-2014 (da Bini, Cararosa e al., 2016)

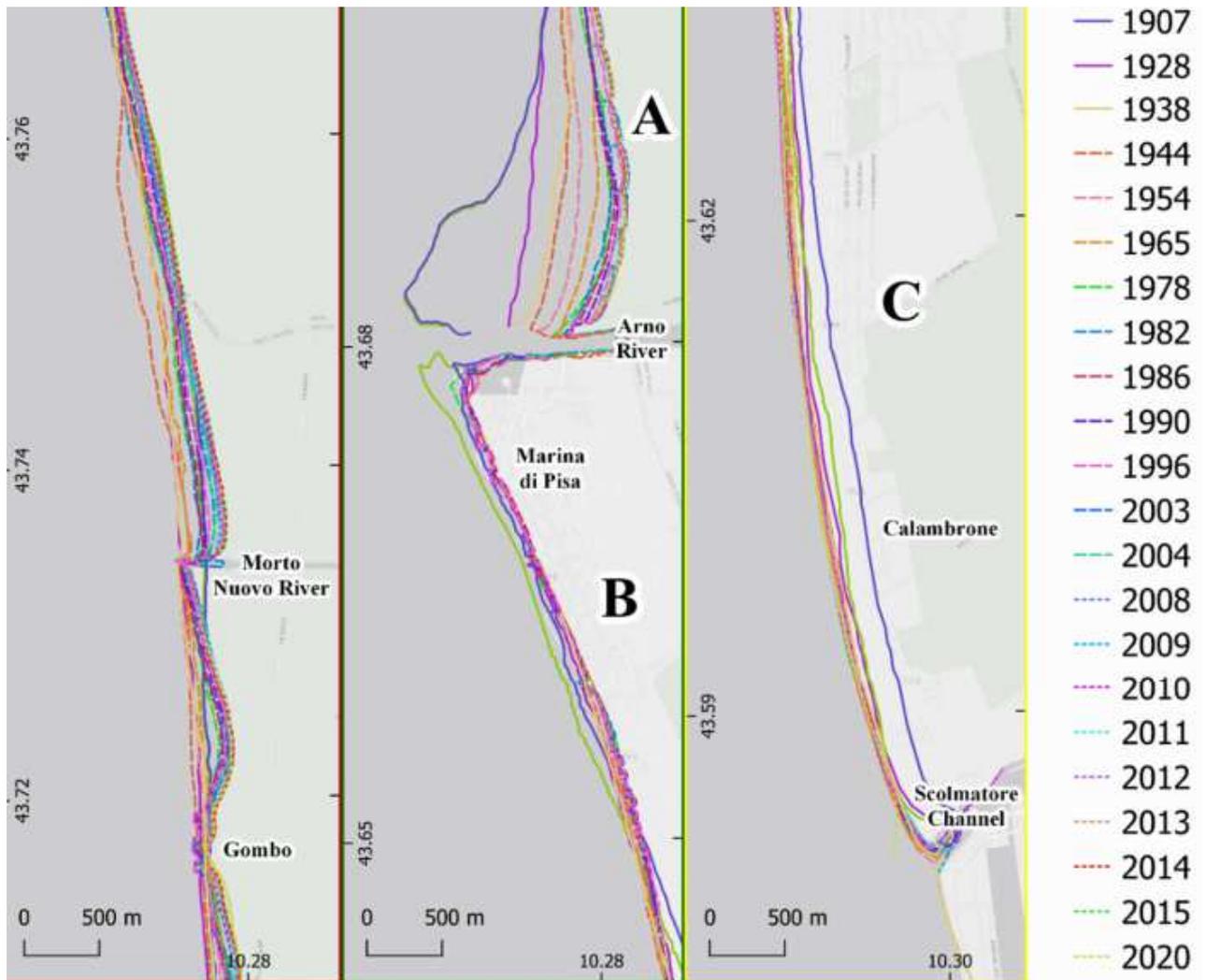


Fig. 6.9 Ricostruzione linee di costa da mappe, foto aeree, DGPS
(da Bini, Casarosa, Luppichini, 2021)

Il progetto in itinere della nuova Darsena Europa, prevede importanti opere di ripascimento del tratto di costa da Marina di Pisa alla foce del canale Scolmatore (Fig.6.10).

<p>Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale</p>	<p>Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica</p>	<p>Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-A-003_1.docx</p>
--	---	--



Figura 5.2 – Ubicazione dei punti di caratterizzazione proposti per la caratterizzazione della possibile area di ripascimento in area sommersa

Fig. 6.10 Opere di ripascimento previste dal progetto Darsena Europa

In merito agli aspetti morfologici e paesaggistici della costa, è stato svolto un lavoro di rilievo di dettaglio con l'utilizzo del LIDAR delle ortofoto AGEA2019 e da rilievi sul posto, finalizzato alla caratterizzazione dell'elemento "sistema dunale" inteso come elemento di salvaguardia del PIT, definendo il limite geomorfologico dell'invariante del PIT. Sono stati inoltre caratterizzati e distinti i cordoni dunali in base al grado di antropizzazione ed erosione. Ciò con la finalità di tutelare le parti ancora allo stato naturale e porre atto misure di controllo e contenimento dell'azione erosiva. Sono stati pertanto distinti le seguenti tipologie di dune:

- Limite geomorfologico del sistema dunale litoraneo
- Cordone dunale allo stato naturale in erosione
- Cordone dunale allo stato naturale non in erosione
- Cordone dunale antropizzato in erosione
- Cordone dunale antropizzato non in erosione
- Cordone dunale con degradazione del suolo in erosione
- Cordone dunale con degradazione del suolo non in erosione

Sono state inoltre cartografate le seguenti forme relative attinenti alla dinamica costiera:

- Difesa costiera (aderente o arretrata rispetto alla linea di costa) - indeterminato - emersa
- Difesa costiera parallela (in mare) - indeterminato - emersa
- Spiaggia Sabbie
- Ripascimento artificiale di spiaggia
- Ventaglio di tempesta
- barriera emersa
- barriera sommersa
- difese sommerse in geotubi
- foce armata
- muro radente
- pennelli emersi
- pennello sommerso
- spiaggia in ghiaia

Sono state riportati i dati storici relativi alle variazioni della linea di riva

- Linea di riva (anno 1938)
- Linea di riva (anno 2011)
- Linea di riva (anno 2021)

7 - IDROGEOLOGIA E PROBLEMATICHE IDRAULICHE

7.1 – Caratteristiche idrogeologiche (Tav. QG.05)

Nella pianura di Pisa confluiscono direttamente sia il bacino idrografico che quello idrogeologico dell'Arno, mentre attraverso la pianura di Lucca, mediante il doppio collegamento dalle valli di Ripafratta e di Bientina, i bacini idrografici ed idrogeologici del Serchio.

Il sistema acquifero della pianura può essere suddiviso in due sottosistemi: quello superficiale, di tipo freatico, localizzato entro i primi metri di profondità dal piano campagna ed alimentato dalle precipitazioni e dagli scambi idrici con la rete idraulica minore, e quello profondo, formato da più livelli

acquiferi contenuti in terreni ghiaiosi e sabbiosi. Quest'ultimo è noto come "acquifero multistrato confinato", (Baldacci et alii. 1995).

L'acquifero freatico è generalmente povero, specialmente in presenza dei terreni limo-argillosi che caratterizzano i primi dieci metri della pianura; quello profondo, è in pressione, ed ha sede in livelli sabbiosi e/o ghiaiosi sovrapposti (nell'area di Calcinaia prevalgono le ghiaie). Quest'ultimo è quello che si estende su una superficie maggiore, formata dai conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina ed è particolarmente sfruttato dal settore industriale e per l'approvvigionamento idropotabile anche se non vi sono pozzi della rete dell'acquedotto ricadenti nel territorio comunale .

Sintetizzando le informazioni sul sottosuolo della pianura si possono riconoscere due suddivisioni principali; la copertura superficiale e l'acquifero multistrato confinato. Le condizioni idrostratigrafiche della pianura, si possono riassumere in questo modo dall'alto verso il basso:

- complesso sistema acquifero di tipo freatico, presente in modo più o meno continuo sull'intero territorio comunale, che ha sede nei sedimenti limoso-sabbiosi, possiede uno spessore di qualche metro e comprende alcune limitate falde sospese spesso semi-freatiche;
- orizzonte acquifero, contenuto in sedimenti prevalentemente sabbiosi, esteso per gran parte del territorio comunale. Gli spessori sono estremamente variabili con massimi intorno a 130 m in corrispondenza degli apparati dunari antichi della zona di a Nord dell'Arno, mentre diminuiscono lungo la fascia costiera nell'area a Sud dell'Arno fino a circa 10 m in corrispondenza della zona di Calambrone. La profondità del tetto delle sabbie è variabile, raggiunge un valore massimo di circa 50 m in corrispondenza della periferia nord-orientale di Pisa e diminuisce progressivamente verso la fascia costiera, dove l'acquifero sabbioso si raccorda alle dune costiere attuali ed antiche (Coltano), che funzionano, pertanto, da aree di alimentazione con falda a pelo libero.
- Nella zona a NW della città sono presenti alcune aree depresse orientate NW-SE e SWNE. Nell'area a SE di Pisa il tetto sabbioso si mantiene a profondità comprese tra 30 e 40 m e presenta un andamento poco uniforme: in particolare si nota una depressione in corrispondenza dell'area di Ospedaletto. Nella zona ad Ovest di Pisa i livelli sabbiosi di questo orizzonte acquifero sono molto articolati e sono collegati, anche se non in maniera continua, con gli acquiferi del sottostante orizzonte (zona di Coltano);
- importante orizzonte acquifero costituito da depositi di origine alluvionale composti da livelli ciottolosi e ghiaiosi separati da strati a prevalentemente composizione sabbiosa. Il livello stratigraficamente più elevato possiede una notevole estensione ed uno spessore variabile che raggiunge un massimo di oltre 10 m nella fascia meridionale della pianura pisana. La profondità del suo tetto è dell'ordine di 30- 40 m, raggiungendo il valore di circa 150 m in corrispondenza del centro urbano di Pisa.

Tra i vari livelli acquiferi descritti esistono eteropie e discontinuità verticali che in alcune zone permettono i collegamenti idraulici specialmente tra i due principali acquiferi artesiani, il primo

orizzonte sabbioso ed il primo orizzonte ghiaioso, che comunque ospitano le principali falde della pianura.

Caratteristiche piezometriche

Attualmente non sono state eseguite campagne di misurazione estensive relative alla soggiacenza della falda, almeno con un numero di punti sufficienti da ricostruire una piezometrica aggiornata.

Le isofreatiche che è stato possibile ricostruire fanno riferimento a quelle esistenti nel Quadro Conoscitivo del PS del comune di Cascina, si è completato il territorio del comune di Pisa, evidenziando le isofreatiche del 1° acquifero significativo, relativo al periodo Agosto 1994 disponibili dal quadro conoscitivo del PS vigente.

Per Cascina sono state utilizzate la banca dati comunale aggiornata dai nuovi elementi conoscitivi derivanti dagli elaborati dall'Autorità di Bacino e dalla banca dati del Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Pisa, nonché i dati di acque ingegneria e del gestore del servizio acquedottistico e le informazioni contenute in bibliografia (F. Baldacci, 1999 e Carta piezometrica del 1° acquifero Artesiano in Ghiaie- Dati tratti da L. Vieri, 1996, confrontati ed integrati con quelli degli studi compiuti per il Virgo Project - I.N.F.N -Roma- da parte di GEOMATH s.r.l. e GEOSER s.c.r.l.- Pisa, 1994).

Con riferimento ai dati acquisibili dallo studio del 1994 “Le risorse idriche sotterranee della pianura pisana” (Baldacci, Bellini, Raggi). Nella relazione geologica delle indagini di supporto al PS di Cascina si afferma che *“Tenendo in giusta considerazione le osservazioni dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Livorno-Lucca-Pisa (comunicazione presso il Comune di Cascina tramite PEC n.13073/2014 del 26/05/2014) in merito alla data delle valutazioni idrogeologiche si precisa che, dal confronto con i dati dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, della Provincia di Pisa e dei tecnici di Acque Ingegneria (che effettuano controlli continui sull'evoluzione della freaticimetria dell'area di Cascina per conto del gestore del servizio idrico integrato Acque spa) nonché da verifiche puntuali fatte anche a supporto del presente studio (zona stadio-centro di Cascina-Navacchio) prendendo in considerazione anche i risultati dei dati di base aggiornati al 2014, i dati idrogeologici indicati nel presente studio sono coerenti con lo stato attuale della piezometria.*

A tal fine si rileva anche che non si sono individuate particolari modifiche antropiche dell'uso della risorsa idrica del sottosuolo tali da modificare a livello generale l'andamento della superficie piezometrica della piana di cascina e zone contermini e che, anche alla luce delle verifiche dei dati di base aggiornati al 2014, viene confermata una sostanziale stabilità generale della morfologia piezometrica, fatte salve le ordinarie variazioni stagionali ed eventuali condizionamenti puntuali che non alterano comunque in modo sostanziale la morfologia piezometrica generale.”

Le isofreatiche sono rappresentativa di una situazione di magra della falda che si raggiunge abitualmente verso la fine della stagione estiva, prima che abbia inizio la ricarica autunnale; questa si protrae nel successivo periodo invernale- primaverile fino al raggiungimento, in genere verso la fine di maggio, dei massimi livelli piezometrici. Il tematismo delle isopieze cartografato evidenzia una zona fortemente depressa in corrispondenza dei campi pozzi esistenti in loc. Navacchio con un valore minimo della superficie piezometrica di -10,0 m s.l.m. ed un valore massimo di 0,5 m s.l.m.

7.2 – Carta della Vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche (Tav. QG.06)

La carta di vulnerabilità idrogeologica deriva dall'elaborazione della "*Carta idrogeologica e delle permeabilità superficiali*", cui sono state aggiunte le informazioni provenienti dalla banca dati comunale per la localizzazione delle principali aree a rischio, le informazioni derivanti dalla banca dati del Ministero dell'Ambiente - *geo-portale nazionale - Persistent Scatterers Interferometry (PSI)*, per l'individuazione delle aree in subsidenza ed infine le informazioni attinte dal portale *SISBON - Sistema Informativo Siti interessati da procedimento di Bonifica (ARPAT)*.

Nella Tav.QG.06 della Vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche, si è recepito *la classificazione* inerente la vulnerabilità degli acquiferi del previgente PTCP Approvato con DCP n.100 del 27.07.2006 e aggiornato alla Variante per la disciplina del territorio rurale DCP n.7 del 13.01.2014, Pubblicazione: BURT n.8 del 26.02.2014.

La carta della vulnerabilità idrogeologica definisce tre gradi di vulnerabilità (vulnerabilità *bassa, media e elevata*), sono sempre vigenti le Classi di vulnerabilità di cui all' Art.20.1 e i livelli di rischio e le relative disposizioni per l'integrità degli acquiferi, Art. 20.2. del PTCP.

Relativamente alle aree a vulnerabilità elevata 4a e 4b, si è recepito la perimetrazione del PTCP in modo da avere allineamento e conformità per le classi più critiche, al di là delle differenze legate al grado di dettaglio. Per quanto riguarda la classe di vulnerabilità media 3b, è stata riportata in carta la perimetrazione del PTCP con sovrapposizione di retino, ma di fatto non si ha coincidenza in alcuni settori, avendo ritracciato i contatti tra formazioni, con l'aggiornamento dei dati di base disponibili. Quindi le classi sono conformi con il PTCP ma cambiano alcune perimetrazioni. In tavola sono presenti entrambe le perimetrazioni

Nella stessa carta sono individuate come aree soggette a problematiche idrogeologiche

- i laghi antropici e di cava in quanto si può avere esposizione diretta della falda o il substrato sabbioso in affioramento a seguito dell'asportazione dell'argilla con l'attività estrattiva con elevata vulnerabilità per la risorsa idrica;
- le acque superficiali appartenenti al reticolo di gestione regionale di cui alla L.R. N.79/2012, aggiornato al DCR 103/2022;
- le aree soggette a subsidenza (con abbassamenti rilevati compresi tra <-10,0 mm/anno e -5,00 mm/anno, § 8.2.1), le aree di particolare attenzione ai fini della tutela idrogeologica (ex discariche, depuratori, distributori carburanti, depositi esplosivi) e i siti di bonifica (SISBON, §8.2.2).

Subsidenza

Le aree soggette a subsidenza sono state perimetrate in accordo alle perimetrazioni dall'autorità di bacino distrettuale che ha fornito shp.file, implementati dall'analisi e consultazione della banca dati interferometrici per il monitoraggio dei fenomeni di subsidenza. Si tratta di fenomeni legati a cause naturali (consolidazione di sedimenti, movimenti tettonici, ecc.) o antropiche (carico esercitato da manufatti artificiali, estrazione di fluidi dal sottosuolo, attività mineraria). Le aree in subsidenza generalmente riguardano zone intensamente urbanizzate, dove la densità di bersagli radar individuabili

su di esse e l'accuratezza delle misure sono decisamente maggiori rispetto a qualunque altra metodologia di monitoraggio.

Il dataset oggetto dell'analisi è quello ottenuto processando immagini ERS1/2 ed ENVISAT, acquisite tra il 1992 e il 2008 dall'ESA, tramite la tecnica multi-interferogramma genericamente definita come Persistent Scatterers Interferometry (PSI).

SISBON

Come sopra accennato nella carta idrogeologica di vulnerabilità sono indicati anche i siti interessati da procedimenti di bonifica (SISBON) provenienti dalla banca dati ARPAT.

La banca dati dei siti interessati da procedimento di bonifica è stata realizzata a partire dalle definizioni contenute nella DGRT 301/2010. Schematicamente vengono indicati i siti NON IN ANAGRAFE ed i siti IN ANAGRAFE, nonché gli Stati Iter corrispondenti definiti dal REGIME NORMATIVO, dalla FASE e dalla SOTTOFASE in cui si trova il procedimento distinguendo per colore.

Intrusione salina

Il problema dell'intrusione marina è un fenomeno più o meno caratteristico di tutte le pianure costiere. La presenza di un cuneo salino dipende da alcune condizioni, fra cui è indispensabile quella dell'esistenza di un collegamento diretto o indiretto (tramite un livello permeabile) con l'acqua di mare. Nella zona costiera del territorio comunale pisano, l'acquifero freatico e quello artesiano coincidono e sono separati, per mezzo di un livello a permeabilità relativa notevolmente inferiore, dal sottostante acquifero in ghiaia. Nella zona sud-occidentale, quest'ultimo orizzonte acquifero tende a risalire (*Fancelli et al., 1986*) e a stabilire un collegamento idraulico con le sabbie del fondo marino.

Gli unici dati ad oggi disponibili sono quelli ricavati dalla banca dati dell'Autorità di bacino distrettuale, che ha fornito i perimetri delle classi (shp file) riportati in Tav. QG.06, aggiornati al 2018.

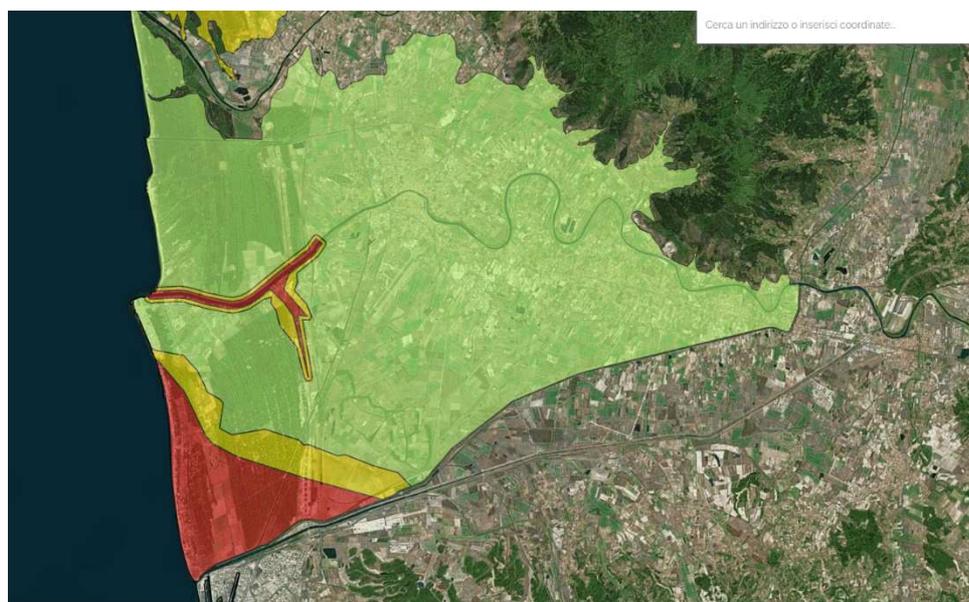


Fig. 7.1 Zonazione dell'intrusione salina nei corpi idrici sotterranei
(corpo idrico del Valdarno inferiore e Piana costiera pisana)
da Autorità di bacino distrettuale

Il fenomeno dell'intrusione del cuneo salino nei corpi idrici sotterranei è uno dei parametri che la DQA 2000/60/CE considera per la determinazione del loro stato quantitativo. In motivo di ciò alcuni corpi idrici costieri sono stati classificati nel Piano di Gestione delle Acque Distretto Appennino Settentrionale in Stato Quantitativo "SCADENTE" per intrusione salina.

Tale fenomeno è sempre accompagnato da elevate pressioni (prelievi) e problemi di bilancio idrico in quanto gli emungimenti di acqua dolce dalle falde sotterranee in prossimità della costa, accompagnate a diminuzione degli apporti idrici per deficit delle piogge, producono un abbassamento progressivo della superficie piezometrica e quindi una maggiore propensione all'intrusione del cuneo salino nelle aree costiere.

L'intrusione salina è uno dei parametri considerati nella classificazione dei corpi idrici in stato quantitativo scarso per intrusione salina e nella valutazione dell'impatto dei prelievi come parametro di effetto indiretto del prelievo, come stabilito nella Deliberazione n. 3 del 14 dicembre 2017, recante «Adozione della "Direttiva per la valutazione ambientale ex ante delle derivazioni idriche in relazione agli obiettivi di qualità ambientale definiti dal Piano di gestione del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale (Direttiva derivazioni)»

Per consentire l'applicazione di tali valutazioni, l'Autorità di bacino ha provveduto del corso del 2018 ad effettuare una prima perimetrazione delle aree a diversa pericolosità da intrusione salina dei corpi idrici sotterranei costieri, producendo una cartografia specifica. Tali aree sono state così definite:

	IS 1	IS 2	IS 3
classe	Intrusione salina accertata	Non c'è intrusione salina al momento, ma l'area è suscettibile di intrusione	Non c'è intrusione salina e l'area non è suscettibile, ma l'insieme dei prelievi può impoverire il flusso di acqua dolce verso la costa (zone distali degli acquiferi)
	IMPATTO ALTO	IMPATTO MODERATO	IMPATTO LIEVE

Tab.7.1 Classi di intrusione salina , da Piano di Bacino

La classificazione è stata fatta sulla base di dati e studi esistenti. Alcuni in particolare derivano dal quadro conoscitivo delle ex Autorità di Bacino regionali, che è stato acquisito e fatto proprio dal Distretto Appennino Settentrionale.

AREE IS1 - Le aree identificate a manifesta intrusione salina (IS1) sono quelle già impattate dal fenomeno, come risulta da studi specifici, sostanzialmente basati su analisi chimiche. Per tale delimitazioni sono state quindi utilizzate misure geochimiche, di conducibilità elettrica, nonché analisi isotopiche laddove disponibili, arrivando a circoscrivere l'area considerata a ingressione salina in atto. In alcuni casi tali delimitazioni sono già presenti in atti pianificatori di livello comunale o nel Piano di Tutela regionali. Nei casi in cui erano disponibili solo dati puntuali il criterio utilizzato è stato quello di considerare come delimitazione dell'area i punti medi delle congiungenti punti di accertata salinizzazione con punti di accertata assenza di salinizzazione. In ogni caso, soprattutto nei casi in cui i dati sono meno recenti, si è cercato di confermare il livello di confidenza della perimetrazione con altri dati o chimici, oppure basandosi sulla presenza di aree con depressioni piezometriche sotto lo zero. Le

IS1 interessano, i corpi idrici classificati, nel Piano di Gestione, in stato quantitativo non buono per intrusione salina; in alcuni casi si il fenomeno interessa anche corpi idrici classificati in stato buono; per i quali l'insieme di pressioni dovute a prelievi e l'intrusione salina non è tale da determinare uno stato scarso quantitativo, ma ci sono, all'interno del corpo idrico, alcune aree nelle quali il fenomeno è manifesto e tale da ritenere necessario applicare delle salvaguardie.

AREE IS2 - Nelle aree IS2 sono state inserite quelle porzioni di corpo idrico, prospicienti alle IS1, che al momento non risultano interessate da ingresso di acqua marina, ma che sono suscettibili di intrusione; generalmente tali aree sono interessate da prelievi che determinano depressioni piezometriche che potrebbero richiamare acqua salata dalle prospicienti IS1 o direttamente dal mare. Queste sono state perimetrare con un buffer rispetto alle IS1 considerando anche il flusso idrico evidenziato dalle piezometrie disponibili, ovvero cercando di valutare fin dove potrebbe arrivare l'ingressione del cuneo salino. Prelievi ingenti in tali aree potrebbero aggravare l'ingressione nelle IS1 interrompendo il flusso di acqua dolce verso il mare. In classe IS2 sono posti anche porzioni di corpi idrici rocciosi, ritenuti, per la loro posizione suscettibili di intrusioni.

AREE IS3 - aree più distali dalla costa e quindi non suscettibili di ingressione; tali aree di fatto sono da considerarsi aree di alimentazione, ovvero il flusso idrico ha andamento dai rilievi alla costa, nelle quali i prelievi possono impoverire il flusso di acqua dolce verso il mare e diminuire il contrasto al cuneo salino. Per i corpi idrici classificati T3 è stata perimetrata in questa classe tutta l'area del corpo idrico non classificata come IS1 o IS2. Per difficoltà di lettura della tavola non si è riportata la classe I3 che comunque deve essere considerata per tutta l'estensione dei due comuni.

Nei casi di valutazione dell'impatto dei prelievi nelle aree perimetrare è opportuno, al di là della zonazione, che venga considerato necessario anche uno studio idrogeologico di dettaglio, alla scala dell'area del singolo prelievo, che possa fornire informazioni aggiornate e ad una risoluzione spaziale maggiore.

Il lavoro svolto è da considerarsi una prima individuazione delle aree a diversa pericolosità da intrusione salina; dopo una necessaria fase di sperimentazione della zonazione ed eventuale revisione, sarà necessario mettere in atto azioni volte alla maggiore comprensione del problema e al suo controllo, come indicato dagli indirizzi dei piani di bacino:

- potenziamento di una rete di monitoraggio da hoc per il controllo dell'ingressione salina, attraverso specifici punti di controllo attrezzati con sonde multi-parametriche, anche in previsione della apposizione di soglie di conducibilità oltre le quali far scattare divieti o limitazioni al prelievo;
- campagne di indagine specifiche in aree poco conosciute o con problemi ingenti di intrusione salina;
- implementazione di modelli di flusso e trasporto a densità variabile, al fine di effettuare scenari previsionali e di fornire uno strumento di supporto alle decisioni.

7.2.1 Studi recenti sul corpo idrico del Valdarno inferiore e piana costiera pisana

Il corpo idrico principale che interessa i territori comunali di Pisa e Cascina, pur non essendo stato classificato in stato Non Buono per intrusione salina, presenta localmente delle intrusioni significative, tanto che una prima zonazione è inserita nel Piano stralcio Bilancio Idrico del bacino del Fiume Arno, che contiene specifiche misure. Sono stati svolti studi di dettaglio, in particolare sull'area del Parco Migliarino San Rossore, che hanno portato recentemente a nuovi dati (*Studio del fenomeno dell'intrusione marina nella falda confinata in ghiaie e dei rapporti tra sistema freatico e confinato nell'area del Parco MSRM compresa tra Fiume Arno e Canale Scolmatore* - Istituto di Geoscienze e Georisorse - CNR e Dipartimento di Scienze della Terra- Pisa). Sulla base di questi dati è stata aggiornata la zonazione dell'intrusione salina, attualmente perimetrata. Le aree IS1 sono state ricavate unendo i punti salinizzati più interni. In aggiunta l'area a salinizzazione dall'Arno ha un buffer di 150 m dalla linea mediana del corso d'acqua. Le IS2 sono ricavate unendo i punti medi delle congiungenti i punti salinizzati con quelli non salinizzati più vicini.

Per valutare la criticità della risorsa si fa riferimento ai recenti studi e ai *“Principali risultati delle indagini idrogeologiche ed idrogeochimiche volte alla conoscenza dello stato di salinizzazione dell'acquifero confinato in ghiaie sulla fascia costiera pisana”* (MARCO DOVERI & ROBERTO GIANNACCHINI Istituto di Geoscienze e Georisorse-CNR e Dipartimento di Scienze della Terra, Pisa) cui si fa diretto riferimento quale materiale conoscitivo di recente acquisizione, fornito dai redattori, per le finalità della redazione del quadro conoscitivo di supporto al PSI, riassunto di seguito.

La fascia costiera pisana, così come gran parte delle aree costiere antropizzate, è esposta al rischio di deterioramento delle acque di falda, conseguenza di numerose attività idroesigenti presenti sul territorio, come già evidenziato tra gli altri da BALDACCI *et al.* (1994), ROSSI & SPANDRE (1994), GRASSI & CORTECCI (2005). In quest'area, il sistema acquifero multistrato che contraddistingue tutta la piana di Pisa (BALDACCI *et al.*, 1994; BALDACCI, 1999) è caratterizzato prevalentemente da orizzonti sabbiosi e ghiaiosi, disposti su più livelli e separati, più o meno continuativamente, da depositi scarsamente permeabili o impermeabili (limi, limi argillosi, argille).

Il principale effetto del sovrasfruttamento delle falde acquifere in zona costiera è legato essenzialmente alla salinizzazione delle acque, in seguito dell'avanzamento del cuneo salino in acquifero. Infatti, l'equilibrio (dinamico) tra acqua dolce e acqua salata che si instaura negli acquiferi costieri dipende dalla pressione dell'acqua dolce che, a sua volta, è legata alla ricarica naturale (pioggia) e ai prelievi antropici (emungimenti).

In realtà, la salinizzazione delle falde acquifere, soprattutto quelle superficiali, può avvenire anche per veicolazione dell'acqua di mare attraverso la risalita di corsi d'acqua con modesto gradiente idraulico e in comunicazione diretta con la falda (nella zona sono presenti ad esempio il Fiume Arno, il Canale Scolmatore, il Canale Lamone, il Canale dei Navicelli).

Al fine di indagare il fenomeno dell'intrusione marina nell'area costiera pisana e di comprendere i meccanismi di miscelazione tra acqua dolce e acqua di mare, è stato avviato uno studio specifico, co-finanziato dal Parco di Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli. L'area rientra nel Parco stesso e comprende alcune zone di elevato pregio ambientale, particolarmente vulnerabili al fenomeno in

oggetto. Il progetto consiste in uno studio multidisciplinare realizzato mediante approcci idrogeologici e chimico-isotopici.

Questo rapporto racchiude una sintesi degli studi effettuati, alcuni dei quali tuttora in corso, con riferimento alla zona compresa tra il Fiume Arno e il Canale Scolmatore (fig. 7.2), per i cui approfondimenti si vedano DOVERI *et al.* (2010) e BUTTERI *et al.* (in stampa).

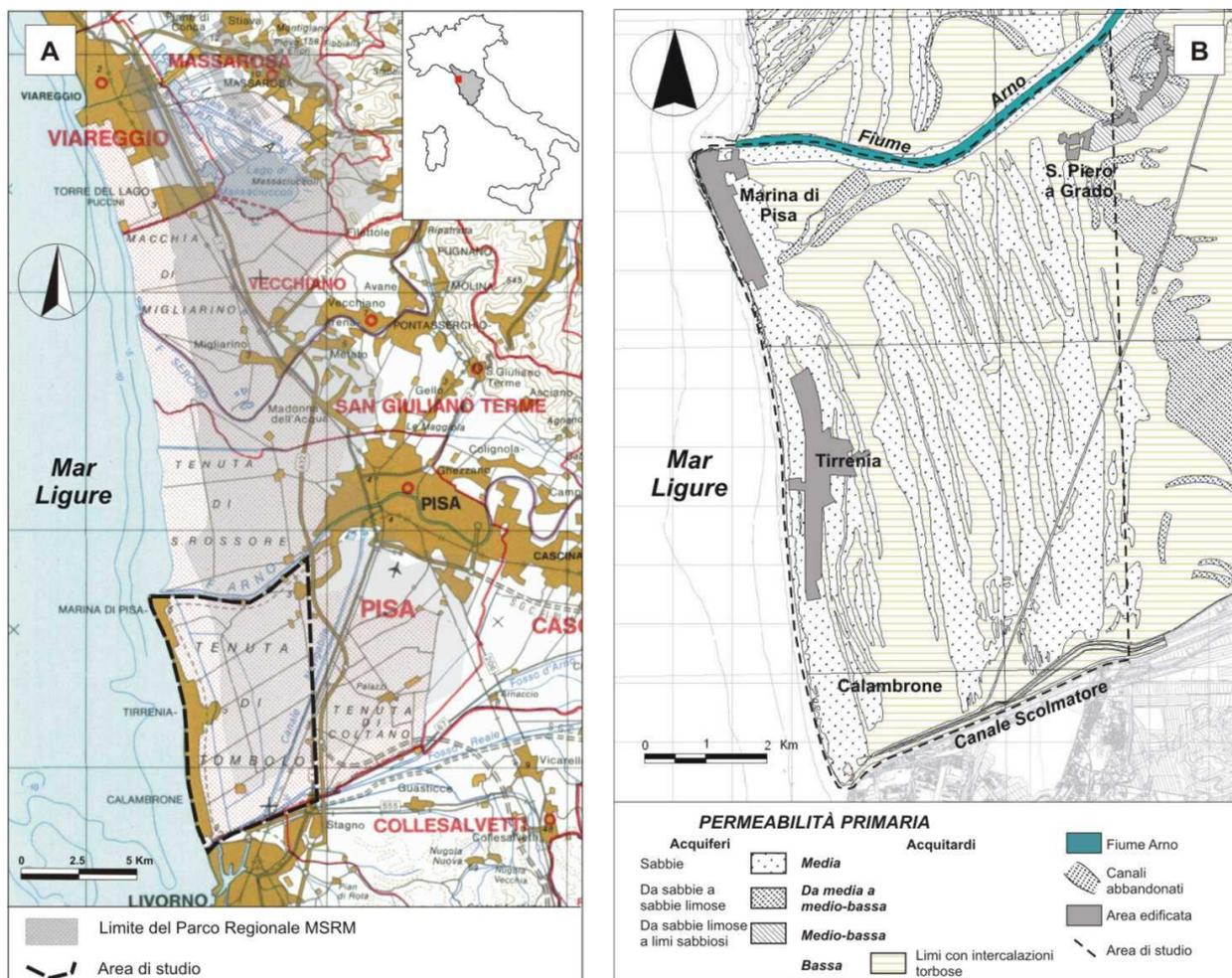


Fig. 7.2 A) inquadramento dell'area di studio. B) Carta della permeabilità dei terreni affioranti derivata dalla Carta Geologica della Provincia di Pisa.

METODOLOGIA D'INDAGINE

La stato di salinizzazione del primo acquifero confinato in ghiaie è stato indagato per mezzo di correlazioni idrostratigrafiche, per la comprensione della disposizione e della geometria di acquiferi e acquicludi, e acquisizione (in pozzi, piezometri e corsi d'acqua) dei dati relativi a profondità della falda, proprietà chimico-fisiche, dati chimici (principali anioni e cationi e bromo) e isotopici (rapporti $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^2\text{H}/^1\text{H}$). L'acquisizione di tali dati è stata generalmente effettuata sia in condizioni di magra che di morbida della falda, in modo da analizzare il fenomeno in situazioni diverse di ricarica/emungimenti.

Al fine di identificare l'acquifero in studio, sono state ricostruite molteplici sezioni idrostratigrafiche, attribuendo ai principali livelli litologici individuati un grado di permeabilità sulla base di prove di pompaggio, caratteristiche granulometriche e precedenti classificazioni di BALDACC *et al.* (1994). Inoltre, sono stati acquisiti i livelli piezometrici, temperatura, conducibilità elettrica, pH e alcalinità dell'acqua.

Infine, sono stati prelevati campioni di acqua sui quali è stato determinato in laboratorio il contenuto in Cl^- , SO_4^{2-} , Br^- , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e sono stati analizzati i rapporti isotopici $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ and $\delta^2\text{H}\text{‰}$. L'utilità di questi ultimi si riscontra nel fatto che, a condizioni termiche normali, il contenuto isotopico non è influenzato dai processi chimico-fisici che avvengono tra acqua e acquifero, preservando così le informazioni di origine dell'acqua di infiltrazione e quindi sull'altitudine della pioggia che alimenta l'acquifero; inoltre, tali isotopi contribuiscono a discriminare se l'origine della salinità di un'acqua è riferibile o meno a miscelazione con acqua di mare.

RISULTATI

L'elaborazione di molteplici informazioni stratigrafiche dell'area costiera compresa tra F. Arno e C. Scolmatore, di cui è riportato un esempio in fig. 18, ha evidenziato che il principale acquifero confinato in ghiaie (spesso circa 10 m) si trova ad una profondità da piano campagna di circa 50 m nella porzione sud dell'area e di circa 100 m in quella a nord. Sono presenti anche livelli ghiaiosi più o meno continui a profondità inferiori, che possono localmente essere in connessione idraulica con l'acquifero sabbioso superficiale, in particolare laddove argille e limi argillosi non sono presenti o hanno un modesto spessore.

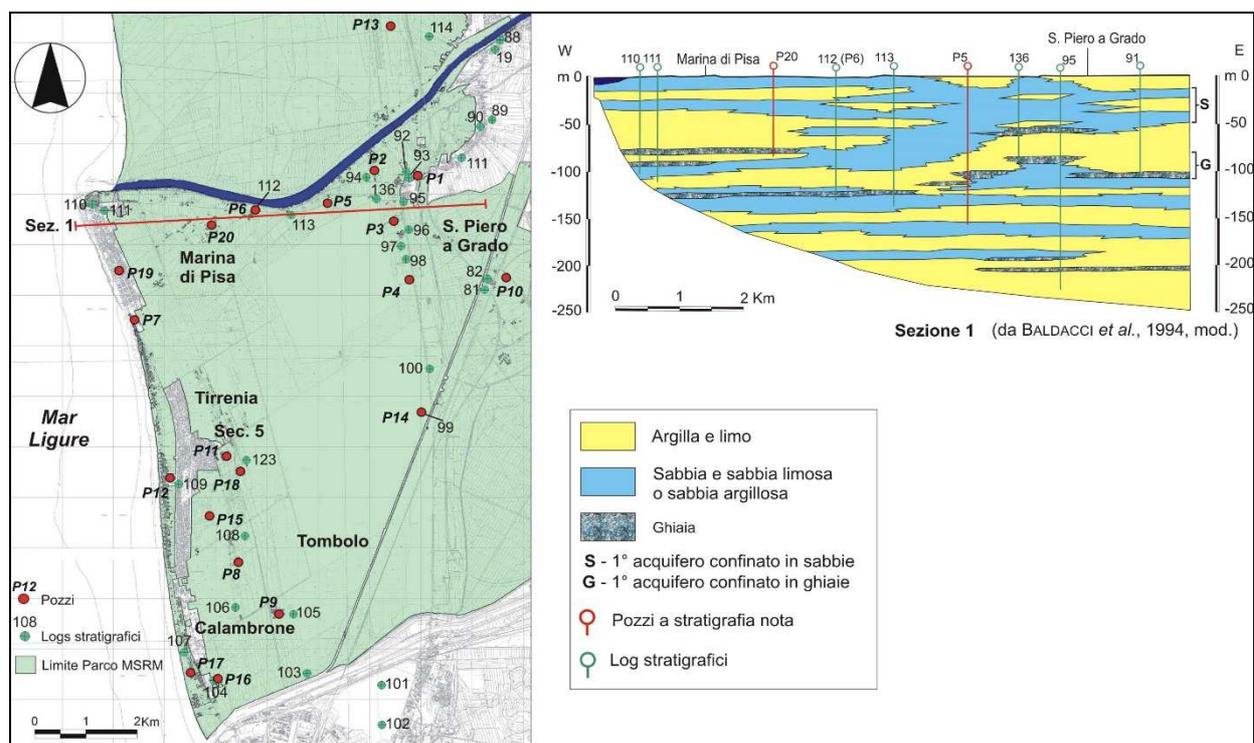


Fig. 7.3 Sezione stratigrafica dell'area compresa tra Marina di Pisa e San Piero a Grado (da Baldacci et al., 1994, modificata)

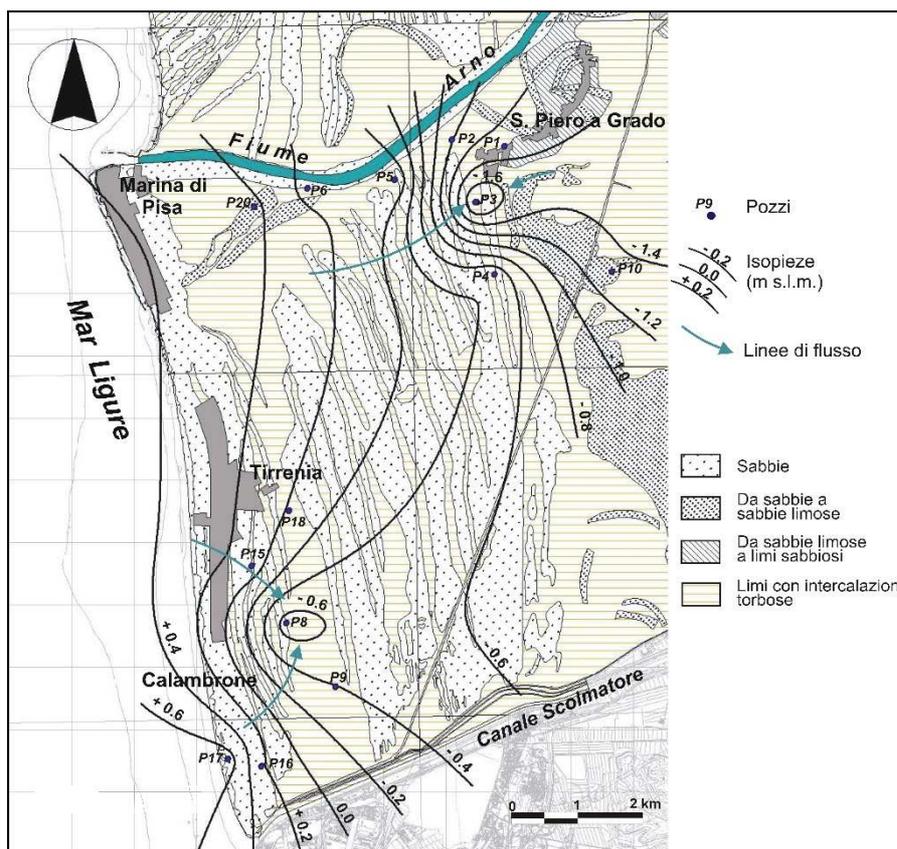


Fig. 7.4 Carta schematica delle isopieze dell'acquifero confinato in ghiaie tra F. Arno e C. Scolmatore (aprile 2009)

Il sovrasfruttamento dell'acquifero ghiaioso determina valori al di sotto del livello del mare in gran parte dell'area indagata (fig. 7.4). Due locali e più accentuati bassi piezometrici si rinvencono a S. Piero a Grado e a Calambrone, dove sono presenti attività agricole, nonché campi da golf (a Calambrone). Nelle acque prelevate nei pozzi di queste zone sono stati registrati elevati valori di conducibilità elettrica EC (7.000 e 6.460 $\mu\text{s}/\text{cm}$, rispettivamente). Ad ogni modo, EC elevata (spesso superiore a 3.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) è generalmente osservabile in tutti i pozzi prossimi alla linea di costa, con tendenza ad un incremento verso sud. Ad eccezione dei pozzi P2, P3 e P4 (S. Piero), quasi tutte le acque campionate nei pozzi più interni rispetto alla costa denotano valori di EC relativamente bassi (spesso inferiori a 2.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Il valore massimo (18.500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) è stato registrato per le acque del F. Arno nei pressi del letto (-4 m dalla superficie dell'acqua).

I dati chimici mostrano che fino a valori medi di TDS (solidi totali disciolti) la salinità è regolata essenzialmente da HCO_3 e talvolta da SO_4 , mentre TDS elevati dipendono principalmente dal contenuto in Cl.

In sintesi, la composizione chimica dell'acqua mostra che in quest'area l'acquifero confinato in ghiaie è caratterizzato da una circolazione di acqua a contenuto $\text{Ca}/\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ prevalente, che evolve verso una composizione Na-Cl. Campioni con alti valori di Cl denotano rapporti Na/Cl e Br/Cl comparabili con quelli dell'acqua di mare (fig. 7.5 a). Per quanto riguarda il contenuto isotopico, la maggior parte delle acque campionate presenta valori di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e di intorno a -6,5/-6,8 e -37/-40, rispettivamente. Tali valori sono tipici di acque circolanti nell'acquifero confinato in ghiaie della porzione più interna della pianura di Pisa (GRASSI & CORTECCI, 2005) e sono rappresentativi di quote di ricarica maggiori rispetto a quelle della

piana. Per alcuni campioni, è tuttavia possibile notare uno spostamento nei rapporti isotopici $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e $\delta^2\text{H}\text{‰}$ verso valori superiori, comportamento particolarmente evidente per le acque superficiali campionate nell'Arno. Confrontando i tenori di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e Cl (fig. 7.5), si osserva che i campioni con valori più alti di tali parametri appartengono, in alcuni casi, alla curva di miscelazione tra le acque dell'acquifero in ghiaie e l'acqua di mare, mentre in altri casi sono prossimi alla curva di miscelazione tra le acque dell'acquifero sabbioso superficiale e l'acqua di mare.

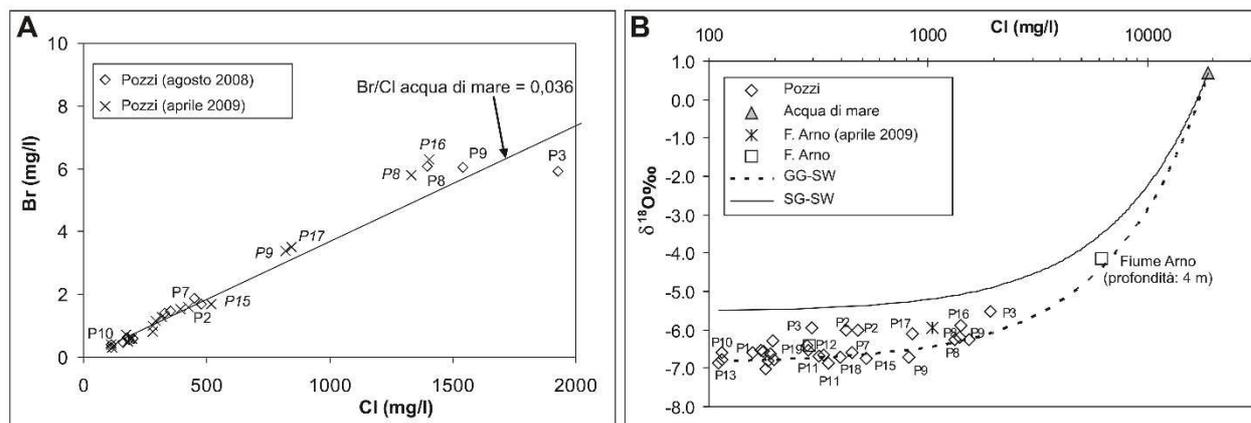


Fig. 7.5 A) Diagramma binario Br vs. Cl. B) Diagramma binario $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ vs. Cl (GG-SW: curva di miscelazione acquifero in ghiaie-acqua di mare; SG-SW: curva di miscelazione acquifero in sabbie-acqua di mare)

CONCLUSIONI

Nell'area indagata i livelli piezometrici si trovano sovente al di sotto del livello del mare, denunciando quindi un eccessivo sfruttamento delle risorse acquifere, principalmente riconducibile ad attività turistiche, agricole e sportive. Insieme alla necessaria comprensione del modello geologico e idrogeologico di sottosuolo, l'utilizzo dell'approccio chimico-isotopico ha permesso di accertare fenomeni di intrusione marina direttamente collegati alle condizioni piezometriche delle aree indagate e i meccanismi con i quali si attuano.

La presenza di acqua di mare nell'acquifero confinato in ghiaie della zona compresa tra F. Arno e C. Scolmatore è stata documentata nella misura massima di circa 7-9%. I principali problemi in merito sono stati riscontrati in due aree (S. Piero a Grado e Calambrone), dove consistenti emungimenti deprimono la superficie piezometrica al di sotto del livello del mare. Per la zona di Calambrone, situata nella parte meridionale a circa 2 km dalla costa, le analisi chimico-isotopiche indicano chiaramente un fenomeno di intrusione marina diretta nell'acquifero in ghiaie. Per la zona di S. Piero, prossima al F. Arno e distante circa 6 km dalla costa, il contenuto isotopico può essere giustificato solo ammettendo una miscelazione con acqua di mare proveniente dal "sistema Arno-acquifero superficiale sabbioso" che, in questa area, è presumibilmente in connessione idraulica con l'acquifero in ghiaie, per mancanza di continuità dei livelli impermeabili che normalmente li separano nella piana di Pisa.

7.3 – Rete di monitoraggio comunale

Al fine di esaminare la morfologia e l'evoluzione della superficie piezometrica della falda freatica nella fascia costiera pisana compresa tra il Fiume Arno e il Canale Scolmatore, è stata installata una rete piezometrica da parte dell'amministrazione, i cui punti di controllo sono riportati in Tav. QG05.

Sono state effettuate una serie di indagini piezometriche su diversi punti d'acqua. I livelli freatici sono stati misurati mediante freatimetro OTT-KL010 di proprietà del Comune di Pisa, con rilevamento della soggiacenza (ovvero del dislivello tra bocca-pozzo e livello di falda) e restituiti in quota assoluta rispetto a livello del mare nota la quota topografica assoluta di ciascun bocca-pozzo; quest'ultima è stata ottenuta attraverso una specifica campagna di misure topografiche (GPS) realizzata dal Comune di Pisa. Come si vedrà meglio in seguito, contestualmente alle misure piezometriche, in alcuni periodi sono stati raccolti su ogni piezometro anche dati relativi alla conducibilità elettrica dell'acqua di falda, al fine di stimarne la salinità.

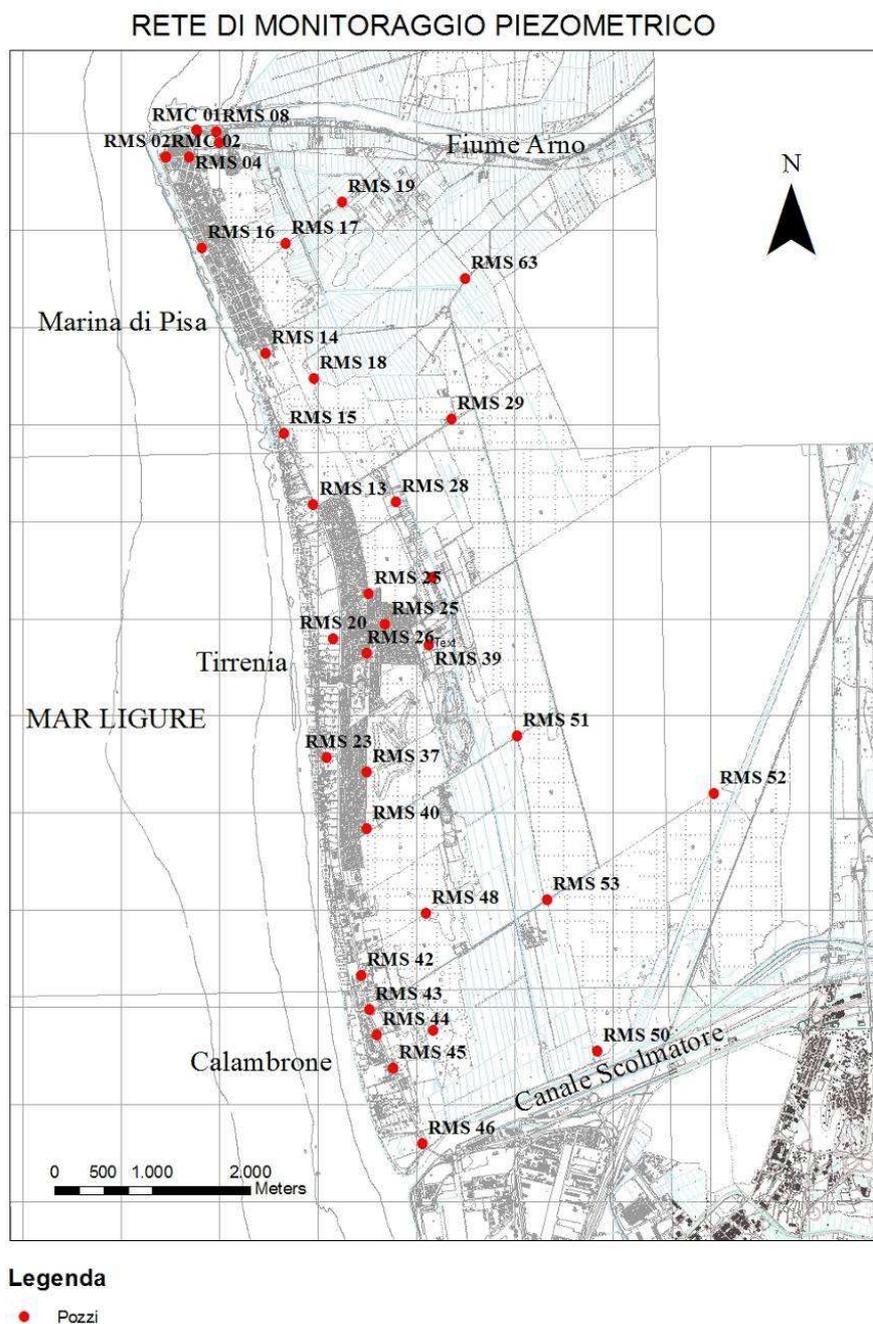


Fig. 7.6 Rete di monitoraggio piezometrico

Le misure piezometriche sono state effettuate mensilmente nel periodo compreso tra aprile e settembre 2009, comprendente quindi il periodo che, normalmente, va dalla situazione di morbida della falda (aprile-maggio), fino a quella di minima (agosto-settembre) e quindi in grado di illustrare efficacemente caratteristiche e criticità dell'evoluzione della falda freatica per buona parte del 2009.

I punti d'acqua sono stati individuati sulla base della banca dati messa a disposizione del Comune di Pisa e di precedenti indagini effettuate sulla medesima area. Nel complesso sono stati utilizzati 37 piezometri, identificati in carta con la sigla RMS (piezometri per il controllo della falda freatica, della profondità massima di 15 m, 35 in totale) e RMC (piezometri per il controllo del primo acquifero confinato in sabbia, della profondità superiore a 30 m, 2 in totale), e con un numero progressivo. Questi ultimi, che si trovano nella località di Marina di Pisa, sono stati utilizzati perché in tale area il primo acquifero confinato in sabbie è direttamente collegato all'acquifero freatico. Nella carta di fig. 7.6 è riportata l'ubicazione dei piezometri utilizzati nell'indagine.

Nel dettaglio, l'area di studio nella zona di Marina di Pisa comprende 13 piezometri per il controllo della falda freatica e 2 piezometri per il controllo del primo acquifero confinato in sabbia; nella zona di Tirrenia sono invece presenti 13 piezometri per il controllo della falda freatica; infine, nell'area di Calambrone sono disponibili 9 piezometri per il controllo della falda freatica. Purtroppo, a causa di problemi logistici, non sempre è stato possibile effettuare misure in tutti i 37 piezometri.

Le campagne di misura sono state realizzate nei seguenti periodi:

- 1° campagna: 20-26 aprile 2009
- 2° campagna: 20-25 maggio 2009
- 3° campagna: 20-25 giugno 2009
- 4° campagna: 20-23 luglio 2009
- 5° campagna: 24-27 agosto 2009
- 6° campagna: 21-25 settembre 2009

Con i dati acquisiti è stato possibile realizzare sei carte piezometriche, una per ogni mese indagato. I dati piezometrici sono stati interpolati con il metodo classico della triangolazione (interpolazione lineare), ottenendo 6 carte, una per ciascun mese indagato. In virtù dei modesti gradienti idraulici, del resto tipici di aree pianeggianti, è stata scelta un'equidistanza pari a 0,25 metri.

Da un'analisi complessiva delle carte, si osserva un generale abbassamento della superficie piezometrica della falda freatica tra aprile e agosto 2009, come del resto è lecito attendersi in considerazione della consistente domanda idrica tardo-primaverile ed estiva (aziende agricole, turistiche, ecc.), e della modesta o assente ricarica da parte delle precipitazioni. In realtà, di norma, questo *trend* interessa anche il mese di settembre, allorché gli emungimenti permangono significativi, mentre le precipitazioni sono ancora di scarsa entità e non sufficienti a invertirne la tendenza. Tuttavia, il mese di settembre 2009 registra già un rialzo della superficie freatica, verosimilmente legato alle significative precipitazioni che si sono verificate in quel periodo (fig. 7.7) e che, in aggiunta, hanno anche fatto diminuire gli stessi pompaggi.

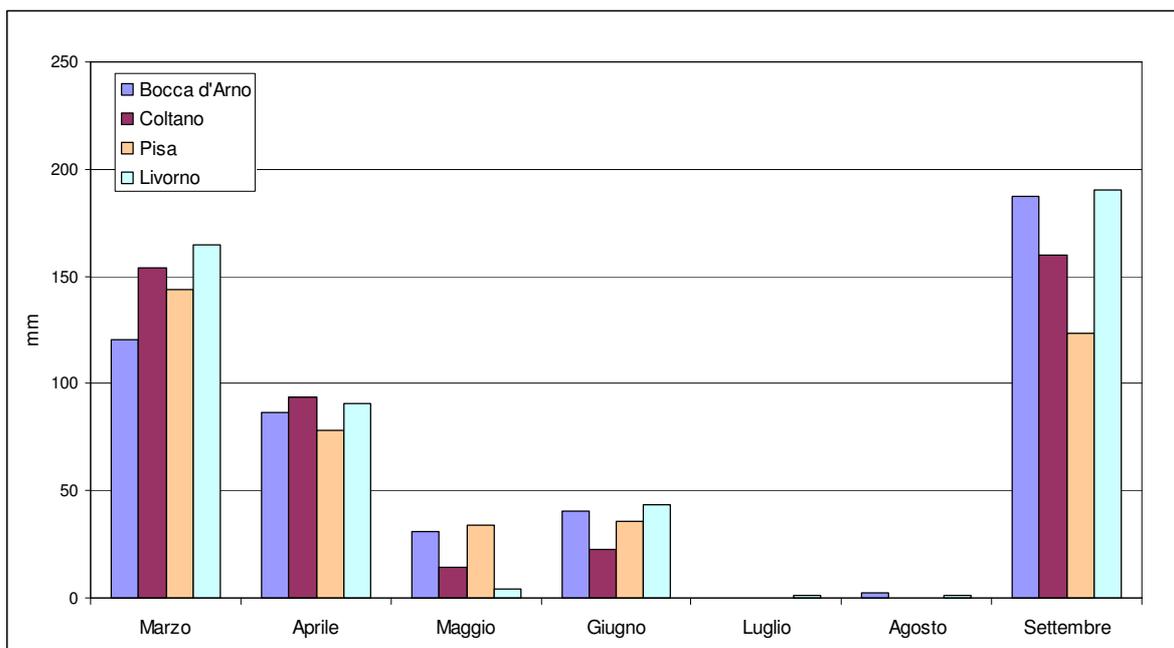


Fig. 7.7 Trend delle piogge nel periodo marzo-settembre 2009 alle stazioni pluviometriche di Bocca d'Arno, Coltano, Pisa e Livorno (dati: Centro Funzionale Regione Toscana).

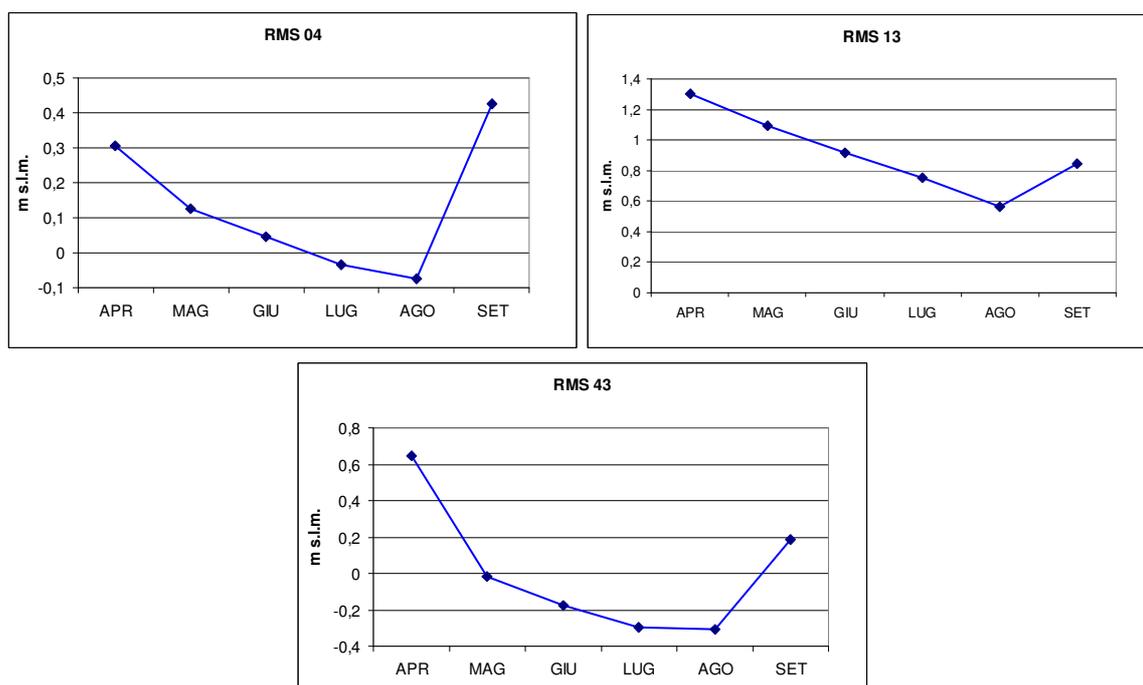


Fig. 7.8 Andamento piezometrico nel periodo aprile-settembre 2009 in alcuni piezometri posti nell'area di studio (RMS 04: Marina di Pisa; RMS 13: Tirrenia; RMS 43: Calambrone).

Nella fascia litoranea, questo trend in abbassamento della superficie freatica da aprile ad agosto, pur restando con valori positivi, è ascrivibile alla presenza delle molte strutture balneari, che si trovano nel periodo di maggiore afflusso turistico. Soprattutto nei mesi di giugno, luglio ed agosto, l'attività di tali

stabilimenti è molto intensa, attingendo dalla falda freatica in modo consistente per far fronte alle necessità idriche.

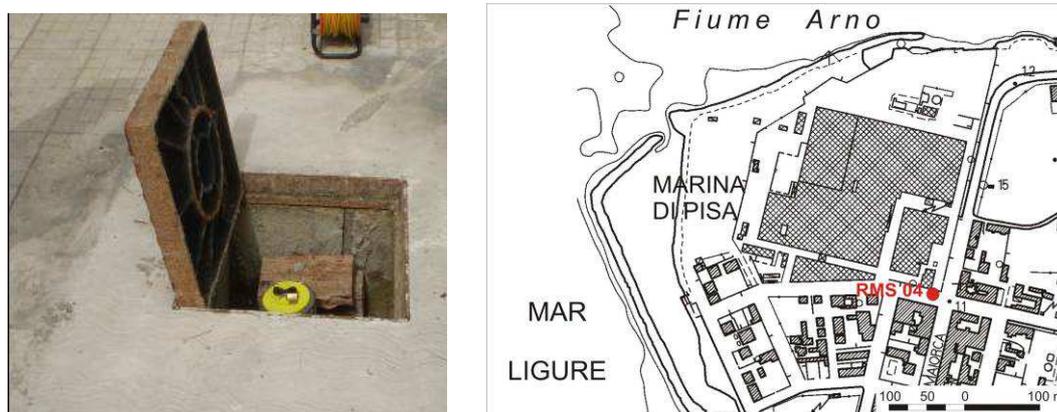


Fig. 7.9 Particolare e ubicazione in carta del piezometro RMS 04 a Marina di Pisa

In fig.7.8 sono riportati, a titolo esemplificativo, gli andamenti piezometrici in tre piezometri posti rispettivamente a Marina di Pisa (RMS 04), Tirrenia (RMS 13) e Calambrone (RMS 43), mentre in fig. 24 sono rappresentate la testa del piezometro RMS 04 e la sua ubicazione.

In tutte le carte piezometriche è possibile individuare una fascia in prossimità della zona costiera tra Tirrenia e Calambrone caratterizzata da alti piezometrici, con valori sempre superiori al livello del mare, da un massimo di oltre +1,25 m del mese di aprile (+1,36 al piezometro RMS 37 e +1,54 al piezometro RMS 25), ad un minimo di circa +0,25 m del mese di agosto (+0,47 m al piezometro RMS 40). Ciò è imputabile alla presenza della fascia di dune costiere, che, per quanto complessivamente smantellate dall'urbanizzazione e dalle attività antropiche, mantengono comunque deboli alti morfologici rispetto alle aree circostanti. La composizione granulometrica delle dune, caratterizzata da sabbie monogranulari prevalenti, conferisce una buona permeabilità e assicura la ricarica meteorica diretta della falda freatica, giustificandone la morfologia piezometrica. Pressoché in tutte le altre aree coperte dai rilievi piezometrici, la superficie freatica si trova quasi sempre al di sotto del livello del mare, con minimi più pronunciati nei mesi di agosto e settembre, specialmente nell'entroterra dell'area compresa tra Tirrenia e Calambrone, dove si presenta oltre -1,75 m s.l.m. (-1,76 al piezometro RMS 53).

Anche nella zona di Marina di Pisa la superficie freatica staziona sempre al di sotto del livello del mare, con isopieze decrescenti verso l'entroterra, fino a toccare oltre -1,50 m s.l.m. (-1,68 al piezometro RMS 63) nel mese di agosto. In questa zona l'andamento delle isopieze mostra, in tutti i periodi monitorati, un marcato richiamo delle acque verso l'entroterra, ovvero verso la zona di San Piero a Grado, come osservato anche da BUTTERI *et alii* (in stampa). Questa area è verosimilmente interessata da emungimenti piuttosto importanti, generalmente attestati al livello delle ghiaie. Essendo però in probabile connessione idraulica con le sabbie sovrastanti, di tali emungimenti ne risentirebbe anche la superficie freatica. Nella zona di Marina di Pisa, è presente anche un sistema idrovoro, che ha il compito di mantenere un certo livello di base delle acque nella rete di drenaggio ad esso collegata; in particolare, l'idrovora pompa le acque del Canale Nuovo Lamone e le rigetta in Arno, mantenendo un livello delle acque tale da evitare che la zona si allaghi.

Nelle figure seguenti (figg. 7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15) sono riportate rispettivamente le carte piezometriche relative ai mesi di controllo della falda (aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre 2009).

CARTA PIEZOMETRICA - APRILE 2009

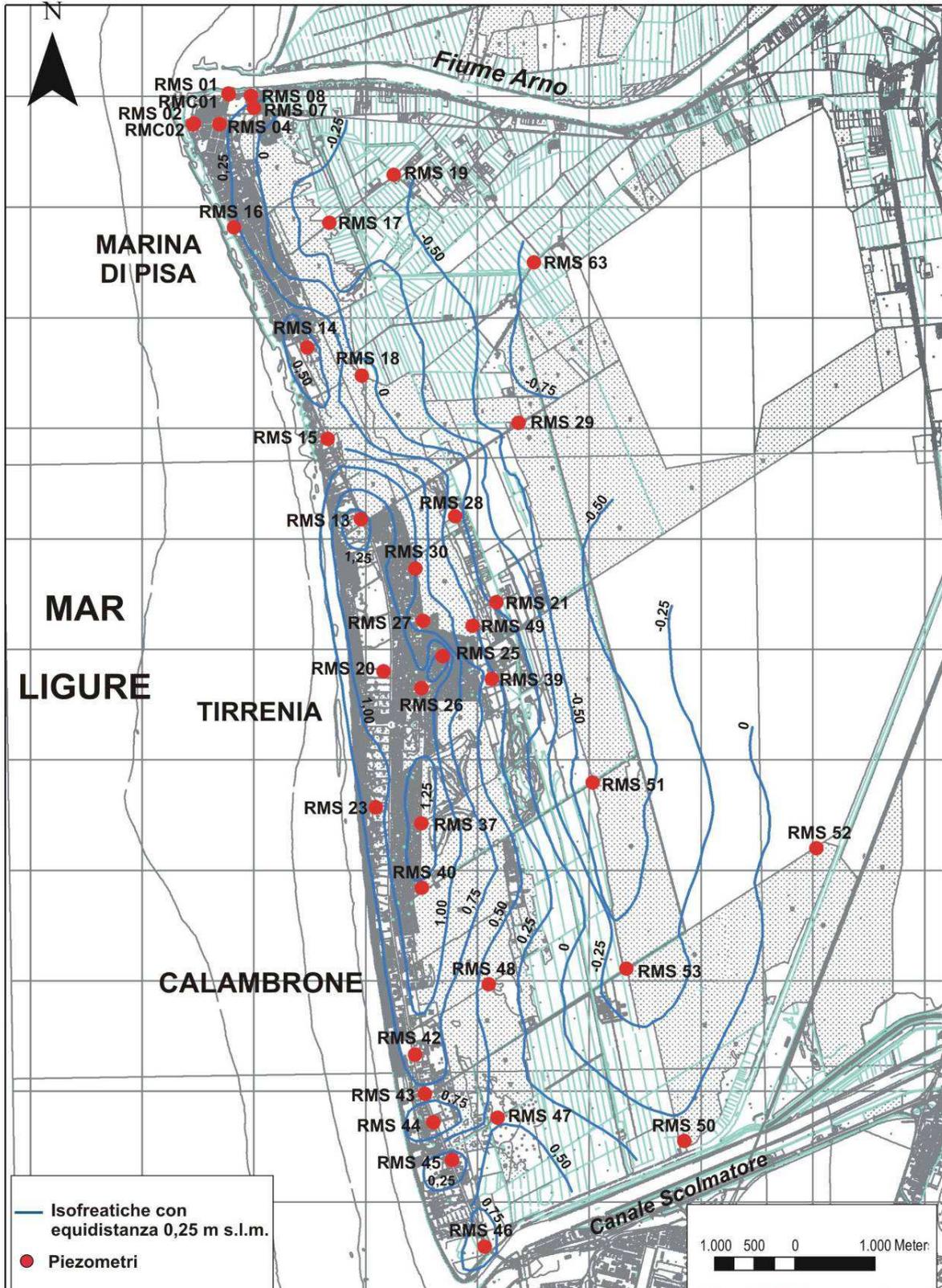


Fig. 7.10 Carta delle isofreatiche dell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore

del mese di aprile 2009.
CARTA PIEZOMETRICA - MAGGIO 2009

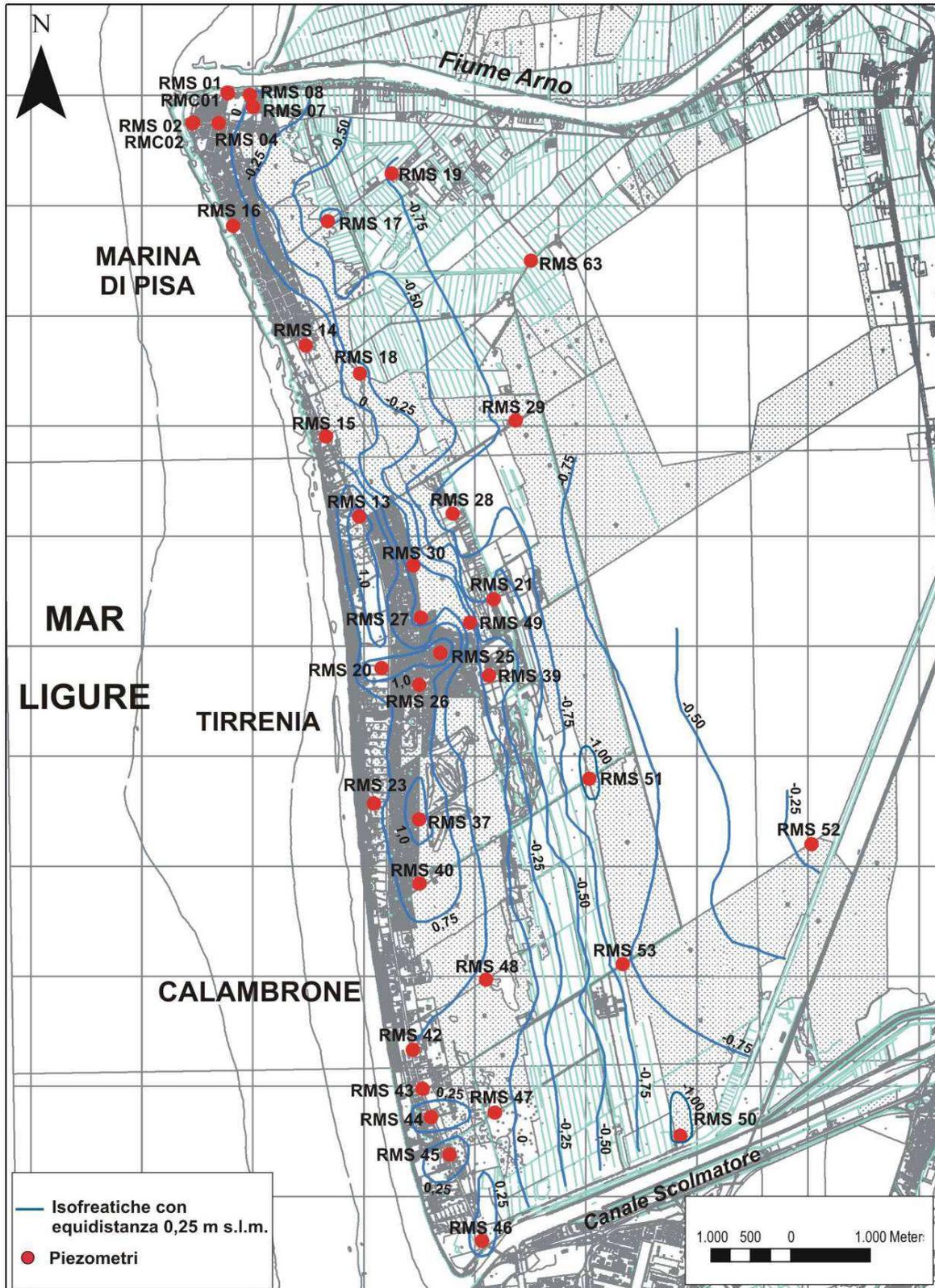


Fig. 7.11 Carta delle isofreatiche dell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore del mese di maggio 2009.

CARTA PIEZOMETRICA - GIUGNO 2009

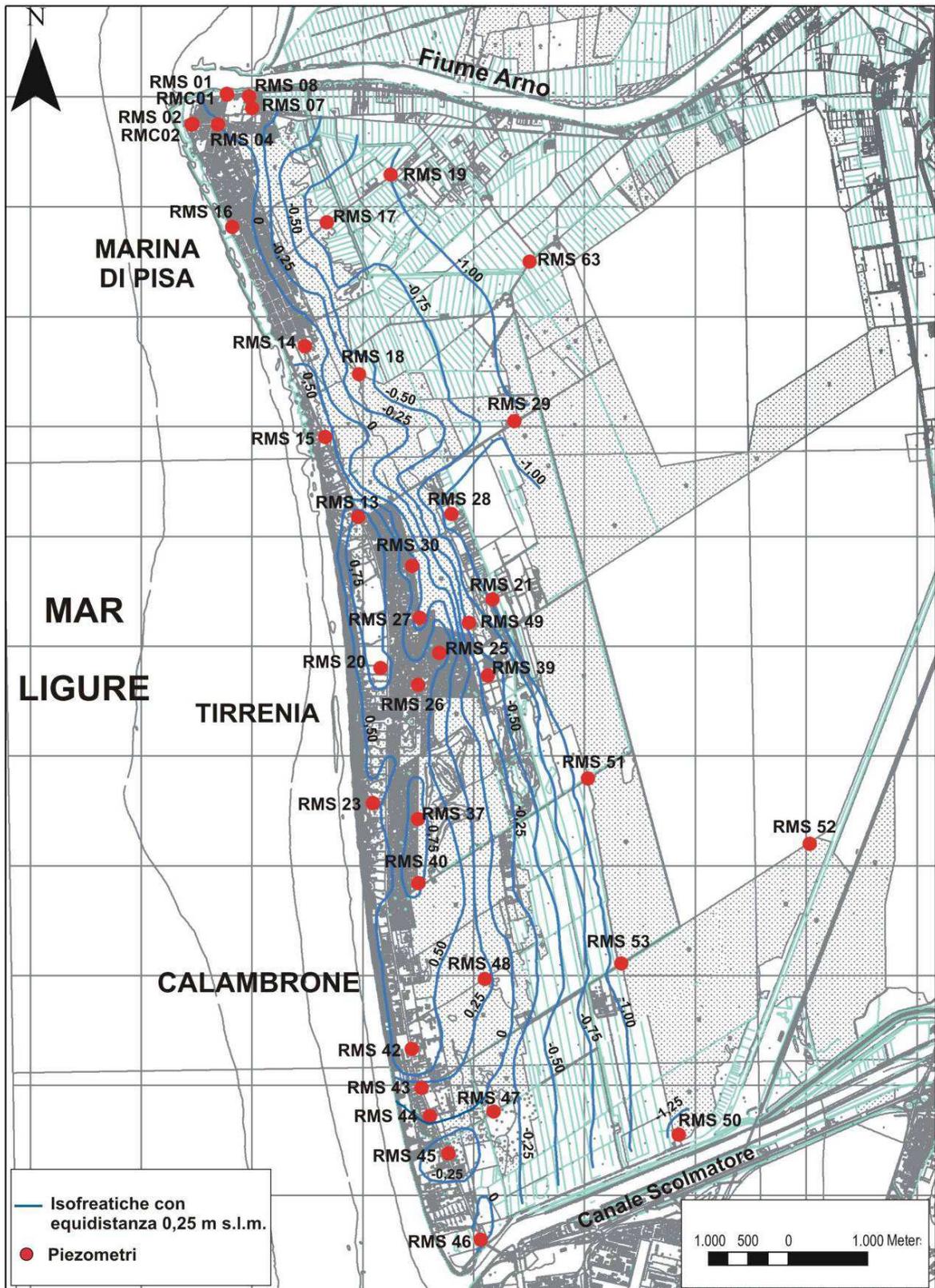


Fig. 7.12 Carta delle isofreatiche dell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore del mese di giugno 2009

CARTA PIEZOMETRICA - LUGLIO 2009

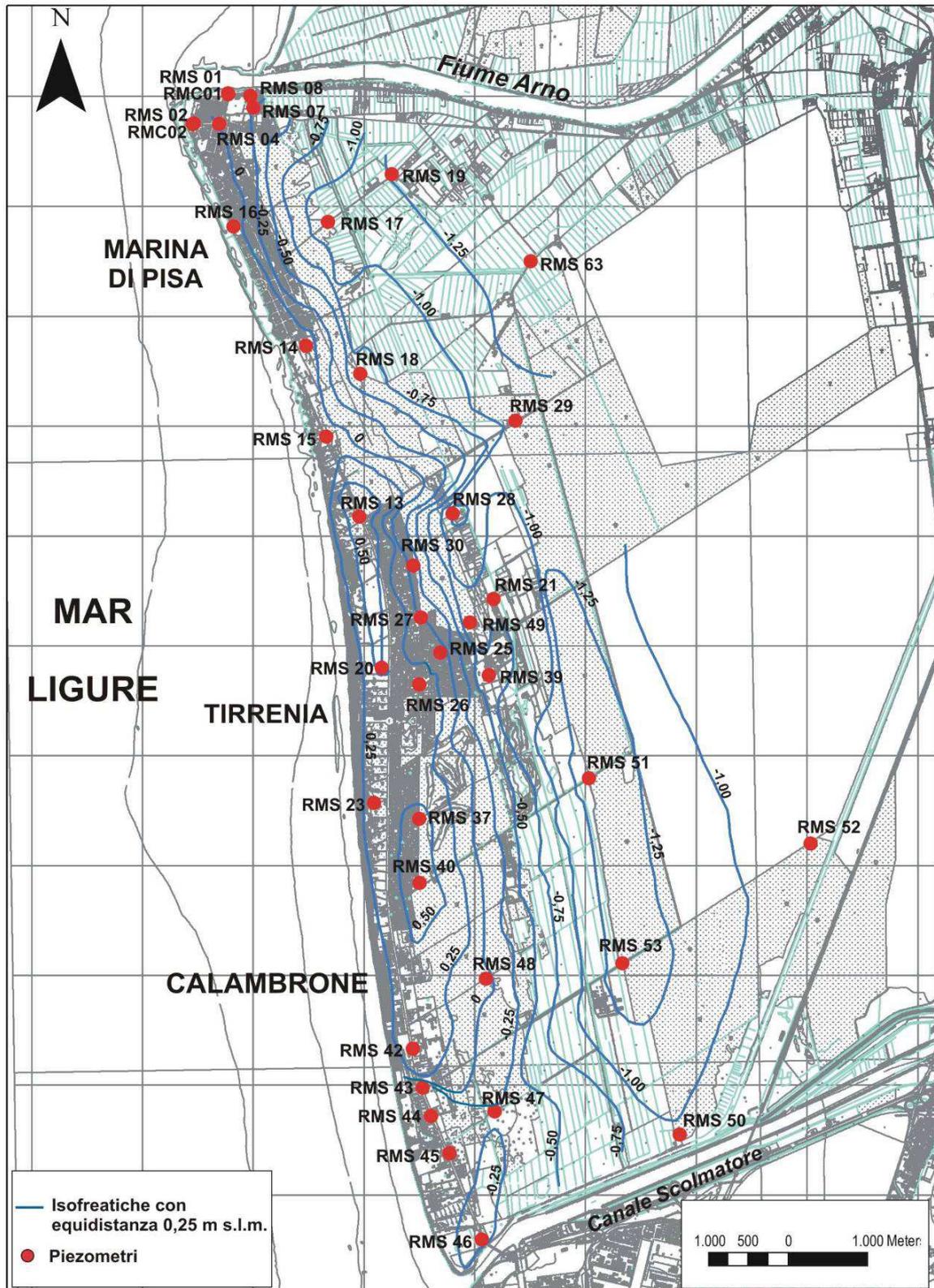


Fig. 7.13 Carta delle isofreatiche dell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore del mese di luglio 2009

CARTA PIEZOMETRICA - AGOSTO 2009

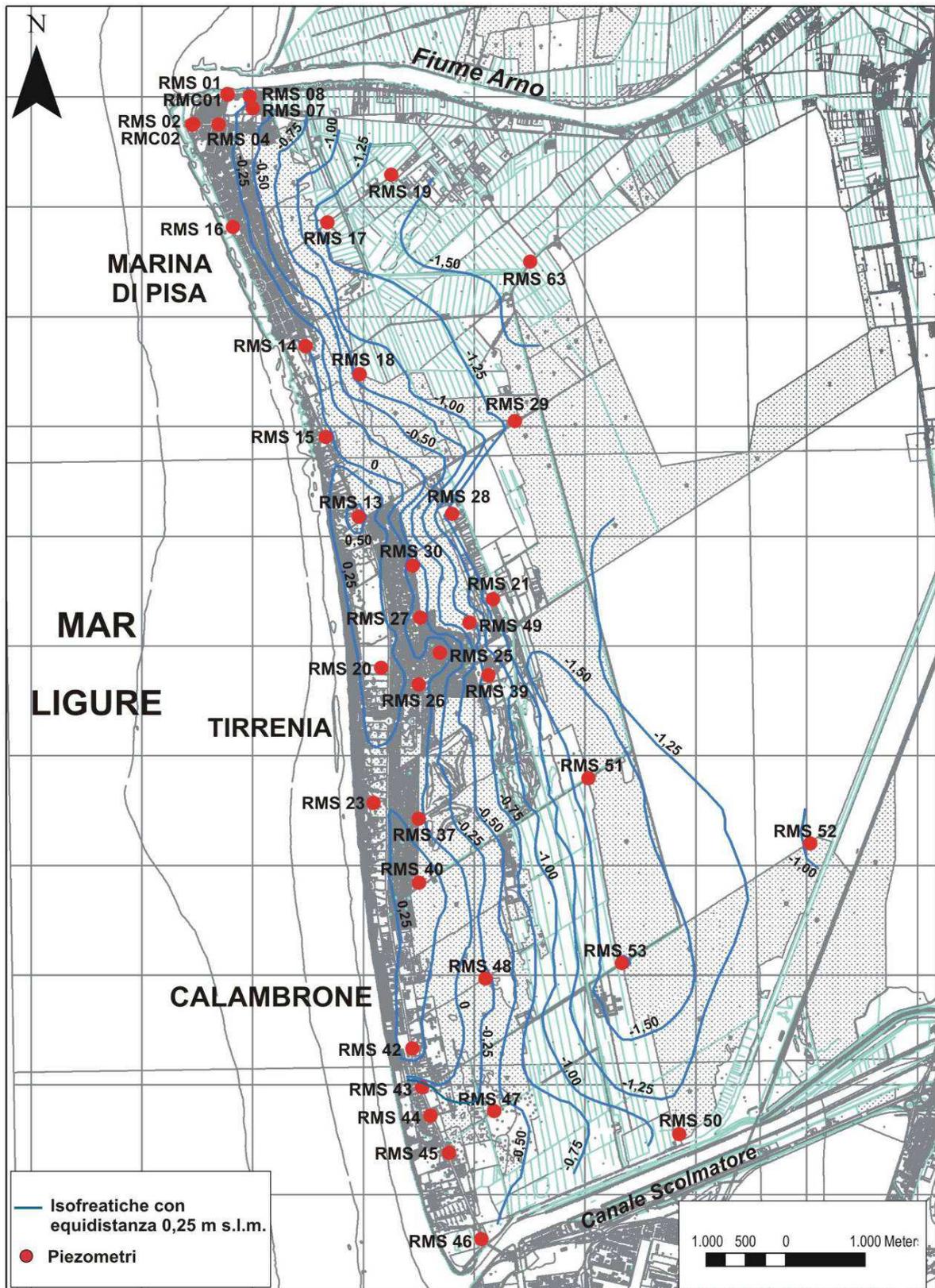


Fig. 7.14 Carta delle isofreatiche dell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore del mese di agosto 2009

CARTA PIEZOMETRICA - SETTEMBRE 2009

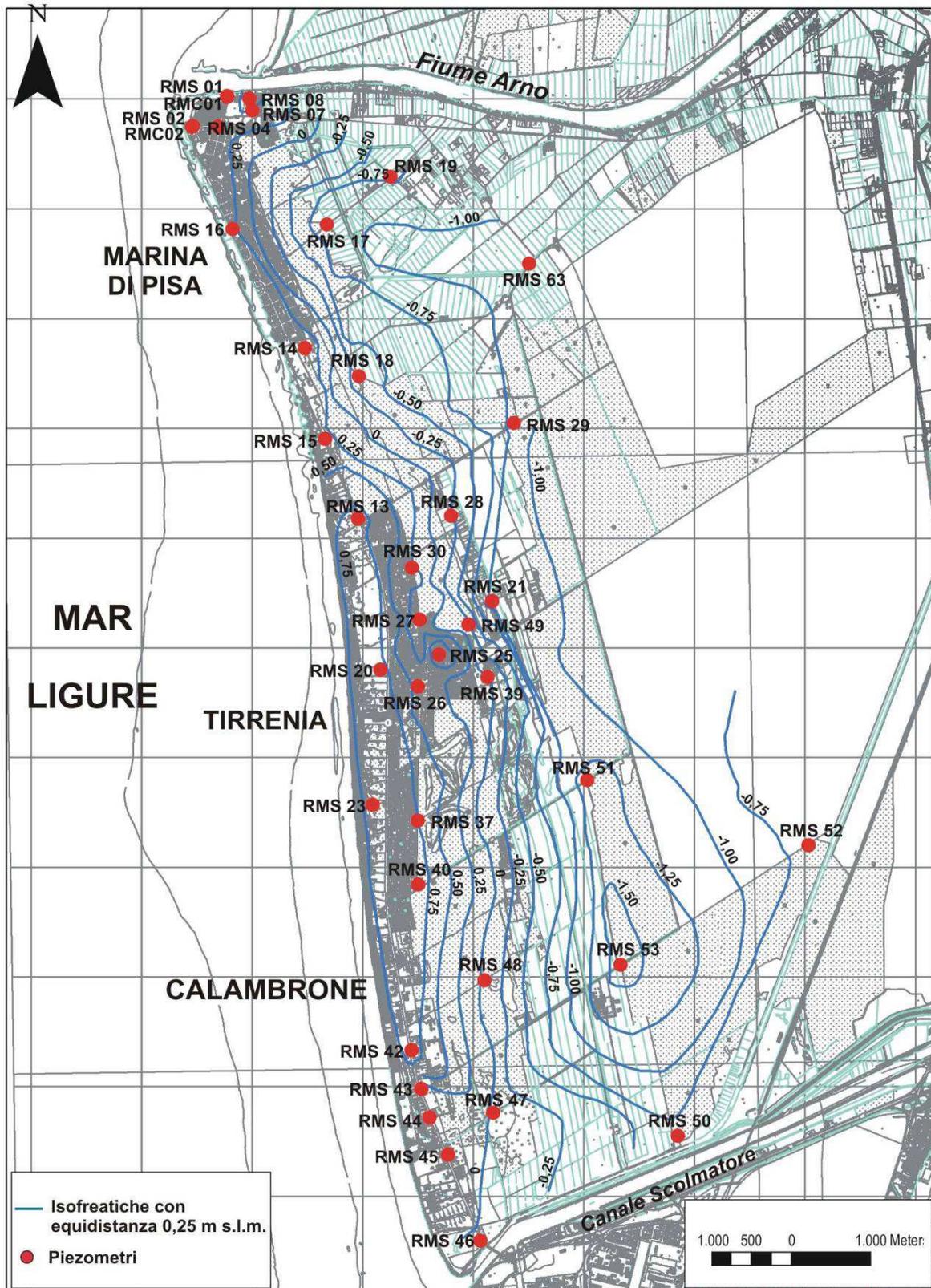


Fig. 7.15 Carta delle isofreatiche dell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore del mese di settembre 2009

7.3.1 Carte conducimetriche

Durante alcune campagne piezometriche è stata effettuata anche la misura della conducibilità elettrica (EC) dell'acqua di falda. Com'è noto, infatti, la possibilità di condurre corrente da parte dell'acqua è legata proporzionalmente alla presenza di sali minerali disciolti in ioni (conducibilità ionica). Per questo motivo, la misura della conducibilità elettrica dell'acqua costituisce una valida misura indiretta del suo contenuto in sali minerali e di conseguenza, in un'area costiera, consente una verifica immediata della possibile intrusione marina in acquifero. La conducibilità elettrica dipende dalla temperatura (ne è direttamente proporzionale), per cui misure fatte a temperature diverse da quelle standard (25 °C, oppure 18 °C o 20 °C) devono essere ricondotte, mediante opportune relazioni di correzione, a quella di riferimento prescelta. In questo caso, è stata utilizzata la temperatura standard di 25 °C.

In genere, le misure di conducibilità dell'acqua vengono espresse in microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o milliSiemens (mS/cm) per centimetro. I valori di EC per l'acqua distillata sono molto bassi, intorno a 0,5-5 $\mu\text{S}/\text{cm}$; le acque sotterranee hanno tenori di EC variabili, in dipendenza generalmente delle caratteristiche delle rocce attraversate e del tempo di permanenza in acquifero; valori normali vanno da 50-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a oltre 1.500-2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ma in certi casi, possono arrivare fino a 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (acque termo-minerali). In casi particolari (acque molto ricche in sali) si possono superare i 30.000-40.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (es. acqua di mare), fino a 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per acque fossili.

Per i rilievi conducimetrici è stata impiegata una sonda multiparametrica Hanna Instruments HI 9828, munita di cavo da 30 m e fornita dal Comune di Pisa. Le misure sono state effettuate secondo logs conducimetrici, ovvero calando la sonda in ogni piezometro con acquisizione dei dati ogni 0,5 m di profondità a partire dalla superficie freatica. Ciò consente una descrizione dettagliata dell'andamento della conducibilità elettrica lungo la verticale e permette l'individuazione della posizione dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata, dato che le acque salate, più pesanti, si ritrovano al di sotto delle acque dolci, separate da una zona di miscelazione a conducibilità sensibilmente crescente verso il basso. La prima acquisizione è stata effettuata poco sotto il pelo dell'acqua e l'ultima a fondo foro.

L'elaborazione dei dati ha consentito di ottenere complessivamente quattro carte della conducibilità elettrica: due per il mese di aprile (una riferita alla quota assoluta di -2,0 m s.l.m. e l'altra riferita alla quota assoluta di -10,0 m s.l.m) e due per il mese di settembre (ancora a -2,0 e -10,0 m s.l.m.). La scelta dei mesi di aprile e settembre è motivata dal voler rappresentare due condizioni assai differenti di ricarica meteorica ed emungimenti in falda, mentre la rappresentazione dei dati conducimetrici a due differenti quote assolute ha permesso di apprezzare, ove presenti, differenti condizioni di salinità con la profondità (misure alle quote di -2,0 e -10,0 m s.l.m. erano disponibili per tutti i piezometri considerati). Generalmente, ma non sempre, l'interfaccia si viene a trovare tra tali quote. Come si vedrà nel dettaglio in seguito, sulla base dei dati acquisiti, sono state elaborate anche due carte della quota dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata.

In generale, i maggiori problemi legati alla salinizzazione delle acque di falda freatica sembrano rinvenirsi soprattutto nelle zone di Marina di Pisa e Calambrone, che, tra l'altro, si ritrovano anche più vicine ai corsi d'acqua principali (Fiume Arno e Canale Scolmatore), probabili veicolatori di acque marine in falda.

Osservando le carte prodotte, si nota che lungo la fascia litoranea i valori conducimetrici sono molto più bassi rispetto alla zona più interna della pianura costiera, in accordo del resto ai dati piezometrici, che denotavano quote generalmente più elevate della superficie freatica in corrispondenza della zona

dunare (essendo infatti la profondità del cuneo salino dipendente dal carico idraulico di acqua dolce, maggiore è la quota piezometrica, maggiore è la profondità a cui si ritrova l'interfaccia acqua dolce/acqua salata). Ciò appare in controtendenza con quanto è lecito attendersi con il fenomeno dell'intrusione marina, poiché, allontanandosi dalla costa, il cuneo salino dovrebbe approfondirsi. E' evidente, quindi, che le zone dell'entroterra sono interessate da emungimenti tali da provocare risalita di acqua salata in acquifero, con considerevole aumento della conducibilità delle acque. Particolarmente delicate sono l'entroterra di Marina di Pisa, le zone di Camp Darby e del centro sportivo C.O.N.I. di Tirrenia, che hanno ingenti necessità di acqua, a scopo soprattutto irriguo ma non solo.

In generale, comunque, i valori non appaiono particolarmente bassi, se si considera che, in merito alla potabilità delle acque, il D.P.R. 236/88 indicava in 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ il valore guida, mentre il D.Lgs. 31/2001 fornisce un valore di parametro da non superare pari a 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Entrando nel dettaglio, è possibile osservare le differenze tra la situazione a fine stagione di ricarica della falda (aprile) e quella alla fine della stagione estiva (settembre). Pur mantenendo la medesima zonazione delle aree critiche già descritta in precedenza, i valori di conducibilità risultano in generale più bassi nel mese di aprile e maggiori a settembre, come del resto è legittimo attendersi. Andando invece ad analizzare la situazione alle differenti quote indagate (-2,0 e -10 m s.l.m.), anche in questo caso si osservano risultati attesi, ovvero che la conducibilità elettrica delle acque di falda, e quindi il contenuto in sali minerali disciolti (prevalentemente cloro e sodio in area costiera), è maggiore alla quota più profonda rispetto a quella più superficiale. Ciò è dovuto alla stratificazione che subiscono le acque a differente contenuto salino, dalla quale dipende, unitamente ai carichi idraulici, la stessa morfologia del cuneo salino, con le acque più ricche in sali, aventi maggiore peso specifico, poste alle quote inferiori.

Situazioni particolarmente critiche si rilevano in corrispondenza dei piezometri RMS 01, rilevato nel solo mese di settembre (circa 30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sia a -2,0 che a -10,0 s.l.m.) e RMS 02 (valori quasi sempre sopra 40.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a Marina di Pisa, RMS 47 e RMS 52 (valori sempre sopra 32.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), RMS 50 (sempre oltre 40.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e RMS 51 (quasi sempre oltre 45.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) nell'area di Calambrone. Tali aree spesso ricadono in zone con depressione della superficie piezometrica, che favorisce la risalita del cuneo salino. In altri casi, come nei piezometri RMS 15, RMS 16, RMS 17, RMS 19, RMS 29, RMS 43, RMS 45 e RMS 53, è chiaramente apprezzabile la differenza tra il dato di conducibilità a quota -2,0 m s.l.m. e -10,0 s.l.m., con valori maggiori di almeno un ordine di grandezza per le acque poste alle quote inferiori. Nel piezometro RMS 53 sono stati rilevati i valori di conducibilità più elevati a quota -10 m s.l.m., sia ad aprile che a settembre (oltre 60.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Questo è da considerarsi un dato anomalo, perché normalmente le acque di mare presentano valori intorno a 45.000-50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, per cui, salvo un eventuale malfunzionamento dello strumento di misura, bisognerebbe individuare ulteriori cause nell'attribuire un così elevato carico salino alle acque di falda (ad esempio, lisciviazione da parte delle acque di sedimenti particolarmente ricchi in sali minerali). In altri casi ancora, si rivelano situazioni anomale (es. RMS 08), con conducibilità superiori nel mese di aprile rispetto a settembre, sia a -2,0 m s.l.m. che 10,0 s.l.m. Tali anomalie potrebbero essere ricollegabili a fasi di emungimento in pozzi posti in prossimità dei piezometri monitorati; nel caso del piezometro RMS 08 (e di altri nella medesima situazione) deve essere tenuta in considerazione anche la vicinanza con il Fiume Arno in prossimità della foce e possibili interazioni con fenomeni marini durante le campagne (marea, mareggiate, ecc.), che potrebbero influire considerevolmente nella variabilità del dato conducimetrico.

A titolo di esempio, al fine di analizzare l'andamento della conducibilità con la profondità in alcuni piezometri, in fig. 7.16 sono riportati due logs conducimetrici (per i mesi di aprile e agosto 2009) relativi

al piezometro RMS 19, in cui si evidenzia molto chiaramente il passaggio tra acqua dolce e acqua salata, con una fascia di transizione attribuibile alla zona di interfaccia, di spessore di circa 4 e 3 metri rispettivamente.

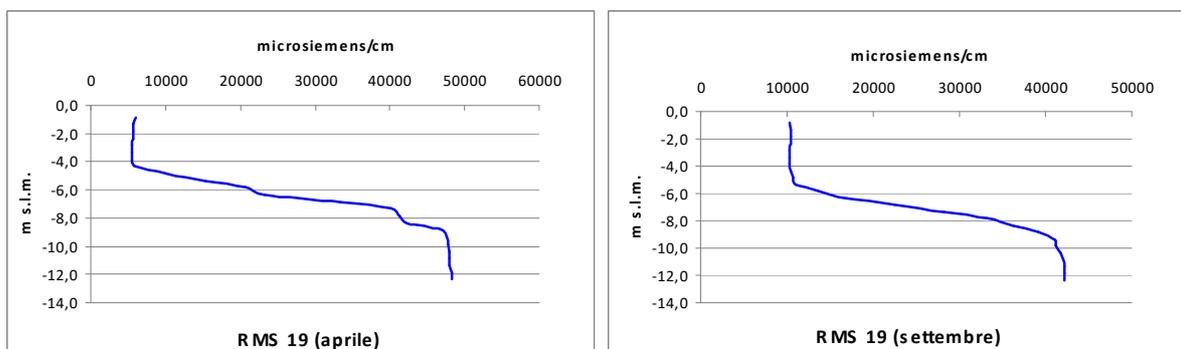


Fig. 7.16 Log conducimetrico nel piezometro RMS 19 (Marina di Pisa) nei mesi di aprile e settembre 2009

La stessa profondità della zona di interfaccia si può apprezzare in altri piezometri, ad esempio in RMS 07, RMS 15, RMS 43 ed altri); mentre in alcuni casi, i piezometri attraversano la zona di acqua salmastra o salata già a quota -2,0 m s.l.m. (es. RMS 01, RMS 47, RMS 50, ecc.). Infine sono state registrate situazioni più complesse, probabilmente attribuibili, come già accennato in precedenza, alle condizioni di emungimento locali durante le fasi di indagine, come diminuzione della conducibilità da aprile a settembre. Un esempio è dato dal piezometro RMS 02 che, a quota -2,0 m s.l.m. presenta una conducibilità pari a 41.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ad aprile per passare a 3.650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in settembre; lo stesso dicasi per RMS 29 (da 27.540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e per i piezometri RMS 08 e RMS 51, in cui la differenza è sempre dell'ordine di 25.000-30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Nei grafici di fig. 7.16 e 7.17 sono raffigurati in diagrammi a barre i dati di conducibilità acquisiti nei mesi di aprile e settembre 2009 alle due diverse profondità.

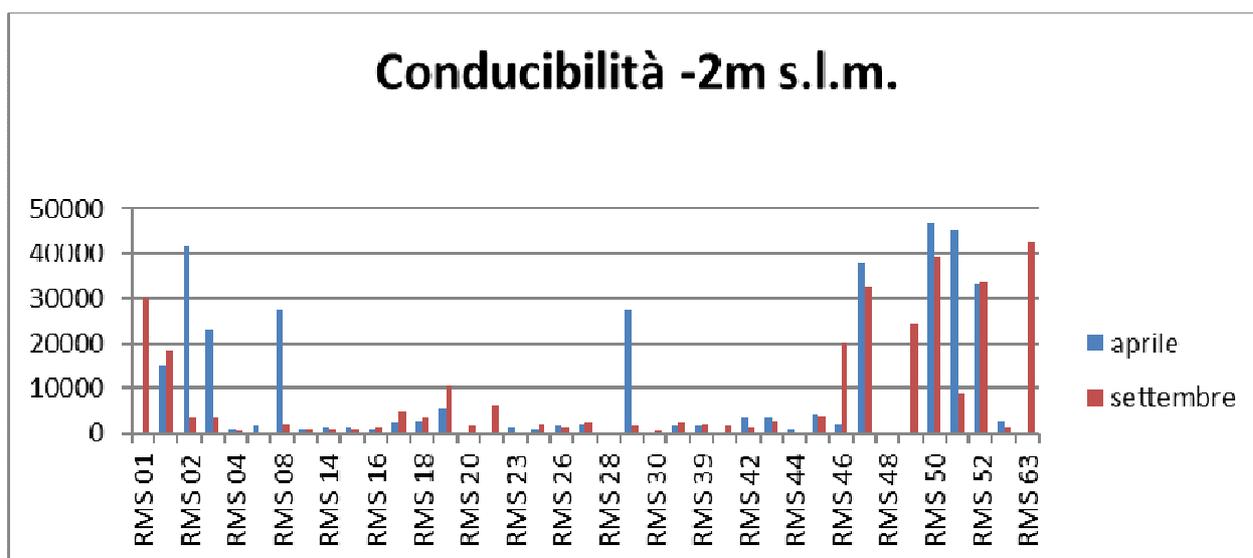


Fig. 7.17 .Diagramma a barre con valori di conducibilità a -2,0 m s.l.m. nei mesi di aprile e settembre 2009 (valori espressi in $\mu\text{S}/\text{cm}$).

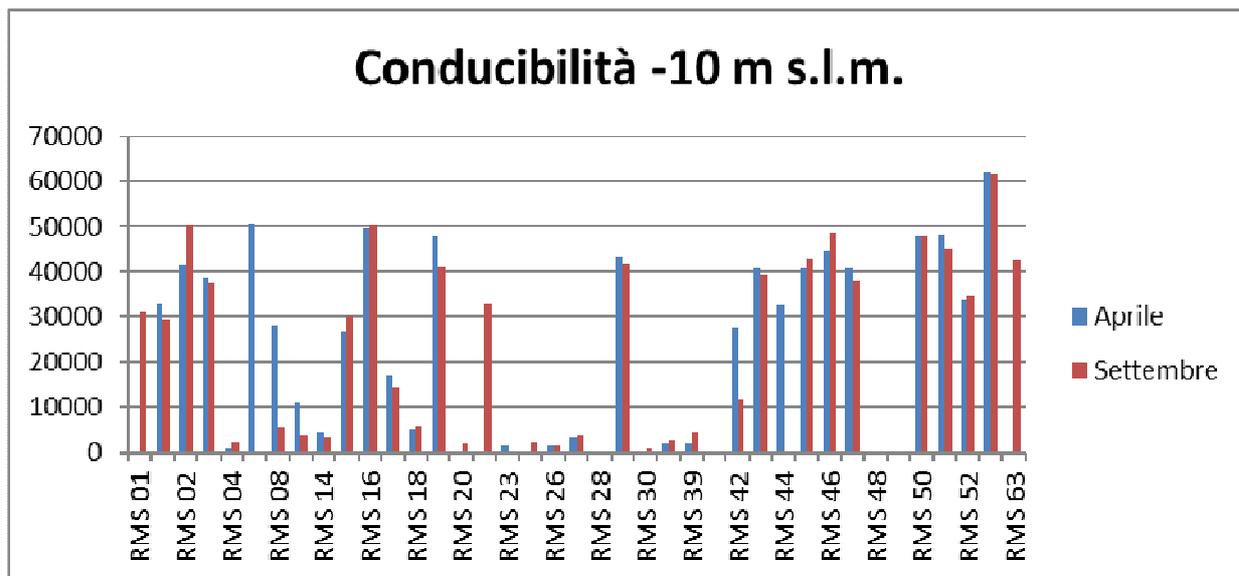


Fig. 7.18 Diagramma a barre con valori di conducibilità a -10,0 m s.l.m. nei mesi di aprile e settembre 2009 (valori espressi in $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Nelle figure seguenti (figg. 7.19, 7.20, 7.21, 7.22) sono riportate le quattro carte conducimetriche elaborate, relative al mese di aprile 2009 alla profondità di -2,0 m s.l.m. e -10,0 m s.l.m., e al mese di settembre 2009 alle stesse profondità.

CARTA CONDUCIMETRICA - APRILE 2009
-2 m s.l.m.

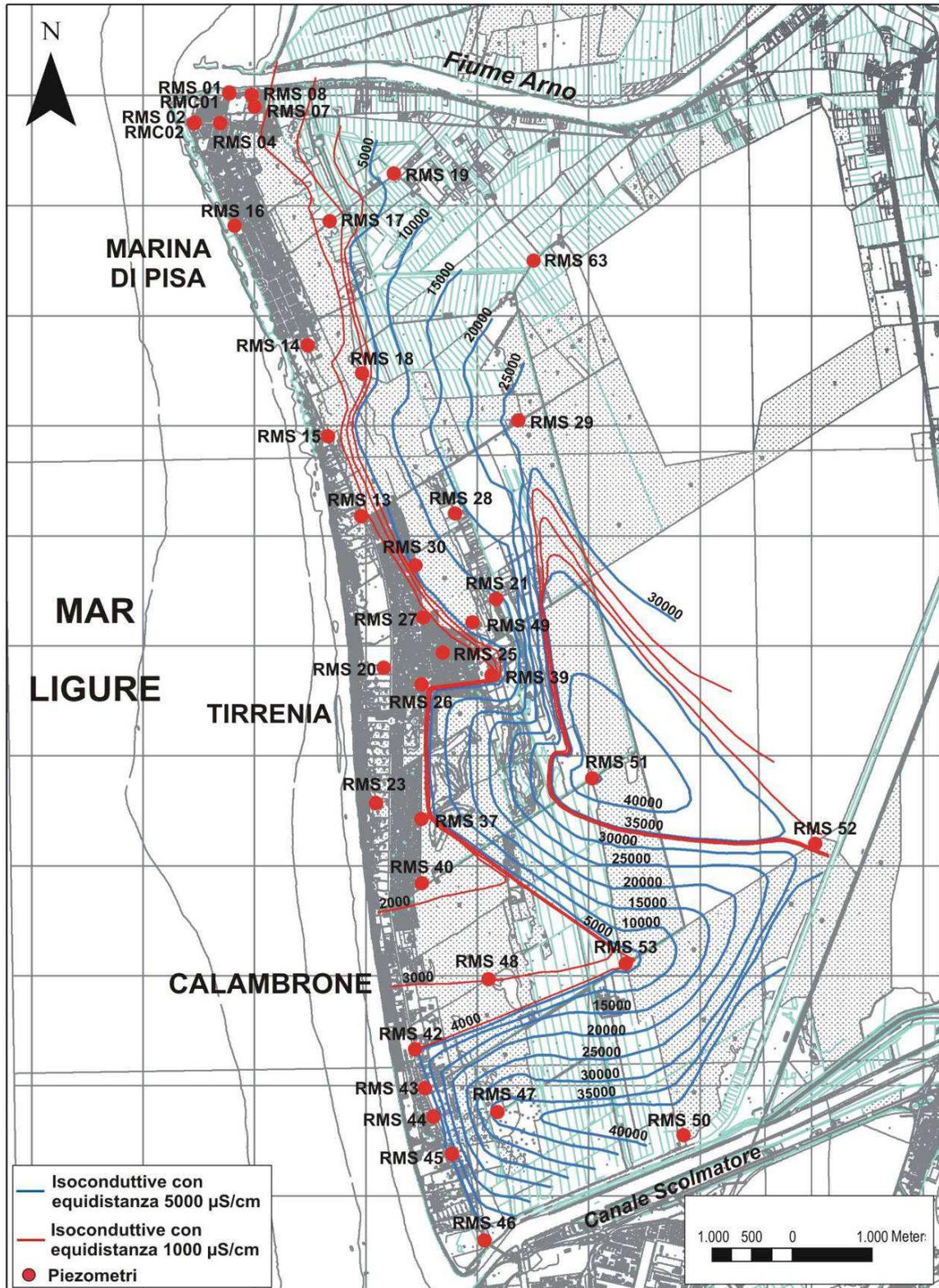


Fig. 7.19 Carta delle isoconduttive della falda freatica riferite alla quota di -2,0 m s.l.m. per il mese di aprile 2009 nell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore

CARTA CONDUCIMETRICA - APRILE 2009
-10 m s.l.m.

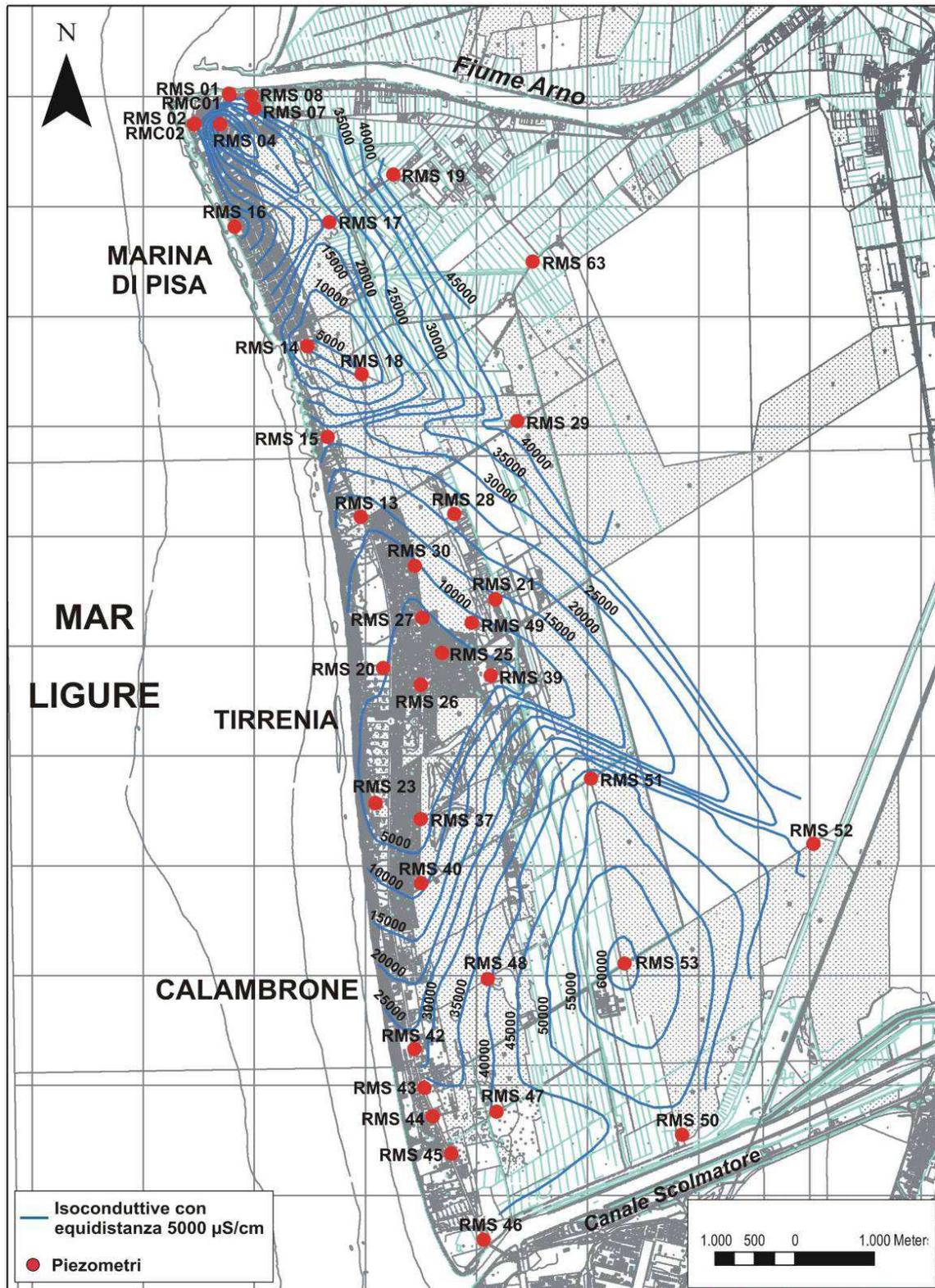


Fig. 7.20 Carta delle isoconduttive della falda freatica riferite alla quota di -10,0 m s.l.m. per il mese di aprile 2009 nell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore.

CARTA CONDUCIMETRICA - SETTEMBRE 2009
-2 m s.l.m.

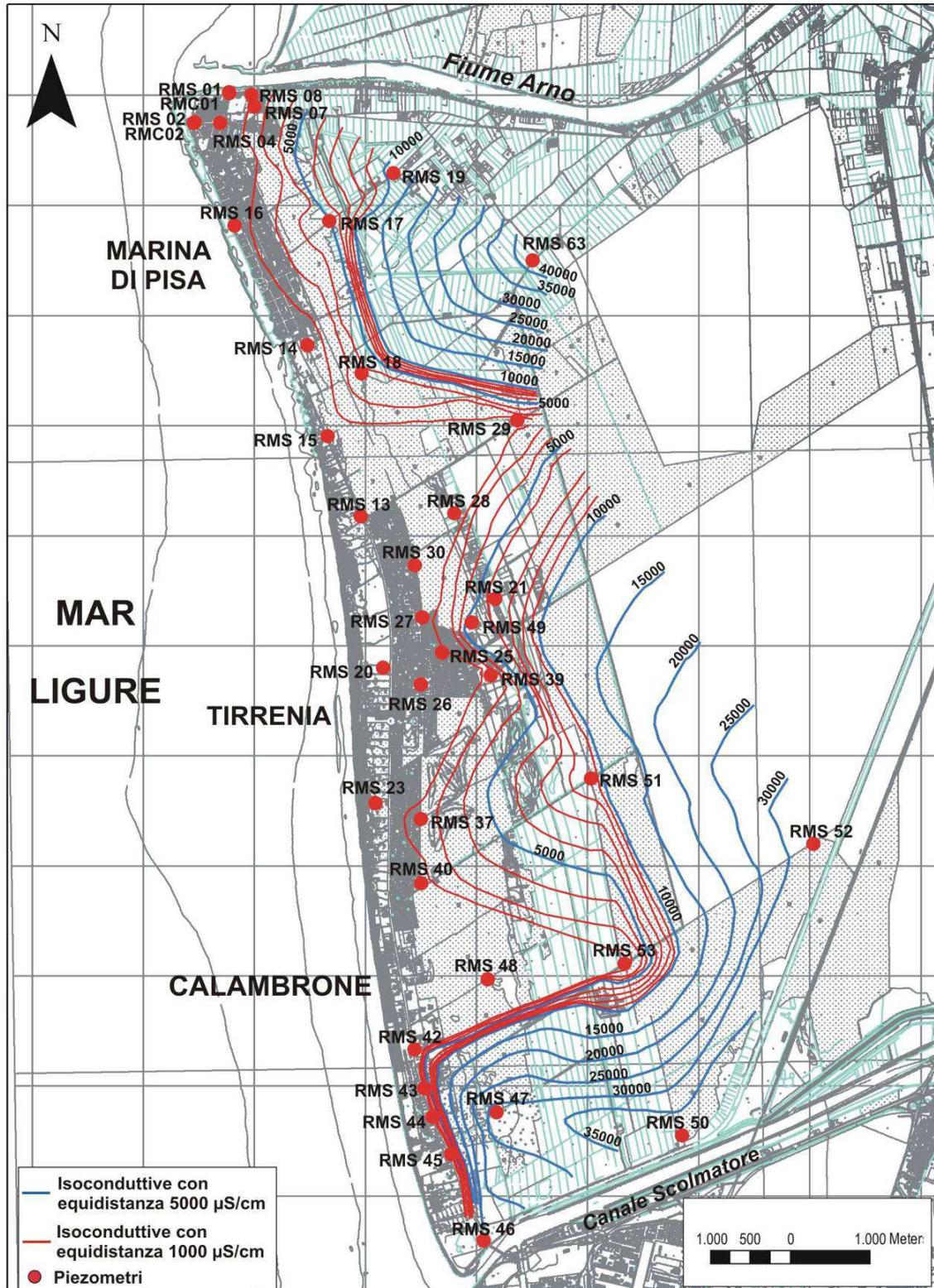


Fig. 7.21 Carta delle isoconduttive della falda freatica riferite alla quota di -2,0 m s.l.m. per il mese di settembre 2009 nell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore

CARTA CONDUCIMETRICA - SETTEMBRE 2009
-10 m s.l.m.

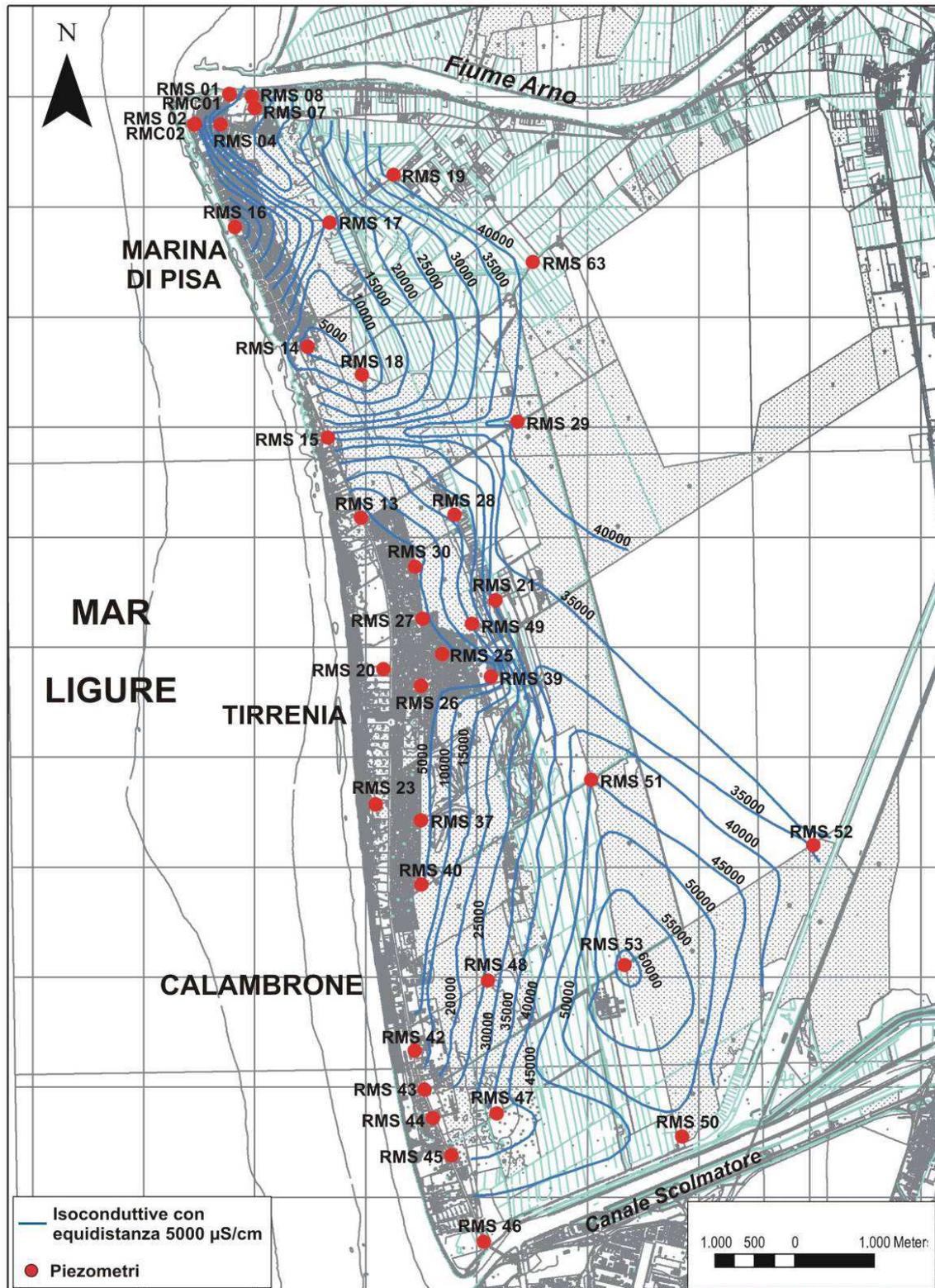


Fig. 7.22 Carta delle isoconduttive della falda freatica riferite alla quota di -10,0 m s.l.m. per il mese di settembre 2009 nell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore

7.3.2 Carte dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata

I logs conducimetrici eseguiti durante le varie fasi di indagine hanno consentito di rintracciare, in molti dei piezometri esaminati, il contrasto di conducibilità elettrica nell'acqua di falda che caratterizza la zona di interfaccia tra acqua dolce e acqua salata. In diversi casi (es. RMS 04, RMS 14, ecc.), tuttavia, la modesta profondità dei piezometri (in genere compresa entro 15 m) non ha permesso tale individuazione, trovandosi l'interfaccia a profondità superiori rispetto alla quota raggiunta dai piezometri.

I dati acquisiti hanno permesso di elaborare due carte dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata, una risalente al primo mese di misura (aprile) e l'altra al mese di agosto, momento di maggiore deficit piezometrico.

Poiché la zona di interfaccia non corrisponde ad un punto preciso ma ad una fascia di alcuni metri di spessore nella quale si verifica uno spiccato aumento della conducibilità con la profondità, al solo scopo dell'elaborazione delle carte è stato deciso di attribuire alla profondità del punto di mezzo di tale fascia la profondità dell'interfaccia stessa.

Con tali premesse, le carte (figg. 38 e 39) mettono in evidenza come in generale nel mese di aprile 2009, periodo di morbida della falda freatica, l'interfaccia si trovi a maggiore profondità rispetto a quella di agosto 2009, anche se le differenze non appaiono così marcate. Punti particolarmente critici, sia in aprile che in agosto, sembrano sussistere soprattutto nell'entroterra di tutta la fascia compresa tra Marina di Pisa e Calambrone, dove del resto le carte piezometriche indicavano dei valori minimi. Un'altra zona in cui l'interfaccia risale notevolmente nei periodi indagati si trova a Calambrone, in prossimità del piezometro RMS 47. Nel mese di agosto, si registra una criticità anche a Tirrenia, in corrispondenza del piezometro RMS 49.

In pochi casi, come nel piezometro RMS 17, si ha una tendenza inversa da aprile ad agosto, ovvero un abbassamento della posizione dell'interfaccia da -8,3 m s.l.m. a oltre 12 m s.l.m., oppure come nel caso dei piezometri RMS 42, RMS 43, RMS 45, in cui si verifica un abbassamento dell'interfaccia di circa 1-2 m s.l.m. da aprile ad agosto. Tali situazioni potrebbero essere giustificate, come già ricordato in precedenza, con possibili situazioni di emungimento in pozzi posti nelle immediate vicinanze dei piezometri, che avrebbero in qualche modo influenzato i dati di conducibilità.

CARTA DELL'INTERFACCIA ACQUA DOLCE-ACQUA SALATA APRILE 2009

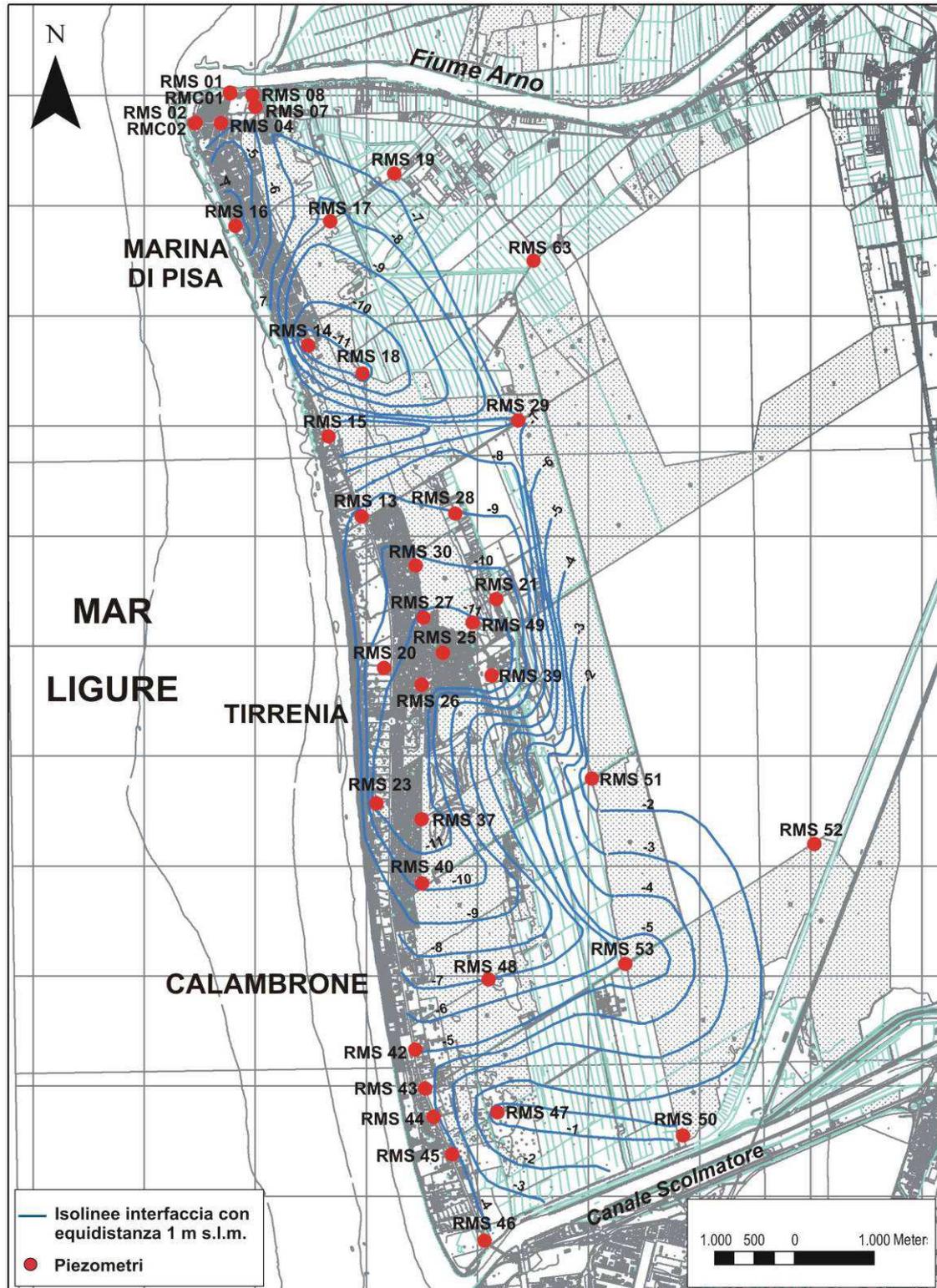


Fig. 7.23 Carta della posizione dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata nella falda freatica per il mese di aprile 2009 nell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore

CARTA DELL'INTERFACCIA ACQUA DOLCE-ACQUA SALATA AGOSTO 2009

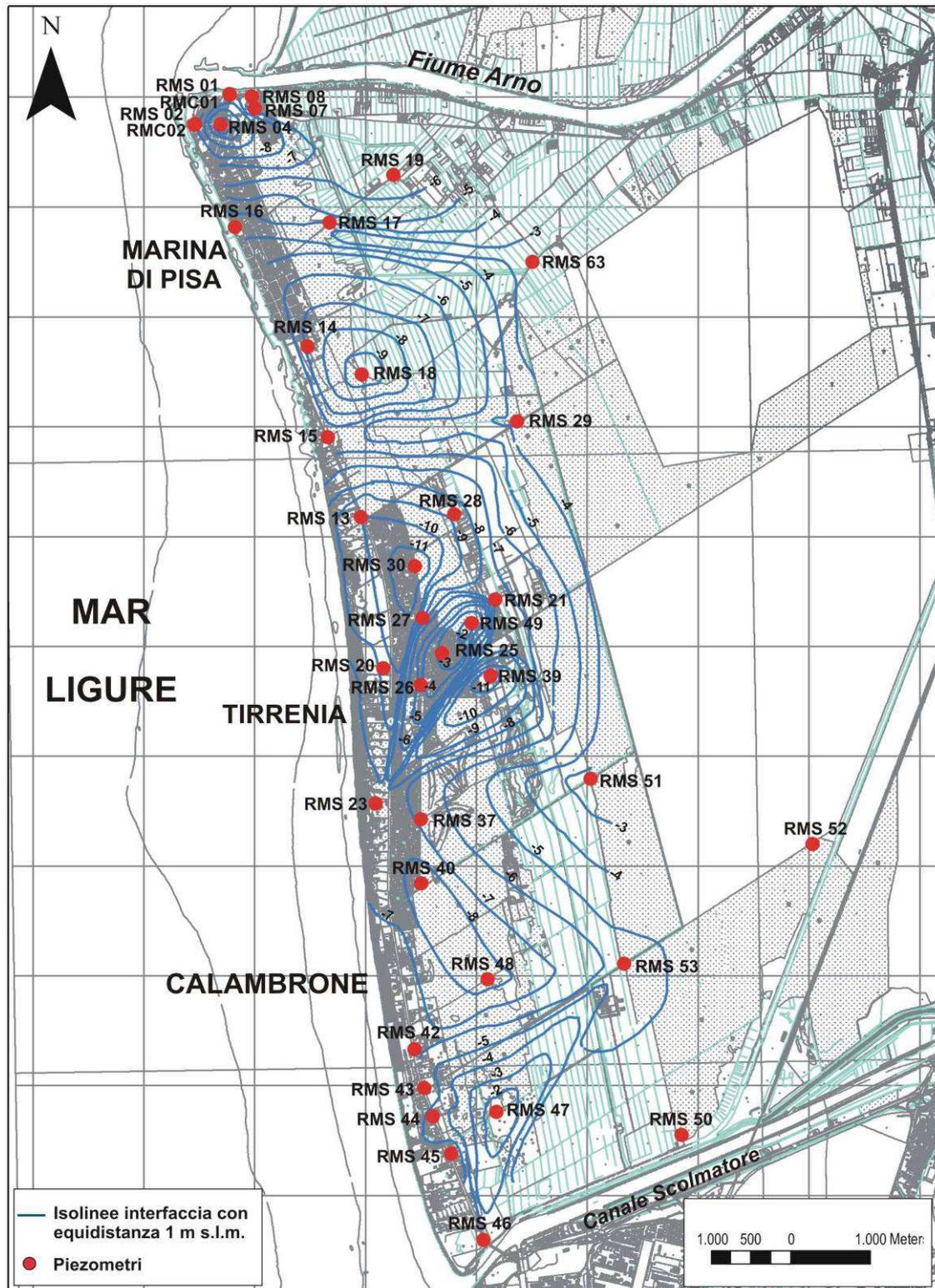


Fig. 7.24 Carta della posizione dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata nella falda freatica per il mese di agosto 2009 nell'area compresa tra il Fiume Arno e il canale Scolmatore

Campionamento e analisi delle acque

Per completare il quadro conoscitivo dell'area in esame è stato effettuato uno studio geochimico-isotopico sulle acque dell'acquifero freatico superficiale. In particolare, oltre alle numerose campagne di misura dei valori di conducibilità che hanno permesso di elaborare le carte isoconduttive appena descritte, sono state effettuate tre campagne di campionamento acque.

La prima campagna è stata eseguita in settembre 2008 per un totale di 10 campioni provenienti da piezometri che drenano la falda superficiale, un campione di acqua di mare e un campione di acqua prelevato presso la foce del fiume Arno; la seconda a Maggio 2009 per un totale di 18 campioni provenienti da piezometri che drenano la falda superficiale e 4 campioni provenienti da due piezometri profondi (RMC 01 e RMC 02) che drenano la prima falda confinata, prelevati sia in superficie che in profondità; infine, la terza a Febbraio 2010 per un totale di 19 campioni da piezometri drenanti la falda superficiale. In fig. 7.25 è riportata una carta dell'area in esame con l'ubicazione dei punti di prelievo

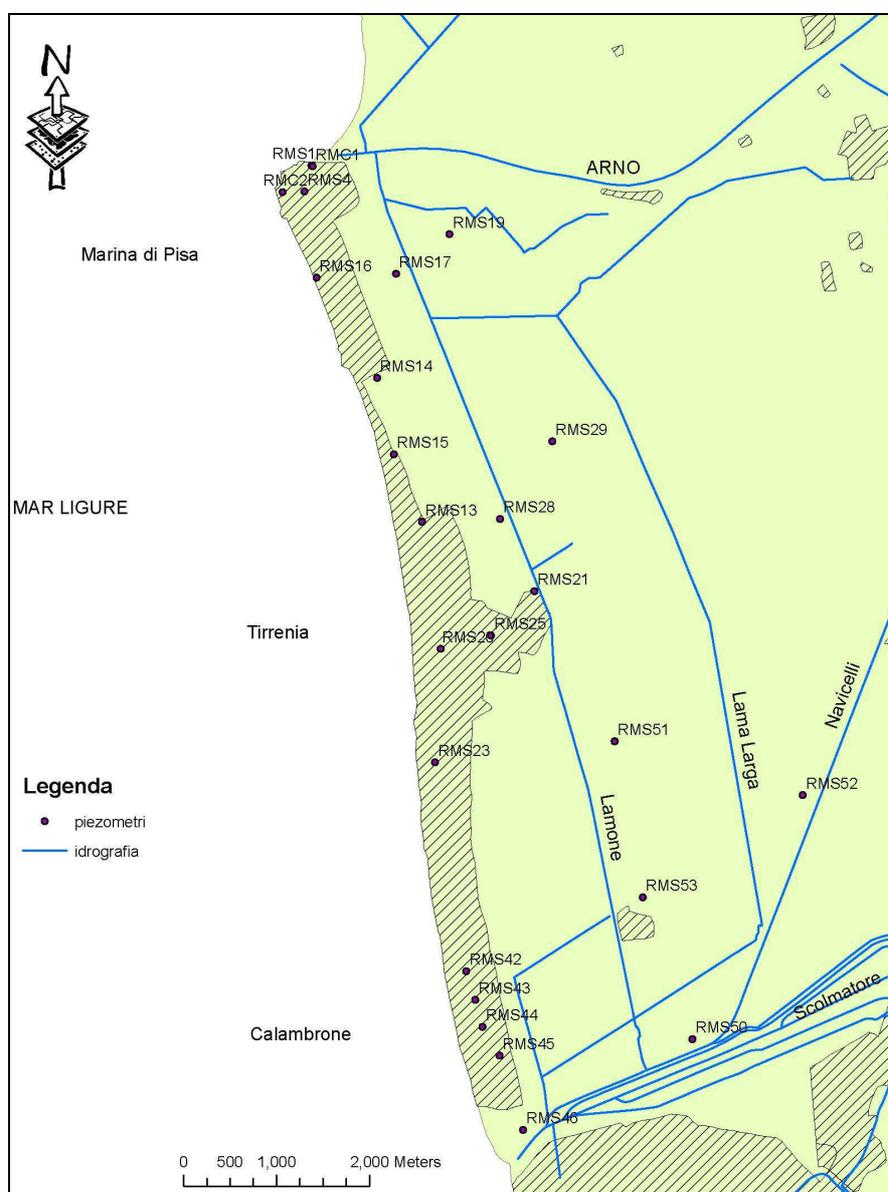


Fig. 7.25 Mappa dei punti di campionamento

Il campionamento ha previsto la misura dei parametri fisico-chimici in situ (temperatura, pH e conducibilità), la determinazione dell'alcalinità e il prelievo di aliquote per le successive analisi di laboratorio. In tab. 1 (Tab.7.2) sono riportati i parametri fisico-chimici misurati al momento del prelievo.

Tab. 1 - Parametri fisico-chimici misurati durante il campionamento relativi alle tre campagne effettuate.										
Campione	Profondità piezometro	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	pH	T (°C)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	pH	T (°C)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	pH	T (°C)
		set-08			mag-09			feb-10		
RMS01	15	47800	7.1	19.1				3070	7.34	6.5
RMS04	15	5300	7.38	19.5	918	7.38	21.0	4120	7.32	15.0
RMS13	15				1493	7.39	15.1	1520	7.28	14.4
RMS14	15	860	8.95	18.8	3740	11.39	18.1	2070	10.36	14.7
RMS15	15				13630	7.17	18.5	22350	6.97	16.5
RMS16	10				5020	7.17	21.5	21500	7.07	15.5
RMS17	10				11850	7.59	15.4	3090	7.40	13.3
RMS19	12				7740	7.80	16.3	4810	6.86	13.6
RMS20	12	1510	7.42	17.3	1379	7.52	16.1	1278	7.69	13.9
RMS21	12	18270	7.49	18.0						
RMS23	13	2135	9.72	17.2	1424	7.72	17.2	4130	8.55	15.5
RMS25	10				1048	7.26	15.5	1962	6.86	13.5
RMS28	15				1486	7.80	15.4	763	7.25	10.0
RMS29	12				39500	7.30	15.9	41900	7.21	13.9
RMS42	15	3500	7.21	17.9	4020	7.7	18	19900	7.7	16.1
RMS43	15	6780	7.11	17.0						
RMS44	15	18400	7.38	16.4						
RMS45	15	10500	7.25	16.5						
RMS46	10				43500	7.08	20.7	5110	7.18	15.7
RMS50	10				46200	7.2	16.4	44900	7.33	13
RMS51	15				41500	7.23	16.0	41900	7.85	13
RMS52	10				34900	7.62	14.5	36100	7.72	11.5
RMS53	10				45800	7.18	16.4	9030	7.2	11.4
RMC01 Prof.	35				25600	8.01	18.0			
RMC01 Sup.	6				19900	8.37	19.2			
RMC02 Prof.	35				38900	7.32	20.1			
RMC02 Sup.	6				23300	7.78	20.6			
MARE		58900	7.91	20.0						
FOCE ARNO		54300	7.85	21.00						

Tab. 7.2 Parametri fisico-chimici misurati durante il campionamento relativi alle tre campagne effettuate.

Da una prima analisi della tabella è possibile affermare che relativamente alla prima campagna il piezometro RMS 01 presenta un valore di conducibilità prossimo a quello dell'acqua di mare pari a 47.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mentre lo stesso piezometro a febbraio presenta un valore molto inferiore, pari a 3.070 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sempre durante la prima campagna altri 2 piezometri, RMS 21 e RMS 44, presentano valori di conducibilità elevati pari a 18.270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 18.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ rispettivamente. Infine, valori anomali di pH si registrano nei piezometri RMS 14 e RMS 23, pari a 8,95 e 9,72 rispettivamente, anche se i valori di conducibilità risultano essere relativamente bassi.

Durante la seconda campagna, effettuata alla fine della stagione di magra, si riscontrano valori di conducibilità molto alti e prossimi a quello dell'acqua di mare per molti piezometri ed in particolar modo per i campioni prelevati nei piezometri RMS 29, RMS 46, RMS 50, RMS 51, RMS 52, RMS 53. Inoltre, è da evidenziare ancora una volta il valore di pH in RMS 14 pari a 11,39, assolutamente anomalo, con un valore di conducibilità di 3.740 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Infine, per quanto riguarda i piezometri profondi, come facile attendersi, si rilevano valori di conducibilità che passano da 19.900 in superficie a 25.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alla profondità di circa 35 m per RMC 01 e valori da 23.300 a 38.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per RMC 02.

Durante la terza campagna si registrano valori elevati di conducibilità prossimi a quello del mare per i piezometri RMS 29, RMS 50, RMS 51 e RMS 52; valori intermedi, ma comunque sempre elevati, pari a circa 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, si riscontrano invece per i campioni RMS 15, RMS 16, RMS 42. Il piezometro RMS 14 presenta un valore di pH ancora anormalmente elevato pari a 10,36.

Le analisi chimiche, eseguite presso i laboratori dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse di Pisa, hanno previsto la determinazione dei costituenti principali quali Cl, SO_4 , Ca, Mg, Na, K, elementi minori NO_3 , NO_2 , NH_4 e COD (solo per la prima campagna). Le metodologie utilizzate, le strumentazioni, i valori di riproducibilità e i limiti di detezione sono riportati in tab. 2 (Tab.7.3). Inoltre, sono state effettuate le analisi isotopiche di ^{18}O e deuterio. In particolare, le analisi isotopiche per $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ sono state eseguite mediante spettrometria di massa e i risultati sono riportati utilizzando la consueta notazione $\delta\text{‰}$, che rappresenta la deviazione, in parti per mille, del rapporto isotopico misurato nel campione rispetto a quello dello standard internazionale di riferimento.

Tab. 2 - Dettagli sui metodi e strumentazioni utilizzati per le analisi chimiche.					
Parametro	Metodo	Strumentazione	Limite di rivelabilità (mg/l)	Limite di detezione (mg/l)	Riproducibilità
Cl^-	Cromatografia ionica	Cromatografo ionico "Dionex, DX-100 Ion chromatographic"	0,05	0,02	2%
NO_3^-	Cromatografia ionica	Cromatografo ionico "Dionex, DX-100 Ion chromatographic"	0,05	0,02	2%
SO_4^{2-}	Cromatografia ionica	Cromatografo ionico "Dionex, DX-100 Ion chromatographic"	0,2	0,2	2%
N-NH _x	Potenziometria	Elettrodo sensibile ai gas "Thermo Orion mod.95-12"	0,01	0,01	2%
Cl^-	Potenziometria (titolazione argentometrica)	Potenziografo "Methrom Herisau E536"	0,1	-	2%
Na^+	Spettrofotometria	Spettrometro di	0,4	0,0003	2%

	assorbimento atomico	assorbimento atomico Perkin Elmer			
K ⁺	Spettrofotometria assorbimento atomico	Spettrometro di assorbimento atomico Perkin Elmer	0,4	0,003	2%
Ca ²⁺	Spettrofotometria assorbimento atomico	Spettrometro di assorbimento atomico Perkin Elmer	1	0,002	2%
Mg ²⁺	Spettrofotometria assorbimento atomico	Spettrometro di assorbimento atomico Perkin Elmer	0,1	0,0002	2%
COD	Colorimetria	Spettrofotometro "Hach DR/2000"	5	-	1,8%
NO ₂ ⁻	Colorimetria	Spettrofotometro di assorbimento "Perkin-Elmer, Lambda 1A UV/VIS Spectrophotometer"	0,025	0,01	0,15%

Tab. 7.3 Dettagli sui metodi e strumentazioni utilizzati per le analisi chimiche.

Infine, per valutare la qualità analitica delle analisi effettuate in tab. 3 (Tab.7.4) è riportato lo sbilanciamento ionico delle acque (valori espressi in meq/l). Lo sbilanciamento ionico è un metodo semplice, ma estremamente efficiente per effettuare una stima della qualità delle analisi. Esaminando i dati in tabella si osserva che tutti gli sbilanciamenti sono compresi entro il ±5%, nella maggior parte dei casi molto al di sotto di questo limite; ciò dimostra la buona attendibilità del dato analitico.

Tab. 3 - Risultati analisi chimiche riportati in meq/l e sbilanciamento ionico riportato in valore %												
Campione	DATA	Na (meq/)	K (meq/)	Ca (meq/)	Mg (meq/)	NH ₄ (meq/)	Cl (meq/)	NO ₃ (meq/)	SO ₄ (meq/)	NO ₂ (meq/)	HCO ₃ (meq/)	Sbil. ionico
RMS01	set-08	413	20.1	13.7	43.7	0.37	483	<l.d.	21.46	<l.d.	13.4	2.7
RMS04	set-08	92.4	2.25	5.59	16.2	0.07	110	<l.d.	3.96	0.18	8.05	2.5
RMS14	set-08	3.89	0.35	1.85	1.11	0.06	4.64	<l.d.	1.32	<l.d.	1.45	1.1
RMS20	set-08	6.36	0.84	2.19	5.89	0.11	5.60	<l.d.	2.09	0.15	8.40	2.7
RMS21	set-08	169	2.52	7.54	26.8	0.24	195	<l.d.	2.67	<l.d.	11.0	0.6
RMS23	set-08	13.5	0.66	8.31	1.63	2.04	20.7	<l.d.	1.69	0.01	4.90	2.1
RMS45	set-08	70.8	1.53	5.04	10.4	0.14	80.7	<l.d.	0.21	<l.d.	12.0	2.8
RMS44	set-08	189	3.33	5.94	10.2	0.52	190	<l.d.	1.38	0.44	7.50	-2.2
RMS43	set-08	51.1	1.34	7.15	11.2	0.16	61.0	<l.d.	1.54	0.50	11.9	2.7
RMS42	set-08	22.6	0.65	7.13	4.53	0.16	23.0	<l.d.	1.11	0.19	9.05	-2.5
MARE	set-08	506	11.3	22.8	118.1	0.00	620	<l.d.	61.5	<l.d.	3.00	2.0
FOCE ARNO	set-08	496	10.1	20.9	107.0	0.00	562	<l.d.	56.1	<l.d.	3.20	-1.0
RMC01 Prof.	mag-09	282	6.12	3.59	23.9	2.41	316	<l.d.	0.13	<l.d.	20.0	2.8
RMC01 Sup.	mag-09	173	4.13	2.47	15.5	1.48	197	<l.d.	0.31	<l.d.	12.7	3.3
RMC02 Prof.	mag-09	368	8.02	4.37	32.1	2.94	419	<l.d.	0.40	<l.d.	21.3	2.9
RMC02 Sup.	mag-09	186	5.60	2.64	16.5	1.64	207	<l.d.	1.98	<l.d.	11.3	1.8
RMS04	mag-09	3.48	0.49	3.61	1.74	0.08	2.17	<l.d.	1.39	<l.d.	5.47	-2.0
RMS13	mag-09	7.97	0.33	4.67	6.23	0.03	11.8	<l.d.	1.46	<l.d.	5.65	-1.0

RMS14	mag-09	7.84	0.63	7.38	0.75	0.23	12.7	<l.d.	1.77	<l.d.	1.85	-1.6
RMS15	mag-09	76.4	1.48	10.4	21.5	0.39	93.1	0.26	5.43	<l.d.	8.59	-1.3
RMS16	mag-09	30.1	0.73	4.98	8.09	0.14	34.0	0.36	2.96	<l.d.	5.16	-1.8
RMS17	mag-09	138	2.14	2.02	10.9	1.00	141	<l.d.	0.55	<l.d.	13.7	0.4
RMS19	mag-09	37.3	1.00	1.62	5.90	0.18	37.8	<l.d.	0.97	<l.d.	9.13	2.0
RMS20	mag-09	4.53	0.31	5.60	3.88	0.10	4.70	<l.d.	1.88	0.06	7.55	-0.8
RMS23	mag-09	3.21	0.40	3.43	4.05	2.22	3.48	0.47	1.50	0.02	7.50	-1.3
RMS25	mag-09	2.21	0.26	7.28	1.37	0.18	2.13	0.29	1.67	0.12	7.16	0.3
RMS28	mag-09	10.5	0.40	3.08	1.47	0.10	5.10	<l.d.	2.08	<l.d.	8.50	0.3
RMS29	mag-09	391	5.88	5.59	54.6	2.31	460	<l.d.	<l.d.	<l.d.	10.6	1.1
RMS42	mag-09	27.1	1.46	1.84	7.43	0.20	27.9	<l.d.	<l.d.	<l.d.	9.70	-0.5
RMS46	mag-09	312	6.01	6.71	42.7	2.45	362	<l.d.	0.99	<l.d.	11.8	0.6
RMS50	mag-09	396	8.51	17.6	89.7	0.96	488	<l.d.	33.88	0.53	7.20	1.6
RMS51	mag-09	402	6.61	6.41	57.8	1.29	463	<l.d.	1.12	<l.d.	11.3	0.1
RMS52	mag-09	263	6.35	1.70	44.9	2.12	284	<l.d.	1.16	<l.d.	16.7	-2.7
RMS53	mag-09	416	7.54	9.11	69.7	1.74	498	<l.d.	7.02	<l.d.	11.9	1.3
RMS01	feb-10	21.2	0.40	2.92	3.12	0.08	23.1	0.03	0.32	<l.d.	3.55	-1.4
RMS04	feb-10	21.5	0.82	3.79	3.80	0.07	22.4	0.07	1.14	<l.d.	6.65	0.3
RMS13	feb-10	6.67	0.24	4.31	2.73	0.01	6.71	<l.d.	0.89	<l.d.	7.30	3.2
RMS14	feb-10	8.43	0.75	6.81	2.15	0.16	15.5	0.03	1.00	<l.d.	1.75	0.0
RMS15	feb-10	197	3.14	19.6	47.1	0.38	230	0.07	16.1	<l.d.	10.0	-2.1
RMS16	feb-10	183	3.48	9.43	36.0	0.34	198	0.03	15.5	0.07	7.10	-2.6
RMS17	feb-10	16.5	0.62	5.85	4.50	0.23	13.0	0.14	4.73	<l.d.	9.10	-1.3
RMS19	feb-10	35.7	1.01	3.08	5.97	0.10	36.4	0.12	0.78	<l.d.	8.55	0.0
RMS20	feb-10	5.44	0.35	3.65	3.59	0.06	3.75	0.03	2.49	<l.d.	7.55	2.7
RMS23	feb-10	25.6	1.07	2.66	7.12	0.41	25.5	1.49	1.86	0.03	7.70	-0.4
RMS25	feb-10	5.87	0.40	8.51	4.32	0.13	7.30	0.03	3.08	<l.d.	9.85	2.6
RMS28	feb-10	0.59	0.15	7.85	0.94	0.08	0.53	0.03	0.46	<l.d.	8.10	-2.7
RMS29	feb-10	265	4.32	3.89	33.1	0.83	282	0.57	0.07	<l.d.	13.1	-1.9
RMS42	feb-10	171	3.89	2.70	14.9	0.93	192	0.46	0.05	<l.d.	12.2	2.8
RMS46	feb-10	34.4	1.03	7.28	8.04	0.15	35.4	0.62	2.99	<l.d.	12.0	0.1
RMS50	feb-10	416	9.11	13.8	85.3	0.15	493	0.09	53.4	<l.d.	6.85	2.7
RMS51	feb-10	311	5.91	6.43	41.7	0.75	332	0.75	2.54	<l.d.	11.0	-2.8
RMS52	feb-10	319	6.79	3.53	48.7	1.33	358	0.03	7.62	<l.d.	15.9	0.3
RMS53	feb-10	54.8	3.35	7.44	11.9	0.10	59.5	0.27	4.99	<l.d.	16.7	2.5

Tab. 7.4 Risultati analisi chimiche riportati in meq/l e sbilanciamento ionico riportato in valore %

Classificazione chimica delle acque

Per la classificazione chimica delle acque campionate sono stati utilizzati i diagrammi triangolari dei principali costituenti cationici ed anionici (Fig.7.26 a) e b)), il diagramma quadrangolare di Langelier-Ludwig con lo ione HCO_3^- come anione singolo (Fig. 7.27), ed alcuni diagrammi di correlazione come, ad esempio, Cl vs. $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4$ (Fig. 7.28).

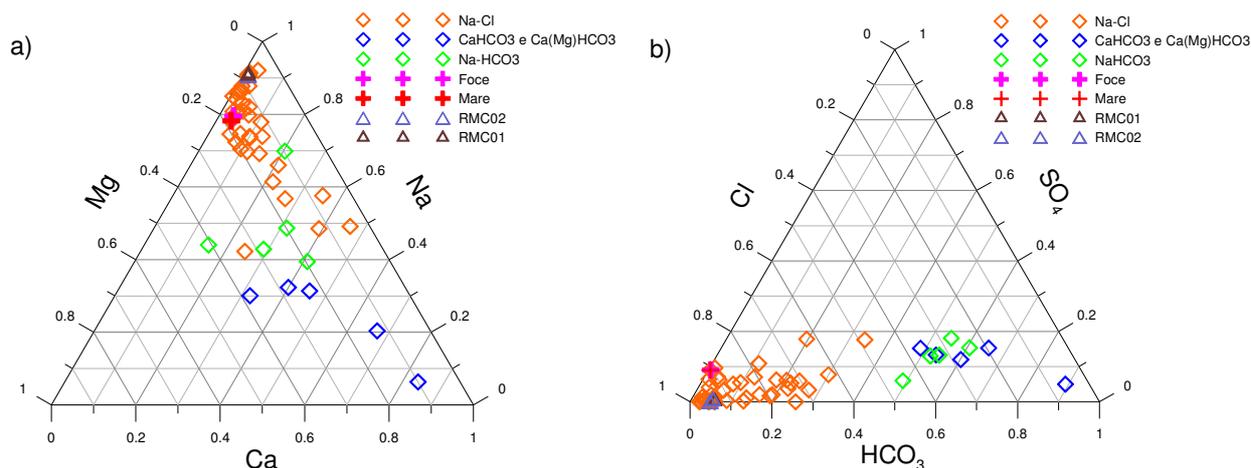


Fig. 7.26 Diagrammi triangolari (a) Ca-Na-Mg e (b) $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$ per le acque dei piezometri superficiali, piezometri profondi (RMC01 e RMC02), foce del fiume Arno e acqua di mare.

Il diagramma Na-Ca-Mg di fig. 7.26a) evidenzia che il sodio è il principale costituente cationico disciolto delle acque in oggetto, mentre il calcio è il catione dominante per un numero limitato di campioni. Il diagramma $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ di fig. 7.26b) mostra, invece, che per la maggior parte delle acque il cloro è l'anione prevalente; pochi sono i campioni con ione bicarbonato prevalente, mentre decisamente assenti sono i campioni dove predomina lo ione solfato.

L'esame congiunto dei due diagrammi triangolari appena descritti indica che fra le acque a bicarbonato alcune tendono ad arricchirsi in magnesio e sodio (in particolare 5 campioni appartengono alla facies Na- HCO_3). Infine, le acque clorurate sono tutte classificabili come appartenenti alla facies NaCl, anche se sembra esserci una tendenza verso acque a Ca-Cl e solo un campione leggermente arricchito in Mg.

Nel diagramma quadrangolare di Langelier-Ludwig, con il bicarbonato come anione singolo (fig. 7.27), sono ben distinguibili le facies a Ca- HCO_3 e Ca(Mg) HCO_3 oltre a quelle a Na-Cl. Si individuano altrettanto agevolmente i 5 campioni appartenenti alla facies a Na- HCO_3 . Il campione di acqua di mare e il campione prelevato presso la foce appartengono alla facies a Na-Cl.

I diagrammi di correlazione $\text{HCO}_3\text{+SO}_4$ vs. Cl (figg. 7.28 a) e b)) mostrano che solamente le acque a Na-Cl sono caratterizzate da elevata salinità ionica totale (SIT), maggiore di 60 meq/L fino ad arrivare a salinità dell'ordine dell'acqua di mare. Fra le acque a salinità inferiore sono presenti sia alcuni campioni a Na-Cl, che campioni appartenenti ad altre facies chimiche con SIT compresa fra 15 e 40 meq/L. I due piezometri RMC 01 e RMC 02 (acque profonde) presentano in superficie SIT di circa 400 meq/l per passare a valori tra 700 e 900 meq/l in profondità.

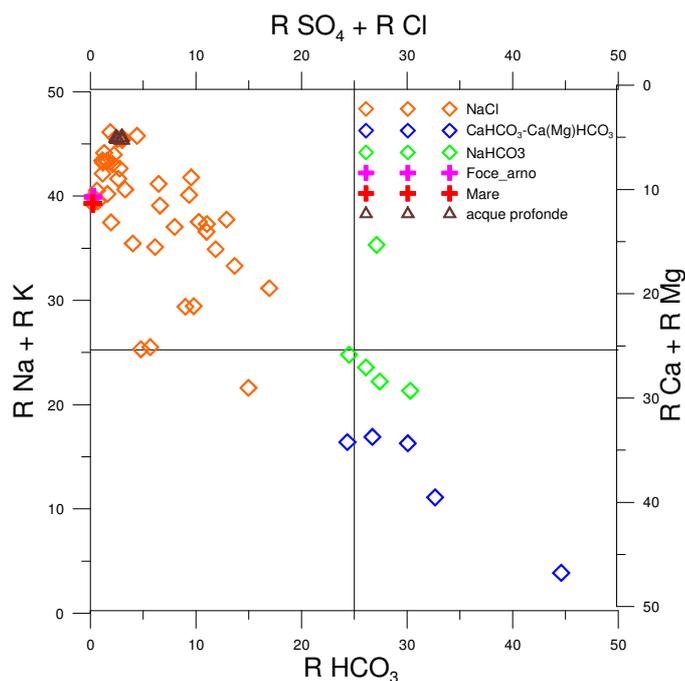


Fig. 7.27 Diagramma quadrangolare di Langelier-Ludwig con lo ione HCO_3^- come anione singolo.

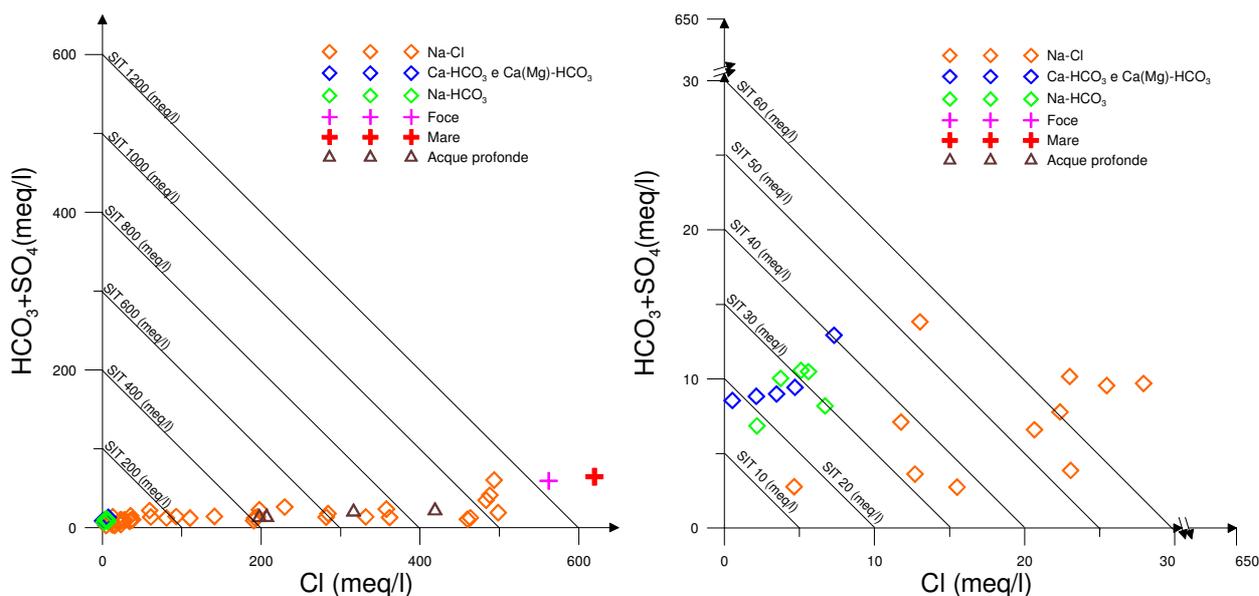


Fig. 7.28 Diagrammi di correlazione $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ vs Cl a differenti intervalli di salinità.

Dall'elaborazione dei grafici appena descritti è stato quindi possibile distinguere principalmente 3 facies geochimiche di appartenenza per le acque prelevate nell'area in studio:

- acque a composizione variabile da Ca-HCO_3 a Ca(Mg)-HCO_3
- acque a Na-Cl
- acque a Na-HCO_3

Le acque di composizione variabile da Ca-HCO_3 a Ca(Mg)-HCO_3 sono interpretabili come acque meteoriche che acquisiscono le loro caratteristiche composizionali a seguito di dissoluzione di minerali

carbonatici (calcite e dolomite) presenti entro i sedimenti alluvionali della piana costiera. Ciò è dovuto alla elevata cinetica di dissoluzione delle fasi minerali carbonatiche, ben maggiore di quella dei minerali silicatici e Al-silicatici, ovviamente in condizioni di lontananza dall'equilibrio.

Nella stragrande maggioranza dei casi le acque Na-Cl sono imputabili a semplice miscela fra acque di falda di bassa salinità ed acque marine dovute a fenomeni di ingressione del cuneo salino entro i sedimenti della piana alluvionale.

Le acque a Na-HCO₃ possono essere riconducibili a fenomeni di scambio ionico. Per comprendere gli effetti dello scambio ionico è necessario ricordare che i sedimenti alluvionali sono assimilabili ad uno scambiatore cationico, i cui siti sono saturati in prevalenza da ioni Ca²⁺ e Mg²⁺, derivanti dai fenomeni di interazione acqua-roccia. Nel momento in cui l'acqua di mare o l'acqua salmastra interagisce con i sedimenti alluvionali, a seguito di ingressione marina, avvengono le seguenti reazioni di scambio ionico:



dove X₂ indica lo scambiatore cationico rappresentato dai sedimenti alluvionali. A seguito delle reazioni (1) e (2), la fase acquosa si arricchisce in ioni Ca²⁺ e Mg²⁺ e si impoverisce in ione Na⁺, che va a saturare lo scambiatore cationico, ossia i sedimenti alluvionali. In tal modo, la fase acquosa acquisisce una composizione Ca-Cl o Ca(Mg)-Cl.

Nel momento in cui il processo si inverte, ossia quando le acque di falda Ca-HCO₃ o Ca(Mg)-HCO₃ tornano a fluire entro i sedimenti alluvionali precedentemente saturati da ioni Na⁺ (a seguito di ingressione marina), le reazioni (1) e (2) procedono in senso inverso, determinando la produzione di acque Na-HCO₃, rappresentate nell'area in esame.

Nelle figg. 7.29, 7.30 e 7.31 sono riportate le carte con l'ubicazione dei piezometri distinti sulla base della facies chimica di appartenenza per ogni campagna effettuata. La prima campagna è stata effettuata in periodo di magra, cioè alla fine della stagione estiva durante la quale generalmente si riscontrano i massimi consumi della risorsa idrica ed ha interessato solo i piezometri più vicini alla costa. Tutti i campioni raccolti, tranne uno (RMS 20), infatti, appartengono alla facies Na-Cl e presentano conducibilità elevate. Il campione RMS 21, anche se situato leggermente all'interno rispetto agli altri, presenta sempre una composizione Na-Cl.

Durante la seconda campagna effettuata in periodo di morbida, in particolare a Maggio 2009, si registrano conducibilità generalmente più basse e la presenza di acque a Ca(Mg)-HCO₃ nella zona dunare in prossimità dell'abitato di Tirrenia. Tutti gli altri piezometri della fascia costiera presentano sempre una composizione a Na-Cl con valori di conducibilità sempre elevati soprattutto in prossimità della foce dell'Arno e dello Scolmatore. I piezometri ubicati più lontano dalla costa appartengono sempre alla facies Na-Cl con conducibilità prossime a quelle dell'acqua di mare.

Nella terza campagna, effettuata in un periodo intermedio fra quello di magra e di morbida, si registrano sempre campioni a Na-Cl lungo i corsi e canali maggiori, sia lungo la costa. Campioni a Ca(Mg)HCO₃ sono presente nella zona dunare in prossimità dell'abitato di Tirrenia, insieme a campioni a Na-HCO₃ con conducibilità inferiori rispetto alle altre zone.

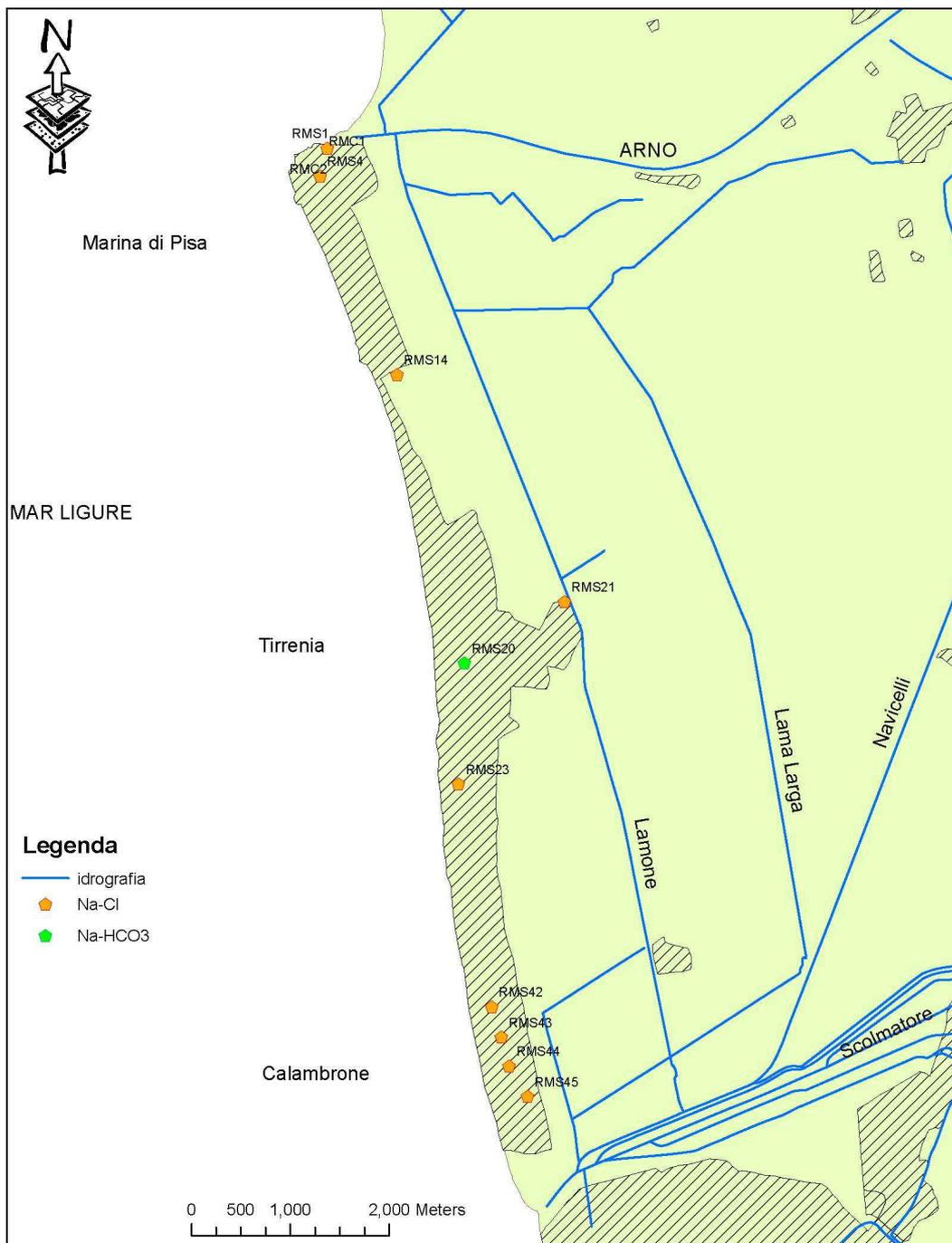


Fig. 7.29 Mappa dei piezometri campionati a Settembre 2008 distinti sulla base della facies chimica di appartenenza.

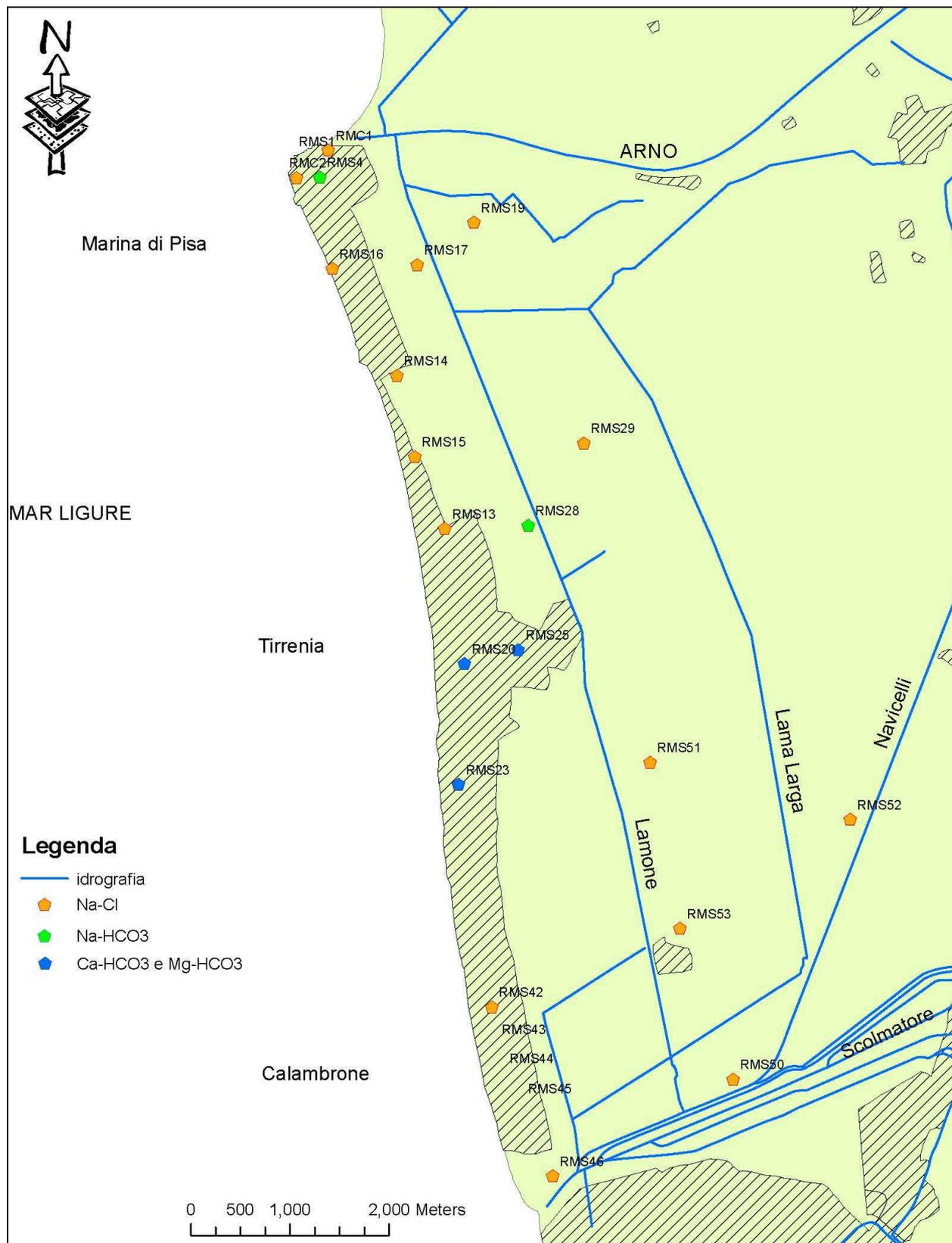


Fig. 7.30 Mappa dei piezometri campionati a Maggio 2009 distinti sulla base della facies chimica di appartenenza

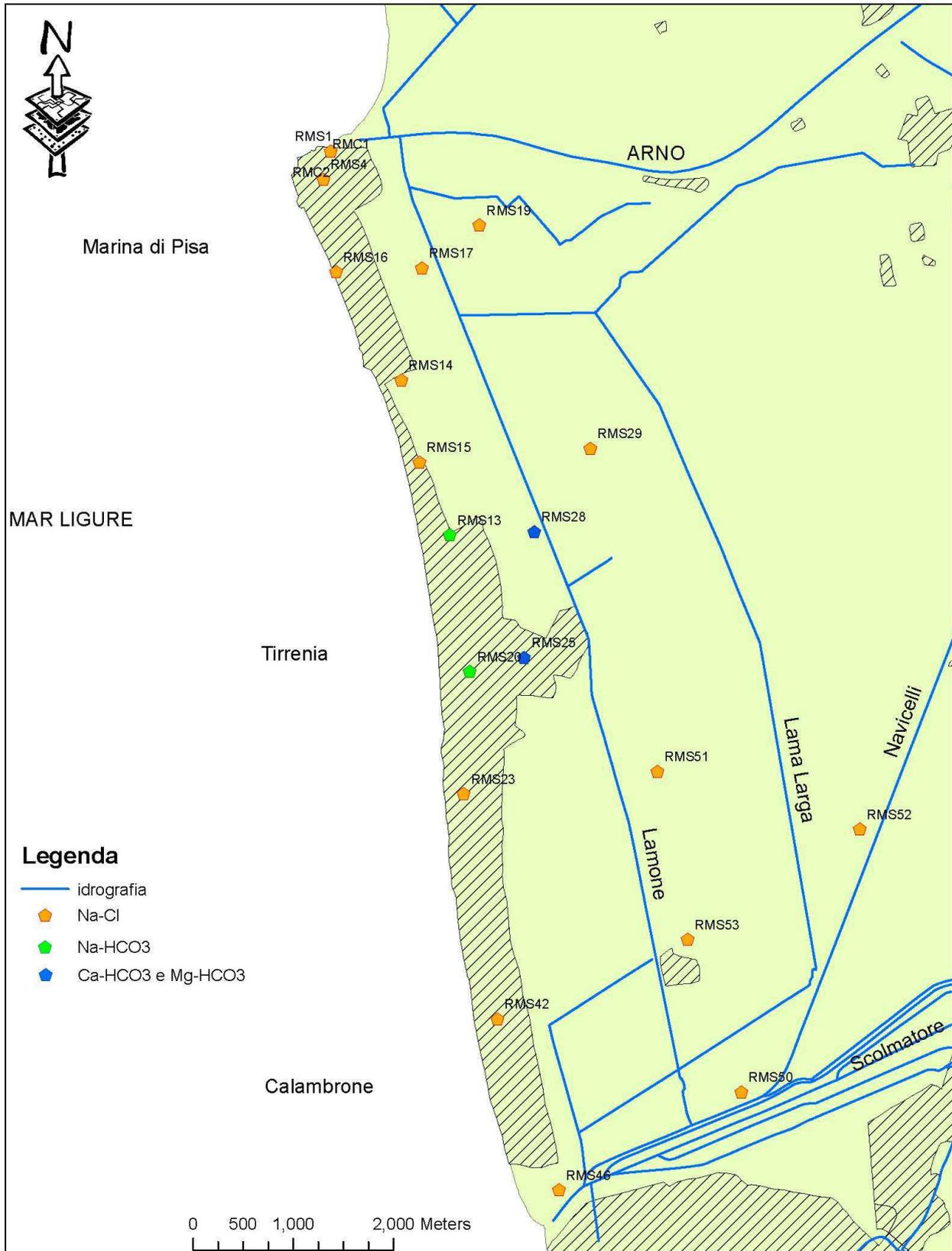


Fig. 7.31 Mappa dei piezometri campionati a Febbraio 2010 distinti sulla base della facies chimica di appartenenza

Per investigare ulteriormente e in maniera più dettagliata l'area di indagine sono stati rielaborati i diagrammi sopra descritti inserendo oltre ai dati raccolti grazie a questo studio, anche i dati di Butteri *et alii* (in stampa). Tale studio tratta in particolare le acque che circolano nell'acquifero confinato in ghiaie, ad una profondità variabile tra 50 e 100 m, e che ricadono nell'area di Marina di Pisa e Tirrenia.

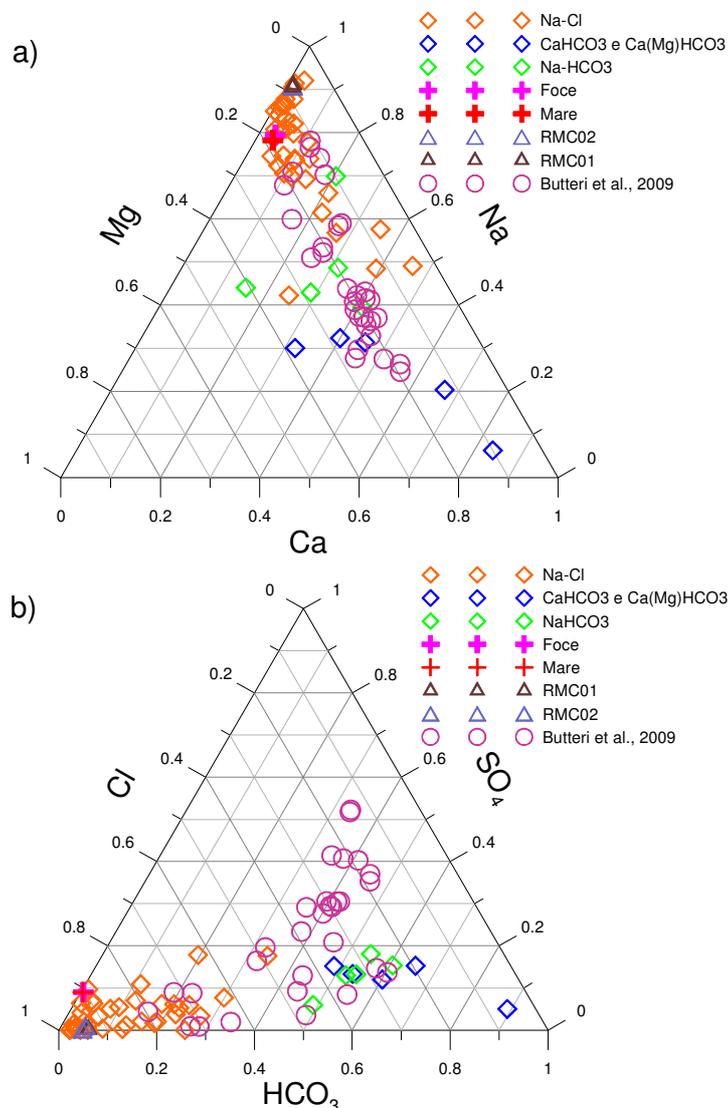


Fig. 7.32 Diagrammi triangolari (a) Ca-Na-Mg e (b) HCO₃-SO₄-Cl per le acque dei piezometri superficiali, piezometri profondi (RMC 01 e RMC 02), foce del fiume Arno, acqua di mare e campioni della falda profonda da Butteri *et alii* (in stampa).

Dall'analisi dei diagrammi triangolari (fig. 7.32a) si evince che le acque drenanti la falda profonda presentano generalmente come catione dominante il sodio, anche se sembra esistere una tendenza di arricchimento verso il calcio. Per quanto riguarda gli anioni (fig. 7.32b), non esiste un costituente predominante, ma oltre alle acque a cloruri e a bicarbonati sono presenti anche acque a solfato dominante. Inoltre, dal diagramma LL di fig. 7.33 è possibile osservare come i campioni che drenano la falda confinata siano costituiti da acque appartenenti a diverse facies chimiche (Na-Cl; Na-HCO₃, Ca-HCO₃ e Ca-SO₄).

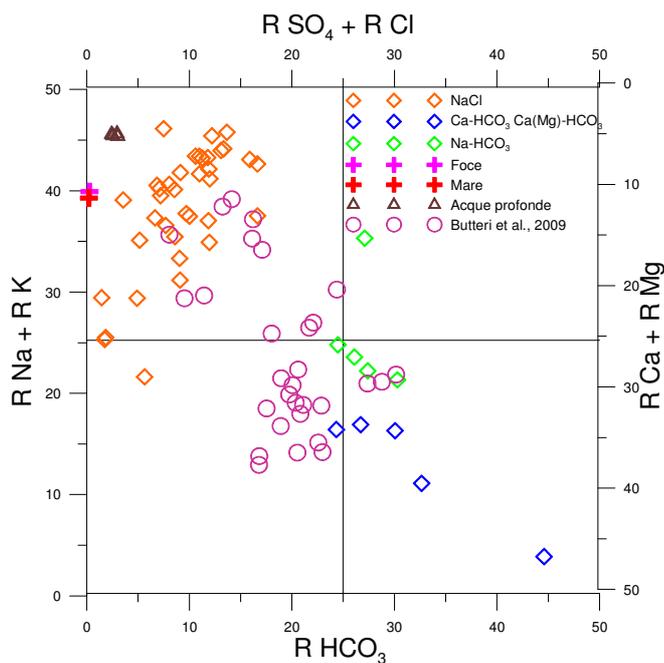


Fig. 7.33 Diagramma quadrangolare di Langelier-Ludwig con lo ione HCO_3^- come anione singolo per le acque campionate in questo studio insieme ai dati di Butteri et al., 2009.

In fig.7.34 il diagramma di correlazione Cl vs $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ mostra che le acque drenanti la falda confinata in ghiaie presentano salinità inferiori ai 150 meq/l.

Dall'analisi comparata di quest'ultimi grafici e quelli visti precedentemente è possibile supporre che le acque poco saline tendono ad avere una composizione principalmente a $\text{Ca}/\text{HCO}_3\text{-SO}_4$, che lentamente evolve ad una composizione a Na/Cl , con diminuzione dei bicarbonati per mescolamento con acqua di mare e fenomeni di scambio ionico.

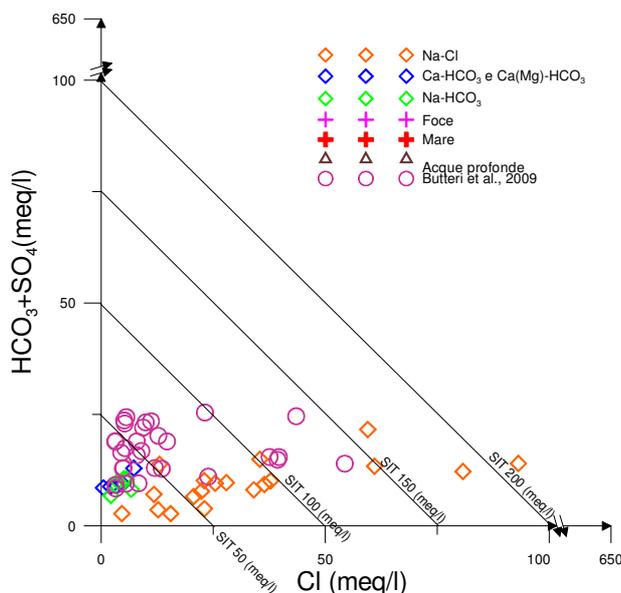


Fig. 7.34 Diagrammi di correlazione $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ vs Cl dei campioni prelevati in questo studio insieme ai dati di Butteri et al. (in stampa)

Geochimica isotopica

Il diagramma $\delta^2\text{H}\text{‰}$ versus $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ riportato in fig. 7.35 evidenzia come la composizione isotopica di tutte le acque analizzate, soprattutto quelle drenanti la falda confinata, sia strettamente legata a quella delle precipitazioni meteoriche in quanto i campioni si dispongono principalmente tra la retta meteorica a scala mondiale (Craig, 1961) e quella del Mediterraneo centrale (Gat & Carmi, 1970). Un gran numero di campioni che drenano la falda superficiale ricade sempre fra queste due rette, ma sono presenti altri campioni "superficiali" che ricadono al di sotto della retta meteorica globale insieme ai due piezometri profondi.

Tuttavia la maggior parte dei campioni mostra valori di $\delta^2\text{H}\text{‰}$ e $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ di circa -5/-7 e -35/-45 rispettivamente. Questi valori sono tipici di acque che circolano nella parte interna della pianura di Pisa (Grassi e Cortecci, 2005) e sono rappresentativi di una ricarica che avviene ad altezze maggiori di quelle della pianura stessa. L'acqua piovana ha infatti, a Pisa, un contenuto annuale medio di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ dell'ordine di -5,3 / -5,8 (IAEA/WMO, 2001; Mussi *et alii*, 1998). Valori più bassi sono caratteristici delle acque profonde che circolano a livello delle ghiaie (Butteri *et alii*, in stampa), ed evidenziano uno scarso o assente apporto diretto per infiltrazione delle acque piovane che ricadono nella pianura di Pisa.

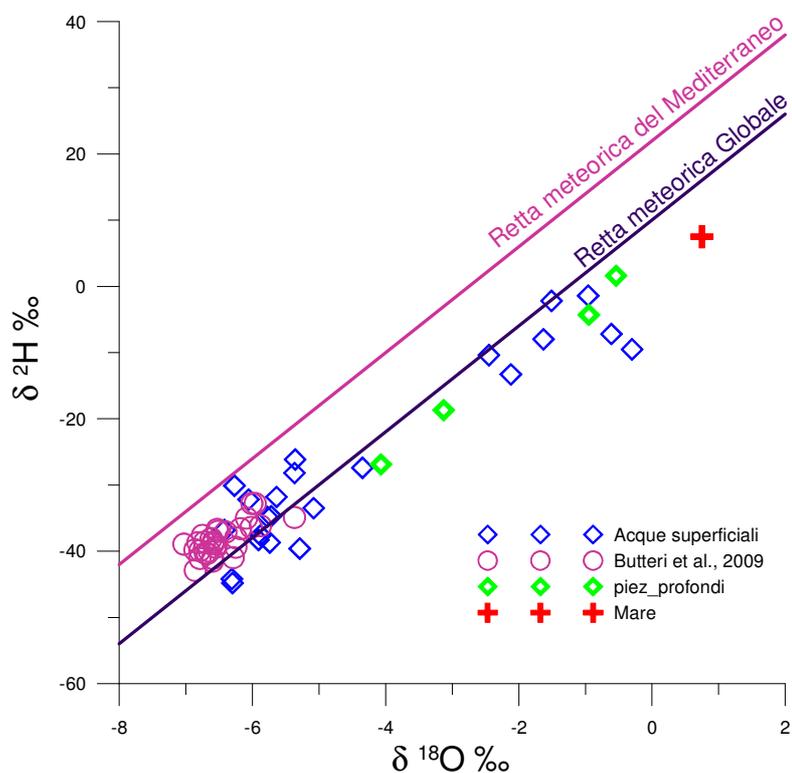


Fig. 7.35 Diagramma di correlazione $d^2\text{H}\text{‰}$ versus $d^{18}\text{O}\text{‰}$ per le acque campionate in questo studio insieme ai dati di Butteri *et al.*, 2009.

In fig. 7.36 è riportato il grafico di correlazione dei valori di $\delta^{18}\text{O}$ rispetto alle corrispondenti concentrazioni di cloruro (in scala logaritmica), in cui è riportato anche il punto relativo all'acqua di mare campionata nell'area in esame. Man mano che la concentrazione in cloruri aumenta, la composizione isotopica delle acque si avvicina a quella dell'acqua di mare, soprattutto per le acque della falda freatica superficiale, testimoniando quindi la presenza di un mescolamento diretto fra le acque di falda e l'acqua

di mare. A tale scopo, nello stesso grafico è stata riportata una linea raffigurante il mescolamento teorico fra due *end-members* costituiti dal campione dell'acqua di mare e un campione medio di acqua piovana caratteristico di Pisa. I valori di $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ e cloruri per l'acqua di mare sono quelli effettivamente misurati grazie a questo studio, mentre per l'acqua piovana è stato utilizzato un contenuto annuale medio per $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ di -5,8 (IAEA/WMO, 2001; Mussi et al., 1998) e un valore in cloruri di circa 100 mg/l, come valore possibile per le acque meteoriche in aree costiere.

Molti campioni ricadono lungo tale linea di mescolamento grazie alla quale è possibile definire teoricamente la percentuale di acqua di mare presente nel piezometro specifico. Ad esempio il campione RMS 50 presenta più dell'80% acqua di mare, il campione RMS 53 quasi il 70% e il campione RMS 46 il 50%. Anche i campioni prelevati dai piezometri che drenano la prima falda confinata (RMC 01 e RMC 02) alla profondità di circa 35 metri sembrano seguire tale linea di mescolamento con percentuali dell'acqua di mare che variano dal 30-40% per i campioni prelevati in superficie, fino ad arrivare a 70-80% per i campioni profondi.

Andando nel dettaglio è possibile comunque osservare come le acque appartenenti alla falda confinata in ghiaie a profondità dell'ordine dei 50-100 m (dati da Butteri *et alii*, in stampa) siano separate da quelle della falda superficiale presentando valori più negativi per $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$, anche se sembra esserci sempre una certa tendenza verso i valori dell'acqua di mare. Inoltre, alcuni campioni prelevati dalla falda superficiale si discostano dal valore teorico della linea di miscelamento verso valori prossimi a quelli dei campioni della falda confinata in ghiaie a testimonianza del fatto che le due falde siano in connessione idraulica fra loro soprattutto nell'area più interna.

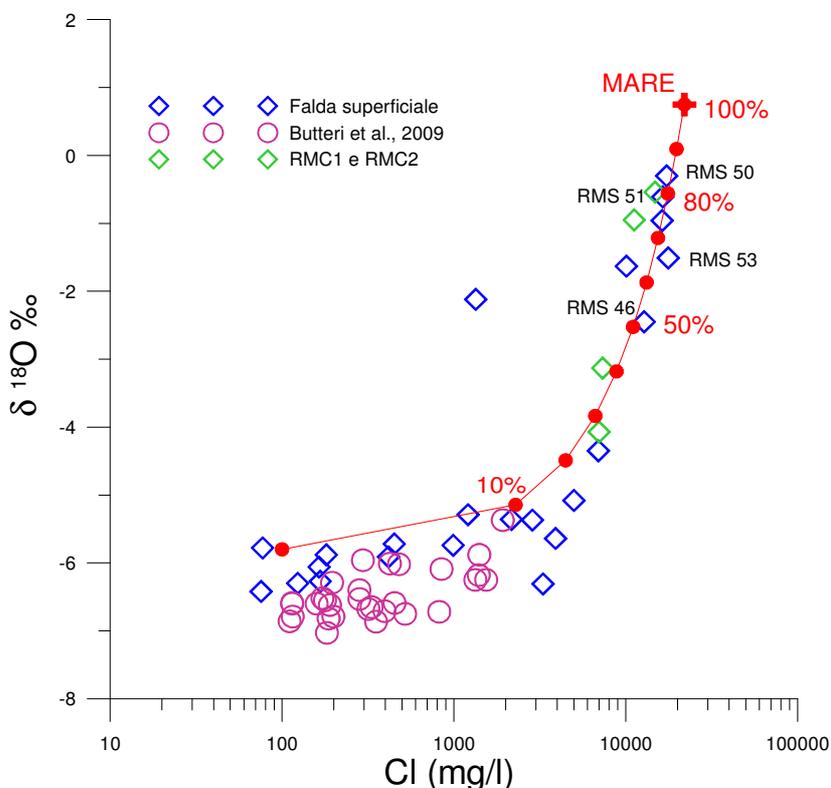


Fig. 7.36 Grafico di correlazione dei valori di $\delta^{18}\text{O}$ rispetto alle corrispondenti concentrazioni di cloruro

Considerazioni finali

Dall'esame comparato dei dati piezometrici, conducimetrici e geochimico-isotopici disponibili è possibile riassumere quanto segue:

- la zona dunare compresa dell'abitato di Tirrenia e Calambrone, caratterizzata da sedimenti prevalentemente sabbiosi, può essere considerata una zona di ricarica diretta per infiltrazione delle acque meteoriche;
- le zone costiere in prossimità sia della foce del Fiume Arno, sia del Canale Scolmatore sono aree particolarmente critiche, sia perché caratterizzate da minimi piezometrici, sia per l'elevata salinità delle acque (prossime a quelle dell'acqua del mare); la situazione appare critica soprattutto nella stagione estiva, ma in molte aree permane tale anche durante i periodi di ricarica e minor sfruttamento della falda acquifera;
- le zone di pianura più interne, soprattutto quelle prossime ai canali di bonifica, sono anch'esse caratterizzate da acque di scarsa qualità, con concentrazioni saline elevate e minimi piezometrici registrati sia in periodo di magra che di morbida;
- l'acquifero profondo delle ghiaie è sostanzialmente separato dal soprastante in sabbia, ma localmente ci possono essere connessioni idrauliche dovute o ad una riduzione dello spessore o ad un incremento della conducibilità idraulica, della sequenza di livelli prevalentemente limo-argillosi che di solito separano i due acquiferi, oppure per connessione idrauliche ad opera di pozzi mal completati.

Dall'analisi comparata di tutti i dati disponibili è possibile affermare che è presente l'intrusione salina e questa può essere dovuta, sia all'ingresso diretto di acqua di mare nell'acquifero superficiale, in particolar modo nelle zone prossime alla linea di costa, sia alla presenza, riconosciuta, di acqua marina nelle parti più profonde dell'alveo nei corsi d'acqua, con la successiva infiltrazione nel primo acquifero in sabbia. In entrambi i casi, le attività antropiche presenti sul territorio concorrono a peggiorare il quadro delineato.

Particolare attenzione deve essere rivolta alla presenza di acque con caratteristiche chimico-isotopiche prossime a quelle dell'acqua di mare in pozzi ubicati nelle zone dell'entroterra. Queste acque (RMS 29, RMS 50, RMS 51, RMS 52, RMS 53) presentano una maggiore percentuale di mescolamento con acqua di mare rispetto a quelle costiere (ad esempio RMS 14 e RMS 15). Per quanto riguarda i pozzi situati nell'entroterra, tale fenomeno può essere dovuto sia ad una risalita del cuneo salino da profondità più elevate per locali abbassamenti della piezometrica in conseguenza di un eccessivo sfruttamento della risorsa idrica, sia per infiltrazione diretta dal Canale Scolmatore e dal Fiume Arno. Da notare inoltre che il livello idrico nel Canale Lamone, artificialmente mantenuto costantemente al di sotto del livello del mare per consentire il drenaggio dei terreni depressi circostanti, agisce come un emungimento esteso all'intera lunghezza del canale, inducendo una conseguente risalita del cuneo salino.

Per le zone costiere il fenomeno dell'intrusione salina sembrerebbe mitigato dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche nelle zone dunari immediatamente retrostanti ed in continuità idraulica con la fascia litoranea.

Sarebbe interessante, attraverso studi successivi, riuscire a valutare le relazioni tra i vari acquiferi della pianura di Pisa ed individuare univocamente dove, come e con quali ratei avvengono gli scambi tra l'acquifero in sabbia e i corsi d'acqua, vettori (a causa di morfologia e quota del fondo alveo) di acqua marina, e le relazioni tra l'acquifero in sabbie e quello in ghiaie, così da valutare la vulnerabilità di quest'ultimo, utilizzato per l'approvvigionamento idrico.

7.4 – Reticolo idrografico e problematiche idrauliche

Per gli aspetti dell'idrografia si rimanda a quanto contenuto nello studio idraulico e relativi elaborati cartografici, redatti dallo Studio Hydrogeo a cura dell'Ing. Giacomo Gazzini.

8 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA (Tav. QG.10)

In ottemperanza alle direttive contenute nell' Allegato A del D.P.G.R. n. 53/R/2011 è stato aggiornato il quadro della fragilità geologica del territorio; la definizione della fragilità geologica passa attraverso la valutazione del grado di pericolosità delle aree in esame, in ordine a problematiche di natura geologica, geomorfologica, geomeccanica, geotecnica e idrogeologica, sia in condizioni statiche che dinamiche (sismiche); tale valutazione deriva dalla elaborazione e sintesi di tutti i dati e parametri geologici, geomorfologici, strutturali, geomeccanici, di acclività e idrogeologici illustrati nelle carte di base e porta alla definizione di classi di pericolosità legate in particolare a:

- fenomeni franosi;
- processi parossistici di dinamica torrentizia (colate detritico-torrentizie);
- fenomeni sismici.

Sulla base di quanto richiamato sopra, il P.S.I. nella "Carta di Pericolosità geologica (Tav. QG.10) individua le seguenti specifiche aree a pericolosità geologica e le conseguenti disposizioni da osservare nella formazione del R.U. e degli altri atti di governo del territorio:

Aree a pericolosità geologica molto elevata (G.4)

Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza.

In queste aree è necessario rispettare i seguenti criteri generali:

- non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture che non siano subordinati alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione;
- gli interventi di messa in sicurezza devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità dei versanti adiacenti, non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

Aree a pericolosità geologica elevata (G.3)

Aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche, le zone di scarpata, le aree di golena, le aree in subsidenza.

Il P.O, nel definire la trasformabilità dovrà rispettare i seguenti criteri generali:

- la realizzazione di nuovi interventi di edificazione o nuove infrastrutture deve essere subordinata all'esito di idonei studi finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità e dalla preventiva o contestuale realizzazione degli interventi di messa in sicurezza;
- gli eventuali interventi di messa in sicurezza devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità dei versanti adiacenti, non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

Aree a pericolosità geologica media (G.2)

Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici, e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%. In queste aree non sussistono limitazioni o particolari prescrizioni alla trasformabilità. Le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.

9 - PERICOLOSITA' SISMICA (Tav. QG.11)

Il Quadro Conoscitivo degli strumenti urbanistici dei singoli comuni è già dotato di Studio di Microzonazione di Livello 1 e redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.), come indicato al par. B.7 e par. C.5 delle direttive dell'Allegato A, cui si rimanda per maggiore dettaglio (Allegato1). Lo studio è stato realizzato in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il comune, di concerto con gli uffici del Genio Civile e del servizio sismico della regione, ha individuato secondo le specifiche di cui al paragrafo 1.B.1.2 delle istruzioni del Programma V.E.L.(Valutazione Effetti Locali). Le aree perimetrate comprendono tutte le U.T.O.E. e le frazioni abitate. Sulla base degli studi condotti e delle singole carte MOPS, è stata ricavata, la carta di pericolosità sismica locale che ha evidenziato le seguenti classi:

Aree pericolosità sismica locale elevata (S.3)

Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; aree con amplificazione locale caratterizzate da alto contrasto di impedenza sismica entro alcune decine di metri.

Il P.O. nel definire la fattibilità degli interventi dovrà valutare i singoli fenomeni indotti secondo quanto definito al punto 3.5 delle direttive di cui all'Allegato A del D.P.G.R. n. 53/R del 25.10.2011.

Aree pericolosità sismica locale media (S.2)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità S.3.

Non è necessario indicare condizioni per la definizione della fattibilità degli interventi da attuare a livello di P.O..

10 - PERICOLOSITA' IDRAULICA

Si rimanda allo studio idraulico a cura dell'Ing. Gazzini

11 - PRESCRIZIONI PER LA FORMAZIONE DEL PIANO OPERATIVO

Ai sensi del DPGR 53/R/11 in attuazione dell'Art. 104 della L.R. n. 65/14 lo studio geologico di supporto al Piano Strutturale definisce le caratteristiche di pericolosità del territorio di un comune. In particolare definisce la pericolosità Geologica, Idraulica e Sismica. Il Piano Operativo definisce e detta le condizioni per la trasformabilità del territorio alla luce delle criticità evidenziate dal P.S. e individua anche le eventuali azioni di prevenzione e mitigazione. La fattibilità è espressa mediante una codifica alfanumerica di cui a seguire si riportano le definizioni delle singole classi:

Classe	Fattibilità	Caratteristiche
F1	Fattibilità senza particolari limitazioni	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
F2	Fattibilità con normali vincoli	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
F3	Fattibilità condizionata	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.
F4	Fattibilità limitata	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Tab. 11.1 *Classi di Fattibilità*

L'attribuzione del grado di fattibilità dovrà comprendere l'individuazione delle prescrizioni e delle indagini di approfondimento necessari a raggiungere l'annullamento o la mitigazione del rischio derivante dalle pericolosità geologica, idraulica e sismica individuata dal quadro conoscitivo.

La fattibilità geologica e idraulica degli interventi come sopra definita dovrà essere verificata oltre che sulla base delle classi di fattibilità ai sensi del D.G.P.R. 53/R/2011 anche ai sensi delle Norme del P.A.I. del bacino distrettuale e delle recenti

Di fatto la definizione delle fattibilità degli interventi ed il deposito del Piano Operativo dovranno conformarsi al recente Regolamento D.P.G.R. 5/R/2020 e relative Direttive tecniche DPGR n.31 del 20.01.2020 Allegato A.

11.1 - Problematiche geologiche

La Carta della Pericolosità Geologica individua zone omogenee del territorio all'interno delle quali si evidenziano i fattori geologici e geomorfologici, strutturali e dinamici, che si configurano come condizioni predisponenti al dissesto idrogeologico. Qualsiasi azione di trasformazione dei caratteri geomorfologici del suolo dovrà tenere in debita considerazione le problematiche geologiche individuate all'interno di ciascuna area secondo la classificazione della Carta di pericolosità Geologica.

Il Piano Operativo dovrà definire:

- una classificazione di fattibilità per tutti gli interventi ammessi dal P.O. sulla base del rapporto tra il grado di pericolosità dell'area di intervento e la vulnerabilità delle realizzazioni previste;
- le necessarie prescrizioni da associare ad ogni classe di fattibilità tenendo conto degli indirizzi previsti nel DPGR 53/R/11 al punto 3.2, in particolare:

G.1 - Classe di Pericolosità Geologica BASSA

Criteria generali di fattibilità

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica bassa non è necessario indicare specifiche condizioni di fattibilità a meno di quanto prescritto dalle N.T.C. 2018 e dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio)-Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.

G.2 - Classe di Pericolosità Geologica MEDIA

Criteria generali di fattibilità

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica media le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.

Relativamente alle procedure e alla tipologia di indagini da eseguirsi si rimanda a quanto prescritto dalle N.T.C. 2018 e dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio)-Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico, riportata agli Artt. 4.4-4.5 e 4.6.

G.3 - Classe di Pericolosità Geologica ELEVATA

Criteria generali di fattibilità

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica elevata è necessario rispettare i seguenti principi generali:

- *l'attuazione di interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture è subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza;*
- *gli eventuali interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;*
- *in presenza di interventi di messa in sicurezza dovranno essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;*

- *l'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, devono essere certificati;*
- *possono essere attuati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i processi geomorfologici presenti nell'area; della sussistenza di tali condizioni deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.*

Relativamente alle procedure e alla tipologia di indagini da eseguirsi si rimanda a quanto prescritto dalle N.T.C. 2018 e dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio)-Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico, riportata agli Artt. 4.4-4.5 e 4.6.

G.4 - Classe di Pericolosità Geologica MOLTO ELEVATA

Criteri generali di fattibilità

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geologica molto elevata è necessario rispettare i seguenti criteri generali:

- *non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture che non siano subordinati alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione;*
- *gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono essere comunque tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;*
- *in presenza di interventi di messa in sicurezza dovranno essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;*
- *l'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza devono essere certificati;*
- *gli interventi per i quali sia dimostrato il non aggravio delle condizioni di instabilità dell'area, purché siano previsti, ove necessario, interventi mirati tutelare la pubblica incolumità, a ridurre la vulnerabilità delle opere esposte mediante consolidamento o misure di protezione delle strutture per ridurre l'entità di danneggiamento, nonché l'installazione di sistemi di monitoraggio per tenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno; della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.*

Relativamente alle procedure e alla tipologia di indagini da eseguirsi si rimanda a quanto prescritto dalle N.T.C. 2018 e dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio)-Disciplina sulle modalità di svolgimento delle

attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico, riportata agli Artt. 4.4-4.5 e 4.6.

11.2 - Prevenzione del rischio dovuto alle problematiche sismiche

La Carta Della Pericolosità Sismica riporta l'articolazione delle classi di pericolosità sismica per l'intero territorio dell'Unione di comuni. Per la definizione delle limitazioni incidenti sull'ambito di territorio interessato dalle previsioni si dovrà necessariamente tenere conto anche delle carte di microzonazione relative all'ambito di interesse.

Il Piano Operativo dovrà definire:

- una classificazione di fattibilità per tutti gli interventi ammessi dal PO sulla base del rapporto tra grado di pericolosità dell'area di intervento e la vulnerabilità delle realizzazioni previste;
- le necessarie prescrizioni da associare ad ogni classe di fattibilità tenendo conto degli indirizzi previsti nel DPGR 53/R al punto 3.2. In particolare:

S2 - Pericolosità sismica locale media e bassa

Criteria generali di fattibilità

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica locale media (S2) e da pericolosità sismica locale bassa (S1) non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia a meno della definizione della Categoria di suolo di fondazione.

S3 - Pericolosità sismica locale elevata

Criteria generali di fattibilità

In sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovranno essere valutati i seguenti aspetti:

- *nel caso di zone suscettibili di instabilità di versante quiescente, oltre a rispettare le prescrizioni riportate nelle condizioni di fattibilità geologica, sono realizzate indagini geofisiche e geotecniche per le opportune verifiche di sicurezza e per la corretta definizione dell'azione sismica. Si consiglia l'utilizzo di metodologie geofisiche di superficie capaci di restituire un modello 2D del sottosuolo al fine di ricostruire l'assetto sepolto del fenomeno gravitativo. È opportuno che tali indagini siano tarate mediante prove geognostiche dirette con prelievo di campioni su cui effettuare la determinazione dei parametri di rottura anche in condizioni dinamiche e cicliche. Tali indagini sono in ogni caso da rapportare al tipo di verifica (analisi pseudostatica o analisi dinamica), all'importanza dell'opera e al meccanismo del movimento del corpo franoso nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, sono realizzate adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti;*
- *per i terreni soggetti a liquefazione dinamica sono realizzate adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate al calcolo del coefficiente di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni;*
- *in presenza di zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse e in presenza di aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, è realizzata una campagna di indagini geofisiche di*

superficie che definisca geometrie e velocità sismiche dei litotipi posti a contatto al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica; è opportuno che tale ricostruzione sia tarata mediante indagini geognostiche dirette;

- *nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri, è realizzata una campagna di indagini geofisica (ad esempio profili sismici a riflessione/rifrazione, prove sismiche in foro, profili MASW) e geotecniche (ad esempio sondaggi, preferibilmente a c.c.) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra coperture e bedrock sismico. Nelle zone di bordo della valle, per quanto attiene alla caratterizzazione geofisica, è preferibile l'utilizzo di prove geofisiche di superficie capaci di effettuare una ricostruzione bidimensionale del sottosuolo (sismica a rifrazione/riflessione) orientate in direzione del maggior approfondimento del substrato geologico e/o sismico.*

11.3 - Prevenzione del rischio idrogeologico

La Carta della Vulnerabilità individua differenti areali di vulnerabilità dei vari sistemi acquiferi rispetto ai quali è necessario attuare azioni di tutela e di salvaguardia in relazione alla possibilità di inquinamento.

Le aree che ricadono in classi elevata e molto elevata sono soggette a specifiche limitazioni e prescrizioni, in attuazione dell'Art.20.2 della disciplina del PTCP in merito alla vulnerabilità idrogeologica e relativi livelli di rischio.

Le limitazioni sono riferite alle trasformazioni, fisiche e funzionali, che comportano attività e/o impianti "inquinanti". È comunque implicita la possibilità di ulteriori limitazioni conseguenti le necessarie verifiche che le normative vigenti richiedono a supporto degli impianti e/o delle attività "inquinanti".

Nelle aree di vulnerabilità elevata i nuovi insediamenti produttivi con attività potenzialmente inquinanti dovrebbero essere evitati e comunque devono essere adottate opportune precauzioni costruttive e di monitoraggio ambientale. Negli insediamenti produttivi esistenti deve essere vietata la realizzazione di cisterne o depositi interrati di stoccaggio di liquidi o solidi solubili idroinquinanti ad esclusione dei distributori di carburanti, per i quali devono essere adottate opportune precauzioni costruttive e di monitoraggio ambientale. L'esecuzione di fondazioni profonde (pali) è sconsigliata. Per le attività in cui sia prevista la produzione e/o lo stoccaggio in sito di liquami, sono da privilegiare in sede di prescrizioni, gli impianti "fuori terra" ispezionabili. In sede di rilascio della concessione deve essere richiesta la redazione di una dettagliata relazione idrogeologica, in particolare nel caso si preveda la realizzazione di vani interrati.

Nelle aree di vulnerabilità media-bassa, nel caso di insediamenti dotati di vani interrati, di cisterne o depositi interrati di stoccaggio di liquidi o solidi solubili idroinquinanti, sarà prescritta in sede di rilascio della concessione la redazione di una relazione idrogeologica che dovrà valutare la fattibilità di tali interventi, ed in tutti i casi dovranno adottare precauzioni costruttive.

Inoltre al fine di limitare l'inquinamento delle acque sotterranee dovuto all'insediamento produttivo, per le aree e le situazioni sopra citate si prescrive di realizzare il solaio del piano interrato oppure del piano terreno (secondo i casi) in modo che risulti impermeabile e consenta la raccolta delle acque di lavaggio e dei fluidi eventualmente dispersi all'interno.

Vulnerabilità	Limitazioni e prescrizioni
Molto elevata/elevata	<p>Fortissime limitazioni. Non dovrebbero essere ammissibili, di norma, le trasformazioni comportanti impianti e/o attività potenzialmente molto inquinanti e depositi a cielo aperto ed altri stoccaggi di materiali inquinanti idroveicolabili. Limitazioni e prescrizioni da osservare per collettori fognari, strade di grande o media comunicazione, colture utilizzanti pesticidi, diserbanti e fertilizzanti. Non è ammissibile la realizzazione di discariche anche temporanee, se non per i materiali di risulta dell'attività edilizia completamente inertizzati.</p> <p>Nell'esecuzione delle opere destinate a contenere o a convogliare sostanze, liquide o solide o gassose, potenzialmente inquinanti, quali cisterne, reti fognarie, oleodotti, gasdotti, e simili, devono essere poste in essere particolari cautele atte a garantire la tenuta idraulica, quali l'approntamento di bacini di contenimento a tenuta stagna, di sistemi di evacuazione d'emergenza, di materiali o pannelli assorbenti, e simili.</p> <p>Sono comunque vietati: a) gli scarichi liberi sul suolo e nel sottosuolo di liquidi e di altre sostanze di qualsiasi genere o provenienza.</p>
Media/bassa	<p>Alcune limitazioni. Piani attuativi ed interventi diretti concernenti impianti e/o attività inquinanti rispettivamente approvabili ed abilitabili soltanto se corredati della valutazione della vulnerabilità reale locale e dal progetto delle opere volte alla mitigazione del rischio potenziale specifico, eventualmente necessarie.</p>

Tab. 11.2 *Classi di vulnerabilità, limitazioni e prescrizioni*

Il Piano Operativo dovrà prevedere specifiche normative per la salvaguardia della risorsa idrica mediante valutazione dell'impatto di attività particolarmente inquinanti nonché la verifica delle previsioni edilizie ed urbanistiche nei confronti del Piano di Gestione delle acque del Bacino.

Con la Legge 5.01.1994 n. 36 e con il DPR 18.02.1999 n. 238, tutte le acque siano esse superficiali o sotterranee sono considerate pubbliche, appartengono allo Stato e fanno parte del Demanio Idrico. Nel caso di opere ed interventi finalizzati esclusivamente alla captazione delle acque sotterranee (pozzi sia ad uso privato sia pubblico), si prescrive l'osservanza del T.U. di cui al R.D. n. 1775/33, della L. n. 36/94, del regolamento approvato col D.P.R. 238/99 e alla L. n. 464 del 04/08/1984 nonché alla L.R. 30.04.1996 n. 22.

Ai fini della tutela e salvaguardia delle risorse idriche si dovrà fare riferimento a quanto contenuto nelle Leggi 236/88, 152/99, 258/00 e rispettare anche la L.R. n° 20/2006 e il relativo Regolamento n. 46/R del 17 settembre 2008, in modo particolare riguardo le acque di restituzione durante le operazioni di perforazione.

Al fine della tutela della falda idrica sotterranea, ogni prelievo sarà subordinato all'autorizzazione alla ricerca e all'assenso della Regione (Legge Regionale n. 91 del 12.11.1998).

Tenuto conto di quanto contenuto nel Codice dell'Ambiente, approvato con Decreto legislativo n. 152 del 3 aprile 2006, e nell'articolo 94 del testo unico ambientale aggiornato al 10 febbraio 2012 (D.L. n. 5/2012), si dovrà tenere conto di quanto disciplinato in merito alle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee. Per quanto riguarda i pozzi e le sorgenti, sulla Carta Idrogeologica, l'area di protezione è cartografata su base geometrica con un buffer di 200 metri. Per interventi che dovessero interferire con tali aree si dovrà tenere conto di quanto disciplinato per tali aree.

Per quanto concerne i corsi d'acqua si dovrà tenere conto di quanto previsto dalla Legge regionale 41/2018 all'Art.3, dove detta le regole per gli interventi nelle fasce di rispetto e nelle golene arginali dei vari corsi d'acqua.

12 - BIBLIOGRAFIA

Bini, M.; Casarosa, N.; Ribolini, A. (2008). L'evoluzione diacronica della linea di riva del litorale Pisano (1938–2004) sulla base del confronto di immagini aeree georeferenziate. Atti Della Soc. Toscana Sc. Nat. Mem. Ser. A 2008, 113, 1–12.

Baldacci F. (1999). Struttura e piezometria del “*primo acquifero artesiano in ghiaie*” della Pianura Pisana. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem., 106 (A), 91-101.

Baldacci F., Bellini L., Raggi G. (1995). Le risorse idriche sotterranee della Pianura di Pisa. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem., 101 (A), 241-322.

Baldacci F. & Doveri M. (2008). L'intrusione marina nella fascia costiera versiliese-pisana: Studio Idrogeologico-geochimico degli acquiferi freatici nelle zone Canale Burlamacca-Fosso della Bufalina e Fiume Arno- Fiume Serchio. Rapporto tecnico-scientifico, CNR/IGG – UNIPI- DST – PARCO REGIONALE MSRM.

Bini M.; Rossi V.; Amorosi A.; Pappalardo M.; Sarti G.; Noti V.; Capitani M.; Fabiani F.; Gualandi M.L. (2015). Palaeoenvironments and palaeotopography of a multilayered city during the Etruscan and Roman periods: Early interaction of fluvial processes and urban growth at Pisa (Tuscany, Italy). J. Archaeol. Sci. 2015, 59, 197–210.

Bini M., Casarosa N., Luppichini M., (2021). Exploring the relationship between river discharge and coastal erosion: An integrated approach applied to the pisa coastal plain (italy). Remote Sens (Basel) 13. <https://doi.org/10.3390/rs13020226>.

Butteri M., Doveri M. Giannecchini R., Gattai P. (2010). Studio multidisciplinare idrogeologico-geochimico dell'acquifero confinato in ghiaie nella fascia costiera pisana tra il Fiume Arno ed il Canale Scolmatore (Toscana) Mem. Descr. Carta Geol. d'It. XC (2010), pp. 51-66, figg. 12, tabb. 2.

Butteri M. (2007). L'intrusione marina nella fascia costiera della Pianura Pisana. Studio idrogeologico-geochimico della falda freatica in destra e in sinistra del Fiume Arno. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Pisa.

Casarosa, N. (2016). Studio dell' evoluzione del litorale pisano tramite rilievi con GPS differenziale (2008–2014). Stud. Costieri.

Cantini e al., (2001). The Plio–Pleistocene evolution of extensional tectonics in northern Tuscany, as constrained by new gravimetric data from the Montecarlo Basin (lower Arno Valley, Italy) Tectonophysics Volume 330, Issues 1–2, 15 January 2001, Pages 25-43.

Cappiotti L., Cammelli C., Farrell E., Ferri S., Aminti P.L., Pranzini E., (2003). A case of updrift erosion induced by a harbour break-water. Medcoast 2003, Ravenna:1701-1718.

Cipriani L.E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F., Pranzini E. (2001). Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale. Studi costieri 15: 119-150.

Della Rocca R., Mazzanti R. & Pranzini E. (1987). Studio geomorfologico della pianura di Pisa. Geog. Fis. Dinam. Quat., 10, 56-84.

Dini I., (1976). La prima falda artesianiana della zona di Pisa. Provincia-Comune di Pisa.

Fancelli R., Grifoni R., Mazzanti R., Menchelli S., Nencini C., Pasquinucci M., Tozzi C. (1986). Evoluzione della Pianura di Pisa. In Mazzanti R., Grifoni Cremonesi R., Pasquinucci M., Pult Quaglia A.M. (Eds), Terre e Paduli. Reperti, documenti, immagini per la storia di Coltano. Bandecchi e Vivaldi, Pontedera (PI), 23-29.

Federici P.R., Mazzanti R. (1988). L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno Inferiore. Boll. Società Geografica Italiana 5: 573-615.

Federici P.R.; Mazzanti R. (1995). Note Sulle Pianure Costiere Della Toscana; Castiglioni, G.B., Federici, P.R., Eds.; Mem. Società Geografica Italiana: Roma, Italy, 1995; Volume 53, pp. 165–270.

G. Gandolfi et L. Paganelli, (1975). Il litorale pisano-versiliese (area campione alto Tirreno) composizione, provenienza e dispersione delle sabbie, Bollettino della Società Geologica Italiana, 94(05), 1975, pp. 1273-1295.

Ghelardoni R., Giannini E. e Nardi R. (1968). Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici. Mem. Soc. Geol. It., 7: 91-106.

Grassi S. e Cortecci G. (2005). Hydrogeology and geochemistry of the multilayered confined aquifer of the Pisa plain (Tuscany – central Italy) Applied Geochemistry Volume 20, Issue 1, January 2005, Pages 41-54

Mariani M., Prato R. (1988). I bacini Neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismico-stratigrafico. Mem. Soc. Geol. It., 41, 519-531.

Martini I.P., Sagri M. (1993). Tectono-sedimentary characteristic of late Miocene-Quaternary extensional basin of Northern Apennines. Earth Science Reviews, 34, 197-233.

Mazzanti R., Pinna M.(1994) - La Pianura di Pisa e i rilievi contermini. La natura e la storia. Memorie della società geografica italiana. Volume L- Roma .

Mazzanti R. (1994). La Pianura di Pisa ed i rilievi contermini. in: Mazzanti R. (Eds), Provincia di Pisa.

Mazzanti R. (2000). Geomorfologia del bacino Versiliese-Pisano con particolare riferimento alla “Gronda dei Lupi”, scarpata fossile che separa le Colline Livornesi, con i loro terrazzi eustatici, dalla pianura alluvionale pisana. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., A, 165-189.

Mussi, M., Leone, G., Nardi, I., (1998). Isotopic geochemistry of natural waters from the Alpi Apuane-Garfagnana area, Northern Tuscany, Italy. Min. Petr. Acta, 51, 163-178.

Nagi A., Pascucci V. (2002). Alternating extensional phases in post collisional basin: the Neogene Viareggio basin (Tuscany, Italy). GIS 2002, IX riunione annuale del Gruppo Informale di Sedimentologia, Pescara 21-22 Ottobre, 67-68.

Noli A., Franco L., (1989). L'evoluzione del litorale pisano: risultati di uno studio con impiego di modelli matematici. Camera di Commercio Industria Artigianato di Pisa, Amministrazione Provinciale di Pisa,

Comune di Pisa. Giardini Editore, Pisa: 1-37. Milano, 1994 Pranzini E. (2008) - L'intervento di stabilizzazione del litorale de Le Lame. Studi costieri 14: 29-42.

Pascucci V., Fontanesi G., Merlini S., Martini I.P. (2001). Neogene Tuscany shelf-western Tuscany extension of the early post-compressional deposits (Tyrrhenian Sea - Northern Appennines, Italy). *Ofioliti*, 26/2a, 187-196.

Pranzini E., Simonetti, (2008). Influenza del fattore scala sulla classificazione delle spiagge in base alla loro tendenza evolutiva - Studi costieri - 2008 - 14: 13-28.

Pranzini E. (2007). Airborne LIDAR survey applied to the analysis of the historical evolution of the Arno Riverdelta (Italy). *Journal of Coastal Research* , SI 50: 400 -409.

Pranzini E. (2004). Caratteristiche morfologiche e sedimentologiche di una zona di convergenza del trasporto lito-raneo (Versilia, Toscana). *Studi costieri*, 8: 135-149.

Pranzini, E. (2001). Updrift river mouth migration on cusped deltas: Two examples from the coast of Tuscany (Italy). *Geomorphology* 2001.

Pranzini E. (1983). Studi di Geomorfologia costiera IX. L'erosione del delta dell'Arno. – Quad. Mus., St. Nat. Livorno, 4.

Rossi S. e Spandre R.(1995). Caratteristiche idrochimiche della I^a falda artesiane in sabbia nei dintorni della Città di Pisa, acque sotterranee, fasc. 48: 27-36.

Rossi S. e Spandre R.(1994). L'intrusione marina nella falda artesiane in ghiaia nel litorale pisano. Acque sotterranee fasc. 43: 53-5.

Sarti G.; Rossi V.; Amorosi A.; Bini M.; Giacomelli S.; Pappalardo M.; Ribecai C.; Ribolini A.; Sammartino I. Climatic (2015). Signature of two mid-late Holocene fluvial incisions formed under sea-level highstand conditions (Pisa coastal plain, NW Tuscany, Italy). *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 2015, 424, 183–195.

Sarti G.; Bini, M.; Giacomelli S.(2010). The growth and the decline of Pisa (Tuscany, Italy) up to the Middle ages: Correlations with landscape and geology. *Quat. Ital. J. Quat. Sci.* 2010, 23, 311–322.

Serge A. (1955). Nota sulla idrografia continentale e marina. In: «Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Foglio 111 Livorno». Serv. Geol. d'It., Roma.

Toniolo A.R. (2010). Sulle Variazioni di Spiaggia a Foce d'Arno (Marina di Pisa) Dalla Fine del Secolo XVIII ai Nostri Giorni: Studio Storico Fisiografico; Comune di Pisa, Ed.; Tipografia Municipale: Pisa, Italy, 1910.

Toniolo A.R., (1927). Variazioni storiche del litorale toscano tra l'Arno e la Magra. Atti X Congresso Geografico Italiano, Milano.

Vittorini S., (1977). Variazioni della linea di costa al Gombo (litorale pisano). Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem. Serie A: 91-10.

G Rassi S. & Cortecci G. (2005). Hydrogeology and Geochemistry of multilayered confined aquifer of the Pisa Plain. Appl.Geochem., 20: 41-54.